

2022年 秋季年会

講演予稿集

電子版

於 新潟大学

2022年9月13日(火)～9月15日(木)

日本天文学会

日本天文学会 2022年秋季年会プログラム

期 日 2022年9月13日(火)～9月15日(木)
 場 所 新潟大学五十嵐キャンパス
 電 話 090-4387-6893(学会事務局) <使用期間 2022年9月12日(月)～9月15日(木)>
 E-Mail nenkai-committee@asj.or.jp(年会実行委員会)

月日	会場	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	
9月11日 (日)							公開講演会						
9月12日 (月)							記者会見						
9月13日 (火)	A	受付 9:00-10:30		Q. 星間現象	昼 休 み 12:40-14:00		Q. 星間現象			天文教育 フォーラム 16:30-18:00		理事会 18:30 19:30	
	B			T. 銀河団			V3. 観測機器(X線・γ線)						
	C			Z2. JASMINE			Z2. JASMINE						
	D			S. 活動銀河核			S. 活動銀河核						
	E			P1. 星形成			P1. 星形成						
	F			Z1. 地下天文学			Z1. 地下天文学						
	G			P3. 惑星系			P3. 惑星系						
	H			X. 銀河形成・進化			X. 銀河形成・進化						
	I			M. 太陽			M. 太陽						
	J			Y. 教育・広報・他			W. コンパクト天体						
9月14日 (水)	A	受付 9:00 9:30		Q. 星間現象	昼 休 み 11:40-13:00 (代議員総会)		Q. 星間現象		ポスター 16:00 17:00	会員全体 集会 17:00 18:00			
	B			V3. 観測機器(X線・γ線)			V3. 観測機器(X線・γ線)						
	C			Z2. JASMINE			Z3. 銀河系中心						
	D			S. 活動銀河核			N. 恒星・恒星進化						
	E			P1. 星形成			P1. 星形成						
	F			V1. 観測機器(電波)			V1. 観測機器(電波)						
	G			P3. 惑星系			V2. 観測機器(光赤・重)						
	H			X. 銀河形成・進化			X. 銀河形成・進化						
	I			M. 太陽			M. 太陽						
	J			W. コンパクト天体			W. コンパクト天体						
9月15日 (木)	A	受付 9:00 9:30		P2. 原始惑星系円盤	昼 休 み 11:40-13:00		P2. 原始惑星系円盤		ポスター 15:30 16:30				
	B			V3. 観測機器(X線・γ線)			V3. 観測機器(X線・γ線)						
	C			Z3. 銀河系中心			Z3. 銀河系中心						
	D			N. 恒星・恒星進化			N. 恒星・恒星進化						
	E			R. 銀河			R. 銀河						
	F			V1. 観測機器(電波)			V1. 観測機器(電波)						
	G			V2. 観測機器(光赤・重)			V2. 観測機器(光赤・重)						
	H			X. 銀河形成・進化			X. 銀河形成・進化						
	I			U. 宇宙論			U. 宇宙論						
	J			W. コンパクト天体			W. コンパクト天体						
		9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	

※午前セッション [1日目] 10:30～12:40 [2日目] 9:30～11:40 [3日目] 9:30～11:40

※午後セッション [1日目] 14:00～16:10 [2日目] 13:00～15:40 [3日目] 13:00～15:10

A会場：総合教育研究棟 B棟 2F (B251)

B会場：総合教育研究棟 B棟 2F (B253)

C会場：総合教育研究棟 B棟 2F (B255)

D会場：総合教育研究棟 F棟 2F (F271)

E会場：総合教育研究棟 F棟 2F (F275)

F会場：総合教育研究棟 B棟 3F (B351)

G会場：総合教育研究棟 B棟 3F (B353)

H会場：総合教育研究棟 B棟 3F (B355)

I会場：総合教育研究棟 F棟 3F (F371)

J会場：総合教育研究棟 F棟 3F (F375)

K会場：総合教育研究棟 E棟 2/3F (E260)

※定員が超過した場合は、予備室をご利用ください

受 付：総合教育研究棟 2F ロビー

展示コーナー：総合教育研究棟 B棟 2F (B252)

ポ ス タ ー：オンライン上で公開

◎講演数

講演数：合計 691

(口頭講演 (a)：547、ポスター講演 (b)：117、ポスター講演 (c)：27)

◎参加申込について (参加希望者は、必ず事前に参加申込をしてください)

2016年秋季年会より、通常セッションにおける講演は会員に限られております。

○参加費用

	会 員	非 会 員
参加費	学生正会員:2,000円(不課税) 一 般:5,000円(不課税)	5,000円(消費税込み)
講演登録費	2,000円(不課税)(1講演につき) 但し事前支払がない場合は、会員3,000円/非会員6,000円	5,000円(消費税込み・企画セッション)
年会予稿集	2,000円(消費税込み) ※購入希望者のみ	

○参加申込受付場所：学会ホームページ (<https://www.asj.or.jp/>)

○参加申込受付期間：2022年8月9日～8月22日 (講演者を含む参加者全員の事前申込が必要)

※今回から参加申込・参加費の支払いが必要です

※原則として講演登録費・参加費の返金はいたしません

◎講演に関する注意

- 口頭発表は10会場で並行して行います。口頭講演(添字 a)は、口頭発表9分、質疑応答3分です。
ポスター講演(添字 b)は、口頭発表3分、3講演で12分を割り当て、座長の判断で質疑応答を行います。

※時間厳守：講演制限時間を超過した場合は、直ちに降壇していただきますので、
講演者の皆様は制限時間を厳守できるよう特に万全の準備をお願いします。

- ポスター(添字 b, c)はオンライン上で公開いたします。ポスターセッションはSlackを利用します。コアタイムの間、極力リアルタイムで返信をしてください。(添字 a の講演者にも Slack チャンネルをご用意いたします)
- 口頭講演者(添字 a, b, r)は、現地のセッション会場で発表していただきます。
セッション開始5分前から座長が講演方法の説明をいたします。講演者はなるべくご参加ください。
口頭講演のスライドファイル(PDF または PowerPoint 形式)は事前にご提出いただき、1台の共用の PC を
用いて講演を行っていただく予定です。ポスターファイルについても事前にご提出いただきます。

新型コロナウイルス感染症の拡大状況によっては、発表方法が変更になる場合がございます。
最新の情報はホームページで必ずご確認ください。

- オンライン参加者は、セッション開始時刻の5分前からアクセスいただけます。
また入室の際には、下記の命名規則に従って「参加者名」を設定してください。

参加種別	「参加者名」の命名規則	例
視聴者	「氏名」+「(所属)」	天文花子(天文大学)

- 講演の実施方法の詳細は、学会ホームページに掲載いたします。事前に講演方法についてよく確認いただいた上で準備を始めていただくようお願いいたします。オンラインで参加される方は、Zoom の操作手順に関する理解を深めていただくようお願いいたします。
- 受信画像や発表資料の保存 (キャプチャを含む)、録音や配布は固くお断りします。

◎会期中の行事

月 日	時 間	会 場	行 事 名
9月11日(日)	13:30～16:00	新潟市民プラザホール / オンライン	公開講演会
9月12日(月)	14:00～16:00	新潟大学 / オンライン	記者会見
9月13日(火)	16:30～18:00	K会場	天文教育フォーラム
9月14日(水)	17:00～18:00	K会場	会員全体集会

◎会合一覧表

※今回、通常の会合は募集しておりません。

月 日	時 間	会 場	会 合 名	参加可否※
9月13日(火)	18:30～19:30	オンライン	理事会	D
9月14日(水)	11:40～13:00	K会場	代議員総会	D

※年会参加者の参加可否の説明（オープン化の程度）

- A: 年会参加者なら誰でも大歓迎で是非来てほしい
- B: 年会参加者で興味を持った人には広く門戸を開いている
- C: 関係グループ向けの会合だが年会参加者なら特に拒みはしない
- D: 関係者のみにクローズした会合で非公開である

◎天文教育フォーラム：「新しい学習指導要領を考える」

日 時：2022年9月13日（火）16：30～18：00

場 所：K会場（要申込。天文教育フォーラムのみ参加の場合、参加費は無料です）

概 要： いよいよ2022年度より高校でも新しい学習指導要領による指導がスタートしました。今回の改訂では、全教科探究型授業へのシフトや、理数科の導入など、新しい試みがなされています。今回の改訂により、学校での授業はどのように変わっていくのでしょうか。また、今回の改訂は数年後からの大学入試にどのように反映されるのでしょうか。高大連携の重要性が指摘される昨今、大学で教育にあたる教員にも学習指導要領への理解は必須かと思われまます。

また、探究型学習の重視は、社会教育施設利用の在り方や、科学コミュニケータと生徒との関わりにも影響が及ぶことが考えられます。このように、学習指導要領の改訂は、学校教員、大学教員、科学コミュニケータをはじめ、広く天文学会関係者に影響を及ぼす可能性があります。そこで、今回の天文教育フォーラムでは、新しい学習指導要領について学び、各々の立場でどのような対応ができるのかを考えていきたいと思います。

話題提供：(1) 石田光宏氏（横浜市立戸塚高等学校） 「新学習指導要領と学校教育現場での探究的活動」
(2) 土佐幸子氏（新潟大学教育学部） 「新学習指導要領のレビューと最新の研究成果」

実行委員：鴈野重之（九州産業大学）、田崎文得（東京エレクトロンテクノロジーソリューションズ）、松本佳也（広島市こども文化科学館）、内山秀樹（静岡大学）、富田晃彦（和歌山大学）、玉澤春史（京都市立芸術大学）

主 催：公益社団法人 日本天文学会 / 一般社団法人 日本天文教育普及研究会

◎日本天文学会公開講演会

日 時：2022年9月11日(日) 13:30～16:00 (開場 13:00)

形 式：対面とオンラインを併用したハイブリッド形式

場 所：【対面】新潟市民プラザホール 新潟市中央区西堀通 6-866 NEXT21 6F

【オンライン】Zoom/webinar (学会ホームページにて事前登録が必要)

※新型コロナウイルス感染拡大防止のため、対面開催の予定を変更させて頂く場合があります。

対 象：中学生以上・一般向け

テ ー マ：「天文学の新展開」

近年、天文学の分野では大きな研究進展が起きています。本講演会では、その中でも最近のニュースでも話題になった EHT によるブラックホールシャドウの観測と、はやぶさ 2 による小惑星リュウグウからのサンプルの採集による研究成果をテーマにして、最先端研究を判りやすく紹介して頂きます。

講師・タイトル：下記をご参照ください。

参加費：無料

定 員：【対面】250名(先着順・自由参加)、【オンライン】1,000名(先着順・事前登録制)

<講演内容の紹介>

講演 1：「天の川銀河中心にあるブラックホールの撮影」

講師：小山翔子(新潟大学 助教)

イベント・ホライズン・テレスコープ(EHT)は2022年5月12日、私たちの住む天の川銀河の中心にあるブラックホールの画像を初公開しました。EHTは2019年にもおとめ座銀河団にある銀河M87において、人類史上初のブラックホールの画像を得ることに成功しています。これらの成果は日本を含む世界同時の記者会見で発表され、世界中のメディアで報道されました。ブラックホールの画像を得るまでのEHTの取り組みや、これらの画像から何がわかるのか、さらに今後どのような展開が期待されるのかを解説します。

講演 2：「小惑星リュウグウの分析からわかってきたこと：わたしたちはどこからきたか」

講師：藪田ひかる(広島大学 教授)

2020年12月、日本の探査機「はやぶさ2」は小惑星リュウグウの表層サンプルを地球へ持ち帰ることに成功しました。その後のサンプル分析の結果から、太陽系と生命の起源について新しい事実が次々と明らかになってきました。それらについてわかりやすく解説します。

主 催：公益社団法人 日本天文学会

後 援：新潟大学 自然科学系

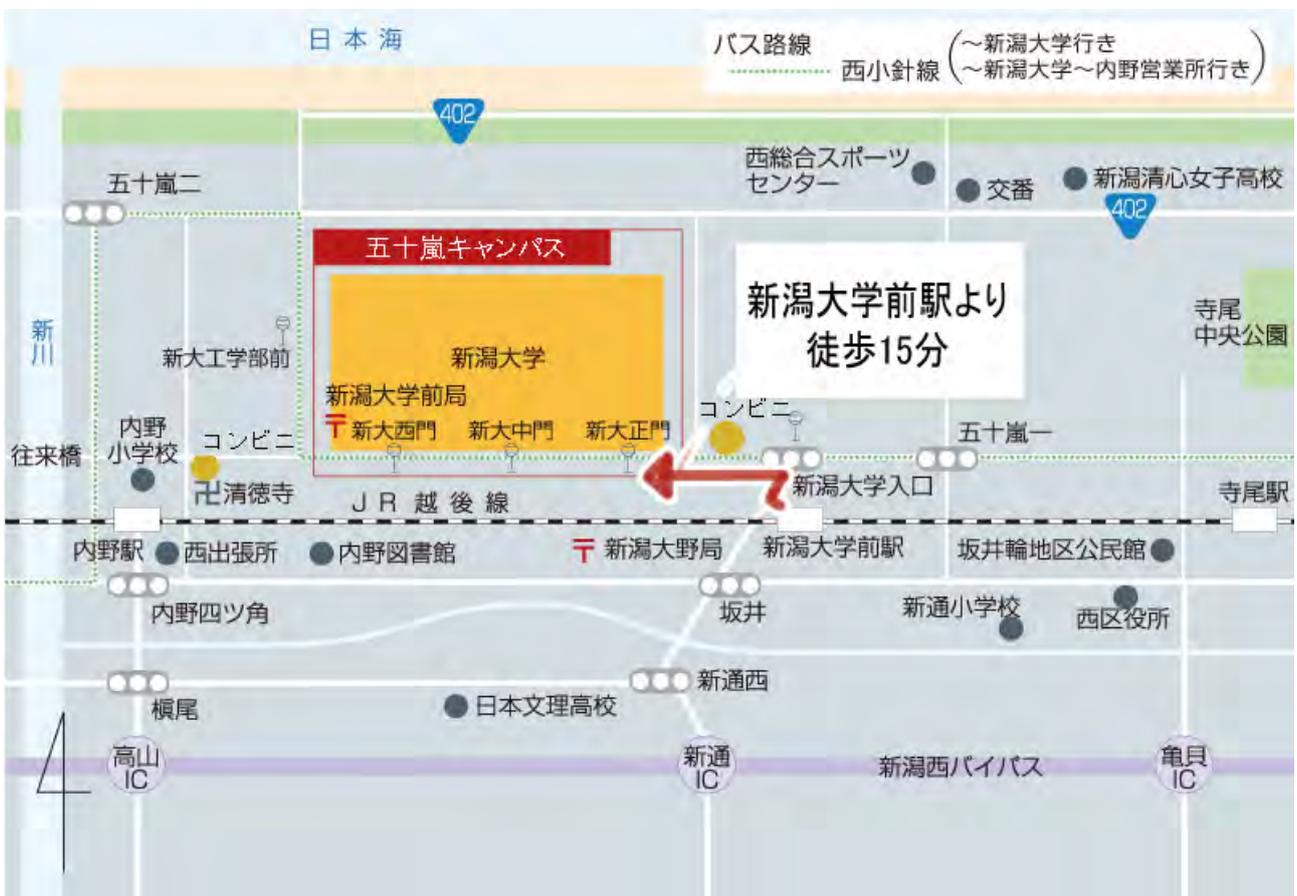
※参加申込方法、及び最新のプログラムにつきましては学会ホームページ(<https://www.asj.or.jp/>)をご覧ください。

交通のご案内

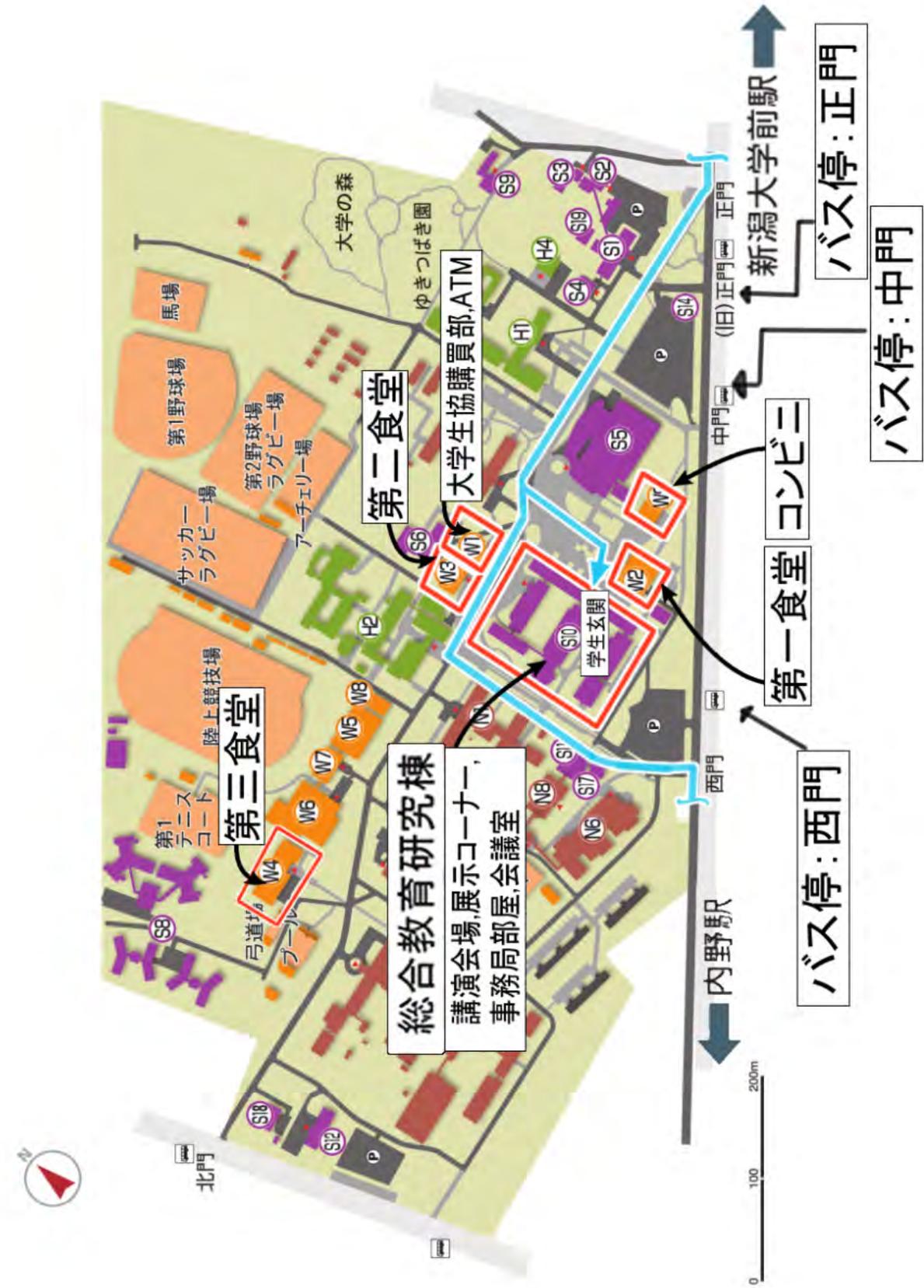
主な交通手段と所要時間

新潟空港 → 新潟駅	バス：新潟交通 E22 空港・松浜線「新潟空港」乗車、「新潟駅前」下車（約 30 分） 新潟空港リムジンバス「新潟空港」乗車、「新潟駅南口」下車（約 25 分）
新潟駅 → 新潟大学	在来線：越後線「新潟大学前駅」下車（約 20 分）～徒歩 15 分 バス：新潟交通 W21 西小針線「新潟駅前」乗車 「新大（しんだい）正門」下車（約 45 分）～会場まで徒歩 5 分
万代シティバスセンター → 新潟大学	バス：新潟交通 W21 西小針線「万代シティ（BC 前）」乗車 「新大（しんだい）正門」下車（約 45 分）～会場まで徒歩 5 分

新潟大学周辺の交通



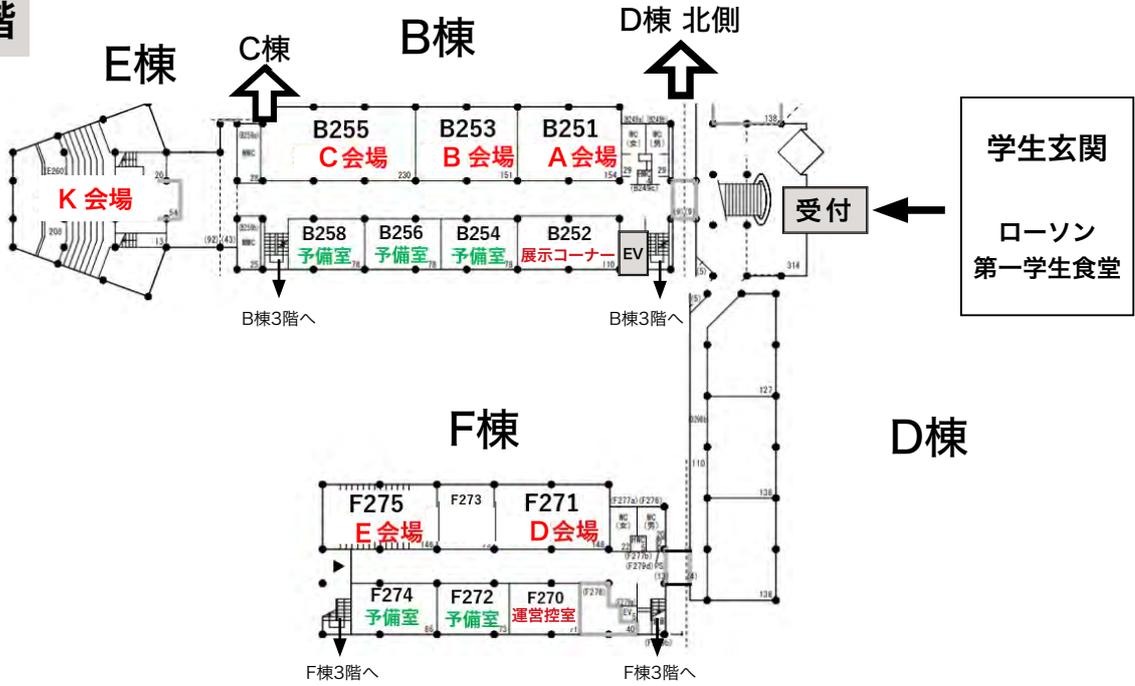
新潟大学キャンパスマップ



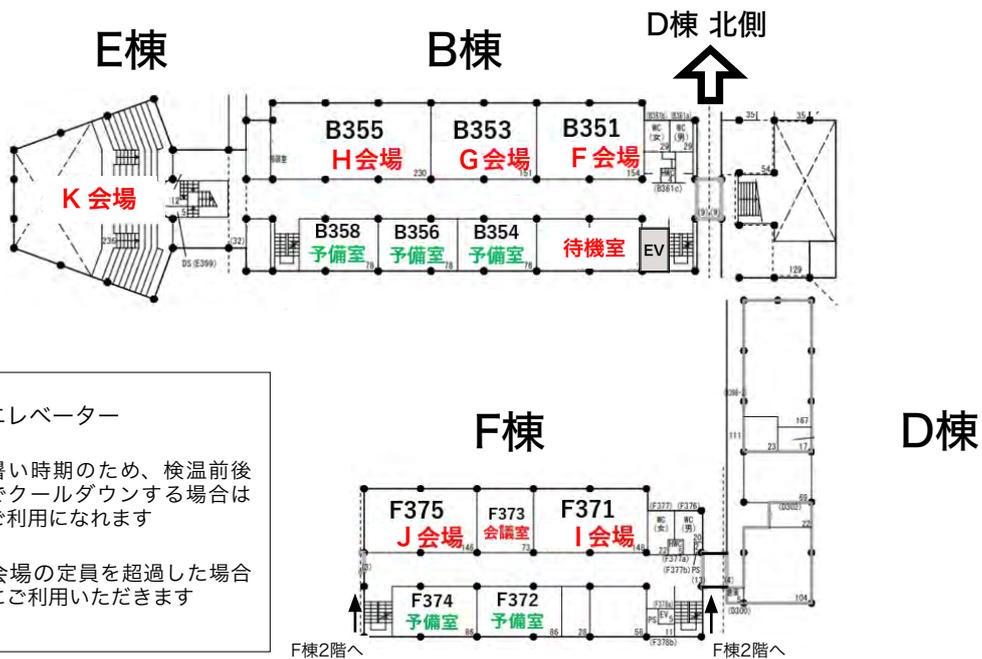
セッション会場のご案内

場所：五十嵐キャンパス 総合教育研究棟

2階



3階



座 長 一 覧 表

2022 年秋季年会

	9月13日(火)		9月14日(水)		9月15日(木)	
	10:30 - 12:40	14:00 - 16:10	09:30 - 11:40	13:00 - 15:40	09:30 - 11:40	13:00 - 15:10
A 会場	Q. 星間現象 佐野栄俊 (岐阜大学)	Q. 星間現象 霜田治朗 (名古屋大学)	Q. 星間現象 信川久美子 (近畿大学)	Q. 星間現象 田中孝明 (甲南大学)	P2. 原始惑星系円盤 田中佑希 (東北大学)	P2. 原始惑星系円盤 野村英子 (国立天文台)
B 会場	T. 銀河団 藤田裕 (東京都立大学)	V3. 観測機器 山岡和貴 (名古屋大学)	V3. 観測機器 小林翔悟 (東京理科大学)	V3. 観測機器 萩野浩一 (関東学院大学)	V3. 観測機器 深沢泰司 (広島大学)	V3. 観測機器 中澤知洋 (名古屋大学)
C 会場	Z2. JASMINE 馬場淳一 (国立天文台)	Z2. JASMINE 河田大介 (UCL)	Z2. JASMINE 河原創 (JAXA)	Z3. 銀河系中心 斉田浩見 (大同大学)	Z3. 銀河系中心 野田博文 (大阪大学)	Z3. 銀河系中心 西山正吾 (宮城教育大学)
D 会場	S. 活動銀河核 川勝望 (呉工業高等専門学校)	S. 活動銀河核 和田桂一 (鹿児島大学)	S. 活動銀河核 高橋真聡 (愛知教育大学)	N. 恒星・恒星進化 佐藤寿紀 (立教大学)	N. 恒星・恒星進化 本田敏志 (兵庫県立大学)	N. 恒星・恒星進化 田中周太 (青山学院大学)
E 会場	P1. 星形成 千秋元 (国立天文台)	P1. 星形成 徳田一起 (九州大学/国立天文台)	P1. 星形成 古屋玲 (徳島大学)	P1. 星形成 奥住聡 (東京工業大学)	R. 銀河 小麦真也 (工学院大学)	R. 銀河 江草英実 (東京大学)
F 会場	Z1. 地下天文学 石徹白晃治 (東北大学)	Z1. 地下天文学 鈴木英之 (東京理科大学)	V1. 観測機器 新沼浩太郎 (山口大学)	V1. 観測機器 今井裕 (鹿児島大学)	V1. 観測機器 中島拓 (名古屋大学)	V1. 観測機器 米倉覚則 (茨城大学)
G 会場	P3. 惑星系 増田賢人 (大阪大学)	P3. 惑星系 小玉貴則 (東京大学)	P3. 惑星系 小久保英一郎 (国立天文台)	V2. 観測機器 上塚貴史 (東京大学)	V2. 観測機器 大澤亮 (国立天文台)	V2. 観測機器 小谷隆行 (アストロイオロジーセンター)
H 会場	X. 銀河形成・進化 播金優一 (東京大学)	X. 銀河形成・進化 矢島秀伸 (筑波大学)	X. 銀河形成・進化 中島王彦 (国立天文台)	X. 銀河形成・進化 梅畑豪紀 (名古屋大学)	X. 銀河形成・進化 鳥羽儀樹 (国立天文台)	X. 銀河形成・進化 岡本崇 (北海道大学)
I 会場	M. 太陽 一本潔 (京都大学)	M. 太陽 庄田宗人 (東京大学)	M. 太陽 成影典之 (国立天文台)	M. 太陽 岩井一正 (名古屋大学)	U. 宇宙論 西澤淳 (岐阜聖徳学園大学)	U. 宇宙論 西道啓博 (京都大学)
J 会場	Y. 教育・広報・他 富田晃彦 (和歌山大学)	W. コンパクト天体 北本俊二 (立教大学)	W. コンパクト天体 根来均 (日本大学)	W. コンパクト天体 志達めぐみ (愛媛大学)	W. コンパクト天体 鈴木昭宏 (東京大学)	W. コンパクト天体 河合誠之 (東京工業大学)

口頭セッション 9月13日(火)

	A会場	B会場	C会場	D会場	E会場	F会場	G会場	H会場	I会場	J会場
開始時刻	星間現象	銀河団	JASMINE	活動銀河核	星形成	地下天文学	惑星系	銀河形成	太陽	教育・他
10:30	Q01a	T01a	Z201r	S01a	P101a	Z101r	P301a	X01a	M01a	Y01a
10:42	Q02a	T02a		S02a	P102a		P302a	X02a	M02a	Y02a
10:54	Q03a	T03a		S03a	P103a		P303a	X03a	M03a	Y03a
11:06	Q04a	T04a	Z202a	S04a	P104a	Z102r	P304a	X04a	M04a	Y04a
11:18	Q05a	T05a	S05a	P105a	P305a		X05a	M05a	Y05a	
11:30	Q06a	T06a	Z203a	S06a	P106a	Z103a	P306a	X06a	M06a	Y06a
11:42	Q07a	T07a	Z204a	S07a	P107a	Z104a	P307a	X07a	M07a	Y07a
11:54	Q08a	T08a		S08a	P108a	Z105a	P308a	X08b X09b X10b	M08a	Y08a
12:06	Q09a	T09a	Z205a	S09a	P109a	Z106a	P309a	X11b X12b X13b	M09b M10b M11b	Y09a
12:18	Q10b Q11b	-	Z206a	S10b S11b S12b	P110a	Z107b		P310a	X14b X15b X16b	M12b M13b M14b
12:30	-	-	-	S13b S14b	P111b P112b	-	-	X17b X18b X19b	-	-
12:40	昼休み									
開始時刻	星間現象	観測機器 (X線・γ線)	JASMINE	活動銀河核	星形成	地下天文学	惑星系	銀河形成	太陽	コンパクト 天体
14:00	Q12a	V301a	Z211r	S17a	P113a	Z109r	P311a	X21a	M18a	W01a
14:12	Q13a	V302a		S18a	P114a		P312a	X22a	M19a	W02a
14:24	Q14a	V303a		Z212a	S19a		P115a	Z110a	P313a	X23a
14:36	Q15a	V304a	Z213a	S20a	P116a	Z111a	P314a	X24a	M21a	W04a
14:48	Q16a	V305a		Z214a	S21a	P117a	Z112b	P315a	X25a	M22a
15:00	Q17a	V306a	Z215r	S22a	P118a	Z113a	P316a	X26a	M23a	W06a
15:12	Q18a	V307a		S23a	P119a	Z114b Z115b Z116b Z117b	P317b	X27a	M24a	W07a
15:24	Q19a	V308a		S24a	P120a	Z118a	-	X28a	M25a	W08a
15:36	Q20a	V309a	Z216a	S25a	P121a	Z119b	-	X29a	M26a	W09a
15:48	Q21a	V310b V311b V312b	Z217a	S26a	P122b P123b P124b	Z120a	-	X30a	M27a	W10a
16:00	Q22b	-	-	S27a	-	-	-	X31a	-	W11a
16:30	天文教育フォーラム									
18:30	理事会									

口頭セッション 9月14日(水)

	A会場	B会場	C会場	D会場	E会場	F会場	G会場	H会場	I会場	J会場
開始時刻	星間現象	観測機器 (X線・γ線)	JASMINE	活動銀河核	星形成	観測機器 (電波)	惑星系	銀河形成	太陽	コンパクト 天体
09:30	Q23a	V313a	Z218r	S28a	P125a	V101a	P320a	X32a	M28a	W12a
09:42	Q24a	V314a		S29a	P126a	V102a	P321a	X33a	M29a	W13a
09:54	Q25a	V315a		S30a	P127a	V103a	P322a	X34a	M30a	W14a
10:06	Q26a	V316a	Z219a	S31a	P128a	V104a	P323a	X35a	M31a	W15a
10:18	Q27a	V317a	Z220a	S32a	P129a	V105a	P324a	X36a	M32a	W16a
10:30	Q28a	V318a	Z221a	S33a	P130a	V106a	P325a	X37a	M33a	W17a
10:42	Q29a	V319a	Z222a	S34a	P131a	V107b V108b V109b	P326a	X38a	M34a	W18a
10:54	Q30a	V320a	Z223a	S35a	P132a	V110b V111b V112b	P327a	X39a	M35a	W19a
11:06	Q31a	V321a	Z224a	S36a	P133a	V113b V114b V115b	P328a	X40a	M36a	W20a
11:18	Q32a	V322b V323b	Z225b Z226b Z227b Z228b	S37a	P134b P135b P136b	V116b V117b	P329b P330b	X41a	M37a	W21a
11:40	昼休み(代議員総会)									
開始時刻	星間現象	観測機器 (X線・γ線)	銀河系中心	恒星進化	星形成	観測機器 (電波)	観測機器 (光赤・重)	銀河形成	太陽	コンパクト 天体
13:00	Q33a	V324a	Z301r	N01a	P137a	V119a	V201a	X42a	M38a	W23a
13:12	Q34a	V325a		N02a	P138a	V120a	V202a	X43a	M39a	W24a
13:24	Q35a	V326a	Z302a	N03a	P139a	V121a	V203a	X44a	M40a	W25a
13:36	Q36a	V327a	Z303a	N04a	P140a	V122a	V204a	X45a	M41a	W26a
13:48	Q37a	V328a	Z304r	N05a	P141a	V123a	V205a	X46a	M42a	W27a
14:00	Q38a	V329a		N06a	P142a	V124a	V206a	X47a	M43a	W28a
14:12	Q39a	V330a	Z305a	N07a	P143a	V125a	V207a	X48a	M44a	W29a
14:24	Q40a	V331a	Z306a	N08a	P144a	V126a	V208a	X49a	M45a	W30a
14:36	-	V332a	Z307a	N09a	P145a	V127a	V209a	X50a	M46a	W31a
14:48	-	V333a	Z308b Z309b Z310b Z311b	N10a	P146a	V128a	V210a	X51a	M47a	W32b W33b W34b
15:00	-	-	-	N11a	P147a	V129a	V211a	X52a	-	W35b W36b W37b
15:12	-	-	-	N12a	P148a	V130a	V212a	X53a	-	W38b W39b W40b
15:24	-	-	-	N13b N14b N15b	P149a	V131b	V213b V214b V215b	X54a	-	W41b W42b W43b
16:00	ポスター									
17:00	会員全体集会									

口頭セッション 9月15日(木)

	A会場	B会場	C会場	D会場	E会場	F会場	G会場	H会場	I会場	J会場
開始時刻	原始惑星系 円盤	観測機器 (X線・γ線)	銀河系中心	恒星進化	銀河	観測機器 (電波)	観測機器 (光赤・重)	銀河形成	宇宙論	コンパクト 天体
09:30	P201a	V334a	Z312r	N18a	R01a	V132a	V217a	X55a	U01a	W44a
09:42	P202a	V335a		N19a	R02a	V133a	V218a	X56a	U02a	W45a
09:54	P203a	V336a	Z313a	N20a	R03a	V134a	V219a	X57a	U03a	W46a
10:06	P204a	V337a	Z314a	N21a	R04a	V135a	V220a	X58a	U04a	W47a
10:18	P205a	V338a	Z315r	N22a	R05a	V136a	V221a	X59a	U05a	W48a
10:30	P206a	V339a		N23a	R06a	V137a	V222a	X60a	U06a	W49a
10:42	P207a	V340a	Z316a	N24a	R07a	V138a	V223a	X61a	U07a	W50a
10:54	P208a	V341a	Z317a	N25a	R08a	V139a	V224a	X62a	U08a	W51a
11:06	P209a	V342a	Z318a	N26a	R09a	V140a	V225a	X63a	U09a	W52a
11:18	P210a	V343a	Z319b Z320b Z321b Z322b	N27a	R10b R11b R12b	V141a	V226b V227b V228b	X64a	U10b U11b	W53a
11:30	P211a	-	-	-	-	-	V229b V230b V231b	X65a	-	-
11:42	P212b P213b	-	-	-	-	-	-	-	-	-
11:40	昼休み									
開始時刻	原始惑星系 円盤	観測機器 (X線・γ線)	銀河系中心	恒星進化	銀河	観測機器 (電波)	観測機器 (光赤・重)	銀河形成	宇宙論	コンパクト 天体
13:00	P214a	V344a	Z323r	N28a	R14a	V142a	V232a	X66a	U12a	W54a
13:12	P215a	V345a		N29a	R15a	V143a	V233a	X67a	U13a	W55a
13:24	P216a	V346a	Z324a	N30a	R16a	V144a	V234a	X68a	U14a	W56a
13:36	P217a	V347a	Z325a	N31a	R17a	V145a	V235a	X69a	U15a	W57a
13:48	P218a	V348a	Z326b Z327b Z328b Z329b Z330b Z331b Z332b	N32a	R18a	V146a	V236a	X70a	U16a	W58a
14:00	P219a	V349a	Z333r	N33a	-	-	V237a	X71a	U17a	W59a
14:12	P220a	V350a		N34a	-	-	V238a	X72a	U18a	W60a
14:24	P221a	-	Z334a	N35a	-	-	V239a	X73a	U19a	W61a
14:36	P222a	-		N36a	-	-	V240a	X74a	-	W62a
14:48	P223a	-	Z335a	-	-	-	V241b V242b V243b	X75a	-	-
15:00	P224a	-	-	-	-	-	V244b	X76a	-	-
15:30	ポスター									

※各セッション(午前/午後)の最後に質疑応答(10分)があります。

ポスターセッション 9月14日(水)・9月15日(木)

<p>【Z1. 地下天文学】(11)</p> <p>Z107b Z112b Z114b Z115b Z116b</p> <p>Z117b Z119b Z122c Z123c Z124c</p> <p>Z125c</p> <p>【Z2. JASMINE】(8)</p> <p>Z207c Z208c Z209c Z210c Z225b</p> <p>Z226b Z227b Z228b</p> <p>【Z3. 銀河系中心】(15)</p> <p>Z308b Z309b Z310b Z311b Z319b</p> <p>Z320b Z321b Z322b Z326b Z327b</p> <p>Z328b Z329b Z330b Z331b Z332b</p> <p>【M. 太陽】(9)</p> <p>M09b M10b M11b M12b M13b</p> <p>M14b M15c M16c M17c</p> <p>【N. 恒星・恒星進化】(5)</p> <p>N13b N14b N15b N16c N17c</p> <p>【P1. 星・惑星形成(星形成)】(8)</p> <p>P111b P112b P122b P123b P124b</p> <p>P134b P135b P136b</p> <p>【P2. 星・惑星形成(原始惑星系円盤)】(2)</p> <p>P212b P213b</p> <p>【P3. 星・惑星形成(惑星系)】(6)</p> <p>P317b P318c P319c P329b P330b</p> <p>P331c</p>	<p>【Q. 星間現象】(3)</p> <p>Q10b Q11b Q22b</p> <p>【R. 銀河】(4)</p> <p>R10b R11b R12b R13c</p> <p>【S. 活動銀河核】(7)</p> <p>S10b S11b S12b S13b S14b</p> <p>S15c S16c</p> <p>【T. 銀河団】(1)</p> <p>T10c</p> <p>【U. 宇宙論】(2)</p> <p>U10b U11b</p> <p>【V1. 観測機器(電波)】(13)</p> <p>V107b V108b V109b V110b V111b</p> <p>V112b V113b V114b V115b V116b</p> <p>V117b V118c V131b</p> <p>【V2. 観測機器(光赤外・重力波・その他)】(15)</p> <p>V213b V214b V215b V216c V226b</p> <p>V227b V228b V229b V230b V231b</p> <p>V241b V242b V243b V244b V245c</p> <p>【V3. 観測機器(X線・γ線)】(5)</p> <p>V310b V311b V312b V322b V323b</p>
--	---

ポスターセッション 9月14日(水)・9月15日(木)**【W. コンパクト天体】(13)****W22c W32b W33b W34b W35b****W36b W37b W38b W39b W40b****W41b W42b W43b****【X. 銀河形成・進化】(13)****X08b X09b X10b X11b X12b****X13b X14b X15b X16b X17b****X18b X19b X20c****【Y. 天文教育・広報普及・その他】(4)****Y10b Y11b Y12c Y13c**

Z1. 地下からの天文・宇宙観測

9月13日（火）午前・F会場		9月13日（火）午後・F会場	
10:30	Z101r 地下からのマルチメッセンジャー観測で迫る超新星爆発の最深部 諏訪雄大（東京大学）	14:00	Z109r 地下からのニュートリノ観測 清水格（東北大学）
10:58	Z102r 地下からの重力波観測ー大型低温重力波望遠鏡 KAGRAー 澤田崇広（大阪公立大学）	14:28	Z110a 物質優勢宇宙と二重ベータ崩壊 家城斉（東北大学）
11:26	Z103a 重力波望遠鏡 KAGRA における時刻同期システムの性能評価 押野翔一（東京大学）	14:40	Z111a Super-Kamiokande 検出器を用いた太陽からのニュートリノ観測 中野佑樹（東京大学）
11:38	Z104a Japanese Collaboration for Gravitational-Wave Electromagnetic Follow-up (J-GEM) 村田勝寛（東京工業大学）	14:52	Z112b 太陽ニュートリノによる太陽の形成・進化過程の制約 國友正信（久留米大学）
11:50	Z105a 地上からのフォローアップ観測：OISTER 野上大作（京都大学）	14:55	Z113a KamLAND における超新星爆発由来ニュートリノの探索と銀河系内星形成率への制限 永塚穂里（東北大学）
12:02	Z106a 重力波の非線形メカニズムに着目したデータ解析手法 武田芽依（大阪市立大学）	15:07	Z114b 超新星爆発からのニュートリノの長時間計算 森正光（東京大学）
12:14	Z107b 重力波検出器における突発性雑音の教師なし分類 高橋弘毅（東京都市大学）	15:10	Z115b 超新星爆発における原始中性子星の冷却過程で観測されるニュートリノ事象の研究 中西史美（岡山大学）
12:17	Z108a 地下からの重力波観測と連星ブラックホールの軌道離心率 谷川衝（東京大学）	15:13	Z116b 反応率のエネルギー依存性がニュートリノ集団振動の非線形進化に与える影響の調査 加藤ちなみ（東京理科大学）
12:29	質疑応答（10分）	15:16	Z117b KamLANDによる前兆ニュートリノを用いた超新星アラームシステムの現状と展望 石徹白晃治（東北大学）
		15:19	Z118a 超新星背景ニュートリノで探る大質量星の最期 中里健一郎（九州大学）
		15:31	Z119b KamLAND における原始ブラックホールからのニュートリノ探索 中村稜（東北大学）
		15:34	Z120a ハイパーカミオカンデにおける天体ニュートリノ観測 矢野孝臣（東京大学）

Z2. JASMINE が切り拓く近赤外時系列位置・
測光天文学

15:46	<p>Z121a Paleo-detector の開発 廣瀬重信 (海洋研究開発機構)</p> <p>Z122c 親星の構造データからニュートリノ放出量を評価するモデルの改良に向けて 本間卓磨 (東京理科大学)</p> <p>Z123c 超新星背景ニュートリノの計算に向けた種族合成計算コードの改良について 小川翔平 (東京理科大学)</p> <p>Z124c The Super-Kamiokande Pre-Supernova Alert System Lucas Nascimento Machado (University of Naples Federico II)</p> <p>Z125c SK-Gd 実験の現状と展望 小汐由介 (岡山大学)</p>	<p>9月13日 (火) 午前・C会場</p> <p>10:30 Z201r JASMINE 計画 郷田直輝 (国立天文台)</p> <p>11:00 Z202a JASMINE のシステム概要 片坐宏一 (宇宙航空研究開発機構)</p> <p>11:24 Z203a JASMINE のデータ解析 山田良透 (京都大学)</p> <p>11:48 Z204a JASMINE による銀河系中心考古学 河田大介 (University College London, Mullard Space Science Laboratory)</p> <p>12:00 Z205a PRIME 望遠鏡を用いた銀河系バルジにあるミラ型変光星探査の検討 松永典之 (東京大学)</p>
15:58	<p>質疑応答 (10分)</p>	<p>12:12 Z206a JASMINE による系外惑星探査 河原創 (東京大学)</p> <p>Z207c JASMINE の観測波長と観測データについての見直し検討 矢野太平 (国立天文台)</p> <p>Z208c JASMINE ・カメラシステムの開発検討 鹿野良平 (国立天文台)</p> <p>Z209c JASMINE 望遠鏡光学系 : 変遷と現在ノミナルモデル 鹿島伸悟 (国立天文台)</p> <p>Z210c JASMINE 衛星の運用・地上系の概念検討 磯部直樹 (宇宙航空研究開発機構)</p> <p>12:24 質疑応答 (10分)</p>

9月13日(火) 午後・C会場		9月14日(水) 午前・C会場	
14:00	Z211r 銀河系中心核ディスクと中心核星団の起源と近赤外線サーベイ計画 西山正吾(宮城教育大学)	09:30	Z218r スペース・地上近赤外線観測から迫る太陽系外惑星 小谷隆行(アストロバイオロジーセンター/国立天文台/総合研究大学院大学)
14:30	Z212a JASMINEによる強吸収領域における集団的星形成の研究 西亮一(新潟大学)	10:00	Z219a M型星周りの水惑星存在度に関する惑星形成論的予測 木村真博(東京大学)
14:42	Z213a 銀河系中心電波源 astrometryに基づくJASMINEとの連携計画 今井裕(鹿児島大学)	10:12	Z220a 系外惑星大気赤外分光観測衛星計画 Ariel 生駒大洋(国立天文台)
14:54	Z214a 位置天文観測と天の川銀河のN体シミュレーションの比較 朝野哲郎(東京大学)	10:24	Z221a JASMINE衛星による精密測光観測II 平野照幸(アストロバイオロジーセンター/国立天文台)
15:06	Z215r 2020年代後半の重力マイクロレンズ探査とJASMINEの位置付け 越本直季(NASAゴダード宇宙飛行センター/メリーランド大学)	10:36	Z222a 精密測光・位置天文に向けた新しいフラット補正技術と検出器特性精密測定方法の開発 多田将太郎(総合研究大学院大学)
15:36	Z216a Gaiaによるブラックホール連星探査への理論予想とJASMINEへの期待 鹿内みのり(東京大学)	10:48	Z223a JASMINEによる星団領域の若い惑星探査 宮川浩平(国立天文台)
15:48	Z217a JASMINEで切り開く天の川銀河面拡散X線放射構成種族の解明 森鼻久美子(名古屋大学)	11:00	Z224a 連続高精度測光で大質量X線連星を探る 河合誠之(東京工業大学)
16:00	質疑応答(10分)	11:12	Z225b JASMINEによる褐色矮星の光度変動観測 川島由依(理化学研究所)
		11:16	Z226b JASMINEによるM型矮星まわりのトランジット惑星探査の検討 増田賢人(大阪大学)
		11:20	Z227b Stellar spin-down relations from young cluster observations of JASMINE 野津湧太(コロラド大学/東京工業大学)
		11:24	Z228b PRIME望遠鏡による星団領域のトランジット系外惑星探査 宮崎翔太(大阪大学)
		11:28	質疑応答(10分)

Z3. 銀河系中心研究の新展開

9月14日(水) 午後・C会場		9月15日(木) 午前・C会場	
13:00	Z301r Sgr A*に関する現状の理解と今後の展望 岩田悠平(国立天文台)	09:30	Z312r 銀河系中心巨大ブラックホールによる 重力理論の探査 齊田浩見(大同大学)
13:24	Z302a ブラックホールジェットの地平面近傍の 電波放射機構: Sgr A* で見えない理由 木村成生(東北大学)	09:54	Z313a EHTによるSgr A*の観測成果 VI: ブラック ホール計量の検証 水野陽介(上海交通大学)
13:36	Z303a 銀河系中心 Sgr A* の偏光画像から探 る磁場構造、および活動銀河核ジェット 駆動機構解明へのシナジー 恒任優(京都大学)	10:06	Z314a ブラックホール周辺のダークマター分布 における近点移動 伊形尚久(学習院大学)
13:48	Z304r EHTによるSgr A*の観測成果 I: Overview 森山小太郎(ゲーテ大学)	10:18	Z315r 位置天文観測による天の川銀河バルジ の複合構造の理解の現状と展望 馬場淳一(国立天文台)
14:12	Z305a EHTによるSgr A*の観測成果 II: EHT に同期した多波長観測キャンペーン 秦和弘(国立天文台)	10:42	Z316a 天の川銀河棒状構造が引き起こす銀河 中心へのガス供給 松井秀徳(旭川工業高等専門学校)
14:24	Z306a EHTによるSgr A*の観測成果 III: Sgr A* のブラックホールシャドウの画像化 小藤由太郎(東京大学)	10:54	Z317a 銀河中心ブラックホール近傍における 共鳴緩和 船渡陽子(東京大学)
14:36	Z307a EHTによるSgr A*の観測成果 V: 銀河中 心ブラックホールの降着流モデルの検証 川島朋尚(東京大学)	11:06	Z318a TMT 第一期観測装置 IRIS を用いた銀 河系中心部におけるアストロメトリ 鈴木竜二(国立天文台)
14:48	Z308b EHTによるSgr A*の観測成果 IV: ブラック ホールシャドウの形状と物理パラメータ 笹田真人(東京工業大学)	11:18	Z319b 銀河系中心巨大ブラックホール近傍の 晩期型巨星の起源の研究 西山正吾(宮城教育大学)
14:51	Z309b 東アジアVLBI 観測網で探る Sgr A* 画像 への星間散乱の影響 紀基樹(工学院大学/国立天文台)	11:21	Z320b 銀河中心の恒星分布の進化の N 体 シミュレーションによる研究 堀口直人(神戸大学)
14:54	Z310b ALMA Archive Data を用いた銀河系中心 核 Sgr A* の光度変動解析 柳原一輝(慶應義塾大学)	11:24	Z321b 銀河系バルジ領域に最適化した種族合 成モデルの開発 越本直季(NASAゴダード宇宙飛行セン ター/メリーランド大学)
14:57	Z311b Sgr A*・1.3 ミリメートル波電波の時間変動の 周期性確認とデカメートル電波パルス観測 に基づく超巨大ブラックホールバイナリー の存在 大家寛(東北大学)	11:27	Z322b 銀河系中心における近赤外線高頻度 撮像サーベイ: PRIME 望遠鏡の進捗お よび将来計画 鈴木大介(大阪大学)
15:00	質疑応答(10分)	11:30	質疑応答(10分)

9月15日(木) 午後・C会場		14:45	Z335a 銀河系中心の高速度分子雲 CO 0.02-0.02 領域の X 線天体の調査 石渡幸太(大阪大学)
13:00	Z323r 銀河系中心分子層に発見された高速度コンパクト雲 岡朋治(慶應義塾大学)	14:57	質疑応答(10分)
13:24	Z324a Joint Analysis of Proper Motion and Radial Velocity of GCIRS13E; New Mass Estimation of the IMBH Candidate Masato Tsuboi (ISAS/JAXA)		
13:36	Z325a 銀河系中心核近傍の超小型高速度コンパクト雲 竹川俊也(神奈川大学)		
13:48	Z326b 銀河系中心部における分子雲衝突と誘発される星形成 榎谷玲依(慶應義塾大学)		
13:51	Z327b 銀河系中心分子層東端に位置する特異分子雲 G1.6-0.025 の観測的研究 児島友里(慶應義塾大学)		
13:54	Z328b 野辺山 45 m 鏡による銀河系中心衝撃波領域の広域イメージング観測 竹川俊也(神奈川大学)		
13:57	Z329b 銀河系中心分子層外縁部に発見された高速度コンパクト雲 CO 1.62+0.25 の観測的研究 中村太一(慶應義塾大学)		
14:00	Z330b 銀河系中心領域に発見された特異分子雲 “Tadpole” の観測的研究 金子美由起(慶應義塾大学)		
14:03	Z331b 銀河系バルジ領域における磁気活動が星間ガスの動熱力学に与える影響 柿内健佑(名古屋大学)		
14:06	Z332b ALMA による銀河系中心 Circumnuclear Disk 内外の降着流の観測 田中邦彦(慶應義塾大学)		
14:09	Z333r すざく、XRISM で探る銀河系中心領域の拡散 X 線放射 信川正順(奈良教育大学)		
14:33	Z334a 巨大分子雲 Sgr B2 からの He-like 鉄輝線放射と高速度コンパクト雲 田中優貴子(京都大学)		

M. 太陽

9月13日(火) 午前・I会場		12:18	M13b 京都大学飛騨天文台 SMART/SDDI を用いた“星としての太陽活動現象”と H α スペクトルの対応に関する研究 III 大津天斗(京都大学)
10:30	M01a 太陽型星の恒星風スケーリング則 庄田宗人(東京大学)		
10:42	M02a A Geo-coronal Solar Wind Charge Exchange Event Associated with the 2006-Dec-13 CME-driven Shock Detected by Suzaku Satellite Yu Zhou (JAXA/ISAS)	12:18	M14b Sun-as-a-star Analysis of H α Spectra of a Solar Flare Observed by SMART/SDDI: Time Evolution of Red Asymmetry and Line Broadening 行方宏介(国立天文台)
10:54	M03a ISEE と LOFAR の IPS 観測データを統合した CME の MHD シミュレーション 岩井一正(名古屋大学)		M15c DST 偏光分光観測装置を用いた He I 10830 Å によるプロミネンスの磁場観測 橋本裕希(京都大学)
11:06	M04a 太陽周期活動に伴う太陽風速度変化の確率予測 辻村穂高(名古屋大学)		M16c Development and Future of DST Spectro-Polarimeter at Hida Observatory Huang Yuwei (Kyoto University)
11:18	M05a アルフベン波駆動の太陽風における縦波擾乱の重要性 鈴木建(東京大学)		M17c GAIA による太陽フレア放射スペクトルの通信障害への影響評価 北島慎之典(防衛大学校)
11:30	M06a 粒子到達時間の長い太陽高エネルギー粒子イベントに関する詳細解析 木原孝輔(京都大学)	12:30	質疑応答(10分)
11:42	M07a Magnetic flux-line irradiance scaling laws for the Sun and Sun-like stars 鳥海森(宇宙航空研究開発機構)		
11:54	M08a XUV Spectra of Active Solar-like Stars: Extension of Solar Empirical Laws 行方宏介(国立天文台)		
12:06	M09b 三鷹における光学試験環境の構築について - 近赤外域での太陽撮像によるフィルター試験 - 伊集朝哉(国立天文台)		
12:06	M10b 活動領域 NOAA12887 におけるフィラメント噴出を伴う X1.0 フレアのデータ拘束型磁気流体シミュレーション 山崎大輝(京都大学)		
12:06	M11b 人工衛星の軌道変化の解析による宇宙天気現象としての太陽フレアの影響 野澤恵(茨城大学)		
12:18	M12b せいめい望遠鏡によるK型星BF Lynのスーパーフレアの高時間分解能分光観測 前原裕之(国立天文台)		

9月13日(火) 午後・I会場		9月14日(水) 午前・I会場	
14:00	M18a コロナ加熱における彩層温度の影響 鷲ノ上遥香(東京大学)	09:30	M28a Constrained-Transport 磁気流体力学 緩和法における境界電場補正 三好隆博(広島大学)
14:12	M19a 機械学習による太陽輝点の自動検出手 法の比較 渡邊健斗(新潟大学)	09:42	M29a おひつじ座 UX 星で起こった巨大フレア のせいめい及び MAXI による同時観測 那波咲良(中央大学)
14:24	M20a Hinode/EIS を使ったコロナループの加熱 分布についての研究 石神瞬(総合研究大学院大学)	09:54	M30a 白色光/H α 線同時観測による恒星スー パーフレア中の短周期 QPP の検出 浪崎桂一(京都大学)
14:36	M21a 電子密度診断に用いる Mg VII 輝線強度 比の衝突輻射モデルの構築、及び評価 神原永昌(総合研究大学院大学)	10:06	M31a RS CVn 型連星におけるスーパーフレア に伴う高速プロミネンス噴出 井上峻(京都大学)
14:48	M22a 自己相似磁気リコネクションモデルの数 値的研究 新田伸也(筑波技術大学)	10:18	M32a M 型星フレアの彩層線輝線輪郭の青方 偏移現象 II: NICER での X 線同時観測 野津湧太(コロラド大学/東京工業大学)
15:00	M23a 豊川強度偏波計プロットデータ(1958年 -1978年)のデジタル化と過去の大フレア の規模推定 増田智(名古屋大学)	10:30	M33a 磁気トルネードによるコロナへの突発的 エネルギー輸送 国吉秀鷹(東京大学)
15:12	M24a オートエンコーダによるデータ圧縮を用 いた太陽フレア予測モデルの開発 田所拓馬(新潟大学)	10:42	M34a 狭帯域チューナブルフィルターを用いた H α /HeI 1083nm 同時撮像分光による彩 層ダイナミクスの観測 一本潔(京都大学)
15:24	M25a 野辺山電波ヘリオグラフを用いたフレア に伴う電子の加速・伝搬過程 松本圭太郎(名古屋大学)	10:54	M35a 深層学習によるフィラメント自動検出に おける分割問題の解消 安藤秀一(新潟大学)
15:36	M26a γ 線天文衛星 Fermi を用いた太陽フレア の Time-of-Flight 解析 矢倉昌也(名古屋大学)	11:06	M36a A Fast-filament Eruption Observed in the H α Line: Imaging Spectroscopy Diagnostic and Modeling Denis Pavel Cabezas (Kyoto University)
15:48	M27a Comparison on Ca II 8542 Å synthetic Stokes profile between magnetic reconnection and shock wave in simulated Solar chromosphere ZHOU Xinyu (The University of Tokyo)	11:18	M37a 飛騨天文台 DST 搭載の赤外カメラ評価 と垂直分光器を用いた He I 10830 Å に よるダークフィラメントの偏光観測 山崎大輝(京都大学)
16:00	質疑応答(10分)	11:30	質疑応答(10分)

N. 恒星・恒星進化

9月14日(水) 午後・I会場		9月14日(水) 午後・D会場	
13:00	M38a 高感度太陽紫外線分光観測衛星 Solar-C(EUVST)の最新状況(2022年/秋) 清水敏文(宇宙航空研究開発機構)	13:00	N01a 重力崩壊型超新星の3次元 MHD 計算に基づく中性子星諸量の分布 中村航(福岡大学)
13:12	M39a SUNRISE-3 大気球太陽観測実験:フライト観測速報 久保雅仁(国立天文台)	13:12	N02a 非平衡左巻きニュートリノがもたらす磁場の逆カスケードメカニズム 松本仁(慶應義塾大学)
13:24	M40a 磁気リコネクションに伴う粒子加速の理解を目指す衛星計画 PhoENiX の進捗報告(2022年秋) 成影典之(国立天文台)	13:24	N03a 重力崩壊型超新星爆発における速いニュートリノ振動の元素合成への影響 藤本信一郎(熊本高等専門学校)
13:36	M41a 太陽差動回転生成に重要な乱流の空間スケールの調査 森敬都(千葉大学)	13:36	N04a 時間進化の遅い IIb 型超新星 SN 2019 tua の測光分光観測 中岡竜也(広島大学)
13:48	M42a 対流層全球計算内で働く α 効果の抑制 畠田遼太(東京大学)	13:48	N05a A peculiar Type Ia supernova with subluminescent and high-velocity features 山中雅之(京都大学)
14:00	M43a 数値シミュレーションと機械学習による太陽対流層の内部推定 正木寛之(千葉大学)	14:00	N06a 極めて明るい特異な Ia 型超新星 SN 2020hvf の長期観測 川端美穂(京都大学)
14:12	M44a 深層学習による太陽高解像度画像の復元:補償光学を考慮した検証 福満翔(東京大学/国立天文台)	14:12	N07a II/IIIn 型超新星の光度曲線サンプルとモデル解析 平松大地(Center for Astrophysics Harvard & Smithsonian)
14:24	M45a 多波長分光観測による光球振動のエネルギー輸送 松田有輝(京都大学)	14:24	N08a Ia 型超新星のスペクトル細分類ごとの光度曲線の多様性 越諒太郎(東京大学)
14:36	M46a SMART/SDDI および DST による太陽大気における波動の伝播と磁場との関係の観測的研究 白戸春日(京都大学)	14:36	N09a 超新星コアにおける停滞衝撃波を伴う定常降着流構造への一般相対論効果の影響 澤田涼(東京大学)
14:48	M47a 磁化プラズマ中の 2 種類の電場の役割 柴崎清登(太陽物理学研究所)	14:48	N10a 星の重力崩壊計算のための一般相対論的ボルツマン輻射流体コードの開発 原田了(理化学研究所)
15:00	質疑応答(10分)	15:00	N11a 星周物質と相互作用する超新星のスペクトル計算:星周物質構造が水素ライン形状へ与える影響 石井彩子(山形大学)
		15:12	N12a 白色矮星連星合体で生じた残骸 J005311 は SN 1181 の残骸か? 黄天鋭(東京大学)

15:24	N13b	新たなセフィイドに対する近赤外組成測定にもとづく銀河系円盤研究の検討 松永典之(東京大学)	9月15日(木) 午前・D会場
15:24	N14b	可視光分光装置 MALLS とトリウム 5989 Å の吸収線による恒星の組成調査 古塚来未(兵庫県立大学)	
15:24	N15b	ダスト過剰な OH/IR 星に付随する H ₂ O メーザーを用いた VERA による年周視差計測 中川亜紀治(鹿児島大学)	
	N16c	赤色超巨星をトレーサーとした系外銀河の化学組成研究に向けて一太陽近傍天体を用いた解析手法の試験 谷口大輔(東京大学)	
	N17c	アクシオンを考慮した重力崩壊型超新星爆発の親星依存性 高田剣(福岡大学)	
15:36		質疑応答(10分)	
09:30	N18a	超新星爆発の初期放射で探る爆発直前の大質量星の姿 村井結太(東北大学)	
09:42	N19a	超新星残骸観測で探る大質量星の後期進化における物質混合 佐藤寿紀(立教大学)	
09:54	N20a	差動回転の効果を加味した低質量星の自転進化モデルの検証 徳野鷹人(東京大学)	
10:06	N21a	恒星風を伴う低質量星への Hoyle-Lyttleton 降着 田中周太(青山学院大学)	
10:18	N22a	μ Cep からの磁気駆動風 保田悠紀(北海道大学)	
10:30	N23a	星震学的解析を用いた太陽型星全球熱対流計算の検証 八田良樹(名古屋大学)	
10:42	N24a	大規模シミュレーションで解明した「反太陽型の差動回転は存在しない」可能性 堀田英之(千葉大学)	
10:54	N25a	太陽型星の自転に伴う光度変動の振幅と自転周期・年齢の関係 増田賢人(大阪大学)	
11:06	N26a	H α 線の長期モニタリングによる τ Boo の磁気活動性 李尚姫(東京工業大学)	
11:18	N27a	F型主系列星のコロナ放射の系統的解析と G型星との観測的比較 三石郁之(名古屋大学)	
11:30		質疑応答(10分)	

P1. 星・惑星形成(星形成)

9月15日(木) 午後・D会場		9月13日(火) 午前・E会場	
13:00	N28a 近赤外線スペクトル解析による金属欠乏星のケイ素・ストロンチウム組成 青木和光(国立天文台)	10:30	P101a 星団形成領域 GGD12-15 の観測 下井倉ともみ(大妻女子大学)
13:12	N29a 明るい金属欠乏星の狭帯域測光探査および中分散分光追観測 岡田寛子(甲南大学)	10:42	P102a ALMA 望遠鏡で探る Monoceros R2 における大質量星形成 鈴木大誠(大阪公立大学)
13:24	N30a 回転する白色矮星の擬似的進化計算 小形美沙(早稲田大学)	10:54	P103a eQ NRO45 observations of the G358.93-0.03 high-mass star forming region Burns Ross Alexander (NAOJ)
13:36	N31a LAMOST/Subaru 望遠鏡によって発見された r プロセス過剰な金属欠乏星の化学組成 本田敏志(兵庫県立大学)	11:06	P104a 低金属量大質量星形成領域 Sh2-209 における CO マッピング観測 泉奈都子(ASIAA)
13:48	N32a 大質量星コアの単調性 高橋亘(東北大学)	11:18	P105a BISTRO Project Status (12) 古屋玲(徳島大学)
14:00	N33a RV Tau 型変光星 R Sct の SiO メーザー: 17 年後の再観測 山村一誠(宇宙航空研究開発機構)	11:30	P106a 連星軌道の進化: 磁場による多様な連星間距離を持つ連星系の形成過程 松本倫明(法政大学)
14:12	N34a 銀河面からの軟 X 線背景放射 (9) 安福千貴(名古屋大学)	11:42	P107a ALMA fragmented source identification in OMC-2 north 佐藤亜紗子(九州大学)
14:24	N35a WR140 の X 線分光解析による衝撃波プラズマの物理状態の解明 宮本明日香(東京都立大学)	11:54	P108a ALMA アーカイブデータを用いた太陽系近傍星形成領域における原始星アウトフローの統計的研究 (5): Ophiucus 領域内における原始星周辺のガス構造 山崎駿(九州大学)
14:36	N36a WR125 の中間赤外線スペクトルにおける幅広い $8\mu\text{m}$ 未同定赤外バンドの検出 遠藤いずみ(東京大学)	12:06	P109a Multiple Asymmetric Infalling Filaments Discovered in a Class 0 Protostar Yao-Lun Yang (RIKEN)
14:48	質疑応答(10分)	12:18	P110a Class I 低質量原始星天体 Elias 29 の円盤構造における落下運動の可能性 大屋瑤子(東京大学)
		12:30	P111b 周期的な強度変動を示す 6.7GHz メタノールメーザーに対するなゆた望遠鏡を用いた近赤外線モニター観測 I 田辺義浩(茨城大学)
		12:30	P112b R CrA 領域における若い超低質量天体の近赤外分光観測 金井昂大(埼玉大学)
		12:42	質疑応答(10分)

9月13日(火) 午後・E会場		9月14日(水) 午前・E会場	
14:00	P113a 超コンパクト HII 領域 W49A Source A2 の膨張電離リング 宮脇亮介(桜美林大学)	09:30	P125a 降着期における乱流磁場増幅とその初代星連星形成への影響 定成 健児エリック(東北大学)
14:12	P114a 磁気流体シミュレーションで探る Class 0/I 原始星形成領域 平野信吾(東京大学)	09:42	P126a 初代星形成シミュレーション: 長距離大質量連星の形成 杉村和幸(京都大学)
14:24	P115a ダストの運動を考慮した星周円盤分裂の金属量依存性 松木場亮喜(京都大学)	09:54	P127a 初代星形成における大質量原始星輻射流体計算に向けて 木村和貴(京都大学)
14:36	P116a eQ 受信機を用いた近傍星形成領域 TMC-1 の観測 中村文隆(国立天文台)	10:06	P128a 宇宙最初の cold accretion の発現と超大質量星形成の可能性 喜友名正樹(京都大学)
14:48	P117a NLTE Analysis of SO in Star-forming Regions Ziwei E. Zhang (RIKEN)	10:18	P129a 初代星の超新星噴出物の構造が金属欠乏星の元素組成に与える影響 千秋元(国立天文台)
15:00	P118a ALMA 分子輝線観測で迫る低質量 Class 0 原始星天体 IRAS15398-3359 の円盤 H ₂ O, CO ₂ スノーライン 野津翔太(理化学研究所)	10:30	P130a 低金属環境における初期質量関数と輻射フィードバックの影響 鄭昇明(東北大学)
15:12	P119a 低質量原始星 B335 における CH ₃ OH の重水素化物 大小田結貴(東京大学)	10:42	P131a 活動銀河核広輝線領域の [Fe/Mg] 組成比から迫る銀河中心初期質量関数 豊内大輔(東京大学)
15:24	P120a 星間衝撃波により形成される圧縮層の化学進化 小道雄斗(東京大学)	10:54	P132a 近傍渦巻銀河における巨大分子雲の進化 出町史夏(名古屋大学)
15:36	P121a Observational Evidence for Cyanopolyynes Chemistry around High-Mass Stars 谷口琴美(国立天文台)	11:06	P133a 球状星団形成期の星の合体と超大質量星形成 藤井通子(東京大学)
15:48	P122b Chemical Survey Observations toward Intermediate-Mass Protostars 谷口琴美(国立天文台)	11:18	P134b 分子雲コアの収縮におけるダストの成長破壊と非理想磁気流体効果への影響 川崎良寛(九州大学)
15:48	P123b 星なし分子雲の赤外線観測 伊藤洋一(兵庫県立大学)	11:18	P135b 磁化したフィラメント状分子雲における分子雲コア角運動量の進化 三杉佳明(名古屋大学)
15:48	P124b 前主系列星の彩層活動と黒点による光度変化の調査 山下真依(兵庫県立大学)	11:18	P136b 回転と磁場が星団形成過程に与える影響 木下真一(東京大学)
16:00	質疑応答(10分)	11:30	質疑応答(10分)

9月14日(水)午後・E会場		15:24	P149a HIガス衝突による大質量星団形成における星形成フィードバック効果の影響 前田龍之介(名古屋大学)
13:00	P137a ALMAによる大マゼラン雲大質量原始星に付随する高密度分子ガスの観測(1) 原田直人(九州大学)	15:36	質疑応答(10分)
13:12	P138a ALMAによる大マゼラン雲大質量原始星に付随する高密度分子ガスの観測(2): 星団形成初期段階 N159W-North 大質量クランプの特徴 徳田一起(九州大学/国立天文台)		
13:24	P139a マゼラン雲金属量環境での分子雲形成 小林将人(国立天文台)		
13:36	P140a YSOの系統的観測で探る大マゼラン雲の星形成活動 國生拓摩(名古屋大学)		
13:48	P141a 大マゼラン雲におけるO型星アソシエーションの形成 立原研悟(名古屋大学)		
14:00	P142a フィラメント分子雲の力学進化における偏波構造 吹原瑤(鹿児島大学)		
14:12	P143a 星形成フィラメント進化過程解明に向けたMHDシミュレーション 安部大晟(名古屋大学)		
14:24	P144a 磁場に貫かれたフィラメント状分子雲同士の衝突進化シミュレーション 柏木頼我(国立天文台/総合研究大学院大学)		
14:36	P145a ダスト連続波を用いて分子雲コアの質量関数を導出する方法 竹村英晃(総合研究大学院大学/国立天文台)		
14:48	P146a 分子雲コアの周辺環境の違いによる質量降着率と星形成効率の変化 野崎信吾(九州大学)		
15:00	P147a Corona Australis 分子雲 IRS7 領域における分子雲コアの性質と星団形成 深谷直史(名古屋大学)		
15:12	P148a The most massive cores in the 70 μm -dark massive clumps 森井嘉穂(東京大学)		

P2. 星・惑星形成(原始惑星系円盤)

9月15日(木) 午前・A会場		11:42	P213b 原始惑星系円盤の初期進化段階における宇宙線強度とダスト量の影響 小林雄大(鹿児島大学)
09:30	P201a Early Planet Formation in Embedded Disks (eDisk): First-look results of CB68 城戸未宇(鹿児島大学)	11:54	質疑応答(10分)
09:42 P202a Early Planet Formation in Embedded Disks (eDisk): First-look results of IRAS 16253-2429 麻生有佑(韓国天文研究院)		9月15日(木) 午後・A会場	
09:54	P203a Early Planet Formation in Embedded Disks (eDisk): First-look results of L1489 IRS 大和義英(東京大学)	13:00	P214a 大局的非理想磁気流体シミュレーションから明らかにする原始惑星系円盤の温度構造 森昇志(東北大学)
10:06	P204a Class I 原始星 L1489 における円盤形成初期のダスト成長と構造形成 大橋聡史(理化学研究所)	13:12	P215a 円盤風を考慮した原始惑星系円盤ガス面密度進化の1次元モデル 瀧哲朗(国立天文台)
10:18	P205a Cloudlet Capture Model for the Streamer Associated with DG Tau 花輪知幸(千葉大学)	13:24	P216a 原始惑星系円盤ガスにおける C, N, O 元素の枯渇 古家健次(国立天文台)
10:30	P206a 表層で降着する原始惑星系円盤におけるダスト濃縮 奥住聡(東京工業大学)	13:36	P217a 前期褐色矮星 ISO-Oph 200 周囲の原始惑星系円盤 武藤恭之(工学院大学)
10:42	P207a 円盤鉛直シア乱流下のダストの沈澱と拡散: 平衡状態はあるか? 福原優弥(東京工業大学)	13:48	P218a Subaru/HDS を用いたスペクトロ・アストロメトリによる形成中の惑星探査 吉田有宏(総合研究大学院大学/国立天文台)
10:54	P208a ダストの衝突破壊における破片の質量分布と衝突速度と質量比の関係性 長谷川幸彦(東京大学)	14:00	P219a 原始惑星系円盤形成過程における自己重力的分裂過程 高橋実道(国立天文台)
11:06	P209a 原始惑星系円盤におけるシリケートダストの運動: 彗星中のシリケート結晶化率の推定 岡本珠実(東京工業大学)	14:12	P220a ダストから惑星までの統一シミュレーション: 円盤温度とダスト密度依存性 小林浩(名古屋大学)
11:18	P210a 付着 N 体計算で探るダスト集合体のせん断強度と内部構造変化 辰馬未沙子(東京工業大学)	14:24	P221a 重い微惑星円盤内で成長する原始木星への微惑星集積 柴田翔(チューリッヒ大学)
11:30	P211a 固体小惑星を起源とする周白色矮星円盤の降着進化 奥谷彩香(国立天文台)	14:36	P222a 惑星への質量降着過程を考慮した超木星質量惑星のギャップ形成とそのパラメータ依存性 田中佑希(東北大学)
11:42	P212b 原始惑星系円盤における乱流とダスト成長 河原昌平(筑波大学)	14:48	P223a 断熱的な原始惑星系円盤中の惑星ギャップに付随する微小構造 小野智弘(東京工業大学)

P3. 星・惑星形成(惑星系)

<p>15:00</p> <p>15:12</p>	<p>P224a PDS 70 c の周惑星円盤内で進化する ダストからの熱放射 芝池諭人(ベルン大学)</p> <p>質疑応答(10分)</p>	<p>9月13日(火) 午前・G会場</p> <p>10:30 P301a 原始惑星の重力散乱と衝突合体によつて形成される惑星系の軌道構造 II 小久保英一郎(国立天文台)</p> <p>10:42 P302a ペブル集積で形成される原始惑星の自転: 原始惑星周りの複雑なガス流の影響 高岡航輔(東京工業大学)</p> <p>10:54 P303a 微惑星衝突に伴う固体蒸発量とその状態方程式依存性の検証 宮山隆志(名古屋大学)</p> <p>11:06 P304a 巨大衝突後の惑星大気の長期安定性および大気組成への影響 黒崎健二(名古屋大学)</p> <p>11:18 P305a M型星周りにおける地球型大気の保持の可能性 中山陽史(立教大学)</p> <p>11:30 P306a 潮汐固定された系外地球型惑星の気候と表面水分布の関係 小玉貴則(東京大学)</p> <p>11:42 P307a 初期地球の冥王代初期および後期における表面放射線量 山敷庸亮(京都大学)</p> <p>11:54 P308a 短周期惑星大気の光蒸発過程の物理的理解 三谷啓人(東京大学)</p> <p>12:06 P309a 階層的三体系の不安定時間スケールの軌道要素依存性 II 林利憲(東京大学)</p> <p>12:18 P310a 階層的3体系における連星合体: 重力波放出による合体 稲熊穂乃里(東京大学)</p> <p>12:30 質疑応答(10分)</p>
---------------------------	---	--

9月13日(火) 午後・G会場		9月14日(水) 午前・G会場	
14:00	P311a 原始惑星系円盤に埋もれた原始惑星 AB Aur b の発見 鵜山太智 (NAOJ/Caltech-IPAC/NEExScI)	09:30	P320a ヘルクレス座 τ 流星群の出現 (1) —分裂彗星核からの流星群— 渡部潤一 (国立天文台)
14:12	P312a ヒアデス星団に属する恒星 HIP 21152 を公転する褐色矮星の発見と力学質量 葛原昌幸 (アストロバイオロジーセンター)	09:42	P321a ヘルクレス座 τ 流星群の出現 (2) —出現数の時間推移と出現規模の解析— 佐藤幹哉 (国立天文台)
14:24	P313a すばる望遠鏡 IRD による TOI-654 の視線速度の複数惑星モデリング 幾田佳 (東京大学)	09:54	P322a ヘルクレス座 τ 流星群の出現 (3) —放射点移動とその離散度について— 土屋智恵 (国立天文台)
14:36	P314a 主星金属量・年齢依存性を考慮したホットジュピターの存在頻度 宮崎翔太 (大阪大学)	10:06	P323a 近赤外線における黄道光偏光観測による惑星間塵の組成と粒径の制約 瀧本幸司 (九州工業大学)
14:48	P315a The day-side atmosphere of WASP-33b seen through the InfraRed Doppler instrument Stevanus Kristianto Nugroho (Astrobiology Center/NAOJ)	10:18	P324a 微小高速自転小惑星 2022 JL の即時モニタリング観測 紅山仁 (東京大学)
15:00	P316a スパースモデリングとスペクトル脱混合による惑星マッピングの発展 桑田敦基 (東京大学)	10:30	P325a 小惑星分布に対する共鳴点近傍におけるヒルダ群小惑星の運動の安定性の根拠と Kirkwood gaps での不安定性の根拠 浅野光祐 (大阪府立大学)
15:12	P317b 系外惑星大気探査のためのオープンソース・プロジェクト: ExoJAX 河原創 (東京大学)	10:42	P326a Fermi-LAT による木星トロヤ群からのガンマ線アルベド放射と小惑星サイズ分布への制限 長澤俊作 (東京大学 Kavli IPMU)
	P318c Hipparcos-Gaia 固有運動カタログを用いた直接撮像探査: 複雑な系における低質量伴星の発見 鵜山太智 (NAOJ/Caltech-IPAC/NEExScI)	10:54	P327a すばるHSC-SSP PDR2 データ中の移動天体探査と既知太陽系小天体カタログ作成 大坪貴文 (国立天文台)
	P319c Earth through the looking glass: how frequently are we detected by other civilizations through photometric microlensing? Suphakorn SUPHAPOLTHAWORN (Hokkaido University)	11:06	P328a PONCOTS による木星での巨大衝突閃光現象の発見および詳細観測 有松巨 (京都大学)
15:24	質疑応答 (10分)	11:18	P329b 「あかり」がとらえた遠赤外線全天画像中の黄道面付近ダストバンド構造とダスト供給源小惑星族の推定 大坪貴文 (国立天文台)
		11:18	P330b 時間変動する火星大気重力波を考慮したテラヘルツ分光観測の検討 山内良斗 (大阪公立大学)
			P331c 4個の小惑星の偏光観測の再解析によるデータ改善と分光分類との比較 匠あさみ (放送大学/国立天文台)
		11:30	質疑応答 (10分)

Q. 星間現象

9月12日(火) 午前・A会場		9月12日(火) 午後・A会場	
10:30	Q01a Precise measurement of line intensities S_{μ}^2 of CH ₂ DOH by using emission-type millimeter and submillimeter-wave spectrometer SUMIRE 小山貴裕(理化学研究所)	14:00	Q12a 中間速度 HI 雲の詳細研究(2) 銀河系外起源を支持する新たな証拠 福井康雄(名古屋大学)
10:42	Q02a ALMA 較正用天体に対する分子吸収線探査 I: サーベイ概要 吉村勇紀(東京大学)	14:12	Q13a ダスト内部エネルギーの制限を考慮した星間ダスト熱史追跡シミュレーションコードの開発 天崎賢至(東北大学)
10:54	Q03a ALMA 較正用天体に対する分子吸収線探査 II: QSO J1851+0035 方向の銀河系内分子吸収線系の物理状態と化学組成 成田佳奈香(東京大学)	14:24	Q14a 星間媒質中を高速移動する重力源が形成する星間コントレイル 北島歎大(名古屋大学)
11:06	Q04a ALMA 望遠鏡による吸収線観測で探る分子雲内部の中性炭素と一酸化炭素の関係 宮本祐介(福井工業大学)	14:36	Q15a 広帯域電波観測で探る銀河系巨大構造の起源 岩下稜司(早稲田大学)
11:18	Q05a 野辺山 45m 鏡を用いた銀河面第一象限外縁部における分子雲探査 小西亜侑(大阪公立大学)	14:48	Q16a 「すざく」を用いた銀河系高温ガスハローの観測(2) 上田将暉(東京理科大学)
11:30	Q06a 温度分布を用いた KAGONMA 天体の分子雲への星形成フィードバック 竹葉理史(鹿児島大学)	15:00	Q17a すざく衛星による銀河面拡散 X 線放射の空間構造の調査 山本久美子(奈良女子大学)
11:42	Q07a 分子輝線データを用いた分子雲の密度階層構造解析 村瀬建(鹿児島大学)	15:12	Q18a 銀河系内中性子星連星合体残骸からの核ガンマ線放射診断 寺田幸功(埼玉大学)
11:54	Q08a ALMA ACA による大マゼラン雲超広域 CO 探査(3): Molecular ridge 領域における分子雲の統計的性質 北野尚弥(大阪公立大学)	15:24	Q19a 東アジア天文台 James Clerk Maxwell Telescope サブミリ波高感度偏波観測から明らかにされた超大質量ブラックホール Sgr A* への質量降着における CND と磁場の役割 佐藤和樹(鹿児島大学)
12:06	Q09a ALMA ACA による小マゼラン雲超広域 CO 探査(3): N83/N84 領域 松本健(大阪公立大学)	15:36	Q20a Tibet 空気シャワー観測装置による天体からの sub-PeV ガンマ線の観測 加藤勢(東京大学)
12:18	Q10b 大質量星形成領域 Sh 2-255, Sh 2-257 に対するアンモニアマッピング観測 河野樹人(名古屋市科学館)	15:48	Q21a Tibet 空気シャワー観測装置による sub-PeV 銀河拡散ガンマ線の観測 川田和正(東京大学)
12:18	Q11b CCS ($J_N=4_3-3_2$) 輝線の静止周波数と eQ 受信機を用いた高周波数分解能観測 中村文隆(国立天文台)	16:00	Q22b <i>Suzaku</i> で探る Orion-Eridanus Superbubble を満たす高温ガスの起源 福島光太郎(東京理科大学)
12:30	質疑応答(10分)	16:12	質疑応答(10分)

9月13日(水) 午前・A会場		9月13日(水) 午後・A会場	
09:30	Q23a Overview of WR DustERS: a JWST program of colliding wind Wolf-Rayet binaries 松原英雄(宇宙航空研究開発機構)	13:00	Q33a 超新星残骸 3C396 における鉄 K 輝線の調査 信川久実子(近畿大学)
09:42	Q24a 電波超新星のマルコフ連鎖モンテカルロ解析 1: 星周物質の密度と衝撃波加速の効率 松岡知紀(京都大学)	13:12	Q34a 超新星残骸における低エネルギー宇宙線起源の中性鉄輝線の探査 森川朋美(近畿大学)
09:54	Q25a 宇宙線源分布の統計的揺らぎと CALET 電子・陽電子宇宙線スペクトル 浅野勝晃(東京大学)	13:24	Q35a すざく衛星による超新星残骸 G344.7 - 0.1 の空間構造の調査 藤重朝妃(奈良女子大学)
10:06	Q26a Ia型超新星残骸 SN 1006 に付随する膨張 HI シェルの発見 佐野栄俊(岐阜大学)	13:36	Q36a 再結合優勢プラズマを持つ超新星残骸 W49B の空間的な温度構造と進化過程 鈴木那梨(奈良女子大学)
10:18	Q27a Suzaku による超新星残骸 G78.2+2.1 北部領域からの非熱的放射の発見及びその起源の検討 立石大(埼玉大学)	13:48	Q37a X線天文衛星「すざく」による超新星残骸 3C 400.2 のプラズマ調査 小沼将天(近畿大学)
10:30	Q28a ガンマ線超新星残骸 Puppis A に付随する分子ガスと原子ガス(2) 有賀麻貴(名古屋大学)	14:00	Q38a Chandra ACIS の粒子バックグラウンドスペクトル推定ツール mkacispback の開発と広がった X 線天体の解析への適用 鈴木寛大(甲南大学)
10:42	Q29a γ 線 SNR W51C における宇宙線による C ⁰ /CO アバundance比の空間変化 山岸光義(東京大学)	14:12	Q39a 無衝突衝撃波でのイオン加熱機構: XRISM による宇宙線加速効率の制限 霜田治朗(名古屋大学)
10:54	Q30a Chandra 衛星および XMM-Newton 衛星の観測を用いた SS 433/W50 における粒子加速の研究 佳山一帆(京都大学)	14:24	Q40a X線天文衛星「すざく」で観測した彗星におけるコマの中性気体組成分析 関口るな(東京都立大学)
11:06	Q31a 超新星残骸 RX J1713.7 - 3946 南西部の衝撃波速度の測定 田中孝明(甲南大学)	14:36	質疑応答(10分)
11:18	Q32a 2相星間ガスと相互作用をする超新星残骸 RX J1713.7-3946 からのガンマ線放射 藤田裕(東京都立大学)		
11:30	質疑応答(10分)		

R. 銀河

9月15日(木) 午前・E会場		11:18	R11b	分子雲衝突による星形成と銀河シミュレーション: 分子雲衝突の速度分布と頻度 堀江秀(北海道大学)
09:30	R01a			
		11:18	R12b	Molecular line radiative transfer in a Monte Carlo radiative transfer SKIRT 松本光生(Ghent大学/東京大学/宇宙航空研究開発機構)
09:42	R02a		R13c	非等方的速度分布の初期条件の下での球状星団の力学的進化: 多質量成分系の場合 高橋広治(埼玉工業大学)
09:54	R03a	11:30		質疑応答(10分)
10:06	R04a	9月15日(木) 午後・E会場		
		13:00	R14a	爆発的星形成銀河 NGC 253 中心部で発見された shell 型高速度コンパクト雲 嶋田理央(慶應義塾大学)
10:18	R05a	13:12	R15a	FDPS-SCF: 円盤銀河の高速 N 体計算コードの開発 穂積俊輔(滋賀大学)
10:30	R06a	13:24	R16a	銀河系円盤外縁部の運動学的リッジ構造が若い星にも存在することの発見 船越菜月(東京大学)
10:42	R07a	13:36	R17a	COSMOS 領域における新たなポーラーリング銀河の発見 西村実(放送大学)
10:54	R08a	13:48	R18a	New Strong Gravitational Lens Candidates from the HSC SSP Kenneth Wong (NAOJ)
		14:00		質疑応答(10分)
11:06	R09a			
11:18	R10b			

S. 活動銀河核

9月13日(火) 午前・D会場		12:30	S13b	JVN 山口-日立基線 VLBI を用いた超高エネルギーガンマ線 AGN 候補天体の探査 藤田大輔(山口大学)
10:30	S01a			
		12:30	S14b	ポーラーダストを含む活動銀河核トラスからの赤外線 SED モデル: Circinus 銀河との比較 小川翔司(京都大学)
10:42	S02a			
			S15c	High Spatial Resolution NIR Studies on a Host Galaxy of a γ -ray Emitting Blazar 諸隈智貴(千葉工業大学)
10:54	S03a			
			S16c	The discovery of a candidate of a quasar with periodic UV/optical variability 堀内貴史(東京大学)
11:06	S04a	12:42		質疑応答(10分)
11:18	S05a			
11:30	S06a			
11:42	S07a			
11:54	S08a			
12:06	S09a			
12:18	S10b			
12:18	S11b			
12:18	S12b			

9月13日(火) 午後・D会場		9月14日(水) 午前・D会場	
14:00	S17a WISE 衛星を用いた NEP 領域における 中低光度 AGN の反響マッピング 恒次翔一(東京大学)	09:30	S28a 活動銀河核円盤風のセンチ波電波放射 への寄与 山田知也(大阪大学)
14:12	S18a AGN 近赤外線放射の時間変動における 高温ダスト成分の卓越性評価 水越翔一郎(東京大学)	09:42	S29a AGN トーラス内部の CO 振動回転遷移 吸収線形成の理論 松本光生(Ghent大学/東京大学/宇宙 航空研究開発機構)
14:24	S19a Subaru/HSC SSP 可視光サーベイと VLA/ FIRST 電波カタログを用いた 29 天体の radio-loud dust obscured galaxies の発見 福地輝(東北大学)	09:54	S30a 輻射駆動アウトフロー起源の BLR 和田桂一(鹿児島大学)
14:36	S20a 可視変光選択された活動銀河核の調査 星篤志(東北大学)	10:06	S31a 超高速アウトフローの時間変動と周辺環 境への影響 工藤祐己(鹿児島大学)
14:48	S21a Optical Variability of Blazars in the Tomo-e Gozen Northern Sky Transient Survey Zhang Tianfang (The University of Tokyo)	10:18	S32a 輻射駆動噴水モデルに基づく原子分子ガ ス輝線の輻射輸送計算と観測との比較 馬場俊介(鹿児島大学)
15:00	S22a コクーン膨張力学から探る 3C84 ミニ ジェットのパワーとプラズマ組成 川勝望(呉工業高等専門学校)	10:30	S33a 高解像度サブミリ波水素再結合線による AGN 電離アウトフローの検出 泉拓磨(国立天文台/東京都立大学)
15:12	S23a AGN ジェットのプラズマ供給源における 二流体不安定性 小出眞路(熊本大学)	10:42	S34a 2型セイファート銀河 NGC 5506 における AGN アウトフローからの非熱的放射の検出 永井洋(国立天文台)
15:24	S24a 相対論的流体中から放出された光子の 多重散乱効果 高橋労太(苫小牧工業高等専門学校)	10:54	S35a 近傍電波銀河 NGC 4261 の 100-pc スケ ール高密度ガス円盤 澤田-佐藤 聡子(大阪公立大学)
15:36	S25a コンプトン冷却されたブラックホール降着 流の輻射磁気流体シミュレーション 五十嵐太一(千葉大学)	11:06	S36a Discovery of Fading AGNs in ULIRGs with Kpc-scale Fast Winds CHEN XIAOYANG (NAOJ)
15:48	S26a ブラックホール磁気圏における磁気流体 波の伝播 高橋真聡(愛知教育大学)	11:18	S37a 多波長観測による超/高光度赤外線銀 河が持つ X 線で暗い活動銀河核の調査 山田智史(理化学研究所)
16:00	S27a 強磁場降着流ガンマ線放射モデル:電子 加熱率の影響 久世陸(東北大学)	11:30	質疑応答(10分)
16:12	質疑応答(10分)		

T. 銀河団

U. 宇宙論

9月13日(火) 午前・B会場		9月15日(木) 午前・I会場	
10:30	T01a Large scale structures and galaxy evolution in a $z=0.9$ supercluster traced by unique pair narrow-band imaging Zhaoran Liu (Tohoku University)	09:30	U01a 宇宙論的 VLASOV シミュレーションで探るニュートリノの性質: N -body シミュレーションとの比較 田中賢(京都大学)
10:42	T02a すばる望遠鏡 HSC を用いた銀河団メンバー銀河の形態と環境効果の調査 柳川晏里(奈良女子大学)	09:42	U02a Simons Array 実験, POLARBEAR 実験の蟹座星雲の観測による Axion 探索 山田恭平(東京大学)
10:54	T03a HSC-SSP 領域にある高赤方偏移銀河団のスケーリング関係と力学的進化 吉本愛使(奈良女子大学)	09:54	U03a インフレーション起源 B モード検出に向けた E/B モード分離手法の性能評価 茅根裕司(東京大学)
11:06	T04a cool core 銀河団における、cool core、cold fronts、spiral structure の起源 井上一(宇宙航空研究開発機構)	10:06	U04a 精密銀河団宇宙論に向けた銀河団形成史と観測の関係の研究 Seongwhan YOON(名古屋大学)
11:18	T05a X線・可視光・近赤外線データを用いた近傍銀河団の重元素質量-銀河質量比 近藤麻里恵(埼玉大学)	10:18	U05a 宇宙の大規模構造の自律的エミュレータに向けたサンプリング法の開発 西道啓博(京都大学)
11:30	T06a 銀河団などの中心領域にみられる平坦な元素 $/Fe$ 個数比分布 福島光太郎(東京理科大学)	10:30	U06a 機械学習を用いた SDSS 銀河パワースペクトルの宇宙論解析 小林洋祐(University of Arizona)
11:42	T07a すざく衛星と WISE 衛星の観測による銀河団の鉄質量-銀河光度比 荒川一樹(東京理科大学)	10:42	U07a 21cm 線強度マップの画像解析による暗黒物質質量探査 村上広椰(名古屋大学)
11:54	T08a X線観測による銀河団中心領域の高温ガスの鉄分布の進化 土屋采那(東京理科大学)	10:54	U08a uGMRT による相互相関を用いた再電離終了時期 21cm 線の探査 吉浦伸太郎(国立天文台)
12:06	T09a 銀河団衝突による電波ハローの駆動と大質量銀河団からのニュートリノ背景放射 西脇公祐(東京大学)	11:06	U09a 月面低周波電波干渉計による科学: 暗黒時代 21cm 線による宇宙論 山内大介(神奈川大学)
	T10c Galaxy Group Finding via Unsupervised Machine Learning Hai-Xia Ma (Nagoya University)	11:18	U10b Fast method for generating mock line intensity maps based on hydrodynamical simulations Rui Lan Zhang (The University of Tokyo)
12:18	質疑応答(10分)	11:18	U11b 宇宙再電離期における天体形成の可能性 照井勇登(防衛大学校)
		11:30	質疑応答(10分)

V1. 観測機器(電波)

9月15日(木) 午後・I会場		9月14日(水) 午前・F会場	
13:00	U12a 粒子軌道に基づくダークマターハロー中心部の密度構造の解析 柄本耀介(京都大学)	09:30	V101a 広帯域受信機のための高温超伝導マルチバンド帯域阻止フィルタの基礎検討 湯山義崇(山梨大学)
13:12	U13a ダークマターハロー由来の熱制動放射 阿部克哉(名古屋大学)	09:42	V102a 超低損失立体回路の実現に向けた超伝導ニオブ導波管の伝送特性の測定 中島拓(名古屋大学)
13:24	U14a HSC サーベイ初年度データのCOSMICSIA COSEBIs解析によるE/Bモード分解と宇宙論パラメーター推定 浜名崇(国立天文台)	09:54	V103a 次世代マイクロ波放射計兼広帯域VLBI受信システムの開発(III) 氏原秀樹(京都大学)
13:36	U15a すばるHSCの3年度データとSDSSデータを用いた宇宙論解析:弱重力レンズ+銀河-弱重力レンズ+銀河クラスタリングの統合解析 杉山素直(東京大学/Kavli IPMU)	10:06	V104a 1.85m電波望遠鏡搭載受信機の高感度化・広帯域化に向けた開発 川下紗奈(大阪公立大学)
13:48	U16a SDSS及びすばるHSCで測定した弱重力レンズ、クラスタリング、赤方偏移歪みを用いた一般相対性理論の検証 中沢准昭(名古屋大学)	10:18	V105a 野辺山45m鏡7ビーム3帯域両偏波受信機(7BEE)の開発 XIII 米山翔(大阪公立大学)
14:00	U17a 測光的赤方偏移推定におけるブレンド天体の影響 西澤淳(岐阜聖徳学園大学)	10:30	V106a 茨城観測局電波望遠鏡搭載広帯域CX帯受信機の開発3 知念翼(大阪公立大学)
14:12	U18a Lyman α forestの3次元パワースペクトルによる構造成長率の制限 中島光一郎(名古屋大学)	10:42	V107b 広帯域CX帯同軸導波管変換の開発とそれを用いたTRL校正 抱江柊利(大阪公立大学)
14:24	U19a 重力波の再構成時に発生する偏極モード間におけるエネルギーの漏れ分析 具島侑也(福岡大学)	10:42	V108b 茨城観測局電波望遠鏡搭載広帯域CX位相遅延器の開発 孫赫陽(大阪公立大学)
14:36	質疑応答(10分)	10:42	V109b 高萩/日立32m電波望遠鏡の整備状況2022B 米倉覚則(茨城大学)
		10:54	V110b 水沢VERA20m望遠鏡搭載に向けた67-116GHz帯2SB回路の検討 亀山晃(大阪公立大学)
		10:54	V111b 45m電波望遠鏡43/86GHz観測用Perforated Plate型周波数フィルターの評価 野曾原千晟(大阪公立大学)
		10:54	V112b HINOTORI (Hybrid Integration Project in Nobeyama, Triple-band Oriented) 進捗報告 今井裕(鹿児島大学)
		11:06	V113b 野辺山45m鏡eQ受信機のコミッショニング観測結果 山崎康正(大阪公立大学)

11:06	V114b	マイクロ波帯増幅器の出力における信号雑音比について 川下紗奈(大阪公立大学)	14:12	V125a	Noise Breakdown of Dual-polarization Balanced MMIC SIS Mixer at 2mm Wavelength Wenlei Shan (NAOJ)
11:06	V115b	大気オゾン分光観測の高効率化に向けた周波数変調局部発振器を用いた受信システム開発 彦坂拓海(名古屋大学)	14:24	V126a	次世代 FITS ビューワ Vissage の開発: 偏波表示機能3および Python インタフェース 川崎渉(国立天文台)
11:18	V116b	有機物合成実験のための mm-THz 波プラズマ分光診断システムの最適化開発 米津鉄平(大阪公立大学)	14:36	V127a	ALMA 向けイメージングツール PRIISM の開発:(1) 中里剛(国立天文台)
11:18	V117b	Application of machine learning in Faraday tomography Suchetha Cooray (Nagoya University)	14:48	V128a	ALMA 向けイメージングツール PRIISM の開発:(2) 池田思朗(統計数理研究所)
	V118c	火星惑星保護カテゴリー IV/ 乾熱滅菌によるテラヘルツアンテナの性能評価 前澤裕之(大阪公立大学)	15:00	V129a	The Next Generation Very Large Array - Fall 2022 伊王野大介(国立天文台)
11:30		質疑応答(10分)	15:12	V130a	ngVLA プロジェクトのための時刻・周波数配信システムの開発 木内等(国立天文台)
9月14日(水)午後・F会場			15:24	V131b	Correction of Atmospheric Effects in ALMA Single-Dish Pipeline 中里剛(国立天文台)
13:00	V119a	Update on ALMA Operations and Development Program - Autumn 2022 Alvaro Gonzalez (NAOJ)	15:36		質疑応答(10分)
13:12	V120a	ALMA 受信機用広帯域光学系コンポーネントの開発(V) 金子慶子(国立天文台)	9月15日(木)午前・F会場		
13:24	V121a	Double-ridge 導波管型直交偏波分離器における共振現象解析 坂井了(国立天文台)	09:30	V132a	月面の科学を実現するシナリオと実現性の検討: 月面からの宇宙観測計画 山田亨(宇宙航空研究開発機構)
13:36	V122a	ミリ波・サブミリ波帯 広帯域コルゲートホーンの交差偏波ビームパターンの多様性の起源の解明 山崎康正(大阪公立大学)	09:42	V133a	月面低周波電波干渉計の実現に向けた概念設計検討 井口聖(国立天文台)
13:48	V123a	ALMA ACA 7m アンテナ用 Band 2 受信機光学系の設計 今田大皓(NAOJ)	09:54	V134a	SKA プロジェクトへの参加計画 6 小林秀行(国立天文台)
14:00	V124a	高開口能率サブミリ波マルチビーム受信機光学系の開発に向けた収差が開口能率に及ぼす影響の調査 政井崇帆(総合研究大学院大学)	10:06	V135a	北半球最高感度ミリ波サブミリ波ヘテロダイン受信システム LMT-FINER III. 遠赤外線微細構造線による前・宇宙再電離期の銀河形成の開拓 田村陽一(名古屋大学)
			10:18	V136a	Large Submillimeter Telescope (LST): 8. コミュニティーとの連携強化 河野孝太郎(東京大学)

V2. 観測機器(光赤外・重力波・その他)

10:30	V137a 遺伝的アルゴリズムによる自重変形を考慮した2次元パラボラ構造最適化手法の実装 今村千博(名古屋大学)	9月14日(水) 午後・G会場	13:00	V201a TMT 計画 - 進捗報告 臼田知史(国立天文台)
10:42	V138a 超広帯域ミリ波サブミリ波帯反射防止多層膜の開発 長沼桐葉(電気通信大学)		13:12	V202a TMT 第一期観測装置 広視野可視撮像分光装置 WFOS の開発進捗 尾崎忍夫(国立天文台)
10:54	V139a 広帯域ミリ波サブミリ波帯多色カメラ用平面型直交偏波分離器の設計 宇野慎介(東京大学)		13:24	V203a SuMIRe-PFS[33]: プロジェクト概要と装置開発進捗状況まとめ 2022 年秋季 田村直之(東京大学カブリ数物連携宇宙研究機構)
11:06	V140a 広帯域ミリ波・サブミリ波検出器のためのアレイ化に適した Magic-T の設計 井上修平(東京大学)		13:36	V204a すばる望遠鏡広帯域分光装置 NINJA : 装置概要 東谷千比呂(国立天文台)
11:18	V141a テラヘルツ領域の観測に向けた強度干渉計の開発 小関知宏(筑波大学)		13:48	V205a すばる望遠鏡広帯域分光装置 NINJA : 科学目標 守屋堯(国立天文台)
11:30	質疑応答(10分)		14:00	V206a すばる望遠鏡 HSC データを用いた小惑星検出アプリ COIAS の開発 2 浦川聖太郎(日本スペースガード協会)
9月15日(木) 午後・F会場			14:12	V207a 銀河画像の空間分解能改善: 最適な正規化と主双対近接分離を用いた解法 村田一心(国立天文台)
13:00	V142a CMB 偏光観測衛星 LiteBIRD ミッション部の概念設計と構造検討 小栗秀悟(宇宙航空研究開発機構)		14:24	V208a MITSuME 望遠鏡画像に対する深層学習を用いた突発天体検知システムの構築 伊藤尚泰(東京工業大学)
13:12	V143a CMB 偏光観測衛星 LiteBIRD 低周波望遠鏡の crossed Dragone 型光学設計の開発 松田フレドリック(宇宙航空研究開発機構)		14:36	V209a 自由曲面のための3点計測法の開発 徳地研人(京都大学)
13:24	V144a LiteBIRD 低周波望遠鏡アンテナの時間領域分割測定による迷光評価 高倉隼人(東京大学/宇宙航空研究開発機構)		14:48	V210a 自由曲面を用いた超広視野光学系の設計 橋ヶ谷武志(京都大学)
13:36	V145a ボロメータアレイ検出器搭載望遠鏡のアンテナパターン測定に向けたホログラフィー近傍界測定法の考察 中野遼(東京大学/宇宙航空研究開発機構)		15:00	V211a 広視野近赤外線望遠鏡 PRIME の光学調整と試験観測 山響(大阪大学)
13:48	V146a Geant4 を用いた LiteBIRD 衛星における宇宙線の影響評価 富永愛侑(東京大学/宇宙航空研究開発機構)		15:12	V212a 南アフリカ望遠鏡用近赤外ドップラー分光器 SAND の光学設計 高橋葵(アストロバイオロジーセンター/国立天文台)
14:00	質疑応答(10分)		15:24	V213b PRIME 望遠鏡におけるハルトマンテストを用いた光学調整方法 鈴木大介(大阪大学)

15:24	V214b 恒星フレアのH α 輝線を検出する25cm自動望遠鏡の開発 井出善心(兵庫県立大学)	11:06	V225a 12分割6次位相マスクを用いた高コントラスト観測の室内実証 米田謙太(国立天文台)
15:24	V215b 遠方QSOモニタリングに向けたなゆた・NIC測光精度向上の試み 斎藤智樹(兵庫県立大学)	11:18	V226b 30-38 μ m中間赤外線観測ユニットTAO/MIMIZUKU MIR-Lの開発 飯田熙一(東京大学)
	V216c PRIME望遠鏡近赤外主焦点撮像装置:PRIME-Camの開発 平尾優樹(大阪大学)	11:18	V227b 大口径望遠鏡コロナグラフ向けの可視広帯域24分割6次位相マスクの開発 西川淳(国立天文台)
15:36	質疑応答(10分)	11:18	V228b 高コントラスト高分散分光装置REACHの広帯域化に向けた開発 細川晃(総合研究大学院大学)
9月15日(木)午前・G会場			
09:30	V217a 重力波望遠鏡KAGRAにおける迷光対策 阿久津智忠(国立天文台)	11:30	V229b 点回折干渉計方式を用いた補償光学用波面センサの開発3:波面測定実験 津久井遼(京都大学)
09:42	V218a 重力波望遠鏡KAGRAにおける出射光学系の改良と性能評価 西野耀平(東京大学)	11:30	V230b 近赤外撮像装置TOPICSの検出器駆動と冷却システムの開発 永田和也(東北大学)
09:54	V219a 可視近赤外線偏光観測による銀河磁場探査 中村謙吾(広島大学)	11:30	V231b Micro-Mirror Slicer-Based IFU for High-Resolution Solar Imaging Spectroscopy 末松芳法(国立天文台)
10:06	V220a 東京大学アタカマ天文台TAO 6.5m望遠鏡計画進捗報告2022 宮田隆志(東京大学)	11:42	質疑応答(10分)
9月15日(木)午後・G会場			
10:18	V221a SWIMS(近赤外線2色同時多天体分光撮像装置)の検出器性能評価 穂満星冴(東京大学)	13:00	V232a すばる望遠鏡用極限補償光学装置SCExAOによる高速偏光撮像モードの開発 工藤智幸(国立天文台)
10:30	V222a 近赤外線面分光ユニットSWIMS-IFU:すばる望遠鏡でのファーストライト 櫛引洸佑(東京大学)	13:12	V233a 高コントラスト観測法Coherent Differential Imaging on Speckle Area Nulling(CDI-SAN)の開発 西川淳(国立天文台)
10:42	V223a TAO 6.5-m望遠鏡用中間赤外線観測装置MIMIZUKU:近赤外線チャンネルの性能評価 上塚貴史(東京大学)	13:24	V234a 2チャンネル型位相マスクコロナグラフのための2偏光・複数バンド焦点面波面センサーの開発 大平泰広(北海道大学)
10:54	V224a TAO/MIMIZUKUによる中間赤外線モニタ観測の実現に向けた高精度フラット補正ユニットの開発 成瀬日月(東京大学)	13:36	V235a 回折限界のInner Working Angleを持つ新しいコロナグラフ原理の確認実験 伊藤哲司(名古屋大学)

V3. 観測機器 (X線・ γ 線)

13:48	V236a 広帯域コロナグラフマスクの実現に向けた同心型分光器の性能測定 太田峻介 (名古屋大学)	9月13日 (火) 午後・B会場
14:00	V237a 地球型系外惑星観測を目指した広帯域ダークホール制御系の開発 浅野瑞基 (北海道大学)	14:00 V301a 地球磁気圏 X線撮像計画 GEO-X (GEOspace X-ray imager) の現状 IV 中嶋大 (関東学院大学)
14:12	V238a CIB 観測ロケット実験 CIBER-2 : 第2回打上げに向けた観測装置改修の現状 松浦周二 (関東学院大学)	14:12 V302a 地球磁気圏 X線撮像計画 GEO-X 搭載高速 CMOS イメージセンサーのデータ取得システムの開発 萩野浩一 (関東学院大学)
14:24	V239a Solar-C (EUVST) に搭載する超高精度太陽センサ「UFSS」: センサの2軸同時出力によるリニアリティ誤差測定実験の状況 吉田南 (東京大学)	14:24 V303a X線分光撮像衛星 (XRISM) 搭載軟 X線撮像装置 (Xtend) の開発の現状 (8) 小林翔悟 (東京理科大学)
14:36	V240a Immersion Grating 材料の極低温中間赤外線屈折率測定手法の開発 榎木谷海 (総合研究大学院大学/宇宙航空研究開発機構)	14:36 V304a XRISM 搭載軟X線撮像検出器 SXI のフライト用 CCD 素子の地上較正試験における分光性能の評価 宮崎啓太郎 (宮崎大学)
14:48	V241b Immersion Grating 材料選定のための低温赤外線透過率精密測定装置の開発 李源 (名古屋大学)	14:48 V305a X線分光撮像衛星 XRISM 搭載 X線 CCD の軟 X線帯域の検出効率の測定 青木大輝 (東京理科大学)
14:48	V242b 准共通光路波面分割型位相シフト干渉法による遠赤外線イメージング分光器の開発 趙彪 (名古屋大学)	15:00 V306a XRISM 衛星搭載 Xtend における受光部外からの電荷侵入に強い新 CCD 駆動法 青柳美緒 (大阪大学)
14:48	V243b 中間赤外線波動追跡計算を用いた宇宙機搭載用イマージョンエシエル高分散分光器における波長分解能の評価 伊藤哲司 (名古屋大学)	15:12 V307a XRISM 搭載軟X線撮像検出器 SXI のイベント検出アルゴリズムのパラメタ決定 大塚芳徳 (宮崎大学)
15:00	V244b Nancy Grace Roman 宇宙望遠鏡計画 : 日本の参加の現状 山田亨 (宇宙航空研究開発機構)	15:24 V308a X線分光撮像衛星 XRISM 搭載 CCD 検出器における Goffset のシミュレーション 青木悠馬 (近畿大学)
	V245c フリンジ画像の等値線上線形当てはめによる連星スペckル差測光 西田來樹 (北見工業大学)	15:36 V309a メッシュの影を用いた XRISM/Xtend 搭載 CCD 検出器の相対位置の評価 大出優一 (大阪大学)
15:12	質疑応答 (10分)	15:48 V310b X線分光撮像衛星 XRISM 搭載軟 X線撮像装置 Xtend のためのパイルアップシミュレータの開発 米山友景 (宇宙航空研究開発機構)
		15:48 V311b 地球磁気圏 X線撮像計画 GEO-X (GEOspace X-ray imager) 搭載検出器の軟X線応答評価 松本拓也 (関東学院大学)
		15:48 V312b 微細加工技術を用いた軽量ロブスターアイ光学系の開発 石川久美 (東京都立大学)
		16:00 質疑応答 (10分)

9月14日(水) 午前・B会場		9月14日(水) 午後・B会場	
09:30	V313a X線分光撮像衛星 XRISM 搭載 X線望遠鏡(XMA)開発の現状(7) 林多佳由(NASA's GSFC, UMBC)	13:00	V324a OHMAN(MAXI - NICER ISS上連携)開始 三原建弘(理化学研究所)
09:42	V314a XRISM XMA フライト品性能試験のためのX線結像測定システムの開発 松本岳人(東京都立大学)	13:12	V325a X線突発天体監視速報衛星こよう搭載の広視野X線撮像検出器 T-LEX の応答関数構築 鈴木大晴(金沢大学)
09:54	V315a X線分光撮像衛星 XRISM 搭載 Resolve の開発の現状 IX 佐藤浩介(埼玉大学)	13:24	V326a X線突発天体監視速報衛星こよう搭載のガンマ線検出器 KGD の性能評価 吉田翼(金沢大学)
10:06	V316a XRISM 衛星 Resolve 精密分光器の軌道上ゲインドリフト較正戦略の最適化 澤田真理(理化学研究所)	13:36	V327a 超小型X線衛星 NinjaSat の開発進捗 大田尚享(東京理科大学/理化学研究所)
10:18	V317a XRISM 衛星搭載極低温検出器における電磁干渉の影響評価 栗原明稀(東京大学)	13:48	V328a 超小型X線衛星 NinjaSat に搭載するガスX線検出器のオンボード信号処理 北口貴雄(理化学研究所)
10:30	V318a X線偏光観測衛星 IXPE の現状(2) 玉川徹(理化学研究所)	14:00	V329a 超小型X線衛星 NinjaSat 搭載のガスX線検出器のエネルギー較正 林昇輝(東京理科大学/理化学研究所)
10:42	V319a 硬X線偏光観測実験 XL-Calibur 気球の2022年フライトにおける現地準備状況 高橋弘充(広島大学)	14:12	V330a 超小型衛星による、宇宙空間からの太陽中性子の観測(V) 山岡和貴(名古屋大学)
10:54	V320a 硬X線偏光検出気球実験 XL-Calibur の2022年フライト向け望遠鏡の取り付け 鴨川航(大阪大学)	14:24	V331a 放射線劣化により暗電流が増加したMPPCの低温での性能回復 丹羽怜太(広島大学)
11:06	V321a 硬X線偏光観測気球実験 XL-Calibur 搭載 CZT 半導体検出器の性能評価 阪本菜月(広島大学)	14:36	V332a MPPCを用いたプラスチックシンチレータのアクティブシールドとしての性能評価 森下皓暁(広島大学)
11:18	V322b Ground performance test of the pulse shape processor in the XRISM/Resolve microcalorimeter under a high-count-rate situation 水本岬希(京都大学)	14:48	V333a 可視光によるLobster Eye Opticsのアライメント調整とX線結像性能評価 後藤初音(金沢大学)
11:18	V323b 炭素繊維強化プラスチック製X線反射鏡における薄板ガラスを用いた新鏡面製作法の開発 岩崎雅大(愛媛大学)	15:00	質疑応答(10分)
11:30	質疑応答(10分)		

9月15日(木) 午前・B会場		9月15日(木) 午後・B会場	
09:30	V334a 軟X線から硬X線の広帯域を高感度で撮像分光する衛星計画 FORCE の現状(14) 森浩二(宮崎大学)	13:00	V344a GRAMS 計画 5: MeV ガンマ線観測・ ダークマター探索気球実験 一戸悠人(立教大学)
09:42	V335a SOI 技術を用いた新型 X 線撮像分光器 の開発 53:MeV ガンマ線観測への応用 に向けた SOI ピクセル検出器の基礎特 性評価 橋爪大樹(広島大学)	13:12	V345a GRAMS 計画 6 : 低温環境下での光検 出系の開発 市橋正裕(東京大学)
09:54	V336a SOI 技術を用いた新型 X 線撮像分光 器の開発 54 : PDD 構造を有する X 線 SOI-CMOS 検出器 XRPIX の TID 効果 測定試験 岩切卯月(宮崎大学)	13:24	V346a 全天 MeV ガンマ観測衛星計画 AMEGO-X の現状と日本の関わり 深沢泰司(広島大学)
10:06	V337a SOI 技術を用いた新型 X 線撮像分光器 の開発 55: 現在の到達点と今後の開発 鶴剛(京都大学)	13:36	V347a 次世代 MeV ガンマ線衛星に向けた HV- CMOS ピクセルセンサ AstroPix の開発 須田祐介(広島大学)
10:18	V338a 太陽観測ロケット実験 FOXSI-4 に向けた 高角度分解能 X 線望遠鏡の開発 藤井隆登(名古屋大学)	13:48	V348a Cherenkov Telescope Array (CTA) 計画: 全体報告(22) 野田浩司(東京大学)
10:30	V339a 日米共同・太陽 X 線集光撮像分光観 測ロケット実験 FOXSI-3 に用いたプレコ リメータの性能評価 佐藤慶暉(総合研究大学院大学)	14:00	V349a CTA大口径望遠鏡のためのSiPMモジュ ールの開発 橋山和明(東京大学)
10:42	V340a 日米共同・太陽フレア X 線集光撮像分光 観測ロケット実験 FOXSI-4 に用いる CMOS イメージセンサの X 線光子計測能力評価 清水里香(総合研究大学院大学)	14:12	V350a ALPACA 実験 3: ALPAQUITA 建設報告 2022 大西宗博(東京大学)
10:54	V341a 狭視野 Si/CdTe 半導体コンプトン望遠 鏡による気球実験の試作機 miniSGD : 計画概要と進捗 中澤知洋(名古屋大学)	14:24	質疑応答(10分)
11:06	V342a 狭視野 Si/CdTe 半導体コンプトン望遠 鏡による気球実験の試作機 miniSGD : 半導体コンプトン望遠鏡の開発と現状 大熊佳吾(名古屋大学)		
11:18	V343a 狭視野 Si/CdTe 半導体コンプトン望遠 鏡による気球実験の試作機 miniSGD : シールド部の開発 安藤美唯(名古屋大学)		
11:30	質疑応答(10分)		

W. コンパクト天体

9月13日(火) 午後・J会場		9月14日(水) 午前・J会場	
14:00	W01a 冷え切った原始中性子星への降着によるニュートリノ放射とその観測可能性 赤穂龍一郎(早稲田大学)	09:30	W12a 臼田 64 m アンテナを用いた FRB 20201124A からの 2 GHz における高フルエンズバースト検出 池邊蒼太(東京大学/国立天文台)
14:12	W02a 磁気中性子星のクラスト部分の弾性限界と弾性エネルギー蓄積過程 小島康史(広島大学)	09:42	W13a 高速 CMOS カメラ Tomo-e Gozen による Fast Radio Burst 可視光放射の探査 新納悠(東京大学)
14:24	W03a 一般相対論的輻射磁気流体力学シミュレーションによる超高光度 X 線パルサーのスピニアップレート 井上壮大(筑波大学)	09:54	W14a TESS を用いた Be/X 線連星 MAXI J0903-531 の解析 山口遼大(東京工業大学)
14:36	W04a マグネターの磁気変形とトロイダル磁場: 観測結果の中間まとめ 牧島一夫(東京大学)	10:06	W15a 矮新星 SS Cyg における 2021 年の異常な光度変動とその前兆現象の正体 木邑真理子(理化学研究所)
14:48	W05a マグネター SGR 1806-20 の長期観測 内田和海(宇宙航空研究開発機構)	10:18	W16a Smart Kanata の観測による 3 つの WZ Sge 型矮新星の降着円盤構造 佐崎凌佑(広島大学)
15:00	W06a すざくによる低質量 X 線連星 2S 0921-630 の降着円盤コロナの解析 米山友景(宇宙航空研究開発機構)	10:30	W17a せいめい望遠鏡 TriCCS による Early superhump の多色観測と円盤高度構造の再構成 反保雄介(京都大学)
15:12	W07a 「すざく」による低質量 X 線連星 EXO 0748-676 の解析: dip と光電離吸収体 堂谷忠靖(宇宙航空研究開発機構)	10:42	W18a ヘリウム激変星の多波長モニター観測による再増光メカニズムの解明 磯貝桂介(京都大学)
15:24	W08a Supergiant fast X-ray transient MAXI J0709-153 の発見と可視対応天体 (Be 星 LY CMa) の同定 志達めぐみ(愛媛大学)	10:54	W19a 矮新星静穏時における硬 X 線放射領域の物理状態の解明 武尾舞(東京都立大学)
15:36	W09a Collision between the stellar wind and the accretion disk in misaligned Be/X-ray binaries 岡崎敦男(北海学園大学)	11:06	W20a Z Cam 型矮新星アウトバーストにおけるスペクトル変化 大島誠人(兵庫県立大学)
15:48	W10a NuSTAR 衛星の長時間観測による大質量 X 線連星 Cen X-3 のスペクトル変動機構の解明 丹波翼(東京大学)	11:18	W21a X 線天体の半世紀にわたる長期変動の研究 I 北本俊二(立教大学)
16:00	W11a MAXI と NICER の観測による継続時間の長い X 線バーストの降着円盤への影響 芹野素子(青山学院大学)		W22c 激変星 AE Aqr の短時間電波強度変動 藤沢健太(山口大学)
16:12	質疑応答(10分)	11:30	質疑応答(10分)

9月14日(水) 午後・J会場		14:48	W34b	円盤 - コロナ系の熱平衡曲線 古野雅之(京都大学)
13:00	W23a			Tomoe Gozen の高頻度サーベイを用いた Fast Optical Transient 探査 押切翔(東北大学)
13:12	W24a	15:00	W35b	ボルツマン輻射輸送によるコンプトン冷却を考慮した輻射非効率降着流の電子温度計算 小川拓未(筑波大学)
13:24	W25a	15:00	W36b	超臨界降着流におけるライマンアルファ輝線の輻射力: 2光子放射の効果 武者野拓也(筑波大学)
13:36	W26a	15:00	W37b	相互相関関数を用いた MAXI J1820+070 のタイムラグ解析 大間々知輝(総合研究大学院大学/宇宙航空研究開発機構)
13:48	W27a	15:12	W38b	超臨界降着流からのアウトフロー; 運動学的光度の質量降着率依存性とその起源 芳岡尚悟(京都大学)
14:00	W28a	15:12	W39b	回転軸が傾いた降着円盤の一般相対論的輻射磁気流体シミュレーション 朝比奈雄太(筑波大学)
14:12	W29a	15:12	W40b	ブラックホール降着流中に生じる磁気渦状腕形成機構の解明 町田真美(国立天文台)
14:24	W30a	15:24	W41b	3次元輻射流体計算で探る Dusty-gas 中を浮遊する中質量ブラックホールの降着成長過程: ダストの昇華と非等方輻射の影響 尾形絵梨花(筑波大学)
14:36	W31a	15:24	W42b	MAXI/GSC が検出した 2022 年度前半の突発現象 根来均(日本大学)
14:48	W32b	15:24	W43b	一般相対論的輻射磁気流体シミュレーションによる降着円盤の最内縁構造の調査 大野翔大(筑波大学)
14:48	W33b	15:36		カー・ブラックホール周りの超臨界降着円盤からのエネルギー解放; 超高光度 X 線源との比較 内海碧人(筑波大学)
				将来の X 線干渉計観測に向けた X 線ブラックホールシャドウ予測 川島朋尚(東京大学)
				質疑応答(10分)

9月15日(木) 午前・J会場		9月15日(木) 午後・J会場	
09:30	W44a 相対論的に磁化されたプラズマにおける Alfvén 波の崩壊不安定性 石崎 渉 (京都大学)	13:00	W54a 任意の角速度分布を持つ一般相対論的回転星の新しい平衡形状 藤澤幸太郎 (東京大学)
09:42	W45a 星周物質による GRB ジェットの mass-loading と明るく短い可視光突発天体 鈴木昭宏 (東京大学)	13:12	W55a ブラックホール・中性子星連星合体の長時間発展における磁場配位、磁場強度、赤道面对称性の有無の影響 林航大 (京都大学)
09:54	W46a 超高エネルギーガンマ線バースト GRB 190829A の多波長残光の理論的解釈 佐藤優理 (青山学院大学)	13:24	W56a 天の川銀河系中心 SgrA* が超巨大ブラックホール・バイナリーである事実と重力波・無放射モデルの存在 大家寛 (東北大学)
10:06	W47a ジェットの内部構造を考慮した GRB 080710 の可視光・X 線残光の理論的解釈 大林花織 (青山学院大学)	13:36	W57a 種族 II 星による中性子星-ブラックホール連星形成及びその観測可能性 衣川智弥 (東京大学)
10:18	W48a HETE-2 で観測された GRB 050709 からのコクーン放射 荻野直樹 (金沢大学)	13:48	W58a 非常に重たい Population III 起源の連星ブラックホール合体からの重力波と連星進化のパラメータ 聖川昂太郎 (東京大学)
10:30	W49a 磁場優勢相対論的ジェットに於ける磁気エネルギー転換機構 草深陽 (東京大学)	14:00	W59a キロノバの赤外線スペクトルにおけるランタノイドの特徴 土本菜々恵 (東北大学)
10:42	W50a 相対論的無衝突衝撃波での乱流ダイナモによる磁場増幅 富田沙羅 (東北大学)	14:12	W60a r プロセス元素を合成する磁気駆動型超新星の観測的特徴と観測可能性 長谷川樹 (東北大学)
10:54	W51a 下流磁場での乱流による効果を加味した相対論的衝撃波加速 森川莞地 (東京大学)	14:24	W61a 重力波に付随するニュートリノ信号の予言:コクーン光子の効果 松井理輝 (東北大学)
11:06	W52a SS433 ジェット先端のコンパクトな高偏波率領域の磁場構造 酒見はる香 (鹿児島大学)	14:36	W62a massive スカラーテンソル理論における球対称重力崩壊計算 浅川直道 (東邦大学)
11:18	W53a MAXI が観測した GRB のスペクトル解析での相関関係と他衛星との同時解析 平松裕貴 (青山学院大学)	14:48	質疑応答 (10 分)
11:30	質疑応答 (10 分)		

X. 銀河形成・進化

9月13日(火) 午前・H会場			
10:30	X01a 原始銀河団領域の星形成活動と21cmシグナルの関係 秋葉健志(筑波大学)	12:06	X13b UNIONSデータに基づく赤方偏移3の電波銀河探査 井手亮太(愛媛大学)
10:42	X02a 原始銀河団シミュレーション:超遠方サブミリ波銀河の形成について 矢島秀伸(筑波大学)	12:18	X14b UV & Ly α halos around Ly α emitters at $z=2.84$ across environments 菊田智史(国立天文台)
10:54	X03a 初代銀河における星団形成シミュレーション 福島肇(筑波大学)	12:18	X15b すばる望遠鏡 HSC データと SDSS ケーサーカタログを用いた $z=0.3-1.0$ のケーサー周辺環境の調査 柴田航平(愛媛大学)
11:06	X04a The Formation of Pop III Star Clusters under UV radiation Oerd Xhemollari (University of Tsukuba)	12:18	X16b 中間赤方偏移における極端に大きな星形成率を示す銀河種族の探査 佐久間昂太(東北大学)
11:18	X05a 赤方偏移 9.1 の銀河 MACS1149-JD1 の ALMA 高空間分解能観測と回転運動解析 井上昭雄(早稲田大学)	12:30	X17b 連星種ブラックホールへの Bondi 降着と軌道進化 鈴口智也(京都大学)
11:30	X06a Tokult-重力レンズ効果を受けた銀河の回転運動解析コード 菅原悠馬(国立天文台/早稲田大学)	12:30	X18b 量子コンピューターによる無衝突ボルツマン方程式の数値シミュレーション 山崎壮一郎(東京大学)
11:42	X07a Early Results from the GLASS JWST ERS Program Takahiro Morishita (Caltech/IPAC)	12:30	X19b 分子雲の進化 前岡光明
11:54	X08b The updated measurements of [OIII] 88 μ m and [CII] 158 μ m emission from a $z = 7.212$ galaxy Yi W. Ren (Waseda University)		X20c AMD 製 GPU・NVIDIA 製 GPU 両対応 direct N -body code の実装と性能評価 三木洋平(東京大学)
11:54	X09b 高赤方偏移銀河のダスト温度推定: ALMA 単波長の観測による経済的手法 札本佳伸(早稲田大学)	12:42	質疑応答(10分)
11:54	X10b ALMA Lensing Cluster Survey: Full SED Analysis of Distant Galaxies Detected by Millimeter Observation 植松亮祐(京都大学)		
12:06	X11b 高赤方偏移電波銀河の分光追観測 山下拓時(国立天文台)		
12:06	X12b A Wide and Deep Exploration of Radio Galaxies with Subaru HSC (WERGS): $z = 4.72$ の電波銀河周辺環境 内山久和(愛媛大学)		

9月13日(火) 午後・H会場		9月14日(水) 午前・H会場	
14:00	X21a How can we find them?: [OIII] 88 μm emission line and dust continuum observation of a dust-obscured galaxy at $z=7.35$ 札本佳伸(早稲田大学)	09:30	X32a ALMA Lensing Cluster Survey: Deep 1.2 mm Number Counts and Infrared Luminosity Function at $z \approx 1-8$ 藤本征史(Cosmic Dawn Center, Niels Bohr Institute)
14:12	X22a Big Three Dragons: Molecular Gas in a Bright Lyman-Break Galaxy at $z=7.15$ 橋本拓也(筑波大学)	09:42	X33a ALMA Lensing Cluster Survey: Nature of a lensed H-dropout galaxy at $z = 3.65$ 辻田旭慶(東京大学)
14:24	X23a JWST-ALMA Joint Efforts on Calibrating Gas-Phase Metallicities of Star-Forming Galaxies at $z > 6$ 播金優一(東京大学)	09:54	X34a Molecular gas reservoirs within the cosmic web filaments at $z=3$ Hideki Umehata(Nagoya University)
14:36	X24a $z=6-7\text{Ly}\alpha$ 輝線天体の光度関数及び等価幅分布と宇宙再電離史への制限 梅田滉也(東京大学)	10:06	X35a Cosmological-Scale HI Distribution Around Galaxies and AGN Probed with Massive Spectroscopic Data Dongsheng Sun(The University of Tokyo)
14:48	X25a 準解析的モデルで探る高赤方偏移クエーサーの母銀河 大木平(愛媛大学)	10:18	X36a Black Hole - Galaxy Coevolution at Cosmic Noon Probed by HETDEX Yechi Zhang(The University of Tokyo)
15:00	X26a $z \sim 6$ におけるクエーサーのダークマターハロー質量に対する観測的制限 有田淳也(東京大学)	10:30	X37a Properties of low-mass starburst H α emitters (Flash-HAEs) at $z \sim 2.3$ from broad-band selection 陳諾(東京大学)
15:12	X27a IGMの光学的厚みとLAE密度の関係から探る宇宙再電離非一様性の起源 石本梨花子(東京大学)	10:42	X38a Search for extended Lyman- α nebulae around $>10\text{k}$ quasars at $z > 2$ 嶋川里澄(国立天文台)
15:24	X28a 深層学習を用いたHSC-SSP測光観測データからの原始銀河団検出 武田佳大(東京大学)	10:54	X39a Field Variation in LAE-IGM HI Correlation at $z \approx 2$ Mapped by Subaru/HSC Liang, Yongming(SOKENDAI/NAOJ)
15:36	X29a 赤方偏移4における遠方電波銀河の探査と性質調査 山本優太(愛媛大学)	11:06	X40a 原始銀河団領域での星形成・化学組成比進化 福島啓太(大阪大学)
15:48	X30a A Possible Cluster of Massive Quiescent Galaxies at $z \sim 4$ 田中賢幸(国立天文台)	11:18	X41a Bright Extragalactic ALMA Redshift Survey (BEARS): Emission line properties of the bright <i>Herschel</i> -selected galaxies in South Galactic Pole 萩本将都(名古屋大学)
16:00	X31a The eROSITA Final Equatorial-Depth Survey (eFEDS): A multiwavelength view of WISE mid-infrared galaxies/active galactic nuclei 鳥羽儀樹(国立天文台)	11:30	質疑応答(10分)
16:12	質疑応答(10分)		

9月14日(水)午後・H会場		15:12	X53a 厳密なエネルギーの制限を課した超新星フィードバックの実装とその効果 岡本崇(北海道大学)
13:00	X42a Gemini/GNIRS を用いた blue-excess dust-obscured galaxies の近赤外線分光観測 登口暁(信州大学)	15:24	X54a Exploring the onset conditions of galactic winds in dwarf galaxies of the Local Group 松井瀬奈(名古屋大学)
13:12	X43a Origin and evolution of dust-obscured galaxies in galaxy mergers 油谷直道(鹿児島大学)	15:36	質疑応答(10分)
13:24	X44a 時系列データで探る $z < 2$ のクエーサー進化と光度変動の関係 古澤順子(国立天文台)		
13:36	X45a ALMA observations of CO(6-5) emissions from a hyper-luminous infrared galaxy Yuxing Zhong (Waseda University)		
13:48	X46a Detection of the anisotropic satellite galaxy quenching in clusters up to $z \sim 1$ 安藤誠(東京大学)		
14:00	X47a 光電離モデルを用いた強輝線銀河の電離光子脱出率の推定 藤谷愛美(名古屋大学)		
14:12	X48a 母銀河の拡がった輝線領域からのミリ波熱制動放射観測を通じた AGN- 銀河相互作用の研究 小麦真也(工学院大学)		
14:24	X49a The Missing Satellite Problem Outside of the Local Group: Statistical Properties of Satellites of Milky Way-like Galaxies 梨本真志(東京大学)		
14:36	X50a 宇宙論的 N 体シミュレーションデータから探るサブハローの分布と角運動量ベクトルの方向について 長船大樹(鹿児島大学)		
14:48	X51a 大質量銀河に付随するダークマターサブハロー同士の衝突頻度の解析 大滝恒輝(筑波大学)		
15:00	X52a 深層学習による超新星シェル膨張予測を用いた高解像度銀河形成シミュレーションの高速化 平島敬也(東京大学)		

9月15日(木) 午前・H会場		9月15日(木) 午後・H会場	
09:30	X55a 機械学習で探る極金属欠乏銀河 西垣萌香(総合研究大学院大学)	13:00	X66a 矮小銀河を含む銀河系衛星銀河の平面状の空間分布の進化 佐藤元太(東北大学)
09:42	X56a すばるによる極金属欠乏銀河観測:原始He量測定と系統誤差の評価 松本明訓(東京大学)	13:12	X67a Andromeda Giant Southern Streamの形成過程とprogenitorの起源 堀田彩水(筑波大学)
09:54	X57a 高い鉄酸素比を持つ極金属欠乏銀河の元素組成比とその起源 渡辺くりあ(総合研究大学院大学)	13:24	X68a 銀河系衛星銀河の軌道運動と潮汐効果 田中駿次(筑波大学)
10:06	X58a すばる望遠鏡FOCAS IFUが明かす近傍の極金属欠乏銀河の金属量分布 柏木ゆり(東京大学)	13:36	X69a ダークマターハローのc-Mrelationと観測との比較 金田優香(筑波大学)
10:18	X59a 小質量・低金属量銀河の空間分解した金属量分布 中島王彦(国立天文台)	13:48	X70a Density-Independent SPH法及びGodunov SPH法へのIntegral Approachの適用とその性能 湯浅拓宏(筑波大学)
10:30	X60a 近傍観測と遠方シミュレーションが示唆する遠方初期銀河の分散運動優位性 磯部優樹(東京大学)	14:00	X71a Top-heavy IMFを取り入れたダスト進化モデルと遠方銀河への応用 河本慧理奈(名古屋大学)
10:42	X61a Spatially resolved early star formation in local extremely metal-poor galaxies Yi Xu (The University of Tokyo)	14:12	X72a A Machine-Learning Based Approach for Merger Identification in Subaru HSC Kiyooki Christopher Omori (Nagoya University)
10:54	X62a 可視光輝線と光電離モデルで探る極金属欠乏銀河の隠れた非熱的放射源の正体 波多野駿(総合研究大学院大学)	14:24	X73a 深層学習を用いたPhoto-z推定におけるデータインバランス改善手法の検討 津田和輝(新潟大学)
11:06	X63a Resolved stellar populations of nearby galaxies 岡本桜子(国立天文台)	14:36	X74a Estimation of the Star Formation Rate of Galaxies with Radio Continuum Obtained with Murchison Widefield Array: Final Result 竹内努(名古屋大学/統計数理研究所)
11:18	X64a すばるHSCデータを用いたSextans矮小楕円体銀河の固有運動測定 常盤晟(東京大学)	14:48	X75a Disentangling the connection between present-day galaxies and their star formation histories Suchetha Cooray (Nagoya University)
11:30	X65a HSC-SSPデータを用いた天の川銀河トモグラフィ1 鈴木善久(東北大学)	15:00	X76a Application of machine learning methods to analyze the spatially resolved SFR-stellar mass relation Wen E. SHI (Nagoya University)
11:42	質疑応答(10分)	15:12	質疑応答(10分)

Y. 天文教育・広報普及・その他

9月13日(火) 午前・J会場			
10:30	Y01a 東京学芸大学新 40 cm 鏡の開発・整備と教育研究利用 土橋一仁(東京学芸大学)		
10:42	Y02a 東京学芸大学の新しい 40 cm 鏡を用いた月面分光観測 大房優莉香(東京学芸大学)	12:30	Y13c 天文学・宇宙物理学のリベラルアーツ教育の疑似科学に対する知見獲得効果について 山崎大(茨城大学) 質疑応答(10分)
10:54	Y03a 東京学芸大学の新しい 40cm 鏡を用いた遠隔授業の実施 富田飛翔(東京学芸大学)		
11:06	Y04a 分光観測の直感的理解に向けた中小望遠鏡向け接眼分光器 橋本修(ぐんま天文台)		
11:18	Y05a 教育用簡易電波干渉計プロトコル”j-VLBI”構想 Vol.2.0 木村正樹(株式会社リバナス)		
11:30	Y06a OAO/IAU celebrate 10th anniversary -Review of the past 10 years and discussion of future plans- 縣秀彦(国立天文台)		
11:42	Y07a 宇宙天気に関する報告書のパブリックコメントに対応したワークショップの実施 玉澤春史(京都大学/京都市立芸術大学)		
11:54	Y08a 長野県における近代天文史の調査と展示～資料から探る宇宙県のルーツ～ 陶山徹(長野市立博物館)		
12:06	Y09a 市民科学で読み解く諏訪天文同好会の100年 大西浩次(長野工業高等専門学校)		
12:18	Y10b 10年目の SaCRA 望遠鏡：埼玉大学におけるさまざまな形態での教育利用や星空観望会 大朝由美子(埼玉大学)		
12:18	Y11b 小中学校理科におけるプラネタリウムの学習投影に関する現状と課題 二瓶美生(上越教育大学)		
	Y12c 岡山クーデ分光乾板デジタルアーカイブの予備調査 II 柳澤顕史(国立天文台)		

予稿ページ

Z101r 地下からのマルチメッセンジャー観測で迫る超新星爆発の最深部

諏訪雄大 (東京大学)

重力崩壊型超新星爆発 (以下、超新星爆発) は大質量星がその生涯の最期に引き起こす大爆発である。超新星爆発の最深部では星の核が激しく収縮し中性子星が形成される。この収縮によって解放された重力エネルギーのほとんど ($\sim 10^{53}$ erg) はニュートリノとして放出される。標準的なシナリオでは、ニュートリノのエネルギーの一部が物質に渡されることで超新星爆発の巨大な爆発エネルギー ($\sim 10^{51}$ erg) が説明される。この爆発時の莫大なエネルギーを用いて形成される ^{56}Ni の核崩壊エネルギーや爆発そのものの運動エネルギーを用いて、可視光帯域における超新星の電磁波エネルギー ($\sim 10^{49}$ erg) が作られる。加えて、爆発時に物質運動の対称性が著しく破れている場合には、最深部からの強い重力波放射も期待できる。

このようにして、超新星は様々な形態でエネルギーを放出する。これらを複合的に用いて天体現象に迫るマルチメッセンジャー観測に最も適したターゲットだといえる。本講演では、特に超新星爆発の最深部を探るのに不可欠なニュートリノと重力波にトピックを絞り、地下からの宇宙観測で超新星爆発の爆発メカニズムや形成される中性子星の特性を観測的に明らかにする道筋について、現状の理解をまとめるとともに今後の展望を紹介する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Z102r 地下からの重力波観測 – 大型低温重力波望遠鏡 KAGRA –

澤田崇広 on behalf of the KAGRA collaboration

大型低温重力波望遠鏡 KAGRA は、岐阜県飛騨市の旧神岡鉱山地下約 200m に設置された基線長 3km のレーザー干渉計である。KAGRA の設計は先行する第 2 世代の重力波望遠鏡 Advanced LIGO と Advanced Virgo に似ているが、地面振動等の外乱に影響されづらい地下に設置され、また熱雑音を低減するためにサファイア製ミラーを極低温 (20K) に冷却する先進的な低温レーザー干渉計であることから、第 3 世代の重力波望遠鏡 (Einstein Telescope, Cosmic Explorer など) の構想にも重要な役割をもっている。そのため KAGRA はしばしば第 2.5 世代の重力波望遠鏡とも呼ばれる。KAGRA は 2020 年 2 月に LIGO、Virgo との国際重力波観測網へ参加するに至り、同年 4 月には GEO600 と初となる国際共同観測 (O3GK) を実施した。2022 年 12 月中旬からは LIGO、Virgo、KAGRA による第 4 期国際共同観測 (Observation-4; O4) が予定されており、現在は更なる感度・安定性向上のための改修作業を進めている。

本講演では、O3GK 観測を含むこれまでの運用状況、現在進行中の改修作業の現状、O4 観測以降への展望について報告する他、重力波観測により拓かれる重力波天体の物理、期待されるマルチメッセンジャー天文学への貢献などについても議論したい。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Z103a 重力波望遠鏡 KAGRA における時刻同期システムの性能評価

押野翔一 (東大宇宙線研) on behalf of the KAGRA collaboration

岐阜県飛騨市神岡町の地下に建設された大型低温重力波望遠鏡 KAGRA は 2022 年 12 月に LIGO、Virgo と共に第 4 期国際共同観測 (Observation-4; O4) を開始することが予定されている。現在 KAGRA では O4 へ向けた更なる感度向上のためのアップグレード作業が進められている。

重力波は、複数台の重力波望遠鏡で計測することにより到来方向を決めることができる。各地に設置された重力波望遠鏡で重力波イベントが観測された時刻を比較することで、その時間差から重力波の到来方向を計算することができる。そのため、重力波望遠鏡では GPS を用いた時刻同期システムを導入しており、世界各地に設置された重力波望遠鏡間で大幅な時刻のズレがないように観測データが記録されている。KAGRA ではこの目的のために LIGO と同じ時刻同期システムを用いている。それとは別に、GPS 信号を元に NICT(情報通信研究機構)の時刻と KAGRA の時刻同期システムのズレを比較する装置も導入している。これまでの測定では 1 ヶ月のデータをもとにこのズレが平均で 187ms になるという結果が得られた。本講演では、数ヶ月に渡って測定した GPS 時刻同期システムのズレのデータについての解析と、O4 に向けて開発中の時刻同期のステータス確認システムの現状について報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Z104a Japanese Collaboration for Gravitational-Wave Electromagnetic Follow-up (J-GEM)

村田勝寛 (東京工業大学), 富永望, 岩田悠平, 柳澤顕史, 吉田道利 (国立天文台), 内海洋輔 (Stanford 大学), 田中雅臣 (東北大学), 中岡竜也, 川端弘治 (広島大学), 野上大作, 太田耕司 (京都大学), 笹田真人, 河合誠之 (東京工業大学), 新納悠, 酒向重行 (東京大学), 本田敏志, 伊藤洋一 (兵庫県立大学), 伊藤亮介 (美星天文台), 鈴木大介 (大阪大学), 諸隈智貴, 秋田谷洋 (千葉工業大学), 関口雄一郎 (東邦大学), ほか J-GEM collaboration

Japanese Collaboration for Gravitational-Wave Electromagnetic Follow-up (J-GEM) とは、日本の研究機関が国内外に有する可視近赤外線、電波観測設備を用いて、重力波の放射源を特定しその放射メカニズムに迫ることを目指し組織された突発激変天体の光赤外・電波観測ネットワークである。J-GEM では効率的な追観測、電磁波対応天体同定を実現するための追観測情報や望遠鏡情報を共有するシステムを開発している。

重力波第二期観測では、中性子星合体 GW170817 の電磁波対応天体 AT2017gfo の追観測を行い、その他には対応する可能性のある天体が存在しないこと、AT2017gfo が可視光では急速に減光する一方で、近赤外線ではゆっくりと暗くなることを示した。

J-GEM の光赤外・電波観測ネットワークは重力波源の追観測だけにとどまらず、IceCube で捉えられる高エネルギーニュートリノ源の追観測や、Super-Kamiokande や KamLAND で捉えられる銀河系内超新星の観測にも応用できると考えられる。本講演では、重力波第三期観測における J-GEM による追観測、重力波第四期観測に向けた J-GEM の展望、およびマルチメッセンジャー天文学の電磁波観測を担う J-GEM の活動を紹介する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Z105a 地上からのフォローアップ観測：OISTER

野上大作 (京都大学)、高橋幸弘、高木聖子 (北海道大学)、大朝由美子 (埼玉大学)、土居守、酒向重行 (東京大学)、河合誠之、村田勝寛 (東京工業大学)、金田英宏、楠根貴成 (名古屋大学)、太田耕司 (京都大学)、伊藤洋一、高橋隼 (兵庫県立大学)、川端弘治、中岡竜也 (広島大学)、永山貴宏 (鹿児島大学)、泉浦秀幸、花山秀和、関口和寛 (国立天文台)、他 OISTER コンソーシアム

2011 年度から発足した「大学間連携による光・赤外線天文学研究教育拠点のネットワーク構築」(通称、OISTER) は、2022 年度から第 3 期が正式に発足した。これは日本の大学と国立天文台が国内外の可視光赤外線望遠鏡を有機的に結びつけ、世界においても類を見ない突発天体・現象に即応した多波長・多モード同時観測を実現し、マルチメッセンジャー天文学や時間軸天文学を推進するとともに、各大学のみではできない人材育成を行なうというプロジェクトである。既にこれまででも、重力波イベント GW170817 や高エネルギーニュートリノ事象 IceCube-170922A の電磁波対応天体の探索に参加し、同定に成功するという成果を上げてきた。そして今後も、重力波源の可視光・赤外線対応天体のフォローアップ観測を通じた重力波源の多様性の解明、天体合体プロセスの物理の解明、r プロセス元素の起源の解明や、高エネルギーニュートリノの起源天体や発生プロセスの解明を目指していく。

本講演では、OISTER の現状やこれまでの研究成果、観測提案の方法を述べると共に、より広い視野、より深い観測、より高い波長分解能の観測、そして電波から X 線・ γ 線を含む多波長観測や国際化を目指す将来計画を紹介する。

[スケジュール\(セッション毎\)に戻る](#)

[スケジュール\(全体\)に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Z106a 重力波の非線形メカニズムに着目したデータ解析手法

武田 芽依 (大阪市立大学)、神田 展行 (大阪公立大学)、大原 謙一 (放送大学)、高橋 弘毅 (東京都市大学)、平沼 悠太 (新潟大学)

重力波とは、物体の加速度運動による時空の歪みが伝播する波動現象であり、その波形は放射源の物理量に依存する。2015 年の直接観測以来、重力波から天体現象の解明が可能となった。

重力波データ解析手法は、理論波形モデルに依存する手法と、理論波形モデルに依存しない手法に分けられる。後者は、乱流などにより波形が確率的に変化する場合や、波形を十分な精度で計算することが困難な場合に、信号を時間-周波数空間上に展開して解析する。従来の手法では、分解能に制限がある時間-周波数図から間接的に周波数の時間変動を抽出している。重力波に複数の周波数モードが混在し、それらの周波数帯域が異なる場合、低い周波数成分の分解能は低くなり、情報が損失する恐れがある。

本研究では、高い分解能をもつ時間-周波数解析手法を用いて、信号から直接的に周波数の時間変動を抽出した。ここでは非線形・非定常信号の解析に特化した Hilbert-Huang Transform を適用した。これは事前に理論波形モデルを用いず、時系列信号を適合的に固有モード関数へ分解する手法である。振幅や周波数を時間の関数と定義しているため、それらの遷移の解析に有用である。結果として、複数の周波数モードを含む重力波から、それぞれの周波数の時間変動を分離して抽出することができた。これは超新星爆発や、コンパクト連星の合体時から合体後の重力波データ解析への適用が有望である。本講演では、これらの結果の詳細について議論する。

[スケジュール\(セッション毎\)に戻る](#)

[スケジュール\(全体\)に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Z107b 重力波検出器における突発性雑音の教師なし分類

高橋弘毅, 坂井佑輔 (東京都市大学), 伊藤洋介 (大阪公立大学), Piljong Jung (韓国国立数理科学研究所), 苔山圭以子 (カーディフ大学), 小坂井千紘 (国立天文台), 中平勝子 (長岡技術科学大学), 押野翔一 (東京大学宇宙線研究所), 鹿野豊 (群馬大学), 内山隆 (東京大学宇宙線研究所), 上島元 (長岡技術科学大学), 鷲見貴生 (国立天文台), 山本尚弘, 横澤孝章 (東京大学宇宙線研究所)

レーザ干渉計型重力波検出器においては, 突発性雑音と呼ばれる非定常・非ガウス性の雑音が発生する. 突発性雑音は望遠鏡の不安定化や重力波信号の隠蔽・模倣を招きしばしば問題になる. そのため突発性雑音を分類する事は, その発生源の調査や望遠鏡の性能向上のための手がかりになり得る. 従来, 教師あり学習による突発性雑音の分類がされている. 一方, 教師なし学習では, 教師あり学習で課題とされる学習データのラベル付け作業の軽減やラベルに依存しない客観的な分類が期待できる.

そこで本発表では, Variational Autoencoder および Invariant Information Clustering を組み合わせた教師なし学習における突発性雑音の分類アルゴリズムを提案する. さらに先行研究で扱われている Gravity Spy のラベルを利用し, 提案アルゴリズムの有効性について検証する.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Z108a 地下からの重力波観測と連星ブラックホールの軌道離心率

谷川衝 (東京大学), Alessandro A. Trani (東京大学), Long Wang (中山大学), 藤井通子 (東京大学)

重力波観測によって数多くの連星ブラックホール (Black Hole: BH) の合体が発見されている. その起源には2つの有力な仮説がある. 1つは, 連星として生まれた2つの恒星がそのまま連星BHになったという説 (連星説) である. もう1つは, 球状星団のような高密度星団において, 2つの恒星が別の場所でそれぞれBHとなり, その後その2つのBHが互いを捕獲して, 連星BHになったという説 (星団説) である. 現在, 連星BHの合体率, 質量分布, スピン分布から, 連星BHの起源の特定が試みられているが, その特定には至っていない.

この状況を打破しうるのが, 非ゼロの軌道離心率 (以下, 離心率) を持った連星BHの発見である. 連星説に基づくと, 連星BHは形成当初から離心率がゼロである. 一方, 星団説に基づくと, 連星BHは, 形成当初, 大きな離心率を持つ. このうちのほとんどでは, 地上重力波望遠鏡の感度が高い10~1kHz帯に至る前に, 離心率がゼロとなる. しかし, 一部の連星BHは, この帯域まで非ゼロの離心率を持ちうる. 地上重力波望遠鏡による, 非ゼロ離心率の連星BHの発見は, 星団説の決定的証拠となりえる. これは, 地上重力波望遠鏡単独でなしえるため, 連星BHの起源の早期 (2020年代) 決着がありえる. 特にKAGRAは, 地下にあるため地面振動雑音を抑えられ, $\lesssim 10\text{Hz}$ の周波数に高い感度を持つと期待される. そのため, 非ゼロ離心率の連星BHの発見に有利である.

我々は, 連星起源の連星BH, 3連星内の連星BH, 星団起源の連星BHをそれぞれ理論計算によって導出し, それらが放出する重力波と, KAGRA, LIGO, DECIGO, LISAのデザイン感度を比べた. その結果, 星団起源の連星BHの一部はKAGRAの周波数帯であっても非ゼロの離心率を持つこと, そしてそれはKAGRAで発見可能ということがわかった. 本講演では特に $\lesssim 10\text{Hz}$ 帯の重要性について議論する.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Z109r 地下からのニュートリノ観測

清水 格 (東北大)

神岡地下では大型検出器によるニュートリノ振動測定・陽子崩壊探索・二重ベータ崩壊探索などによって素粒子研究が進展してきた。特に、ニュートリノ振動は素粒子の標準理論を超える新しい現象で、ニュートリノ振動の精密測定は素粒子研究の重要課題となっている。一方、同時進行で行われてきた天体ニュートリノの研究においては、Kamiokande での超新星ニュートリノ初検出、Super-Kamiokande での太陽ニュートリノ精密観測、KamLAND での地球ニュートリノ初観測など、神岡地下実験において大きな成果が得られている。また、世界の地下実験施設においても天体ニュートリノ観測が進展し、Borexino での太陽ニュートリノ観測では核融合反応ごとのフラックス情報が得られるようになった。将来の天体ニュートリノ研究では検出器の大型化・高性能化によってさらに詳細な天体内部の情報が得られるようになることから、天文分野との研究協力の重要性が高まっている。

将来の大きな目標の1つが超新星爆発からのニュートリノを高精度観測することである。銀河系内で超新星爆発が起きた場合には、ニュートリノの時間・エネルギー情報による爆発機構の解明、ニュートリノ到来方向情報による電磁波追観測が期待される。同時に重力波が検出された場合には、3種類の相互作用に関わるニュートリノ・重力波・電磁波によるマルチメッセンジャー観測となる。また、過去の超新星ニュートリノを宇宙の初期から現在までを積分した超新星背景ニュートリノのフラックス測定は、星形成の歴史を解き明かす鍵となると考えられている。今後神岡地下では Super-Kamiokande ではガドリニウム導入による超新星背景ニュートリノの初検出、さらに将来の Hyper-Kamiokande による精密観測が期待されている。本発表では地下実験による天体ニュートリノ観測の現状と今後の展望を議論する。

[スケジュール\(セッション毎\)に戻る](#)

[スケジュール\(全体\)に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Z110a 物質優勢宇宙と二重ベータ崩壊

家城 齊 (東北大 RCNS)

宇宙の始まりには物質と反物質が同数あったとされている。しかし現在の宇宙は物質のみが残っており、この非対称性がどのようにして作られたのかは標準理論において未だ説明できていない。この物質優勢宇宙を作るシナリオとして、レプトン数の破れ(レプトジェネシス)による説明が有力視されている。レプトジェネシスの鍵となるのはマヨラナ粒子の存在で、ニュートリノと反ニュートリノが同一であることが予言されている。すなわち、ニュートリノのマヨラナ性を検証することで宇宙の起源に迫ることができる。

実験的アプローチとして、二重ベータ崩壊の探索が世界中で行われている。標準理論的な二重ベータ崩壊では、電子と反ニュートリノが2つずつ放出される。一方で、ニュートリノがマヨラナ性を持つ場合にのみ、ニュートリノを伴わない二重ベータ崩壊($0\nu\beta\beta$ 崩壊)が生じるので、これを観測することはニュートリノのマヨラナ性を示す直接的な証拠になる。

本講演では、物質優勢宇宙のシナリオと、世界最高感度で $0\nu\beta\beta$ 崩壊を探索する KamLAND-Zen 実験について発表する。

[スケジュール\(セッション毎\)に戻る](#)

[スケジュール\(全体\)に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Z111a Super-Kamiokande 検出器を用いた太陽からのニュートリノ観測

中野 佑樹, 他 Super-Kamiokande collaboration

Super-Kamiokande (SK) 実験は神岡地下 1000 m に設置された水チェレンコフ検出器である。検出器は 5 万トンの超純水と、約 1 万本の光電子増倍管によって構成されている。SK 実験は 1996 年 4 月から運転を開始し、現在まで 26 年に渡って太陽を代表する天体現象起源のニュートリノ観測 (探索) を実施している。太陽からは中心核領域での核融合反応による太陽ニュートリノが放出されており、太陽の核領域を透視できるプローブの役割をもつ。太陽ニュートリノ観測により太陽内部の研究だけではなく、ニュートリノの性質に関する研究も進められている。最近では、ニュートリノ振動パラメータの精密測定だけではなく、太陽の強力な磁場とニュートリノの相互作用を考慮して、電子ニュートリノから半電子ニュートリノへの遷移をするような素粒子の標準模型を超える物理の探索も実施している。また、太陽フレアの磁気リコネクションによるニュートリノ放出が議論されており、太陽フレアに付随するニュートリノは、太陽での陽子の加速機構の解明、パイオンの生成過程の理解に役立つため、ニュートリノ検出機での探索が活発に実施されている。本公演では、Super-Kamiokande 検出器の観測データから、このような太陽から放出されるニュートリノに関する最新結果と今後の展望に関して報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Z112b 太陽ニュートリノによる太陽の形成・進化過程の制約

國友 正信 (久留米大学), Tristan Guillot (コート・ダジュール天文台), Gaël Buldgen (ジュネーブ大学)

太陽内部構造は、恒星進化計算を用いた理論モデルと、分光・日震学・ニュートリノによる観測の双方から調査されてきた。特にニュートリノは、中心部の温度や組成を制約することができるため、その詳細な理解は重要である (e.g., Gough 2019)。しかし、Asplund et al. (2009) の組成を用いた標準太陽モデルではニュートリノや日震学の観測を再現できないことが問題となっており、「太陽組成問題」もしくは「太陽モデリング問題」と呼ばれ、現在盛んに議論されている (e.g., Orebi-Gann et al. 2021)。標準太陽モデルとは標準的な恒星進化計算を用いた太陽の理論モデルであり、近年新たな効果を考慮した「非標準太陽モデル」も提案されている。本講演では、これまでの標準・非標準太陽モデルのニュートリノフラックスと観測との比較を紹介し、最近我々が構築した惑星形成過程を考慮した太陽モデルについても報告する。惑星形成過程を考慮すると、太陽中心金属量が高くなる。これは、原始太陽系円盤内でのダストの合体成長や落下などに伴い、原始太陽へ降着するガスの組成が時間変化し、太陽内部に組成勾配が生じるためである (2021 年秋季年会 M20a, Kunitomo & Guillot 2021, A&A)。その結果、温度依存性の強い ${}^7\text{Be}$, ${}^8\text{B}$, CNO ニュートリノフラックスと中心金属量の間には正の相関があり、逆に pp , pep では負の相関が見られ、惑星形成を考慮したモデルではニュートリノフラックスの観測値をよく再現することがわかった (2022 年春季年会 M07a)。本講演では、その後に進めた計算から形成する惑星質量と CNO ニュートリノフラックスの相関についても紹介し、将来のニュートリノフラックスの観測から太陽の形成・進化過程にどのような制約を与えることができるのか議論したい。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Z113a KamLAND における超新星爆発由来ニュートリノの探索と銀河系内星形成率への制限

永塚穂里, 他 KamLAND コラボレーション

1987年2月23日、大マゼラン星雲からの超新星ニュートリノ SN1987A が世界で初めて観測された。ニュートリノはその高い透過性から超新星内部の情報を持ち出すため、この観測により超新星爆発の過程においてニュートリノが果たす役割について理解が深まった。現在では更なる詳細な爆発機構の解明に向け、各地で最新のニュートリノ検出器が超新星ニュートリノの探索を行なっているが、SN1987A 以降の超新星ニュートリノは未だ観測されていない。

KamLAND は1キロトンの液体シンチレータ検出器で、大光量のシンチレーション光を観測するため数 MeV 程度の低エネルギーイベントにも感度がある。特に反電子ニュートリノについては、逆ベータ崩壊反応を遅延同時計測で検出することにより低バックグラウンド下での観測が可能である。また、KamLAND は2002年3月から20年以上観測を継続しており、頻度が非常に低い超新星爆発を探索するのに有用である。

本公演では KamLAND のデータセットを用いた、逆ベータ崩壊のニュートリノエネルギー閾値 1.8MeV 以上の超新星爆発由来ニュートリノの探索結果について述べる。詳細なバックグラウンドの見積もりから得られた超新星爆発頻度の上限値の最新結果を述べ、そこから求められる星形成率についての議論も行う。加えて、全てのニュートリノフレーバーに感度のある、ニュートリノと ^{12}C との中性カレント反応を用いた超新星ニュートリノの探索の現状についても述べる。

[スケジュール\(セッション毎\)に戻る](#)

[スケジュール\(全体\)に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Z114b 超新星爆発からのニュートリノの長時間計算

森正光(東京大), 諏訪雄大(東京大学), 中里健一郎(九州大学), 住吉光介(沼津高専), 小汐由介(岡山大学), 原田将之(岡山大学), 中西史美(岡山大学), 原田了(理研), Roger Wendell(京都大学)

太陽の8倍以上の重い星はその一生の最期に重力崩壊型超新星爆発(以下:超新星爆発)という大爆発を起こす。超新星爆発はニュートリノがその爆発機構に深くかかわるとされており、ニュートリノ輻射輸送の発展と共に解明がすすめられてきた。また、超新星爆発は 10^{53} erg という莫大な重力エネルギーの99%をニュートリノとして開放する。そのため、さらなる解明には、爆発機構に深くかかわり、高密度コアから直接抜けるニュートリノを観測することが不可欠である。ここで、近年の超新星爆発ニュートリノのシミュレーションは、その計算コストの多さから1秒程度のものが大半である。しかし、超新星ニュートリノの唯一の観測例、SN 1987A から、もし銀河系内で超新星爆発が起こった場合、岐阜県神岡町にある水チェレンコフ型ニュートリノ検出装置、スーパーカミオカンデ(以下:SK)では数千個以上のニュートリノが10秒以上にわたって観測されることが予測されている。

このため、本研究では超新星爆発からのニュートリノ放射を長時間追うことでその系統的な性質を明らかにする。さらに、将来的に系内超新星爆発が観測されることに備えて、速やかに解析ができる解析パイプラインも含めた、超新星ニュートリノフレームワークという枠組みで開発している。本公演では、9.6太陽質量の長時間を紹介する。この計算はニュートリノ輻射輸送を含めた20秒間の長時間計算である。さらに、この計算結果を使ったSKでのイベント予測したのでその結果と観測された際に速やかに解析できる解析パイプラインの開発の現状を紹介する。

[スケジュール\(セッション毎\)に戻る](#)

[スケジュール\(全体\)に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Z115b 超新星爆発における原始中性子星の冷却過程で観測されるニュートリノ事象の研究

中西史美 (岡山大), for nuLC collaboration

重力崩壊型超新星爆発が起きると、中心に原始中性子星と呼ばれる中性子を豊富に含む高温なコアができる。そしてニュートリノを徐々に放出することでコアの温度が下がる。このニュートリノ放出の様子は密度、温度、組成といった原始中性子星の環境にのみ依存する。原始中性子星の冷却過程で放出されるニュートリノはコア内の情報を持っているため、それを観測することにより、核物質の状態方程式に制限を与えることができる。

先行研究 [1] では、20 秒以上の長期間にわたって原始中性子星冷却の計算を系統的に実行した。そしてこれらの結果に基づいてスーパーカミオカンデ (SK) で予測されるニュートリノ信号を最後の 1 事象まで評価した。

本研究では、質量と核物質の状態方程式の異なる様々な原始中性子星モデルを用いて冷却過程の後期に SK で観測可能な超新星ニュートリノ事象の定量的な見積もりを行った。そして最後の 1 事象の時間情報を用いて状態方程式の弁別可能性を評価した。本ポスターでは SK で観測可能な超新星ニュートリノ事象の最新の推定とモデル弁別可能性について報告する。

[1]Astrophys.J.925:98,2022

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Z116b 反応率のエネルギー依存性がニュートリノ集団振動の非線形進化に与える影響の調査

加藤ちなみ (東京理科大学), 長倉洋樹 (国立天文台)

ニュートリノ観測は超新星爆発の内部状態を知る有力なツールであり、将来の観測に向けた超新星ニュートリノの詳細な理論予想が必要である。近年この予想において問題となっているのが、ニュートリノ同士の相互作用によって起きる「ニュートリノ集団振動」である。先行研究によって集団振動はニュートリノ密度の高い中心部で起きることが示唆されているが、その非線形性や非常に細かい振動スケールが問題となって未解明な点が多く残されている。また、ニュートリノと物質の衝突を考慮に入れると、集団振動の非線形進化が変化する興味深い現象も報告されているが、未だに完全な理解には至っていない。そこで本研究では集団振動の非線形進化に関する未解明な点を明らかにした上で、それらが超新星ニュートリノの理論予想に与える影響の調査を最終目標とする。

本発表では、具体的にニュートリノ-物質散乱の反応率におけるエネルギー依存性がニュートリノ集団振動の非線形進化に与える影響について議論する。ほとんどの先行研究において、議論の簡易化のために単一ニュートリノエネルギーの仮定が用いられていた。しかし、実際の超新星爆発におけるエネルギースペクトルは有限の幅を持っており、この仮定の妥当性を検証する必要がある。そこで、自身で開発したニュートリノ反応と集団振動の両者を取り入れたモンテカルロ法によるニュートリノ輸送計算コードを活用し、簡易的なセットアップにおけるマルチニュートリノエネルギーの計算を行った。結果として、単一エネルギーの仮定は限られた場合にのみ妥当であることが分かった。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Z117b KamLAND による前兆ニュートリノを用いた超新星アラームシステムの現状と展望

石徹白晃治

8 太陽質量以上の恒星は、進化の最後に超新星爆発を起こす。このときに、ニュートリノ (超新星ニュートリノ) が放出されることは良く知られている。実は、星進化の最終段階 (シリコン燃焼フェーズ) において対生成プロセスでニュートリノが作られる。このニュートリノを前兆ニュートリノという。前兆ニュートリノは輝度が超新星ニュートリノと比べて数桁小さくかつ、平均エネルギーも主たる反応チャンネルである逆 β 崩壊の閾値 1.8 MeV と比べて小さい。そのために、当初は前兆ニュートリノの検出は不可能と考えられていた。しかし、我々は神岡の 1 kt 液体シンチレータ型反電子ニュートリノ検出器 (KamLAND) において、実データに基づくバックグラウンドと信号検出効率を定量的に評価することで、近傍超新星に限れば前兆ニュートリノを検出可能であることを示した (Asakura et al., 2015)。当初の見積もりから 7 年が経過して、検出器の特性や主たるバックグラウンドである原子炉ニュートリノによる寄与などが変化している。そこで、本講演では最新の KamLAND データと 2015 年以降に発表された新しい前兆ニュートリノモデルで、KamLAND での前兆ニュートリノの検出可能性を再度議論する。また、現在、KamLAND が運用している前兆ニュートリノを用いた超新星アラームシステムの現状、SK-Gd が稼働した新しい状況での将来展望を議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Z118a 超新星背景ニュートリノで探る大質量星の最期

芦田洋輔 (ウィスコンシン大), ○中里健一郎 (九州大)

大質量星がその進化の最期に起こす重力崩壊は超新星爆発を伴って中性子星が形成される、あるいはブラックホールが形成されることもあると考えられている。さらに、重力崩壊に伴って夥しい量のニュートリノが放出され、銀河系内で超新星が起こった場合には地上の検出器でのニュートリノ観測が可能となるだけでなく、過去に起こった超新星から放出されたニュートリノは背景放射 (超新星背景ニュートリノ) として、将来、検出が可能になると期待されている。ニュートリノの放出量は、形成される天体が中性子星かブラックホールか、さらに中性子星が形成される場合にはその質量にも依存する。

本研究では、超新星爆発で形成される中性子星の質量分布やブラックホールが形成される割合によって、超新星背景ニュートリノのフラックスとスペクトルがどのように変わるかを、3つの異なる核物質状態方程式を用いて調べた。さらに、超新星背景ニュートリノの探索を行なうエネルギー領域を最適に設定することで、次世代の水チェレンコフ検出器である SK-Gd とハイパーカミオカンデにおいて期待される感度を求めた。今回の計算では、中性子星の質量については重いものの割合が大きいほど検出しやすい一方、ブラックホール形成の割合については検出感度の依存性が状態方程式によって異なることが分かった。結果として、SK-Gd において 10 年間観測を続けた場合、検出の有無から以上のような大質量星の最期についてある程度の制限が得られると期待される。また、ハイパーカミオカンデにおいて 10 年間観測を続けた場合、今回の研究で検討したほとんどの場合で 3σ 以上の感度で検出が可能であることが分かった。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Z119b KamLAND における原始ブラックホールからのニュートリノ探索

中村稜, 他 KamLAND コラボレーション

原始ブラックホールは、宇宙初期の量子揺らぎが、インフレーションによって拡大され、その重力崩壊によって形成されたと考えられている。実際には、原始ブラックホールの存在は確認されていないが、その存在が証明されれば、宇宙の様々な問題を解決できるのではないかと期待されている。その中の 1 つが、原始ブラックホールとダークマターの関係性である。

KamLAND は、1 キロトンの大型液体シンチレータ検出器で、数 MeV 程度の低エネルギーに感度がある。反電子ニュートリノに関しては、逆ベータ崩壊の遅延同時計測で観測することで、低バックグラウンドを実現している。また、観測期間が 20 年以上と長いのも特徴である。

本講演では、KamLAND の解析結果から、原始ブラックホールに与えた制限を議論する。また、背景ニュートリノとの関連性についても議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Z120a ハイパーカミオカンデにおける天体ニュートリノ観測

矢野孝臣 for Hyper-Kamiokande collaboration

1970 年代太陽ニュートリノが Homestake 実験により観測されたことに続き、1987 年に超新星爆発ニュートリノが Kamiokande 実験によって観測されたことでニュートリノを観測対象とする天文学の扉が開かれた。2018 年には IceCube 実験で観測された高エネルギーニュートリノの起源がブレーザー天体と同定されるなど、近年でもこの分野で重要な発見がなされている。国内では 1996 年から、Super-Kamiokande(SK) 実験が Kamiokande 実験の後継として天体ニュートリノの観測を行なっている。

ハイパーカミオカンデ(HK)計画は SK 実験の後継となる、次世代超大型水チェレンコフ検出器実験である。天体ニュートリノの観測はその重要な目的の一つであり、現在 2027 年の観測開始を目指し検出器の建造が進められている。HK の有効体積は現行の SK 検出器と比して約 9 倍となる 187kt である。また新型光検出器の導入により $O(1)$ から $O(10)$ MeV のニュートリノ事象検出の能力が向上することから、HK では天体を起源とするニュートリノについて世界的にも類を見ない高精度、大統計のデータが期待される。本講演では HK における太陽・超新星といった天体を起源とするニュートリノの観測能力と、それによって期待される物理を報告する。また計画の概要と近況についても報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Z121a Paleo-detector の開発

廣瀬重信 (海洋研究開発機構), 村瀬孔大 (Penn State), 星野靖 (神奈川大学), 加美山隆 (北海道大学), 阿部なつ江 (海洋研究開発機構), 長谷部徳子 (金沢大学)

ダークマターと原子核の散乱が鉱物結晶中で起こるとき、keV/amu 程度のエネルギーを与えられた反跳原子核は鉱物結晶中に原子配列の乱れ=反跳トラックを残す。反跳トラックは地質学的時間にわたって保持されることから、年齢の古い鉱物は天然のダークマター検出器として機能し近年「paleo-detector」と呼ばれている (Drukier et al. 2019, Baum et al. 2020)。実際、paleo-detector は数十年以上前に磁気単極子 (Price & Salamon 1986) や WIMPs (Snowden-Ifft et al. 1995、以降 SI95) の探索で用いられたが、その後他の検出器の進歩により用いられることはなくなった。ところがこれらの探索は、質量がおおよそ 10^{16} GeV 以上のダークマターに対しては最先端の検出感度に迫ることが示された (Acevedo et al. 2021)。そこで我々は、SI95 の探索を拡張すべく paleo-detector の開発を進めている。SI95 の手法では白雲母の劈開面をエッチング処理して反跳トラックを可視化するため、そのエッチングピットの深さスペクトルが観測量となる。この量を (通常の検出器の観測量である) 反跳エネルギースペクトルに換算して検出感度を評価するためには、白雲母における「反跳エネルギー」と「エッチングピットの深さ」の関係を知る必要がある。この関係を探るため現在我々は、反跳エネルギースペクトルが既知であるイオンあるいは高速中性子を白雲母に照射し、エッチングピットを原子間力顕微鏡で観察する実験を行っている (Snowden-Ifft & Chan 1995 の再現実験に相当)。本講演ではこの実験結果について報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Z122c 親星の構造データからニュートリノ放出量を評価するモデルの改良に向けて

本間卓磨 (東京理科大), 中村広貴 (東京理科大), 加藤ちなみ (東京理科大), 鈴木英之 (東京理科大)

宇宙空間には、超新星背景ニュートリノと呼ばれる、宇宙が誕生してから現在に至るまでの超新星爆発によって放出されたニュートリノが漂っていると考えられる。これを調べることによって、星々が作られてきた歴史を探ることができる。この総量を求めるためには初期質量やメタリシティの異なる様々な親星のダイナミカルな超新星計算を行う必要があるが、計算コストが高く現実的でない。そこで、親星の構造から解析的にニュートリノ光度を計算できる Müller の方式の利用を考える。

本研究ではこの Müller の方式の妥当性を議論するために、GRID という一次元球対称の星の超新星爆発シミュレーションを行うコードを用い、状態方程式や親星のモデルを変えながら重力崩壊の様子を数値シミュレーションした。またそこから、特に超新星背景ニュートリノへの寄与が大きい、ブラックホールが形成される過程で放出されるニュートリノの総量を概算し、結果を比較した。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Z123c 超新星背景ニュートリノの計算に向けた種族合成計算コードの改良について

小川翔平 (東京理科大), 加藤ちなみ (東京理科大), 鈴木英之 (東京理科大)

我々は星の種族合成計算コードを用いて、超新星背景ニュートリノの量を評価するために、その計算コードから見積もられる爆発直前の炭素酸素コアの質量および半径を用いる方法を検討している。しかし、通常の種族合成計算コードの多くは CO コアの半径を計算していないものが多く、また CO コアの半径を計算している種族合成コードに関しても、その値が詳細な進化計算コードの結果に対して妥当でない場合が多いため、種族合成計算コードを用いて超新星爆発直前の CO コアの半径を見積もることは困難になっている。そこで、我々は詳細な進化計算コードを使用することで、様々な初期質量及びメタリシティーで、恒星進化を計算することで、爆発直前の CO コアの質量と半径のデータを集積した。その結果、初期質量に対して爆発直前の CO コアの半径は単調な振る舞いになっていないことがわかったため、その結果を再現するように fitting formulae を構築した。我々は種族合成計算コードの一つである Single star evolution code (Hurley et.al 2000) に得られた fitting formulae を実装し、種族合成計算コードを用いてある程度妥当な CO コアの半径を算出できるように改良し、超新星背景ニュートリノの計算に使う準備を進めている。本発表では、この改良された種族合成計算コードによる計算結果と詳細な進化計算コードの結果との比較を行い、それぞれの特徴について議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Z124c The Super-Kamiokande Pre-Supernova Alert System

L. N. Machado, on behalf of the Super-Kamiokande Collaboration

In 2020, the Super-Kamiokande (SK) experiment entered in a new phase, SK-Gd, with the addition of gadolinium (Gd) sulfate octahydrate to the water in the detector, improving the identification of neutrons emitted from inverse beta decay reactions and, therefore, enhancing SK's sensitivity to low energy electron anti-neutrinos. SK-Gd has the potential of detecting yet-unobserved neutrinos coming from different astronomical sources such as the diffuse supernova neutrino background and pre-supernova stars, which are massive stars at the last evolutionary stage before core-collapse supernova (CCSN). During this stage, pair annihilation and beta decay processes are the main cooling mechanisms of these stars, emitting high fluxes of electron anti-neutrinos. The detection of electron anti-neutrinos from pre-supernova stars could provide early warnings for CCSNs. From October 2021, a new alarm based on the detection of pre-supernova neutrinos has been running in Super-Kamiokande, sending alerts for potential nearby CCSN within 1 kpc. For SK with 0.01% Gd, in the case of Betelgeuse, the pre-supernova alarm would send alerts up to 9 hours before the CCSN, with optimistic parameters. We report the sensitivity of Super-Kamiokande to pre-supernova neutrinos and details about the new alert system based on their detection.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Z125c SK-Gd 実験の現状と展望

小汐由介 (岡山大) , for Super-Kamiokande collaboration

2020 年夏、スーパーカミオカンデ (SK) では、5 万トンの水に硫酸ガドリニウムを溶解することで検出感度を劇的に向上させる SK-Gd 実験が開始した。溶解したガドリニウムは中性子捕獲確率が極めて高く、また捕獲後に SK のエネルギー閾値より十分に高いエネルギー (トータル約 8MeV) のガンマ線を放出することから、SK 検出器における中性子信号の識別能力が格段に向上する。この中性子信号を用いると、多目的ニュートリノ検出器である SK において広範な物理解析で感度向上が期待されるが、特に世界で初めての超新星背景ニュートリノ (SRN) の発見が期待されている。宇宙が始まって以降の超新星爆発から放出されたニュートリノは、背景放射として現在の宇宙を満たしていると考えられており、それを SRN と呼ぶ。SRN の観測は、過去の超新星爆発の頻度など宇宙の進化の解明に直結しており、これまで世界中のニュートリノ検出器で探索が試みられていたが、現在まで発見には至っていない。それでも SK での観測限界値は理論予測に迫っており、SK-Gd 実験での発見が期待されている。本講演では、SK-Gd 実験の現状と展望を紹介する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Z201r JASMINE 計画

郷田直輝, ほか JASMINE チーム一同

JASMINE は、赤外線による超高精度位置天文観測および生命居住可能領域にある地球型惑星探査を科学目標とする観測衛星計画である (JAXA 宇宙科学研究所の公募型小型計画 3 号機)。位置天文観測では赤外線を用いるメリットを活かし、ダストに覆われて可視光では観測が困難な天の川銀河の中心領域の星の距離と運動を測定し、中心核構造とその形成史や巨大ブラックホールの進化を明らかにすること (銀河中心考古学) を大きな目標としている。また銀河中心考古学を通じて太陽系等の移動を引き起こす原因となる銀河構造の進化の過程も明らかにすることも科学目標に掲げている。さらに、位置天文観測で達成される高精度な測光能力を活かしたトランジット観測により、中期 M 型星周りの生命居住可能領域にある地球型惑星を探査することも大きな科学目標である。これらの科学目標のために、星の年周視差、固有運動、測光の時系列データ等の物理情報をカタログとして作成し、研究者コミュニティへ公開する。JASMINE は、JAXA での開発フェーズの段階的アップを目指して計画を推進している。また、研究者有志からなる JASMINE コンソーシアムの会合の公開開催等を通して、他の観測計画との連携も視野に入れた、JASMINE で期待できるサイエンス成果の精査や拡大を検討している。さらに、国産赤外線検出器の宇宙用化等の観測装置開発とデータサイエンスを活かしたデータ解析手法の構築とソフトウェアの開発 (ヨーロッパの Gaia メンバーとの国際協力を含む) を進めている。以上に関して、JASMINE の全体的な概要と進捗状況を報告するとともに研究者コミュニティからのさらなるご参加やご支援をお願いしたい。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Z202a JASMINE のシステム概要

片坐 宏一, 白井 文彦, 磯部 直樹 (ISAS/JAXA), 郷田 直輝, 鹿野 良平 (国立天文台), 山田 良透 (京都大学), 河原 創 (東京大学), JASMINE プロジェクトチーム

JASMINE は 銀河系中心領域の超高精度位置天文観測と M 型星周りの生命居住可能領域にある地球型惑星の探査を科学目的とするミッションである。この科学目的を達成するために、JASMINE では太陽同期軌道上の衛星に、温度安定性を最大限に重視した望遠鏡と近赤外線検出器からなる観測装置を搭載し、3 年間の観測を実施する。打ち上げにはイプシロン S ロケットを用いる。軌道高度はロケット打ち上げ能力と衛星質量に依存し、また放射線帯の影響も考慮しながら高度 550km 以上の軌道を狙っている。

望遠鏡は軌道上で 1 周回中の温度変化が ± 0.1 度以内になるように熱制御された上に、温度膨張係数の極めて小さい スーパースーパーインバーとクリアセラムを構造体、鏡材に使い、周回中での撮像画像の歪みの発生を抑えている。焦点面には約 2 千 \times 2 千画素の国産 InGaAs 検出器を 4 個配置している。一つの検出器あたりの視野はおおよそ 15 分角である。位置天文観測の要求と系外惑星の探査の要求を満たしつつ、コストを可能な限り下げられるように望遠鏡のパラメータは設定される。また、地上へのデータ伝送量を考慮して、軌道上でのデータの抽出や圧縮ということも予定している。

本講演では、科学的要求と現実的な制限・制約の下で JASMINE ミッションがどのように組み立てられているのかという構成を示す。そして、この観測装置ハードウェアおよび運用上の制限について示し、このプロジェクトでどのような観測データが得られるのかを解説する。さらに、現時点では確定的な値が出ていない制限についても今後の見通しや最良・最悪の場合について述べる。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Z203a JASMINE のデータ解析

山田良透 (京都大学)、河田大介 (University College London)、河原創、上塚貴史、大澤亮、福井暁彦 (東京大学)、片坐宏一、白井文彦 (宇宙研)、辰巳大輔、郷田直輝、矢野太平、泉浦秀行、三好真 (国立天文台)、平野照幸 (東京工業大学)、服部公平 (統数研)、大宮正士 (ABC)、吉岡諭 (東京海洋大学)、立川崇之 (高知高専)

位置天文観測は、多数回の撮像データから、様々な誤差要因を自己校正することで、望遠鏡の解像度に比べてはるかに高い精度を達成するものであり、データ解析の重要度は非常に大きい。Hipparcos や Gaia は回転する衛星で子午環観測を模した全天観測をするのに対して、JASMINE は部分的な領域で、静止画像データの処理を行うこと、CCD よりノイズが多い CMOS 検出器を使うこと等の特徴がある。データ処理の方法も望遠鏡解像度に対する達成精度も異なる。精度を達成するために、JASMINE 固有の難しさがあり、とてもチャレンジングである。

部分的な解析コードの開発は構想開始の少しあと、2003 年から進められているが、2020 年秋ごろから E2E(end to end simulation) グループが組織され、データ解析コードと、衛星の性能検証に必要な衛星アウトプットデータのシミュレーションデータを作製する活動が本格化した。衛星計画は計画からデータリリースまでに 30 年程度を要し、この間、コードが動き続けること、メンテナンスが継続できることが求められる。そのため、科学的な解析手法の検討のみならず、Open Source 品質をキーワードに、設計の重視、モデル駆動技術、テスト駆動開発、スクラム開発などの情報科学の知見も取り入れている。

本講演では、この活動の進捗状況として、シミュレーションと解析を組み合わせた JASMINE の実現可能性検討の状況と、開発手法の適用に際して科学ソフトウェア特有の改良を要する点などを紹介する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Z204a JASMINE による銀河系中心考古学

河田 大介 (UCL, MSSL)

JASMINE 計画は、世界初の近赤外線位置天文衛星として、現在、多大な成果を挙げている欧州宇宙機関の可視光線位置天文衛星 Gaia では到達することのできない、銀河系中心の星の正確な距離と運動を測定し、銀河系中心核構造と形成史を明らかにすることを目標としている。特に、太陽系を含む銀河系円盤の星の移動を引き起こす原因として、最も重要な銀河系構造であるバー構造の誕生時期を明らかにする。我々の研究を含む最近の研究では、銀河系のバー構造は、銀河系円盤形成初期に誕生した可能性が指摘されている。さらに我々は、数値シミュレーションとの比較により、Gaia 衛星のデータで発見された、100 億年以上前に銀河系で起きた矮小銀河との合体が、バー構造の形成に関連がある可能性も指摘しており、このバー構造の誕生時期を明らかにすることは、銀河系形成史にとっても非常に重要である。また、JASMINE が観測する銀河系中心領域は、ちょうど $10^{-22} \sim 10^{-19}$ eV の超低質量ダークマターで予想される高密度コアの大きさに対応する。JASMINE が提供する銀河系中心領域の星の運動は、このようなダークマターコアの存在を発見、あるいは棄却することに適用できる。さらに、同時期に観測される他の望遠鏡からのデータと融合することにより、その存在は予言されているが未発見であり、銀河系中心により多く存在することが期待されている中間質量ブラックホールを、明るい巨星との連星系を探索することにより発見したり、アストロメトリックマイクロレンズングにより発見することができる可能性もある。本講演では、このような JASMINE によって切り拓かれる新しい銀河系考古学サイエンスの展望を紹介する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Z205a PRIME 望遠鏡を用いた銀河系バルジにあるミラ型変光星探査の検討

松永典之 (東京大学), PRIME コラボレーション

ミラ型変光星は、中小質量星が漸近巨星枝 (AGB) 段階に進化したときに現れる大振幅の長周期変光星である。距離推定を可能にする周期光度関係を示すこと、周期と年齢に相関があることが知られており、恒星種族のよいトレーサとなる。世界初の近赤外線位置天文衛星として準備の進む JASMINE 計画でも、銀河系中心領域にある多くのミラ型変光星が観測対象になるはずであり、地上からの測光観測・分光観測を含めてそれらの天体を詳しく調べる必要がある。しかし、これまでの銀河系中心領域のミラ型変光星の探査は著しく不完全である。星間減光が強い可視光での探査では検出限界よりも暗くなってしまう一方、近赤外線での探査は対象となるミラ型変光星をしっかりと探せるような広視野の変光星観測が行われていない。VISTA 望遠鏡 (口径 4m) で行われた VVV 探査 (VISTA Variables in the Via Lactea) では、バルジにあるミラの多くが飽和限界よりも明るくなってしまっている。そこで、このような可視赤外の探査のギャップがどの程度大きく、どのような観測を行えば未発見のミラ型変光星を見つけられるのかを検討した。その結果、バルジの距離 (6–10 kpc) にあつて K バンド ($\sim 2.2 \mu\text{m}$ 帯) で 2–3 等級程度の減光を受けているミラ型変光星 (銀緯が $\pm 1^\circ$ 程度以内に分布) はこれまでの探査で観測できていないこと、 J バンドで 11 ~ 15 等級の範囲を調べられる探査が特に有効であることがわかった。我々はそのような観測を南アフリカ天文台に建設中の PRIME 望遠鏡 (口径 1.8m) で行う計画であり、その準備状況 (場合によっては初期観測の状況) についても報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Z206a JASMINE による系外惑星探査

○河原 創 (東京大学)、増田賢人 (大阪大学)、小谷隆行 (ABC/NAOJ)、小玉貴則 (東京大学)、平野照幸 (ABC/NAOJ)、福井暁彦 (東京大学)、川島由依 (理研)、葛原昌行 (ABC/NAOJ)、高橋葵 (ABC/NAOJ)、多田将太郎 (総研大)、野津湧太 (コロラド大学/東京工業大学)、宮川浩平 (国立天文台)、宮崎翔太 (大阪大)、大宮正士 (ABC/NAOJ)、ほか JASMINE 系外惑星検討班 (Exo JASMINE チーム)

JASMINE 計画では、主要なサイエンス目標の一つとして宇宙からの近赤外域精密測光観測による系外惑星探査を検討している。M 型星のハビタブルゾーン付近のトランジット探査をはじめ、Spitzer/CHEOPS の代替となるような宇宙からの測光フォローアップ、褐色矮星の測光変動を通じた substellar object の気候探査、若い恒星まわりのトランジット探査、マイクロレンズ・系外惑星アストロメトリ、精密測光データを利用した恒星フレア等のサイエンスを、測光性能シミュレーションや観測戦略の策定を含め、総合的に検討している。

M 型星周りの探査では、軌道上の約半分の時間をしめる非バルジ観測時を利用し、内側に惑星が発見済みかつハビタブルゾーン付近の惑星がトランジットする可能性が高い M 型星の個別惑星探査を行うこと想定している。トラピスト系に代表される地上探査で有利な晩期 M 型、TOI-700 に代表される TESS のような宇宙からの精密測光で有利な早期 M 型の間、未開拓領域が広がっている。TESS より大きい口径・地上望遠鏡より精密な測光を実現することでこの領域を探索し、将来の生命探査につながる系外惑星の発見を目指したい。本講演では、これら検討の概要と前前回天文学会からのアップデートを中心に発表したい。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Z207c JASMINE の観測波長と観測データについての見直し検討

矢野太平, 郷田直輝, 鹿野良平, 三好真, 上田暁俊, 辰巳大輔, 鹿島伸悟 (国立天文台), 山田良透 (京大理), 片坐宏一, 臼井文彦 (宇宙研), 他 JASMINE チーム

これまで赤外線位置天文観測衛星 JASMINE は、Teledyne の HgCdTe 検出器 (H4RG) を候補として検討を進めてきたが、最近、国立天文台において開発が行われてきている国産の InGaAs 近赤外検出器の搭載が有力候補となっている。その結果観測波長が変更される予定であるが、定量的なバンド幅は検討中である。また観測領域においても最近見直しが行われている。こうした状況を受けて、JASMINE でどのような天体がどの程度観測されるのかを改めて確認する事を目的に 2MASS や Sirius, VVV など既存のカタログから観測天体数を定量的に見積もったり、ミラ型変光星についても等級別、周期別にどの程度観測されるかの見込みについて定量化作業を進めている。まずカタログにおける天体の I や J などの等級から JASMINE での観測帯域での等級 H_w に変換をする必要がある。厳密にはカタログ毎に JASMINE で用いる観測帯域での等級への変換式は異なる。すでにそうした相違も考慮し変換式を詳細化してきた。そして、GaiaEDR3 のデータとの比較を行うことで、JASMINE の観測領域内天体が Gaia ではどのような観測精度で測定されており、どの程度の距離までは測定できているのかといった現状を調べた。また 2MASS や Sirius などのカタログから JASMINE 観測天体における色の分布を調べた。Schonrich et al. 2015 により、APOGEE の観測で NSD の存在が示されたがそうした天体の色と JASMINE で観測可能かどうかの検討もおこない、確かに JASMINE でも銀河系中心核の NSD の天体が観測される事を確認した。本講演は以上のように、VVV, 2MASS あるいは Gaia や APOGEE といった観測データから JASMINE の観測天体がどのようなものでどの程度の個数観測できるのかといった状況を検討する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Z208c JASMINE ・カメラシステムの開発検討

鹿野良平, 郷田直輝, 宮川浩平, 上田暁俊, 辰巳大輔, 中屋秀彦, 平林誠之, 清水莉沙, 浦口史寛, 満田和久 (国立天文台), 片坐宏一 (JAXA/ISAS), 小谷隆行 (ABC, 国立天文台), 多田将太郎 (総研大), 山田良透 (京都大学), JASMINE プロジェクトチーム

現在、JAXA 宇宙科学研究所の予算支援にて、国立天文台が地上の天文観測用として開発した国産 InGaAs 近赤外イメージセンサー (中屋ほか, 2020 年春季年会) を、さらなる高感度化・大フォーマット化と宇宙環境での使用検証とを行う開発が進められている。赤外線位置天文観測衛星 JASMINE では、一撮像で 0.5° 四方の天空を秒角以下のピクセルサイズで取得するために、この新たに開発される検出器 4 つをカメラシステムに密に搭載することになっている。

検出器開発については、2021 年度の実施にて高感度化・大フォーマット化の見込みがきつきつあり、類似素子にて行った検出器性能に関する放射線耐性検証 (^{60}Co ガンマ線照射, cf. 中屋ほか, 2021 年宇宙科学シンポジウム; 8MeV 陽子線照射, cf. 鹿野ほか, 2022 年春季年会) でも良好な結果を得てきた。またカメラシステムについては、熱構造に関する概念検討が国立天文台・先端技術センターで行われ、望遠鏡システムの放熱板とカメラシステムのペルチェ素子との組み合わせにて、検出器を所定の温度 ($< 173\text{K}$) に冷却する解が十分ありえることが分った。

講演では、JASMINE として目指しているカメラシステムの説明とともに、その開発検討の概要と今後の予定について報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Z209c JASMINE 望遠鏡光学系：変遷と現在ノミナルモデル

○鹿島伸悟, 矢野太平, 上田暁俊, 辰巳大輔, 小宮山裕, 末松芳法, 鹿野良平, 郷田直輝 (国立天文台), 山田良透 (京都大学), 片坐宏一, 白井文彦, 磯部直樹 (JAXA/ISAS), 他 JASMINE チーム

JASMINE 望遠鏡光学系は、当初口径 30cm の 3 枚鏡 (改良型コルシェ) と 3 枚の光路折り曲げ平面ミラーの 6 枚構成で検討が始まった。その後、検出器が Teledyne 社製のものから国産検出器に切り替わり、それに伴い口径が 40cm に変更されたが、その分光光学系全体も大きくなり、そのままではフェアリングに入らなくなったため、設計を大幅に見直した。その際、腫から離れているためローカルな面変形が像歪みに影響する平面ミラーを 1 枚減らし、5 枚構成とした。

メーカー検討の中でやはりコストが問題となり、3 枚鏡ではこれ以上コストが下がらないという見解が出たため、性能的には劣るが 2 枚鏡システムも設計検討を行った。2 枚鏡システムに関してはコスト低減が目的であるため、光路折り曲げミラーもなくし、主鏡と副鏡だけの 2 枚構成とした。

しかしながら 2 枚鏡システムは、像面湾曲を多少なりとも相殺するために検出器面を四角錐状に配置したため、そのアライメントやその後のデータ解析が非常に複雑且つ素性の良くないものとなり、また主鏡の穴が大きくなったため、バルジからの直接光が検出器に入ってしまう等の問題が発生した。更に、メーカーのコスト見積もりも、当初期待していたほどは安くならなかったため、やはり 3 枚鏡をノミナルとすることになった。但し、現状ではコストキャップに取まらないため、ミッションが成立する範囲で口径 (望遠鏡全体) を極力小さくし、少しでも安くなるよう仕様の見直しを行った。

本発表では、これまでの光学系の変遷と、現在ノミナルとなっている光学系に関して詳細に報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Z210c JASMINE 衛星の運用・地上系の概念検討

磯部 直樹, 片坐 宏一, 白井 文彦 (ISAS/JAXA), 郷田 直輝, 鹿野 良平 (国立天文台), 山田 良透 (京都大学), 河原 創 (東京大学), JASMINE プロジェクトチーム

JASMINE 衛星の運用とそれを実現するための地上系の概念検討について、全体像を簡単に報告する。JASMINE では、銀河系の中心領域の超高精度位置天文観測と中期 M 型星周りの生命居住可能領域にある地球型惑星の探査を二大科学目的としている。JASMINE 衛星から銀河系の中心方向が観測可能な春と秋には位置天文観測を、夏と冬には惑星探査を重点的に行い、これらに影響のない範囲で公募観測も検討する。位置天文観測の際には、銀河中心方向の目標観測領域 (直径 1.4 度の円領域+ α) のマッピング観測を行うが、地球が視野内に入る軌道半周では望遠鏡の熱安定性確保のための退避姿勢をとる。マッピング戦略については、現在最適化を行っている。惑星探査の際には、目標天体を設定し、その天体を数週間以上にわたりモニタ観測する。ただし、軌道ごとに目標天体の視野内に地球が入るタイミングで次の目標天体に視野を移し、地球が視野外に出たところで元の目標天体に戻ること想定している。これらを実現するための具体的な運用シーケンスについて、検討を進めている。

地上系の検討は、宇宙科学研究所の科学衛星運用・データ利用ユニット (C-SODA) の協力で進めている。運用の拠点として、宇宙科学研究所に JASMINE 運用室を設置する予定である。JASMINE チームの責任で運用計画の立案やコマンド作成を行い、JAXA 地上局 (内之浦宇宙空間観測所など) を通じて衛星の管制と状態監視を行う。JASMINE の予想発生データ量が JAXA 地上局でダウンリンク可能なデータ量を大きく上回っていることから、海外機関や民間企業の地上局の利用を検討しており、昨年度から具体的な調整を進めている。校正済み画像や天体カタログなどの科学データ・情報は、国立天文台から天文学コミュニティーに一般公開する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Z211r 銀河系中心核ディスクと中心核星団の起源と近赤外線サーベイ計画

西山正吾 (宮城教育大)

本講演では、近年の観測で得られた銀河系中心核バルジ (NB)、中でも特に中心核ディスク (NSD) の研究成果を概観し、近赤外線の将来計画 (JASMINE, ULTIMATE-Subaru など) に関連する研究を紹介する。

銀河系の中心数 100pc の領域は中心核バルジ (NB) とよばれ、分子ガスの構造である central molecular zone (CMZ)、星の構造である NSD と中心核星団 (NSC) からなる。NSD と NSC は、単なる銀河系バルジの内側部分ではない。星の金属量や運動を調べると、バルジとは独立した構造だとわかる。特に最近の観測で、NSD と NSC の複雑な星形成史が明らかになりつつある。NSD では約 1 Gyr 前に大規模な星形成が起こり、5%程度 ($\sim 5 \times 10^7 M_{\odot}$) の星が形成されたとされている (Nogueras-Lara et al. 2020)。一方 NSC では、約 3 Gyr 前に大規模な星形成が生じている (Schödel et al. 2020)。これらの星形成史の違いは何に起因するのか。

また NSD の過去数 10Myr の星形成率 ($\sim 0.1M_{\odot}/\text{yr}$) を考慮すると、数 10 個の星団が形成されたと予想できる (Matsunaga et al. 2011)。にも関わらず、NSC を除くと、2 個の星団しか見つかっていない。どこかに星団が隠れているのだろうか。それともすでに散らばってしまったのだろうか。本当に星団として生まれたのだろうか。

JASMINE や ULTIMATE-Subaru による観測で、これらの謎に迫りたい。若い星だけでなく、数 Gyr の星の中にも、近赤外線と比較的明るい星がある。JASMINE によるアストロメトリや、ULTIMATE-Subaru による狭帯域フィルターサーベイなどを通して、これらの星を探し出し、その運動や金属量を測定し、NSC や NSD の形成史の理解につなげたい。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Z212a JASMINE による強吸収領域における集団的星形成の研究

西 亮一, 石倉 来実, 樋山 舜崇 (新潟大学)

銀河系における星形成の主要部分は、巨大分子雲において集団的に起きている。集団的に形成した星の大半は星団として生き残ることはなく、OB アソシエーションを形成したのち、フィールド星になっていくと考えられる。最近の Gaia のデータを用いた解析により、OB アソシエーションの構造と進化の研究が大きく進みつつある。しかし、Gaia は基本的に可視光による観測であるため、吸収の影響を強く受ける。そして、星形成領域は必然的に母体分子雲による吸収が強い。そのため、Gaia による観測では、OB アソシエーションの前段階、集団的に形成したばかりの星を解析することが困難である。また、近年、銀河系中心領域で活発な星形成が起きていることもわかってきたが、星団として残っている以外の若い星を識別し解析することは困難であった。

我々は、Gaia データを用いて近傍の OB アソシエーションである Ori OBI や US 領域の解析を行ってきた。その知見をもとに、位置観測生成による固有運動の観測を鍵として、JASMINE の赤外線観測によって、分子雲に埋もれた形成直後の星の集団や銀河系中心領域の若い星々など、強い吸収を受けている領域での星形成の解析が十分期待できることを示した。本講演では、それらの結果に加えて、6 月に予定されている Gaia DR3 のデータを用いた解析を合わせて紹介する予定である。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Z213a 銀河系中心電波源 astrometry に基づく JASMINE との連携計画

今井 裕, 中川亜紀治 (鹿児島大学), 馬場 淳一, 郷田 直輝, 小山友明, 川口則幸 (国立天文台), 服部公平 (統計数理研究所/国立天文台), 河田 大介 (University College London), 小川 英夫 (大阪公立大学)

銀河系バルジや中心核 (バルジ・円盤) の方向には、レーザー源やコンパクトな非熱的放射源など、VLBI 観測による高精度電波 astrometry 対象天体が多数存在する。これらは、生まれたばかりの大質量星形成領域や様々な質量を持つ恒星のうち進化終末期のもの (長周期変光星)、さらには X 線連星やブラックホールに付随する天体である。これらの距離は様々な手法で推定されているが、年周視差によって、銀河系中心あるいはその手前か奥どちらに存在するか直接測定することが重要である。また永年固有運動の計測より、これらの起源を探ることも期待される。JASMINE は同じく銀河系中心方向の星々に対して近赤外線 astrometry を目指すが、異なる種族の天体に対する電波 astrometry はこれと相補的であり、レーザー源を伴う赤外線星は両者間で共通の高精度座標系の構築にも繋がる。

しかし、銀河系中心方向の電波 astrometry は日本からだと低仰角で実施するので、VERA で実施してきた手法をさらに改良する必要がある。その鍵となるのが、地球大気 (特に水蒸気) による VLBI フリンジ位相の揺らぎの低減と超過遅延残差推定の高精度化である。また、astrometry に参加する VLBI 局の追加 (野辺山 45m 鏡等) や、SKA を含めた南半球 VLBI の実現も重要である。本講演では、これら銀河系中心方向の電波 astrometry についての展望と現在の取り組みについて論じる。特に、銀河系バルジ最深部 (中心から 300 pc 以内) にある星周 SiO/H₂O レーザー源を伴う約 40 星の運動から、このスケールにおける銀河回転曲線の導出について言及する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Z214a 位置天文観測と天の川銀河の N 体シミュレーションの比較

朝野哲郎, 藤井通子 (東京大学), 馬場淳一 (国立天文台), Jeroen Bédorf, Simon Portegies Zwart, Elena Sellentin (Leiden Observatory)

Gaia 衛星によって天の川銀河の星の位置・速度が大規模かつ高精度に測定されている。位置天文観測データから求められる星の位相空間分布には、銀河の力学構造とその進化の歴史が刻まれている。Gaia によって観測可能な領域は天の川銀河の一部分のみであり、さらに、観測から銀河の時間進化を直接知ることはできないため、観測データを読み解くためには、理論モデルと観測の比較が重要である。そのような理論モデルとして、我々は天の川銀河を模した孤立円盤銀河 N 体シミュレーション (Fuji et al. 2019) を用いてきた。我々のこれまでの研究 (Asano et al. 2020, 2022) では、バーによる内的摂動が星の軌道や位相空間分布に与える影響に着目して解析を行い、バーの共鳴軌道が Hercules stream に代表される速度空間サブ構造を作ること示した。

さらに今回、この天の川銀河モデルに伴銀河を追加して新たにシミュレーションを行った。このシミュレーションでは、伴銀河による外的摂動によって、 z - v_z 空間の phase-space spiral や R - v_ϕ 空間の ridge など、Gaia の観測で見つかったような位相空間構造が形成されていた。本講演では、JASMINE などの将来計画を踏まえつつ、伴銀河有り・無しシミュレーション及び Gaia の最新観測データを比較しながら、内的・外的摂動のそれぞれが天の川銀河の星の位相空間分布に与える影響について議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Z215r 2020 年代後半の重力マイクロレンズ探査と JASMINE の位置付け

越本直季 (NASA ゴダード宇宙飛行センター/メリーランド大学)

重力マイクロレンズ法は系外惑星からコンパクト天体まで検出できるユニークな手法である。2004 年に初めて惑星が発見されて以降、これまでに同手法で約 130 個の惑星が発見されている。コンパクト天体の同定には高精度位置天文データが必要であり、長らく確かなコンパクト天体は未発見であったが、Keck 望遠鏡やハッブル宇宙望遠鏡を用いた長期に渡る追観測の結果、主星が白色矮星の惑星系 (Blackman et al. 2021) や、単独のブラックホールか中性子星 (Sahu et al. 2022, Lam et al. 2022) が最近になって発見された。

上述の成果は可視光カメラを用いた $|b| > \sim 2^\circ$ のサーベイに基づくが、2020 年代には、近赤外線カメラを用いた、 $|b| < 2^\circ$ のより低銀緯領域のサーベイが開始され、より高いイベントレートが期待される。特に、2026 年に NASA が打ち上げる Roman 宇宙望遠鏡は、宇宙からの近赤外線マイクロレンズサーベイにより、5 年間のミッションで ~ 1400 個の惑星を発見し (Penny et al. 2019)、数百個のコンパクト天体を発見する (Gaudi et al. 2020)。しかし、Roman のメインフィールドには $|b| < 0.5^\circ$ の銀河系中心は含まれておらず、中心核バルジにおける惑星やブラックホール探査には、同時期に日本が主導する PRIME、ULTIMATE-Subaru、JASMINE の測光・位置天文データが重要となる。

本講演では、これまでのマイクロレンズ研究及び将来計画をレビューし、マイクロレンズ研究の観点から JASMINE に期待することを議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Z216a Gaia によるブラックホール連星探査への理論予想と JASMINE への期待

鹿内みのり (東京大学)、津名大地 (東京大学)、谷川衝 (東京大学)、川中宣太 (京都大学)

位置天文観測衛星 Gaia では、可視光で伴星 (恒星) の位置や速度変化を観測することで、ブラックホール伴星からなる連星 (以下、BH 連星) の軌道周期や BH の質量を推定できると考えられている。Gaia で観測しうる BH 連星の軌道周期は X 線連星よりも長いものもあるとされ、これまで系内 BH が見つかった X 線連星とは異なる BH 分布を明らかにする可能性がある。

Gaia のデータは徐々に公開されてきているが、特に 2022 年 6 月に予定されているデータ公開 (Data release 3、DR3) では、non-single star、すなわち連星の情報も含まれる可能性があることが予告されている。この 5 年以内に、Gaia で BH 連星がいくつ観測できるかを理論的に予想する論文が 10 本以上発表されていることから、人々の関心を掻き立てていることが分かる。

本講演では、我々がこれまでに明らかにしてきた、Gaia による BH 連星の観測可能性に関する理論的予想に関する議論をまとめる。我々は、Gaia によって数個から数十個の BH 連星が発見可能であるということを明らかにした。まず、星団起源の BH 連星の観測可能性や、孤立連星起源の BH 連星と区別しうる可能性があることに触れる (Shikauchi+2020)。さらに、超新星モデルや共通外層進化に関するパラメータといった連星進化モデルの選び方によって観測可能性が大きく変化し、観測される連星パラメータからモデルに制限を課しうることについて述べる (Shikauchi+2022)。最後に、Gaia で観測しうる BH 連星の空間分布に関する理論的予想 (Shikauchi+in prep.) についてまとめながら、今後 JASMINE ではどのような議論ができそうかについて述べる。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Z217a JASMINE で切り開く天の川銀河面拡散 X 線放射構成種族の解明

森鼻久美子 (名古屋大学), 辻本匡弘 (JAXA/ISAS)

天の川銀河の銀河面に沿って見かけ上拡がった X 線放射に、銀河面拡散 X 線放射がある (e.g., Worrall et al., 1982)。この放射は数千万度の高温放射であり、そのスペクトル中に高階電離鉄輝線を持つ。その起源として、高温プラズマと未分解の暗い点源の重ね合わせの 2 説が考えられており、近年の研究では銀河面の場所によりその起源が異なることが示唆されつつある (e.g., Koyama 2018)。暗い点源としては主に磁場を持つ白色矮星連星系 (e.g., Yuasa et al., 2012, Hong et al., 2012) と磁場が弱い白色矮星連星系 (e.g., Nobukawa et al., 2015) とコロナ活動の盛んな星 (e.g., Revnivtsev et al., 2006) が考えられている。X 線では星間吸収のため個々の点源の種族を分類することは難しいため、これまで近赤外線での観測が行われてきた (e.g., Laycock et al., 2005, Morihana et al., 2016) が、個々の点源を視線方向に分解することができず、その種族を探るには赤外線分光するしかなかった。しかし、JASMINE による観測でこれら暗い X 線点源を 3 次元方向に分解することが可能となり、X 線光度と近赤外線光度の比から分光することなく個々の種族分類ができると考えられる。JASMINE の観測予定領域には、チャンドラ X 線衛星により検出された暗い X 線点源 9017 個 (Muno et al., 2009) のうち近赤外線で同定された JASMINE で観測可能な明るさの天体約 900 個存在する。本講演ではこれらの距離を JASMINE により明らかにすることで予測される拡散 X 線放射の構成種族について議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Z218r スペース・地上近赤外線観測から迫る太陽系外惑星

小谷隆行 (アストロバイオロジーセンター/国立天文台/総研大)

近年のスペース・地上からの太陽系外惑星探査は、様々なサーベイ・フォローアップ観測の結果が示すように、進展が著しい。本講演では、JASMINE が観測を開始するまでに進む系外惑星探査と、JASMINE と地上観測によって新たに切り開かれる系外惑星サイエンスについて、スペース・地上観測の両面から俯瞰する。

太陽型星よりも低質量な M 型星は太陽系近傍に豊富に存在し、ハビタブルゾーン内に存在する地球型惑星探査という点で近年盛んに研究が進められている。比較的明るい早期 M 型星については、地上可視視線速度 (RV) 観測や、TESS に代表されるスペースからの高精度トランジット観測により、既に地球質量惑星が発見されている。一方、より低質量な中期～晩期 M 型星は、可視ではスペース・地上どちらも観測が難しく観測例が少なかったが、すばる望遠鏡 IRD での近赤外線視線速度サーベイによる中・晩期 M 型星まわりの地球型惑星探査が進行中であり、既に惑星が見つかりつつある。IRD は JASMINE によるフォローアップ観測へのターゲットを供給すると共に、JASMINE により見つかるトランジット惑星の RV フォローアップ観測と組み合わせることで、惑星の質量・半径を決定することが期待される。また南アフリカに建設中の PRIME 望遠鏡に搭載を目指して開発中の近赤外線高分散分光器 SAND では、近傍の比較的明るい M 型星まわりの地球型惑星を RV 法により発見することを目指しており、大望遠鏡では難しい高頻度・フレキシブルな観測によって、JASMINE との協調観測を可能にする。

また、これまで恒星自身の活動が活発なため観測が難しかった若い恒星においても、近赤外線での高精度測光観測と RV 観測は威力を発揮する。このような惑星の探査は、JASMINE と地上 RV 観測の協調観測により劇的に進み、現在よくわかっていない、誕生直後の惑星系について重要な情報が得られると期待される。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Z:219a M 型星周りの水惑星存在度に関する惑星形成論的予測

木村 真博 (東京大学), 生駒 大洋 (国立天文台)

JASMINE による太陽系外惑星探査によって、M 型矮星まわりのハビタブルゾーン内に存在する惑星の発見が期待される。ハビタブルゾーンは日射量によって定義されることが多いが、惑星気候学によれば、温暖な気候の維持には、適度な日射量だけでなく、海水量が適度な範囲にあることが要求される。古典的な惑星形成理論モデルでは、M 型矮星のハビタブルゾーン内に形成される岩石惑星は海水量に関して二極化する。すなわち、海水が全く存在しないか、温暖な気候を維持するには海水が多すぎるものが形成され、温暖な気候を持つハビタブル惑星は M 型矮星の周りでは稀であるという結論が導かれる。しかし、古典モデルでは、原始大気とマグマオーシャンの間の相互作用や原始惑星系円盤内での雪線の移動など水の生成に関わる重要な効果が無視されている。そこで我々は、そうした効果や惑星形成過程の幾つかの要素について最新の理論を導入し、新たに惑星種族合成モデルを開発した。我々の最新のモデルでは、M 型矮星まわりのハビタブルゾーンには、さまざまな海水量を持つ岩石惑星が生成される。このことは、温暖な気候に適した海水量を持つ水惑星が M 型矮星の周囲に普遍的に存在することを示唆しており、(古典モデルの予測とは異なり) M 型矮星のハビタブル惑星探査を後押しする。

[スケジュール\(セッション毎\)に戻る](#)

[スケジュール\(全体\)に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Z:220a 系外惑星大気赤外分光観測衛星計画 Ariel

生駒 大洋 (国立天文台) + Ariel-JP チーム

Kepler・TESS 等の系外惑星サーベイによって数千個もの惑星が太陽系外に発見され、惑星系の存在の普遍性が実証された。それだけでなく、半径・質量・軌道周期といった惑星の物理的特性に関する多様性が明らかとなり、惑星系の形成および進化に関する我々の理解に大きな影響をもたらした。系外惑星科学の次なるマイルストーンは、そのような物理的特性に加えて、化学的・物質科学的特性に関する情報を観測的に収集し、惑星および惑星系の多様性の実態をより正しく把握することである。そのために期待されるのが、系外惑星大気赤外分光観測衛星計画 ESA-M4 Ariel である。Ariel は、トランジットする系外惑星に対して赤外分光観測 (波長範囲は $1.1 \mu\text{m}$ - $7.8 \mu\text{m}$) を行い、主に惑星大気の特徴を明らかにすることを目的としている。初の系外惑星観測専用の分光観測宇宙望遠鏡であり、その専用性を活かし、約 1000 個もの系外惑星に対して大気特性を調査する計画である。Ariel の打ち上げは 2029 年に予定されており、順調に進めば JASMINE と同時期にスペースで観測を行うことになる。Ariel-JP 代表の生駒が 2022 年 3 月に Ariel コンソーシアムの Co-PI ボードに加わり、本格的に参入することが決まった。JASMINE とのシナジーの切っ掛けとなることを願って、今回 Ariel について紹介する。

[スケジュール\(セッション毎\)に戻る](#)

[スケジュール\(全体\)に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Z221a JASMINE 衛星による精密測光観測 II

平野照幸 (アストロバイオロジーセンター/国立天文台), 宮川浩平 (国立天文台), 河原創, 上塚貴史, 大澤亮 (東京大学), JASMINE 系外惑星検討班 (Exo-JASMINE チーム)

JASMINE ミッションでは、位置天文観測の主な対象となる銀河中心方向が観測困難な時期に太陽系外惑星探査を始めとする様々なサイエンスへの応用が検討されている。我々は JASMINE 衛星を用いた精密測光観測によるトランジット系外惑星探査のほか、褐色矮星や若い恒星の精密測光観測も検討しており、衛星近赤外測光観測を通じた恒星・惑星大気を理解を一層深めることを目標としている。

宇宙からの精密測光観測における鍵は、衛星の姿勢制御エラーと検出器のピクセル間・ピクセル内感度ムラが組み合わされることで発生する測光値の相関ノイズを最小化することにある。我々は JASMINE による測光観測の精度評価のため、現実的な衛星姿勢制御や検出器特性を考慮した時系列模擬データ (画像) を作成し、いくつかの解析パターンで達成される測光精度を 2022 年春季年会 (P327a) で報告した。その後、JASMINE ミッションでは観測バンド (波長域) や検出器面上での恒星 PSF 等、いくつかの装置特性でアップデートがあり、それに合わせて我々は測光観測パイプラインや達成される測光精度についても見直しを進めている。本講演では、フラットフィールドニングも含めた JASMINE 測光のデータ解析の進捗を報告し、装置特性に合わせて測光精度を最大化する取り組みについて議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Z222a 精密測光・位置天文に向けた新しいフラット補正技術と検出器特性精密測定方法の開発

多田将太郎 (総研大), 小谷隆行 (ABC/国立天文台/総研大), 片坐宏一, 和田武彦, 白井文彦 (宇宙研), 郷田直輝, 鹿野良平, 宮川浩平 (国立天文台), 河原創 (東京大学), 他 JASMINE チーム

JASMINE では、銀河系中心領域の位置天文観測と共に、M 型星ハビタブルゾーン内の地球型惑星の探査が行われる。これには、惑星のトランジットによる小さな減光を検出するための高い測光精度が求められる。このとき、感度むらやピクセルの歪み等の検出器特性の補正が重要になる。これらの検出器特性は、衛星の姿勢変動がある場合に、天体像が検出器上で移動することで、偽の明るさの変動として測定値に表れ、測光精度を低下させる。これらは位置天文の精度にも影響するため、位置天文観測においても検出器特性の補正は重要である。

異なるピクセル間の感度むら補正 (フラット補正) は最も影響が大きく、経年変化も含めて補正するために、軌道上フラット補正技術の開発を進めている。本研究では、シングルモードファイバーという、既知の極めて安定した光射出パターンを持つファイバーを用いて、ピクセル間感度むらを測定する。光源とファイバーのみというシンプルな構成でフラット補正が可能のため、JASMINE 以外にも様々な宇宙望遠鏡に応用可能だと考えている。

検出器のピクセルの歪みやサイズのばらつきなども測光・位置天文精度に影響するが、経年変化はほとんどないと考えられ、地上で事前に測定することで補正が可能である。この測定には、2本のシングルモードファイバーからの出射光が作る干渉縞を利用する。干渉縞の位相が異なる画像を複数取得することで、ピクセル間の感度むらだけでなく、ピクセル内部の感度むらやピクセルの歪みやサイズについても情報を得ることができる。

講演では初期的な実験結果を紹介すると共に、今後の本格的な実証実験について述べる。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Z223a JASMINE による星団領域の若い惑星探査

宮川 浩平 (国立天文台), 平野 照幸 (アストロバイオロジーセンター/国立天文台), 河原 創 (東京大学), 増田 賢人, 宮崎 翔太 (大阪大学), 野津 湧太 (コロラド大学/東京工業大学)

惑星系の形成・進化過程を解明する上で、年齢 1Gyr 以下の惑星系は様々なイベントのスナップショットとして重要な調査対象となる。近年では Kepler, TESS などの宇宙望遠鏡によるトランジット惑星系探査を通して徐々に発見されるようになり、初期の惑星系における大気散逸や軌道進化などへの観測的な理解が進められている (e.g., Mann et al., 2015)。一方で若い惑星系では、中心星の高い表面活動と自転速度に起因して光度曲線上に顕著な変動が現れる。この光度変動が惑星トランジットシグナルの検出を阻害している可能性があり、現状の観測的成果を真の若い惑星系の統計的な特徴として解釈することはできない。

JASMINE では運用期間の一部を利用して星団領域のモニター測光観測を行い、トランジット法による若い惑星系の発見を目指す。JASMINE が利用する近赤外波長帯では、恒星の表面活動による光度変動が有意に抑制されることが確認されており (Miyakawa et al., 2021)、例えば、典型的に 1 日以下の自転周期を持つ年齢 100 Myr 程度の M 型星周りではトランジット検出率が倍程度改善される可能性がある (Miyakawa et al., in prep.)。このため、Kepler, TESS などの可視光での探査では検出が困難であった惑星系の発見が期待される。また星団領域では、JASMINE の比較的狭い視野内にも多くのターゲットを捉えることができるといった観測条件における利点もある。

本講演では、近赤外波長域における若い惑星探査の有効性を説明するとともに、JASMINE での星団観測による惑星発見の実現可能性について述べる。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Z224a 連続高精度測光で大質量 X 線連星を探る

河合誠之, 村田勝寛, 庭野聖史, 細川稜平, 山口 遼大, 谷津陽一 (東工大)

早期型恒星と中性子星からなる大質量 X 線連星は、中性子星への物質の降着と X 線放射の物理機構の研究、中性子星への降着をプローブとした恒星の質量放出等の活動の研究、さらに近年は、重力波源となる連星中性子星の前駆天体として、その形成と進化が注目されている天体物理学上重要な天体である。我々は、超巨星と中性子星の連星系および Be 星を伴星とする Be X 線連星の 2 種類の大質量 X 線連星系に対して、TESS によって得られた可視光光度曲線の解析を実施した。Cen X-3 に代表される超巨星 X 線連星では、潮汐力による恒星の変形と X 線照射の効果による軌道位相に同期した変光が見られた。また、Be 星を含む連星系では、地上観測での観測が非常に困難な 1 日オーダーの多数の振動が観測された。Be 星の脈動に起因すると思われる安定した振動に加えて、不規則に消長する、おそらく星周円盤の不均一性に関連すると思われる周期性が検出され、MAXI によって観測された X 線活動との関連が示唆される。TESS は 1 バンドしかないために、検出された変光の解釈に限界がある。JASMINE と TESS による同時連続測光により大きな展開が期待できる。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Z225b JASMINE による褐色矮星の光度変動観測

川島由依 (理化学研究所), 河原創, 小玉貴則 (東京大学), 増田賢人 (大阪大学), 小谷隆行, 平野照幸 (アストロバイオロジーセンター/国立天文台), JASMINE 系外惑星検討班 (Exo-JASMINE チーム)

多くの褐色矮星は自転と同程度のタイムスケールでの光度変動を示すことが知られている。この光度変動の要因は、大気循環によって生み出される雲の表面不均一性であると考えられているが、その物理過程についてはあまり分かっていない。これを理解する鍵は、光度変動の強度が、様々な褐色矮星の特性 (スペクトル型、観測傾斜角、重力など) や観測波長 (つまり、観測している圧力) にどのように依存しているかを明らかにすることである。スピッツァー宇宙望遠鏡の $3.6 \mu\text{m}$ および $4.5 \mu\text{m}$ バンドを用いた褐色矮星の光度変動観測は大規模に行われているが、近赤外線域においては、いくつかの天体についてハッブル宇宙望遠鏡で観測された例などを除き、高精度な褐色矮星の光度変動観測はなされていない。

このような現状において、高い測光精度を持つ近赤外線観測衛星である JASMINE は、褐色矮星の光度変動観測に有用なデータをもたらすことができると期待される。褐色矮星の自転周期は長くて数日程度であるため、比較的少ない観測時間で、自転周期や、またいくつかの褐色矮星について観測されている自転周期の半分のタイムスケールでの光度変動を捉えることが可能である。また、褐色矮星は太陽系内外の巨大惑星と同様の温度や組成を有するため、褐色矮星の大気内での循環および雲生成を理解することは、惑星大気を理解することへも繋がる。本講演では、潜在的な観測ターゲットと共に、JASMINE による褐色矮星の光度変動観測の可能性について発表する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Z226b JASMINE による M 型矮星まわりのトランジット惑星探査の検討

増田賢人 (大阪大学), 河原創, 小玉貴則 (東京大学), 小谷隆行, 平野照幸 (アストロバイオロジーセンター/国立天文台), JASMINE 系外惑星検討班 (Exo-JASMINE チーム)

位置天文観測で達成される高精度な測光能力を活かしたトランジット惑星探査は、JASMINE の主要な科学目標のひとつである。特に、近赤外域での測光能力を活かして物理半径と光度の小さい M 型矮星を観測することで、表面に海洋を保持しうる軌道領域 (以下ハビタブルゾーン) に存在する地球型惑星の検出を目指す。本研究では、シミュレーションで得られた JASMINE の測光精度・太陽系近傍に存在する M 型矮星の実際のデータ・M 型矮星まわりでの過去の惑星探査から得られた惑星系の存在頻度および軌道構造の知見に基づき、JASMINE による地球型トランジット惑星探査の実現可能性を検討した。具体的には、まず M 型矮星まわりのハビタブルゾーン付近に存在しうる地球型トランジット惑星のうち、JASMINE の測光精度で原理的に検出可能なものの総数を見積もった。その結果、このような惑星を JASMINE で発見可能であることがわかった。この数値は、近年報告されつつあるいくつかの同様な惑星系の性質とも矛盾しない。次に将来の追観測を念頭に置き、検出しうる惑星系の主星のうちもっとも明るいもの見かけの等級をその質量の関数として計算し、既知の惑星系と比較することで、JASMINE での探査が既存サーベイと比較して高い優位性をもつ恒星質量を調べた。結果、JASMINE は $0.2\text{--}0.3$ 太陽質量の恒星に対し、既知のものより明るい恒星まわりで地球型惑星を発見する能力を有することを示した。最後に、上述の惑星を JASMINE の観測期間内で検出するための戦略を検討し、打ち上げ時に発見済みの短周期トランジット惑星を追観測することで、その外側の未発見の惑星を探査するのが現実的であると結論した。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Z:227b Stellar spin-down relations from young cluster observations of JASMINE

野津湧太(コロラド大学/東京工業大学), 宮川浩平(国立天文台), 平野照幸(アストロバイオロジーセンター/国立天文台), 河原創(東京大学), 増田賢人(大阪大学)

星団(年齢の分かっている星の集団)中の星の自転周期や活動度の観測によって、太陽型星においては、年齢の経過とともに恒星風等の影響で角運動量を喪失し、自転速度が徐々に低下することが古くから知られてきた(Skumanich 1972)。近年 K2 ミッションによって進められた星団中の星の惑星探査の副産物として、より多数かつ様々な温度の星の自転周期が測定され、年齢に伴う自転の進化の様子は、星の温度によってかなり異なることが知られてきた(Curtis et al. 2020; Rebull et al. 2020)。特に M 型星は、太陽型星とは異なり自転周期の低下が、最初の数億年から数十億年程度あまり進まない可能性も示唆されているが、特に低温の(中期-晩期)M 型星においては K2 や TESS において観測された星団中の星が少ないために、観測&理論面双方からその理解は進んでいない。このような M 型星における自転-年齢の関係(Gyrochronology)の理解は、自転周期が高い時期の継続時間、系外惑星が中心星から磁気活動による影響を受ける時間についての情報を提供し、例えば系外惑星の大気進化の議論においても重要である(e.g., Johnstone et al. 2021)。

JASMINE においては、様々な若い星団中の星を対象に、近赤外トランジット系外惑星探査が行われ、その副産物として、星団中の星の自転変動が観測される予定である。近赤外線での観測であるため、K2 及び TESS(可視光)と比べて低温の M 型星での高精度測光観測に適している。さらに空間分解能(pixel scale)も K2 及び TESS と比べ 1 桁以上良いため、実視連星の混入した系を除去して、単独星の可能性の高い星のみで自転進化が議論できる。講演では、これら研究の背景及び重要性と、JASMINE での観測へ期待される成果について、議論する。

[スケジュール\(セッション毎\)に戻る](#)

[スケジュール\(全体\)に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Z:228b PRIME 望遠鏡による星団領域のトランジット系外惑星探査

宮崎翔太(大阪大学), 宮川浩平(国立天文台), 増田賢人, 住貴宏, 鈴木大介(大阪大学), 他 PRIME コラボレーション

我々 PRIME(PRime-focus Infrared Microlensing Experiment) コラボレーションは、南アフリカ天文台サザerland 観測所に口径 1.8m の主焦点望遠鏡 PRIME を建設する(2022 年度内完成・観測開始予定)。PRIME は近赤外線(H-band)では世界最大級の約 1.3 平方度の広視野望遠鏡で、銀河系中心方向の低銀緯領域の重力マイクロレンズサーベイ観測を実施する。銀河系中心領域が見えない観測期間は、広視野近赤外線望遠鏡の特性を活かした他サイエンスが検討されており、本ポスター講演では散開星団のトランジット系外惑星探査について紹介する。

同様の惑星探査が JASMINE でも計画されている(宮川氏講演)が、PRIME は [1] 口径が 5 倍大きく(S/N 比で 5 倍)、[2] 視野が約 4 倍広く、[3] 長波長($\sim 1.8\mu\text{m}$)まで検出器感度があるなどといった長所があり、JASMINE に比べて低質量星まで含めた大規模なサーベイ観測が可能である。また、JASMINE に先駆けて、近赤外波長帯域での若い恒星や低質量星の光度変動を事前観測する事で、JASMINE でのトランジットサーベイ探査の観測戦略の最適化に貢献できる事が期待される。本ポスターでは、PRIME 望遠鏡や PRIME 計画の紹介、及び、PRIME による星団トランジット惑星探査の実現性を評価し、期待される観測成果やその展望について議論する。

[スケジュール\(セッション毎\)に戻る](#)

[スケジュール\(全体\)に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Z301r Sgr A*に関する現状の理解と今後の展望

岩田悠平 (国立天文台)

銀河系中心の超大質量ブラックホール Sgr A*は、その発見以降約 50 年に渡り数多くの研究が行われてきた。Sgr A*の理解を深めることは、銀河系の進化、活動銀河核、ブラックホール時空など、様々な観点から重要である。

Sgr A*は激しい光度変動を示すことが知られており、最近では ALMA や Keck などによる高感度観測や、Spitzer、Chandra などの天文衛星による長時間観測によって、変動の時間スケールやフレア頻度などの特性が各波長帯で調べられてきた。例として、ALMA データから得られた光度曲線の解析では、数十分スケールの短時間変動性が見いだされ、この変動は降着円盤内縁付近での現象に起因すると考えられている。多波長同時観測からは、赤外線と X 線のフレアの間に関連があることがわかっている一方で、これらと電波帯の変動との関係については未だ決定的なものは得られていない。加えて、Sgr A*の活動性が 2019 年に増加したことが複数の波長帯の観測から示唆されており、何が Sgr A*を活性化させるのかということは重要な研究トピックのひとつである。

また近年では、観測装置と解析技術の発展によって、Sgr A*のシュバルツシルト半径スケールでの現象が直接得られるようになった。赤外線干渉計 GRAVITY は、フレア時の Sgr A*を観測し、降着円盤内を周回運動するホットスポットを発見した。Event Horizon Telescope は、M87*に続き Sgr A*のブラックホールシャドウを撮像し、今後も動画から構造の時間変化を捉えることが期待されている。

本講演では、Sgr A*に関する近年の研究の動向を紹介し、現状の理解と研究課題をまとめ、次世代望遠鏡観測などによる今後の展望について述べる。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Z302a ブラックホールジェットの地平面近傍の電波放射機構：Sgr A*で見えない理由

木村成生 (東北大学), 當真賢二 (東北大学)

近傍の電波銀河 M87 では地平面近傍からブラックホールジェットによる電波放射が検出されているが、電波ジェットの生成機構は発見から半世紀以上が経過した現在も未解決の問題である。一方、天の川銀河中心の Sgr A*ではジェットからの電波放射が検出されていない。近年の Event Horizon Telescope Collaboration や一般相対論的磁気流体シミュレーションの結果から、M87 と Sgr A*ではどちらもブラックホールの周囲に強く磁化した降着流 (Magnetically Arrested Disk: MAD) が存在すると考えられている。しかし、Sgr A*からは電波ジェットが検出されておらず、M87 との違いが明らかになっていない。本講演では電波ジェットの生成に関して、新たなシナリオを提唱する。最近の高解像度 3次元 GRMHD シミュレーションが示唆するように、ブラックホール磁気圏の赤道面付近で間欠的に磁気リコネクションが起こるとする。それにより非熱的な電子が加速され、シンクロトロン放射により X 線からガンマ線にわたる光子を生成する。放射されたガンマ線によって磁気圏には電子・陽電子対プラズマが生成され、それが相対論的速度に加速されつつ電波で輝く。このシナリオにおけるレプトンの注入率とその光度はブラックホール質量と質量降着率に強く依存しており、M87 では生成される電波ジェットが明るく輝くが、Sgr A*では現在の電波観測では検出することができないほど暗くなることがわかった。このシナリオでは磁気リコネクションの際に短時間の X 線フレアが発生し、その信号は将来の X 線観測衛星 (Hi-z GUNDAM、FORCE) で検出可能であることも明らかとなった。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Z303a 銀河系中心 Sgr A* の偏光画像から探る磁場構造、および活動銀河核ジェット駆動機構解明へのシナジー

恒任優, 嶺重慎 (京都大学), 川島朋尚 (東京大学), 大須賀健 (筑波大学), 秋山和徳 (MIT), 高橋博之 (駒澤大学)

今年 5 月に Event Horizon Telescope (EHT) が捉えた銀河系中心 Sgr A* のブラックホール観測画像が発表された。これは 2019 年の楕円銀河 M87 中心のブラックホール画像と並び、一般相対論を支持する観測的証拠となる。一方で Sgr A* と M87 を比較すると、M87 の多波長観測で得られているような大規模ジェットが、Sgr A* では見られないという明確な相違点がある。この点において、これら近傍の 2 天体の偏光画像を対比して調べることは重要な意味を持つ。なぜなら、M87 をはじめとする活動銀河核ジェットの生成にあたっては磁場が重要な役割を持ち、その磁場の向きは放射光が持つ偏光成分に反映されるからである。ジェットの有無という観点から偏光画像を通じて磁場構造を調べることで、活動銀河核ジェットの生成・進化シナリオに迫ることができる。

これらを踏まえ、我々は来たるべき Sgr A* 偏光画像観測を念頭とし、理論計算に基づき偏光画像の予測を行った。その結果、ブラックホール付近から偏光が輸送される過程でファラデー回転・変換という 2 つの過程が起こり、直線偏光・円偏光画像の両方にらせん形状磁場を反映した特徴が現れるというシナリオが提示された。さらに EHT の角度分解能や、Sgr A* に対する星間散乱の影響を考慮し予測画像の解析を行った結果、上で示した特徴が現行観測で捕捉可能であることを示した。さらに M87 での結果との比較から、これら 2 天体の画像特徴が同一の枠組みで理解可能であることが分かった。これらの結果は、ジェットを持たない Sgr A* の偏光観測から、広く活動銀河核ジェット一般の駆動機構についての手がかりが得られることを示唆するものである。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Z304r EHT による Sgr A* の観測成果 I: Overview

森山小太郎 (ゲート大), 本間希樹, 小藤由太郎, 小山友明, 田崎文得, 永井洋, 秦和弘 (国立天文台), 秋山和徳 (MIT) 池田思朗 (統数研), 水野陽介, 崔玉竹 (上海交通大学), 川島朋尚 (東大宇宙線研), 浅田圭一, 井上允, 松下聡樹 (ASIAA), 小山翔子 (新潟大), 沖野大貴 (東京大/国立天文台), 紀基樹 (工学院大), 笹田真人 (東工大), 中村雅徳 (八戸高専), 水野いづみ (EAO), 他 Event Horizon Telescope Collaboration

2022 年 5 月 12 日、国際共同研究プロジェクト Event Horizon Telescope (EHT) Collaboration は、私たちの住む天の川銀河中心にある巨大ブラックホール Sgr A* のごく近傍 (数重力半径スケール) の撮影結果を、世界で初めて公開した。EHT は、世界中に存在するミリ波電波望遠鏡を超長基線電波干渉計 (VLBI) 観測網によって結ぶことで、地球規模の仮想的な望遠鏡を構成する。これにより、Sgr A* や近傍銀河 M87 の巨大ブラックホール (M87*) のごく近傍の世界を撮影することが可能となった。本成果は 2017 年 4 月に行われた 1.3 mm (230 GHz) 帯の観測に基づくものであり、本観測には世界中の 6 箇所に点在する 8 局の電波望遠鏡が参加した。

得られた画像は、M87* のものと同様に、リング状の構造を示し、その直径は約 50 マイクロ秒角であることがわかった。これは、一般相対論から理論的に予言されたブラックホールシャドウの特徴と一致し、ブラックホールの事象の地平面の存在を視覚的に示している。さらに、今回の EHT 観測データと、同時期の電波から X 線波長までの観測データを使い、理論シミュレーションと比較することで、時空構造や理論モデルに対する制限が行われた。本講演では Sgr A* の観測から画像化までのプロセスに加えて、数値シミュレーションを交えた結果の理論的解釈や将来展望について概観し、本講演に続く詳細な報告の導入とする。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Z305a EHTによるSgr A*の観測成果 II: EHTに同期した多波長観測キャンペーン

秦和弘 (国立天文台), D. Haggard (マギル大), M. Wielgus (MPIfR), V. Fish (MIT/Haystack), 紀基樹 (工学院大), 川島朋尚 (東大宇宙線研), 秋山和徳 (MIT/Haystack), 森山小太郎 (フランクフルト大), 他 Event Horizon Telescope Collaboration

2022年5月、Event Horizon Telescope (EHT) による天の川銀河中心 Sgr A* の撮影画像が公開された。これは2017年4月のEHT観測に基づくものであったが、同時期に東アジア VLBI 観測網 (EAVN)、グローバル 3mm VLBI アレイ (GMVA)、VLT、Swift、Chandra、NuSTAR などを用いてセンチ波から X 線に渡る Sgr A* の多波長観測キャンペーンも行われた。これらのデータは Sgr A* の星間散乱の影響評価や放射領域のサイズ制限、広帯域 SED に基づく理論モデルの制限など多岐に渡る観点で EHT と相補的である。また Sgr A* はミリ波から X 線で数分から数 10 分スケールで光度変動することが知られている。今回 ALMA と SMA は EHT 用に phase-up されたデータと同時に通常の干渉計データも記録しており、これらは Chandra/NuSTAR データとともに、EHT キャンペーン期間中の Sgr A* の詳細な (秒角スケールの) ライトカーブを取得した。

多波長に基づく主な観測結果をまとめると以下の通りである。(1) EHT2017 キャンペーン期間中、Sgr A* は全波長域で概ね静穏期であり、時間平均された広帯域 SED は過去に測定されている静穏期のレベルと整合的であった。(2) EHT 画像が得られた4月7日の観測中の、ALMA/SMA 干渉計で得られた光度変動は (平均値に対する標準偏差の比で) 10%以下であった。(3) 一方 X 線では4月7日に弱いフレア、4月11日に明るいフレアが観測され、特に後者では X 線フレア直後に 230GHz 帯でも大きな増光が始まるのが ALMA/SMA によって確認された。本講演では以上の観測成果を報告するとともに、今後の Sgr A* 多波長キャンペーンの展望についても述べる。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Z306a EHTによるSgrA*の観測成果 III: Sgr A* のブラックホールシャドウの画像化

小藤由太郎 (東京大), 秋山和徳 (MIT), 森山小太郎 (ゲーテ大), 本間希樹 (国立天文台), 池田思朗 (統計数理研究所), 浅田圭一 (ASIAA), 小山翔子 (新潟大), 沖野大貴 (東京大), 笹田真人 (東工大), 田崎文得 (国立天文台), 永井洋 (国立天文台), 他 Event Horizon Telescope Collaboration

2022年5月に国際研究グループ Event Horizon Telescope (EHT) Collaboration は Sgr A* のブラックホールシャドウの画像を発表した。今回の Sgr A* の画像化では CLEAN や Regularized Maximum Likelihood (RML) 法、ベイズ統計に基づく方法を含む異なる4つの方法が用いられた。Sgr A* の画像化の主な課題として星間散乱と速い時間変動の効果が、これらの補正を行う手法が新たに開発され、各画像化手法に組み込まれた。それぞれの画像化方法には上記の補正も含めたさまざまなパラメータが存在する。そこでフーリエ空間上で Sgr A* と似た特徴を持ちながらも異なる構造を有する複数画像の擬似観測データを用意し、約20万通りのパラメータの組み合わせで画像化を行った。その結果、異なる全ての構造を正しく復元することのできる約1万通りのパラメータの組み合わせが選ばれた。これらのパラメータの組み合わせから Sgr A* の観測データを復元して得られた最終的な画像は4つのグループに分類でき、大多数の画像は3つの異なる輝度分布をもつ直径 $\sim 50 \mu\text{as}$ のリング状構造のグループに属することが分かったものの、リングでない画像も少数存在していた。これらの画像の分布に関して、データの空間周波数分布や天体の時間変動、星間散乱などの影響が調べられたほか、同じような時間変動を持つリング構造および非リング構造の擬似観測データを用いた解析も行われた。その結果、この画像の分布がリング構造を持たない天体から得られた可能性は非常に低く、EHT の Sgr A* の観測データは400万太陽質量のブラックホールと無矛盾な直径 $\sim 50 \mu\text{as}$ のリング状の構造を強く示していると結論づけられた。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Z307a EHT による Sgr A* の観測成果 V : 銀河中心ブラックホールの降着流モデルの検証

川島 朋尚 (東大宇宙線研), 水野 陽介 (上海交通大), 森山小太郎 (ゲーテ大学), 紀基樹 (工学院大/国立天文台), 中村雅徳 (八戸高専/ASIAA), 他 Event Horizon Telescope Collaboration

Event Horizon Telescope により Sgr A* のブラックホールシャドウとそれを縁取る明るいリング画像が遂に観測された。われわれはこのリング画像に対して最初の理論解釈を与えるために、様々な理論モデルに基づく一般相対論的磁気流体シミュレーションおよび一般相対論的輻射輸送計算を実施した。一般相対論的磁気流体モデルは、主に初期トラスの回転軸とブラックホールのスピン軸が揃った場合の弱磁場降着流モデルと強磁場降着流モデルを用いた。電子は主に熱的分布を仮定した。理論モデルとの比較には、230GHz の EHT データに加え、86GHz の電波、 $2.2\mu\text{m}$ の近赤外、X 線データを用いて合計 11 の観測制限を与えた。

理論モデルと EHT および EHT 以外の観測データを比較した結果、全ての理論モデルは最低 1 つの観測制限をパスしなかった。特に EHT の 230GHz の時間変動が最も厳しい制限となり、次に 86GHz のイメージサイズが強い制限となった。今回実施された計算の中で最も観測データと整合的なモデルは強磁場降着流モデルであった。ブラックホールのスピンが降着流に対して順回転であり最大スピンの 50%あるいは 94%で、かつ観測者の視線角度が 30 度の強磁場降着流モデルが、時間変動以外の全ての制限をパスした。このモデルはジェットを噴出しやすいモデルであり、Sgr A* では本当にジェットが存在しないのか、あるいは見つかっていないだけなのか、今後の課題である。なお、この視線角度は gravity に代表される過去の観測研究と無矛盾である。本発表では、理論シミュレーションの今後の展望についても述べる。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Z308b EHT による Sgr A* の観測成果 IV : ブラックホールシャドウの形状と物理パラメータ

笹田真人 (東工大), 秋山和徳 (MIT), 小藤由太郎 (東京大), 森山小太郎 (ゲーテ大学), 水野陽介 (上海交通大), 川島朋尚 (東大宇宙線研), 他 Event Horizon Telescope Collaboration

2022 年 5 月に Event Horizon Telescope (EHT) から Sgr A* のブラックホールシャドウ画像が発表された。2017 年の地球規模の電波干渉計観測によって取得されたビジビリティデータから画像は復元されており、2019 年に発表された M87* に続き 2 例目のシャドウの画像となった。一般相対性理論によりブラックホールシャドウのサイズは重力半径 (シュワルツシルト半径の 1/2 倍) の 10 倍程度であることが予想されており、得られた Sgr A* シャドウのリングサイズから天の川銀河中心の巨大ブラックホールの質量を推定することができる。

本研究では、まずはじめに観測された Sgr A* の光度変動が観測誤差や星間物質による散乱だけでは説明できないことを確かめた。次にシャドウの画像およびビジビリティデータに対してさまざまな幾何学モデルを適用した。その結果リングモデルがデータをもっともよく説明できたため、データを再現するリングモデルのパラメータからシャドウのサイズを推定した。これにより Sgr A* のリング直径は 51.8 ± 2.3 マイクロ秒角と見積もられた。また一般相対論的磁気流体モデルによるシャドウのシミュレーション画像を用いて擬似観測・画像化し、元の画像と再構成画像を比較することで実際に観測されたシャドウのサイズを理論的予測と適合するように較正した。それにより Sgr A* の重力半径は 4.8 ± 1.4 マイクロ秒角となり、その質量は $4.0^{+1.1}_{-0.6} \times 10^6$ 太陽質量と見積もられた。これは Sgr A* のまわりの星の軌道運動から推定されたブラックホール質量と一致する。本講演では Sgr A* のブラックホールシャドウから得られた中心質量の推定について発表する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Z309b 東アジア VLBI 観測網で探る Sgr A* 画像への星間散乱の影響

紀基樹 (工学院大/国立天文台), G-Y Zhao (アンダルシア天体物理研究所), 秋山和徳 (MIT Haystack), I. Cho (アンダルシア天体物理研究所), M. Johnson (Harvard BHI), 森山小太郎 (ゲート大学), 他 Event Horizon Telescope Collaboration, 東アジア VLBI 観測網 AGN 科学ワーキンググループ

銀河系中心の Sgr A* から届く電波は、星間プラズマの密度の不均一による散乱で位相が揺らぎ、その電波画像の見かけ上の大きさや非対称性に影響を与える問題が知られている。そこで我々は、高空間周波帯で支配的になる屈折散乱も取り入れた星間散乱効果を見積もる方法を開発した (Johnson 他, ApJ, 2018)。星間散乱は、位相を変化させる薄い散乱スクリーンでモデル化できることが知られており、散乱スクリーンは電子密度変動のパワースペクトルで特徴づけられる。Johnson 他では、1.3 mm から 30 cm までの観測データと散乱スクリーンモデルの比較を行い、Sgr A* の散乱カーネルを得た。230 GHz 帯ではカーネルがガウシアンよりもコンパクトになり、以前予想されていたよりも散乱効果が弱いことが分かった。東アジア VLBI 観測網 (以下 EAVN) を含む 7 mm 帯の観測データは散乱スクリーンのパラメータに厳しい制約を与え、内縁スケール長がおおよそ 800 km、パワースペクトルの冪は $\beta < 3.5$ であることが分かった。また、散乱効果を緩和した Sgr A* の構造はほぼ円に近いガウシアンであることが、EAVN の 22, 43 GHz 帯 (Cho 他, ApJ, 2022, 天文学会 2022 年春季年会) およびグローバル 3mm VLBI アレイ (GMVA) の 86 GHz 帯 (Issaoun 他, ApJ, 2019, 2021) で確かめられた。

EHT コラボレーション論文 III では、Johnson 他で得られた散乱スクリーンモデルに基づいて、星間散乱の影響を緩和した場合と、緩和しない場合の両ケースで画像化をおこなって比較した。230 GHz 帯では星間散乱の影響は小さく、いずれの場合もリング形状の Sgr A* 電波画像が得られた。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Z310b ALMA Archive Data を用いた銀河系中心核 Sgr A* の光度変動解析

柳原一輝、岡 朋治、嶋田理央 (慶應義塾大学)、岩田悠平 (国立天文台)、竹川俊也 (神奈川大学)

銀河系中心核 Sgr A* はほぼ点状の強烈な電波天体であり、約 $4 \times 10^6 M_{\odot}$ の質量を持つ超大質量ブラックホールであると考えられている。これは非熱的放射特有の偏光を示す一方で、電波帯で正のスペクトル指数を示す等の特異な性質を有している。その光度は Eddington 限界光度の 1 億分の 1 程度に過ぎず、極めて低光度の活動銀河核に分類される。ただ近赤外域において数十分程度の急激な増光現象 (フレア) を起こすことが知られており、同様の現象は頻度は低いが X 線領域においても観測されている。これはその短い時間スケールから、超大質量ブラックホール極近傍で起きた突発的現象に付随するものと考えられている。電波領域においても、定常的な放射に時間-日スケールの時間変動が観測されており、稀にフレア現象を起こす事が知られている。

最近 ALMA による観測から、Sgr A* の 230 GHz 帯光度に約 30 分の明瞭な準周期的振動が検出された (Iwata et al. 2020)。これは、降着円盤の内径付近からの放射を捉えたものと解釈されている。この発見によって、ミリ波帯光度の時間変動を綿密に調査することで超大質量ブラックホール極近傍の情報が得られる可能性が拓かれた。今回私たちは、ALMA サイエンス・アーカイブを利用して、230 GHz 帯における Sgr A* の観測データを網羅的に解析した。データの較正および品質コントロールを入念に行った結果、35 期間 (各 1-3 時間) について精密な 230 GHz 光度曲線を得た。これらの光度曲線に対して、構造関数を用いた変動解析および Lomb-Scargle ピリオドグラムを使用した周期解析を行ったところ、有意性は低いながらも 5/35 の光度曲線に約 30 分の準周期性が確認された。準周期性の出現と光度の相関は確認されない。講演では、本解析によって明らかになった Sgr A* のミリ波光度変動の詳細な性質を報告し、それに基づいて Sgr A* における電波放射過程について議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Z311b SgrA*・1.3ミリメートル波電波の時間変動の周期性確認とデカメートル電波パルス観測に基づく超巨大ブラックホールバイナリーの存在

大家 寛 (東北大学)

天の川銀河中心、SgrA*の Event Horizon の影に関わる電波像が EHT 国際共同観測グループより発表されている。最初に撮像された。M87*の場合に比して、天の川銀河中心に降着してくるプラズマ運動による電子散乱効果とされ、電波像構築の困難が言われてきたが、この問題に、本研究で行って来たデカメートル電波観測結果に基づく解釈と提案を述べたい。本研究は EHT 国際共同研究グループ発足の核となった Fish et al. (2011 年発表) による、波長 1.3 mm 電波 VLBI の観測研究結果に於いて SgrA*の事象限界スケールの源で、著者等の指摘してきた電波強度と構造の時間変動のデータに対し、本研究で観測されて来た、デカメートル波 (波長 15m) で、SgrA*におけるブラックホールのスピン周期に同期するパルスの検出から結論されている結果 (2019 年出版) と対比することに焦点をおいている。観測結果のスピン周期群の詳細な検討は SgrA*が、Super Massive Black Hole Binary (SMBHB) で周期 2200 ± 50 秒で公転していることを示し、軌道面平行方向が地球からの視線方向と 6° ずれると結論している。本研究ではこの状況を踏まえ、一公転につき 2 回の SMBHB 蝕を起し、SMBHB 周辺から放射される 1.3mm 波の放射電力が半公転周期毎に低下するモデルを構築し、Fish et al (2011, 2016) の出版の時間変動と対比検討した。その際観測データ強度とモデル値の一致度はガウス統計関数を基礎に定義し客観性を明確にしている。結論は Fish et al のデータとデカメートル電波観測に基づくモデルとは、本研究の提言周期 2200 ± 50 秒の下限に相当する 2150 ± 2.5 秒にて SMBHB が公転し、その半周期 1075 秒毎に蝕を繰り返す場合の電波放射モデルと一致した。この一致の必然性がフーリエ変換によって確認された。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Z312r 銀河系中心巨大ブラックホールによる重力理論の探査

斉田浩見 (大同大)、西山正吾 (宮城教育大)、他 (すばるプロポーザル、科研費 A、B 構成員)

ニュートン重力理論は、光速不変の原理に合致しない現象を予言するため、光速不変の原理を認めることで論理的に棄却できる。(勿論、これを実験・観測的に確かめる意義は大きい。) では、現実をより正確に記述する重力理論 (正しい重力理論) は何なのか? この問いに答えようとする研究を『重力理論の探査』と呼ぼう。

宇宙論的スケールの平均的重力場や太陽系内のコンパクトだが弱い重力場での検証実験から、正しい重力理論の最有力候補は一般相対性理論である。しかし、暗黒物質や暗黒エネルギーなどの観測事実を動機として、これまでの検証実験をクリアしつつも一般相対論と異なる重力理論 (修正重力理論) の可能性が考えられている。

ところで近年、(1) 半世紀ほどの理論と装置開発の試行錯誤による太陽質量サイズ天体起源の重力波の検出、(2) 四半世紀にわたる近赤外観測による Sgr A* 近くを巡る星から届く光の重力ドップラー効果の検出、(3) 10 年ほどの綿密な準備をした電波観測による M87 と Sgr A* のブラックホール影の撮像、の 3 つが順次、報告されてきた。これらによって、コンパクトかつ強力な重力場における重力理論の探査が可能となってきた。(1) の重力波では、太陽質量サイズの重力源による強い重力場について、重力理論の探査が既に始まっており、修正重力理論への制限をつけ始めている。一方 (2) と (3) の巨大ブラックホールでは、(1) より何桁も大きい重力源による強い重力場を研究できるが、今のところニュートン重力の棄却は確認できたものの、重力理論の探査はまだ緒に着いたばかりである。

本講演では、定性的に一般相対論とブラックホールをレビューした上で、巨大ブラックホール Sgr A* による重力理論の探査の現状と展望を議論したい。抜け落ちた論点があれば、ご教示頂けると幸いである。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Z313a EHT による Sgr A* の観測成果 VI：ブラックホール計量の検証

水野陽介 (上海交通大), 川島朋尚 (東大宇宙線研), 紀基樹 (工学院大/国立天文台), 森山小太郎 (ゲート大), 中村雅徳 (八戸高専/ASIAA), 他 Event Horizon Telescope Collaboration

天体ブラックホールは一般相対性理論におけるカー計量によって表されると予測されている。カー計量は、一般相対性理論におけるアインシュタイン方程式の厳密解の一つで、真空中を定常的に回転する軸対象なブラックホールを表している。ブラックホール no-hair theorem において、一般相対論における現実的なブラックホールは質量、角運動量 (回転)、電荷の 3 つの物理量によって一意に決定できると考えられている。Event Horizon Telescope (EHT) による 2017 年の天の川銀河中心にある巨大ブラックホール (Sgr A*) の観測から、カー計量からのずれは 10 % 以内であるという新たな制限を得た。事象の地平面の存在を確かめるため、私達は Sgr A* が反射をしたり、熱化された放射を出すような表面を持つ高密度天体である可能性を調べた。その結果、Sgr A* では表面を持つような状況は適さないことが分かった。本講演では、EHT の M87*、Sgr A* の観測、そして重力波の観測によるブラックホール計量の検証結果を合わせて、ブラックホールがその質量に関わらずカー計量によって表される可能性について述べる。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Z314a ブラックホール周辺のダークマター分布における近点移動

伊形尚久 (学習院大学), 原田知広 (立教大学), 齊田浩見 (大同大学), 孝森洋介 (和歌山工業高等専門学校)

ブラックホール周辺の静的な物質雲における星の束縛軌道の近点シフトを考察する。我々は、シュヴァルツシルト・ブラックホールの周りを静的球対称な分布をなす粒子集団の自己重力系が取り囲む背景時空を構成した。これは非回転ブラックホール周辺のダークマター分布による重力の効果モデル化している。特に物質場は、すべてのエネルギー条件を満たすパラメタ領域を選んでいる。一般相対論の枠組みにおいて、星の円形に近い束縛軌道を考察することで、軌道の歳差率の簡単な公式が得られる。この公式は、歳差率が、従来の一般相対論的効果による正の寄与 (順行シフト) と局所物質密度による負の寄与 (逆行シフト) によって決定されることを示している。このような軌道の 4 つの量 (軌道シフト角、半径振動周期、赤方偏移、天球上に写像された星の位置) が、背景モデル関数の局所的な値を決定する。さらに、いくつかの具体的なモデルにおいて、離心率が大きいいくつかの束縛軌道とその近点移動についてもシミュレーションを行った。この厳密なモデルは、逆行歳差が裸の特異点やワームホールのようなエキゾチックな中心天体を意味するのではなく、単にブラックホールの周りの星の軌道上の物質のエネルギー密度が大きいことを示すものであることを示す。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Z315r 位置天文観測による天の川銀河バルジの複合構造の理解の現状と展望

馬場淳一 (国立天文台 JASMINE プロジェクト)

2014 年より科学運用を開始した位置天文観測衛星 Gaia が大きな成果を挙げ、われわれの住む天の川銀河は「棒状バルジ」(またはバー)を持つ棒状渦巻銀河であることが揺るぎない事実として確立した (Anders et al. 2019)。また、棒状バルジの回転角速度 (パターン速度) も 35–45 km/s/kpc と明らかになった (Sanders et al. 2019; Kawata et al. 2021)。しかし、棒状バルジはいつ形成し、どのように進化してきたのかは全くわかっていない。

棒状バルジ中心部の約 200 pc 以内には、バーの効果で形成されたと考えられる中心分子雲帯 (CMZ; Morris & Serabyn 1996) と中心核恒星系ディスク (NSD; Laundhardt et al. 2002; Nishiyama et al. 2013) からなる「中心核バルジ」の存在が観測的に知られている。近年の近赤外線観測により、NSD の恒星種族や金属量分布の理解も進みつつある (Nogueras-Lara et al. 2020; Schultheis et al. 2020)。一方で、NSD の力学構造に関しては近赤外線分光観測により回転運動 (Matsunaga et al. 2015; Schoenrich et al. 2015) は明らかになっているものの、ダスト減光が強く可視光観測である Gaia では位置天文観測が困難なため、固有運動の観測は未だ不十分である。NSD は軸対称構造である必然性はなく、10–100pc スケールの棒状構造 (内部バー) となっている可能性もある。内部バーは kpc スケールの領域から中心の超大質量ブラックホール (SMBH) や中心核星団 (NSC) へのガス供給に重要な役割を果たすと期待されている (Shlosman et al. 1989; Hopkins & Quataert 2010; Du et al. 2017)。

本講演では、棒状バルジ・中心核バルジの理解の現状を整理し、最近の講演者らの数値シミュレーション (Baba & Kawata 2020; Baba, Kawata & Schoenrich 2022)、及び 2020 年代後半に打ち上げ予定の近赤外線位置天文観測衛星「JASMINE」で期待される今後の展望を議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Z316a 天の川銀河棒状構造が引き起こす銀河中心へのガス供給

松井 秀徳, 政川 俊康, 羽部 朝男, 斎藤 貴之

本研究では、天の川銀河をモデルとした重力ポテンシャル中でのガス運動を、並列化 Tree+GRAPE SPH/N 体コード “ASUR” を用いて高分解能シミュレーションした。ここで、ガス放射冷却 ($10 \text{ K} < T < 10^8 \text{ K}$)、低温高密度ガスからの星形成、そして超新星爆発によるガス加熱等の物理過程を考慮している。また、重力ポテンシャルには、ダークハロー・バルジ・星ディスクに加えて、棒状構造も仮定している。

シミュレーションの結果、棒状構造によって、銀河中心領域 1kpc 以内の領域にリング状の高密度ガスの構造が形成されることが明らかになった。このガスリングではガス雲同士の相互作用 (分子雲衝突) が起き、それによって角運動量を失ったガス雲が銀河中心に落ちることで銀河中心へのガス供給が引き起こされることが明らかになった。このように、銀河中心へのガス供給が、ガス雲が落ちることによって引き起こされ、銀河中心へのガス供給が定常的というよりはむしろ散発的に起こることがわかった。本講演ではこれらの結果を紹介する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Z317a 銀河中心ブラックホール近傍における共鳴緩和

船渡陽子 (東京大学), 牧野淳一郎 (神戸大学)

銀河中心には SgrA* という超巨大ブラックホール (SMBH) がある。近年の観測により、SMBH まわりの S stars と呼ばれる星の様子やそれを取り巻く核星系の構造がわかってきた (e.g. Gravity Collaboration, *A&A*, 636, L5, 2020)。

理論的には銀河中心のような SMBH を含む高密度核星系では共鳴緩和 (resonant relaxation、以下 RR と略) と呼ばれる力学的な緩和がおくと予想されている (Rauch et al, *NewA*, 1, 149, 1996)。しかし RR を N 体計算で確かめた研究はまだない。

今回我々は銀河中心の SMBH とそれを囲む星系の進化の N 体計算を行った。その結果、たしかに RR が起こることを確認したので報告する。

二体緩和はエネルギー空間における緩和だが、RR は角運動量空間における緩和である。この影響は S stars の離心率の変動や近点移動として現れる。この変化は、現在の VLT による観測では発見することは難しいが、将来の TMT による観測では検出が期待される。

これらの RR による S stars、特に S2 星の軌道の違いは、SMBH の質量推定や、存在可能な IMBH の質量の上限にも影響を与える。講演ではこの影響や RR による近点移動の観測可能性についても議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Z318a TMT 第一期観測装置 IRIS を用いた銀河系中心部におけるアストロメトリ

鈴木竜二 (国立天文台), TMT Astrometry Working Group, TMT Astrometry Advisory Group

InfraRed Imaging Spectrograph (IRIS) は近赤外線の波長域で回折限界の撮像と面分光機能を提供する Thirty Meter Telescope (TMT) の第一期観測装置である。TMT の第一期補償光学系の後段に配置され、0.84 - 2.4 μm の波長域で 0.4 - 0.7 のストレール比を提供する。撮像モードでは 4 ミリ秒角の分解能で 34x34 秒角の視野をカバーし、面分光モードではレンズレット、イメージライザーの手法を用いて 4, 9, 25, 50 秒角の空間分解能と R=4000, 8000, 10000 の波長分解能を達成する。IRIS の開発は日本、アメリカ、カナダ、中国の研究者と技術者で構成される IRIS 国際チームによって行われており、日本は国立天文台先端技術センターを中心に IRIS 撮像系の開発を行っている。

IRIS のユニークな観測性能の一つは 10 マイクロ秒角レベルの高精度アストロメトリであるが、この要求仕様は銀河系中心のブラックホール周辺における相対性理論の検証が牽引している。TMT では、今まで達成されたことのないこのチャレンジングな性能を達成するために、望遠鏡、補償光学、観測装置の専門家とサイエンティストから構成される TMT Astrometry Working Group 及び Astrometry Advisory Group を設置し、数十に及ぶアストロメトリの誤差要因を精査し、望遠鏡、補償光学系、IRIS 内の各コンポーネント (検出器、フィルター、光学歪み補正、大気分散補正光学系等) に要求仕様を割り振る astrometry error budget を作成した。

本講演では、IRIS で行う銀河系中心でのサイエンス例を紹介した後、astrometry error budget とそれを満たす IRIS の設計について紹介する。この機会を、ユーザーの皆さんから直接装置仕様に関するフィードバックを頂く貴重な機会としたい。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Z319b 銀河系中心巨大ブラックホール近傍の晩期型巨星の起源の研究

西山正吾, 唐朋央 (宮城教育大), 齊田浩見 (大同大), 孝森洋介 (和歌山高専), 高橋真聡 (愛知教育大), 大神隆幸 (国立天文台), 市川幸平 (東北大), 長田哲也 (京都大)

銀河系の中心には、巨大ブラックホール Sgr A*があり、その近傍 (< 1 pc) を周回する星が多数見ついている。これらの星はブラックホール時空を運動する質点として扱うことができるため、Sgr A*の質量を測定したり、重力理論の検証に使われたりしている (例えば Do et al. 2019, Saida et al. 2019)。一方、巨大ブラックホールによる強力な潮汐力が影響するため、この距離での星形成は不可能だと考えられている。それにも関わらずなぜ星が存在するのか。これらの星はどこから来たのか。

私たちは Sgr A*近傍の星の起源を探るため、近赤外線高分散観測を進めてきた。今回はその中のひとつである S0-6 の観測結果を紹介する。Subaru/IRCS/AO188/LGS を用いて取得したスペクトルを使って、視線速度を測定した。その結果、統計的にはまだ不十分ではあるが、加速度を検出できた。これはこの星がたまたま視線方向で Sgr A*と重なっているのではなく、空間的にすぐ近くにあることを示唆している。またスペクトルを用いて、この星の金属量を測定した。その結果、この星の金属量は銀河系のディスクの星や、銀河系を周回する矮小銀河とよく似た金属量を示すことがわかった。一方この星の運動は、銀河面に対して垂直方向である。よって銀河系ディスクの星が中心まで落ちてきたようには見えない。このことから S0-6 は、過去に銀河系に吸収された矮小銀河が起源ではないか、と私たちは考えている。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Z320b 銀河中心の恒星分布の進化の N 体シミュレーションによる研究

堀口直人 (神戸大学) 牧野淳一郎 (神戸大学) 斎藤貴之 (神戸大学)

中心に超巨大質量ブラックホール (SMBH) があるクラスターで SMBH の影響半径内における恒星の数密度は中心からの距離の-1.75 乗で近似できる (Bahcall & Wolf 1976) と考えられており、天の川銀河中心の恒星分布についても観測やシミュレーションによって研究されてきた。これまでの N 体シミュレーション (Baumgardt et al. 2018, Paramarev et al. 2019) では粒子数と系の緩和時間の関係からシミュレーションクラスターの半径を拡大しており恒星同士の衝突は正しく扱われていなかった。しかし、我々は予備的な見積もりと恒星進化を考慮しない単純なシミュレーションで恒星間の衝突頻度は無視できないことを見出した。本研究では、GPLUM (Ishigaki et al. 2020) に恒星進化 (Hurley et al. 2000) を線形補間によって組み込み、新たに恒星同士が衝突した際の処理を加えることで天の川銀河中心の進化のシミュレーションを行った。このシミュレーションをもとに恒星の分布と同時に恒星の衝突破壊による SMBH の成長への影響について考察する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Z321b 銀河系バルジ領域に最適化した種族合成モデルの開発

越本直季 (NASA ゴダード宇宙飛行センター/メリーランド大学)

銀河系の星の種族合成モデルは、ある銀河系内サーベイで期待される成果のシミュレーションや、そのストラテジーの決定等に有用である。Besancon Galaxy Model (BGM) は、世界で一番使われている種族合成モデルの一つである。しかし、銀河系バルジ方向に関しては、バーの傾き角が小さかったり、バーの質量が軽く星の数が過小評価されていたり、最近の観測結果とあまり一致していないことが知られている (Penny et al. 2019)。

我々は、BGMの問題点を改善した、バルジ領域に最適化した銀河系モデルを開発した (Koshimoto, Baba and Bennett 2021)。バルジ方向の星の初期質量関数・密度分布・速度分布を OGLE-III の Red clump の分布、OGLE-IV の星の数分布およびマイクロレンズの観測分布、VVV の固有運動分布、BRAVA の視線速度分布にフィットし、より最近の観測と一致するモデルを構築した。銀河系中心 ($|b| < 1$ deg.) のデータはフィットには用いていないが、最新のバージョンでは、Sormani et al. (2022) の Nuclear Stellar Disk モデルを追加し、GALACTICNUCLEUS の銀河中心領域のデータと矛盾がないことを確認している。

本モデルは、PRIME (PRime-focus Infrared Microlensing Experiment) 望遠鏡及び、NASA の Roman 望遠鏡によるマイクロレンズサーベイのシミュレーションにも使用されている (Kondo et al. in prep., Johnson et al. in prep.)。本講演ではモデルの詳細と、種族合成ツールを用いたシミュレーション例をいくつか紹介する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Z322b 銀河系中心における近赤外線高頻度撮像サーベイ：PRIME 望遠鏡の進捗および将来計画

鈴木大介, 住貴宏 (大阪大学), PRIME コラボレーション, ULTIMATE 銀河系中心検討チーム

これまでに可視光を用いた銀河系中心方向の重力マイクロレンズ探査によって 100 個以上の系外惑星が検出され、統計解析から浮遊惑星の存在も確認されている。しかし、海王星質量程度以下の冷たい惑星の統計量はまだまだ不十分で、その存在頻度に大きな不定性がある。この状況を打破するため、PRIME (PRime-focus Infrared Microlensing Experiment) 計画では新たに 1.8m の望遠鏡を南アフリカ天文台サザーランド観測所に建設し、近赤外線を用いることでダスト減光を抑え、銀河面を含む低銀緯領域に対してマイクロレンズ惑星探査をする。これにより、統計量を現在の約 3 倍に増やし、氷境界以遠において地球質量程度までの惑星の存在量を明らかにする。また、2026 年打ち上げ予定の Roman 宇宙望遠鏡では、0.1 地球質量の惑星まで検出可能な感度で合計 1 年間銀河系中心方向のマイクロレンズ惑星探査を実施する。さらに、2020 年代後半には、ULTIMATE-Subaru の広視野近赤外線撮像装置が稼働し、Roman とショートイベントを同時観測することで、浮遊惑星の質量決定が初めて可能となる。JASMINE も含め、これらの観測装置は位置測定精度も高く、astrometric microlensing の測定により恒星質量から中間質量ブラックホールの検出が期待される。

本講演では、PRIME 計画を紹介し、2022 年夏に予定されている PRIME 望遠鏡インストールの進捗を報告する。また、Roman のマイクロレンズ探査、検討中の ULTIMATE による銀河系中心サーベイおよび Roman との協調観測について紹介する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Z323r 銀河系中心分子層に発見された高速度コンパクト雲

岡 朋治 (慶應義塾大学)

銀河系の中心から半径約 200 pc の領域は「銀河系中心分子層」と呼ばれ、無数の恒星と大量の高温・高密度分子ガスの集中によって特徴づけられる銀河系内で最も特異な領域である。私達のグループでは、同領域において数多く見出されたコンパクト ($d \leq 5$ pc) かつ異常に速度幅の広い ($\Delta V \geq 50$ km s⁻¹) 特異分子雲の研究を長年進めている。野辺山 45 m 望遠鏡によって約 100 個が発見され「高速度コンパクト雲」と名付けられたそれらは、当初は超新星爆発、大質量原始星から双極分子流、あるいは軌道交差に伴う分子雲同士の衝突等に起源を持つと考えられた。その後 ASTE および JCMT を使用した追観測、そして ALMA を使用した高解像度観測が進み、一部の高速度コンパクト雲は巨大な点状重力源と遭遇した雲に特徴的な空間・速度構造を有する事が明らかになった。詳細な軌道解析から導かれる点状重力源の質量は数万から数十万太陽質量に及び、他波長における明確な対応天体が付随しないことから、これらは中質量ブラックホール候補天体と考えられた。この手法によって銀河系中心分子層に見出された中質量ブラックホール候補天体は既に 5 個を数え、未公表のものを加えると 10 個程度に上る。これは、同領域に 100 個程度の中質量ブラックホールがあるとする理論計算の結果と矛盾しない。一方で、明るい対応天体の不在から導かれる低い活性率 (active fraction) の問題については、入念な検討と考察が必要である。高速度コンパクト雲に類似した雲は銀河系円盤部にも稀少なながら存在しており、分子雲に高速突入した孤立ブラックホールに起因するものと解釈されている。また最近の ALMA による爆発的星形成銀河 NGC 253 の観測結果から、銀河系と同程度数の高速度コンパクト雲が同定されている。本講演では、高速度コンパクト雲に関する最近の研究をまとめ、それらをプローブとした「見えない」重力源の探査可能性について議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Z324a Joint Analysis of Proper Motion and Radial Velocity of GCIRS13E; New Mass Estimation of the IMBH Candidate

Masato Tsuboi (ISAS/JAXA), Takahiro Tsutsumi (NRAO), Makoto Miyoshi (NAOJ), Ryosuke Miyawaki (J .F. Oberlin Univ.) and Atsushi Miyazaki (JSF)

The Galactic Center IRS13E cluster is suspected to have an intermediate mass black hole (IMBH) in its interior. High-resolution ALMA observations of the H30 α recombination line have revealed an elliptical object in it. The kinematics along its long axis appears as a tilted linear feature on the PV diagram. Because the feature is fairly bulging, so random motion may be significant in it. Such linear feature usually suggests that there is a rotating disk-like object around a central body. When we assume that the disk is thin and the observed aspect ratio is caused by the tilt angle, the mass of the central body is $\sim 2 \times 10^4 M_{\odot}$. Although this mass is still within the upper limit of the IMBH derived from the positional stability of Sgr A*, both affirmative and negative discussions are induced actively. It may not be good to assume that the disk is thin because of observed large random motion in it. Recently, in the ALMA observation of continuum emission at 230 GHz, the disk is resolved into smaller components and their proper motions were measured. The derived proper motions are approximately along the long axis of the elliptical object. If these components were distributed on the disk and the proper motions are caused by the rotation of the disk, the proper motion and radial velocity could be combined to estimate the kinematics of the disk accurately. The mass of the central body using the new analysis is $\sim 3 \times 10^3 M_{\odot}$. The smaller mass is consistent with the radio and X-ray quiescence of this object.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Z325a 銀河系中心核近傍の超小型高速度コンパクト雲

竹川俊也 (神奈川大学), 岡 朋治 (慶應義塾大学), 岩田悠平 (国立天文台)

銀河の中心に存在する超大質量ブラックホール (SMBH) は、 $10^2\text{--}10^5 M_{\odot}$ をもつ中間質量ブラックホール (IMBH) が合体・降着を繰り返し成長してきたと考えられている。全ての IMBH が SMBH へ成長するとは考えにくく、また、IMBH は恒星質量ブラックホール同士の合体や高密度星団中における恒星の暴走的合体により形成され得るため、近傍宇宙にも IMBH は多く存在していると推測される。しかし IMBH の存在を示唆する報告例は、超高輝度 X 線源や球状星団の中心核など複数あるものの、未だ決定的な証拠は得られていない。

これまで私たちは銀河系中心領域に、極端に広い速度幅 ($\Delta V \gtrsim 50 \text{ km s}^{-1}$) とコンパクトな空間構造 ($d \lesssim 5 \text{ pc}$) をもつ特異分子雲「高速度コンパクト雲 (HVCC)」を多数発見している。そしていくつかの HVCC は、重い点重力源により分子ガスが局所的に重力加速を受けた現場であり、銀河系中心領域にも $10^4\text{--}10^5 M_{\odot}$ の IMBH が複数潜んでいる可能性を見出してきた。特に、Sgr A* 近傍に位置する 2 つの HVCC は、ALMA により詳細な内部運動が分解され、それぞれ特徴的なリング構造を内包し、それらの空間-速度構造は $\sim 10^4 M_{\odot}$ の点重力源周りのケプラー運動で非常に首尾よく説明できる (Takekawa et al. 2019, 2020)。さらに興味深いことに、同観測によりリング構造近傍に大きさが 0.04 pc 以下にもかかわらず、 $\sim 50 \text{ km s}^{-1}$ もの広い速度幅を持つ超小型高速度コンパクト雲 (UCC) が複数存在することが判明した。UCC の空間サイズおよび速度幅は原始星アウトフローを想起させるが、電波連続波源や他波長における対応天体は検出されていない。現状 UCC は空間分解されていないが、本大会前には ALMA cycle 8 においてサブミリ波分子輝線による高分解能観測が予定されている。本講演では、これら UCC の発見を報告し、 $\sim 10^3 M_{\odot}$ の IMBH との重力相互作用の可能性も含め、その起源について議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Z326b 銀河系中心部における分子雲衝突と誘発される星形成

榎谷玲依 (慶應義塾大学), 立原研悟, 福井康雄 (名古屋大学)

本講演では、近年、銀河系円盤部の星形成領域の研究において開発された分子雲衝突同定手法を用いて、銀河系中心部における分子雲衝突と誘発される星形成を定量的に評価した結果を報告する。銀河系中心部は、ローカルグループで最大の分子ガス密度が達成されるため頻繁に衝突が起こると予想される領域であり、巨大星団を三つも含む。また、系内であるために距離が近いこと詳細な観測的研究が可能である。よって、分子雲衝突による誘発的星形成を理解する上での最重要ターゲットの一つである。

我々はまず、すでに衝突の可能性が示唆されていた銀河系中心部の天体について、上述の分子雲衝突同定手法 (低密度分子輝線データに見られる分子雲衝突特有の位置・速度分布を利用した手法) を試し、銀河系中心部においてもこの手法が適用可能であることを検証した。また、SiO 放射が卓越するなどの銀河系中心部特有の特徴も見出した (Enokiya+21)。さらに、銀河系中心部で最も激しく星形成を行う、いて座 B 領域についても最新のアーカイブの赤外線、電波連続波、分子輝線データを用いた解析を行い、上記手法を適用した。その結果、数百万年前に約 $10^6 M_{\odot}$ の巨大分子雲が衝突したことを示唆する複数の証拠を得た。また、この領域の分子ガスの位置-速度分布が、分子雲衝突を模した流体シミュレーションの疑似観測と非常によく似ていることがわかった (Enokiya+22)。この領域に含まれるいて座 B2 は、Hasegawa + 94 において既に分子雲衝突が示唆されていたが、本研究の結果は、二つないしは三つの分子雲が衝突することでいて座 B2 のみならずいて座 B1 においても星形成が誘発されたことを示す。得られた結果と、銀河系円盤部の分子雲衝突を比較することで、衝突によって星形成を誘発する柱密度の下限値などを導出し、銀河系中心部は衝突により最大規模の星形成が誘発される領域であることがわかった。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Z327b 銀河系中心分子層東端に位置する特異分子雲 G1.6-0.025 の観測的研究

児島友里、岡 朋治、榎谷玲依、横塚弘樹 (慶應義塾大学)、竹川俊也 (神奈川大学)

銀河系の中心約 400 pc に渡る銀河系中心分子層 (CMZ) の東端で発見された分子雲 G1.6-0.025 (G1.6) は、二つの速度成分 ($V_{\text{LSR}} = +50 \text{ km s}^{-1}$, $+165 \text{ km s}^{-1}$) から成り、衝突励起 CH_3OH メーザ輝線が検出されていることから分子雲衝突候補天体として考えられていた (Whiteoak et al. 1989)。その一方で、衝突相手の実体が明瞭でなく、メーザ放射以外の証拠が見られない等の理由から、衝突である確証は持てない状況にあった (Saliu et al. 2002)。本研究では G1.6 の起源を探る目的で、James Clerk Maxwell Telescope によって得られた $\text{CO } J=3-2$ (346 GHz) 輝線アーカイブデータに加え、野辺山 45 m 望遠鏡を使用した $\text{CO } J=1-0$ (115 GHz) 輝線の詳細なマッピング観測を行ったため、その結果を報告する。同分子雲の詳細な空間・速度構造を調べた結果、 $V_{\text{LSR}} = 165 \text{ km s}^{-1}$ 付近の本体は西側を弧にした三日月状の形態を呈し、これと $V_{\text{LSR}} = 50 \text{ km s}^{-1}$ 付近の拡散分子雲との間に弱い空間的反相関があることが分かった。加えて、G1.6 内に 2 つ、拡散分子雲内に 1 つの高速度コンパクト雲 (HVCC) が確認された。このうち前者 2 つは比較的単純な空間速度構造を有し、それぞれの速度幅は点状重力源周りの軌道運動によって生じている可能性がある。また、拡散分子雲内に確認された HVCC は位置速度図上で速度幅 $\Delta V = 60 \text{ km s}^{-1}$ に及ぶ明瞭な Y-shape を呈しており、G1.6 に付随した点状重力源 ($M > 10^2 M_{\odot}$) の突入によって生成された可能性を示唆する。この点状重力源の正体は、それらの方向に明るい天体が検出されていないことから、核融合反応を終了した恒星の残骸 (白色矮星、中性子星またはブラックホール) の集団もしくは中間質量ブラックホールと推測される。以上より、複数の点状重力源を内包する分子雲が CMZ 内の拡散分子雲に衝突することにより G1.6 が形成されたというシナリオを提案する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Z328b 野辺山 45 m 鏡による銀河系中心衝撃波領域の広域イメージング観測

竹川俊也 (神奈川大学)、辻本志保、横塚弘樹、金子美由起、岡 朋治、榎谷玲依 (慶應義塾大学)、岩田悠平 (国立天文台)

銀河系中心核から半径約 200 pc 以内の領域は Central Molecular Zone (CMZ) と呼ばれ、銀河円盤部に比べ高温・高密度かつ広い速度幅を有する分子ガスが密集している。CMZ では広範に渡り衝撃波トレーサーである SiO 分子輝線が検出されることが以前から知られており、この領域にある分子ガスは頻繁に強い衝撃波にさらされていることがうかがえる (Martín-Pindado et al. 1997)。衝撃波に伴う現象としては、大質量星形成、超新星爆発、分子雲衝突、磁場との相互作用、コンパクト天体との重力相互作用、中心核活動の影響など多様な要因が考えられ、CMZ 内の衝撃波領域をくまなく探査することは、銀河系中心領域の活動性や進化を理解する上で重要である。

私たちは 2019 年から 2021 年にかけて、野辺山 45 m 鏡を用いて CMZ ほぼ全域について、複数の分子輝線による大規模イメージング観測を実施した。観測範囲は銀経 $|l| \leq 1.5^\circ$ 、銀緯 $|b| \leq 0.25^\circ$ の領域 ($3^\circ \times 0.5^\circ$) であり、観測輝線は $\text{SiO } J=2-1$ 、 $\text{CS } J=2-1$ 、 $\text{HCN } J=1-0$ 、 $\text{H}^{13}\text{CN } J=1-0$ 、 $\text{HCO}^+ J=1-0$ 、 $\text{H}^{13}\text{CO}^+ J=1-0$ および $\text{SO } N_J=2_3-1_2$ である。その結果、CMZ 内の衝撃波領域をかつてないほど詳細に描き出すことができ、フィラメント状構造やシェル状構造、大きさが 1-2 pc 程度の小型クランプなど特徴的な分子ガス構造が新たに多数発見された。これら構造は、埋もれた星形成領域や超新星残骸など、銀河系中心領域での物質循環を担う重要な存在であると考えられる。本ポスター講演では、 SiO 輝線強度分布をはじめとした複数の CMZ 広域イメージを並列し、CMZ の空間-速度構造や物理状態を改めて概観する。また、輝線強度比に基づいて衝撃波領域を抽出し、新たに見つかった特異分子雲の起源について議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Z329b 銀河系中心分子層外縁部に発見された高速度コンパクト雲 CO 1.62+0.25 の観測的研究

中村太一, 岡朋治, 榎谷玲依, 横塚弘樹, 児島友里 (慶応義塾大学)

銀河系中心分子層 (CMZ) には、空間的にコンパクト ($d \leq 5$ pc) でありながら非常に広い速度幅 ($\Delta V \geq 50$ km s⁻¹) を有する「高速度コンパクト雲 (high-velocity compact cloud; HVCC)」が約 200 個発見されている。そのうち数個の HVCC については、巨大な点状重力源との遭遇によって形成された可能性が指摘されている。一方で、殆どの HVCC に他波長対応天体が発見されないことから、銀河中心超巨大ブラックホールの形成・成長に寄与する「中質量ブラックホール」との関連において、HVCC は近年注目を集めている。

本研究では、CMZ 東側の最外縁部に発見された HVCC CO 1.62+0.25 について、James Clerk Maxwell Telescope によって取得された CO $J=3-2$ 輝線データの詳細な解析を行った。この HVCC は、特に広い速度幅 ($\Delta V \sim 70$ km s⁻¹) とコンパクトな形状 ($S \sim 1$ pc) を有し、位置速度図上で特徴的な二又構造を呈する。他波長対応天体も確認できない。速度チャンネル毎に輝線強度ピークを重心によって精密決定する方法により CO 1.62+0.25 の運動を調査した結果、それが一つの巨大な点状重力源周りの二つの Kepler 軌道によって再現できる可能性が示された。本講演では、輝線データの詳細な解析結果を報告するとともに、存在が示唆された点状重力源の正体について議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Z330b 銀河系中心領域に発見された特異分子雲 “Tadpole” の観測的研究

金子美由起, 岡 朋治, 横塚弘樹, 辻本志保, 榎谷玲依 (慶応義塾大学), 竹川俊也 (神奈川大学), 岩田悠平 (国立天文台)

銀河系中心分子層には、空間的にコンパクト ($d < 5$ pc) かつ極端に広い速度幅 ($\Delta V > 50$ km/s) を有する「高速度コンパクト雲 (high-velocity compact cloud; HVCC)」が約 200 個発見されている。そのうち幾つかについては、「見えない」点状重力源との遭遇によって加速されたとする説が提唱され、中心核超巨大ブラックホールの形成・成長に寄与すると考えられている中質量ブラックホールとの関連から、近年注目を集めている。銀河系中心核 Sgr A* から約 5 pc ほど北西に発見された特異分子雲 Tadpole は、際だって高い CO $J=3-2/J=1-0$ 強度比 (~ 1.8) と位置速度図上で特徴的な head-tail 構造によって特徴づけられる HVCC である。私たちは、Tadpole における CO $J=3-2$ 放射の $l-b-V$ 分布を詳細に分析することにより、それが 10 万太陽質量の点状重力源周りの Kepler 軌道で再現できることを見出した (金子他、日本天文学会 2021 年秋季年会 Q33a)。想定された点状重力源の位置付近には複数の点状 X 線源が存在するが、それらとの対応関係は不明である。今回私たちは、野辺山宇宙電波観測所 45 m 望遠鏡および James Clerk Maxwell Telescope によって取得された複数の CO, HCN 分子スペクトル線データについて、想定された Kepler 軌道に沿った詳細なスペクトル線強度比の解析を行った。その結果、CO $J=3-2/J=1-0$ 比と HCN $J=4-3/J=1-0$ 比のいずれも想定軌道に沿って系統的な変化を示し、それぞれ異なる位置において極大値をとることが分かった。これらの強度比の挙動は、Kepler 軌道上の近点通過に伴う衝撃波加熱と遠点付近におけるガス集積によって理解され、Tadpole の Kepler 軌道モデルを支持する結果となっている。本講演では、以上をもとに点状重力源が中質量ブラックホールである可能性について議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Z331b 銀河系バルジ領域における磁気活動が星間ガスの動熱力学に与える影響

柿内健佑 (名古屋大学)、鈴木建 (東京大学)、犬塚修一郎 (名古屋大学)、井上剛志 (甲南大学)、福井康雄 (名古屋大学)、榎谷玲依 (慶應義塾大学)、小西諒太郎 (大阪府立大学)

銀河全体の中で銀河進化の核となり、最も複雑で活発な活動性を示すのは銀河の中心領域である。銀河系中心から sub-kpc スケールの領域では銀河面から垂直方向に伸びる非熱的フィラメント構造が多数確認されており、分子ガス雲においても銀河系を中心に回転する円周運動のみでは説明が困難な特徴的な空間分布・速度分布について活発に議論されている。他方で、観測事実に基づくと天の川銀河の中心部数 100 pc の領域での磁場強度は円盤部に比べて強く、その磁気エネルギーは星間ガスの熱・運動エネルギーに匹敵あるいは凌駕する。故に、銀河系中心領域の星間現象を理解する上で、同領域における磁気流体的な振る舞いが星間ガスに与える影響を解明することは必要不可欠な課題である。

そこで我々は銀河系中心領域における 3次元大域的磁気流体数値実験を実施し、等温条件において磁気不安定性による磁場の増幅に伴って星間ガスに動径方向や銀河面鉛直方向へのガス運動が励起されることを示した (Suzuki et al. 2015, Kakiuchi et al. 2018)。しかし、これらの計算では数値計算の安定化のために実際の星間ガスの温度と比べると非常に高温な百万度を越えるガスとして取り扱っていたために定性的な結果が低温条件下でも再現できるかは不明瞭であった。本講演では、新たに熱進化の影響を考慮し星間ガスの輻射加熱冷却スキームを実装した数値実験結果を報告する。特に輻射加熱冷却を考慮しない場合では発現しなかった中緯度帯における low-plasma beta な領域の形成とさらに上空のハロー領域に広がる磁気加熱領域による高温ガス領域の形成について取り上げ、銀河系中心領域のガス雲への寄与について議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Z332b ALMA による銀河系中心 Circumnuclear Disk 内外の降着流の観測

田中邦彦 (慶応大・理工)

銀河系中心 Circumnuclear Disk (CND) は銀河系の最も深部に位置する大質量分子ガス塊であり、中心核活動への質量供給や中心核近傍での星団形成を理解する上での重要天体である。これまで CND は主に密度 $\gtrsim 10^5 \text{ cm}^{-3}$ の高密度分子雲で構成されるとされてきたが、近年の観測は CND はかなりの質量の低密度 ($\lesssim 10^3 \text{ cm}^{-3}$) 分子雲を伴うことを示唆する。本講演では、ALMA によって取得された CND の中性炭素 ([CI]) イメージについて報告する。[CI] は 2-pc の回転リングと外部の streamer 構造を包括する幅広の円環構造をしており、広い半径方向への広がり ($\sim 5 \text{ pc}$)、大きな動径速度 ($\sim -60 \text{--} 80 \text{ km s}^{-1}$)、そして領域北部への極端な質量集中という特徴がある。励起解析は $T_{\text{kin}} \sim 20 \text{ K}$, $n_{\text{H}_2} \sim 10^3 \text{ cm}^{-3}$ を示し、従来知られていた 2 つの分子ガス成分のいずれとも一致しない。また最上流には潮汐破壊の影響が弱いと見られる高柱密度のコンパクトなクランプが存在することからも、[CI] 分布は今まさに CND へ降着しつつある低密度分子ガス流を捉えたものと考えられる。[C⁰]/[CO] 比は ~ 2 と高く、この降着流の質量の大半が過去の観測では見過ごされてきたことを意味する。一方、CND の内側から中心方向へ伸びる [CI] フィラメントが発見された。10 を超える極めて高い [C⁰]/[CO] 比、広い速度幅、回転運動に従わない高い視線速度を考慮すると、実際に中心核のごく近傍にある分子雲である可能性が高い。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Z333r すざく、XRISM で探る銀河系中心領域の拡散 X 線放射

信川正順 (奈良教育大学)

銀河系中心領域には点源に分解できない X 線放射 (GCXE; Galactic Center X-ray Emission) が広がっている。これが広がった熱的放射だと、超新星残骸 1000 個分もの膨大なエネルギーになる。これまでに数多くの X 線観測が行われ、その起源は長く議論されてきた。しかしその主要成分が、検出限界以下の暗い点源の重ね合わせ (点源説) なのか、真に広がったプラズマ (拡散プラズマ説) なのかすら、現在でもわかっていない。実際は点源と拡散プラズマの混合であろう。そして、まず測定すべきはその構成比率である。

そこで我々は拡散 X 線放射に感度が良い「すざく」の観測データを用いて、スペクトルを詳細に調査した。点源説の候補である点源種族 (AB や CV) の「すざく」データをもとにモデルスペクトルを構築し、GCXE スペクトルに適用した。その結果、点源モデルだけでは GCXE スペクトルを再現できず、拡散プラズマと冷たいガス成分が必要であることがわかった (Nobukawa & Koyama 2021, PASJ, 73, 1289)。拡散プラズマは全体の ~40% を占める。これまでの拡散プラズマ説では非常に高温 ($kT = 5-10$ keV) と言われていたが、低温 ($kT \sim 1$ keV) の可能性を示唆した。また、冷たいガス成分は全体の ~10% の寄与であるが、プラズマからはでない中性鉄輝線 (Fe K α) を持つ。これは低エネルギー宇宙線が冷たいガスを電離している可能性がある。

近く打ち上げる X 線天文衛星 XRISM では超精密分光観測が可能になる。GCXE の拡散プラズマの温度や電離状態、運動を初めて精密に測定する。これにより銀河系中心における拡散プラズマの寄与と、その起源を明らかにする。さらに、冷たいガス成分の中性鉄輝線の副構造を精密測定し、銀河系中心における低エネルギー宇宙線の量を制限する。いずれも銀河系中心領域の活動性の新情報になる。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Z334a 巨大分子雲 Sgr B2 からの He-like 鉄輝線放射と高速度コンパクト雲

田中 優貴子, 松永 海, 成田 拓仁, 天野 雄輝, 佳山 一帆, 内田 裕之, 鶴 剛 (京都大), 田中 孝明 (甲南大), 岡 朋治 (慶應義塾大)

銀河系中心領域の巨大分子雲 Sgr B2 の中には「すざく」による先行研究により He-like 鉄輝線 (6.7 keV) の強い領域が見つかっており、G0.61+0.01 と名付けられている (Koyama et al. 2007)。この天体は鉄の存在量の多さ (~5 solar) から、イジェクタが支配的な数千年の Ia 型超新星残骸と解釈されている (Koyama et al. 2007)。我々は XMM-Newton でこの領域の空間構造を調べた結果、6.7 keV 放射領域が S 字のような形状であること、高速度コンパクト分子雲 (High Velocity Compact Cloud: HVCC) (Oka et al. 1998) の分布が反相関していることを発見した。これは G0.61+0.01 が HVCC による吸収を受けている、または接触しているという解釈が可能だが、前者の場合は 6.7 keV 放射を遮る高密度な分子雲が存在することを示唆する。一方、後者の場合は分子雲との接触による電荷交換反応が 6.7 keV 放射を強めている可能性が考えられる。また、6.7 keV 輝線の等価幅の大きさ、中心エネルギーが低エネルギー側にシフトしていることから G0.61+0.01 が大きな速度幅を持つことが推測される。本講演では XMM-Newton による 6 観測のスペクトル解析から放射モデルを推定し、G0.61+0.01 と HVCC の空間構造や相互作用の可能性について考察する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Z335a 銀河系中心の高速度分子雲 CO 0.02–0.02 領域の X 線天体の調査

石渡幸太, 松本浩典, 野田博文, 常深博, 朝倉一統, 善本真梨那, 大出優一, 佐藤淳矢, 鴨川航, 袴田知宏, 青柳美緒, 萩原涼太 (大阪大学), 岡朋治 (慶應大学), 中嶋大 (関東学院大学)

銀河系中心領域には、これまでの電波観測から、複雑な空間分布と運動機構を示す分子雲が存在し、さらにその中でも大きな速度幅 ($> 100 \text{ km s}^{-1}$) とコンパクトなサイズ ($\sim 3 \times 4 \text{ pc}^2$) の分子雲 CO 0.02–0.02 の存在が知られている。この分子雲は先行研究によって 10^{51} erg 程度の運動エネルギーを持つことが知られ、年齢も 3–5 万年の上限が与えられている。CO 0.02–0.02 はこのような短期間に銀河中心領域において加熱、圧縮された珍しい天体であり、その形成過程は未だによくわかっていない。X 線天文衛星 NuSTAR による硬 X 線観測によって上述の分子雲領域中に、硬 X 線放射が卓越していると思われる天体 (NGP59 及び NGP67) の存在が示唆されている。そこで、本研究では上記の硬 X 線放射が卓越している天体について、軟 X 線帯域で高い空間分解能を誇る X 線天文衛星 Chandra の観測データを複数足し合わせて、光子の統計を上げて解析を行った。その結果、NGP67 では対応する X 線源は見つからなかった。一方、NGP59 は、高階電離した He 状鉄からの 6.7 keV の輝線は強度の上限 ($< 2.3 \times 10^{-7} \text{ count cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$) しか得られなかったが、H 状鉄からの 6.9 keV の輝線の存在 ($3.4_{-1.4}^{+1.7} \times 10^{-7} \text{ count cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$) が確認でき、吸収の柱密度として $50_{-16}^{+19} \times 10^{23} \text{ cm}^{-2}$ という大きい値を得た。本講演ではこれらの解析について詳しく報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

M01a 太陽型星の恒星風スケーリング則

庄田宗人 (東京大学)

恒星風は恒星からほぼ等方的に流れ出るアウトフローであり、恒星周囲の環境や恒星自身の進化にさまざまな影響を与えることが知られている。例えば太陽のような小質量主系列星の恒星風は 1. 磁気制動 (恒星風と磁場による角運動量の引き抜き) を介した恒星自転進化、2. 惑星大気損失の促進と抑制、3. 惑星への水の供給を引き起こすことが示唆されており、数億年から数十億年スケールに渡る恒星系の進化を決める最も重要なファクターの一つである。一方、小質量星の恒星風はそのシグナルが極めて微弱であるため観測が難しい。近年では恒星圏界面におけるライマンアルファ光の吸収やプロミネンスの観測から恒星風質量損失率を見積もる方法が提案されているが、いずれもモデル依存性が強い間接的な推定方法であり、不定性は大きくサンプル数も限られている。恒星風の統計的な理解を目指すにあたり、理論的アプローチは不可欠であろう。

そこで本研究では太陽風モデルを一般の太陽型星へと拡張することで、恒星風質量損失率と恒星観測を結びつけるスケーリング則の導出に挑戦した。近年、アルベーン波に加えコロナループとの交換型リコネクションの効果まで考慮した新たな (現象論的) 太陽風モデルが提案され、注目を集めている。そこで本研究では太陽風をアルベーン波とリコネクションの両効果を考慮した太陽風モデルを一般の太陽型星に適用し、パラメータサーベイを行なった。計算の結果、質量損失率は 1. 恒星の総磁束量、2. 恒星の開いた磁束量の二つのパラメータについての冪乗則で表すことができることがわかった。本研究成果は何らかの形で恒星の開いた磁束量を制限することができることを示唆する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

M02a A Geo-coronal Solar Wind Charge Exchange Event Associated with the 2006-Dec-13 CME-driven Shock Detected by Suzaku Satellite

Yu Zhou, Noriko Y. Yamasaki, Shin Toriumi (JAXA/ISAS), Kazuhisa Mitsuda (NAOJ)

We report a case study of the solar wind charge exchange (SWCX) process in the frame of one well-studied coronal mass ejection (CME) event occurred on 2006 December 13th, which involves the largest CME-driven shock ever detected in the space era with a fleet of spacecrafts. *Suzaku* satellite captured the CME triggered SWCX emission in the X-ray range from 0.3 to 10 keV. Prominent non-thermal emission lines are detected at energies of O VIII, Ne X, Mg XI, Mg XII, Si XIII and Si XIV, and the observed N VI $1s^15p^1$ to $1s^2$ transition at 532 eV provides a strong evidence for the charge exchange origin. Previously, several SWCX records have mentioned a time coincidence with a flare in proton flux, which was also suggested as a prediction tool to remove the transient contamination from the soft diffuse X-ray background study. However, the arrival timing of the SWCX reported in this work corresponds to the passage of an ICME-originated magnetic cloud instead and we learned that proton flux enhancement is not always an efficient indicator for the SWCX event. Furthermore, a scenario of magnetic reconnection between the magnetic cloud and the Earth magnetosphere may revise the geometry of the SWCX procedure and cross section modelling.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

M03a ISEE と LOFAR の IPS 観測データを統合した CME の MHD シミュレーション

岩井一正 (名古屋大学), Fallows R. (ASTRON), Bisi, M. (RAL), 塩田大幸 (NICT), Jackson, B. (UCSD), 徳丸宗利, 藤木謙一 (名古屋大学)

惑星間空間シンチレーション (IPS) 観測は、電波の散乱現象を利用することで、惑星間空間を伝搬中のコロナ質量放出 (CME) を効率よく検出することができる。そのため、太陽圏における CME の伝搬を計算するために一般的に使われる磁気流体 (MHD) シミュレーションは、より多くの IPS データを取り込むことによってより正確になり得る。特に地球上の異なる経度に設置された電波観測装置による協調した連続観測は CME を高頻度に観測できる利点が指摘されている。本研究では、名古屋大学 ISEE の IPS 観測装置と、欧州の電波干渉計 LOFAR で同時期に行われた IPS 観測データを組み合わせることで連続的な観測となった 2017 年 9 月 10 日から 12 日にかけて発生した CME 現象を、太陽圏の MHD シミュレーション (SUSANOO-CME) に取り込む実験を行った。本シミュレーションでは Spheromak を用いて CME がモデル化される。シミュレーション結果から得られる太陽圏の密度の 3 次元分布を用いて、地球から任意の方向に電波の散乱を解くことで疑似的な IPS データを計算できる。Spheromak の初期パラメータを変えたシミュレーションを多数行い、実際に観測された IPS データと最も近い疑似 IPS データが得られるシミュレーションを抽出した。対象となる CME は西のリムで発生したが、地球上の異なる経度に存在する ISEE のアンテナと LOFAR がほぼ同時刻に観測を行ったことで、IPS の反応を示す天体の分布は全天に広がっていたことが分かった。この IPS 分布は、広い角度幅を持った Spheromak を用いたシミュレーションによって再現され、そのシミュレーションは CME の地球への到来も再現できた。本結果は、多数の IPS 観測データを用いることで CME のグローバルな構造をより正確に再現できることを示唆している。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

M04a 太陽周期活動に伴う太陽風速度変化の確率予測

辻村穂高¹, 今田晋亮², 飯島陽久¹, 三好由純¹ (1. 名古屋大学宇宙地球環境研究所 2. 東京大学)

太陽風が地球に向かって吹き続ける中、通信障害や送電設備への影響が懸念されている。こうしたリスクを回避するためにも、太陽風の予測は重要である。太陽風の速度は、太陽表面の磁場と太陽風中の磁場の比によって決まることが経験的に知られている。(この関係を経験的に表現したものが、Wang-Sheeley-Arge モデル (WSA モデル) である)。したがって、この 2 か所の磁場を再現することが出来れば、太陽風の速度を予測することができる。磁場を計算する方法として、表面磁束輸送モデル (SFT モデル) と PFSS 外挿法の 2 つがある。SFT モデルは、移流項、磁気拡散項、磁束出現項で構成される。磁束出現項には、出現する黒点の数、緯度、面積、傾斜角の情報が必要となる。しかし、黒点を特徴づけるこれらのパラメータは一般に統計的に不定性があり、この統計的変動が太陽表面磁場や太陽風速にどのような影響を与えるかに関しては十分な理解が得られていない。本研究では、これら 3 つのモデルを用いて太陽風速を予測した。このうち、SFT モデルの入力パラメータである黒点数、傾斜角、出現緯度、出現経度を確率的に変化させて、太陽風速の変動を予測した。その結果、15 年間にわたる太陽風速度がどの程度変動しうるか、太陽風速度の確率分布を得た。今回は、これらの結果をもとに、太陽サイクル 25 の太陽風変動に関して考察した結果を議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

M05a アルフベン波駆動の太陽風における縦波擾乱の重要性

清水公彦(東京大学), 庄田宗人(東京大学), 鈴木建 *.presenter(東京大学)

2021 年春季年會に引き続き、太陽風駆動における音波の役割を調査した。アルフベン波による太陽風駆動モデルの枠組みにおいて、 p モード振動の太陽風への影響を精査するため、表面での縦波擾乱速度を様々に変えて、光球から 100 太陽半径近くまでの 1 次元磁気流体シミュレーションを行った。

表面での縦波振動を大きくすると、縦波振動を注入しない場合に比べて、太陽風の質量流束が最大で 4 倍近くまで上昇することを見出した。音波は太陽風駆動に影響しないというこれまでの理解を覆すこの結果が得られた理由は、彩層での波動間のモード変換にある。すなわち大きな縦波を注入した場合、彩層でのモード変換により横波が励起され、コロナに流れ込むアルフベン波的なポインティング流束が増大する。その結果、コロナでの加熱量が増加し彩層蒸発によりコロナの密度が大きくなる。コロナは太陽風の根元であるため、そこでの密度の増加は質量放出率を上昇させる訳である。

以上の結果は、 p モード振動と彩層での波動間のモード変換が、太陽風や太陽型星から吹き出す恒星風の物理状態の決定に重要な役割を担うことを示している。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

M06a 粒子到達時間の長い太陽高エネルギー粒子イベントに関する詳細解析

木原孝輔, 浅井歩(京都大学), 八代誠司(カトリック大学), 新田就亮(ロッキード・マーティン太陽天体物理学研究所)

太陽高エネルギー粒子 (Solar Energetic Particle; SEP) は、コロナ質量放出 (Coronal Mass Ejection; CME) による衝撃波などによって粒子が加速される現象である。SEP は、高緯度を航行する航空機における被曝や人工衛星の障害など、社会基盤に与える影響が大きく、宇宙天気分野における重要な研究対象である。

SEP と関連した CME の発生位置が観測衛星から見て西半球 (例えば W20-W90) の場合、曲がった磁力線 (パークースパイラル) による CME と観測衛星との接続性が良いと仮定されるが、こうしたイベントからの加速粒子は CME の発生の際の最速 30 分程度で到達する。一方で、同様の接続性でありながら粒子の到達に時間がかかる場合 (≥ 2 時間) が少数ながら存在する (Kihara et al., 2020)。我々は、接続性や CME 速度などの条件が同じような SEP イベントについて、到達時間が特に長いイベントと、その対照群となる短いイベントを 2 例ずつ抽出し、これらでは付随する太陽フレアの特徴や、CME 由来の電波放射が発生してから粒子が放出されるまでの時間が大きく異なることを示した (日本天文学会 2022 年春季年會 M34a)。

さらなる解析の結果、到達時間が長いイベントの 1 つではフレア領域の磁気中性線上空の decay index (磁場の鉛直方向の減衰率) が到達時間の短いイベントに比べて小さく、CME の放出につながる torus instability の発生位置が高いことが分かった。また、もう一方のイベントでは、速い CME が遅い CME に追いついた際に発生する粒子の加速 (Gopalswamy et al., 2004 など) によって粒子が加速・放出された可能性が示唆された。本講演では、新たな解析結果を紹介し、それらが長い到達時間にどのように寄与するのかについて議論を行う。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

M07a Magnetic flux-line irradiance scaling laws for the Sun and Sun-like stars

Shin Toriumi (JAXA), Vladimir S. Airapetian (NASA, American Univ.), Kosuke Namekata (NAOJ), Yuta Notsu (CU Boulder, NSO, Tokyo Tech.)

Late-type dwarf stars including our Sun commonly exhibit magnetic activity in a variety of forms. The magnetic flux on the surface transports the energy upwards and heats the outer atmospheres, the chromosphere, the transition region, and the corona, although the exact mechanism is still remains unclear. In Toriumi & Airapetian (2022), by comparing the power-law scalings between the total magnetic flux and the spectral line irradiances at various wavelengths (from the chromosphere to the corona) for both the Sun and Sun-like stars, we found that the solar-type stars share a common atmospheric heating mechanism regardless of their age or activity level. In this study, we increase the number of the spectral lines by a factor of two, especially for the transition region, to investigate the change in heating efficiency from the chromosphere to the corona. The result shows that the power-law exponent, which links the surface magnetic flux and the spectral line irradiances, of the transition region is comparable to that of the chromosphere ($\alpha < 1$). This implies that the heating mechanisms of these layers are close, but an explanation for the $\alpha < 1$ tendency is currently lacking and awaits theoretical clarification. In addition, we derive the scalings of the line irradiances with not only the total magnetic flux but also other proxies such as the total sunspot number, the sunspot area, and the F10.7 radio flux. This makes it possible to reproduce the line irradiances of the Sun and Sun-like stars from these, more readily available, longer-term measured, or more easily estimatable, proxies.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

M08a XUV Spectra of Active Solar-like Stars: Extension of Solar Empirical Laws

Kosuke Namekata (NAOJ), Shin Toriumi (ISAS/JAXA), Vladimir Airapetian (NASA/Amer. Univ.), Kyoko Watanabe (NDAJ), Munehito Shoda (Univ. of Tokyo), Yuta Notsu (CU/Tokyo Tech.)

The X-ray and EUV (XUV) emissions from cool dwarf stars are essential for understanding the stellar coronal heating and their impact on (exo)planetary atmospheres. However, characterization of a full stellar XUV spectrum is a difficult task, especially in the EUV band. Previous studies characterized the empirical relationship between XUV radiation flux and surface magnetic field fluxes (e.g., Toriumi & Airapetian 2022), but the later study was limited to the selected wavebands or spectral lines of interest. Here, we present the response of the full solar XUV spectrum (from X-ray to FUV) to the solar total unsigned magnetic flux with the use of long-term dataset obtained by SDO/HMI&EVE, SOHO/MDI, SORCE/XPS&SOLSTICE, and TIMED/SEE. We derived power-law relations for each wavelength with a spectral resolution of 1-10 Å. We applied the scaling relations to nearby active solar-like stars including EK Dra (G1.5V), π 1 Uma (G1.5V), and κ 1 Ceti (G5V). These stars represent the limited number of targets for which total unsigned magnetic fluxes and XUV spectra (except for most of the EUV range) are currently available. We found that the XUV spectra of these stars estimated from the derived empirical relation are roughly consistent with the observed spectra for a large range of wavebands and emission lines, within errors of one order of magnitude. This result suggests that the solar power-law relations may be helpful in estimating a full set of XUV fluxes for other solar-like (G and K) stars from the measured surface magnetic fluxes.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

M09b 三鷹における光学試験環境の構築について -近赤外域での太陽撮像によるフィルター試験-

伊集 朝哉, 末松 芳法, 篠田 一也, 萩野 正興 (国立天文台)

私たちは太陽彩層・光球の磁場撮像観測をめざして、ニオブ酸リチウムのエタロン2枚を用いた近赤外域ファブリ・ペローフィルターの研究開発を進めている。このフィルターは、電圧印加によって透過波長をチューニングできるようになっており、狭帯域ブロッキングフィルターと組み合わせて2種類のスペクトル線 He I 1083.0 nm と Fe I 1564.8 nm での撮像偏光観測を行えるように設計している。これまでの試験では、京都大学・飛騨天文台のドームレス太陽望遠鏡 (DST) 水平分光器を利用し、厚さ 0.9 mm と 1.2 mm で試作したニオブ酸リチウム・エタロンの特性を測定した。2枚のエタロンをタンデム配置して 500 V 程度の電圧を印加することで目的の波長にチューニングできることが確認できたため、次の試験としてエタロンをホルダーに組み込んで完成形に近づけたファブリ・ペローフィルターと狭帯域ブロッキングフィルターによる太陽撮像を行う予定である。機会に限られる DST での本試験を効率的に進めるために、フィルター調整の予備実験と操作習熟・試験手順の確認を国立天文台三鷹キャンパスで行えるよう光学試験環境の構築を進めている。シーロスタットと集光用のカセグレン式反射望遠鏡を備えた光学実験室を利用し、フィルター透過波長測定時にはエバート式分光器を構成する光学素子(スリット、平面鏡、球面鏡、エシエル回折格子)、撮像試験時にはフィルターを間に挿入できるリレーレンズを光学定盤上に配置して、近赤外線 CMOS カメラまたは赤外線 CCD カメラと Windows PC でデータを収集するようになっている。本発表では、三鷹キャンパスにおける近赤外域での光学試験環境整備と撮像試験の進捗について報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

M10b 活動領域 NOAA12887 におけるフィラメント噴出を伴う X1.0 フレアのデータ拘束型磁気流体シミュレーション

山崎大輝 (京都大, NJIT)、井上諭、Haimin Wang (NJIT)

2021 年 10 月に現れた活動領域 NOAA12887 では、10 月 28 日にフィラメント噴出を伴う X1 フレアが発生した。本研究では、フィラメント噴出過程のコロナ磁場構造の時間変化とフィラメントの加速メカニズムを明らかにするために、データ拘束型磁気流体シミュレーションを行った。本シミュレーションの初期条件には、X1 フレア発生 1 時間前の光球ベクトル磁場を境界条件として外挿した、非線形フォースフリー磁場を用いた。初期条件の 3 次元コロナ磁場の Decay index (n) の評価から、X1 フレアに関わる MFR はフレア発生前の段階でトラス不安定の領域 ($n > 2.0$) に存在することが分かった。シミュレーションの結果、SDO/AIA 304 Å で観測されたフィラメント噴出をよく再現する、磁気フラックスロープ (MFR) の噴出が確認された。また、噴出した MFR の下部では、シアした磁力線同士の磁気リコネクションによる磁気アーケードの形成と、MFR の押し上げが確認された。さらに、X1 フレアに関わる MFR の噴出、加速メカニズムとして磁気アーケードによる押し上げとトラス不安定の寄与を定量的に評価するために、MFR 下部での磁気リコネクションを抑制した仮想シミュレーションを行った。その結果、磁気アーケードによる押し上げがない場合においても MFR が噴出すること、磁気アーケードによる押し上げがある場合と比べて噴出速度が半減することが確認された。また、2つのシミュレーション結果について、磁力線の足元の距離の変化の解析から仮想的なフレアリボンを再現し、SDO/AIA 1600 Å によるフレアリボン観測と比較したところ、MFR 下部での磁気リコネクションの発生が示唆された。以上より、本 X1 フレアではトラス不安定の成長と磁気アーケードによる押し上げの双方が噴出の加速に寄与したと考えられる。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

M11b 人工衛星の軌道変化の解析による宇宙天気現象としての太陽フレアの影響

野澤恵 (茨城大学)、玉置晋 (茨城大学/ABLlab)

太陽活動が人工衛星の軌道に影響を及ぼすことは知られている。そこで、公開されたデータを用いて、高度 1100km 以下の低軌道、及び真円に近い軌道の宇宙物体の統計的な解析から、大規模フレアなど突発的な宇宙天気現象が地球に与える影響を考える。

1989 年 3 月に発生した X15 の太陽フレアと CME 及びそれに伴う地球磁気圏の磁気嵐の宇宙天気現象と TLE から求めた軌道低下を統計的に解析した。この現象前後の軌道低下は大気密度に比例した低下率であるが、現象前に比べ現象後では低下率が大きく、特に高度 700 から 1100km ではばらつきが大きい。しかし、2000 年 7 月の X5.7 の太陽フレアなどの解析から、先の 1989 年の現象より低下率が大きかった。これはフレアの規模だけでなく、CME や磁気嵐などの様々な影響を考慮が必要であることを示している。

そこでモデルとなる宇宙物体の統計的な解析から、影響のある宇宙天気現象を抽出し、それらに共通する性質を明らかにすることを目的とする。これにより、将来の宇宙天気現象が衛星軌道に与える影響の予測に繋ることについて議論を行なう。

[スケジュール\(セッション毎\)に戻る](#)

[スケジュール\(全体\)に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

M12b せいめい望遠鏡による K 型星 BF Lyn のスーパーフレアの高時間分解能分光観測

前原裕之, 行方宏介 (NAOJ), 野津湧太 (コロラド大/NSO/東工大), 本田敏志 (兵庫県立大), 幾田佳 (東京大), 浪崎桂一, 井上峻, 野上大作, 柴田一成 (京都大)

太陽/恒星フレアは共に黒点付近に蓄えられた磁場エネルギーが磁気リコネクションによって解放されることで生じ、フレアにおける可視連続光の増光(白色光フレア)は、加速された非熱的電子が彩層下部/光球上層まで突入することによって生じると考えられている。太陽以外の恒星では最大級の太陽フレアの $10\text{-}10^4$ 倍のエネルギーを解放する「スーパーフレア」が観測されているが、スーパーフレアの高時間分解能分光観測はまだ少なく、可視連続光の放射機構がより小規模な太陽/恒星フレアと同様なのかどうか等、未解明の点も多い。

我々は K 型主系列星同士の分光連星 BF Lyn (公転周期 3.8 日) の連続分光観測を、3.8m せいめい望遠鏡を用いて行い、 $H\alpha$ 線の放射エネルギーが $\sim 3 \times 10^{32}$ erg のスーパーフレアを観測することに成功したのでその結果を報告する。このフレアでは $H\alpha$ 線強度の増加が始まってからピーク ($L_{H\alpha} \sim 8 \times 10^{28}$ erg/s) に達するまでに 15 分ほどかかり、 $H\alpha$ 線のフレアの継続時間は 80 分程度だった。 $H\alpha$ 線の線幅は、 $H\alpha$ 線強度の増加が始まった直後に最も大きくなり、 $H\alpha$ 線線輪郭の line center での強度の $1/8$ となる線幅は $\sim 20 \text{ \AA}$ まで増大した。 $H\alpha$ 線の線幅は $H\alpha$ 線強度よりも早く減少し、40 分程度で装置の分解能程度に小さくなった。同様の現象は M 型星や K 型星における $10^{33}\text{-}10^{35}$ erg 程度の規模のスーパーフレア (Namekata et al. 2020, Maehara et al. in prep.) でも観測されており、加速された非熱的電子が彩層下部/光球上層に突入することで $H\alpha$ 線幅を増大させ、同時に可視連続光放射にも寄与するという描像が恒星スーパーフレアで普遍的に成り立つことを示唆する。

[スケジュール\(セッション毎\)に戻る](#)

[スケジュール\(全体\)に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

M13b 京都大学飛騨天文台 SMART/SDDI を用いた “星としての太陽活動現象” と H α スペクトルの対応に関する研究 III

大津天斗, 浅井歩, 一本潔, 石井貴子 (京都大学), 行方宏介 (国立天文台)

太陽の観測データを空間積分し、遠方の恒星の観測データと直接比較可能な形に変換する解析手法は「Sun-as-a-star 解析」と呼ばれる。近年では、H α 線スペクトルの Sun-as-a-star 解析により、プラズマ噴出を伴う太陽フレアと定性的によく似た現象が恒星でも発生していたことが明らかになった (Namekata et al. 2022)。一方で、太陽ではフレア以外にも多様な活動現象が観測されている。我々は、京都大学飛騨天文台 SMART/SDDI のデータを用いて、多様な活動現象について Sun-as-a-star 解析を行ってきた。その結果、プラズマ噴出によってフレアと同等の増光が生じること、太陽面上のプラズマ噴出による吸収とフレアによるラインの広がりが打ち消し合うことで弱い吸収が生じることなどを確認した (大津ら、日本天文学会 2021 年秋季年会 M45a、2022 春季年会 M41a)。

本研究で解析した 9 イベントでは、空間積分した H α 線スペクトル上にフレアは H α 中心近傍の増光として、太陽面内の噴出/落下は blue/red 側の吸収として、太陽面外への噴出は強くシフトした増光として現れるなど、観測的に分類したイベントのタイプごとに共通の特徴が現れた。一方で、イベントごとの細かな特徴も空間積分した H α 線スペクトル上で確認できることが分かった。例えば、フレアではプラズマの噴出/落下による吸収の有無、増光の継続時間の違い、2 段階の増光など多様な個性が現れる。さらに、リム付近で発生したフレアでは red asymmetry が不明瞭になる傾向が確認された。また、フィラメント噴出のうちのあるイベントでは、フィラメントが 2 つの速度成分の塊に分かれた様子が空間積分した H α 線スペクトル上でも確認された。本講演では個々のイベントの詳細を述べ、今後の Sun-as-a-star 解析の展開についても議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

M14b Sun-as-a-star Analysis of H α Spectra of a Solar Flare Observed by SMART/SDDI: Time Evolution of Red Asymmetry and Line Broadening

行方宏介 (NAOJ), 一本潔, 石井貴子, 柴田一成 (京都大学)

恒星フレア中の H α 線には赤方/青方偏移した非対称性が見られることがある。これは彩層のダイナミクスやプロミネンスの活動を示唆するが、この非対称性の起源は解明されていない。太陽の観測データを空間積分する “Sun-as-a-star” 解析は、空間分解できない恒星フレアにおける H α 線非対称性の原因を解き明かす上で非常に有力であり、これまで我々は噴出現象を伴う 2 件の太陽フレアを報告してきた (Namekata+2022a, Nat.Astron.)。

今回我々は、飛騨天文台の SMART 望遠鏡に搭載された SDDI を用い、2017 年 9 月 5 日に発生した M4.2 クラスの太陽フレアの H α 線形状の Sun-as-a-star 解析を行った (Namekata+2022c, ApJ, accepted)。このフレアは太陽面中心付近で発生し、フレアリボンからの放射が卓越していた。Sun-as-a-star の H α 線形状は、最大速度 $\sim 95 \text{ km s}^{-1}$ の赤方偏移非対称と最大 $\sim 7.5 \text{ \AA}$ の広がりを示していた (以上は行方ら 2021 春季年会 N03a でも報告)。H α 線プロファイルの 2 次元空間分布と比較した結果、Sun-as-a-star の H α 線形状は、フレアリボンの増光が弱い領域の形状とよく似ており、増光が強い領域の赤方偏移速度・線幅より 2 倍ほど小さい値を示すことがわかった。また、赤方偏移速度は H α 線強度より早くピークアウトして減衰しており、これは彩層凝縮モデルや空間分解されたフレアスペクトルと整合的であった。このことは、時間分解した恒星フレアの H α 線観測データにおいても、彩層凝縮の性質が見て取れる可能性を示唆している。さらに、恒星観測で利用される波長 (近紫外線 & 可視連続光) の Sun-as-a-star 光度曲線との比較も行った。これらの性質は、恒星フレアの H α 線赤方偏移非対称性の起源を区別するのに役立つと考えられる。本講演では、上記の結果を紹介し実際の恒星観測とも比較する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

M15c DST 偏光分光観測装置を用いた He I 10830 Å によるプロミネンスの磁場観測

橋本裕希、一本潔、上野悟、Denis Cabezas、黄于蔚、山崎大輝、白戸春日、松田有輝（京都大学）

プロミネンスは約 10^4 K のプラズマの塊であり、光球や彩層からの放射を散乱して光っている。しかしながら、プラズマの加熱源がその太陽放射のみだとすると約 10^4 K のプラズマは維持されないという計算結果が得られており (ex. Heinzel et al. 2014. A&A)、太陽放射以外の加熱の存在が必要とされている。我々はその加熱メカニズムを明らかにすることを目的とし、飛騨天文台ドームレス太陽望遠鏡 (DST) でプロミネンスを多波長分光観測することでプラズマ診断を行い、輻射損失の評価を行った。そして、アルヴェン波がプロミネンスの加熱に効いている可能性を示唆した (2022 年春季年会 M17a)。しかしながら、この研究では磁場の観測をしていないため、磁場の値を仮定してアルヴェン波についての議論を行っていた。より詳細な議論のためには、実際の磁場の値が必要になる。

そこで、本研究では現在開発が進んでいる DST の偏光分光観測装置 (2021 年秋季年会 M13b、M30a) を使い、He I 10830 Å で複数のプロミネンスを観測した。露光時間は 50 ms で 100 枚 (もしくは 80 枚) の積算を行った。その結果、ゼーマンパターンが顕著に現れる／現れないものや、散乱偏光成分が強い／弱いものなど、プロミネンスごとに様々なストークスプロファイルが得られた。本講演では、得られたプロミネンスのストークスプロファイルを紹介するとともに、ゼーマンパターンや偏光計算コード HAZEL (Asensio Ramos et al. 2008. ApJ) などから推定された磁場について議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

M16c Development and Future of DST Spectro-Polarimeter at Hida Observatory

Huang Y., Ichimoto K., Cabezas D., Yamasaki D., Kimura G., Ueno S. (Kyoto-U), Kawate T. (NIFS)

Magnetic field is the key to understand and explore the intrinsic properties of solar atmosphere and activities. Polarimeter is the mandatory tool to infer the solar magnetic fields through the Zeeman and Hanle effects.

Currently a new spectro-polarimeter is under development on DST (Domeless Solar Telescope) at Hida observatory. The polarization modulator consists of a continuously rotating 50 mm diameter waveplate with a retardation that is nearly constant at around 127° in 500 – 1100 nm, and a PBS (Polarization Beam Splitter) with an extinction ratio higher than 1:300. The main upgrades to our spectro-polarimeter includes (1). a 3D printed modulator case; (2). a coude mirror based slit scan system; (3). an infrared InGaAs camera (Allied Vision) with a maximum read-out speed of 301 FPS; (4). a combined use of the AO system; (5). a standardized data calibration pipeline. With the new polarimeter, a sensitivity of 0.02% could be achieved in 4-5 seconds (on disk) or 6-10 seconds (off limb) for 500-1100 nm, making it possible to obtain one set of full Stokes map in at least 8 minutes with a maximum FOV (Field-of-View) of $127'' \times 240''$ and a scan resolution of $2''$. The polarimeter could be installed either on the vertical spectrograph for high dispersion observation, or on the horizontal spectrograph for simultaneous multi-wavelength observation.

We will present some interesting results obtained by this new system, and the future plan of (1). doubling the FOV by developing new PBS; (2). combining the slit scan system with the AO system in a more flexible manner.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

M17c GAIA による太陽フレア放射スペクトルの通信障害への影響評価

北島慎之典, 渡邊恭子 (防衛大学校), 陣英克, 埜千尋, 西岡未知 (情報通信研究機構)

電離圏は、地球大気中の分子・原子が太陽からの EUV・X 線放射の影響によって電離している領域である。太陽フレア放射による電離圏の電子密度の変動は著しく、これが測位誤差や短波通信障害の原因となっている。本研究では、太陽フレア放射スペクトルを入力することにより地球電離圏の電子密度変動を求めることができる数値計算モデル GAIA (Ground-to-topside model of Atmosphere and Ionosphere for Aeronomy) を使用し、短波通信障害であるデリンジャー現象 (Dellinger 1937) と太陽フレア放射スペクトルの関係を探った。

デリンジャー現象の主要因は太陽フレアからの X 線放射の急増であることが知られている。また、デリンジャー現象発生の有無は、イオノゾンドで観測されている最小反射周波数 (f_{min}) の値で知ることができる。 f_{min} 値の変動量は、主にフレアの X 線の最大放射強度と太陽天頂角に依存することが先行研究 (Tao et al., 2020 など) より報告されている。しかし、C クラスフレアよりデリンジャー現象が発生する事例もあり、X 線の最大放射強度だけでは説明できない事例が散見されるのが現状である。そこで、情報通信研究機構が運用しているイオノゾンドで観測されている f_{min} 値と、GAIA に太陽放射スペクトルを入力して太陽フレア放射の波長毎による高度別イオン生成率及びイオン密度の時間変動を比較し、EUV・X 線放射によるデリンジャー現象への影響を評価した。

GAIA の結果より、フレア発生前と放射強度最大時間の各高度におけるイオン密度増加率変動が大きかった領域は、電離圏 D 領域 ($\sim 60 - 100$ km) であり、D 領域のイオン密度増加率は他の電離圏領域より約 5 倍大きかった。また今回調べた X クラスフレアにおいては、X 線による電離圏のイオン生成率が他の放射波長より $\sim 10^6$ 倍大きかったことから、D 領域の電子密度変動の主要因は X 線であることが分かった。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

M18a コロナ加熱における彩層温度の影響

鷲ノ上遥香, 庄田宗人, 鈴木建 (東京大学)

近年の観測及び理論研究から、太陽彩層は多様な温度構造を持つことが分かってきた (Leenaarts et al. 2011; da Silva Santos et al. 2020)。彩層とコロナをつなぐ遷移層での熱的相互作用がコロナ加熱を理解する上で重要であることから、本研究では彩層温度とコロナの性質との関係について着目した。我々はコロナループ加熱の磁気流体数値計算により、彩層の温度構造の違いがコロナ加熱にどのように影響するかを調査した。計算に際しては彩層温度を自由に調節するため、彩層中での輻射輸送方程式を解く代わりに簡易的な輻射損失関数を使用した。彩層温度が高い場合、スケールハイトが大きくなることから厚い彩層が形成される。これに伴ってループ中のコロナの長さが短くなり、熱伝導冷却が促進されるため、高温のコロナを維持するためにはより長いループ長が必要になる。今回の計算結果から、我々は半ループ長 l_{loop} を用いたコロナ形成の条件式が $l_{loop} \geq aT_{min} + l_{th}$ という形で書けることを見出した。ここで T_{min} は温度最低層の (時間平均) 温度であり、 a, l_{th} はコロナ磁場強度に対して負の依存性を持つパラメータである。この結果は、ループが十分短い場合またはコロナ磁場が弱い場合、彩層温度がコロナ加熱に大きな影響を及ぼし、特に彩層温度が高い場合にはコロナ形成を妨げる働きを持つことを示している。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

M19a 機械学習による太陽輝点の自動検出手法の比較

渡邊健斗、飯田佑輔 (新潟大学)

機械学習を用いて太陽極紫外線部分像におけるコロナ輝点の自動検出モデルを複数作成・比較し、それに有効な手法を探る。コロナ輝点 (CBP: Coronal Bright Points) は、X 線および極紫外線画像で遍在的に観察される構造であり、その発生数はコロナ加熱問題と直接関連している。従来の CBP 検出は、画像処理によるルールベースの自動検出が行われていた。一方で近年の機械学習技術の発達はめざましく、2012 年の画像認識コンペティション ILSVRC では、AlexNet (Alex et al., 2012) と呼ばれる深層学習を用いた手法がエラー率 15.3% と、それまでのスタンダードであった Support Vector Machine (SVM) などを用いた手法と大差をつけて優勝した。これを機に深層学習による画像認識手法が注目されている。N. Alipour & H. Safari (2015) はゼルニケモーメントと SVM を用いたコロナ輝点の自動検出手法を開発した。本研究ではこのゼルニケモーメントと SVM に加え、Multi-Layer Perceptron (MLP)、Convolutional Neural Network (CNN) といった深層学習を用いた分類モデルを作成し、CBP の検出に有効な手法を探る。使用したデータセットは、SDO/AIA193Å で 2010 年 6 月 1 日~9 月 1 日までの 3 ヶ月間取得された太陽全球画像の内、無作為に選んだ 4 枚から CBP と非 CBP の画像それぞれ 300 枚ずつ、計 600 枚を切り出して作成した。それを用いて、それぞれ作成したモデルで学習させ結果を比較した。結果は、ゼルニケモーメント + SVM モデルは、ACC:0.765 ± 0.027, TSS:0.530 ± 0.055, DNN モデルは、ACC:0.858 ± 0.011, TSS:0.714 ± 0.022, CNN モデルは、ACC:0.926 ± 0.018, TSS:0.852 ± 0.039 であった。ACC、TSS ともに CNN が最も優れており、CNN が CBP の自動検出において有効な手法であることを示している。これは CNN の畳み込み処理によって、モデルが画像の二次元的特徴を学習できたためだと考えられる。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

M20a Hinode/EIS を使ったコロナループの加熱分布についての研究

石神瞬、原弘久、大場崇義 (総合研究大学院大学/国立天文台)

コロナ加熱機構を理解するためには、コロナを構成するコロナループ (以下ループと記述) の加熱機構を特定することが重要である。ループ加熱機構は数多く提案されてきたが (Klimchuk 2006, Reale 2014)、加熱の空間分布を特定することでそれらを絞ることができる。これまでの研究において、フィルター観測で得られる画像データを使って加熱分布が推定されてきたが、得られた結果は、ループに沿って一様な加熱 (Priest+1998)、ループの頂点で強い加熱 (Reale 2002)、ループの足元で強い加熱 (Aschwanden+2000) といったものであり、コンセンサスが得られていない。Xie ら (2017) は、分光観測から得られるスペクトルデータを使って加熱分布を検証した結果、ループに対して一様な加熱では観測値を説明できないことを主張した。しかし、観測結果と一様な加熱で得られる結果の差について定量的な評価がないため、これらは充分区別できず、加熱分布を決定できていない。

本研究では、加熱分布を決定するため、Hinode/EIS で観測した 15 本の EUV ループのスペクトルデータを解析した。この際、ループの視線方向に重なるプラズマの影響を取り除いた。結果、ループに沿った温度分布が、一様な加熱を与えた場合よりも、平坦であることがわかった。このことは、加熱がループの足元付近で強いことを示唆する。また、ループモデル (Serio+1981, Aschwanden+2002) との比較から加熱スケール (ループの足元から頂点にかけて指数的に加熱率が減少する場合を考えたときのスケール長) を推定した。結果として、 $s_H = 4\text{--}25$ Mm が得られた。これは画像データの解析から得られた Aschwanden ら (2000) の値と同程度か、あるいは短いものである。結果の差異は、スペクトルデータから得られる温度・密度の決定精度が、画像データから得られるものより高いために、生じたと考えられる。本講演では、結果から考えられる加熱機構について議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

M21a 電子密度診断に用いる Mg VII 輝線強度比の衝突輻射モデルの構築、及び評価

神原 永昌^{1,2}, 川手 朋子^{3,1}, 大石 鉄太郎^{3,1}, 川本 靖子³, 坂上 裕之³, 加藤 太治^{3,4}, 中村 信行^{5,3}, 原弘久^{2,1}, 村上 泉^{3,1} (¹ 総合研究大学院大学, ² 国立天文台, ³ 核融合科学研究所, ⁴ 九州大学, ⁵ 電気通信大学)

遷移層におけるプラズマの密度診断の手法の一つに Mg VII の強度比から衝突輻射モデルを介して電子密度を求める方法がある。これまで Hinode EIS の Mg VII の $2s\ 2p^3\ ^3S_1$ を上準位にもつ $276.154\ \text{\AA}$, $277.003\ \text{\AA}$ 及び $278.404\ \text{\AA}$ 輝線と $2s\ 2p^3\ ^1P_1$ を上準位にもつ $280.742\ \text{\AA}$ 輝線の強度比を用いた電子密度診断で、フレアの準周期的振動時の放射冷却時間の推定 (Brosius et al. 2016) や、活動領域ダークレーンの静水圧平衡の検証 (Lee et al. 2014) などに活用され、重要な役割を果たしてきた。この電子密度診断が信頼たるものであるためには発光強度のモデルを構築し、実験室において広い密度領域で評価する必要がある。

今回衝突輻射モデル構築に際し、 $\{2s^2\ 2p, 2s\ 2p^2\ \text{or}\ 2p^3\}\ nl$ ($2 \leq n \leq 7, l \leq 6$) 準位に対して、電子衝突励起・脱励起、電子衝突電離、自然放出、自動電離の衝突断面積および遷移確率を HULLAC 原子コードで計算し、用いた。また、 $2s^2\ 2p^2\ ^3P_{0,1,2}$ の準位間に対して、陽子衝突励起・脱励起過程の散乱断面積は Ryans et al. 1999 の値を用いた。構築したモデルに対して太陽研究によく用いられている CHIANTI ver.9 のモデルと比較も行った。また、 $10^{13}\ \text{cm}^{-3}$ 付近の電子密度のプラズマを作ることができる大型ヘリカル装置 LHD を用いた実験を行い、得られた発光強度と構築した衝突輻射モデルの結果を比較した。Mg VII 衝突輻射モデルの実験室での評価は本研究が初である。本講演では、衝突輻射モデルの電子密度依存性等の物理的特性の議論及び、実験データでの衝突輻射モデルの評価について発表する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

M22a 自己相似磁気リコネクションモデルの数値的研究

新田伸也 (筑波技大), 近藤光志 (愛媛大)

天体現象への応用を目的とする磁気リコネクション (RX) の新しいモデルとして、自己相似 RX モデルを提唱してきた (Nitta+2001, 02, Nitta 04, 06, 07)。発展研究として、電流シートに対する物理量分布の非対称性と磁気シアを含めた最も一般的な初期平衡からの時間発展を MHD 数値シミュレーションで探求したプロジェクトが完結したので、成果 (Nitta+2016, 19, Nitta & Kondoh 21, 22) をまとめて報告する。

近年、多数の RX を系内部に含む turbulent RX などが注目されている。これらのモデルでは、発生する多数の磁気島に磁気エネルギーが残留し、それ以上のエネルギー解放ができなくなる。磁気エネルギー解放の観点からは、本モデルのような単一の RX が有利である。

フレア、降着円盤、ダイナモなどの系全体を解く大局的シミュレーション中で RX の影響が正確に再現されている保証は無い。大局的シミュレーションでは、グリッドサイズ以下となる RX を正しく解くことはできない。解像度が不足した場合の RX は、数値拡散によって非現実的に速く進む傾向にある。物理的相似性が保たれないシミュレーション結果の解釈には注意を要する。本研究は、大局的シミュレーションのサブグリッドで実際にはどのような RX を生じるのかを明らかにする意味を持つ。

本研究プロジェクトでは、単一の RX システムが外部環境の影響を受けずに自発的に時間発展してできる構造と特性を探求した。非対称性と磁気シアの重要な帰結として、下記を明らかにした：1) リコネクションレイトの激変 (何桁にも渡る変動)、2) 新たな fast shock の発生 (プラズモイド前方に大規模な fast shock)、3) 高効率プラズマ混合 (流体として電流シートを越えて反対側に浸入)。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

M23a 豊川強度偏波計プロットデータ (1958年-1978年) のデジタル化と過去の大フレアの規模推定

増田智, 松本圭太郎 (名古屋大学), 下条圭美 (国立天文台), 早川尚志 (名古屋大学)

愛知県豊川市の名古屋大学空電研究所 (現在は宇宙地球環境研究所) で観測されていた太陽電波 (1, 2, 3.75, 9.4 GHz) 強度・偏波の 1958 年から 1978 年までの時系列プロットの写真 (マイクロフィルム) をスキャンし、デジタル画像データベースとして長期保存・公開するプロジェクトを実施している。2021 年度中にデジタル化の作業は全て完了し、最終的には、画像ファイル数約 57,000 個、データ量は約 35GB になった。データと関連メタデータが整備されしだい、DOI を付与した形でこれらをデータベース化し、コミュニティに対し公開する予定である。

GOES 衛星による太陽 X 線のモニター観測が行われていない 1980 年代以前に発生した過去の大フレアの規模の推定は、磁気嵐や GLE など過去の宇宙天気イベントを理解する上で、重要な情報となる。過去の研究で、17GHz のピークフラックスと GOES 軟 X 線ピークフラックスが相関することは知られていたが、それが低周波帯のマイクロ波データでも成立するかどうかを検証する。太陽フレアの加速電子からのジャイロシンクロトロン放射のスペクトルを考慮すると、4 周波の中では、9.4GHz が最も光学的に薄いマイクロ放射を観測していることが期待されるので、まずは、9.4GHz のピークフラックスと GOES X 線ピークフラックスの相関を調べた。使用したフレアは、GOES 衛星の軟 X 線観測のある 1990 年から 2014 年の豊川・野辺山強度偏波計の 9.4GHz で観測がある約 600 イベントである。相関係数が 0.7 程度の相関関係が得られ、9.4GHz ピークフラックスから GOES X 線クラスを推定することは可能であることを示せた。このことから、装置の較正などの確認ができれば、豊川強度偏波計のスキャンデータも将来的に過去の大フレアの規模推定に役立つ可能性があると考えられる。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

M24a オートエンコーダによるデータ圧縮を用いた太陽フレア予測モデルの開発

*田所拓馬, 飯田佑輔, 小松耀人 (新潟大学)

太陽黒点の磁場の特徴量を効率的に取り出すオートエンコーダの作成を目的として、オートエンコーダにより圧縮した太陽黒点磁場画像から太陽フレアの発生を予測する CNN ベースのモデルを作成した。太陽フレアでは、フレアが起こる過程で時々刻々と磁場のエネルギーが蓄積されていくため、その変化を見るために時系列情報が重要である。Sun et al.(2022) では、LSTM を用いた時系列情報からの太陽フレアの発生予測モデルで TSS = 0.923 を達成している。さらなる予測精度向上のため LSTM と CNN を組み合わせたモデルでの予測を行いたいが、パラメータ数が多くなり学習が難しくなると考えられる。この問題の解決法の一つとして、オートエンコーダを用いた太陽黒点磁場画像の特徴量圧縮を考えた。

私たちは、シャッフル分割した太陽黒点磁場画像の特徴量数を畳み込みオートエンコーダを用いて少数の特徴量に圧縮した。その特徴マップを入力とした CNN により 24 時間前からの太陽フレアの予測を行った。結果、C クラス以上の太陽フレアの発生予測において、入力データの特徴量数を圧縮した上で、TSS=0.730 を達成した。これまでに CNN を用いた未圧縮のデータで達成された最高のスコアは Li et al.(2020) の TSS = 0.773 であり、本研究結果は同程度のスコアを達成している。また、Li et al.(2020) のモデルの入力データの特徴量数が 16,384 個、本研究の特徴量数は 4,096 であり、Li et al.(2020) の 1/4 倍になっている。このことから、オートエンコーダを用いて太陽黒点磁場画像から効率よく特徴量を抽出できたといえる。時系列予測モデルにこの圧縮したデータを用いることで、調整するパラメータ数が少なくなり学習しやすくなるため、将来的に太陽フレアの発生予測の精度向上につながる可能性がある。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

M25a 野辺山電波ヘリオグラフを用いたフレアに伴う電子の加速・伝搬過程

松本圭太郎, 増田智 (名古屋大学), 金子岳史 (ロッキード・マーティン太陽天体物理学研究所)

太陽フレアとは太陽表面における突発的な増光現象である。フレアに伴って数十 keV から MeV 帯の加速電子が発生することが知られており、その加速機構は複数の仮説が乱立する未解決問題である。加速電子のピッチ角分布の情報は、加速・伝搬過程を理解する上で重要である。[Yokoyama + 2002] は、野辺山電波ヘリオグラフ (NoRH) のデータを用いて、非熱的マイクロ波源の伝搬速度から加速電子のピッチ角を推定した。しかしそれ以降、同様の研究は行われていない。そんな中、非熱的マイクロ波源の高速伝搬を明確に示す別のイベント (2014 年 10 月 22 日の M クラスフレア) を発見した。SDO/AIA で観測されたループ構造から、観測された伝播はループトップ領域からフットポイント領域への電子の運動に対応することが認識される。NLFFF の計算で得られたコロナ磁場モデルを用いると、加速電子の磁場に対する平行速度は約 98,000km/s となる。17GHz のマイクロ波を放射する電子の速度は光速に近いと推定されるので、[Yokoyama + 2002] と同様の手法を用いると、加速電子のピッチ角は約 65° と見積もられた。NLFFF モデルの磁場強度から、ロスコーンの大きさは約 36 度と見積もられている。ピッチ角とロスコーンの大きさを考慮すると、加速電子はフットポイント領域で反射されると考えられる。実際、最初の伝搬に続いて、微弱な 2 回目の伝搬を発見した。この 2 回目の伝播がフレアループ内での加速電子のバウンス運動によって生じたものと仮定すると、ループに沿った速度は約 118,000km/s になり、ループトップからの最初の伝搬で得られた速度とほぼ一致していた。従って、同一の加速電子群のバウンス運動を捉えていると考えるのが自然であり、今回の解析結果はフレアループ内の加速電子のバウンス運動を観測的に示した初めての例となった。今後は今回のフレアイベントをシミュレーションと比較し、加速電子のピッチ角分布を定量的に算出する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

M26a γ 線天文衛星 Fermi を用いた太陽フレアの Time-of-Flight 解析

矢倉昌也, 増田智 (名古屋大学宇宙地球環境研究所)

太陽フレアが発生した際に粒子加速が発生することは広く知られているが、その詳細なメカニズムについては解明されていない。粒子加速のメカニズムを考えるうえで加速点の位置を特定することは条件の制約の観点で重要で、先行研究 (Aschwanden et al. 1996) では、CGRO/BATSE を用いた “Time-of-Flight” (ToF) 解析により、フレアループの上空に電子加速領域があることが示されている。しかしその領域の時間発展に関する研究はこれまで行われていない。

本研究では、 γ 線天文衛星 Fermi に搭載された GBM (Gamma-ray Burst Monitor) のデータを基に ToF から粒子加速点の時間発展の観測を試みた。粒子加速点の時間変化を捉えるための有効な手段として、観測データを時間方向に分割し、1 フレア中に複数回 ToF 解析を行って各時間における状態を推定することが考えられる。そこで解析の第一段階として、2015 年 6 月 25 日に NOAA12371 で発生した M7.9 クラスのフレアに対し、Aschwanden らが行った ToF と今回我々が考案した時間方向に分割した ToF の 2 つの解析を実施した。解析の結果、本フレアのタイムプロファイルの高周波成分において、Aschwanden らの手法と我々の手法で異なる遅延時間の傾向がみられた。SDO/AIA の画像から、このフレアではフレアループ構造が複雑であることが分かった。本講演では、このフレアループ構造を考慮して、ToF 解析の結果について議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

M27a Comparison on Ca II 8542Å synthetic Stokes profile between magnetic reconnection and shock wave in simulated Solar chromosphere

ZHOU, Xinyu (The University of Tokyo); YOKOYAMA, Takaaki (Kyoto University); IJIMA, Haruhisa; MATSUMOTO, Takuma (Nagoya University); TORIUMI, Shin (JAXA/ISAS); KATSUKAWA, Yukio; KUBO, Masahito (NAOJ)

Magnetic reconnection is responsible for many solar chromospheric phenomena, such as anemone jets and UV bursts. It is quite important to discriminate reconnection events from ubiquitous shock waves in observation signal. We studied the Ca II 8542Å synthetic Stokes profiles of 2D realistic radiative MHD simulation and compared the difference between reconnection and shock events. Emerging magnetic flux was imposed at the bottom boundary (2 Mm below the photosphere) of well-relaxed unipolar atmosphere, leading to chromospheric reconnection events with outflows with a speed of ~ 30 km/s. We performed Stokes synthesis by RH code around 8542Å, Gaussian sampled with 50mÅ spacing to compare with future observation of DKIST ViSP. We found that reconnections and shocks share many similar Stokes features, i.e., brightening and high velocity Doppler shift on Stokes I, and sign reversal on Stokes V. The main differences are the timescale and spatial scale: ~ 300 s and ~ 0.5 Mm for reconnections; ~ 100 s and ~ 2 Mm for shocks. Also, the sign reversal of Stokes-V for shocks usually contains a transitional zone, but for reconnections the signal suddenly reverses around the X-point. Therefore, we conclude that the timescale and spatial scale, together with other differences, could be indicators to discriminate reconnections from shocks in observation.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

M28a Constrained-Transport 磁気流体力学緩和法における境界電場補正

三好隆博 (広島大学), 井上諭 (ニュージャージー工科大学), 鳥海森 (宇宙航空研究開発機構), 草野完也 (名古屋大学)

太陽大気中の活動現象の解明と予測には太陽大気磁場の解析が不可欠である。それ故、太陽大気磁場を推定する様々な手法がこれまで研究開発されてきた。我々は特に、光球面ベクトル磁場から平衡磁場を再構成する磁気流体力学 (MHD) 緩和法の開発を進めている。MHD 緩和法は、既に観測データ解析にも応用され [e.g., Inoue, et al., 2018]、実用化が進んでいる。しかし、従来の MHD 緩和法では、磁場のソレノイダル性は厳密には保証されなかった。そこで、Constrained-Transport (CT) 法 [Gardiner & Stone, 2005] と頑強な数値スキーム [Miyoshi, et al., 2020] を用い、磁場のソレノイダル条件を自動的に満たす MHD 緩和法 (CT-MHD 緩和法) を新たに開発した [三好ほか, 天文学会 2021 年秋季大会]。本研究では、CT-MHD 緩和法の境界条件について検討する。

CT-MHD 緩和法においては、計算セル境界は光球面に接しており、光球面磁場の垂直成分 B_z は境界電場の回転によって時間発展する。計算領域外では、流体は静止しているため、電場は 0 である。境界電場を 0 とした場合、 B_z は初期値として与えた観測磁場の垂直成分と完全一致するが、光球面を通した磁気エネルギーおよび磁気ヘリシティの流入が十分でないと予測できる。一方、計算領域内の物理量から境界電場を推定した場合、計算領域内の磁場構造に応じて磁気エネルギーや磁気ヘリシティは流入可能であるが、 B_z が観測磁場垂直成分と一致する保証はない。そこで本研究では、計算領域内から推定した境界電場に対し、 B_z が観測磁場垂直成分へと時間発展する電場補正を新たに提案する。モデル磁場に対して境界条件を変更した数値実験を行い、本手法の有効性を検証・報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

M29a おひつじ座 UX 星で起こった巨大フレアのせいめい及び MAXI による同時観測

那波咲良、坪井陽子、岩切渉、浦部蒼太、根本登、甲原潤也(中央大学)、前原裕之、行方宏介(国立天文台)、野津湧太(コロラド大学/東京工業大学)、他 MAXI チーム

2022 年 4 月 3 日 UT04:33、RS CVn 型星の近接連星系であるおひつじ座 UX 星からの巨大フレアを、全天 X 線監視装置 MAXI によって検知した。その 5.5 時間後から京都大学せいめい望遠鏡による追観測を 12 日間にわたって行ったので、その結果について報告する。MAXI は、国際宇宙ステーションに搭載され、2-20 keV の帯域で 90 分に 1 回、80-100 mCrab/orbit の感度で全天をサーベイする。超巨大な恒星フレアにおいては減衰時間が数日にも及ぶため (Tsuboi et al. 2016)、近傍 (150 pc 以内) の RS CVn 型連星における巨大フレアのサーチは特にもれが少ない。我々はその強みを活かし、MAXI の検出をトリガーとして、高い集光能力を持つせいめいで可視光追観測を行い、巨大フレアの発生場所の特定や幾何に迫ろうとしている。今回のフレアは 2-20 keV 帯域において、減衰のタイムスケール (e-folding time) 1.4 ± 0.3 日、放射エネルギー 10^{38} erg を持っていた。せいめいでは中分散分光器を用い、フレア中の H α 線のドップラーシフトをモニターした。その結果は、中央大学の可視光望遠鏡 SCAT で 2016~2021 年の間での分光観測で得た、星の自転周期 (公転周期も同じ) 6.4 日に対応した周期的速度変動と一致した。現在は静穏時にはこの連星系では H α 線が暗くなっているが、今回のフレアは、この頃の静穏時における H α 線活動領域で起こったと考えて矛盾なく、その速度からその領域は主星上にあると考えられる。また、H α 線帯域における放射エネルギーは 10^{37} erg であった。このフレアで得た X 線帯域および H α 線帯域における放射エネルギーは、太陽フレアから今回の巨大フレアまで 8 桁以上にわたって成り立つ比例関係の上に乗った。本講演では、せいめいで観測された H α 線の再増光についても議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

M30a 白色光/H α 線同時観測による恒星スーパーフレア中の短周期 QPP の検出

浪崎桂一(京大)、行方宏介、前原裕之(国立天文台)、野津湧太(コロラド大/東工大)、本田敏志(兵庫県立大)、幾田佳(東大)、高棹真介(阪大)、野上大作、柴田一成(京大)

太陽/恒星の表面で発生するフレアは、磁気リコネクションを経て磁気エネルギーが突発的に解放される爆発現象であると知られている。フレアの光度曲線中には、QPP (Quasi-periodic pulsation) と呼ばれる準周期的振動現象が幅広い波長帯でしばしば確認される。典型的な太陽フレア QPP の周期は数十秒程度であり、振動の起源となる物理機構として、磁気流体力学振動や繰り返しの磁気リコネクションなどが提唱されている (e.g., McLaughlin et al. 2018)。ただし、恒星(スーパー)フレア観測では、時間分解能の制限から観測される QPP の周期は平均的に数十分程度であり、太陽で提唱されている振動メカニズムが恒星スーパーフレアに対しても適用できるのかは明らかになっていない。

今回、我々は活発なフレア星である M 型星 YZ CMi (自転周期 2.8 日) を対象として、TESS を用いた高時間分解能 (20 秒) での可視光測光観測とせいめい望遠鏡を用いた高時間分解能 (77 秒) での H α 線分光観測を同時に行った。その結果、2021 年 1 月 24 日に 10^{34} erg 程度のスーパーフレアの観測に成功、またフレア中に長時間の H α 線赤方偏移が確認され、春季年会にて報告を行った (M42a)。このイベントについてさらに詳細な解析を行うと、白色光増光のピーク付近で約 2 分という恒星フレアでは短周期にあたる周期の QPP が確認された。さらに、同フレアにおいて白色光での振動と同時期に H α 線強度の時間差分においても変動が確認された。本講演では、上記のイベントを過去に観測された恒星フレア QPP と比較して紹介し、その振動原因となる物理機構を議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

M31a RS CVn 型連星におけるスーパーフレアに伴う高速プロミネンス噴出

井上峻 (京都大学), 前原裕之, 行方宏介 (国立天文台), 野津湧太 (コロラド大学/東京工業大学), 本田敏志 (兵庫県立大学), 浪崎桂一, 野上大作, 柴田一成 (京都大学)

太陽/恒星フレアは星の表面において磁気エネルギーが突発的に解放される爆発現象である。恒星の場合は観測史上最大級の太陽フレアの 10 倍以上のエネルギーを解放するスーパーフレアが発生することが知られてきた。また、太陽フレアはプロミネンス噴出を伴うことがあり、それらはコロナ質量噴出 (CME) へと繋がることが知られている (Shinba et al. 2019)。近年、恒星フレアにおいてバルマー線の青方偏移する輝線・吸収線成分が確認された例が報告されている (Honda et al. 2018, Maehara et al. 2021, Namekata et al. 2022a)。それらはプロミネンス噴出によるものだと考えられているが、その青方偏移から算出された噴出物の速度が星表面での脱出速度を超過していた例は極めて少ない。

本研究では、比較的規模の大きいスーパーフレアを起こすことが知られている RS CVn 型の近接連星である V1355 Orions (K2IV+G1V, 公転周期約 3.8 日) を TESS の可視光測光観測に合わせて京都大学岡山天文台の 3.8m せいめい望遠鏡を用いて分光モニタ観測した。その結果、 6.0×10^{35} erg のエネルギーを解放するスーパーフレアを捉えることに成功した。このフレア中には H α の輝線に顕著な青方偏移が約 30 分間もの間確認され、その速度は -1000 km/s 以上の範囲にまで及んでいた。これは約 -350 km/s という星表面での脱出速度を大幅に超過しており、スーパーフレアに伴って発生したプロミネンス噴出が CME にまで発展したことを示唆している。さらに、この噴出物はその速度だけでなく質量までもが青方偏移によりプロミネンス噴出が確認された例としては最大級クラスであることもわかった。本発表では、上記のイベントについてその詳細を報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

M32a M 型星フレアの彩層線輝線輪郭の青方偏移現象 II: NICER での X 線同時観測

野津湧太 (コロラド大/NSO/東工大), Adam Kowalski, Isaiah Tristan (コロラド大/NSO), 前原裕之, 行方宏介 (NAOJ), 濱口健二 (NASA/GSFC, UMBC), 榎戸輝揚 (理研), James Davenport, Suzanne Hawley (ワシントン大), 本田敏志 (兵庫県立大), 幾田佳 (東大), 野上大作, 柴田一成 (京大)

M 型星フレア中の H α 線では、輝線輪郭が青方偏移した超過成分を示す例が報告されている (e.g., Maehara et al. 2021)。フレアに伴う質量放出を反映する可能性もあるが、青方偏移の生成過程の理解は不十分で、可視連続光や X 線の時間発展との関係や、H α 以外の彩層線で青方偏移は同様に観測されるか、に迫る観測が重要である。

そこで、M 型フレア星 3 星 (YZ CMi, EV Lac, AD Leo) を対象に、米国 APO3.5m 等での可視高分散分光と、地上望遠鏡と TESS 衛星での可視測光での同時観測を実施してきた。その結果、42 例のフレアを検出し 7 例で H α 線の青方偏移した超過成分が確認された。2022 年春季年会 M44a において、その概要と青方偏移継続時間の多様性や、可視連続光増光が 6 例で見られないこと、H α 線以外の彩層線での青方偏移の有無などについて報告した。

7 例中 1 例で、青方偏移を示すフレアでの X 線増光観測に、初成功していた。この例では可視連続光で増光が見られない一方、H α 線と X 線で 3-4 時間程度の増光が見られ、軟 X 線 (0.5-2 keV) での放射エネルギー (2.6×10^{32} erg) は、H α 線 (1.7×10^{31} erg) より 1 桁程度大きかった。フレアピーク時の X 線スペクトルに対し、光学的に薄い熱的プラズマを仮定した 1 温度 fit を行った結果、フレア成分の温度と Emission Measure が、 1.2×10^7 K, 2.8×10^{51} cm $^{-3}$ 程度と導出された。Shibata & Yokoyama (2002) の scaling 則と、M 型フレア星の静穏時電子密度 (10^{11-13} cm $^{-3}$; Osten et al. 2006) を仮定すると、フレア時の磁場とループ長について、50-200 Gauss 及び 星半径 (0.3 太陽半径) の 0.10-0.66 倍程度と導出された。本発表では、以上の詳細と青方偏移現象の理解への示唆を議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

M33a 磁気トルネードによるコロナへの突発的エネルギー輸送

国吉秀鷹（東京大学）、横山央明（京都大学）、飯島陽久（名古屋大学）

太陽上層大気（コロナ）は表面（光球）よりも数百倍ほど高温で 100 万度以上にも達する。なぜコロナは光球より遙かに熱いのか？これはコロナ加熱問題と呼ばれる、宇宙物理学の最重要課題の一つであり、磁場の効果が不可欠である。太陽大気中には閉じた磁場領域（コロナループ）が遍在しており、磁場が光球の熱対流運動と相互作用することで磁気流体力学（MHD）波が励起され、コロナまで波動エネルギーが準定常的に輸送されることが知られている。それに加えて近年磁気トルネードと呼ばれる、光球からコロナまでを貫く直径 2000 km ほどの螺旋状の磁力線を伴った突発現象が観測されており、コロナへの新たなエネルギー輸送機構として注目を集めている（Wedemeyer-Böhm et al. 2012）。しかし、どれほどのエネルギーをコロナへ輸送するかは未解明であり、数値シミュレーションにより自己整合的に磁気トルネードを再現し検証する必要がある。そこで我々は対流層からコロナまでを一貫して解く数値シミュレーションを用いて MHD 波および磁気トルネードによるコロナへのエネルギー輸送を同時に計算した。その結果、コロナループを構成する磁束管同士が光球で衝突・合体することで磁気トルネードが発生することを発見した。また磁気トルネードがコロナへ輸送するエネルギーは準定常的な MHD 波によるものより 5 倍程度大きくなることも分かった。本講演では磁気トルネードのエネルギー輸送過程についても合わせて議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

M34a 狭帯域チューナブルフィルターを用いた H α /HeI 1083nm 同時撮像分光による彩層ダイナミクスの観測

一本潔、黄于蔚、木村剛一、上野悟（京都大学）

京都大学飛騨天文台で開発された狭帯域チューナブルフィルター（UTF32, Hagino et al., 2014, SPIE）は、液晶遅延素子による波長チューニング機能により、500~1100nm の任意波長帯において波長分解能 $\lambda/\Delta\lambda \sim 26000$ の分光撮像を可能とする装置である。フィルターの出口にとりつけた偏光ビームスプリッターで光をわけ、2つのカメラをつかうことにより 2 波長の同時撮像を可能としている。この応用として、これまででは、 $H\alpha + 0.5\text{\AA}$ と $H\alpha - 0.5\text{\AA}$ の完全同時撮像をおこない、シーイングの影響を抑制した視線速度場の観測による彩層ダイナミクス等の研究をおこなってきた（徳田他 2018 年春季年会）。

今回は、 $H\alpha$ 線と HeI 1083nm 線をほぼ同時に分光撮像することを可能とするセットアップを新たに構築した。 $H\alpha$ 線の透過半値幅はこれまでと同様 0.25\AA であり、HeI 1083nm での透過幅は出口にリオフィルターブロックを 1 段追加することにより、 0.367\AA となっている。 $H\alpha$ と HeI 1083nm にはそれぞれ $2048\text{x} \times 2048$ 画素の可視光カメラと $640\text{x} \times 512$ 画素の赤外カメラを使い、空間サンプリングは $0.121''/\text{pix}$ および $0.396''/\text{pix}$ 、視野は $248'' \times 248''$ および $253'' \times 203''$ である。また、波長の切り替えに要する時間は約 0.1 秒である。

本講演ではこのシステムによって得られたダークフィラメントやアーチフィラメントシステムの観測例、および、その中にみられる特徴的な速度場について紹介すると共に、HeI 1083nm を撮像観測することの科学的意義について議論をする。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

M35a 深層学習によるフィラメント自動検出における分割問題の解消

安藤秀一, 飯田佑輔, 佐々木明良 (新潟大学)

太陽活動等を把握及び予測する宇宙天気予報は、人工衛星の運用や大気圏外滞在者の安全保障の為に非常に重要である。この宇宙天気予報の一つとして太陽フィラメントの噴出予測が挙げられる。Ahmadzadeh ら (2019) はピクセル単位での領域検出が可能な深層学習手法である Mask R-CNN によるフィラメント検出を行った。しかし、Mask R-CNN を使用したフィラメント検出を行なった際、一つのフィラメントが複数に分割されて検出されるという問題点が生じた。そこで本研究では、Mask R-CNN のパラメータ調整を行い、フィラメントを分割せずに検出できるモデルの開発を行った。BBSO によって撮影された H- α 画像を入力画像、ルールベースのアルゴリズムによって検出されたフィラメントのアノテーションデータを教師データとして使用した。学習データは 2012 年、検証データは 2013 年のデータを使用した。モデルは、領域候補となる矩形の各辺のピクセル長を定義したパラメータである RPN_ANCHOR_SCALES の変更を行い、小さな領域候補を生成しないように調整した。その結果、一部のフィラメントが分割されずに検出可能となった。一方、評価指標として使用した Average Precision [IoU=0.50] は 0.321 となり、初期パラメータを使用した際の値である 0.395 を下回った。これはパラメータの変更により、小さなフィラメントの検出精度が低下したことが原因であると考えられる。そこで、一定以上のピクセル面積持つアノテーションデータのみを使用した実験を行った。その結果、AP は 0.423 となり、精度が向上した。これは、比較的大きいフィラメントを正しく検出できていることを示している。また、学習データを 2012~2015 年のデータへ変更し、エポック数を 160 から 80 へ変更してモデルを構築した。その結果、AP は 0.564 となり、更なる精度向上を達成した。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)[スケジュール \(全体\) に戻る](#)[講演者索引 TOP に戻る](#)M36a A Fast-filament Eruption Observed in the H α Line: Imaging Spectroscopy Diagnostic and Modeling

Denis P. Cabezas, Kiyoshi Ichimoto, Ayumi Asai, Satoru UeNo (Kyoto University), Tomoko Kawate (NIFS), Satoshi Morita (NAOJ), Ken-ichi Otsuji (NICT), and Kazunari Shibata (Kyoto University)

On 2017 April 23, a fast filament eruption was captured by the Solar Dynamics Doppler Imager (SDDI) onboard the SMART telescope at Hida Observatory. The eruption was recorded in a wide spectral window around the H α line (-9 to +9Å) which enabled us to perform a detailed imaging spectroscopy analysis. Our observation reveals characteristics of highly blue-shifted plasma over 8Å, indicating that part of the filament was ejected towards the Earth with a velocity larger than 360 km s⁻¹. By combining the line-of-sight and plane-of-sky velocity vectors at the filament apex, we derive the true velocity and acceleration profiles, whose maximum value of the fast component is about 500 km s⁻¹ and 2.5 km s⁻², respectively. The acceleration process of the eruption is further investigated by using the toroidal ring-current model, which takes into account the action of the magnetic forces on a ring-current expansion. We numerically solve the equation of motion for different scenarios in which the electric current is determined by (i) conservation of magnetic flux, (ii) conservation of total energy, and (iii) constant current. A remarkable match between the observation and simulation (scenario ii) profiles is achieved when we include in the computation the effect of mass loss. Such a mass loss is identified in our data as downflows at the foot-points of the filament. We discuss the acceleration process of the filament eruption emphasizing the importance of combining numerical modeling and observations.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)[スケジュール \(全体\) に戻る](#)[講演者索引 TOP に戻る](#)

M37a 飛騨天文台 DST 搭載の赤外カメラ評価と垂直分光器を用いた He I 10830 Å によるダークフィラメントの偏光観測

山崎大輝、一本潔、黄于蔚、橋本裕希、松田有輝、白戸春日、Denis P. Cabezas、上野悟、永田伸一 (京都大)

京都大学飛騨天文台ドームレス太陽望遠鏡 (DST) では、太陽大気中の磁場や電場診断手法の開拓を目的として、可視光から近赤外の広い波長帯にある任意のスペクトル線を偏光分光観測できるシステムの開発が進められてきた (2017 春年会 M05a, 2021 秋年会 M13b)。時間変化の激しいプラズマの物理量診断手法の開拓には、短時間で高い偏光精度を実現する観測が必要である。例えば、スペクトル線に現れるハンレ効果やゼーマン効果を用いた彩層磁場診断には、 $\sim 10^{-4}$ の高い偏光測定精度が求められる。本研究では、DST 偏光分光観測装置に搭載する近赤外線検出器 (Allied vision Technologies 社製 Goldeye G033 SWIR) の精度評価を行った。受光面を遮蔽して、異なる露光時間でダーク画像を連続で取得し、露光時間に依らない読み出しノイズと露光時間に依存する熱雑音をそれぞれ導出した。その結果、検出器温度 0°C のとき読み出しノイズは 22.7 DN 、熱雑音係数は $25.9 \text{ DN} \cdot \text{s}^{-1/2}$ と得られた。また、太陽光を導入して露光時間 15 msec で連続撮像を行い、シグナルとノイズの強度比を調査した。その結果、コンバージョンファクターは $3.40 \text{ e}^{-}/\text{DN}$ と得られた。さらに、 $5 \times 10^4 \text{ e}^{-}$ の強度に対して、SN 比 200 を達成することが分かった。加えて、ダークフィラメントの試験観測から露光時間 15 msec のもと、画像 200 枚の積算によって直線/円偏光シグナルが概ね 3.0×10^{-4} の精度を達成することが分かった。本講演では、先行研究で調査された飛騨天文台が所有する他の赤外線検出器 (FLIR 社製 A6261 および Xenics 社製 XEVA-640) との性能比較についても議論し、取得されたダークフィラメントの偏光データを複数例紹介する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

M38a 高感度太陽紫外線分光観測衛星 Solar-C(EUVST) の最新状況 (2022 年/秋)

清水敏文 (ISAS/JAXA), 原弘久 (国立天文台), 今田晋亮 (東京大), 他国際 Solar-C(EUVST) チーム

公募型小型 4 号機 Solar-C(EUVST) は、太陽プラズマ大気におけるエネルギー注入と解放の間でエネルギーや物質がどのように輸送され、また解放の現場で何が起きているのかを診断することで、太陽大気の動的な振舞いや加熱が起きる仕組みやその背景にある基礎物理過程の理解のために、太陽大気・太陽風の形成およびフレア・プラズマ噴出の物理過程を解明する目標を定め、2026 年度打上げ目標でミッションを遂行する。この遂行によって、宇宙に如何に高温プラズマが作られ、太陽が如何にして地球や惑星に影響を及ぼしているのか、という命題に迫ることが期待されている。ミッション達成のために、太陽大気の色層からコロナにわたる温度領域 (3 桁以上) を隙間なく、かつ 10-30 倍の感度向上により観測する現象に高空間・高時間分解能で追従できる能力を持った世界初の極紫外線 (EUV) 分光望遠鏡 (EUVST) を、日本主導で米欧との国際協力のもとで実現させる。

前回春の年会において今田他 (M01a) は、ミッション定義審査 (MDR) の開始に合わせて、今一度 Solar-C(EUVST) の科学目的・目標など科学戦略を議論した。その後、現時点で MDR 結審に時間を要している。理由はメーカ見積に基づくプロジェクト総コストが予定以上に膨らんだためである。望遠鏡の心臓部となる主鏡機構部のブレッドボードモデル (BBM) 開発や海外コンポーネントとの I/F 調整等を進めると並行して、科学要求を可能な限り満たす条件のもとで、衛星システムや望遠鏡の開発計画やシステム仕様要求の再考を進め厳しいプログラムの調整を進めている。本講演では、最新の状況、特にミッション実現のためのコスト削減案が与える科学性能への影響度について議論を行い、研究コミュニティにコスト削減案を理解いただき、ご意見を伺いたい。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

M39a SUNRISE-3 大気球太陽観測実験:フライト観測速報

久保雅仁, 勝川 行雄, 川畑佑典, 大場崇義, 原弘久, 石川遼太郎 (国立天文台), 清水敏文 (ISAS/JAXA), 松本琢磨 (名古屋大学), 都築俊宏, 浦口史寛, 納富良文, 篠田一也, 田村友範, 末松芳法, 石川遼子, 鹿野良平 (国立天文台), C. Quintero Noda (IAC), 永田伸一, 一本潔 (京都大学), J. C. del Toro Iniesta (IAA), S. K. Solanki, A. Lagg, A. Gandorfer, A. Feller (MPS)

SUNRISE-3 は、口径 1m の光学望遠鏡を NASA の大型気球に搭載して太陽を観測する国際共同プロジェクトである。スウェーデンから大西洋上空高度約 35km を 5 日程度かけて飛翔することで、地上では不可能な紫外線観測と大気ゆらぎの無い高解像度・高精度光学観測を連続的に実施できる。科学観測装置は、紫外線偏光分光装置 (SUSI)、可視光フィルタマグネットグラム (TuMag)、近赤外偏光分光装置 (SCIP) の 3 機器で構成され、日本は SCIP の開発を担当している。この 3 機器による、広い波長範囲の多波長偏光観測で、光球・彩層の 3 次元磁場測定を実現させ、光球・彩層の活動現象に伴う磁気エネルギーの輸送・散逸過程の理解を目指す。ドイツでの結合・総合試験を終えて、2022 年 4 月から射場での飛翔前試験を実施している。ゴンドラをクレーンで吊り、フライトを模擬した状態での太陽光試験で、3 機器の装置的なファーストライトに成功した。フライト中の観測ターゲットは、静穏領域、黒点・活動領域、極域・リム、フレア等と多岐に渡り、世界各地の地上・飛翔体太陽望遠鏡との共同観測を計画している。指定した時刻に自動的にコマンドを発行していくタイムライン機能を用いて、望遠鏡・ゴンドラと 3 機器を協調動作させることを計画し、その機能実証のために実機を使った模擬フライト観測を実施している。これは過去の SUNRISE 観測では構想どまりだったもので、その実現は今回の飛翔実験の一つの目玉である。フライト観測は夏至の前後を予定しており、本発表ではフライト結果を速報する予定である。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

M40a 磁気リコネクションに伴う粒子加速の理解を目指す衛星計画 PhoENiX の進捗報告 (2022 年秋)

成影典之 (国立天文台), 岡光夫 (カリフォルニア大学バークレー校), 深沢泰司 (広島大学), 松崎恵一, 渡辺伸, 坂尾太郎 (宇宙航空研究開発機構), 萩野浩一 (関東学院大学), 三石郁之 (名古屋大学), 水野恒史 (広島大学), 篠原育 (宇宙航空研究開発機構), 川手朋子 (核融合科学研究所), 下条圭美 (国立天文台), 高棹真介 (大阪大学), 金子岳史 (UCAR), 田辺博士 (東京大学), 上野宗孝 (宇宙航空研究開発機構), 高橋忠幸 (東京大学 カブリ IPMU), 高島健, 太田方之 (宇宙航空研究開発機構), PhoENiX WG

磁気再結合は磁場中に蓄えられた磁気エネルギーを爆発的に解放し、そのエネルギーを短時間で運動や熱のエネルギーに変換することが出来るプラズマプロセスである。そして、効率的な粒子加速のための環境を形成する機構として注目されている。太陽フレアはこの機構が働く具体例の一つであり、極めて興味深い研究対象である。それは太陽フレアが大変優秀な加速器だからである。太陽コロナのプラズマ密度は非常に高いため、粒子の加速を妨げる背景プラズマの衝突制動力が極めて大きく、粒子を加速させ始めることが困難な環境である。にもかかわらず太陽フレアでは MeV 帯までの加速が秒オーダーで起きており、解放された磁気エネルギーの相当量が粒子の加速に使われていることが知られている。一方で、その加速機構は未解明であり、高い研究価値を有する。そこで、我々が推進する PhoENiX 計画では、太陽フレアにおける粒子加速場所の特定、加速の時間発展の調査、加速の特徴の把握を目指す。そのために、新機軸の観測の実現、新しいモデルの構築、関連分野との連携という 3 つの手法を取る。一方で、PhoENiX の観測は粒子加速のみならず、加熱現象や噴出現象、恒星フレアなどの研究にも威力を発揮する。本講演では本計画のコンセプト検討の進捗状況について、科学検討を中心に紹介する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

M41a 太陽差動回転生成に重要な乱流の空間スケールの調査

森敬都, 堀田英之 (千葉大学)

3次元磁気流体計算で再現された熱対流・乱流をスペクトル解析することで、実際に角運動量を運んでいる乱流スケールを調査した。太陽は、赤道が速く極が遅い差動回転(自転)をしていることが知られている。この差動回転は、太陽内部の乱流的な熱対流によって形成されていると考えられている。太陽が自転していることで、乱流がコリオリ力によって影響を受け、非等方的になることで角運動量を運び、差動回転を形成するというアイデアだ。これまでに数値シミュレーションによる差動回転の研究は多くあるが、そのほとんどは乱流を経度平均した「平均流」とそれ以外の「乱流」に分けてそれぞれの角運動量を調べている。しかし、実際はここで定義された「乱流」には、大小さまざまなスケールがあり、「乱流」とひとくくりにしてしまうと角運動量を運ぶ支配的なスケールを議論することが難しくなる。本研究では、各緯度、各動径位置で経度方向にフーリエ変換を行い乱流のスケールごとの角運動量輸送の効率を調べた。ただ、単純にフーリエ変換をおこなってしまうと場所ごとに違うスケールを示してしまうので、実際のスケールを基準に分解している。本研究では、自転角速度を変えた三つの計算について解析を行なった。計算結果には赤道が速く自転する太陽型と極が速い反太陽型が含まれている。反太陽型の乱流を空間スケール分解すると、スケールが小さくなるにつれて赤道付近から中緯度で動径方向内向きの角運動量輸送が支配的になっていることが分かった。太陽型の場合は、中緯度の 100 Mm ほどの大きなスケールで動径方向外向きの角運動量輸送が起きていることが分かった。太陽型では、赤道付近の動径方向外向きの角運動量輸送により、赤道が加速され太陽型の差動回転が形成されていると考えられる。また、反太陽型では、動径方向内向きの角運動量輸送により、極が加速され反太陽型の差動回転が形成されていると結論づけられた。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

M42a 対流層全球計算内で働く α 効果の抑制

畠田遼太 (東京大学), 堀田英之 (千葉大学), 横山央明 (京都大学)

太陽対流層での全球 MHD 計算の結果を用いて、ダイナモの抑制 (ここでは α 抑制と呼ぶ。) を調査した。 α 抑制は、乱流による磁場誘導機構である α 効果が、磁場から流れ場へのフィードバックにより非効率になるもので、ダイナモによって生成される平均磁場強度を決める上で重要な機構と考えられる。これまで抑制のモデルとして、平均磁場から流れ場へのフィードバックを考慮した α 抑制、乱流磁場から流れ場へのフィードバックを考慮した破綻的 α 抑制が提案されているが、太陽対流層でどちらが働くかは明らかではなく、太陽ダイナモでの磁場生成を理解する上で重要な課題の 1 つとなっている。Hotta et al. (2016) による全球計算では、乱流磁場が強化される高磁気レイノルズ数での計算において平均磁場の誘導に成功している。本講演では、これとほぼ同じ全球計算のデータを用いて、 α 抑制について解析を行なった結果を報告する。方法として、平均場ダイナモ理論に基づいた解析を行い、 α 効果が、平均磁場強度の増加とともに抑制される振る舞いを確認した。さらに、 α 効果に寄与する運動ヘリシティーと磁気ヘリシティーの平均磁場強度に対する依存性を調べ、磁気ヘリシティーが破綻的 α 抑制から予測される依存性を持つことを明らかにした。今回得られた結果は、高磁気レイノルズ数の対流層において破綻的 α 抑制が働くことを示唆するものとなった。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

M43a 数値シミュレーションと機械学習による太陽対流層の内部推定

正木寛之、堀田英之(千葉大学)

太陽の対流層を再現した3次元磁気流体シミュレーションと機械学習を組み合わせ、太陽の内部を推定するため手法について検討した。太陽光球の熱対流は磁場生成や、フレア加熱などの太陽物理学の未解決問題に関連する。そのために太陽内部の熱対流の3次元的な構造の理解することが求められる。太陽内部を理解するために、太陽表面に伝わる波動を用いて内部を推定する日震学が、超粒状斑以上の大規模な流れについては結果を出している一方で、熱対流の典型的な構造である粒状斑のスケールでは内部を知ることが難しい。一方で太陽を再現した数値シミュレーションを行うことにより、観測できない太陽内部の構造を推測することができる。しかし、これは現象を再現したもので現在の太陽そのものとは一致しない。そこでニューラルネットワークの持つ高い推定性能を用いて、シミュレーションで得たデータから実際の太陽での対流構造を推定する。近年、機械学習や数値シミュレーションなどのコンピュータ技術が進歩しており、学習に必要な大量の3次元シミュレーションの実行や、それを扱う学習が効率的に行えるようになってきている。本研究では太陽観測で比較的容易に得ることができる、放射強度、視線方向速度場、視線方向磁場の三つを用いて太陽対流層内部の構造を推定するネットワークを作成した。太陽内部の上昇流について、ネットワークの推定性能は表面付近では相関係数0.7程度であり、表面から2 Mm 程度内部で約半分に減少する。

[スケジュール\(セッション毎\)に戻る](#)

[スケジュール\(全体\)に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

M44a 深層学習による太陽高解像度画像の復元：補償光学を考慮した検証

福満翔, 勝川行雄(東京大学/国立天文台), 石川遼太郎(総研大/国立天文台), 一本潔(京都大学)

太陽の地上観測において地球大気の揺らぎは大きな障害となり観測画像の解像度を劣化させる。一般には補償光学によって低次の波面誤差を除去し、その後 Multi-frame Blind Deconvolution (MFBD) のような後処理による画像復元を実行する。しかしながら MFBD は計算コストが高く画像復元に膨大な時間を要することから、深層学習を用いた画像復元が提案されてきた。これまでの我々の研究では、MURaM MHD シミュレーションにより計算した光球画像を用い、深層学習モデル U-net で構成した教師あり学習により画像復元を行った。口径 4m の太陽望遠鏡 DKIST による観測を想定し、フリードパラメータ r_0 の値を変化させて様々なシーイング状態による劣化画像を Kolmogorov phase screen に基づく PSF から作成して深層学習モデルで復元を行った。しかしこの方法では入力画像が $r_0 \gtrsim 35\text{cm}$ の良好な場合でない限り適切に復元を行うことができず、現実的な $r_0 \sim 10\text{-}20\text{cm}$ の画像の復元が十分ではなく実際の観測への適用は難しいという課題が残った。そこで本研究ではこの問題を解決するため、低次の波面誤差を除去する補償光学の効果を模擬した復元を試みた。 $r_0 \sim 10\text{-}30\text{cm}$ の範囲で計算した波面誤差をゼルニケ多項式でフィッティングし、低次の波面誤差を補正した PSF を作成した。これにより補償光学による波面補正を模擬した画像を深層学習モデルの入力とし、同様に U-net で構成した教師あり学習により画像復元を実行した。画像のコントラストは 7.8%(シーイング劣化) から 13%(出力) まで回復し、正解画像との相関係数 0.998, RMSE 0.012, SSIM 0.994 という数値からも画像の質が向上していることを確認した。また出力画像と正解画像の見た目の比較から明らかな人工的な構造の出現は認められなかった。この結果から現実的な r_0 の画像においても補償光学による低次波面補正を行うことで高い精度での画像復元が可能であることが示された。

[スケジュール\(セッション毎\)に戻る](#)

[スケジュール\(全体\)に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

M45a 多波長分光観測による光球振動のエネルギー輸送

松田有輝, 一本潔, 白戸春日, 橋本裕希 (京都大学)

光球よりも上層の彩層・コロナは光球よりも温度が高く、上層に向かって何らかのメカニズムによってエネルギーを伝播させる必要がある。本研究では、エネルギーを運ぶメカニズムの一つである振動に注目した。太陽光球は5分振動など、様々な周波数の変動が重なって振動している。太陽の振動は速度場で最も顕著だが、強度や吸収線の幅など他の観測量も振動を示し、太陽大気温度や密度の変化によって引き起こされる。振動の時系列に対してフーリエ変換を行うことで、周波数ごとの振幅や各振動間の位相差を導くことができる。そこで得られた速度変動と温度変動の位相差から各周波数の振動がエネルギーをどのように運ぶのかが分かる。本研究では形成高度の違う複数の吸収線を用いることで高度によってエネルギー輸送に違いが出てくるのかを調べた。

観測は京都大学飛騨天文台ドームレス太陽望遠鏡の水平分光器を用いて、光球内の様々な高度で形成された吸収線が存在する波長領域 ($6495 \pm 10 \text{ \AA}$)、彩層で形成される吸収線である $H\alpha$ (6563 \AA)、 $Ca II$ (8542 \AA)、 $He I$ (10830 \AA) を含む波長領域で同時に分光スキャンを行った。ディスクセンター付近の黒点を視野に入れ、AOを用いて黒点を追尾することでシーイングによる像の揺れを抑え、より高周波まで解析が可能となった。

吸収線の中心波長と等価幅の時間変化から、その吸収線の形成高度での速度と温度の時間変化を求め、その変動の位相差の解析を行った。その結果、光球の静穏領域では周期5分付近の振動によるエネルギー輸送が下向きであることが分かった。そして、周波数が大きくなるほど速度と温度の位相差が大きくなっており、周期3分よりも高周波では光球下部でエネルギー輸送が上向きになっていることが分かった。本講演では、複数の吸収線から得られた結果を詳しく紹介し、このような現象の解釈について報告を行う。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

M46a SMART/SDDI および DST による太陽大気における波動の伝播と磁場との関係の観測的研究

白戸春日, 一本潔, 松田有輝 (京都大学)

彩層・コロナ加熱問題における有力と考えられているメカニズムのひとつに、波動説がある。光球で励起された音波のうち、ある周波数 (cutoff 周波数) より低周波のものは上層に伝播出来ない。しかし磁力線が傾いた領域では、そうでない領域よりも cutoff 周波数が低くなると考えられており、より低周波の波も上層に伝播出来る。このことを観測的に検証するためには、波の伝播と磁場の関係に着目することが肝要である。したがって本研究では、静穏領域における波の振る舞いを磁場との関係という観点で調査した。

使用したのは、京都大学飛騨天文台 SMART/SDDI で得られた 2019 年 5 月 4 日の太陽全面分光撮像データである。解析領域は、disc center および赤道東の東のリム寄りの領域である。 $H\alpha$ 線を用いて強度や速度などのパラメータを抽出した。そしてパワースペクトルや位相差を計算し、ネットワーク領域 (NR) とインターネットワーク領域 (INR) での結果を比較した。その結果、ドップラーシフトのパワーマップでは、disc center でもリム寄りの領域でも、 $H\alpha$ center でも wing でも、3分周期でも5分周期でも、INR で強くなっていた。また、コンティニウムでの強度と line-center でのドップラーシフトの位相差では、リム寄りの領域では disc center に比べて cutoff 周波数が低くなっていた。秋季年会では、春季年会から解析データを増やし、さらに同天文台 DST のスリットスキャンデータを用いた解析結果とも比較を行う。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

M47a 磁化プラズマ中の 2 種類の電場の役割

柴崎清登 (太陽物理学研究所)

磁力線の運動を議論する際に問題となるのは磁力線の座標や速度が一意的に定義できない点である。一方解析力学的手法を用いて電磁場を扱う際には、一般化座標としてポテンシャル (ベクトルおよびスカラー) を用い、ラグランジアンから一般化運動量を求める。このラグランジアンを用いて、オイラー＝ラグランジュ方程式からマクスウェル方程式が導かれる。よってこの一般化座標と一般化運動量を用いて磁力線の運動が議論できる。今スカラーポテンシャルがないとすると、磁場の一般化座標はベクトルポテンシャルであり、一般化運動量は電場である。ベクトルポテンシャルの時間変化 ($=$ 電場) が移流によるものであるとすると、移流方程式から電場は $E = -\mathbf{u} \times \mathbf{B}$ となる。ここで \mathbf{u} は移流速度である。この関係は真空中でもプラズマ中でも同様に成り立つ。この電場と磁場により荷電粒子は $E \times B$ ドリフトをし、その速度は電荷や質量によらず移流速度と一致し、磁力線と荷電粒子群 (プラズマ) はいっしょに運動することになるので磁場凍結と呼ばれる。

この電場とは独立にスカラーポテンシャルの空間微分による電場がある。こちらは磁力線の運動とは関係ないが、荷電粒子は同じ $E \times B$ ドリフト運動をするので磁力線を横切ってプラズマが運動する。スカラーポテンシャルは電荷密度の不均一性に起因し、交換型不安定性の際に生ずる。よって磁力線が繋ぎ換わらなくてもプラズマが大量に隣接する磁力線に拡散し、磁場凍結が解けた状態となる。この電場は一般的に磁場に沿った成分も持つので、磁力線に沿った粒子加速も期待される。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

N01a 重力崩壊型超新星の3次元MHD計算に基づく中性子星諸量の分布

中村 航 (福岡大学), 滝脇 知也 (国立天文台), 松本 仁 (慶應義塾大学), 固武 慶 (福岡大学)

数値計算による重力崩壊型超新星の系統的研究として、空間1次元の一般相対論的シミュレーションによるブラックホール形成や、人工的な爆発モデルによるニュートリノ放射や爆発エネルギーの親星依存性 (Ugliano et al. 2012; O'Connor & Ott 2011, 2013)、さらに空間2次元のセルフコンシステントな計算による同種の調査 (Nakamura et al. 2015) がおこなわれてきた。

これらの1次元および2次元計算は100を超える親星を使用し、幅広い質量・金属量域を網羅していた。同程度の規模で計算コストの高い空間3次元計算に拡張することは現実的ではないが、最近10モデル程度ではあるが空間3次元での同様の試みが報告されるようになってきた (Burrows et al. 2020)。

そこで我々は、磁場を考慮した空間3次元ニュートリノ輻射流体計算により、9–24太陽質量の単独星の重力崩壊過程を調べた。そのうち10モデルの初期流体進化に関しては先の日本天文学会2022年春季年会 (N26a) で報告した。本講演ではモデル数を16に増やし、爆発後に残された中性子星の諸量 (質量・スピン・キック速度) について報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

N02a 非平衡左巻きニュートリノがもたらす磁場の逆カスケードメカニズム

松本仁, 山本直希 (慶應義塾大学), Di-Lun Yang (Academia Sinica)

大質量星の終焉時に生じる超新星爆発は、その爆発エネルギーが 10^{51} ergにも達する宇宙最大規模の爆発現象である。古くからその爆発メカニズムにおいてニュートリノの効果が研究されてきており (e.g. Colgate & White 1966)、ニュートリノ加熱が爆発機構の主流になりつつある。計算機処理能力の大幅な向上により現代では三次元電磁流体シミュレーションを用いて大質量星の重力崩壊における超新星爆発を調べる研究が行えるようになってきているが、シミュレーションで得られる爆発エネルギーは、観測から得られる爆発エネルギーよりも系統的に少ない (e.g. Murphy et al. 2019)。このことは爆発機構を解明するためには、現在考えられているニュートリノ輻射輸送込みの電磁流体力学の枠組みを超えた効果を取り入れる必要があることを示唆する。

重力崩壊型超新星爆発が起きる現場では、カイラル対称性の破れた粒子であるニュートリノが大量に生成されるためカイラリティが大きく破れた状況が出現する。我々のグループでは、マイクロな世界で発現するカイラリティの破れの効果がマクロな現象である超新星爆発にどう影響を与えるかを調べる研究を進めている。

非平衡の左巻きニュートリノは磁場に比例するカレントもたらす (Yamamoto & Yang 2021)。そのバックリアクションにより物質には磁場に比例した電流が生じる。そこで、超新星コアでこの電流がもたらす影響をカイラル電磁流体シミュレーションを用いて調べた。本講演では、磁場に比例した電流によりカイラルプラズマ不安定性が成長し、磁場の逆カスケードが生じるメカニズムの詳細を議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

N03a 重力崩壊型超新星爆発における速いニュートリノ振動の元素合成への影響

藤本 信一郎 (熊本高専), 長倉 洋樹 (国立天文台)

近年, 詳細な ν 輸送を考慮した重力崩壊型超新星の多次元計算に基づいた複数グループの解析により, 超新星において速い ν 振動 (Fast Flavor Conversion; 以降 FFC) が起こることが示された. 長倉等 (2021 年) によると, 非球対称な ν 放射に起因した ν_e と $\bar{\nu}_e$ 数密度が同程度であるが若干異なる領域において, FFC が発生することが示された. FFC は ν_e と $\bar{\nu}_e$ の放射率とエネルギー分布を変え, 爆発による放出ガスへの ν 吸収量を変化させる. このため特に爆発後の FFC 発生は元素合成に影響すると予想されるが, その調査は未だ行われていない.

我々は非球対称な ν 放射を伴う重力崩壊型超新星爆発における元素合成への FFC の影響を調査した. ν 吸収を考慮した 2 次元軸対称流体力学コードを用いて, SN1987A 的に超新星爆発する大質量星 ($\sim 20 M_{\odot}$) に対して, ν 非対称度 $m_{\text{asm}} = 0, 10/3, 10, 30, 50\%$ の dipole 的な $\nu_e, \bar{\nu}_e$ 放射を仮定し, コアバウンスから 1 秒程度に亘って放出ガスの dynamics を流体力学計算した. その結果に基づいて, 5 つの場合の (FFC を特徴づける) 残存確率 $(p, \bar{p}) = (1, 1)$ (無振動), $(2/3, 2/3), (1/3, 1/3)$ (最大振動), $(2/3, 1/3), (1/3, 2/3)$ に対して元素合成計算を行い, 以下のことを示した; (1) 非対称度が大きい場合 ($m_{\text{asm}} \geq 30\%$), FFC 発生領域が $\bar{\nu}_e$ が強い半球 (高 $\bar{\nu}_e$ 半球) の赤道面から若干離れたところ (角度) に限定され, FFC の元素合成への影響は限定的である. (2) 近年の多次元超新星爆発計算から示唆される $m_{\text{asm}} = 10\%$ 程度の場合, 高 $\bar{\nu}_e$ 半球の軸から広い領域 (角度) で FFC が生じ, FFC の元素合成への影響は大きい. (3) $m_{\text{asm}} = 10\%$ で $p = \bar{p}$ の場合, 最大振動 $((p, \bar{p}) = (1/3, 1/3))$ に近いほど, 爆発期の ν 吸収による電子比 Y_e 増加効果をより減ずる. (4) $m_{\text{asm}} = 10\%$ で $(p, \bar{p}) = (2/3, 1/3)$ ($(p, \bar{p}) = (1/3, 2/3)$) の場合, より Y_e の大きな (小さな) 放出ガスが増加する. (5) FFC により, Sc と Ni より重い元素の組成が変化する.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

N04a 時間進化の遅い IIb 型超新星 SN 2019tua の測光分光観測

中岡竜也, 川端弘治, 濱田大晴, 堀友哉 (広島大), 前田啓一, 山中雅之, 川端美穂, 田口健太, 宇野孔起, 磯貝桂介, 犬塚慧子 (京都大), 前原裕之 (国立天文台), Umut Burgaz (trinity dublin college), かなた観測チーム

重力崩壊型超新星は太陽の 8–10 倍以上の質量を持つ大質量星が親星だと考えられている. 初期のスペクトルに水素の特徴を持つ超新星は II 型超新星に分類される. その中でも, 水素に加えヘリウムの吸収線も有するものは IIb 型超新星に分類され, 水素外層の大部分を失った親星による重力崩壊型超新星と考えられている. 近年は大規模サーベイ観測の発達に伴い, 多くの近傍 IIb 型超新星が見つかるようになり, 親星系の特徴が調べられている. IIb 超新星の親星の多くは初期質量が $20 M_{\odot}$ 以下と推定され, 自身の放射圧のみで水素外層の大部分を吹き飛ばすことが難しく, 伴星との相互作用によって水素外層を剥ぎ取られていると考えられている.

我々は 2019 年 10 月 31.3 日 (UT) に, ~ 40 Mpc の近傍銀河で発見された超新星 SN 2019tua について, 広島大学 1.5 m かなた望遠鏡及び京都大学 3.8 m せいめい望遠鏡を用いてモニター観測を行った. この天体の爆発 5 日後のスペクトルでは水素及びヘリウムの吸収線が見られることから, IIb 型超新星に分類されることが分かった. しかし, 爆発から極大までの日数は, 典型的な IIb 型超新星 (~ 18 日) よりも約 1.5 倍程度長く, 27 日であった. 特異な Ic 型超新星 SN 2011bm も非常に長いタイムスケールを示したが, IIb 型超新星でこれほど時間進化が遅い天体は他におらず, 水素外層を持つ特異な親星系であることが示唆される. SN 2011bm とのスケールリングを行って求めた SN 2019tua のイジェクタ質量は $\sim 9 M_{\odot}$ と, 典型的な IIb 型超新星の数倍以上ある. このことから, SN 2019tua は $20 M_{\odot}$ 以上の初期質量を持つ単独星の進化で説明可能であると考えられる.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

N05a A peculiar Type Ia supernova with subluminescent and high-velocity features

Masayuki Yamanaka, Keiichi Maeda, Miho Kawabata, Kenta Taguchi, Kohki Uno, Mao Ogawa, Keisuke Isogai (Kyoto University), Tatsuya Nakaoka, Koji S. Kawabata, Avinash Singh, and Anjasha Gangopadhyay (Hiroshima University)

Type Ia supernova (SN Ia) is an important object because the accelerated cosmic expansion has been discovered using its properties. The progenitor nature and the explosion mechanism remain unresolved. One of the keys to understanding them is to unveil the observational diversity. We have performed the follow-up observations of a SN Ia 2020qxp in optical and near-infrared wavelengths using 1.5-m Kanata and 3.8-m Seimei telescopes since the rising stage up to around 180 days after the maximum date. The light curve shows the moderately fast decline. We observed the $B - V = 0.6$ around the maximum. From the near-infrared luminosity and the Lira relation, we estimated the color excess of $E(B - V) = 0.6$ of the host galaxy. After the extinction correction, the peak quasi-bolometric absolute luminosity is calculated to be 3.2×10^{42} erg s^{-1} . The radioactive ^{56}Ni is synthesized as $\sim 0.4 M_{\odot}$ which are consistent with those of a transitional SN Ia. Spectra show the strong Si II $\lambda 6355$ and Si II $\lambda 5972$ absorption lines around the maximum light. The equivalent width ratio of two Si II lines is rather consistent with that of the subluminescent subclass like SN 1991bg. A very large expansion velocity of ~ 16000 km s^{-1} was found before the maximum, and thereafter the velocity dropped to ~ 10000 km s^{-1} around the maximum. We suggest that this SN exhibits the multi-faced features among SNe Ia. From these analyses, we will discuss the explosion properties and mechanisms of this SN Ia.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

N06a 極めて明るい特異な Ia 型超新星 SN 2020hvf の長期観測

川端美穂, 前田啓一, 山中雅之, 磯貝桂介, 宇野孔起, 田口健太 (京都大), 川端弘治, 中岡竜也 (広島大), かなた・せいめい観測チーム

Ia 型超新星は近接連星系を成す白色矮星がチャンドラセカール限界質量に達し、熱核暴走反応によって爆発現象を引き起こす。極大光度と減光速度には相関関係があることが知られており、宇宙論的な距離指標となっている。しかし近年になり、非常に明るい Ia 型超新星が数例であるが見つかった (SN 2007if, SN 2009dc など)。このサブクラスに属する天体の多くが $0.9 M_{\odot}$ 以上の豊富な ^{56}Ni を持つことが指摘されており、チャンドラセカール限界質量の白色矮星の爆発では説明できない。このスーパーチャンドラセカール超新星の観測的特徴として、(1) 極めて明るい極大光度、(2) 緩やかな光度変化、(3) 炭素の強い吸収線が見られる、などが知られている。一方で観測例が少ないため、多様性、親星や爆発機構はよく判っておらず、精力的に研究が進められている。

2020 年 4 月 21.38 日 (UT) に発見された Ia 型超新星 SN 2020hvf を京都大学 3.8m せいめい望遠鏡、広島大学 1.5m かなた望遠鏡を用いて追観測を実施した。爆発直後に星周物質との相互作用と見られる短い時間スケールの増光が捉えられている (Jiang et al. 2021)。その後の光度変化は緩やかで、スーパーチャンドラセカール超新星 SN 2009dc によく似ている。一方で、初期スペクトルは非常に速度の大きな吸収線を示しており、極大付近で典型的な Ia 型と同程度になった。極大付近までに速度は大きく低下した。また、後期 (~ 210 日) に得られたスペクトルは全体的にむしろ典型的なサブクラスによく似たプロファイルを示した。これまで観測されてきたスーパーチャンドラセカール超新星と観測的特徴を比較しながら、SN 2020hvf の位置づけを明らかにし、このサブクラスの多様性について議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

N07a II/IIn 型超新星の光度曲線サンプルとモデル解析

平松大地, Edo Berger (CfA/IAIFI), Sebastian Gomez (STScI), D. Andrew Howell (LCO/UCSB),
他 Global Supernova Project

近年の観測技術発展により超新星サンプル数は飛躍的に増え、新たな型や変換的な型が多く発見されている。その中で、水素に富んだ II 型超新星の早期観測から高密度の星周物質の存在が明らかになり、爆発数年前から親星の質量放出が急激に増量することが示唆されている。更に高密度の星周物質が細い水素輝線 ($\sim 1,000 \text{ km s}^{-1}$) を見せる IIn 型には必要と考えられているが、それらの親星や爆発機構の情報の多くは観測可能な星周物質衝突域よりも中心部に埋もれ未だ謎に包まれている。

本講演において、我々は II/IIn 型超新星の光度曲線サンプルとモデル解析を通して、親星や爆発機構また星周物質のパラメータ空間について議論する。我々の観測と公開データを合わせたサンプル数は既存の約十倍であり、より幅広い光度や時間軸をカバーしている。それら観測的特性は Hiramatsu et al. 2021 の II 型超新星モデルグリッドを基にした新たな II/IIn 型超新星モデルグリッドで大まかに再現可能であり、モデル解析から得られた物理的特性について発表する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

N08a Ia 型超新星のスペクトル細分類ごとの光度曲線の多様性

越諒太郎, 土居守, 高梨直紘 (東京大学)

Ia 型超新星 (以下 SNe Ia) は互いに観測的性質がよく似ていることが知られている。"Stretch-magnitude relation" と呼ばれる SNe Ia の光度曲線の幅とピーク光度の関係を用いた補正を行うことによりピーク光度が概ね homogeneous になることから、SNe Ia は観測的宇宙論において優れた距離の指標となっている。しかし、この補正だけでは SNe Ia の明るさのばらつきを全て解消することはできず、明るさをより揃えるためには別の観点からの補正が必要になる。

そこで本研究では 25 個の SNe Ia について、スペクトル細分類の観点から光度曲線の多様性を調べた。スペクトル細分類は 5750\AA 付近と 6100\AA 付近に見られる二つの SiII 吸収線の幅によって SNe Ia を 4 つの subgroup に分類する Branch 分類 (Branch et al. 2009) を採用した。各 subgroup について平均の光度曲線をバンド (UBVRI) ごとに作成し、その形を分析・比較した。

4 つの subgroup は UBVR バンドでは概ね似た形を示したが、I バンドで多様性が見られた。中でも Broad Line subgroup の 1st peak に対する 2nd peak 光度が他の subgroup よりも高いこと、そして Shallow Silicon subgroup 内で I バンドの光度曲線にばらつきが見られたことは特筆すべき点である。

本講演では、作成された平均光度曲線やその比較結果を紹介し、それが示唆する Branch subtype の特徴の違いについて議論する。また、超新星のサンプル数を増やしてより詳細な結果を得る試みについても報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

N09a 超新星コアにおける停滞衝撃波を伴う定常降着流構造への一般相対論効果の影響

澤田 涼, 諏訪 雄大 (東京大学), 長倉 洋樹 (国立天文台)

重力崩壊型超新星爆発は、その爆発メカニズムに極めて多様な物理過程を含む。そして現在、その爆発メカニズムを理解するためには、停滞衝撃波 (Standing Accretion Shock) の復活方法が課題となっている。ここで停滞衝撃波 (Standing Accretion Shock) とは、コアバウンス時に生まれる衝撃波が一旦、鉄コア内で失速した後に、より外側のコア物質が中心にむかって定常降着流を形成することで生まれる衝撃波のことである。近年では数多くの大規模数値シミュレーションが行われており、特に一般相対論の効果によって、この衝撃波復活が改善されることが理解されている。一方で一般相対論効果が及ぼす定性的な効果は不明瞭であり、その物理を理解するためには、現象論的なアプローチでの理解も必要不可欠である。

現象論的アプローチの代表例として Burrows & Goshy (1993) では、停滞衝撃波を伴う質量降着流を定常解として取り扱うことで、解の存在条件からの衝撃波復活条件を示唆する "critical curve" という概念を導入した。これまで critical curve を用いて回転・磁場・多次元効果等の影響について先行研究が存在するが、いずれも非相対論的な流体方程式のもとでの議論に留まっていた。本講演では、Schwarzschild 時空での質量降着流の定常解から、critical curve へ一般相対論効果が与える影響を議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

N10a 星の重力崩壊計算のための一般相対論的ボルツマン輻射流体コードの開発

原田了 (理化学研究所)

大質量星の最期の爆発現象である重力崩壊型超新星は、鉄コアが中性子星へと崩壊する過程で解放されたエネルギーをニュートリノが運び、一度停滞したバウンス衝撃波を加熱することで爆発すると考えられている。このシナリオはニュートリノ輸送と反応、流体運動、重力が複雑に絡み合うものであり、中心天体のコンパクト性を考えると、実証するためには一般相対論的ニュートリノ輻射流体力学を解く必要がある。これまで各物理過程を正確に取り扱うことは難しかったため、様々な近似を施した数値計算によって爆発メカニズムが調べられてきた。しかしながら、近似の手法・精度はまちまちで、結果のコンセンサスが得られていない。本研究では、近似によらない信頼できる結果を得るために、ニュートリノ輸送のためにボルツマン方程式、流体運動のためにバリオン数及びエネルギー運動量の保存則、そして重力のためにアインシュタイン方程式を解く、一般相対論的ボルツマン輻射流体コードの開発を目指している。球対称かついわゆる Misner-Sharp 計量を仮定したそのようなコードは既に存在するが、本研究のコードは3次元球座標で実装するため多次元計算にも使用可能であり、また3+1分解における moving puncture ゲージを採用することでブラックホール形成計算にも応用可能である。本講演では、その開発および1次元球対称のもとでのテスト計算の結果について報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

N11a 星周物質と相互作用する超新星のスペクトル計算：星周物質構造が水素ライン形状へ与える影響

石井彩子 (山形大), 武井勇樹 (東京大/理研), 津名大地 (東京大), 茂山俊和 (東京大)

スペクトルに幅の狭い水素輝線が見えている超新星は II_n 型超新星と呼ばれ、その特徴的な輝線は超新星により放出される物質とその周りを取り囲む濃い星周物質との相互作用により生じると考えられています。光度曲線の理論解析から、いくつかの II_n 型超新星では爆発直前に親星の質量放出率が $10^{-3} M_{\text{sun}}/\text{yr}$ を上回る非常に大きな値に達することがわかり、大規模な質量放出の可能性が示唆されています。一方で、いくつかの II_n 型超新星のスペクトルでは、水素について幅の狭い P-Cyg ラインと幅の広がった輝線が組み合わさった特徴的なラインが観測されています。ラインの形状およびその形の時間変化は星周物質構造と密接に関連しています。よって、星周物質構造とライン形状の関係を数値シミュレーションによって詳細に明らかにすることにより、観測されたライン形状から星周物質構造、ひいては爆発直前の星の質量放出の性質に制限をつけられる可能性があります。

本研究では、定常風の場合および爆発直前に大規模質量放出が起こった場合のそれぞれについて、輻射流体シミュレーションによって星周物質構造を計算し、さらに光子輸送シミュレーションによって時間変化するスペクトルを計算しました。H α のラインについて着目して計算したところ、広がった輝線は星周物質中の再結合放射で生じた光子が、星周物質と超新星放出物質との衝突でできた衝撃波の内側で散乱されることにより生じ、一方で狭い P-Cyg ラインは再結合放射で生じた光子が衝撃波の内側に入ることなく H α 吸収・再放射を経験した末に生じることがわかりました。さらに、星周物質構造の違いがスペクトルに与える影響や、超新星放出物質の運動エネルギーから H α ライン放射の輻射エネルギーへの変換効率についても説明する予定です。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

N12a 白色矮星連星合体で生じた残骸 J005311 は SN 1181 の残骸か？

黄天銳 (東京大学), 鈴木寛大 (甲南大学), 榎山和己 (東北大学), 田中孝明 (甲南大学), 津名大地, 藤澤幸太郎, 馬場彩, 茂山俊和 (東京大学)

超新星爆発は古来から多く観測されており、それらの超新星残骸 (SNR) の多くは同定され、爆発の性質などについて多くが調べられている。しかし、SNR が特定されていないような超新星もいくつか存在しており、SN 1181 はその中で最も新しい超新星である。SN 1181 についての記述は吾妻鏡など多くの書物に残されており、カシオペヤ座の方向で土星程度の最高光度を誇り約 180 日間に渡って観測されたとされている。その方向にある SNR として 3C58 がその候補であったが、それは膨張速度から約 7000 年前に形成されたと考えられており、SN 1181 の残骸であるかは疑わしい (Bietenholz+2006)。しかし、白色矮星連星合体で生じた SNR の中にあり、高速な星風を放出する白色矮星 J005311 がカシオペヤ座の方向で 2019 年に観測された (Gvaramadze+2019)。この残骸は膨張速度から 1100 年前に形成された見積もられ、SN 1181 残骸の新候補となった (Ritter+2021)。また、J005311 は X 線で光っているが、内側で特に強く光っている領域の存在が判明している (Oskinova+2020) が、その原因は不明である。その領域は中心の白色矮星が放出する高速な星風が周囲の物質とぶつかることで強く光っていると考えられるが、その領域はとても小さく、爆発当初から膨張を続けていると考えるのは困難である。

そこで本研究では、星風が近年吹き始めたと考え J005311 のモデル構築をし、観測データと比較することで、パラメータ推定を行った。そこで X 線観測データの再解析を行い、中心領域の大きさが 0.018pc 以下である制限をつけ、モデルより星風は数十年前から吹き出していることがわかった。本発表では構築した理論モデルと X 線・中間赤外線観測との比較結果について報告し、この SNR が SN 1181 の残骸であるかどうかを報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

N13b 新たなセファイドに対する近赤外組成測定にもとづく銀河系円盤研究の検討

松永典之 (東京大学), WINERED チーム

セファイドは、4–11 太陽質量の星が進化して生じる脈動変光星であり、周期光度関係によって距離を精度よく測定できるなどの性質により、20–300 Myr 程度の若い恒星種族を探るよいトレーサである。たとえば、銀河系円盤の内側ほど金属量が高いという勾配や、銀河回転のパラメータを決めるために利用され、高い精度の結果を与えている。銀河系におけるセファイドの探査は最近まで著しく不完全であったが、OGLE (Optical Gravitational Lensing Experiment) や VVV (VISTA Variables in the Via Lactea) などの探査により、2019 年に一挙に二千個以上のセファイドが発見された。その中には、銀河系中心からの距離 R_{GC} が 5 kpc より小さいサンプルや 15 kpc より大きいサンプルも多く含まれていて、これまでよりも円盤の広い範囲を探ることができる。また、銀河系円盤で強い星間減光を受けたセファイドの高品質のスペクトルを得るには近赤外線分光観測が有効である。最近の研究により、 YJ バンド (0.97–1.32 μm) の分光で Fe、Si、P、Y などの元素の組成を高精度に測定できることが示された (Scarlet Elgueta, 博士論文、東京大学、2022 年 3 月)。我々は、マゼラン望遠鏡 (口径 6.5m、チリ・ラスカンパナス天文台) に WINERED 近赤外分光器を設置して、銀河系円盤の広い範囲と大小マゼラン銀河にあるセファイドを観測する予定である。本講演では、セファイドの YJ バンドスペクトルで調べられることをまとめ、セファイドの詳細組成測定にもとづく研究の重要性について議論する。また、WINERED を用いた研究計画について紹介し、可能であれば 2022 年 7 月に予定されているマゼラン望遠鏡での初期観測の成果も示す。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)[スケジュール \(全体\) に戻る](#)[講演者索引 TOP に戻る](#)

N14b 可視光分光装置 MALLS とトリウム 5989 Å の吸収線による恒星の組成調査

古塚来未, 本田敏志 (兵庫県立大学)

鉄より重い元素は、恒星内部での熱核融合反応では作られず、中性子捕獲過程で作られる。中性子捕獲元素の約半数を作る r -過程の起源は中性子星合体とされているが不明なことも多い。また、トリウムが検出された星の約 30% はトリウムやウランの組成が多い Actinide Boost star とされており (Holmbeck et al., 2018)、その起源もよくわかっていない。これらの起源を探るには、 r -過程元素のユーロピウムやトリウムの量が宇宙の進化とともにどう変化したかを調べる必要がある。トリウムの検出には 4019 Å の吸収線が主に使われているが、やや金属の多い星では炭素などの吸収線と混ざり、検出が難しい。一方 5989 Å の吸収線は弱い、他の元素の吸収線が周りに少ないとの報告もある (Aoki et al., 2007)。

本研究では、西はりま天文台の 2 m なゆた望遠鏡と可視光分光装置 MALLS のエシェルモード (波長分解能 ≈ 35000 , 波長域 4960–6800 Å) を用いて 5989 Å の吸収線から $[\text{Fe}/\text{H}] \gtrsim -1.5$ の星でトリウム組成が得られるか調査し、検証した。 $[\text{Fe}/\text{H}] \sim 0, -0.5, -1.5$ の星を分光観測し、また、SMOKA よりすばる望遠鏡高分散分光器 HDS のアーカイブデータも取得して 5989 Å の吸収線でトリウム組成を得た。MALLS では $[\text{Fe}/\text{H}] \approx -0.5$ の星で組成を決定できたが、 $[\text{Fe}/\text{H}] \sim 0$ の星ではチタンの吸収線と混ざり、また $[\text{Fe}/\text{H}] \approx -1.5$ の星では吸収線が弱いために上限値のみが得られた。一方 HDS のスペクトルでは $[\text{Fe}/\text{H}] \approx -2$ の星でもトリウム組成を得ることができ、4019 Å の吸収線から得られた値と一致することも確認できた。Arcturus ($[\text{Fe}/\text{H}] \sim -0.5$) の HDS と MALLS のスペクトルから得られた値は一致した。このことから、MALLS では $0 < [\text{Fe}/\text{H}] < -1.5$ の星でトリウムを検出できるが、高い精度で組成を得るためにはより高い波長分解能の観測が必要である。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)[スケジュール \(全体\) に戻る](#)[講演者索引 TOP に戻る](#)

N15b ダスト過多な OH/IR 星に付随する H₂O メーザーを用いた VERA による年周視差計測

中川亜紀治, 池田奈央, 坂本直也, 渡邊良介 (鹿児島大学), 倉山智春 (帝京科学大学), 須藤広志 (岐阜大学), 国立天文台 VERA グループ

厚い星周ダストに覆われ、かつ長い周期を示す Asymptotic Giant Branch (AGB) 星に対する、メーザーを用いた位置天文 VLBI 観測について報告する。初期質量が 0.8–10 M_{\odot} の星は、進化末期の AGB 段階で様々な元素を外層からの星風で星間空間に還元し (質量放出)、銀河の化学組成にも大きく寄与する重要な天体である。質量放出率は $10^{-7} - 10^{-4} M_{\odot} \text{ yr}^{-1}$ の幅を持ち、中でも特に激しい質量放出は Super wind と呼ばれる。AGB 星は質量に応じて進化の様子も多彩であり、大質量の AGB 星は高光度の Super-AGB (Karambelkar et al. 2019) や、大きな質量放出率を持つ Extreme-OH/IR 星 (Justtanont et al. 2015) などとしても知られる。AGB 星はまた、変光周期が長いと質量も大きいと考えられている。例えば Feast (2009) によると周期 1000 日の AGB 星は質量が 3–4 M_{\odot} と考えられる。これらの大質量かつ長周期の AGB 星は、より低質量で短周期の典型的 Mira 型変光星に比べ星周ダストが厚いので、可視光では暗く赤外線領域での放射が卓越する。その結果、Gaia による可視光位置天文観測は困難となり、メーザーによる VLBI が唯一のミリ秒角位置天文観測の手段となる。そこで我々のグループでは、ダスト過多と考えられる周期の長い AGB 星を対象にした VLBI 観測を行っている。これまでの H₂O メーザー (22GHz) を用いた観測から、AW Tau (Mira 型変光星, 周期 672 日) と OH39.7+1.5 (OH/IR 星, 周期 1360 日) について、年周視差の予備的結果がそれぞれ 0.45 ± 0.03 mas および 0.54 ± 0.03 mas と得られている。同時に得られる固有運動の計測結果や、SiO メーザー (43GHz) 位置天文観測の状況なども報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

N16c 赤色超巨星をトレーサーとした系外銀河の化学組成研究に向けて—太陽近傍天体を用いた解析手法の試験

谷口大輔, 松永典之, 小林尚人, Mingjie Jian, Brian Thorsbro, 近藤荘平, 鮫島寛明 (東京大学), 福江慧 (滋賀医科大学), 池田優二, 河北秀世 (京都産業大学), 濱野哲史, 安井千香子 (国立天文台)

銀河の進化を探る上での手がかりの一つが、銀河を構成する個々の星の化学組成である。これまでのセフィイド型変光星や散開星団中の恒星などの高分散分光観測により、天の川銀河に関しては恒星の化学組成の空間分布が詳細に理解されてきた (Luck ら 2019, Donor ら 2020 など)。これに対して、系外銀河の恒星は一般に暗いため高分散分光観測が難しく、化学組成の測定があまり進んでいない。

この状況を打破するために近年注目されている恒星種族の一つとして、赤色超巨星が挙げられる。赤色超巨星は太陽の約 9 倍以上の初期質量を持つ大質量星が進化した姿で、とても明るく ($>10^4 L_{\odot}$)、とても若い (<50 Myr) という特徴を持つ (Ekström ら 2012)。このため、赤色超巨星は近年の高感度分光器を用いれば例えば M31 の距離にあっても高分散分光が可能であり、銀河の若い恒星の化学組成を調べるための絶好のターゲットである。

しかし、赤色超巨星のスペクトルは分子吸収線が支配的で、他の種類の恒星に対してしばしば用いられる可視光分光での原子吸収線を用いた組成解析が困難であった。そこで我々は、分子吸収線の影響が最も弱い波長帯である近赤外線 YJ バンド (0.97–1.32 μm) の高分散スペクトルを用いることで、赤色超巨星の組成解析法の確立に取り組んでいる (Taniguchi ら 2021 など)。我々は本手法の試験のために、WINERED 分光器で観測した太陽近傍に位置する 10 天体のスペクトルを解析し、Fe や Si などの化学組成を得た。本講演では、我々が開発した赤色超巨星の組成解析法を紹介するとともに、得られた化学組成の正確さに関して議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

N17c アクシオンを考慮した重力崩壊型超新星爆発の親星依存性

高田 剣, 森 寛治, 中村 航, 固武 慶 (福岡大学)

ダークマターの候補である未発見の素粒子アクシオン (Axion-Like Particles; ALPs) の発見は、宇宙天体物理学に多大な影響を与えられていると考えられている。ALPs の効果が検討されている天体現象の一つとして、重力崩壊型超新星がある。重力崩壊型超新星とは、大質量星が進化の最終段階に引き起こす爆発現象である。鉄コアの重力崩壊によって降着した物質が中心の高密度領域に衝突すると、跳ね返されて衝撃波が生じるとともに、中心領域でニュートリノが発生する。そのニュートリノが衝撃波背面を加熱することにより、衝撃波を後押しして爆発に転じるというメカニズムが有力視されている。しかし、詳細な物理過程を考慮した空間 1 次元シミュレーションで超新星爆発を再現することに成功した例は、非常に軽い親星など特別な場合に限られる。

最近の論文 (Mori et al. 2022, PRD, 105, 063009) では、超新星内で ALPs が生成された場合の効果が調査されている。その結果、質量 100 MeV 程度の ALPs が超新星内部で生成され、衝撃波の復活を引き起こす可能性があることが明らかになった。一方、Mori et al. (2022) では親星の質量を 20 太陽質量に固定して ALPs の効果が調べられた。しかし、中性子星の質量分布のようなより多様な観測可能量を予言するためには、より多くの親星モデルに対して同様の調査を実施する必要がある。

そこで本研究では、Mori et al. (2022) で開発された ALPs を考慮した超新星爆発コードを使用し、1 次元数値シミュレーションを実行した。特に親星依存性を調査するため、11.2、15、25 太陽質量の 3 つのモデルに対して計算を行った。ALPs が超新星爆発内部の流体運動やその後に残される中性子星の質量にどのように影響するかを解析し、親星質量への依存性を議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

N18a 超新星爆発の初期放射で探る爆発直前の大質量星の姿

村井結太, 田中雅臣 (東北大学), 守屋 堯 (国立天文台), 富永望 (国立天文台), 諸隈智貴 (千葉工業大学), Tomo-e Gozen コラボレーション

重力崩壊型超新星爆発は、星の進化の最後に大質量星のコアが重力崩壊することで爆発すると考えられている。超新星爆発直後の数日の明るさは主に爆発した星の性質で決まるが、放射のタイムスケールが短いため観測データを得ることが難しく、星の半径や星周環境などといった爆発直前の星の姿は未だよく理解されていない。

近年は観測技術の向上などによって爆発直後のデータが取られるようになってきており、爆発直前の星の姿について研究が進められている。例えば Förster et al. 2018 では、CTIO 4m Blanco 望遠鏡の DECam を用いた測光観測によって、爆発直前の星に大規模な質量放出による高密度星周物質が存在することが示唆されている。しかし、対象天体は遠方の超新星爆発だったため、多くの天体で分光的な分類はなされていなかった。

そこで本研究では、分光データが存在する近傍の 5 つの II 型超新星爆発について、東京大学木曾観測所 105cm シュミット望遠鏡の Tomo-e Gozen Camera で取得した爆発初期の観測データと先行研究で使われていた理論モデル (Moriya et al. 2018) を用いて爆発直前の星の質量放出率の推定を行った。観測された光度曲線と理論モデルを網羅的に比較した結果、爆発直前の質量放出率が $10^{-5} - 10^{-3} M_{\odot}/\text{yr}$ と推定された。この質量放出率は典型的な赤色超巨星の質量放出率より大きく、先行研究と同様に爆発直前の星に高密度星周物質が存在することが確認された。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

N19a 超新星残骸観測で探る大質量星の後期進化における物質混合

佐藤寿紀 (立教大)、梅田秀之 (東京大)、吉田敬 (京都大)

恒星進化中の対流などによる物質混合は、星の内部構造を決定する上で基礎的な物理プロセスである。対流層と放射層の境界では、対流で運ばれたガスは加速度を持たないが運動を続けているため、その境界からの対流運動のみだしである「オーバーシュート」の存在が考えられている。一方で、このプロセスでどの程度の混合が起きているかを理論計算のみで決定するのは困難である。星の観測からは、水素やヘリウム燃焼時のオーバーシュートの制限が付けられているものの、炭素燃焼以降は星の光度や温度、外層の組成への影響が少ないため観測的な制限がない。そこで我々は、超新星残骸内に存在する、恒星時代の情報を保ったまま拡散されたと考えられるイジェクタ構造に着目して、この後期進化中のオーバーシュートに観測的な制限が与えられないかと考えた。

本研究では、重力崩壊型の超新星の残骸として知られる G292.0+1.8 という天体の酸素・ネオン・マグネシウムが豊富なイジェクタ構造に着目する。これらの元素の大部分は、爆発的元素合成ではなく恒星内部の O/Ne 層で生成され、かつ、炭素燃焼領域に隣接するため、オーバーシュートの影響を受けた場合には内部の元素組成が変化する (Davis+19, Yoshida+19 など)。特に、この後期のオーバーシュートによって、内側から O/Ne 層へ Si が豊富な物質が供給され、Ne と Si の存在量が反転し、O/Si 層になることが予測されていた。一方で、Chandra 衛星によるこの天体の観測では、 $\text{Si/O} \lesssim 10^{-2}$ 、 $\text{Ne/O} \gtrsim 10^{-1}$ 程度の O/Ne 層由来と考えられるイジェクタが複数領域で発見され、後期進化のオーバーシュートの影響は、非常に小さい ($f_{\text{ov}} < 0.002$) と考えられる。この天体の他にも系内のカシオペア座 A や SMC に位置する E0102-72.3 などでも同様なアプローチが可能のため、今後、異なる親星や初期金属量などの影響も議論できる可能性がある。将来の精密 X 線分光の展望も含め、議論したい。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

N20a 差動回転の効果を加味した低質量星の自転進化モデルの検証

徳野鷹人 (東大理)、鈴木建 (東大総合文化/理)、庄田宗人 (東大理)

磁気駆動恒星風の角運動量輸送により、主系列段階にある低質量星の自転速度は時間と共に遅くなる事が分かっている。恒星の自転進化は理論モデルと数値計算によって活発に研究されており、既存の剛体回転を仮定した理論モデルでも観測で示された自転進化の性質をおおよそ説明できる。しかし先行研究により、(1) 恒星観測を外挿して得られた太陽風のトルクは人工衛星の直接観測によって得られた太陽風のトルクの測定値よりも約 2 倍大きい、(2) 太陽の自転速度より遅い恒星の自転速度減少率が理論モデルよりはるかに小さい、という 2 つの問題点が提示されている。これらの矛盾を解消する為に、新たな効果を加えた様々なモデルが考案されている。

一方で、既存の理論モデルにおける剛体回転という仮定は必ずしも正当でない事が観測と理論双方から示唆されている。恒星表面の振動を観測して内部構造を探る学問である星震学の手法によってケプラー等の宇宙望遠鏡による長期間かつ高精度の測光観測を解析したところ、非常に強い太陽型差動回転 (赤道が極より速い差動回転) を示す恒星は珍しくないという事が示されている。また MHD シミュレーションによれば、太陽の自転速度より遅い恒星では反太陽型差動回転 (赤道が極より遅い差動回転) を示す事が明らかになっている。

以上を踏まえ、当研究では差動回転を加味した恒星の自転進化について簡単なモデルを考案し、その性質を考察した。このモデルに基づいた計算から、(1) 太陽が非常に強い太陽型差動回転を持っていたとする場合に太陽風のトルクに関する矛盾は解消できる事、(2) 太陽型差動回転から反太陽型差動回転への遷移により太陽年齢付近を過ぎると恒星の自転速度減少率が小さくなる事が示された。これらの結果は、差動回転による効果が恒星の自転進化理論を大きく進展させる可能性がある事を示唆している。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

N21a 恒星風を伴う低質量星への Hoyle-Lyttleton 降着

田中周太, 田中一詳 (青山学院大学)

宇宙初期に太陽質量程度の低質量初代星が誕生したとすると、そのような星は現在でも金属量ゼロの星として我々の銀河系内でも見つかる期待されている。しかしゼロ金属星は未発見で、低質量初代星に化学進化した星間物質が降着し、星表面を金属汚染する可能性が指摘されている。我々は過去の研究で、低質量初代星の星間物質による金属汚染について星風の効果を調べ、恒星磁気圏の形成が金属汚染を防ぐことを示した。本研究では三次元流体計算で恒星風と星間降着流の相互作用について調べた。恒星風と星間降着流の作る定常構造は本質的に多次元であり、恒星圏の形状などはこれまで近似的な取り扱いしかされていない。今回は星間降着流の密度や温度に対応して、恒星磁気圏が作る順行衝撃波、逆行衝撃波、接触不連続面の形状や厚みに関して数値計算の結果を示す。恒星圏の作る弧状衝撃波の解析解の見積もりとの比較を議論すると共に、低質量初代星が恒星圏を作る条件について考察する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)[スケジュール \(全体\) に戻る](#)[講演者索引 TOP に戻る](#)N22a μ Cep からの磁気駆動風

保田悠紀 (北海道大学)、鈴木建 (東京大学)、小笹隆司 (北海道大学)

赤色超巨星段階の質量放出は超新星爆発時の水素外層の有無に影響する。例えば、初期質量 $25M_{\odot}$ の場合、経験式 (de Jager et al. 1988; \dot{M}_{dJ88}) に従うと、質量放出率 \dot{M} は光度と共に増大し、水素外層が失われ星は青くなる。一方 Beasor et al. (2020) は赤外超過に基づき $25M_{\odot}$ の赤色超巨星の \dot{M}_{IR} を \dot{M}_{dJ88} より 1 桁以上低く見積もった。その場合、星は赤いまま超新星となる。しかし \dot{M}_{IR} はダストの凝縮度 f_{cond} に反比例し、 f_{cond} が低い場合過小評価となる。星周ガスから \dot{M} を決める (\dot{M}_{gas}) ことが望まれるが近傍の星に限定される。

μ Cep は距離を 870pc とすると光度が $3 \times 10^5 L_{\odot}$ 、質量が $25M_{\odot}$ 程の最も近くにある赤色極超巨星である (Levesque et al. 2005; de Wit et al. 2008)。また \dot{M}_{gas} が IRAS $60\mu\text{m}$ flux に基いた $\dot{M}_{60\mu\text{m}}$ (Jura and Kleinmann 1990) より大きい (Mauron and Josselin 2011)。従って、 f_{cond} も高くないと予想される。一方で表面磁場 ($\sim 1\text{G}$; Tessore et al. 2017) の存在が報告されており、磁気駆動風が生成すると予想される。そこで今回我々は乱流圧を考慮した MHD モデルを μ Cep に適用し、高光度な赤色超巨星の星風特性 ($\dot{M} = (1-5) \times 10^{-6} M_{\odot} \text{ yr}^{-1}$ 、ガス速度 $v_{\text{gas}} = 25-43 \text{ km s}^{-1}$; e.g., Montagès et al. 2019) の再現可能性を調べ、以下のことを明らかにした。

(1" 以内の) 中心領域の星風の再現には前回同様に磁束管の急激な拡張を防ぐ上で ($0.1R_{*}$ 程の) 圧力スケールハイトの増大が必要である。要求される乱流速度 v_{turb} は $25M_{\odot}$ かつ表面重力 $\log g = -0.36$ の場合で 13 km s^{-1} である。その上でガス速度 v_{gas} の値は星表面での擾乱速度 δv に強く依存し、観測結果を再現する上で 8 km s^{-1} 程の δv が必要である。本講演ではこれらの計算結果を示し、その上で α Ori の場合と比較し、星風特性の質量 (光度) 依存性を議論する。また近傍の赤色極超巨星の間での質量放出率の違いの原因についても考察する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)[スケジュール \(全体\) に戻る](#)[講演者索引 TOP に戻る](#)

N23a 星震学的解析を用いた太陽型星全球熱対流計算の検証

八田良樹 (名古屋大学), 堀田英之 (千葉大学), 草野完也 (名古屋大学)

太陽型星ダイナモ機構においては内部差動回転が大きな役割を担っていると考えられているため、その理解が重要である。特に近年は、恒星振動現象の観測に基づいた内部探査 (星震学) の飛躍的な発展により、例えば、有意な緯度方向差動回転を示す太陽型星などが見つかっている (Benomar et al. 2018, 以下 B18)。B18 は、いくつかの太陽型星は「太陽の場合と比べて数倍強い緯度方向差動回転を示していること」も報告しており、ダイナモ機構・角運動量輸送機構の観点から興味深い結果と言える。本研究では、B18 の結果を用い、さまざまな自転周期を持つ太陽型星を対象とした熱対流計算の星震学的検証を行った。具体的には、熱対流計算の結果得られる二次元的内部自転角速度 (Hotta and Kusano 2021, 以下 HK21) を元に順問題的に「自転による周波数分裂」を計算し、B18 が観測的結果として得た「周波数分裂」と比較した。比較の結果、B18 の観測的結果と HK21 に基づく理論計算との間に大きな矛盾が見出されることが分かった。その一方で、従来の流体数値計算 (磁場なし) から予想されていたような、自転周期が遅い星に見出される「反太陽型差動回転 (極の方が速く赤道の方が遅い回転)」は、B18 の観測的結果とあまり相容れないことも分かった。特に二つ目の結果は、太陽型星内部における角運動量輸送では磁場が決して小さくない役割を果たしていることを示唆しているため、意義深い結果と言える。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

N24a 大規模シミュレーションで解明した「反太陽型の差動回転は存在しない」可能性

堀田英之 (千葉大学), 八田良樹, 草野完也 (名古屋大学)

太陽型星の内部熱対流・磁場についての大規模シミュレーションを実施し、太陽型星では反太陽型の差動回転は存在しないことを明らかにした。よく知られているように、太陽は緯度毎に異なる自転周期を持つ差動回転をしており、赤道が速く、極地方は遅く自転している。数値シミュレーションを用いてこの太陽の差動回転を実現することは長らく困難であったが、富岳を用いた我々の大規模シミュレーションによってその維持の物理機構が明らかになった (Hotta & Kusano, 2021, Nature Astronomy)。この赤道の自転が速く極が遅いという構造 (太陽型) は一般に速い自転を持つ星で実現されると考えられており、太陽程度よりも自転の遅い恒星では極が速く赤道が遅いという「反太陽型」の構造を持つと理論的に予想されている。一方、星震学などを用いた観測研究では反太陽型の差動回転の検出には成功していない上に、理論的には反太陽型が予想されるパラメタで太陽型差動回転が確かめられていたり理論と観測の乖離を生んでいる。

我々は、富岳を用いた超高解像度計算を自転の遅い太陽型星に適用し、その差動回転の自転速度に対する依存性を調査した。その結果、従来の低解像度計算では反太陽型になるパラメタでも我々の達成した超高解像度では常に太陽型の差動回転になることを発見した。低解像度計算では、コリオリ力で太陽型の差動回転を実現するのに対して、今回の計算では、磁場の力を用いて太陽型を実現しており速い自転は必要なくなっている。今回の発見により、宇宙には反太陽型の差動回転を持つ太陽型単独星は存在しないということが強く示唆される。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

N25a 太陽型星の自転に伴う光度変動の振幅と自転周期・年齢の関係

増田賢人 (大阪大学)

Kepler 探査機の測光データから自転に伴う周期的な光度変動を検出することで、数万の太陽型星について最長数ヶ月に達する自転周期が導出されている。このような一様かつ巨大なサンプルは恒星の自転進化の統計的研究に有用であり、観測された分布と自転進化モデルの比較によるモデルの検証・改善が試みられている (e.g., van Saders et al. 2019, David et al. 2022)。一方で、自転に伴う光度変動は観測された恒星の半数以下でしか検出されていないため、観測された分布 (特に活動性が低下する長周期側) の特徴を解釈するには検出バイアスの理解が必須である。しかし、観測された周期分布に検出バイアスが及ぼす具体的な影響は明らかにされていなかった。

そこで本研究では、*Kepler* 探査機データから作成された太陽型星の自転周期カタログ (McQuillan et al. 2014, Mazeh et al. 2015) を用いて、自転に伴う光度変動の振幅 R やその検出率 f が、恒星の自転周期 P や年齢の関数としてどのように変化するかを調べた。その結果、(i) 検出された振幅 R の分布の下端は恒星の実視等級で定まる測光ノイズとともにスケールしていること、(ii) サンプル中の恒星の R は、 P を恒星質量に依存する convective turnover time τ でスケールしたロスビー数 $Ro = P/\tau$ でほぼ一意に決まり、 $0.4 \lesssim Ro/Ro_{\odot} \lesssim 0.8$ の領域では $R \sim Ro^{-4.5}$ で P とともに急減することを示した。(i), (ii) から予測される検出可能な最大のロスビー数 Ro_{edge} は等級に依存して $0.6-1 Ro_{\odot}$ 付近になると予想され、これは実際に恒星質量の関数として検出された P の上限付近に位置する。つまり、「光度変動は若く活動性が高い恒星でのみ検出されており、観測された自転周期分布の上端は検出バイアスで決まっている」という単純な描像が示唆された。実際、isochrone を用いて恒星質量ごとに推定した f も Ro_{edge} に対応する年齢を境に $f \sim 1$ から $f \sim 0$ に急減しており、このような描像と整合的である。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)[スケジュール \(全体\) に戻る](#)[講演者索引 TOP に戻る](#)N26a $H\alpha$ 線の長期モニタリングによる τ Boo の磁気活動性

李尚姫, 佐藤文衛 (東京工業大学)

太陽型星において、恒星大気は磁場や恒星表面の活動領域によって引き起こされる様々な現象を表す。そのような恒星の磁気活動性は彩層吸収線から観測され、活動性周期など恒星の特性だけでなく惑星への影響まで調べることが可能である。巨大惑星を持つ恒星はその惑星との magnetic reconnection による活動性の変化が示唆されており、このような恒星-惑星間磁場相互作用は活動性の変動が惑星公転周期と同期化することにより探知できる。(Cunz et al. 2000; Shkolnik et al. 2003, 2005, 2008)

τ Boo は hot Jupiter を有する F 型主系列星であり、主に Ca II H&K 線 (3933, 3968Å) の観測からその活動性の挙動が報告されてきた。しかし活動性の位相シフトや惑星との相互作用を含めて未解明の点も多く、さらなる多波長観測が必要だと考えられる。

我々は HIDES/OAO を用いて τ Boo の $H\alpha$ 線 (6563Å) をおよそ 3 年間にわたって分光モニタ観測を行い、その強度の変化から 123 日周期を確認したので報告する。これは過去に報告された Ca II H&K 線観測での周期と一致しており (Mittag et al. 2017)、異なる深さの彩層での恒星活動性の挙動を確認した結果になる。また、先行研究から報告された直近の位相シフトが起こった以降 τ Boo の磁気活動性の同サイクルが変化なく続いていることを示唆する。

さらに、惑星公転や恒星自転による活動性の変動は見られなかったことより、 τ Boo の比較的短い磁気活動性サイクルは惑星との相互作用または rotational modulation によるものではないことが示唆される。この他、 $H\alpha$ 線の恒星活動性の短期モニタリングにおける挙動についても議論などを進めたい。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)[スケジュール \(全体\) に戻る](#)[講演者索引 TOP に戻る](#)

N27a F 型主系列星のコロナ放射の系統的解析と G 型星との観測的比較

三石郁之 (名古屋大学), 國友正信 (久留米大学), 高棹真介 (大阪大学), 田中佑希 (東北大学), 作田皓基 (名古屋大学)

恒星コロナや恒星風は惑星形成など周辺環境に大きな影響を与えるため、その理解は重要である。G・K 型星をはじめ晩期型星は、ダイナモ起源の磁場により数百万度にも加熱された高温プラズマ (コロナ) を、O・B 型星をはじめとする早期型星もまた、数 100 km/s 程度の恒星風によって生成される衝撃波により数百万度以上の高温プラズマを有する。そのため X 線観測はこれらの現象の理解に有用な手法となる。その中でいくつかの F 型星から観測的に X 線が検出されているものの、系統的分光解析例が少なく、観測的特徴が明らかにされていない。

そこで我々は F 型星の X 線の観測的特徴の理解を目指し、単独 F 型主系列星の X 線分光解析を実施した。本研究では、系統的な調査を実現するために、大規模な X 線源・恒星カタログのマッチングにより良質な 34 の解析天体を選定した。それらの分光解析において、多温度プラズマモデルを用いてフィッティングを実行した結果、33 天体に 1 温度、1 天体に 2 温度モデルが適用された。得られた物理量については、ベストフィット値でプラズマ温度 (kT) が 0.3-0.9 keV、放射量度 (EM) が $(0.1-8) \times 10^{52} \text{ cm}^{-3}$ 、X 線光度が $(0.1-9) \times 10^{29} \text{ erg/s}$ であった。その中でも kT -EM 関係において (1) $kT \lesssim 1 \text{ keV}$ 、(2) $EM \lesssim 10^{53} \text{ cm}^{-3}$ 、(3) 正の相関、という観測的特徴が見られ、これらは単独 G 型主系列星と類似していた。また、ロスビー数と X 線活動性の関係に負の相関があることや、その分布が晩期型星と類似していることも確認された。加えて、選定条件の拡張、新たな近傍星カタログを用いて選定された F 型主系列星サンプルを追加した結果、その観測的特徴のいくつかが単独星特有のものであることがわかった (Shimura et al., ApJ, submitted)。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

N28a 近赤外線スペクトル解析による金属欠乏星のケイ素・ストロンチウム組成

青木和光 (国立天文台), T.C. Beers (Univ. Notre Dame), 本田敏志 (兵庫県立大学), 石川裕之 (ABC), 松野允郁 (Univ. Groningen), V. Placco (NSF's NOIRLab), J. Yoon (STScI), IRD チーム

恒星のケイ素 (Si) とストロンチウム (Sr) 組成は、宇宙における元素合成や銀河の化学進化を解明するうえで有用であり、これまででも多数の観測・測定が行われてきた。しかし、金属量の低い星については、可視光領域で測定可能なスペクトル線が少なく、測定精度が限られている。この状況を改善するために、すばる望遠鏡 IRD で取得された金属欠乏星の近赤外線高分散スペクトルの解析を行い、この 2 元素の組成を決定した。Si については、 $-4.0 < [\text{Fe}/\text{H}] < -1.5$ の金属量領域にあり、過去に可視光スペクトルから鉄 (Fe) やマグネシウム (Mg) などの組成がよく決まっている 6 天体について解析を行い、最大で 26 本の吸収線を検出し、これまでにない精度で組成を決定することに成功した。6 天体のなかには 3 つの炭素過剰星も含まれるが、いずれも鉄組成よりも相対的に高い Si 組成が確認された ($[\text{Si}/\text{Fe}] > 0$)。その中では、金属量が相対的に高い ($[\text{Fe}/\text{H}] \sim -1.5$) 星については、より低金属の星に比べて Si 過剰が小さい。[Mg/Si] の値は、炭素過剰を示す 1 天体を除いて太陽値と一致しており、この結果はこの 2 元素が大質量星起源であると解釈できる。Sr については、4 天体で J バンドの三重線が検出され、いずれも組成決定に有用な弱い吸収線であり、400nm 付近の強い二重線に基づいて決められてきた従来の Sr 組成の測定精度を改善できる可能性が示された。今後、同様の近赤外線観測を多数の金属欠乏星に適用することで、この 2 元素についての組成比の分布や金属量依存性の解明を大きく進めることができることが確認された。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

N29a 明るい金属欠乏星の狭帯域測光探査および中分散分光追観測

岡田寛子 (甲南大学), 富永望 (国立天文台), 本田敏志, 古塚来未 (兵庫県立大学), 諸隈智貴 (千葉工業大学)

金属欠乏星は宇宙初期に誕生した太陽と比べ重元素の含有量が少ない星である。星の化学組成には形成当時の宇宙の化学組成の情報が記録されていると考えられ、金属欠乏星の化学組成を調べることは宇宙初期の化学進化を理解する上で重要である。しかし従来の探査観測で発見された金属欠乏星は暗く、多数の元素を高い精度で測定することは困難であった。そこで我々は、木曾シュミット望遠鏡の広視野 CMOS カメラ (Tomo-e Gozen) を用いて、北半球から観測可能な明るい金属欠乏星を網羅する探査観測を計画した。Tomo-e Gozen に星の金属量に感度のある狭帯域フィルタを搭載することで、観測領域に含まれる全天体の情報を得ることができる。

本研究は明るい金属欠乏星の探査手法を確立するため、Tomo-e Gozen による探査観測で選択した金属欠乏星候補について、なゆた望遠鏡/中低分散分光器 (MALLS) を用いて追観測を行った。さらに金属量既知の天体についても観測を行い、MALLS を用いた中分散分光によって金属量を見積もることが可能かどうかを検証した。天体の大気パラメータである有効温度および表面重力は測光値と Gaia で得られている天体までの距離から推計し、それらの値を用いた理論スペクトルと MALLS で取得した観測スペクトルとの比較を行うことで、金属量既知の天体の金属量を再現できることを確認した。また、同様の手法を用いて、金属欠乏星候補の金属量 $[Fe/H]$ および α 元素と鉄の組成比 $[\alpha/Fe]$ を見積もり、 $-2.0 < [Fe/H] < -1.75$ の低金属量星を新たに 4 天体同定した。本講演では、探査観測および追観測の結果を報告し、今後の展望についても述べる。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

N30a 回転する白色矮星の擬似的進化計算

小形美沙 (早稲田大学), 大川博督 (早稲田大学), 藤澤幸太郎 (東京大学), 安武信俊 (千葉工業大学), 山田章一 (早稲田大学)

恒星進化に残された重要な課題の1つとして回転の影響があり、その主要なものとして、高速回転する星では遠心力によって扁平な形状することが知られている。連星合体で形成された星や連星系内での質量輸送を受けた星は、角運動量保存の観点から、高速回転していることが予測されている。このような星の進化は、角度方向の分布が平均化されて導入されている、1次元球対称の恒星進化モデルで表されるようなものとは大きく異なることが考えられる。恒星進化では一般に、進化のタイムスケールと力学的なタイムスケールが大きく異なるため、力学平衡形状を求めた上でエネルギー方程式によって熱平衡状態を求め、その下での新たな力学平衡形状を求めることの繰り返しで進化の系列が得られるようになっていく。このように星の進化を多次元で追うためには、まず何よりも2次元での力学平衡形状を求める手法が不可欠である。さらに、進化計算に応用するための力学平衡形状の計算では Lagrange 的な定式化を行うことに注意が必要である。これにより、流体素片と共に変化する Lagrange 的な定式化を行うことで構造の式と輸送方程式の変数を簡単に関連づけることが可能となる。

本研究では、釣り合いの式を解くために広域収束性を持つ数値計算手法である W4 法を用い、Lagrange 座標上で2次元軸対称の高速回転星の平衡形状を求める計算を行った。高速回転によって球対称から大きく外れた構造が得られ、こういった平衡形状の系列として擬似的な白色矮星の進化計算の結果を紹介する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

N31a LAMOST/Subaru 望遠鏡によって発見された r プロセス過剰な金属欠乏星の化学組成

本田敏志 (兵庫県立大), 青木和光 (国立天文台), Haining Li (NAOC), 松野允郁 (グローニンゲン大), Qianfan Xing (NAOC)

金属欠乏星はその大気に銀河系形成初期における元素合成の結果を保持していると考えられ、銀河系の化学進化や元素の起源を探る上で重要な天体である。そのため、様々なサーベイ観測とフォローアップ観測が行われ、多数の星で詳細な組成パターンが得られている。重元素の半分を合成する r プロセスは、中性子星合体によって起こるとされているが、近年、銀河初期を反映すると考えられる $[\text{Fe}/\text{H}] = -3.5$ の r プロセス過剰な星 (r-II 星: $[\text{Eu}/\text{Fe}] > +1$) が発見されており (Yong et al. 2021)、特殊な超新星によっても起こることが示唆されている。我々は LAMOST による大規模な多天体分光サーベイによって発見された金属欠乏星のうち、 $[\text{Fe}/\text{H}] < -2$ と見積もられた約 400 天体をすばる/HDS で高分散分光観測を行い化学組成を得た (Aoki et al. 2022, Li et al. 2022)。この観測では r-II 星も複数発見でき、その中で、最も金属量の少ない J1109+0754 ($[\text{Fe}/\text{H}] = -3.4$) と、最も明るい J0040+2729 ($[\text{Fe}/\text{H}] = -2.7$) についてすばる HDS で追観測を行った。観測はトリウムを含む多数の中性子捕獲元素の吸収線が多数存在する 4000Å 付近の波長域とし、J0040+2729 については 3300Å 付近までを含む近紫外域の観測も行った。得られたスペクトルから、トリウムを含む多数の元素について組成を得ることができ、鉛やウランは上限値を得た。2 星とも組成パターンはトリウムを含めおおよそ太陽の r プロセスパターンに一致したが、軽い方の元素では一部外れるものも存在した。このような金属量の非常に少ない星での r プロセス元素の組成パターンは、銀河系形成初期における中性子星合体までの時間や超新星爆発によるモデルに制限を与えるものである。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

N32a 大質量星コアの単調性

高橋亘 (東北大学, Max Planck Institute for Gravitational Physics), 滝脇知也 (国立天文台), 吉田敬 (京都大学)

超新星爆発やコンパクト星連星系の親星である大質量星の性質を理解することは、恒星物理のみならず宇宙の化学進化と物質循環・銀河形成・星形成・宇宙線の起源などあらゆる天体現象を理解するための基礎として重要だ。「大質量星」のことが示唆するように恒星一般の性質は主に初期質量によって指定できると考えられている。しかし大質量星の終状態 (超新星爆発に成功し中性子星を残すか、或いは失敗しブラックホールを残すか) については事情が異なり、近年の理論研究はこの性質が初期質量とは単純な相関を示さないことを予測している。代わって提案されているのが大質量星コアの密度構造を反映する「コンパクトネスパラメーター」による終状態推定だが、この手法は確かに終状態をおおまかに予測できる一方、量そのものの物理的な解釈が難しくなぜ予測ができるのか理解がなされていない。そこで我々は恒星進化コード HOSHI を用いて大質量星コアを理想化した He 星の進化計算を行い、コアの性質がどのような相関を示すのか調査した。結果、崩壊直前のコアのもつ密度・温度・組成分布といった性質のみならず Ne 燃焼以降の寿命やその間の半径進化までもが同時に単調な系列に整列できることを発見した。また Müller et al. (2016) の準解析的手法を用いて崩壊後の進化を予測し、超新星爆発の爆発エネルギーや中性子星質量もまた同じ相関を示すことを予測した。この結果は、複雑に思える大質量星進化の結果であっても最終的な密度分布は結局一次元の自由度しか持たないことを意味しており、コンパクトネスパラメーターによる終状態予測の有効性の起源を明らかにできた。この相関は大質量星コアの性質を与える近似的手法開発に特に有用だと考えている。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

N33a RV Tau 型変光星 R Sct の SiO メーザー: 17 年後の再観測

山村 一誠 (JAXA 宇宙科学研究所)

RV Tau 型変光星は、変光曲線に弱い極小と強い極小が交互あるいは入り乱れて現れるのが特徴である。変光のメカニズムは、星の脈動や、不規則な質量放出による減光などが提案されているが、個々の星の性質は様々であり、その進化と変光の要因については完全に理解されていない。これらの星は一般的に post-AGB 星であると考えられている。また、少なくともその一部は連星系を構成し、長周期の変動や厚い星周ディスクからの強い赤外線放射が観測されている。

R Sct は、RV Tau 型変光星としては可視光で最も明るく、変光周期の長い天体である。我々は、赤外線天文衛星 ISO の短波長分光器 SWS によって得られた、R Sct の赤外線スペクトルの解析から、この星が AGB 期にある脈動変光星であるという可能性を指摘した (Matsuura et al., 2002, A&A 387, 1022)。2004 年 4 月と 2005 年 4 月に野辺山 45-m 電波望遠鏡で行った観測では、この星から SiO $J=1-0$, $v=1$ (43.122 GHz) および $J=2-1$, $v=1$ (86.243 GHz) 遷移の強いメーザー輝線を検出し、この星の周囲に、脈動によって形成されたと考えられる、厚い「大気外層」が存在することを確認した (日本天文学会 2004 年秋季年会 N23a)。

17 年の時を経た 2022 年 3 月に、われわれは再び R Sct からの SiO メーザー観測を試みた。これは、長期にわたって大気外層が安定して存在していることを確認し、この星の進化段階に関する理解を深めることを目的とした。しかし、予想に反して、今回 SiO メーザーは検出されなかった。本講演では、R Sct の SiO メーザーの変動について、恒星進化およびメーザー励起機構の両面から考察した結果について発表する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)[スケジュール \(全体\) に戻る](#)[講演者索引 TOP に戻る](#)

N34a 銀河面からの軟 X 線背景放射 (9)

安福千貴, 作田皓基, 三石郁之 (名古屋大学), Philip Kaaret (University of Iowa), Daniel LaRocca (Penn State University), Lorella Angelini (NASA/GSFC)

軟 X 線 ($\lesssim 1$ keV) 背景放射成分に対して、銀河面中性物質の吸収による X 線強度の減衰が予想より小さいことから、銀河面特有の放射成分の存在が示唆された (McCammon & Sanders 1997)。その後、すざく衛星を用いた軟 X 線分光解析により、銀河面 14 領域にてその全てから温度 1 keV 程度の未知の熱的超過成分が検出された (三石他 2013 年秋季年会)。また超過成分に対する点源の寄与を調べるため、XMM-Newton 衛星による観測時間 60 ks 以上の 34 領域で、視野内点源を足し合わせた分光解析が行われた。結果、全領域で温度 0.9 keV 程度とほぼ一様な熱的超過成分が確認され、点源、特に晩期型星の寄与が明らかになった (三石他 2019 年秋季年会)。

先行研究に対して我々は、軟 X 線全天観測超小型衛星 HaloSat (Kaaret et al., 2020) の銀河面観測データに着目し、点源解析結果と合わせ、超過成分の起源解明を目指している。これまでシンプルなモデルとして LHB / CXB 成分に加え、吸収のない熱的プラズマモデルで分光解析を行い、熱的超過成分が検出されている (安福他 2022 年春季年会他)。そこで、まずは HaloSat 視野内の恒星の寄与を定量化するべく、近赤外線点源カタログ 2MASS PSC および X 線源カタログ 4XMM-DR11 のマッチングを行い、領域内の合計 Flux を見積もった。結果、それぞれの観測視野で規格化して比較した X 線 Flux $< 3 \times 10^{-13}$ erg cm⁻² s⁻¹ の天体による仮想的な寄与は 64 – 180% となり、広領域に対しても恒星の寄与が無視できないことが分かった。ただし、この見積もりには明るい X 線源を多く含むアーカイブデータの利用に伴う観測バイアスを考慮する必要がある。本講演では、検出された星の種族や個々の分光特性などの詳細を報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)[スケジュール \(全体\) に戻る](#)[講演者索引 TOP に戻る](#)

N35a WR140 の X 線分光解析による衝撃波プラズマの物理状態の解明

宮本 明日香 (都立大), 菅原 泰晴, 前田 良知, 石田 学 (宇宙研), 濱口 健二 (NASA/UMBC)

Wolf-Rayet (WR) 140 は WC7pd 型の WR 星と O5.5fc 型の O 型星による大質量連星系である。大質量連星系では、一般に大きな質量損失を伴う高速の星風が両星から放出され、その衝突による衝撃波で加熱された高温プラズマが観測されている。WR140 では両星から 3000 km s^{-1} ほどの高速の星風が放出されており、その衝突により、O 型星を包み込むように広がるコーン状の衝撃波から温度 0.1-4 keV ほどの高温プラズマが観測されている (Sugawara et al. 2015)。

我々は、XMM-Newton 衛星が WR140 の軌道一周に及ぶ 2008 年 5 月から 2016 年 6 月までに観測した Reflection Grating Spectrometer (RGS) のデータを解析している。これまでの X 線分光解析により (1) He-like, H-like に電離した O, Ne, Mg 等の $K\alpha$ 線を検出し、最も強い Ne の輝線について、(2) H-like と He-like の $K\alpha$ 線の強度比から輝線放射領域における温度を導出し、(3) He-like triplet の強度比を用いることで輝線放射領域の密度を導出した。また、(4) 2 つの星からの星風の動圧のつり合いを解くことで衝撃波のコーン状の形状を計算し、Ne 輝線の視線速度及び速度分散を用いて、Ne 輝線放射領域の衝撃波面上での場所を特定した (日本天文学会 2021 年秋季年会及び Miyamoto et al. 2022 MNRAS)。本発表では、上記の解析手法を O- $K\alpha$ 線、Fe-L α 線にも適用し、コーン状の衝撃波面に沿ったプラズマ物理量のプロファイルとして描写・議論し報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)[スケジュール \(全体\) に戻る](#)[講演者索引 TOP に戻る](#)N36a WR125 の中間赤外線スペクトルにおける幅広い $8\mu\text{m}$ 未同定赤外バンドの検出遠藤 いずみ¹, Ryan M. Lau², 左近 樹¹, 尾中 敬^{3,1}, Peredur M. Williams⁴, Victor I. Shenavrin⁵ (1: 東京大学, 2: ISAS/JAXA, 3: 明星大学, 4: University of Edinburgh, 5: Moscow State University)

大質量星の終焉期の姿である Wolf-Rayet (WR) 星のうち、炭素に富む WC 型星と O/B 型星の連星系は、恒星風の衝突によりダスト形成を引き起こすことが知られている。これまで、未同定赤外バンドの担い手である、星間有機物の主な供給源は AGB 星だと考えられてきた。しかし、近年の観測研究により、ダスト形成を引き起こす WR 星の赤外スペクトルのいくつかに、未同定赤外バンドが検出されることがわかった。大質量星が WR 星に進化するまでの時間は、中小質量星が AGB 星に進化するまでの時間より短い。そのため、WR 星は初期宇宙における有機物の供給源となる可能性があり、中間赤外線分光観測によって、その周囲で形成される有機物の性質を調べるのが重要である。

我々は WR 星周囲の有機物の性質を調べるために、2019 年 10 月にすばる望遠鏡中間赤外装置 COMICS を用いて、WR125 の N,Q バンドの測光および N-band 低分散 (NL) 分光観測を行なった。WR125 は約 28 年の周期をもつ WC7+O9 の連星系で、直近では 2020-2021 年の近日点通過に向けた赤外放射の増光が報告されている。今回取得された WR125 のスペクトルでは、 $8 \mu\text{m}$ 付近に幅の広い未同定赤外バンドが検出された。さらに我々は、ISO/SWS で取得された 5 つの WR 星のアーカイブスペクトルを、WR125 と同じ手法で再分析し、それら全てのスペクトルに $8\mu\text{m}$ 付近に同様の幅の広いバンド構造が見られることを見出した。本講演では、これらの結果に基づき、WR125 をはじめとする終焉期の大質量星が生み出す有機物の塵の放射について議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)[スケジュール \(全体\) に戻る](#)[講演者索引 TOP に戻る](#)

P101a 星団形成領域 GGD12-15 の観測

下井倉ともみ(大妻女子大学)、土橋一仁(東京学芸大学)、平野尚美(台湾中央研究院天文及天文物理研究所)、中村文隆、廣田朋也、谷口琴美(国立天文台)、島尻芳人(九州共立大)、松本倫明(法政大学)

銀河系内には星団領域が多数存在するが、そのような領域でどのように星が誕生するのかはまだ明らかではない。この解明のため、我々は、活発な星団形成が報告されている GGD12-15 領域をターゲットとして選び、野辺山 45m 鏡と JCMT を用いて CO 分子輝線を主とする観測を実行した。観測の結果、領域内に直径 $\sim 2\text{pc}$ 、質量 $\sim 2800M_{\odot}$ のクランプを検出し、さらにその内部に直径 $\sim 0.3\text{pc}$ 、質量 $\sim 500M_{\odot}$ の楕円状の構造をもつ分子雲コアを検出した。このコアには 100 個程度の原始星候補天体が分布する。その中心には原始星 IRS 9Mc が位置し、クランプ全体に広がる大規模なアウトフローが観測された。アウトフローは、楕円状構造のコアの短軸方向へ吹き出している。

次に、 $\text{C}^{18}\text{O}(J=3-2)$ 輝線を用いて分子雲コアのガスの運動を調査した結果、位置-速度 (PV) 図上にて 2 つの特徴を見出した。1 つは、分子雲コアの短軸に対して作成した PV 図 (=アウトフローの流出方向に沿った PV 図) に見られるもので、アウトフローとは逆向きの速度勾配があることである。もう 1 つは、分子雲コアの長軸に対して作成した PV 図に見られるもので、分子雲コアの位置とその運動速度の中心を軸として、異なる速度をもつ 2 つの速度成分が対称的に位置することである。これらの特徴は、単一の星形成時の、原始星の周囲を取り巻くエンベロープガスが回転しながら落下する現象時に報告される。我々は、回転を伴い落下運動する楕円状分子雲の簡単なモデルを作り、観測結果と比較を行った。その結果、PV 図に見られる 2 つの特徴は、分子雲ガスが回転運動と落下運動がある場合にのみ再現されることが分かった。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P102a ALMA 望遠鏡で探る Monoceros R2 における大質量星形成

鈴木大誠, 南大晴, 小西亜侑, 北野尚弥, 藤田真司, 大西利和(大阪公立大学), 山田麟(名古屋大学), 徳田一起(九州大学/国立天文台), 西村淳(国立天文台)

大質量星の形成過程の理解は天文学の重要課題であるが、その解明には太陽系近傍では観測対象が限られるなどの複数の観測的困難が伴っている。本研究の対象である Monoceros R2 は太陽系から 830 pc に位置する最も近傍の大質量星形成領域の 1 つであり、大質量星原始星 IRS 1(星質量 $\sim 12M_{\odot}$) を中心に UC(ultra compact)H II 領域が存在していることから、星形成領域の初期段階を探る上で重要な領域である。単一鏡電波望遠鏡や Herschel の観測により IRS1 を中心に、数 pc 程度放射状に広がったハブフィラメントシステムが確認されており (e.g., Kumar+21)、大質量星形成に伴う普遍的な構造の一つとしても注目されている。

本講演では、IRS 1 を中心に $300'' \times 300''$ ($\sim 1\text{pc}$) の領域を $^{13}\text{CO}(J=1-0)$ 、 $\text{C}^{18}\text{O}(J=1-0)$ 、3mm 連続波等で観測された ALMA アーカイブデータ (2016.1.01144.S) の解析を紹介する。観測は 12m, 7m, TP(Total Power) array で行われ、すべてのデータを合成した際の角度分解能は $\sim 3''$ ($\sim 2000\text{au}$) であった。3mm 連続波と C^{18}O の分布を比較すると、中心部の電離領域が卓越した部分を除いて両者は概ね一致しており、分子雲の密度の高い成分を捉えていると見られる。IRS 1 付近を中心にフィラメント状分子雲が集合しており、スパイラルアーム状にカーブしているものも存在することから、全体として風車状の構造を形成している。これは反時計まわりの向きに赤方偏移する速度勾配を示しており、システム全体の回転を捉えている可能性が考えられる。また、速度線幅を観測領域全体と比較すると、中心部 (IRS 1 から 0.5 pc) が外側に対して 2.5 倍程度高くなっている傾向も見られた。これらの特徴より考えられる複雑なフィラメント系の物理的特徴および形成過程について議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P103a eQ NRO45 observations of the G358.93-0.03 high-mass star forming region

Ross Burns (NAOJ), Fumitaka Nakamura (NAOJ), Chau-Ching Chiong (ASIAA), Atsushi Nishimura (NRO), Kotomi Taniguchi, Ryohei Kawabe (NAOJ), Yasumasa Yamazaki, Sho Yoneyama, Sana Kawashita, Tsubasa Chiken, Shinpei Nishimoto, Chiaki Nosohara, Kakuyou Son, Ayu Konishi, Hideo Ogawa, Toshikazu Onishi (Osaka Metropolitan Univ), Yoshinori Yonekura (Ibaraki Univ.), Kazuhito Dobashi (Tokyo Gakugei Univ.), Tomomi Shimoikura (Otsuma Women's Univ.), eQ Team members

Recently, the eQ (extended Q-band [30-50 GHz]) receiver has been installed on the Nobeyama Radio Observatory 45 meter telescope (NRO45; see also contributions by F. Nakamura, Y Yamazaki). It's wide frequency coverage and low system temperature, combined with the large parabolic radio antenna of the NRO45, enables spectroscopic observations of molecular lines in astrophysical contexts to be conducted with high efficiency. As part of the science verification stage, the eQ+NRO45 system was used to map a region of high-mass star formation, G358.93-0.03, which is home to a high-mass protostar which in 2019 exhibited a rare accretion burst event. The high-mass protostar, G358-MM1, was deeply studied at high-resolution following the accretion burst, however, little is known about the wider (parsec scale) molecular environment and how this may relate to accretion burst occurrence. In this contribution we present early science verification data from on-the-fly mapping of the G358.93-0.03 high-mass star forming region using the eQ receiver on the NRO45.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P104a 低金属量大質量星形成領域 Sh2-209 における CO マッピング観測

泉奈都子 (ASIAA), 安井千香子, 齋藤正雄 (国立天文台), 徳田一起 (九州大学/国立天文台), 小林尚人 (東京大学), Patrick M. Koch (ASIAA)

Sh2-209 は銀河系内に位置する HII 領域であり、低金属量環境 ($[O/H] \sim -0.5$ dex) をもつことが知られている。太陽からの距離は約 2.5 kpc ($R_G \sim 10.3$ kpc)、そして約 1500 個もの YSO が存在する (星団質量 $\sim 1000 M_\odot$)、これまで報告されている銀河系内での低金属量星生成領域の中で唯一の大質量星形成領域という非常に注目すべき天体である (Yasui et al., 2022 submitted)。我々はこの星団の起源を探るため、2017 年に野辺山 45 m 望遠鏡の FOREST を用いた $^{12}\text{CO}(1-0)$, $^{13}\text{CO}(1-0)$, $\text{C}^{18}\text{O}(1-0)$ の 3 輝線同時マッピング観測を実施した。マッピング領域 ($10' \times 10'$) は約 7.3 pc \times 7.3 pc の領域をカバーし、空間分解能、速度分解能はそれぞれ 0.2 pc、0.25 km/s である。感度 (rms noise) は $^{12}\text{CO}(1-0)$, $^{13}\text{CO}(1-0)$, $\text{C}^{18}\text{O}(1-0)$ でそれぞれ 0.85, 0.38, 0.35 K (T_{mb} scale) となり、全ての輝線を検出した。

観測の結果、Sh2-209 に付随する分子雲は 2 つの異なる速度成分に分かれていることが明らかになった。速度差は約 5 km/s、そして柱密度と半径は 2 つの分子雲で共にそれぞれ約 $5 \times 10^{22} \text{ cm}^{-2}$ 、0.7 pc である。この 2 つの分子雲の間にはそれらを繋ぐブリッジ構造が検出され、これらの構造は Sh2-209 における星形成が 2 つの同程度の規模を持つ分子雲の超音速衝突によるものであることを示唆している。この示唆が正しければ、Sh2-209 は銀河系内における低金属量分子雲衝突を示す初の例であり、低金属量環境下における星形成プロセスを探る上で非常に興味深い。本発表は以上のことに併せてより詳細な観測結果や近赤外線等の他波長データとの比較結果も紹介し、Sh2-209 における星形成の詳細とその原因について議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P105a BISTRO Project Status (12)

古屋 玲¹, D. Arzoumanian², 犬塚 修一郎³, 井上 剛志⁴, 岩崎 一成², 尾中 敬⁵, 片岡 章雅², 川端 弘治⁶, 權 静美⁷, 楠根 貴成⁸, 斎藤 弘雄⁹, 島尻 芳人¹⁰, 新永 浩子¹¹, 瀬田 益道¹², 田村 元秀⁷, 塚本 祐介¹¹, 土井 靖生⁷, 富阪 幸治², 長田 哲也¹³, 中西 裕之¹¹, 中村 文隆², 長谷川 哲夫², 林 左絵子², Charles Hull², 表 泰秀², 松村 雅文¹⁴, BISTRO Consortium (¹徳島大, ²NAOJ, ³名大, ⁴甲南大, ⁵名星大, ⁶広島大, ⁷東大, ⁸名市大, ⁹筑波大, ¹⁰九州共立大, ¹¹鹿児島大, ¹²関学, ¹³京大, ¹⁴香川大)

BISTRO (B-field In STar forming Region Observations) は、東アジア天文台ジェームズ・クラーク・マクスウェル望遠鏡のサブミリ波偏波計を用いた研究プロジェクトである (2015 年発足, 翌年観測開始)。目的は、星形成における磁場の役割を深く理解することである。BISTRO はラージ・プログラムとして途切れなく採択され、日韓中台越英加愛の国と地域から 156 名の研究者が参加し、25 編の論文 (星形成領域ごとの第一世代論文 18 編, 物理を論じた第二世代論文 5 編, レビュー 2 編) を出版している。データ解析を続ける一方、小質量の星なし分子雲コアや赤外線暗黒星雲など、進化の初期段階や銀河系中心付近の広視野直線偏波撮像を進めている。

本講演では、春季年会 P109a(Hasegawa 他) からの差分を概観したのち、大質量星形成領域 DR 21 の結果を紹介する。(1) DR 21 における波長 850 μm での偏波率 $P \propto I^{-\alpha}$ (I は強度で柱密度を反映) の冪は、同様な領域での測定値に近いが、小質量星形成領域よりも“浅く”、輻射による塵整列が強く働いていることを示唆する。(2) 主フィラメントと磁場は概ね直交するが、サブフィラメントではランダムに近い。前者は磁氣的超臨界だが、後者はほぼ亞臨界とわかった (Tao-Chung Ching et al. submitted)。以上を踏まえ、領域をまたがった解析の方向性も論じる。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P106a 連星軌道の進化：磁場による多様な連星間距離を持つ連星系の形成過程

松本倫明 (法政大学), James Stone (IAS)

太陽型星の過半数は連星のメンバーとして形成し、連星の頻度は星の質量とともに増加することが知られている。すなわち、連星形成は星形成の主要なモードである。連星間距離や連星の質量比などの連星パラメータは、連星が形成するときに決定されると考えられている。さらに最近の Gaia 衛星のデータを用いた解析によると、連星の質量比の分布は連星間距離や星の質量にあまり依存せずに共通の分布を持つことが示されており、連星間距離や星の質量によらない共通の形成メカニズムの存在が示唆されている。

そこで本研究では、連星の質量と軌道が進化する質量降着期に着目して大規模な数値シミュレーションを実施し、連星パラメータの起源を調べた。質量降着期には磁場による角運動量輸送が重要な役割を果たすことを前回の年会 (2021 年春季年会) で報告した。そこで今回は連星の軌道が実際に進化する様子を計算して、連星の軌道進化における磁場の役割を調べた。

その結果、磁場が弱い場合に質量降着期に連星間距離が広がったが、磁場が強い場合には連星間距離が減少した。たとえば磁場が弱く、アルフヴェン速度が連星の軌道速度の 0.02 倍のときには、連星間距離は連星周期あたり ~10% 程度の割合で増加した。一方、磁場が強く、アルフヴェン速度が連星軌道速度と等しい場合、連星間距離は連星周期あたり ~1% の割合で減少した。この連星間距離が減少する割合はガスの温度に依存しなかった。連星間距離の減少は、磁場による角運動量輸送の結果である。この結果は、円盤分裂シナリオにおいて分裂片 (連星の種) が 10 – 100 au 程度離れている場合においても、その後の質量降着期に連星間距離が増加または減少して、ワイドな連星から近接連星まで多様な連星間距離を持つ連星系を形成できることを示している。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P107a ALMA fragmented source identification in OMC-2 north

Asako Sato (Kyushu University), Satoko Takahashi, Shun Ishii (JAO/NAOJ), Masahiro N. Machida (Kyushu University), John Carpenter (JAO/NRAO), Paul Ho (ASIAA/EAO), Paula Stella Teixeira (Univ. of St Andrews), Luis Zapata (IRyA/UNAM), Sumeyye Suri (University of Vienna)

The Orion Molecular Cloud 2 (OMC-2) region in the northern part of Orion A ($d = 400$ pc) is known as an embedded protocluster containing a large number of infrared sources (400 pc^{-2} ; Lada and Lada 2003). In OMC-2 region, fifteen young sources are clustering within three millimeter sources, FIR3, FIR4, and FIR5 (Chini et al. 1997, Farlan et al. 2016). Using the Atacama Large Millimeter/submillimeter Array (ALMA), we have performed mosaic observations toward FIR 3, 4, and 5, covering an area of $0.35 \text{ pc} \times 0.23 \text{ pc}$ ($\sim 2'.9 \times 1'.9$), in the 1.3 mm dust continuum, CO ($J=2-1$) line, and SiO ($J=5-4$) line emissions. We have achieved dust mass sensitivity of $\sim 3 \times 10^{-5} M_{\odot}$ at $T = 15\text{K}$. The angular resolution is three times higher than that in previous studies. Based on the continuum image, we identified 51 dust sources with the dust mass range of $4 \times 10^{-5} - 1 \times 10^{-2} M_{\odot}$. With the CO emission, we identified 12 outflows associated with the detected dust sources. In addition, within the embedded cluster, we detected SiO emissions originated from the shocked regions associated with and without outflows. Our results also show direct evidences of interaction between the FIR4 and an energetic outflow driven from the FIR3. In this talk, we discuss physical properties of identified dust sources, how identified molecular outflows interact with other cluster members, and how the interactions might affect the consequential star formation within the embedded cluster at their earliest evolutionary stage.

[スケジュール\(セッション毎\)に戻る](#)

[スケジュール\(全体\)に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P108a ALMA アーカイブデータを用いた太陽系近傍星形成領域における原始星アウトフローの統計的研究 (5) : Ophiucus 領域内における原始星周辺のガス構造

山崎駿, 所司歩夢, 佐藤亜紗子, 原田直人, 柳玉華, 町田正博 (九州大), 徳田一起 (九州大/国立天文台), 深谷直史, 西岡丈翔, 立原研悟 (名古屋大), 松下祐子 (国立天文台), 大西利和 (大阪公立大), 平野信吾 (東京大)

近年の理論/観測の進展により、分子雲コアを貫く磁場と回転軸の向きなどがアウトフローや原始星円盤の性質に影響を与えている (e.g., Hirano et al. 2020) ことや、原始星への非一様な質量降着の様子など星形成過程の多様性/複雑性が明らかになりつつある。我々はこれらの観測的理解を深めるため、太陽系近傍 4 つの星形成領域内の合計 100 天体を超える角度分解能 $\sim 0.''7$ の ALMA 1.3 mm 帯アーカイブデータ (2019.1.01792.S) の解析を行っている (山崎他 2021 年秋季年会)。本講演では、距離 ~ 130 pc の Ophiucus 領域に含まれる Class 0/I 候補天体 (合計 17 個) のアウトフロー/エンベロープ構造の解析結果を紹介する。視野内 (~ 5000 au) に 1.3 mm 帯の連続波源が 1 つのみ捉えられ、かつ $C^{18}O(J=2-1)$ 輝線が検出されたものは 13 天体であり、 $C^{18}O$ の空間構造が ^{12}CO アウトフローの軸に対して対称であったものは 2 天体のみであった。このうち、Oph-emb-1 の ^{12}CO のアウトフローの最大速度は $\sim 8 \text{ km s}^{-1}$ であり、 $C^{18}O$ の分布は ~ 650 au 程度の広がりであった。他方、Oph-emb-10 ではアウトフロー速度が小さく ($\sim 4 \text{ km s}^{-1}$)、長軸が ~ 1950 au 程度の大きな $C^{18}O$ エンベロープ構造が見られた。これはアウトフローの運動量と形成される星周構造の大きさには逆相関関係があるという理論予想と整合的である。また、その他の 11 天体は原始星から伸びるように分布するアーク構造を持つ。これらは分子雲コア内部の非一様なガスの運動やストリーマーと呼ばれる質量降着現象を捉えている可能性がある。

[スケジュール\(セッション毎\)に戻る](#)

[スケジュール\(全体\)に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P109a Multiple Asymmetric Infalling Filaments Discovered in a Class 0 Protostar

Yao-Lun Yang, RIKEN

Infall is a critical process in star formation. Protostars gain most of their mass while embedded within dense envelopes via gravitational collapse. Conventional theories of infall, such as the “inside-out” collapse, consists of an axisymmetric envelope whose kinematics governed by gravity and pressure support. This theoretical framework is rather simple despite that other theoretical studies include the effect of other physical processes, such as rotation. Hydrodynamical simulations, on the other hand, often show filamentary structures during the collapse at all scales from molecular clouds to protostars. While such filaments are ubiquitous detected at cloud scale, observations of the infalling streams connecting cores to protostars are challenging. Using ALMA, we find multiple filaments within 1000 au of a Class 0 protostar, BHR 71 IRS 1. These filaments show distinctive kinematics and morphology compared to the CO emission that traces the outflows, suggesting possible nature of infalling streamers. Furthermore, a ballistic infall model can reproduce the morphology of these filaments. In this presentation, I will discuss the morphology and kinematics of these filaments. I will also compare the kinematics of these filaments against the infall model constrained in a previous study using radiative transfer modeling. If these filaments are indeed infalling, BHR 71 IRS 1 would be the first protostars known to have multiple infall streamers within a few thousands au scale.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P110a Class I 低質量原始星天体 Elias 29 の円盤構造における落下運動の可能性

大屋瑠子, 山本智 (東京大学)

Elias 29 (WL 15) はへびつかい座にある低質量原始星天体である ($d = 137$ pc)。高い輝度温度 (391 K) から、比較的進化の進んだ Class I 天体と考えられている。以前に、ALMA による SO 分子輝線 ($J_N = 6_7 - 5_6$; 261.844 GHz) の観測で、原始星に集中した成分を検出した (Oya et al. 2019)。この成分は回転運動を示し、南北方向に伸びる回転円盤 (半径 100 au) として解釈できることを指摘した。原始星質量 $1.0 M_\odot$ と傾き角 65° (0° : face-on) を仮定したケプラー運動の円盤モデルは、観測された速度構造をよく再現した。

原始星に付随する円盤の速度構造は、必ずしも純粋なケプラー回転とは限らない。実際我々は、幾つかの Class 0/I 低質量原始星天体の円盤状構造 (回転・落下エンベロープガス) で観測された速度構造が、エネルギーと比角運動量の保存を仮定した弾道運動によって再現できることを報告してきた。そこで我々は、上記の観測データを再度詳細に解析することで、その円盤構造における落下運動成分の可能性を調べた。SO 分子輝線の観測結果と、ケプラー回転モデルおよび弾道軌道モデルを比較し、 χ^2 を計算することでそれらの一致度を評価した。その結果、いずれの速度構造を仮定したモデルでも、同程度に観測結果が説明されることがわかった。この観測データは円盤構造の長軸を 3 ビーム程度に分解するが、速度構造を判別するには、より高い解像度での観測が必要である。ケプラー回転円盤と回転・落下運動するエンベロープガスの成分を観測的に切り分けることは、原始星質量や円盤半径などのパラメータ推定に影響するだけでなく、原始星へのガス供給の理解のためにも不可欠である。Elias 29 のような比較的進化の進んだ Class I 天体では、ケプラー円盤がすでに形成されていることが期待される。そこへの新たな星間ガスの供給は、円盤の構造形成過程および物質組成進化の側面からも興味深い。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P111b 周期的な強度変動を示す 6.7GHz メタノールメーザーに対するなゆた望遠鏡を用いた近赤外線モニター観測 I

田辺義浩, 米倉覚則 (茨城大学), 土橋一仁, 荒川琉嘉 (東京学芸大学), 岩田悠平 (国立天文台), 杉山孝一郎 (タイ国立天文学研究所), 内山瑞穂 (宇宙航空研究開発機構), 高山正輝 (兵庫県立大学)

茨城大学では大質量星形成領域のみに付随する、6.7 GHz メタノールメーザー源約 450 天体のモニター観測を 2012 年から継続している。これまでの観測で強度が周期変動するメーザー源を既知の 25 天体に加えて、新たに 30 天体程度検出した。周期変動メカニズムの理論モデルは複数提唱されているが、これらのうち脈動変光モデル (Inayoshi et al. 2013) では大質量原始星の脈動に伴い周囲のダストがメーザー放射に適した温度に上昇・下降することでメーザーが増・減光する。よって中心星光度に同期したメーザー強度の増減光が見られると期待される。またメーザー変動の周期と中心星の光度に相関関係が成立することが示唆されており、この関係を観測的に確立できた場合には、現行の観測装置では直接観測が困難である大質量原始星表面における質量降着率を推定することができるかと期待されている。

そこで我々は周期変動を示すメーザー源のうち、2MASS 点源カタログにカウンターパートと思われる星が存在する 19 天体に対し、兵庫県立大学西はりま天文台なゆた望遠鏡に搭載された近赤外線撮像装置 NIC を用いたモニター観測を 2021 年 10 月より開始した。継続観測枠として採用され月 1 回から 2 回の頻度での観測を継続中である。1 天体あたりの総露光時間 50 秒-300 秒で観測を行い、これまでに 12 天体で検出に成功した。また複数回観測できた天体のうち 2 天体で変光を捉えた可能性がある。(本研究は、国立天文台大学間連携プロジェクト「国内 VLBI ネットワーク事業 (JVN)」, JSPS 科研費 JP21H01120、JP21H00032 の助成を受けた)

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P112b R CrA 領域における若い超低質量天体の近赤外分光観測

金井 昂大, 大朝由美子 (埼玉大学), 大出康平 (埼玉大学/星が丘中学校), 高木悠平 (国立天文台)

褐色矮星や惑星質量天体はその形成過程や普遍性など未解明な点が多い。これらの超低質量天体形成の環境による差異を探るため、我々は多様な環境を持つ近傍星形成領域 (e.g. S106, Serpens) においてこれらの天体の近赤外測光/分光探査観測を行なってきた。

本研究では中質量星形成領域である R CrA 領域 ($\sim 150pc$) に着目し、UKIRT/WFCAM を用いた深い近赤外測光観測 ($J \sim 20.7$; $S/N=10$) から数百の超低質量天体候補を含む Class II 候補が同定された。その結果、ダスト密度によって形成される天体の質量が変化する可能性が示唆された (金井 2021 修論)。しかし、測光観測では背景銀河が混入することや、質量導出時に年齢を仮定するため、同定した Class II 候補の質量には不確実性がある。

そこで、R CrA 領域で同定された Class I/II/III 候補の正確な質量や年齢を同定することを目的として、すばる望遠鏡/MOIRCS などを用いた近赤外分光観測を実施し、超低質量天体候補を含む 100 天体以上の近赤外スペクトル ($H < 20$) を取得した。現時点で $H \leq 18$ の天体の解析を終え、低温度星の特徴である H_2O の吸収が見られた Class II 天体や、 $Br \gamma$, H_2 輝線が見られた Class I 天体があることがわかった。Class I/II 天体の有効温度は、減光量に依存しない H_2O の吸収量比 Q (Oasa 2011) を用いて導出し、測光観測で得られた光度と組み合わせることで理論進化モデル (Baraffe et al. 2015) と比較して質量と年齢を求めた。その結果、測光観測で同定した Class I/II 候補の多くは若い年齢であることが確認された。本講演では、測光観測で導出された Class II 候補の質量と分光観測によって新たに得られた質量/年齢の比較や、同定した Class I/II 天体の空間分布について議論を行なう。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P113a 超コンパクト HII 領域 W49A Source A2 の膨張電離リング

宮脇亮介 (桜美林大学), 林正彦 (JSPS), 長谷川哲夫 (国立天文台)

W49A North の 3.6 cm 連続波源 Source A (De Pree et al 1997) について, 241–260GHz の ALMA アーカイブデータを用い, 連続波と再結合線 H29 α の解析を行った。角分解能は連続波が 46 mas (~ 500 au) \times 32 mas, H29 α が 52 mas \times 33 mas である。この分解能だと, Source A は北から順に A1, A2 の 2 個の連続波源に分離できる。このうち A2 では, 400 mas \times 220 mas (FWHM) (PA=57.7 $^\circ$) の中心が抜けた楕円リング状の構造が見られた。この構造は, ほぼ同じ角分解能の 43 GHz 連続波 (De Pree et al. 2000, 2020) で見られた構造と一致する。また楕円リングの長軸は, 3.6 cm 連続波で見えるアウトフローらしき構造 (De Pree et al. 1997) に垂直であることから, この楕円リングは中心星の赤道面上にある半径 2,200 au の円形リングが, 傾斜角 52.7 $^\circ$ だけ傾いたものだと推測される。H29 α の速度を調べると, 楕円リングの長軸 (NE-SW) に沿っては速度変化は見られないが, 短軸 (NW-SW) に沿っては顕著な速度勾配 (ピーク速度が 12 km/s 変化) が見られた。すなわち, NW 側がシステム速度から 6 km/s 青方偏移しており, SE 側は同じだけ赤方偏移している。この運動はリングの膨張または収縮 (降着) と考えられるが, どちらであるかは今の時点では不明である。ただし, 降着で 6 km/s の速度を出そうとすると, たとえば 40 M $_{\odot}$ の中心星に角運動量 0 で自由落下するような場合を想定しなければならないことから, この運動は膨張である可能性が高いのではないかと考えている。赤道面内で膨張する電離リングの存在は, HCHII 領域 (超コンパクト HII 領域) の末期段階を捉えたものだと解釈できよう。すなわち, HCHII 領域として形成された電離降着円盤が, 中心星の光度の急増に伴って外側へと押しやられているのであろう。また, CH $_3$ CN などで検出されるホットコアも Source A の周囲ではほとんど散逸してしまっているため, この解釈は妥当に思われる。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P114a 磁気流体シミュレーションで探る Class 0/I 原始星形成領域

平野 信吾, 相川 祐理 (東京大学), 町田 正博 (九州大学)

ALMA 望遠鏡によって分子雲コア ($\sim 10^4$ au) から星周円盤 ($\sim 10^2$ au) までの原始星形成領域における異なるスケールの構造が観測可能となり, 近年の高分解能サーベイ観測を通じて原始星周囲の磁場構造・星周円盤・アウトフローなどの多様性が明らかになった。多様な観測例の背後にある物理を明らかにするためには, 星形成過程の理論モデルを構築し, 異なるスケール・進化段階の観測との比較が必要である。しかし, 現在観測されている Class 0/I 原始星形成領域が星形成後 10–100 万年の段階であるのに対して, 数値シミュレーションは同じ段階まで達していないため, 星周円盤の大きさなどを観測・シミュレーションの間で直接比較することができなかった。また長時間計算を実行したものは計算モデルが限られており, 観測されている多様性の原因を説明できない。

そこで我々は, 非理想磁気流体コードを用いて原始星形成後 10 万年後までの星形成過程を計算する。計算初期条件である分子雲コアに与える一様磁場に対して, (1) 磁場強度と (2) ガス雲回転軸に対する磁力線方向をパラメータとして変化させ, 観測されている星形成領域の多様性を再現できるか確認する。本公演では, 初期成果である原始星形成後 1 万年後の全モデル結果と, 10 万年の計算が完了した基準モデルの結果を用いて議論する。

我々はまず, 原始星への降着エンベロープの落下速度が自由落下速度に対して 0.3–0.5 倍小さいという, 力学構造の問題に着目した。この違いは, 原始星質量を推定する際に仮定するエンベロープの力学モデルに問いを投げかけるものであるが, その原因は明らかではなかった。本計算より, 落下速度はケプラー円盤の外側に存在する偽円盤領域 (~ 1000 au) で減少しており, (1) 磁場強度, (2) 磁場方向, (3) 進化段階によってより小さくなることを確認した。これは落下速度が減少する原因と, 観測天体間における減少率の分散に対して説明を与える。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P115a ダストの運動を考慮した星周円盤分裂の金属量依存性

松木場亮喜, 細川隆史 (京都大学), E. I. Vorobyov (ウィーン大学)

宇宙の金属量進化は星形成の過程に影響を与え、誕生する星の質量を変化させると考えられている。金属量進化の影響を受ける星形成過程として星周円盤の分裂が挙げられ、金属量 $10^{-3} - 10^{-5} Z_{\odot}$ と低金属な環境では、連続波放射が円盤を効率的に冷却して円盤は不安定化する (Tanaka & Omukai 2014)。そのような状況では、低質量な星や連星系の割合が増加すると考えられる。低金属量な円盤で分裂が起きる様子は、いくつかの数値計算で確かめられており、我々の先行研究でも金属量 $10^{-3} Z_{\odot}$ をピークとして、円盤分裂が金属量に依存することを示した (Matsukoba et al. 2022 in prep.)。これらの数値計算では、ダストの運動がガスとカップルしていることが仮定されており、ダストとガスの割合は空間的に一様となっている。しかし現実的なダストの運動はガスとの相互作用によってガスの運動からずれており、ダストとガスの割合は非一様である。円盤分裂が起きるような領域はダストの割合が増える傾向があり (e.g. Vorobyov et al. 2018)、そのような場合円盤が光学的に厚くなることで連続波放射冷却が非効率となり、分裂は抑制されることが考えられる。したがって、円盤分裂過程を正しく追うためにはダストとガスの運動の違いを考慮する必要がある。

そこで本研究では、ダストとガスを 2 流体として扱うことでそれぞれの運動を別々に解いたうえで、様々な金属量での星周円盤の進化を数値計算によって追っていく。その数値計算の結果より円盤分裂の金属量依存性を確かめる。またダストとガスの運動を同一に扱った計算と結果を比較することで、ダストとガスの割合が非一様になる効果が円盤の安定性に与える影響を議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)[スケジュール \(全体\) に戻る](#)[講演者索引 TOP に戻る](#)

P116a eQ 受信機を用いた近傍星形成領域 TMC-1 の観測

中村文隆 (国立天文台)、下井倉ともみ (大妻女子大)、土橋一仁 (東京学芸大)、谷口琴美 (国立天文台)、Ross Burns (国立天文台)、他 eQ チーム

eQ 受信機は 2021 年 11 月に野辺山 45m 鏡に設置された 30-50GHz 帯の受信機である。受信機は台湾中央研究院と国立天文台、大阪府立大の協力のもと開発された (2021 年度春季年会 V108a を参照)。新しい光学設計と極低温低雑音増幅器を採用したことで、ALMA Band-1 受信機より広い観測帯域幅、より低いシステム雑音温度を達成した。同様の性能を持つ Yebes40m 鏡の nanocosmo 受信機と比べても、eQ 受信機の方が帯域、感度とも優れており、eQ は現在稼働中の 30-50GHz 帯受信機としては世界一の性能を誇る。

我々は、eQ の試験観測も兼ね、TMC-1 (CP) の観測を実行した。本講演ではその初期の観測結果について報告する。TMC-1 (CP) は炭素鎖分子が豊富に存在する近傍の高密度領域である。我々は、eQ 受信機と SAM45 を用いて、周波数分解能 3.81kHz で CCS ($J_N = 4_3 - 3_2$)、CCS ($J_N = 3_2 - 2_1$)、SO ($J_N = 1_0 - 0_1$) などの分子輝線の同時観測を行った。30GHz の SO ($J_N = 1_0 - 0_1$) は Yebes の受信機ではカバーできず、また、周波数分解能 3.81 kHz (45GHz と 33GHz で $dV = 0.025$ km/s, 0.03km/s) の観測データは eQ のみ取得可能である。

eQ の観測から、2つの CCS のプロファイルはよく似ており、視線方向に速度の異なる 4つの成分が存在するという先行研究の結果 (Dobashi et al. 2019) をよく再現した。一方、SO のプロファイルは CCS とは全く異なり、ダブルピークを示した。このようなプロファイルは、Soma et al. (2018) で報告されている CH_3CHO や CH_3OH のプロファイルと定性的に類似している。予備的な解析ではあるが、SO の 2つのピークと CCS の 2つの成分が対応するようにみえる。これは、この点で進む重力収縮の影響であるかもしれない。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)[スケジュール \(全体\) に戻る](#)[講演者索引 TOP に戻る](#)

P117a NLTE Analysis of SO in Star-forming Regions

Ziwei E. Zhang¹, Nami Sakai¹, Yichen Zhang², and Phillip C. Stancil³.¹ The Institute of Physical and Chemical Research (RIKEN).³ Department of Astronomy, University of Virginia.³ Department of Physics and Astronomy, University of Georgia.

In star formation studies, sulfur-bearing molecules are important tracers for the heated gas, such as shocked-gas associated with accretion and outflows. In particular, SO is often used to probe various protostellar activities, with its abundance and chemical evolution being highly sensitive to the physical conditions. The SO-abundant regions are often in non-local thermodynamic equilibrium (NLTE) conditions with high temperature and radiation. To model molecular emission in NLTE environments, accurate and comprehensive collisional rate coefficients are needed while often being of limited availability. Here, we present NLTE analysis of SO in star-forming regions with SO-H₂ rovibrational collisional data (v up to 2) from state of the art quantum calculations. SO abundance and the physical conditions of the gas are constrained with NLTE simulations in both low- and high-mass protostars. Furthermore, the impact of the updated data in various astrophysical environments, including photodissociation regions (PDR), is investigated.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)[スケジュール \(全体\) に戻る](#)[講演者索引 TOP に戻る](#)P118a ALMA 分子輝線観測で迫る低質量 Class 0 原始星天体 IRAS15398-3359 の円盤 H₂O, CO₂ スノーライン

野津翔太, 大小田結貴, 坂井南美 (理化学研究所), 大和義英, 相川祐理 (東京大), 野村英子 (国立天文台)

近年の実験研究 (Musiolik et al. 2016a,b) により、H₂O 氷に比べ CO₂ 氷が低い付着力を持つ事が示唆されている。この為、円盤内の CO₂ 組成やスノーライン位置の制約は、円盤内の化学組成分布に加えダストサイズ分布を理解する上でも重要である。CO₂ は双極子モーメントが 0 の無極性分子である為、ALMA では直接観測できない。一方で CO₂ と H₃⁺ の反応で生成される HCO₂⁺ の放射が H₂O と CO₂ スノーラインの間にリング上の分布を持つ事が化学反応ネットワーク計算から分かった。そこで HCO₂⁺ 輝線放射が原始星円盤の CO₂ スノーライン位置の良い指標になると期待される。しかし原始星天体の HCO₂⁺ 輝線は電波単一鏡でのみ観測が行われており (e.g., Sakai et al. 2008, 2009)、CO₂ スノーライン指標としての有効性は確認されていなかった。

本講演では ALMA Cycle 8 で我々が実施した、Lupus 1 分子雲 (距離 $d \sim 155$ pc) に位置する低質量 Class 0 原始星天体 IRAS 15398-3359 の輝線放射観測 (Bands 3&6, 空間分解能 0.4") の結果を報告する。原始星近傍に集中して位置する HDO 輝線放射 ($2_{1,1}-2_{1,2}$, $E_u = 95$ K) の外縁に沿って H¹³CO⁺, HC¹⁸O⁺ 輝線放射がピークを持つ事を確認した。先行研究 (Jørgensen et al. 2013, Bjerkeli et al. 2016) で報告された、H¹³CO⁺ 輝線及びより低温領域をトレースする HDO 輝線 ($1_{0,1}-0_{0,0}$, $E_u = 22$ K) 放射分布 (Band 7, 空間分解能 0.5") との比較も行ったので、H₂O スノーラインの位置や円盤内の温度分布について議論する。HCO₂⁺ 輝線放射は検出されたものの非常に弱かった。そこで過去の電波単一鏡での観測結果 (Sakai et al. 2009) と比較し、円盤内の HCO₂⁺ 輝線放射分布や CO₂ スノーライン指標としての有効性について議論を行う。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)[スケジュール \(全体\) に戻る](#)[講演者索引 TOP に戻る](#)

P119a 低質量原始星 B335 における CH_3OH の重水素化物

大小田結貴, 小山貴裕, 坂井南美 (理化学研究所), 渡邊祥正 (芝浦工業大学), Ana López-Sepulcre (IPAG), 大屋瑠子, 今井宗明, 山本智 (東京大学)

B335 は、Class 0 低質量原始星 IRAS 19347+0727 を付随する Bok globule である ($d=100$ pc)。他の天体から孤立した環境にあり、星形成研究の絶好の研究対象として多くの研究が行われている。原始星周り数 100 au のスケールで不飽和炭素鎖分子 (WCCC)、数 10 au のスケールで飽和有機分子 (COMs) が豊富であるハイブリッドな化学組成の特徴を持つ。CO、CS、CCH などの観測から東西に伸びるアウトフローが検出されており、原始星近傍に分布する CH_3OH の回転落下運動から原始星質量が 0.02-0.06 M_\odot と見積もられた (e.g., Imai et al. 2019)。

本研究では、ALMA による解像度 $0.''03$ の観測データを用いて原始星近傍数 au スケールの分子輝線を調べ、 CH_3OH とその重水素化物に着目した。6 本の CH_3OH 輝線に加え、 CH_2DOH ($4_{2,2}-4_{1,3}$; e_0 , $10_{2,8}-10_{1,9}$; o_1 , $3_{2,1}-3_{1,2}$; e_0 , $5_{2,4}-5_{1,5}$; e_0)、 CHD_2OH ($J=6-5$, $K=1^+$; o_1 , $J=6-5$, $K=1^+$; e_0)、 CH_3OD (5_1-4_0 ; E) 輝線を検出した。原始星ごく近傍の高温領域で、高い重水素濃縮が見られることは注目に値し、その起源に興味もたれる。一方、室内実験で CH_2DOH の回転遷移の測定が行われ、多くのスペクトル線の遷移強度がデータベース (JPL) 記載の計算値より小さい可能性が指摘されている (大野 日本天文学会 2021b Q24a 参照)。JPL に記載されている $S\mu^2$ と実験から得た $S\mu^2$ を比較すると、上記の遷移の実験値は計算値の 0.6-0.7 倍程度である。我々は、それぞれの $S\mu^2$ を用いて、B335 で検出した CH_2DOH の連続波ピーク位置での温度と柱密度を LTE を仮定して見積もり、その効果を検証した。温度はほとんど変わらないが、実験値の $S\mu^2$ を採用した場合、柱密度は 1.4 倍になることがわかった。 CHD_2OH に対しても柱密度に対する効果を議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P120a 星間衝撃波により形成される圧縮層の化学進化

小道雄斗 (東京大学), 相川祐理 (東京大学), 岩崎一成 (国立天文台)

分子雲では 100 種以上の分子種が検出されている。それらの形成過程は分子雲での典型的な物理パラメタ (密度・温度・ A_V) のもとで反応速度式を解く疑似進化モデルで調べられてきた。このモデルは、分子雲での非平衡な組成進化を明らかにし、分子雲化学診断の理論的な根拠となっている。しかし、物理パラメタは一定で、ガスの初期組成は水素のみ分子でそのほかは原子とするなど、分子雲形成の視点からは極度に単純化されている。

一方、近年、3次元の磁気流体計算によって、星間衝撃波に伴う原子ガスの圧縮による分子雲形成過程が盛んに研究されている。これらのシミュレーションにはガスの冷却に効く分子の生成破壊は考慮されているが、炭素鎖分子など分子雲の化学診断に用いられる様々な分子の進化まで組み込むことは計算コスト上現実的ではない。

そこで我々は、3次元磁気流体計算により衝撃波圧縮層の形成・進化過程を再現し、その平均的な流れ場を用いて詳細な化学反応ネットワーク計算を行うことで、分子雲形成時の分子進化を調べた。今までにも 1次元衝撃波後面での CO 形成や主要な氷組成進化を調べた例はあるが、我々は磁場とガス流のなす角度など広いパラメタ領域を考慮し、より存在度の低い分子についても観測と比較する。シミュレーションの結果、H 原子から H_2 への変換は $A_V \leq 1$ mag で完了するのに対し、炭素の CO への変換は $A_V \sim 1$ mag で急激に起こるなど、シンプルな反応ネットワークモデルを用いた磁気流体計算と整合的な描像を得た。 $A_V \leq 1$ mag での組成を diffuse cloud の観測値、数 mag での組成を分子雲の観測値と比べたところ、CO や H_2O 氷、 C_2H など比較的シンプルな分子については整合的であるが、 C_3H_2 など一部の大きな分子についてはモデルの値が観測を大幅に下回った。講演では、化学進化の衝突流パラメタや cosmic-ray ionization rate への依存性についても議論する予定である。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P121a Observational Evidence for Cyanopolyne Chemistry around High-Mass Stars

Kotomi Taniguchi (NAOJ), Liton Majumdar (NISER), Paola Caselli, Tien-Hao Hsieh (MPE), Shigehisa Takakuwa (Kagoshima Univ.), Masao Saito, Fumitaka Nakamura (NAOJ), Kazuhito Dobashi (Tokyo Gakugei Univ.), Tomomi Shimoikura (Otsuma Women's Univ.), Jonathan C. Tan, Zhi-Yun Li, Eric Herbst (Univ. of Virginia)

Cyanopolyynes (HC_{2n+1}N), which are one of the carbon-chain series, were predicted to evaporate from dust grains, and to be abundant in hot gas with temperatures above 100 K, by chemical simulations. We have investigated spatial distributions of HC_5N using ALMA Band 3 data toward five massive young stellar objects (MYSOs), and compared to distributions of complex organic molecules (COMs), which are hot core tracers. The HC_5N line has been detected from three sources. The HC_5N emission associates with continuum cores, and its spatial distributions are consistent with the hot core tracers. We have derived chemical composition of HC_5N and several COMs at continuum cores, and compared to our latest chemical simulations with hot-core models including a warm-up stage. The observed abundances can be reproduced by the chemical simulations in the hot-core stage. We have derived physical parameters with a 0.5-pc scale by two-temperature modified blackbody model to investigate what a physical parameter is important to detect HC_5N around MYSOs. We find out that the hot or warm regions are much extended around the three MYSOs, in which HC_5N has been detected, compared to the other MYSOs without the HC_5N emission.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P122b Chemical Survey Observations toward Intermediate-Mass Protostars

Kotomi Taniguchi (NAOJ), Miguel Gomez Garrido (Spanish National Observatory), Prasanta Gorai, Jonathan C. Tan (Chalmers Univ. of Tech.), Masao Saito, Fumitaka Nakamura (NAOJ), T. K. Sridharan (NRAO), Liton Majumdar (NISER), and SOFIA Massive Star Formation group

Although astrochemical studies around protostars have been progressed in low-mass ($< 2M_{\odot}$) and high-mass ($> 8M_{\odot}$) stars, our knowledge about chemistry around intermediate-mass protostars is much poor because of deficient observational data. Our group is working on astrochemical studies toward intermediate-mass protostars to fill large physical gaps between low-mass and high-mass regimes. As an initial step, we have carried out line survey observations in the 30.5–50 GHz band toward five intermediate-mass protostars with the Yebes 40m telescope (Spain). The target sources were selected from the source list of the SOFIA Massive (SOMA) Star Formation project. Various carbon-chain molecules (*e.g.*, HC_nN ($n = 3, 5$), C_nS ($n = 2, 3$), C_4H , *linear*- H_2CCC , *cyclic*- C_3H_2) and complex organic molecules (*e.g.*, CH_3OH , H_2CCO , CH_3CHO , CH_3CN) have been detected from the target sources. These datasets are the first survey result of carbon-chain species toward intermediate-mass protostars, and we continue these observations to increase sample size. In this presentation, we will present chemical composition around these five intermediate-mass protostars, and discuss carbon-chain chemistry by comparing with previous results toward low-mass and high-mass protostars. Moreover, we will investigate a possibility of chemical diversity around the intermediate-mass protostars.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P123b 星なし分子雲の赤外線観測

伊藤洋一, 佐藤進夢, 岩本悠里 (兵庫県立大学)

星なし分子雲は、原始星や前主系列星が確認されていない分子雲のことで、分子雲の構造や星間化学を研究する上で重要な天体である。最も有名な星なし分子雲のカタログは Lee & Myers (1999) で、全天で 306 個の分子雲が星なし分子雲とされている。しかし、この研究は IRAS の観測に基づくものであり、その検出限界は 1 太陽質量の前主系列星に過ぎない。星なし分子雲には、生まれたての星は本当に存在しないのだろうか。

我々は、WISE のカタログを用いて Lee & Meyers (1999) にある 288 個の分子雲を調査した。WISE は IRAS に比べて波長 $12\mu\text{m}$ で 700 倍も感度が良い。波長 $3.4\mu\text{m}$, $4.6\mu\text{m}$, $12\mu\text{m}$ のカラーから原始星と前主系列星の候補天体を同定した。その結果、原始星が付随していると考えられる分子雲が 32 個、T タウリ型星が付随していると考えられる分子雲が 107 個あることがわかった。付随する天体の多くは質量が $0.1M_{\odot}$ 以下であり、星形成率は高くない。

講演では、より確からしい星なし分子雲のリストを提示するとともに、分子雲が形成されてから天体を生むまでにかかる時間について議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P124b 前主系列星の彩層活動と黒点による光度変化の調査

山下 真依, 伊藤 洋一 (兵庫県立大学), 高木 悠平 (国立天文台), 大朝 由美子 (埼玉大学)

前主系列星は自転が速く、対流層が分厚い。そのため、ダイナモ活動を起源とする強い磁場が形成され、巨大な黒点や明るい彩層輝線が生じると考えられている。実際に前主系列星からは強い磁場が検出された (Folsom et al. 2016)。

本研究では前主系列星のダイナモ活動について考察した。我々は今までに、前主系列星は近赤外 Ca II 三重輝線の強度が、ロスビー数に関わらず零歳主系列星が示した最大値と同程度であり、表面の全体を光学的に厚い活動領域が占めることを示唆した (Yamashita et al. 2020)。今回は前主系列星 26 天体に対して、TESS データから連続光の光度の振幅を測定し、彩層輝線の強度との関係を調査した。加えて 2021 年 8 月、2022 年 2 月にすばる望遠鏡/高分散分光器 HDS を用いておうし座の前主系列星 14 天体を観測し、近赤外 CaII 三重輝線 ($\lambda 8498, 8542, 8662 \text{ \AA}$) を取得した。

今回調査した前主系列星では、振幅が $0.011 - 0.552$ 等級、周期が $0.54 - 14.18$ 日の変光を検出した。山下ら (日本天文学会 2021 年秋季年会 N28a, 2022 年春季年会 N11b) は、零歳主系列星の近赤外 Ca II 三重輝線の強度と光度の振幅は正の相関を示し、太陽とスーパーフレア星の延長線上に位置することを示した。前主系列星の輝線強度と光度の振幅は、零歳主系列星のうち最大級のものと同程度である。主系列星よりも巨大な黒点群を持つこと、そして太陽に類似した磁気活動のうち、規模が大きいものが前主系列段階から続いていることが示唆される。講演では光度曲線の形状、ロスビー数の大きさと活動度の関係についても議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P125a 降着期における乱流磁場増幅とその初代星連星形成への影響

定成健児エリック (東北大学), 富田賢吾 (東北大学), 杉村和幸 (京都大学), 松本倫明 (法政大学), 大向一行 (東北大学)

一般に、現在の星形成雲には、銀河円盤の回転によって生成された一様な強い磁場が貫いていることが観測から知られている。そのような一様磁場は、磁気制動またはアウトフローによってガス雲内の角運動量を効率的に引き抜き、星周円盤や連星の形成、星形成効率などに影響する。一方で、初代星形成領域内では、微弱な種磁場が乱流ダイナモによって増幅されることで、ランダムに乱れた強い乱流磁場が生成される。このように増幅された乱流磁場が、一様磁場の場合と同様に、円盤や連星形成に影響するかどうかは明らかになっていない。そこで、本研究では、非平衡化学反応と冷却過程を考慮しつつエネルギー方程式を整合的に解いた 3次元 MHD シミュレーションを用いて、乱流を含む始原ガス雲が収縮して、その後、原始星がガス降着によって成長するまで (降着期) の初代星形成過程について調べた。特に、乱流磁場が、円盤分裂によって生じた連星の質量や連星間距離の進化にどのように影響するのかに着目する。また、乱流磁場の場合においても、一様磁場の場合と同様に、磁気駆動型のアウトフローが発生するのかについても調べる。そして、実際の初代星形成領域においても、磁場が初代星の性質に影響し得るのかどうかを議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P126a 初代星形成シミュレーション：長距離大質量連星の形成

杉村和幸 (京都大学), 松本倫明 (法政大学), 細川隆史 (京都大学), 平野信吾 (東京大学), 大向一行 (東北大学)

ビッグバン後に宇宙で最初の星が形成するまでの過程を明らかにすることは、現代理論宇宙物理学における大きな目標の一つである。これまで初代星形成についての研究は精力的に進められており、星形成の初期に原始星の周囲の円盤が分裂して連星や多重星の種が作られることや、最終的に原始星からの輻射フィードバックがガス降着を止めることで初代星質量が決まることが明らかにされている。しかし、複数の原始星からの輻射フィードバックを整合的に考慮した計算はできておらず、初代星の性質についての大きな不定性の要因になっていた。

そこで、本研究では、自己重力 AMR MHD コードである SFUMATO (Matsumoto 2007) に、非平衡熱・化学進化、初代星原始星進化、Adaptive ray tracing 法に基づく輻射輸送の機能を新たに実装して開発した輻射流体コード SFUMATO-RT (Sugimura et al. 2020) を用いて、初代星形成過程についてのシミュレーションを進めた。本講演では、まず、Sugimura et al. (2020)、および、追加のシミュレーションで調べた 3つの異なるガス雲からの初代星形成の結果について紹介し、そこから得られた典型的に初代星は離れた軌道を持つ複数の大質量星からなる連星や多重星として生まれるという示唆について述べる。さらに、初代星がそのように生まれる物理的機構についても議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P127a 初代星形成における大質量原始星輻射流体計算に向けて

木村和貴, 細川隆史 (京都大学), 杉村和幸 (東北大学), 福島肇 (筑波大学)

これまでの初代星形成のシミュレーションでは計算コストを下げるために星近傍領域をシンク粒子で置き換え、星近傍からの輻射フィードバックの強さは適当な仮定の下与えつつ計算するなどの手法が取られてきた (Sugimura et al. 2020, etc)。しかし、フィードバックの強さは星質量を決定する重要なパラメータであり、本来星近傍でガスと輻射の相互作用を解いて決定する必要がある。したがって本研究では初代星形成において $10M_{\odot}$ を超える大質量原始星周り 10AU 以内での現象を 3 次元数値計算を用いて明らかにする。また、銀河系の大質量星形成においてもダスト破壊面の内側を考えれば同様の状況であり、本研究の議論を適用できると考えられる。

本講演では大質量星近傍での輻射流体計算に向けたコードの開発状況を紹介します。具体的には、これまで初代星形成過程の計算に用いられてきた SFUMATO-RT (Matsumoto 2007, Sufimura et al. 2020) に Rosdahl & Teyssier (2015) で提案されている M1 Closure 法を実装してきた。さらに、始原ガスによる化学反応および輻射の放射・吸収過程を高密度領域においても整合的に解けるスキームを実装した。前回の年会では高密度領域での輻射輸送および輻射圧による電離領域の膨張が新たに開発したコードで正確に解けていることを紹介した。今回の年会では開発したコードを用いて、通常の初代星形成及び Direct Collapse シナリオにおいて星形成ガス雲の収縮を原始星密度まで追った計算について紹介する。このような始原ガスの重力収縮の計算においては、これまで特に連続光の取り扱いが簡単化されたものが多く、M1 Closure 法を用いて輸送を解くのは今回が初である。さらに、本講演では大質量星近傍での計算に向けての現状も紹介する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P128a 宇宙最初の cold accretion の発現と超大質量星形成の可能性

喜友名正樹 (京都大学), 細川隆史 (京都大学), 鄭昇明 (東北大学)

$z > 6$ の宇宙初期に観測される $M = 10^9\text{--}10 M_{\odot}$ の超大質量ブラックホール (SMBH) の起源を説明する有力なモデルに、 $M = 10^5\text{--}6 M_{\odot}$ の超大質量星 (SMS) が種 BH をもたらしたとするものがある (Bromm & Loeb 2003)。この説は、水素分子生成が抑制された状態で、高温 ($\sim 10^4\text{K}$) を維持したガス雲崩壊を想定している。仮に、ガス雲崩壊が $n_{\text{H}} \gtrsim 10^4/\text{cc}$, $T \gtrsim 10^4\text{K}$ の高温高密度状態から始まれば衝突解離によりこの進化が起き、銀河形成の分野でよく知られる cold accretion が作る衝撃波がこれを可能にするとの説が提案されている (Inayoshi & Omukai 2012)。しかし、数値シミュレーションによる検証はこれまで複数試みられたもの前提となる cold accretion が初期宇宙の構造形成でいつ発現するか不定性があり、統一的な理解を欠き結論が出るには至っていなかった。

そこで本研究では、このモデルについて宇宙論的流体シミュレーションを用いて検討した。SPH 法 (Gadget3) を用いて、 $M_{\text{halo}} \gtrsim 10^7\text{--}8 M_{\odot}$ のハローでのガス降着進化を、始原ガスの化学反応と冷却過程を考慮して $z \sim 6$ まで追跡した。ガス流構造を見るため、 $0.005r_{\text{vir}} \sim 1\text{pc}$ スケールまで解像できる高い質量分解能で調べた。先行研究ではハロー内部でガス雲崩壊が起きた時点で計算を終了していたが、それ以降も sink 粒子を用いて計算を続行した。結果として、ハロー質量が $M \sim 10^7 M_{\odot}$ を超えるとハロー奥深くまで降着流が流入し cold accretion が始まることが分かった。さらに計算を続けると、中心部に半径 $\sim 0.05r_{\text{vir}}$ の円盤が形成され、そこに極方向から来た降着流が円盤の広範囲に shock を形成した。Shock 後面の物理状態を見積もると、Inayoshi & Omukai (2012) で想定された高温高密度状態が実現される時期があることが分かった。この兆候は sink サイズを小さく取り、空間分解能を上げるほど顕著になった。講演ではここから SMS 形成が起こるために必要な付加条件を更に議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P129a 初代星の超新星噴出物の構造が金属欠乏星の元素組成に与える影響

千秋元, 冨永望 (国立天文台)

宇宙年齢程度の寿命を持ち、金属量が太陽より小さい星（金属欠乏星）は初期宇宙の元素合成を探る上で重要である。特に鉄組成が太陽の千分の一以下の星を極金属欠乏星といい、一個または数個の初代星超新星によって汚染されたと考えられている。そこで極金属欠乏星の元素組成と初代星超新星モデルを比較することで、初代星親星の質量や爆発エネルギーを制限づける研究が行われている。しかし先行研究では、初代星の超新星噴出物が完全に混合していると仮定し、元素組成の空間的な平均値を用いてきた。本研究では、超新星噴出物内において元素組成の層状構造が変化しない極限について、各元素の空間的な分布の進化を流体シミュレーションによって追った。そして第二世代星形成ガス雲に取り込まれる元素組成を求め、噴出物が完全に混合しているモデルと比較した。宇宙論的シミュレーション中の初代星形成ハローについて、初代星超新星の親星質量 $25 M_{\odot}$ 、爆発エネルギー $E_{\text{SN}} = 0.7\text{--}10 \times 10^{51}$ erg についてシミュレーションを行った。その結果、すべての爆発エネルギーに対し、超新星噴出物がハローに引き戻され、ガス雲の再収縮（内部汚染）が起きた。再収縮領域では第二世代星が極金属欠乏星として形成すると考えられ、その領域の各元素の組成は混合モデルに対して最大 0.4 dex しかずれないことが分かった。これは超新星残骸が圧力駆動雪かき期に動径方向に圧縮され、その組成を維持したまま再収縮領域に引き戻されたためである。この結果から、超新星噴出物の動径方向の構造は金属欠乏星の組成にほぼ影響を与えないことが分かった。一方、 $E_{\text{SN}} = 10 \times 10^{51}$ erg のときは超新星噴出物が隣接するハローに到達する外部汚染も起きた。このとき、炭素などのより軽い元素を含む外層が主に星形成領域に取り込まれることで、炭素過剰の組成を示した ($[\text{C}/\text{Fe}] = 1.49$)。これは炭素過剰金属欠乏星の起源の一つである可能性がある。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P130a 低金属環境における初期質量関数と輻射フィードバックの影響

鄭昇明, 大向一向 (東北大学), 細川隆史 (京都大学), Raffaella Schneider (Sapienza Universita di Roma)

初期質量関数 (IMF) の理解は銀河や星の形成史を理解する上で非常に重要である。数値計算により宇宙初期の星質量は近傍に比べ非常に大きいと考えられている。また、初期宇宙で top-heavy な IMF が実現していたのではないかという議論が銀河の化学進化の観点などからなされている。しかしながら宇宙のどのような環境下でどのような IMF が実現するかは未だ理解されていない。これまで我々はガス雲の熱進化が典型的な星質量を決める上で重要であることを示した。特にガス雲の重元素量はガスの温度を決める上で非常に重要であり、 $Z/Z_{\odot} \lesssim 10^{-2}$ では top-heavy な分布が実現することがわかってきた。しかしこれらの研究では星からの輻射フィードバックの影響が考慮されてこなかった。星からの輻射はダスト加熱や電離加熱により、星周囲のガスを加熱する。また電離加熱によりガスが 10^4 K まで加熱され降着流を堰き止めることで、最終的な星質量の分布が決定する。

本研究では輻射フィードバックの影響を考慮し、異なる重元素量で実現する IMF を求める。乱流的な初期条件から出発して、ガス雲の冷却、崩壊に始まり、星の輻射によるダスト加熱、電離加熱、水素分子解離の影響を考慮する。計算の結果、ダスト加熱によりダスト冷却が阻害され $1 M_{\odot}$ 以下の星の数が激減することがわかった。 $Z/Z_{\odot} \lesssim 10^{-3}$ では、始原的な場合に近い log-flat で top-heavy な質量分布が実現する。一方、 $Z/Z_{\odot} \gtrsim 10^{-2}$ では $0.1\text{--}1 M_{\odot}$ にピークを持つ分布が実現し、現在の宇宙で観測される IMF に近づく。また電離加熱の影響は高い金属量ほど顕著に現れる。 $Z/Z_{\odot} \gtrsim 10^{-1}$ では、大質量星への降着率が電離領域の形成により容易に妨げられる。それ以下の金属量では、大きな円盤が形成することで高い降着率を維持することが可能となり、星は $100 M_{\odot}$ 程度まで成長することが可能となる。本講演ではフィードバックの影響と金属量の関係をより詳細に議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P131a 活動銀河核広輝線領域の [Fe/Mg] 組成比から迫る銀河中心初期質量関数

豊内大輔 (東京大学), 稲吉恒平 (北京大学), 石垣美歩 (国立天文台), 富永望 (国立天文台)

近年の観測により活動銀河核広輝線領域の FeII/MgII 輝線比は $z = 0-7$ の範囲で赤方偏移に依存せずほとんど一定であることが示された。さらにその輝線比から推定される鉄とマグネシウムの化学組成比は $[Fe/Mg] \gtrsim 0.2$ に相当し極めて高く、これを $z \gtrsim 7$ (宇宙年齢 8 億年程度) までに実現するには Ia 型超新星爆発のような遅延時間の長い (10 億年以上) プロセスでは難しい。一方で、II 型超新星爆発のうち母天体の質量が $M_* \sim 70 M_\odot$ を越えるイベントは大量の鉄を星間空間に解放することが観測・理論の双方から示唆されている。つまり、銀河中心の星の初期質量関数 (Initial mass function; IMF) が十分 top-heavy であれば、極めて迅速に鉄に富んだ星間ガスを実現するかもしれない。

本研究では活動銀河核広輝線領域の化学組成比 ($[Fe/Mg] \gtrsim 0.2$) を II 型超新星爆発による化学汚染で説明するために必要な IMF を定量的に調べた。その結果、IMF を $\phi \propto M_*^\Gamma$ (Salpeter IMF の場合は $\Gamma = -2.35$) と定義した場合、 $\Gamma \gtrsim -1$ でかつ最大星質量が 100–150 M_\odot の場合に観測の化学組成比が実現することがわかった。このような top-heavy IMF は銀河中心核高密度ガス円盤内における原始星への急速なガス降着過程の帰結として十分理解できる。さらに、この top-heavy IMF を仮定した場合に銀河中心核で発生する II 型超新星爆発やその後に残される恒星質量ブラックホール同士の合体の発生頻度についても調べた。本発表では、この結果を踏まえ将来の突発天体観測を用いた銀河中心 IMF への制限の可能性についても言及する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P132a 近傍渦巻銀河における巨大分子雲の進化

出町史夏¹, 立原研悟¹, 徳田一起^{3,4}, 藤田真司², 村岡和幸², 大西利和², 山田麟¹, 小西亜侑², 柘植紀節⁵, 河村晶子⁴, 小林将人⁴, 福井康雄¹ (1: 名古屋大学, 2: 大阪公立大学, 3: 九州大学, 4: 国立天文台, 5: フリードリッヒ=アレクサンダー大学)

銀河の星形成は主に巨大分子雲 (GMC) 内で進行し、10 億年規模の銀河進化を制御する。GMC 進化の理解には、銀河全面での空間的に分解された GMC サンプルの解析が有効だ。このような研究が大マゼラン雲 (LMC) や M33 で行われ、付随する HII 領域の光度 ($L_{H\alpha}$) に基づいて GMC を分類する Type 分類が提案、検証された。Type I: HII 領域の付随なし, Type II: $L_{H\alpha} < 10^{37.5} \text{ erg s}^{-1}$, Type III: $L_{H\alpha} > 10^{37.5} \text{ erg s}^{-1}$ 。GMC は [Type I \rightarrow Type II \rightarrow Type III] と進化すると解釈され、寿命は 20–30 Myr と導出された。この進化モデルの普遍性の検証のため、我々は PHANGS プロジェクトの CO と H α のデータを用いて、近傍渦巻き銀河の GMC の Type 分類を進めている。出町他, 2022 年春季年会講演 (R04a) では、4 つの銀河の結果を紹介したが、分解能によるバイアスの評価が不十分で、時間尺度の不定性が大きかった。特に、100 pc より悪い分解能では付随判定が困難であるため、50–100 pc の分解能をもつ NGC 628, 1433, 1512, 2835, 3351, 3627 にサンプルを精選した。これらは星質量が $10^{10.00-10.87} M_\odot$ と比較的大きく、face-on に近いという特徴が共通している。GMC と HII 領域をそれぞれ PYCPROPS と Astrodendro で同定し、Type 分類を適用すると、Type I, II, III の平均個数比はそれぞれ 13%, 41%, 46% であった。感度や分解能に加え、stellar feedback による影響が最も少ないとみられる Type II の滞在時間を LMC と同一であると仮定すると、GMC 寿命は 20–46 Myr と導出され、LMC と 2 倍以内で一致する。講演では、NGC 2835, 3627 の GMC 寿命が他 4 銀河と異なる理由についても議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P133a 球状星団形成期の星の合体と超大質量星形成

藤井通子, 谷川衝 (東京大学), Long Wang (中山大学), 斎藤貴之 (神戸大学), 平居悠 (ノートルダム大学, 東北大学)

球状星団に中質量ブラックホール ($100-10^4 M_{\odot}$ 程度) が存在するかについては、長年議論されてきた。これまでの研究から、 ω Cen、NGC 6388 には、 $10^3-10^4 M_{\odot}$ の中質量ブラックホールが存在する可能性があると言われている。一方、それより軽い中質量ブラックホールの場合、球状星団内に存在していても、現在の観測では検出が難しい。球状星団内で中質量ブラックホール形成は、星団中心での星の暴走的合体と考えられている。これまでの球状星団における暴走的合体を検証したシミュレーションは、形成後のガスのない球対称の星団を初期条件としていた。その場合、緩和時間が経過したところで星団中心に重い星が集中してから星の合体が始まる。一方、近年の星団形成シミュレーションは、クランプの階層的合体による星団の形成を示しており、その場合、星団がまだガスに埋もれている形成期に、星団が高密度となる時期がある。この時、大質量星が効率良く合体できる。そもそも、球状星団を星一つ一つを再現したシミュレーションができるようになったのが最近であり、星一つ一つを再現した球状星団形成シミュレーションはこれまで行われていない。本研究では、これまで我々が開発してきた N 体/流体計算コード「ASURA + BRIDGE」を用いて、球状星団形成シミュレーションを行った。このシミュレーションは、星団の星一つ一つを分解しており、星同士の近接遭遇をソフトニングを用いることなく計算している。そのような分解能での $10^5 M_{\odot}$ を超える星団形成シミュレーションは世界で初めてである。また、比較のため、 $10^4 M_{\odot}$ 程度の星団が形成するシミュレーションも行った。その結果、球状星団の形成期に星の暴走的合体が起こり、数百 M_{\odot} の超大質量星が星団内に形成する可能性があることがわかった。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P134b 分子雲コアの収縮におけるダストの成長破壊と非理想磁気流体効果への影響

川崎良寛, 町田正博 (九州大学)

星は分子雲コアと呼ばれるガスの塊が収縮することで形成される。星形成過程で磁場はアウトフローの駆動や角運動量輸送において重要な役割を果たす。分子雲コアのガスが弱電離状態にあることから生じる非理想磁気流体効果は磁場を散逸させるため、星形成過程における磁場の進化や影響を理解する上で重要である。非理想磁気流体効果の強さは磁気拡散係数で決定されるが、その係数を見積もるためにはガスの電離度を求める必要がある。ガス中に含まれるダストはその表面に荷電粒子を吸着することで電離度を下げため磁気拡散係数に影響を与える。ダストのサイズの違いにより磁気拡散係数は変化するため、星形成過程における非理想磁気流体効果の影響の理解のためには、ダストのサイズ分布の時間進化の理解が重要である。しかし、星形成過程における非理想磁気流体効果の研究の多くは、ダストのサイズ分布の時間進化を考慮せずに行われてきた。

本研究では分子雲コアの収縮段階におけるダストの成長破壊を考え、ダストのサイズ分布の時間進化を計算し、非理想磁気流体効果への影響を調べた。分子雲コアの収縮による密度進化は one-zone で計算し、ダスト間の相対速度はブラウン運動と乱流による相対速度を考慮した。コア内の乱流の強さとダストの衝突破壊速度には不定性が存在するため、本研究ではそれらの値をパラメータとして計算を行った。本講演ではその結果について報告し、星形成過程における非理想磁気流体効果が役割を果たすための乱流の強さとダストの衝突破壊速度の制限について議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P135b 磁化したフィラメント状分子雲における分子雲コア角運動量の進化

三杉佳明 (名古屋大学), 塚本裕介 (鹿児島大学), 犬塚修一郎 (名古屋大学)

近年の観測により星・惑星系は極めて多様であることがわかりつつある。太陽型の星の約半数程度は連星として存在しており (Duchêne et al. 2013)、また惑星の母体である原始惑星系円盤においても、円盤面の方向が半径に依存して変化する曲がった円盤も観測されている (Sakai et al. 2019)。このような星・惑星系の多様性を理解するためには、母体である分子雲コア (以下、コア) が初期にどの程度の多様性をもっているかを知ることが必要不可欠である。特に、コア内部の角運動量プロファイルは円盤サイズの進化、磁場は磁気制動によるコア内での角運動量輸送で連星形成過程に影響を及ぼす (e.g., Machida et al. 2008)。

Herschel 宇宙望遠鏡による観測は、分子雲内のフィラメント構造が普遍的であること、コアはこのフィラメント構造に沿って分布していることを明らかにした (e.g., André et al. 2010)。しかしながら、フィラメント状分子雲から形成されるコアの角運動量と磁場について統計的に調べる研究は未だ存在しない。

これまでの私たちの研究では、磁場なしの場合について 3次元の Smoothed Particle Hydrodynamics 法を用いることにより、フィラメントから形成されるコアの角運動量の進化を調べてきた。その結果として、コアの角運動量輸送は 30%程度であることや内部の角運動量構造は自己相似解から期待されるプロファイルに収束することが明らかになった (2021 年春・秋季年会)。本研究で新たにコードを磁気流体力学に拡張し、磁場の効果を取り入れることで、フィラメントを貫く磁場がコアの角運動量進化に与える影響について調べた。その結果、磁場強度に依存してコア内部の角運動量構造が変化することがわかった。本講演ではこれらの結果に加えて、コア内部の磁場構造や角運動量の多様性の定量化についても議論する予定である。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P136b 回転と磁場が星団形成過程に与える影響

木下真一 (東大), 中村文隆 (国立天文台)

銀河系内のほとんどの星は単独で生まれず、恒星の集団である星団として生まれる。そのため、星団形成の理解は星形成の一般描像を把握する上で必要不可欠である。星団は高密度で大きな星間分子雲 (クラump) の内部で、ガスが収縮して形成される (Lada & Lada 2003)。近年では、ミリ波分子輝線での観測により、「小型クラumpが衝突することで、ガスが効率的に圧縮されて星団形成に至る」、という衝突シナリオが有力な仮説として提案されてきた (Higuchi et al. 2010)。一方で、「単一の巨大クラumpが回転しながら自己重力で収縮し、中心部で星団を形成する」、という収縮回転シナリオでも観測結果をよく説明できることが示されている (Shimoikura et al. 2016)。現状では、この 2つのモデルを観測的に区別する事は難しく、星団形成過程には未知の部分が多い。また、星間磁場がガスの収縮に大きく関与している可能性が示唆されているが (e.g., Shimoikura et al. 2018)、磁場が星団形成に及ぼす影響についてもよく分かっていない。そのため、2つの星団形成モデルの物理過程と、磁場が果たす役割について詳しく理解する必要がある。

本研究では手始めとして、単一クラump内での星団形成過程に注目した。3次元自己重力磁気流体シミュレーションを行い、 $\sim 10^3 M_{\odot}$ のクラumpが回転を伴って収縮して、星団を形成する過程を探った。初期のクラumpが重力エネルギーの 2割程の回転エネルギーを持つ場合、回転なしのモデルに比べて、星形成効率 (SFE) が数倍程度低下しており、回転が SFE に大きな影響を及ぼすことが明らかになった。本発表ではこれらの計算結果を紹介した上で、回転と磁場がガスの運動と星形成率に及ぼす影響や、回転収縮モデルの観測的特徴について議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P137a ALMA による大マゼラン雲大質量原始星に付随する高密度分子ガスの観測 (1)

原田直人, 野崎信吾, 町田正博 (九州大学), 徳田一起 (九州大学/国立天文台), 田中圭 (コロラド大学ボルダー校/国立天文台), 下西隆 (新潟大学), Yichen Zhang (バージニア大学), 北野尚弥, 小西亜侑, 大西利和 (大阪公立大学), 柘植紀節 (フリードリッヒ=アレクサンダー大学), 福井康雄 (名古屋大学)

大マゼラン雲は金属量が太陽系の半分程度であることに加えて、銀河面から離れた位置的恩恵により、原始星に付随する分子ガスを統計的に調査する上でも重要な銀河である。近年の ALMA 望遠鏡による観測により、大マゼラン雲 N159 領域において大質量原始星に付随する幅 ~ 0.1 pc、線質量 $\sim 1000 M_{\odot} \text{pc}^{-1}$ のフィラメント状分子雲が発見されつつあるが、それらの力学的性質を調べるための高密度ガストレーサーの選定や、様々な領域での普遍性/多様性の検証は発展途上にある。そこで、我々は大小マゼラン雲の大質量原始星をターゲットとした MAGOS プロジェクトの ALMA データ (田中他 2022 年春季年会) のうち、大マゼラン雲の光度 (L_{bol}) が $(0.1-2) \times 10^5 L_{\odot}$ の大質量原始星 30 天体方向の 0.87 mm 連続波と HCO^+ (4-3) のデータ (空間分解能 ~ 0.1 pc) の解析を行った。大質量フィラメントの存在が報告されていた N159W-South 領域において HCO^+ (4-3) は 0.87 mm 連続波との空間的な対応が良く、その他の領域においても同様な傾向が見られたことから、 $n(\text{H}_2) \sim 10^5-10^6 \text{cm}^{-3}$ の高密度ガスのトレーサーの 1 つとして有用であることを確認できた。また、光度が $4 \times 10^4 L_{\odot}$ 以下の原始星 (全サンプルの 40% に相当) の周囲ではアスペクト比が 4 以上、線質量が数 $100 M_{\odot} \text{pc}^{-1}$ の細長い構造が見られない傾向にあったが、対照的に原始星光度が高くなるほど原始星天体の付近は連続波/ HCO^+ 強度も強く、複数本のフィラメント状構造からなる複雑な形状をしていることが明らかになった。これらの結果は、より巨大な星/星団を生み出すためには複雑な形状を持つ高密度フィラメント状分子雲が形成される必要があることを示している。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P138a ALMA による大マゼラン雲大質量原始星に付随する高密度分子ガスの観測 (2): 星団形成初期段階 N159W-North 大質量クランプの特徴

徳田一起 (九州大学/国立天文台), 原田直人, 野崎信吾, 町田正博 (九州大学), 田中圭 (コロラド大学ボルダー校/国立天文台), 下西隆 (新潟大学), Yichen Zhang (バージニア大学), 北野尚弥, 小西亜侑, 大西利和 (大阪公立大学), 柘植紀節 (フリードリッヒ=アレクサンダー大学), 福井康雄 (名古屋大学)

大マゼラン雲は銀河系とは異なる環境下における星形成過程を調べるだけでなく、その位置的利点も合わせると大質量星 (およびその星団) 形成の理解において極めて重要な位置付けにある。特に本研究対象の N159W-North 領域 MMS-2 はサイズが 1 pc 程度、総質量が $\sim 10^4 M_{\odot}$ 、ピーク柱密度が $\sim 10^{24} \text{cm}^{-2}$ とその他の領域と比べても特異的に巨大な高密度クランプであり、大質量 ($\sim 100 M_{\odot}$) の星あり/星なしコアを複数内包することから、巨大星団に進化する初期段階を調べる上で重要天体である (Tokuda et al. 2022)。大マゼラン雲 30 個の大質量星原始星に付随する ALMA 観測 (田中他 2022 年春季年会, 原田他本年会) の HCO^+ (4-3) データを用いて、我々は上記 MMS-2 の星形成に直結する高密度領域 ($n(\text{H}_2) \gtrsim 10^5 \text{cm}^{-3}$) の物理的性質の理解を深めるためのケーススタディーを行った。大質量原始星が付随する分子雲コア MMS-2a/b と MMS-2d は互いに 0.6 pc 程度離れており、システム速度の差が $\sim 3 \text{km s}^{-1}$ 程度の別々のフィラメント状分子雲が付随していることを確認した。両者ともヘッド-テール構造を有しており、原始星が南側の“ヘッド”の部分に位置する。これらの空間構造はより大きいスケール (30 pc) で明らかになっていた CO 分子雲の特徴とも定性的に酷似していること、典型的なサイズ-線幅関係で予想される線幅よりも優位に大きい速度差をもつ高密度領域が存在することから、星団形成に至る前段階で密度とスケールが異なる階層のかつ複数の速度を持つフィラメント分子雲が形成されると考えられる。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P139a マゼラン雲金属量環境での分子雲形成

小林将人, 岩崎一成 (国立天文台), 富田賢吾 (東北大学), 井上剛志 (甲南大学), 大向一行 (東北大学), 徳田一起 (九州大学/国立天文台)

H_I ガスの超音速降着は分子雲の質量成長や内部乱流維持に必要と考えられており, これまでの天の川銀河の星間媒質の観測・理論研究から, 降着流の密度構造が分子雲の質量成長率と乱流強度に重要なパラメータとわかってきた. 一方で近年のマゼラン雲の観測から, 銀河間潮汐相互作用による銀河脱出速度に匹敵する高速度な H_I ガス降着が, 数 Myr 以内の急速な大質量星団形成の重要な機構だと明らかにされてきた. この急速な星団形成には, H_I ガスの密度・速度揺らぎに起源を持つ星形成フィラメントの形成を伴っている. しかしマゼラン雲に代表される低金属量環境で, H_I ガスの密度・乱流構造の進化を調べる理論研究はまだ端緒についたばかりであり, 特にフィラメント・分子雲コア程度の空間スケールの密度構造・乱流構造が未解明であった.

そこで 20pc スケールの H_I ガスの熱進化・乱流進化・密度進化を調べる 3次元磁気流体シミュレーションを, 1 太陽金属量 (Z_{\odot}), $0.5 Z_{\odot}$, $0.2 Z_{\odot}$ の 3 金属量で実施した. 本計算では温かい H_I ガス (WNM) から, フィラメント構造の種として重要な冷たい H_I ガス (CNM) クランプの形成を, 0.02pc の高解像度で追った. 3 冷却時間で異なる金属量間を比較した結果, CNM クランプ質量関数は $dn/dm \propto m^{-1.8}$ のほぼ同じ冪分布に従うことが明らかになった. これはいずれの金属量でも, Kolmogorov スペクトルを持つ密度ゆらぎから熱不安定性による CNM クランプ形成が発生し, その効率が金属量にほぼ比例することを意味する (参考: 3 冷却時間 $\simeq 3$ (15) Myr @ 1 (0.2) Z_{\odot} .) したがってマゼラン雲などで見られる低金属量環境の急速な分子雲形成には, 降着 H_I 流が WNM 一相ではなく, CNM クランプや CO-dark ガス相当の高密度構造をあらかじめ保持する可能性が示唆される.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P140a YSO の系統的観測で探る大マゼラン雲の星形成活動

國生拓摩, 鳥居洋希, 金田英宏, 福井康雄, 立原研悟 (名古屋大学)

大マゼラン雲では活発な星形成領域が観測され, スーパーシェルや小マゼラン雲との銀河間相互作用など, 特徴的な星形成トリガーが働いている. 銀河全体にわたりこれらの星形成トリガーの寄与を明らかにするため, 本研究では young stellar object (YSO) に着目し, それぞれの星形成領域における YSO の進化段階や光度・質量関数を調べた. 具体的には, Spitzer や Herschel による大マゼラン雲サーベイ観測で得られた YSO サンプルについて, 可視光・赤外線 spectral energy distribution を解析し, 星と星周ダストの光度を求めた. この光度比を YSO 進化段階の指標とすることで, 従来の YSO のクラス分類に比べて, より連続的にその進化段階を評価した.

解析の結果, 4038 天体の YSO について星と星周ダストの光度を得た. 星/ダスト光度比が小さい, 即ち若い YSO ほど濃い水素ガスに沿った空間分布を示し, 最近の星形成が濃いガスに付随する様子が銀河全体にわたり捉えられた. また, 小マゼラン雲との相互作用の影響を受けている領域では YSO の星/ダスト光度比が系統的に低く, 直近の星形成トリガーが示唆される. さらに各領域ごとに星の光度関数を調べると, 星形成トリガーに応じて関数が有意に異なることが分かった. これらの結果をもとに, 本講演では大マゼラン雲における星形成やそのトリガー機構の性質について議論する.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P141a 大マゼラン雲におけるO型星アソシエーションの形成

立原研悟, 玉城磨生, 國生拓摩, 福井康雄 (名古屋大学), 柘植紀節 (Friedrich-Alexander Univ.)

大質量星、特に質量 $\gtrsim 20 M_{\odot}$ のO型星は、紫外線放射や恒星風などにより、周囲の星間物質に多大な影響を及ぼす。しかし小質量星に比べて数が少なく、その形成機構については以前より議論が続いている。今回我々は、Zaritsky et al. (2004) による大マゼラン雲全面のUBV測光データを元に、Furuta et al. (2022) によるIRSF望遠鏡のJHKバンドの測光から求められた、100秒角分解能の減光マップを参照してカラーを補正し、2色図からO型星を1100個同定した。

これらの分布はいくつかの星形成領域に集中し、半径数分角(30-数100 pc)に数10個のO型星を含むアソシエーションを形成している。先行研究では、同様のUBV測光データに対し、Spitzer SAGEプロジェクトなどの近赤外線測光データを加え、およそ580個のO型星がカタログされていた(Bonano et al. 2009)。しかし特にN148, N79, N180, N159などの領域では、含まれるO型星の数はそれぞれ数個のみであったが、今回は周囲に分布するものも含め、数10個に増加した。一方でN11のように、今回の方法では数個しかO型星が検出されない領域もあった。これは、減光マップの分解能より小さなスケールで存在する星間物質の影響が考えられる。これらのO型星の分布は、HIガスの速度構造から、2つのガス雲の衝突が示唆される領域(Tsuge et al. 2020)と相関が見られ、衝突によって誘発的に形成された可能性が考えられる。特に30 Dor領域南部には、molecular ridgeに沿ってN159領域までO型星が分布していることがわかり、分子雲に埋もれた最近の大質量星の形成活動を示していると考えられる。さらにこれらのO型星アソシエーションの性質について議論する。

[スケジュール\(セッション毎\)に戻る](#)

[スケジュール\(全体\)に戻る](#)

[講演者索引 TOPに戻る](#)

P142a フィラメント分子雲の力学進化における偏波構造

吹原瑠, 塚本裕介(鹿児島大学)

近年、Herschel宇宙望遠鏡などの観測により分子雲にはフィラメント構造(以下フィラメント)が普遍的に存在することが示された。そのため、理論研究においてもフィラメントが重力分裂・収縮し様々なダイナミクスを経て原始星形成に至るといった新たな星形成シナリオを構築する必要性が強く認識されつつある。さらに、JCMTなどを用いたダスト熱輻射の詳細な偏波観測により、フィラメント分子雲内の磁場構造の観測的な理解が近年急速に進んだ。これにより、磁場の方向だけでなくその強度や力学的な役割について偏波観測から議論することが可能になりつつある。Doi et al. 2021ではフィラメント短軸方向の輝度Iと偏波強度PIの違いから磁場強度を推定する試みがなされている。

そこで本研究では、数値計算コードSFUMATOを用いて乱流を持つフィラメントに磁場強度をパラメータとしてフィラメントから原始星形成までの3次元シミュレーションを行った。その結果全ての磁場強度においてフィラメントは分裂しコアを形成したものの、磁場構造やガスの運動、物理量進化の傾向は磁場強度に応じて異なることがわかった。さらに、これらのシミュレーション結果に輻射輸送計算コードRADMC-3Dを用いて、ダスト偏波の観測的可視化を行った。本講演では磁場強度に応じたフィラメント進化の様子と観測位置に依存する偏波率の変化に加えて、Doi et al. 2021で提案されたようなIとPIの半値幅を用いた磁場強度の推定方法に則した乱流フィラメントの偏波データの特徴について議論する予定である。

[スケジュール\(セッション毎\)に戻る](#)

[スケジュール\(全体\)に戻る](#)

[講演者索引 TOPに戻る](#)

P143a 星形成フィラメント進化過程解明に向けた MHD シミュレーション

安部大晟 (名古屋大学), 井上剛志 (甲南大学), 犬塚修一郎 (名古屋大学)

星は分子雲中の高密度領域で形成されるがその高密度領域がフィラメント状であることや (e.g., André et al. 2010)、分子雲を通過する衝撃波がそのフィラメントの形成を誘発することがわかっている (e.g., Inoue & Fukui 2013; Abe et al. 2021)。特にフィラメント進化過程で決まるであろうフィラメントの幅は星形成初期条件や星の質量を決める重要な量である (Tomisaka 2014; Inutsuka & Miyama 1997)。観測結果からフィラメントの幅はその線密度によらず普遍的に 0.1 pc であることがわかった (Arzoumanian et al. 2019)。ところが、理論的にはフィラメントの幅は高密度なものほど小さいはずであり、観測事実を説明できない。フィラメント境界は MHD 波動のうちスローモードの衝撃波 (スローショック) となっている可能性が高い。スローショックの波面は不安定であり (Lessen & Deshpande 1967; Edelman 1989)、フィラメント内に乱流を駆動しフィラメントを重力収縮から支えるための運動エネルギー供給が期待される。フィラメントのスケールではプラズマ-中性流体の間のドリフトによる磁場拡散である両極性拡散が起こる。両極性拡散は小スケールにおいてスローショック不安定性を抑制する。そこで本研究では両極性拡散が起こる中でどのくらい強くスローショック不安定性が起こるか、不安定性と両極性拡散の釣り合いの長さスケールがどの程度になるか調べる。まず両極性拡散入りのスローショック不安定性の物理を理解するために Athena++ (Stone et al. 2020) を用いた 2 次元 MHD シミュレーションをおこなった。その結果、両極性拡散の長さスケールの約 4 倍 (~ 0.4 pc) でスローショック不安定性が抑制されることがわかった。不安定性の非線形発展についても議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P144a 磁場に貫かれたフィラメント状分子雲同士の衝突進化シミュレーション

柏木 頼我^{1,2}, 岩崎 一成^{1,2}, 富阪 幸治² (1: 総合研究大学院大学, 2: 国立天文台)

星はフィラメント状分子雲内部で形成されると考えられる。近年、そのフィラメント状分子雲同士の衝突に起因する星形成の観測例が報告されている (Duarte-Cabral et al. 2010; Nakamura et al. 2014; Kumar et al. 2020)。このフィラメント衝突過程を理解することは、衝突に由来する星形成の初期条件を知ることにつながる。そこで我々は、フィラメント衝突を再現した数値シミュレーションに取り組んできた。前回の講演では、非磁場のフィラメント衝突に関する二次元流体計算結果を報告したが、本講演では新たに磁場を考慮した二次元磁気流体計算を行い、衝突箇所の動径方向に対する重力不安定の条件とその進化の様子について報告する。初期条件は、同じ線質量の無限に長い 2 本の磁気静水圧平衡にあるフィラメントを平行に配置し、磁力線に沿って、相対速度が遷音速 \sim 超音速で正面衝突すると仮定した。その結果、初期フィラメントの合計線質量が磁気臨界線質量 (Tomisaka 2014) を上回っている場合、衝突箇所が暴走的に収縮する。一方で、合計が臨界値未満の衝突の場合、衝突箇所は磁気静水圧平衡形状とよく似た構造に進化することがわかった。また、崩壊してゆく衝突箇所の密度進化の様子は、非磁場モデルの場合、重力収縮がある密度で一旦止まり、再度収縮に転じていたのに対し、磁場モデルでは一度収縮が始まると止まらないことがわかった。さらに、崩壊している衝突箇所の密度分布が非磁場平衡解の分布と類似していることが明らかになった。本講演では、前回の非磁場モデルとの比較からフィラメント衝突における磁場が進化に与える影響について議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P145a ダスト連続波を用いて分子雲コアの質量関数を導出する方法

竹村英晃 (総合研究大学院大学/国立天文台), 中村文隆 (国立天文台), 木下真一 (東京大学/国立天文台)

星は分子雲の中に点在する分子雲コアで形成され、分子雲コアの質量分布は分子雲コアの質量関数 (CMF) と呼ばれる。そして、星の質量分布である星の初期質量関数 (IMF) は領域に寄らない普遍的な性質であると考えられている。両関数の間には密接な関係があり、その特徴を理解することは星形成過程の解明につながると期待されている。近傍の小質量星形成領域に対する先行観測では、両関数の形状がよく似ていることが示され、分子雲コアの質量の一部が星へ進化すると仮定すると両者の関係が説明できると解釈されている。しかし、我々がオリオン A 分子雲の Orion Nebula Cluster 領域において CMF と IMF の形状と最大値をとる質量が似ていることを示した (2020 年春季年会 P133a) ほか、大質量星形成領域では CMF と IMF の形状が大質量側で異なることが報告されている。これらの結果は分子雲コアの質量が周囲のガスを集めて時間進化することを示唆しているが、その分子雲コアの成長の様子を調べるためには、様々な星形成領域において CMF を比較する必要がある。

CMF の導出にあたり、ダスト連続波は光学的に薄い柱密度のトレーサーだが、分子雲の中に埋もれた構造である分子雲コアの質量を計算するためには周囲の物質の寄与を差し引くべきだと考えられる。そこで我々は分子雲の 3 次元 MHD シミュレーション結果 (Christie et al. (2017) と同様の設定で分解能を ~ 0.03 pc としたもの) を用いて分子雲コアを同定し、3 次元空間内で体積密度から計算したコアの質量と、2 次元に射影して柱密度からコアの質量を比較した。そして、柱密度データからコアの質量を計算するためには背景の柱密度の差し引きが必要であることと、コアの周囲の柱密度を背景とすることで 3 次元データに似た CMF を導出できることがわかった。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P146a 分子雲コアの周辺環境の違いによる質量降着率と星形成効率の変化

野崎信吾, 町田正博 (九州大学)

星は星間分子雲内で密度が高い分子雲コアと呼ばれる領域が自己重力によって収縮することで形成される。形成した星は様々な質量を持つ。そのため、星が形成段階でどのように質量を獲得するのかを考えることは、星形成過程を理解する上で非常に重要である。星形成領域で星と分子雲コアの質量頻度分布を表したものを IMF と CMF と呼ぶ。多くの星形成領域で 2 つの関数は類似しており、CMF を 0.3-0.7 倍すると IMF と良く一致する。そのため、孤立した分子雲コアのガスの 30-70% が星に変換されると考えられていた。一方、近年の観測から ONC 領域では IMF を CMF と一致させるためには CMF を 100% 以上増加させる必要があることが分かった。(Takemura et al. 2021a,b) これは、分子雲コアがその進化過程で外部から質量を獲得する必要があることを示唆している。

本研究では IMF と CMF の関係を調べるため、磁気流体シミュレーションコードを用いて星形成過程でのガス雲コアの質量増大に関する数値計算を行った。分子雲コアと同程度、もしくは、より大きな質量の星ができることを再現するため、分子雲コアの初期密度分布と重力圏の大きさをパラメータとして質量降着率の変化を調べた。様々なパラメータで長時間の質量降着率を見積もるため中心にシンクを置き、磁場・回転を無視して計算を行った。結果、分子雲コアの周辺密度が比較的高い場合、高い質量降着率が維持されることが分かった。さらにそのような場合の質量降着率は、時間が経つにつれ Bondi 降着率に漸近することが示された。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P147a Corona Australis 分子雲 IRS7 領域における分子雲コアの性質と星団形成

深谷直史¹, 立原研悟¹, 西岡丈翔¹, 徳田一起^{3,4}, 山崎康正², 原田直人⁴, 山崎駿⁴, 町田正博⁴, 深川美里³ (1: 名古屋大, 2: 大阪公立大, 3: 国立天文台, 4: 九州大)

小質量星形成のモードの一つである星団形成について、どのように高密度コアが形成されるかはわかっていない。我々は星団形成領域における小質量星形成の初期条件の理解を目的として、最近傍 ($d = 149$ pc) の活発な小質量星団形成領域である Corona Australis 分子雲を対象とした ALMA データの解析を進めている。ACA を用いた観測では、幅 ~ 0.1 pc のフィラメント構造の内部により密度の高い幅 ~ 0.02 pc のサブフィラメントが多数存在し (西岡他 2022 年春季年会)、IRS7 領域に対する 12 m array による観測データの解析からサブフィラメント中に 1000 AU 程度の間隔で原始星や星なしコアが埋もれていることを確認した (深谷他 2022 年春季年会)。

今回 IRS7 領域の 1.3 mm 連続波と $C^{18}O$ ($J=2-1$) に関して解析を行った。連続波に対しては原始星と思われる 4 つの点源を 2 次元ガウシアンフィッティングで除去し、点源 IRS7B については複数の点源が存在するため、より高分解能の ALMA アーカイブデータ (2019.A.00034.S, 分解能 $\sim 0''.24$) を基に合成ビームで畳み込んだものを差し引いた。残差のイメージから連続波の弱く広がった放射が見られ、 $C^{18}O$ と似た分布をしていた。これらに対しピークの半値を境界とし連続波と $C^{18}O$ が一致するものをコアと定義した。連続波源の付随から星ありコアを 3 個、星なしコアを 2 個同定した。連続波放射から導出したコアの物理量は柱密度 $\sim 10^{23}$ cm^{-2} 、密度 $\sim 10^7$ cm^{-3} 、質量 $\sim 0.01 M_{\odot}$ であった。これらは $C^{18}O$ から求めたものとはほぼ同程度であった。これらは分子雲中で多数形成された高密度フィラメントが短い波長 (1000 AU 程度) で星形成に直結する微小コアに分裂し星団形成に至ることを示す。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P148a The most massive cores in the 70 μm -dark massive clumps

Kaho Morii (Univ. of Tokyo/NAOJ), Fumitaka Nakamura, Patricio Sanhueza, Ken'ichi Tatematsu (NAOJ/SOKENDAI), Satoshi Ohashi (RIKEN), Takeshi Sakai (Univ. of Electro-Communications)

Infrared dark clouds (IRDCs) are cold, dense regions thought to host the earliest stages of high-mass star formation. To understand core properties in the very early phase, we conducted ALMA 1.3 mm continuum observations at an angular resolution of $1''.2$ (~ 0.02 pc at 4 kpc) toward thirty-nine clumps, parts of IRDCs. Our targets are 70 μm -dark, massive (220–4500 M_{\odot}), dense (> 0.1 $g\ cm^{-2}$), and cold (10–20 K) clumps at distances between 2 and 6 kpc. Thanks to mosaicking the whole area of clumps and the large sample number, we identify ~ 900 cores with masses of 0.06–77 M_{\odot} . We reveal that most (34/39) clumps only host low- to intermediate-mass cores, not enough to form high-mass stars by core accretion. In particular, the masses of the most massive cores (MMCs) in 22 clumps are only 2–10 M_{\odot} . We find eight high-mass ($\gtrsim 30 M_{\odot}$) protostellar cores and no high-mass prestellar cores. Although our observations resolve most clumps in a network of filaments, from which 16 contain hub systems, all high-mass cores except one and the majority of the MMCs are not located at prominent hub systems. It implies that the inflow along the multiple filaments is not yet an efficient process at the earliest stages of high-mass star formation. The dust continuum emission also reveals no strong correlation between clump mass and the mass of the MMCs. In this talk, we will summarize the core properties revealed by the dust continuum emission.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P149a HI ガス衝突による大質量星団形成における星形成フィードバック効果の影響

前田龍之介, 福井康雄 (名古屋大学), 井上剛志 (甲南大学)

星団の中でも若く質量の大きな星団は Young Massive Cluster(YMC) と呼ばれ、その典型的な質量と半径は $M > 10^4 M_{\odot}$, $R \sim 1$ pc である。YMC は超新星爆発・恒星風・紫外線といった現象で周囲の星間媒質に多大な影響を与える重要な天体であるが、その形成過程は未解明である。一方で、近年の大マゼラン雲 (LMC) における HI ガスの観測から、LMC の YMC は HI ガスの高速衝突 ($\sim 100 \text{ km s}^{-1}$) によって形成したことが観測的に示唆された (Fukui et al. 2017; Tsuge et al. 2019)。理論的にも、ガス衝突によって形成した衝撃波後面領域が重力崩壊することによって、大質量星団の前駆体である $M \sim 4 \times 10^4 M_{\odot}$, $L \sim 4$ pc 程度のガスクランプが形成可能であることがシミュレーションによって示されており (Maeda et al. 2021)、中性水素ガス衝突による YMC 形成は希薄な星間媒質から大質量星団への進化を記述する現実的なシナリオである。

しかしながら、Maeda et al. (2021) では星が形成されたことによる星間ガスへのフィードバック効果は考慮されていなかった。これは形成したガスクランプの脱出速度が HII 領域の膨張速度に比べて大きい (重力の影響が支配的である) ため、フィードバックによってクランプのガスを霧散することができないと考えられたためである。ただし、見積もりに使用されている脱出速度は十分ガスクランプが十分高密度に進化した時点でのクランプの脱出速度であり、ガス集積以前のフィードバックの効果がどの程度 YMC 形成に影響を及ぼすかは実際にフィードバックを考慮したシミュレーションを実行する必要がある。そこで本研究では、星からの光電離効果を考慮した、HI ガス衝突による大質量星団形成シミュレーションを行った。計算の結果、星からの光電離効果を考慮した場合でも大質量星団の前駆体となる大質量ガスクランプが形成可能であることがわかった。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)[スケジュール \(全体\) に戻る](#)[講演者索引 TOP に戻る](#)

P201a Early Planet Formation in Embedded Disks (eDisk): First-look results of CB68

城戸未宇, 高桑繁久, 西合一矢 (鹿児島大学), the eDisk Collaboration

惑星の形成過程を明らかにするために、これまで惑星の誕生の現場であると考えられてきた Class II 天体周囲の円盤の観測が精力的に行われてきた。その結果、惑星が既に存在していることを示唆するギャップ構造が多数検出されており、Class II 天体周囲の円盤中の惑星の存在は普遍的なものであると認識されつつある。さらに近年では、円盤のギャップ中に周惑星系円盤と考えられるダストの構造も確認されている。このような結果は、現在進行形の惑星形成は Class II 天体よりも若い原始星段階 (Class 0, I 段階) で起こっている可能性を示唆する。しかしながら、原始星における惑星形成に着目した、高空間分解能の系統的な観測はこれまで行われてこなかった。そこで我々は、原始星での惑星形成の現場を直接検出し、その全体像を明らかにすることを目的とした ALMA 大型観測プロジェクト「eDisk」を立ち上げた。eDisk は、19 に及ぶ原始星を、5 au をきる空間分解能で 1.3-mm ダスト連続波、及び $C^{18}O$ ($J = 2-1$) 輝線をはじめとした様々な分子輝線を Band 6 で観測するものである。本講演ではその初期成果の一つとして Class 0 原始星 CB68 の観測結果について報告する。

CB68 は Ophiuchus North Cloud に位置する孤立した分子雲コア中に存在する天体である。そのため周囲の星形成からの影響を受けにくく、原始星周囲での分子ガスの構造、運動を探る上で適切な天体であると言える。解析の結果、1.3mm ダスト連続波により、北東から南西方向に伸びた半径 ~ 20 au のダスト円盤を同定した。また、 $C^{18}O$ ($J = 2-1$) ではダスト円盤の長軸方向に沿って北東に青方遷移、南西に赤方遷移した成分を捉えた。 ^{12}CO ($J = 2-1$) 輝線では円盤と垂直な方向にエミッションを検出し、上記以外の分子輝線についても空間、速度分布を明らかにすることができた。本講演ではこれらの解析結果の紹介、及びその解釈について述べていく。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P202a Early Planet Formation in Embedded Disks (eDisk): First-look results of IRAS 16253-2429

麻生有佑 (韓国天文研究院), the eDisk Collaboration

惑星形成の時期は星誕生から数百万年の前主系列星期と考えられてきたが、近年の多天体探査によりその時期の典型的な円盤質量では巨大惑星を作ることができないと指摘されると、より若く多くの質量を保持する原始星期 (星誕生から数十万年) の惑星形成が議論されるようになった。原始星期における惑星形成の兆候を捉える目的で、19 の原始星 (16 天体を新たに観測) の 1.3 mm 連続波及び分子輝線を調べる ALMA 大型プロジェクト eDisk が進行中である。本講演ではその初期成果の一つとして Class 0 原始星 IRAS16253-2429 の観測結果を報告する。

IRAS16253-2429 は低い内部光度 $\sim 0.09 L_{\odot}$ を持つ Very Low Luminosity Object (VeLLO) である。過去の観測的研究では $C^{18}O$ $J = 2-1$ のインフォール速度から見積もられた中心星質量 $M_{*} \sim 0.03 M_{\odot}$ (Yen et al. 2017, Hsieh et al. 2019) から原始褐色矮星候補となっているが、ケプラー回転円盤は同定されていない。

本観測で得られた角分解能角 $0''.08$ (11 au) の連続波は半径 ~ 30 au のダスト円盤を捉えている。さらに robust パラメータを変えて分解能 $0''.03$ (4 au) まで高めた画像には円盤長軸方向西側 ~ 10 au に伴星又は円盤の内部構造を示唆する第二の成分が見られる。 $C^{18}O$ 及び ^{13}CO $J = 2-1$ 輝線は過去の研究に見られたインフォールするガスを捉えている。 ^{12}CO $J = 2-1$ 輝線の大部分はダスト円盤に垂直な分子流を捉えているが、 $|V - V_{\text{sys}}| = 1.5 - 5.5 \text{ km s}^{-1}$ の成分はダスト円盤内で速度勾配が長軸方向であり、ケプラー円盤の存在を示唆している。位置速度図を用いた詳細な解析などによってこの可能性を今後検証する予定である。SO $J_N = 6_5 - 5_4$ 輝線も検出された。SO が示す北側から西側にかけて腕状の構造は非等方な質量降着流による衝撃波と考えられる。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P203a Early Planet Formation in Embedded Disks (eDisk): First-look results of L1489 IRS

大和義英, 相川祐理 (東京大学), the eDisk Collaboration

若い星の周りに形成される星周円盤は系外惑星の誕生の現場である。近年の ALMA による高空間分解能観測により、Class II 円盤に加えて、いくつかの Class 0/I 円盤にもリング・ギャップ構造などのサブストラクチャーが存在することが明らかになり、若い円盤での惑星形成の可能性が盛んに議論されている。

本講演では、Class 0/I 円盤 16 天体を数 au に迫る高空間分解能で系統的に観測した ALMA Large Program eDisk の初期成果の一つとして、Class I 天体 L1489 IRS 周囲の円盤の解析結果について報告する。L1489 IRS は半径 ~ 600 au のワープしたケプラー円盤を持つことで知られている。1.3 mm ダスト連続波放射を $\sim 0''.08$ の分解能でイメージングした結果、 ~ 50 – 60 au 付近に明瞭なリング構造を検出した。さらに、ビジビリティフィッティングを行うことで、円盤の傾き角やリングの位置を高い精度で推定した。得られたリングの位置は、近年提案されたダスト成長によるリング形成メカニズムによる予測とよく一致する。また、分子輝線 $C^{18}O$ ($J = 2-1$) により先行研究と同様のワープしたケプラー円盤を検出した。円盤の速度構造の解析により中心星質量は $\sim 1.6 M_{\odot}$ と見積もられた。これは先行研究で得られている値と整合的である。SO ($J_N = 5_6-4_5$) は円盤外縁部および中心星近傍 (~ 10 au) で検出された。円盤外縁部の放射はガスがエンベロープから円盤に流入する際の衝撃波を示唆する。中心星近傍の放射は $C^{18}O$ で検出されたガス円盤とほぼ同じ方向の速度勾配を示し、中心星による加熱または衝撃波加熱により昇華した SO 分子をとらえていると考えられる。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)[スケジュール \(全体\) に戻る](#)[講演者索引 TOP に戻る](#)

P204a Class I 原始星 L1489 における円盤形成初期のダスト成長と構造形成

大橋聡史, 坂井南美 (理研), 崔仁士 (ASIAA), 小林浩 (名古屋大)

近年、ALMA や VLA 望遠鏡によるミリ波からセンチ波帯でのダスト連続波観測が原始星円盤に対して積極的に行われており、リングやスパイラルといった構造が発見され始めている (e.g., Nakatani et al. 2020, Segua-Cox et al. 2020)。そのため、惑星形成がいつ、どのように開始するのかを明らかにする上でも Class 0/I 原始星で、円盤形成初期段階のダスト成長を調べるのが重要となってきた。

そこで我々は ALMA アーカイブデータを用いて Class I 原始星である L1489 まわりの原始星円盤のダストサイズ分布と円盤構造について調べた。L1489 原始星は CO ガスの観測から半径 600 au ほどの大きな円盤を形成していることが知られている (Yen et al. 2014, Sai et al. 2020)。そこで、ALMA 0.9 mm と 1.3 mm ダスト連続波データを解析し、そのスペクトラルインデックス (α) を導出したところ、半径 100–300 au では $\alpha \sim 3.6 \pm 0.2$ と求まった。この値は星間ダストの典型的な α 値と同程度であるため、少なくとも円盤半径が 100 au よりも外側ではダストは大きく成長していないことが示唆される。

一方で同じデータを高解像度イメージングしたところ、0.9 mm と 1.3 mm 連続波データの両方で半径 90 au 付近で新たにリングのような構造を暫定的に確認することができた。リング構造がリアルな構造であると仮定すると、リングとその外側での小さなダストサイズは成長前線シナリオ (Ohashi et al. 2021) と一致する結果であり、L1489 原始星円盤は惑星形成が始まったばかりの進化段階であることが示唆される。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)[スケジュール \(全体\) に戻る](#)[講演者索引 TOP に戻る](#)

P205a Cloudlet Capture Model for the Streamer Associated with DG Tau

Tomoyuki Hanawa (Chiba U.), Antonio Garufi, Linda Podio, Claudio Codella (Arcetri), Dominique Segura-Cox (MPE, U. Texas)

DG Tau is a well-known Class II source associated with jets and a residual envelope. Recently, Garufi et al. (2022, *A&Ap*, 658, A104) found an extended streamer feature in the envelope and a bright spot of SO and SO₂ near where the streamer joins the disk, possibly tracing the impact of the streamer on the disk. If so, the streamer is an ongoing and direct gas flow from the envelope ($r > 400$ au) to the disk ($r \simeq 60$ au). To confirm this, we constructed hydrodynamic simulations of a cold gas cloudlet falls onto the rotating gas disk of DG Tau. Our model can reproduce the morphology and line-of-sight velocity of the streamer and the impact position. We report the hydrodynamic simulations and compare with ALMA observations.

Our model assumes that DG Tau is surrounded by a warm atomic gas, while the gas disk and accreting cloudlet consist of cold molecular gas. At the initial stage, the cloudlet is located at an elliptical orbit periastron (600 au from DG Tau). The orbit is tilted 10° with respect to the disk and has the eccentricity of 0.9. The cloudlet has the initial radius of 90 au but is highly elongated by the tidal force and the warm atomic gas. The warm gas is invisible in molecular emission but is key in channeling the cloudlet into a narrow streamer as it approaches the disk. The streamer is transient and has a lifetime of $\simeq 1000$ years in our model.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P206a 表層で降着する原始惑星系円盤におけるダスト濃縮

奥住聡 (東京工業大学)

原始惑星系円盤におけるダスト成長と微惑星形成を理解することは惑星形成論の長年の課題である。一般に微惑星形成は、ダストの継続的な合体成長か、あるいはストリーミング不安定などを経由したダストの重力不安定によって起こると考えられている。しかし、年齢が数百万年の円盤にも多くのダストが残留している事実をふまえると、ある程度より大きいダストの合体成長は衝突破壊によって阻害されている可能性がある (Birnstiel et al. 2009)。一方で、もしダストの成長が大きく阻害されているのであれば、ダストの動径方向のドリフト運動を通じた円盤内濃集も非効率であると考えられる。これは、高いダスト・ガス比を要求するストリーミング不安定を通じた微惑星形成にとっても不利な状況である (e.g., Carrera et al. 2015; Yang et al. 2017)。

本講演では、円盤ガスの磁気流体力学的な表層降着が、円盤深部のダスト・ガス比上昇 (ダスト濃縮) を引き起こす可能性を示す。円盤の磁気流体計算 (e.g., Bai 2017) によると、磁場によって駆動される円盤降着は、電離源である宇宙線や X 線が届く領域 (典型的には表面からの柱密度が $10\text{--}100 \text{ g cm}^{-2}$ 以下の領域) で特に卓越する傾向にある。面密度の高い軌道領域では、この降着流は赤道面から離れた場所に形成される。もしダストが赤道面近くに沈殿していれば、表層降着流はガスを選択的に中心星方向に運ぶ。さらに、ダストの成長が破壊によって制限されているなどの理由で、ダストの落下 (ガスとダストの公転速度差に起因するもの) が遅ければ、ダスト面密度はガス面密度よりも遅く減少する、つまり、円盤のダスト・ガス比の増加が起こる。本講演では、磁気風の反作用で降着するガス円盤 (Tabone et al. 2022) の中でのダストの進化 (成長・破壊・沈殿・動径方向の輸送) を計算した結果に基づき、ダスト濃縮が起こる条件、微惑星形成の可能性、円盤観測への示唆を議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P207a 円盤鉛直シア乱流下のダストの沈殿と拡散: 平衡状態はあるか?

福原優弥, 奥住聡, 小野智弘 (東京工業大学)

原始惑星系円盤におけるガス乱流は、ダストの成長・輸送や微惑星形成に影響を与える。近年、これらに影響を与える乱流生成機構として、円盤の放射冷却に起因する鉛直シア不安定性 (VSI) が注目されている。VSI が駆動する乱流はダストを鉛直方向に強く拡散する (Flock et al. 2020)。しかし、ダストが拡散すると円盤冷却率の分布が変わり、VSI 乱流の強さが変化しうる (Fukuhara et al. 2021)。この相互作用の結果、どのようなダスト鉛直分布が実現するのかは未解明である。

本研究の目的は、VSI 乱流中でのダストの沈殿と拡散の間に平衡状態が存在しうるのか明らかにすることである。まず初めに、あるダスト鉛直分布を仮定し、円盤冷却率の空間分布を求める。次に、数値流体シミュレーションの結果を用いて、その冷却率分布における VSI 乱流の強さを推定する。最後に、VSI 乱流の強さが、仮定したダスト鉛直分布と整合的な値を示すか比較し、平衡状態の存在可能性を議論する。

その結果、VSI 乱流によってダストが拡散されている場合と、VSI 乱流が弱まりダストが赤道面に沈殿し続ける場合の二つの状態があることがわかった。この二つのどちらの状態になるかはダストサイズに依存する。最大ダストサイズが 1 mm 以下の場合では、VSI 乱流がダストを鉛直方向に強く拡散する平衡状態になる。このときダストの鉛直拡散係数は 10^{-3} に達する。一方で、ダストが 1 mm より大きくなると、VSI 乱流がダスト沈殿を抑制することができず、暴走的に沈殿する。また、中心星から離れると平衡状態を実現できる最大ダストサイズは小さくなることもわかった。円盤観測から示唆されているダストリングの沈殿は、これらの VSI 乱流によるダスト鉛直分布の違いで説明できる可能性がある。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)[スケジュール \(全体\) に戻る](#)[講演者索引 TOP に戻る](#)

P208a ダストの衝突破壊における破片の質量分布と衝突速度と質量比の関係性

長谷川幸彦 (東京大学), 鈴木建 (東京大学), 田中秀和 (東北大学), 小林浩 (名古屋大学), 和田浩二 (千葉工業大学)

惑星が形成される原始惑星系円盤はガスとダストから成る。ダストは主に衝突付着によって成長すると考えられているが、ダスト間の衝突速度はダストの成長と共に増加していき、衝突速度が速くなりすぎるとダストは衝突によって成長出来ずに破壊される。このダスト衝突時の成長と破壊は惑星形成の初期段階を理解するために非常に重要であるが、その詳細は、しかしながら、まだそれほど解明されていない。我々は大量のダストモノマーから成る二体のダストアグリゲイトの衝突成長と破壊の様子を N 体コードを用いた第一原理的な数値計算を実行して調べた。我々は以前の年会にて、衝突破壊に関する臨界速度が標的から衝突体への質量輸送のせいで小さくなる事を発表した。本年会では、二体の衝突によって形成される破片の質量と衝突前の二体間の質量比と衝突速度の関係性に関する発表を行う。最も大きい破片と二番目に大きい破片はそれぞれ二または三種類の衝突速度に関するべき状態則で表されるが、その種類数はそれぞれ質量比に依存する事が分かった。一方、三番目よりも小さい破片の累積質量分布のべきは質量比にあまり依存しない事が示唆された。これらの分布のフィッティングによって、衝突速度と質量比から衝突後の破片の質量分布を計算出来るモデルを作成した。また、この累積分布のべきの値から、破片の総質量および総衝突断面積は大きい破片が支配的である事が示唆された。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)[スケジュール \(全体\) に戻る](#)[講演者索引 TOP に戻る](#)

P209a 原始惑星系円盤におけるシリケートダストの運動：彗星中のシリケート結晶化率の推定

岡本珠実, 井田茂 (東京工業大学)

結晶質シリケートは、原始惑星系円盤 (以下、円盤) の太陽近傍の高温領域 ($T \gtrsim 1000$ K) で、非晶質シリケートがアニーリングされることで形成されたとされている (e.g., Wooden 2008)。一方で、分光観測結果から彗星中に含まれているシリケートのうち、10–60% は結晶質であることがわかっている (e.g., Shinnaka et al. 2018)。彗星は円盤外側で形成されると考えられていることから、円盤内側で形成された結晶質シリケートが遠方へ運搬される必要がある。

本研究では、惑星形成論で考えられているペブル降着モデルに基づいて、非晶質シリケートダストは水の層が覆われる形で氷ペブルとして円盤外側領域に存在し、スノーライン内側で氷が昇華することにより内部のシリケートダストが放出され、より内側のアニーリングラインで結晶化されると仮定し、円盤内のシリケートダストの運動を追跡した。その結果、氷ペブル流が定常である場合は彗星中の結晶質シリケートの割合は5%となることが数値的・解析的に示された。一方で、氷ペブル流が減衰する場合は結晶化率が最大25%まで上昇することが示された。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P210a 付着 N 体計算で探るダスト集合体のせん断強度と内部構造変化

辰馬 未沙子, 奥住 聡 (東京工業大学), 片岡 章雅 (国立天文台), 田中 秀和 (東北大学)

ダスト粒子が集合したダスト集合体の内部構造は、ダスト集合体の強度や熱伝導率を決める要因であり、ダスト集合体同士の衝突結果や熱進化に影響を与える。ダスト集合体の内部構造が変化する要因として、ダスト集合体同士の斜め衝突などでせん断力がはたらく場合が挙げられる。しかし、せん断力がはたらいたときのダスト集合体の内部構造変化についてはよくわかっていない。また、ダスト集合体同士の斜め衝突では、せん断力による破壊が起きるせん断強度が衝突結果に影響を与えるが、ダスト集合体のせん断強度を実験により求めることは難しい。そこで、ダスト集合体の数値計算を用いてせん断強度が求められているが (Seizinger et al. 2013)、せん断力がはたらき続けたときの内部構造変化は調べられていない。

そこで我々は、ダスト集合体にせん断力がはたらいたときの挙動を調べるため、ダスト粒子の付着力を考慮した N 体計算 (Wada et al. 2007) を用いてダスト集合体のせん断計算を行った。初期条件としては、形成過程を模擬して等方的に圧縮した構成粒子半径 $0.1 \mu\text{m}$ の氷ダスト集合体を用いた。また、境界条件としては周期境界を用い、一対の周期境界を反対向きにずらしていくことでせん断の動きを与え、せん断の動きを与え続けたときの挙動を調べられるようにした。この N 体計算の結果、せん断ひずみが増加するにつれてせん断応力が増加し、あるところで最大値をとることが見られ、せん断強度を得ることに成功した。このせん断強度は、ダスト集合体の引張強度 (Tatsumi et al. 2019) と同程度であることも明らかとなった。また、せん断応力が最大値をとった後もせん断の動きを与え続けると、ダスト集合体内部の裂け目が空隙となり、内部構造の変化が見られた。本発表では、この内部構造変化を定量的に評価した結果も紹介する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P211a 固体小惑星を起源とする周白色矮星円盤の降着進化

奥谷彩香 (国立天文台), 井田茂 (東京工業大学), 兵頭龍樹 (JAXA)

2-3 太陽質量星が起源である白色矮星の約半数は惑星が存在していた痕跡を示し、中質量星周りの惑星系の姿を解明する手がかりとして注目を集めている。その白色矮星大気中には Fe, Si, O, C などの重元素が含まれる (Zuckerman et al. 2010)。さらに、その周囲におけるダストと蒸気の円盤の存在が赤外超過や輝線観測から分かっている。これらはかつて星周りに存在した惑星・小惑星を起源とし、星近傍で潮汐破壊された(小)惑星が降着円盤を形成していると考えられている (e.g., Farihi 2016)。従って、これらの重元素の観測から、その起源である惑星のバルク組成や惑星系全体の構造・力学進化について明らかにできる可能性がある (e.g., Harrison et al., 2021)。

重元素の観測から上記の情報を読み出すためには、降着過程の最後を担う周白色矮星円盤モデルの構築が不可欠である。本研究では、その第一歩として、岩石小惑星・氷小惑星それぞれがロシュ限界内に形成する複数成分円盤の時間進化を追跡し、観測で得られた降着率および星大気組成を再現できるかどうかを調べた。具体的には、原始惑星系円盤でのペブルの移流・拡散・昇華・凝縮を扱う Hyodo et al. (2019, 2021) のコードを周白色矮星環境に適用できるように改変して計算を行った。その結果、岩石円盤では岩石蒸気が昇華ラインで拡散・再凝縮してダストとして蓄積するため、降着率に上限値が存在し観測値を説明できないことが分かった。一方で、氷惑星を起源とする円盤では水蒸気によるガス抵抗で岩石ダストの落下が促進され、観測された高い降着率を再現できることがわかった。同時に、岩石ダストから水蒸気へのバックリアクションによって、水蒸気の降着率は岩石蒸気の降着率よりも一桁程度小さくなりうる。これは、揮発性元素に枯渇した星大気組成とも整合的な傾向にある。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P212b 原始惑星系円盤における乱流とダスト成長

河原昌平、梅村雅之 (筑波大学)、石原卓 (岡山大学)

原始惑星系円盤において、ガスは乱流状態になっており、ダストは其中で付着成長を繰り返し、原始惑星まで成長した。しかし、乱流によって加速されたダストは衝突しても、跳ね返りや破壊の確率が高くなり、特に岩石惑星の元となるシリケートダストにおいて、この問題は特に重要である。さらに、ガスとの摩擦によって角運動量を失うダストは中心星に短時間で落下する問題 (Adachi et al 1976) を乗り越えるため、微惑星まで短時間で成長するメカニズムの発見が必要である。そのため、高レイノルズ数乱流とダストの運動と集積のメカニズムを正確に理解することが重要である。

本研究では、高レイノルズ数 ($Re=36500$) の乱流をナビエ-ストークス方程式の直接数値計算によって再現し、その中で、複数サイズのダストの運動を計算した。(デッドゾーンにおけるシリケートダストを想定している。) その結果、渦度の強さと粒子の付着率に負の相関が確認でき、渦から弾き出された場所でダストの低速衝突が起きることが分かった。サイズの大きい粒子は、衝突相対速度が大きいため、付着率が小さいと思われてきたが、この相関が特に強いことが分かり、渦から弾き出された領域において寡占的に成長する可能性が示唆できる。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P213b 原始惑星系円盤の初期進化段階における宇宙線強度とダスト量の影響

小林雄大, 塚本裕介, 高石大輔 (鹿児島大学)

宇宙線強度やダスト量は銀河や領域で異なる。例えば、Phan et al 2018 では太陽近傍と星形成領域の分子雲コアでは宇宙線による電離度が2桁程度高いことを提案した。また Cioni et al 2009 などによって大マゼラン雲、小マゼラン雲、M33 でダスト量が最大 1/10 程度低いことが知られている。さらに、低金属量環境は円盤形成進化に影響を与える可能性があることも観測からわかってきた。Yasui et al 2010 では低ダスト量環境では星の円盤保有率が低いことが示されている。

一方、原始惑星系円盤の形成進化過程では、磁場による角運動量輸送”磁気ブレーキ”が重要である。磁気ブレーキによる角運動量輸送は荷電粒子と磁場の結合度、すなわち非理想 MHD 効果の強さに依存する。そのため、荷電粒子の発生源である宇宙線、荷電粒子の吸収源であるダスト量は円盤の形成進化過程での角運動量の輸送量を決定する重要なパラメータであると考えられる。しかし、宇宙線強度やダスト量をパラメータとして、非理想 MHD 効果を考慮した円盤の形成進化過程はこれまで限られた研究しかされてこなかった。

そこで本研究では、宇宙線強度とダスト量をパラメータとして3次元非理想 MHD シミュレーションを行った。その結果、宇宙線強度の上昇/ダスト量の減少にしたがって、(1) 円盤のサイズ、質量が減少すること、(2) 円盤を維持可能なタイムスケールが減少することがわかった。これは主に (3) 両極性拡散の抵抗値が減少することで引き起こされる。本発表ではこれらの結果から宇宙線強度、ダスト量と円盤のサイズや保有率との相関について議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P214a 大局的非理想磁気流体シミュレーションから明らかにする原始惑星系円盤の温度構造

森昇志 (東北大学), Xuening Bai (清華大学), 富田賢吾 (東北大学)

太陽系の地球型惑星は水に枯渇した惑星であるため、原始太陽系円盤の水スノーラインの内側で形成したと考えられる。スノーラインは水の昇華境界であり、その半径より内側では水は水蒸気として存在する。そのためスノーラインの位置とその時間進化を知ることで、地球型惑星の形成時期と場所を制約することができる。これまでスノーラインの位置は、円盤中の磁場を伴う乱流がガス降着と円盤加熱を駆動するという古典的な円盤モデルの下で研究されてきた。しかし近年の磁気流体シミュレーションを用いた研究によって、原始惑星系円盤のような弱電離環境では磁場が円盤降着を駆動するものの、磁気乱流は抑制されることが分かった。この磁気的に降着する層流円盤における惑星形成はまだ不明な点が多く、温度構造でさえ未解明である。

これまで我々は、局所磁気流体力学シミュレーションを用いて、層流円盤におけるガス降着時の加熱過程を調べてきた。その結果、加熱は円盤の上層で起き、従来のモデルよりも低温な円盤になりうることがわかった。本研究では、これまでの研究を発展させ、大局的な計算領域における非理想磁気流体シミュレーションを行い、ガス降着による加熱分布を調べる。大局的な計算領域を考慮することで、大局的な磁場構造やそれに伴う強い電流層の加熱を取り扱うことが可能となり、より定量的に円盤温度を調べることが出来る。計算の結果、円盤上層の FUV による電離面で、大局的な磁場の折れ曲がりによって強い電流層が発生することが分かった。こうした光学的に薄い領域中の電流層は加熱にほとんど寄与しないと考えられるため、やはり大局的計算でも低温な円盤となる傾向にあることが分かる。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P215a 円盤風を考慮した原始惑星系円盤ガス面密度進化の1次元モデル

瀧 哲朗 (国立天文台), 小林 浩 (名古屋大学), 小久保英一郎 (国立天文台), 鈴木 建 (東京大学)

近年の非理想磁気流体計算の進展によって原始惑星系円盤進化の描像は従来の粘性降着円盤から大きく変わりつつある。磁気乱流が円盤の大部分で抑制された弱乱流円盤においては、円盤表層からの磁場を介したガスの流出(磁気駆動円盤風)と、流出の際の角運動量の抜き取り(磁気ブレーキング)が円盤進化を駆動する有力なメカニズムであると考えられている (e.g., Suzuki et al., 2010; Bai 2013, 2016, 2017; 他多数)。

本講演では、磁気駆動円盤風と円盤風に伴う磁気ブレーキングを考慮した弱乱流円盤進化の1次元モデリングについて紹介する。まず我々は、円盤風が存在する状況においても円盤は定常な面密度分布を実現するという点を数値計算から見出した。この定常分布は円盤風による直接的な質量損失、磁気ブレーキングによる角運動量の抜き取り、粘性による角運動量輸送の3つの効果のバランスで決まり、その構造を解析的にある程度予言できることが分かった。

今回発見した定常ガス分布の実現において重要なのは、円盤は内側領域から外側領域へ向かって徐々に定常分布に漸近していくという点である。円盤風による質量損失の効果は内側領域から外側領域へ向かって徐々に卓越していくため、ある半径より内では円盤風の効果との釣り合いできまる円盤構造が実現され、それよりも外では古典的な粘性降着円盤に近い構造を取りうる。

また、本講演ではこのような円盤進化の描像が惑星系形成に与える影響についても議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P216a 原始惑星系円盤ガスにおける C, N, O 元素の枯渇

古家健次 (国立天文台), Seokho Lee (韓国天文研究院), 野村英子 (国立天文台)

原始惑星系円盤の元素組成の理解は、円盤で形成される惑星の表層組成やバルク組成を理解する上で重要である。近年の観測研究から、Class II 円盤ガス中の C 元素と O 元素の量は、星間空間と比べ 1-2 桁少ないことが明らかになってきた。円盤ガスから C, O 元素を減らすメカニズムとして現在考えられているものは主に2つある。第一に、C 元素の多くが CO₂ 等の CO より揮発性が低く、より O 元素を多く含む分子に変化してダスト上の水内に存在している可能性がある。第二に、円盤内の乱流によって円盤上空のガスが赤道面にもち込まれると、赤道面の低温ダストに分子が凍結する。つまり赤道面のダストが分子をガス中から取り除くフィルターのような働きをする可能性がある。これら2つのプロセスは排他的ではなく、むしろどちらも重要と考えられている。

一方、円盤ガスの N 元素に関する観測研究は限られているが、先行研究によると N 元素は C, O 元素ほど枯渇しておらず、円盤ガス中に長時間存在できる可能性が示唆されている。本研究では、円盤ガス中での C, N, O 元素組成の長期的 (1 Myr) な振る舞いを理論的に明らかにすることを目的に、赤道面のダストによるフィルター効果と化学反応の両方を考慮したモデルを構築した。その結果、C, O 元素は 1 Myr 程度でガス中の存在量が 1-2 桁減少しうののに対し、N 元素の減少量は 1 桁以下であることが分かった。これは C, O 元素は比較的揮発性の低い CO₂ や H₂O として主に存在するのに対し、N 元素は揮発性の高い N₂ として存在するため、相対的に赤道面付近のダストによるフィルター効果が効きづらいためである。N 元素は (相対的に) 円盤ガス中から枯渇しづらいため、1 Myr 程度で C, O 元素よりもガス中での存在量が大きくなることが分かった。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P217a 前期褐色矮星 ISO-Oph 200 周囲の原始惑星系円盤

武藤恭之 (工学院大学), 橋本淳 (アストロバイオロジーセンター)

褐色矮星の形成過程にはいくつかの可能性が議論されており、現在も決着がつかない。一つの可能性は、通常の星と同様に分子雲コアの重力収縮で形成されるというものであるが、円盤の重力不安定による分裂によって形成されるという可能性も指摘されている。褐色矮星の形成過程に迫るためには、若い褐色矮星を直接観測することが必要である。

本発表では、若い褐色矮星天体 ISO-Oph 200 の ALMA Band 6 による高解像度観測の結果を報告する。ISO-Oph 200 は、年齢が 6000 年程度と推定されるきわめて若い褐色矮星天体で、これまでにガスで 1000 天文単位程度に広がるアウトフローやジェットが存在が示唆されている。また、ALMA では過去に Band 7 で 0.1 秒角程度の角度分解能の観測が行われており、大きさ 10 天文単位程度の円盤が存在することが示唆されていた。

今回は、ISO-Oph 200 周囲の円盤を、ALMA Band 6 で 0.04 秒角 (およそ 6 天文単位) の角度分解能で観測した。その結果、ダスト連続波において、この天体の周囲の円盤に、半径 5 天文単位程度の非軸対称なリング構造が存在することが示唆された。また、角度分解能を落とした ^{13}CO の放射では、低速アウトフローまたはエンベロープのような速度構造を持った成分が観測された。

これらの観測結果は、ISO-Oph 200 が分子雲コアの重力収縮によって形成されたというこれまでの示唆を支持するものである。講演では、ダスト連続波で観測された穴構造とジェットの関連性についても言及しつつ、この天体の形成過程について議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P218a Subaru/HDS を用いたスペクトロ・アストロメトリによる形成中の惑星探査

吉田 有宏 (総合研究大学院大学/国立天文台), 高見 道弘 (ASIAA), 野村 英子 (国立天文台)

惑星系の形成・進化において巨大ガス惑星は重要な役割を果たすが、その形成過程の理解は未だ不十分である。したがって、原始惑星系円盤において形成中の巨大ガス惑星を直接的に観測することには大きな意義がある。特に、物質が降着中の惑星は $\text{H}\alpha$ などの輝線を放射すると考えられており、その観測から質量降着率などを制限できる。一方、原始惑星系円盤内で $\text{H}\alpha$ を放射する惑星質量天体は今までに数個しか発見されておらず、より多くの円盤での探査が求められている。これまでの観測では、主として超補償光学装置を用いた直接撮像が用いられているが、別の手法にスペクトロ・アストロメトリがある。スペクトロ・アストロメトリは、波長ごとの星像中心位置を精度良く決定することで、波長によって中心天体とのコントラストが異なるコンパニオンの存在を検出する手法であり、近接連星系や原始星ジェットなどミリ秒角スケールの天体構造を観測するために利用されてきた。したがって、輝線を放射する形成中の惑星の検出についても、有力な手法となる可能性がある。

今回、我々は、すばる望遠鏡の高分散分光装置 HDS を用いて遷移円盤をもつ若い星 GM Aur を観測し、 $\text{H}\alpha$ 輝線をターゲットにスペクトロ・アストロメトリを実行した。その結果、アーティファクトが卓越したために期待していた精度が得られず、形成中の惑星は検出できなかった。アーティファクトは追尾エラーによってスリットが不均一に照らされたこと起因すると考えられ、Brannigan et al. (2006, MNRAS, 367, 315) により提案されているシンプルなモデルによって説明できた。

本講演では、ここから与えられる形成中の惑星の物理量の上限に加えて、今後のスペクトロ・アストロメトリを用いた観測に向けた展望を議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P219a 原始惑星系円盤形成過程における自己重力的分裂過程

高橋実道 (国立天文台)、小久保英一郎 (国立天文台)

原始惑星系円盤の自己重力不安定による分裂は、観測で発見されている遠方巨大ガス惑星の形成メカニズムの候補として注目されている。このような惑星はダストの合体成長では形成に時間がかかりすぎるため、短時間で形成可能な自己重力による分裂が有力視される。また、ALMAによる観測で見つかっている若い円盤のギャップ構造を惑星と円盤の相互作用で説明する場合にも、その惑星の形成メカニズムとして自己重力による分裂が有力な候補となる。

自己重力不安定による分裂は観測された惑星や円盤構造の形成メカニズムとして注目されている一方、分裂に至るための条件については未だ十分に理解されていない。Takahashi et al. (2016) では、自己重力による分裂条件は、円盤の大局的な重力不安定性によって渦状腕が形成された後、「渦状腕構造自体が自己重力に対して不安定になる条件」で与えられることを明らかにした。この結果から、円盤分裂が起こるかどうかを予言するためには、重力的に不安定な渦状腕構造を形成する条件を明らかにすれば良いことがわかる。特に原始惑星系円盤が重力的に不安定になり分裂しやすいのは、円盤形成過程で円盤に外からのガス降着がある場合である。そこで、本研究では、2次元流体計算を行い、円盤形成期における円盤の分裂条件について調べる。円盤の大局的な自己重力不安定で形成される渦状腕構造は、重力トルクによる角運動量輸送を通して円盤のガス降着率と密接に関わっている。本発表では、円盤構造の自己重力による分裂と、円盤へのガス降着率などの物理量の関係をシミュレーションによって調べた結果を示し、円盤分裂条件との関係について議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P220a ダストから惑星までの統一シミュレーション：円盤温度とダスト密度依存性

小林浩 (名古屋大学)、田中秀和 (東北大学)

木星や土星、重い系外惑星のような巨大ガス惑星は原始惑星系円盤の中で10地球質量程の重い固体核の急速なガス集積により形成された。しかし、円盤寿命や惑星移動よりも早く、このような重い固体核を形成することは難しいため、長年議論されてきた。これまでの研究では微惑星や小石などの特定のサイズの天体を固体核が集積することを考えてきたが、ダストから惑星までを取り扱う統一シミュレーションにより、 10^{-3}g/cm^3 よりも小さくなりうるモデルならば数十万年ほどの短時間での固体核形成が可能であることが示された (Kobayashi & Tanaka 2021)。ダストの衝突成長で最も重要なのは、ダストのバルク密度である。過去のダストアグリゲイトを取り扱うシミュレーションにより、ダストの密度は 10^{-4}g/cm^3 程度まで下がることが示されている (Kataoka et al. 2013)。一方、ダストの密度が低すぎると、原始惑星系円盤の変更観測が説明できない可能性がある (Tazaki et al. 2019)。そこで、ダストがどこまでバルク密度を下げられるかをパラメータとして、統一シミュレーションを行なった。その結果、バルク密度を 10^{-1}g/cm^3 までしか下げないモデルでも、10天文単位での円盤の温度が30K程度以下の場合、約10天文単位以内の円盤で衝突合体による微惑星形成が可能であることが分かった。また、条件が満たされ微惑星が形成されれば、バルク密度が下がるモデルと同様に重い微惑星円盤が形成され、短時間で固体核が形成されることも示された。一般的な質量の原始惑星系円盤において、巨大ガス惑星になれる重い固体核形成は惑星移動の影響をほとんど受けず、20-100万年程度の短い時間で重い固体核になる。固体核形成時間や形成場所は、円盤やバルク密度に依存するため、このパラメータ依存性についても議論したい。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P221a 重い微惑星円盤内で成長する原始木星への微惑星集積

柴田翔 (チューリッヒ大学), Ravit Helled (チューリッヒ大学), 小林浩 (名古屋大学)

木星内部に存在する大量の重元素 (H, He より重い物質) の起源は、木星形成の問題点として古くから知られている。重元素の起源を明らかにすることで、木星の進化経路を制約することができると期待されている。特に、木星は現在の軌道周辺で形成されたのか (その場形成モデル)、円盤外側で形成され惑星移動してきたのか (外側形成モデル) を議論する上で、重元素の起源は重要な鍵になる。

大量の重元素獲得には、木星のガス集積段階における微惑星の集積が有力と考えられている。これまでの研究から、最小質量円盤よりも十分重い (~5 倍程度) 微惑星円盤が形成され、そこで木星コアが暴走ガス集積を始めれば、木星内部の重元素量は説明可能だと考えられてきた。しかし、N 体計算を用いたこれまでの研究では、微惑星の軌道進化は木星コアからの重力散乱の影響を強く受け、その他の微惑星や原始惑星からの重力相互作用は相対的に無視できると考えられてきた。この仮定は常に成り立つとは限らず、木星コアを形成できるような重い微惑星円盤内においては、微惑星の軌道分布は木星コア以外の重力散乱の影響も強く受ける可能性がある。

そこで本研究では、木星のその場形成モデルの立場から、木星のガス集積段階における微惑星集積の問題を再検討する。特に微惑星集積速度の微惑星の初期軌道分布に対する依存性を調べ、Juno 探査機から示唆される木星の内部構造モデルと比較することで、木星の形成史に一定の制約を与える。また、木星のその場形成モデルと外側形成モデルを比較することで、木星の形成領域の問題についても議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P222a 惑星への質量降着過程を考慮した超木星質量惑星のギャップ形成とそのパラメータ依存性

田中 佑希, 田中 秀和 (東北大学), 金川 和弘 (茨城大学), 谷川 享行 (一関高専)

原始惑星系円盤内で形成された巨大ガス惑星は、その軌道に沿った低密度領域であるギャップを形成し、ギャップを介した質量降着によって成長する。これまでに発見されている太陽系外惑星の質量は多様性に富んでおり、木星の数倍以上の質量を持つ惑星も多数発見されている。惑星質量が木星の数倍ある場合、ギャップの外縁が非定常となり離心率を持ち、それに伴ってギャップ内の面密度等の特徴も大きく異なるものになる。しかし、その結果として惑星への質量降着率がどのように変化するかは詳細な理解が進んでいない。従って、重いガス惑星の形成・進化過程を知るためには、広い惑星質量範囲でのギャップ形成や降着過程の検証が必要である。

本研究では、2次元数値流体計算を用いて巨大ガス惑星と円盤の相互作用によるギャップ形成、および惑星への質量降着率のパラメータ依存性について調査を行った。ギャップ形成には円盤の大局的な計算が必要だが、惑星への降着過程は惑星近傍での現象であるため、降着過程をモデル化して計算に取り入れた。このモデル化の妥当性を検証するため、まずは惑星への降着半径や降着タイムスケールを変化させた計算を行った。その結果、降着半径および重力スージング長に適切な値を取った場合は、降着タイムスケールに依らず高解像度局所計算と整合的な一定の質量降着率が得られることが判明した。

さらに、この結果をもとに様々な惑星質量で数値計算を行い、形成されるギャップの特性や惑星への質量降着率の依存性について調査を行った。これらの結果について、特に重い巨大ガス惑星の形成・進化過程に与える影響について議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P223a 断熱的な原始惑星系円盤中の惑星ギャップに付随する微小構造

小野智弘, 岡村龍樹, 奥住聡 (東京工業大学)

近年の観測によって、原始惑星系円盤が多様な構造を持つことが明らかになっている。特に、リング・ギャップと呼ばれる環状の円盤構造は普遍的だ。円盤構造はダストの運動や進化に影響を与えるため、惑星形成を理解する上で重要な要素であると考えられている。巨大惑星が円盤中に存在する時、惑星重力の作用によって惑星軌道周辺の円盤物質が希薄になる。これを惑星ギャップと呼び、観測されているリング・ギャップ構造を説明する有力な物理モデルである。惑星ギャップに関する研究はこれまでも活発に行われており、多くの数値流体シミュレーションも行われてきた。しかし、それらの多くにおいて冷却効率が高い等温的な円盤が仮定されている。そのため、冷却効率が低く断熱的な円盤における惑星ギャップの性質について分かっていないことは多い。我々は断熱的な円盤における惑星ギャップの性質を調べるべく、Athena++コードを用いて数値流体シミュレーションを行った。数値流体シミュレーションの結果から、断熱的な円盤では惑星ギャップに乱流的な微小構造が付随することが分かった。このような微小構造は等温的な円盤における惑星ギャップには見られない。また、他のコードを用いたシミュレーションでも確認できるため、微小構造は数値的なものではなく実際に断熱的な円盤で起こりうる物理現象と考えられる。微小構造は円盤進化や惑星形成に影響を与えると期待できるので、その発生条件・物理機構・性質を詳しく調べる必要がある。我々は様々なセットアップで数値シミュレーションを行い、次のことを明らかにした。(1) 微小構造を確認するには高い解像度が必要。(2) 冷却効率が低いほど微小構造は現れやすい。(3) 粘性が強いと微小構造は発現しない。本講演ではこれらの結果を報告し、微小構造を発生させる物理機構や微小構造が円盤進化・惑星形成に与える影響についても議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P224a PDS 70 c の周惑星円盤内で進化するダストからの熱放射

芝池論人 (ベルン大学), Christoph Mordasini (ベルン大学), Yann Alibert (ベルン大学)

ガス惑星はガスの集積過程で周囲に周惑星ガス円盤を形成する。例えば、木星の四つの巨大衛星は木星の周惑星円盤のなかで形成されたと考えられている。従来の周惑星円盤に関する研究は、流体シミュレーションや解析的な手法で、太陽系内にかつて存在したとされる周惑星円盤の構造を推測するのみであった。しかし、近年実際にガス集積中の天体 PDS 70 c の周惑星円盤内のダストの熱放射が ALMA の Band 7 で観測された (e.g., Benisty et al. 2021)。ただし、先行研究では、周惑星円盤内でのダストの合体成長と移動は考慮されておらず、またガス円盤も非常にシンプルな構造を仮定している。

そこで本研究は、原始惑星系円盤で用いられてきた手法を周惑星円盤に応用し、合体成長と移動を考慮した場合のダストからの熱放射を推定するモデルを構築した。また、惑星のガス集積過程とその様々な観測結果が反映されるような、より詳細な周惑星円盤モデルを構築した。そして、ガス集積過程とダストの進化によるダスト放射への影響を調べ、PDS 70 c 自身とその周惑星円盤の特性を観測データとの比較から制約可能か検証した。

その結果、観測データを我々のモデルで説明するためには、PDS 70 c の周惑星円盤に流入するガスが従来の 3D 流体シミュレーションや解析的な予測 (e.g., Ward & Canup 2010) よりも非常に大きい角運動量を持っている必要がある、とわかった。これは、1) 流入するガスが実際に非常に大きな角運動量を持っている、2) 周惑星円盤内に円盤外向きのガス流が存在しダストを円盤外縁部に運んでいる、3) ダストの合体成長と内側方向への移動が推測より起きずダストが周惑星円盤内に溜まっている、という三つの可能性を示唆している。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P301a 原始惑星の重力散乱と衝突合体によって形成される惑星系の軌道構造 II

小久保英一郎 (国立天文台), 星野遥 (東京大学), 松本侑士 (国立天文台)

太陽系形成の標準モデルでは、地球型惑星形成の最終段階は月から火星くらいの質量の原始惑星どうしの衝突だと考えられている。また、系外惑星系でも、近接スーパーアース (大型地球型惑星) 形成の主要なモデルでは、最終段階は原始惑星どうしの衝突と考えられている。これらの過程は巨大衝突段階と呼ばれ、原始惑星系円盤のガスの散逸後に、原始惑星どうしの重力散乱によって軌道交差が起こり、衝突して惑星へと成長していく。

これまで、 N 体シミュレーションを用いて、巨大衝突によって原始惑星から形成される地球型惑星系の軌道構造を調べてきた。惑星系の軌道構造の指標として、ヒル半径で規格化した隣接惑星間の軌道間隔 \bar{b} と惑星の軌道離心率 \bar{e} の系での平均量を計算する。巨大衝突段階での原始惑星の基本的な軌道進化は、(1) 重力散乱によって軌道離心率・傾斜角が増加する、(2) 衝突によって軌道間隔が広がり軌道離心率・傾斜角が減衰する、である。シミュレーションの結果、巨大衝突によって形成される惑星系の \bar{b} と \bar{e} は、現実的なパラメータ範囲では、原始惑星の全質量、質量分布、軌道間隔、軌道離心率・傾斜角にほぼ依存しないことがわかった。一方、惑星系の平均軌道長半径 a と惑星の平均密度 ρ には依存し、 a と ρ が大きいほど、 \bar{b} と \bar{e} は大きくなる。これらの依存性は、衝突による軌道離心率・傾斜角の減衰の効果によって説明される。すなわち、中心星に近いほど惑星半径が大きいほど衝突しやすくなり、衝突減衰によって軌道離心率・傾斜角が小さく抑えられ、狭い軌道間隔でも安定な系が形成される。発表では、原始惑星系から惑星系への軌道進化を示し、上記の軌道構造依存性の物理を説明する。また、軌道構造の中心星質量依存性についても議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P302a ペブル集積で形成される原始惑星の自転：原始惑星周りの複雑なガス流の影響

高岡航輔, 桑原歩 (東京工業大学), 井田茂 (地球生命研究所)

太陽系内の惑星や直径 $D > 150$ km の小惑星の多くは、自転方向と公転方向が一致している (順行自転)。また、それらの自転軸の傾きには等方向性が存在しないことが統計的な手法により示されている。自転の起源に関する説明は様々な試みが成されているが、微惑星集積モデルでは原始惑星は十分な回転量を得ることができず、巨大衝突説の場合では自転軸の非等方向性を説明できないという課題があった。ところが、ペブル集積モデルであれば、小惑星などの小さな質量の天体に限り、観測事実を十分説明できることがわかっている (Visser et al. 2020)。

一方、原始惑星系円盤内に埋没した $\gtrsim 10^3$ km サイズの原始惑星は、重力によって周囲のガスの流れを乱し、複雑なガスの流れ場を形成する (e.g. Ormel et al. 2015)。この流れ場がペブルの衝突軌道を変化させ、ひいては輸送される自转角運動量にも影響を及ぼす可能性がある。比較的大きな質量を持つ天体の自転形成過程をペブル集積モデルに基づいて議論するためには、このようなガスの流れ場による影響を考慮しなければならない。

本研究では、円盤ガス流に影響を及ぼすような質量の原始惑星を想定した 3次元流体計算、及び流体計算結果を使用したペブル軌道計算を実施し、ペブルから原始惑星に輸送される正味の自转角運動量を計算した。数値計算の結果、原始惑星は強い順行回転を得ることが明らかとなった。これは、ペブルが原始惑星周囲のガスの回転の影響を受けながら惑星表面に降着するためである。また、惑星質量が大きくなるにつれて順行に対する寄与が大きくなることも判明した。このことから、地球や巨大ガス惑星のコアなど、質量の大きな天体は初期に非常に強い順行回転をしていたことが示唆される。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P303a 微惑星衝突に伴う固体蒸発量とその状態方程式依存性の検証

宮山隆志, 小林浩 (名古屋大学)

惑星形成後期、固体天体の衝突に伴う蒸発は、惑星大気組成に影響を与える。この過程は、主に衝突シミュレーションにより調べられるが、固体蒸発量は仮定する状態方程式に強く依存する。本研究では、衝突蒸発を適切に評価するために、最低限の物理を失わず、なおかつ高速計算に適用可能な状態方程式を調査した。そのため、惑星衝突分野で広く用いられている2つの状態方程式を用いた。一つ目の ANEOS は数多くのパラメータを用いて室内実験を詳細に再現できるようにチューニングされているが、長い計算時間も必要となる。一方、もう一つの Tillotson EOS では少ないパラメータで最低限の固体物理が表現できる状態方程式だが、計算時間も短い。この2つの状態方程式を用いて、iSALE コードを用いて衝突シミュレーションを行ない、蒸発量を比較した。衝撃に伴う衝撃波の発生により物質の沸点を超えるようなエントロピーの上昇が引き起こされると蒸発が起こる。そのため、エントロピーの上昇を精度良く解けることと、蒸発の条件を適切に評価する状態方程式が重要である。簡易な Tillotson EOS でも適切にパラメータ設定を行えば、エントロピー上昇は比較的精度良く解けた。一方、蒸発判定が簡易なため蒸発量は数倍程度ずれることもあった。衝突速度が音速に比べて十分大きい場合は、Tillotson EOS の結果は、ANEOS の場合の衝突蒸発量とファクター 2 の精度で整合的な結果が得られることが分かった。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P304a 巨大衝突後の惑星大気の長期安定性および大気組成への影響

黒崎健二 (名古屋大学), 堀安範 (ABC/NAOJ), 荻原正博 (李政道研究所), 國友正信 (久留米大学)

系外惑星の中には地球質量の数倍から数十倍程度ある一方で、惑星半径が地球半径よりも大きな天体も多く確認されている。これら惑星半径が大きな天体は惑星大気を多く持っている天体であることを示唆し、その大気量は惑星質量の1%から30%程度と多様性に富んでいることがわかっている。このような惑星大気量の多様性は原始惑星系円盤内における形成過程での大気獲得量の違いによるものだけでなく、円盤が消失したあとの形成後期過程における衝突合体や惑星の進化プロセスにも影響を受けている。このとき、天体が原始惑星系円盤由来の大気を持っていた場合、天体衝突に伴いその原始大気を失い、天体の岩石コアが蒸発して水素大気と混合することが考えられる。このとき、大気と岩石蒸気が反応することによって、円盤由来の大気成分と変化する可能性が考えられる。本講演では水素大気と岩石蒸気が混合した場合を仮定し、混合大気的主要組成を調べた。混合大気組成を化学反応計算を用いて調べた結果、衝突直後の高温な場合では岩石組成由来の大気をもつが、冷却に伴い主要な大気組成は水素、ヘリウム、水の三種類になることがわかった。また、そのような大気を持った天体の長期進化を計算し、現在惑星が持っている大気組成がどのようになるかを検討し、衝突直後から現在までの惑星大気進化を議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P305a M 型星周りにおける地球型大気の保持の可能性

中山陽史 (立教大学)、生駒大洋 (国立天文台)、寺田直樹 (東北大学)

太陽系外地球型惑星が多く見つかっている。その中で地球のような温暖な環境を保持し、生命を宿すような惑星 (ハビタブル惑星) が存在するかは興味を抱くところである。温暖環境を保持する上で大気存在は必要不可欠であるが、若い太陽型星や低質量 M 型星は強い XUV 放射を放射している。そのため、強 XUV 環境で現在地球のような惑星大気が安定的に存在するのかが系外ハビタブル惑星を検討する上で重要な問題となる。実際に、強 XUV 環境における地球と同じような惑星を考えた場合、10 万年以下というとても短いタイムスケールで 1bar の大気が散逸してしまうことが知られている。そのため、高い活動度の期間が 10 億年程度と長い M 型星の周りでは地球型大気の保持が困難であると結論づけられていた。そこで本研究では、化学反応、移流、拡散、分子による放射冷却過程に加えて、高温環境で重要視される原子・イオンの輝線放射を新たに考慮した高層大気モデルを用いて、大気散逸過程を再検討した。その結果、輝線放射冷却は大規模な散逸が起きるよりも先に効率的に働くことが分かった。そのため、強 XUV 環境においても高層大気の温度上昇・大気の膨らみが著しく抑制され、先行研究の 1 万分の 1 程度に大気散逸率が抑えられることが分かった。本研究で明らかになった遅い大気散逸率は高い活動度における XUV 放射においても、1bar 大気の散逸タイムスケールが 20 億年程度と地質学的なタイムスケールまで伸びることを示唆し、現実の系外惑星においても地球型大気の保持の可能性を示す。これらの結果は初期地球の進化や M 型星周りの系外地球型惑星の大気進化とハビタビリティに対して大きな示唆を与えうる。また、ハビタブル惑星の存在可能性を一般的に議論するため、大気散逸率の惑星質量依存性にも言及し、地球型大気の保持可能な条件についても述べたい。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P306a 潮汐固定された系外地球型惑星の気候と表面水分布の関係

小玉貴則 (東京大学)

数多くの系外惑星が検出され、その中には地球に似たバルク密度を持つ惑星も報告されている。ほとんどのハビタブル惑星に関する研究は、ハビタブルゾーンと呼ばれる概念を用いて、その表層環境を議論されている。ハビタブルゾーンとは、惑星表面に長期的に液体の水を維持することのできる中心星からの距離の範囲である。M 型星周りのハビタブルゾーンは中心星に近く位置しており、その中の地球型惑星は潮汐固定された状態にあると考えられている。潮汐固定状態の惑星は、惑星の自転周期と公転周期が同期し、恒久的な昼面と夜面を持つ。

潮汐固定された惑星の気候状態は、近年、大気大循環モデル (GCM) を用いて調べられている。Yang et al. (2013) では、雲による惑星アルベドの上昇により、1 次元放射対流平衡モデルで見積もられた暴走温室限界 (ハビタブルゾーン内側境界に対応する中心星放射強度) よりも大きな中心星放射下でも惑星表面に液体の水を維持できる気候状態を示し、大気循環と雲の重要性を示した。

一方で、ハビタブルゾーンの境界における惑星表面の水分布の重要性も指摘されている (Kodama et al., 2021)。惑星表面に広く乾燥した領域を持つ惑星は、乾燥領域から多くの惑星放射を射出できるため、湿潤な惑星表面をもつ惑星の暴走温室限界より大きな暴走温室限界をもつことが示されている。

本講演では、大気大循環モデルを用いて、潮汐固定惑星における水分布の関係を明らかにし、TRAPPIST-1 惑星を例として、雲と表面水分布の重要性についてまとめる。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P307a 初期地球の冥王代初期および後期における表面放射線量

山敷庸亮, (京都大学), Vladimir Airapetian (NASA/GSFC), 佐藤達彦 (JAEA), 野津湧太 (University of Colorado/東工大), 前原裕之, 行方宏介 (国立天文台), 柴田一成 (京都大学), 他 ExoKyoto 開発チーム

我々は、太陽黒点・恒星黒点とフレア最大エネルギーの関係をj用いて、恒星のフレア発生頻度と惑星境界上のフレア強度の評価 (2017 年秋季年会 N23a)、それぞれの惑星表面での推定被曝量の評価 (2018 年秋季年会 P313a)、大気散逸の影響評価 (2019 年秋季年会 P325a)、他の系外惑星の例 (2020 年秋季年会 P310a) を行ってきたが、現在までの評価軸に CME のフルエンスの評価を考慮し主に太陽系外惑星を対象に影響評価を進めてきた (2021 年秋季大会 P329a、2022 年春季大会 P310a) が、本枠組みを用いて若い太陽 – 初期地球系への適用を試みた。

初期の地球は、銀河宇宙線 (GCR) と、若い太陽からの頻繁なスーパーフレアに関連する高フルエンスの太陽高エネルギー粒子 (SEP) の照射にさらされていたと考えられるが、最近の研究では、冥王代初期 (4.4Ga) の太陽からの SEP が、最大 40GeV に至る粒子エネルギーを伴う硬いスペクトルにより、低層地球大気と初期地球表面における電離放射線の主要な源であったことを示唆している。我々は、CO₂ 大気と現在の地球型大気を仮定して Hu et al. 2022 によって導出された SEP スペクトルを冥王代初期 (4.4Ga) と後期 (3.8Ga) のインプットと仮定して、モンテカルロ放射線挙動解析コード [PHITS] により地球の表面での粒子放射線の線量の計算を行なったが、冥王代初期の気圧 (0.5atm) を考慮した地球表面での推定線量が著しく高くなり、初期の地球での生物学的分子の合成に影響を与えうることが示唆される。しかし、SEP イベントのフルエンスと頻度は冥王代後期 (3.8Ga) で 1 桁以上減少し、これにより当時の地表における放射線量が大幅に減少し、生命の誕生と発達に必要な生物有機化合物の蓄積が可能となる可能性について議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P308a 短周期惑星大気的光蒸発過程の物理的理解

三谷啓人 (東京大学), 仲谷峻平 (理研), 吉田直紀 (東京大学)

ホットジュピターの大気は主星からの紫外線によって加熱され流体力学的に蒸発することが知られている。特に Extreme-Ultraviolet (EUV; > 13.6 eV) による水素原子の光電離を通じた加熱が光蒸発を駆動すると考えられている。蒸発した大気は Lyman- α 等のトランジット観測によって実際に観測されてきた。大気的光蒸発過程は惑星の進化を左右する重要な過程であり、これまでに多くの輻射流体シミュレーションが行われてきた。EUV が弱い場合は大気質量損失率が EUV flux におおよそ比例することが知られている一方で EUV が強い場合は EUV によって与えられるエネルギーの多くが放射冷却によって失われ質量損失率が EUV フラックスに比例しない。それぞれの場合は Energy-limited 及び Recombination-limited と呼ばれている。一方でそれぞれを分ける定量的な条件とその物理的理解は進んでいなかった。

惑星大気的光蒸発を決めるものとして光加熱、重力及びガスの膨張が挙げられる。光加熱がガスの膨張に比べてどの程度速いのかを表す特徴的な温度と平衡温度の比が系を特徴づけると考えられる。EUV 光電加熱を取り入れた輻射流体シミュレーションを行い、この比が大きくなると Lyman- α による冷却が主要な冷却となり Recombination-limited に対応することがわかった。また、上層大気の水素原子が観測されている惑星の多くはこの比が大きくなり強い光蒸発が見込まれる。しかし EUV が弱く Lyman- α によるトランジットが検出されない惑星系ではこの比が小さいため弱い光蒸発になることがわかった。また、本講演では惑星及び主星の重力が大気的光蒸発において果たす役割についても重力のタイムスケールの観点から観測された惑星の分布及び輻射流体シミュレーションを用いて議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P309a 階層的三体系の不安定時間スケールの軌道要素依存性 II

林 利憲, Alessandro Trani, 須藤 靖 (東京大学)

連星ブラックホール合体からの重力波検出は、その起源となる未合体の連星ブラックホールの存在を示唆する。我々はこれまで、連星ブラックホールを含む三体系を、第三体の摂動変動を観測することで間接的に探査する方法の提案・検証を行ってきた。

前回の秋の年会では、提案した探査法の実現可能性を調べるために、大質量連星を含む三体系の軌道安定性を、軌道不安定性が生じる時間スケールという観点で調べ、先行研究で得られたモデル (Mardling & Aarseth(1999), Mushkin & Katz (2020)) との比較を通じて、軌道要素依存性についての考察を行った。その際、多くの軌道要素に対して縮退があったため、軌道要素依存性の理解は不十分であった。

そこで今回は、3種類の軌道傾斜角(2つの軌道面間の傾斜角が0度, 90度, 180度の場合)をもつ三体系に絞り、N体数値シミュレーションを用いて軌道不安定時間スケールの軌道離心率・質量比依存性を詳細に調べた。その結果、軌道傾斜角が系の不安定性に大きな影響を与えること、特に軌道傾斜角が180度の場合について、系の安定性が著しく向上することが示された。さらに、比較的不安定な三体系においては、初期条件の微小な変化が不安定時間スケールを大きく変えるカオスの挙動が確認され、不安定時間スケールの予測は本質的に、統計的に理解する必要があることが示唆された。

本発表では、得られた軌道不安定時間スケールの分布を、先行研究の軌道不安定性モデルと比較し、軌道傾斜角依存性などについて考察を行う。また、軌道進化と Roy & Haddow(2003) で提示されたエネルギー輸送モデルの比較を通じて、軌道傾斜角依存性の物理的解釈についての考察を行う予定である。

[スケジュール\(セッション毎\)に戻る](#)

[スケジュール\(全体\)に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P310a 階層的3体系における連星合体: 重力波放出による合体

稲熊穂乃里 (東京大学), 吉田直紀 (東京大学), Alessandro Alberto Trani(東京大学)

連星が少し遠方にある天体(3体目と呼ぶ)に束縛され階層的3体系となっている系では、特徴的な Kozai-Lidov 機構により連星の軌道離心率などが振動的に変化することによって、様々な興味深い物理現象が引き起こされることが明らかとなっている (e.g. Naoz 2016)。

このような系の研究ではこれまで、直接N体計算コードと、系の階層構造が永年的に安定であるとする近似のもとでハミルトン方程式を解く Secular コードの2種類のコードが用いられてきた。Secular コードは短周期で起こる力学挙動を捉えることができない一方、長時間の時間進化を直接N体計算コードに比べ非常に高速で追うことができる。従来の直接N体計算コードは短周期で起こる力学挙動を捉えることができる一方、長時間の時間進化を追うことができない。しかし、本研究で用いる直接N体計算コード Tsunami は、連星の軌道離心率によって積分時間ステップを変化させるなどの手法により、系の長時間進化を追うことが可能となっている。

近年の Secular コードを用いた研究で、階層的3体系における恒星質量ブラックホール連星の合体は Kozai-Lidov 振動の一周期以内に起きる短時間合体と、長時間かけて少しずつ重力波を放出し合体に至る長時間合体があることが明らかとなった (Su et al. 2021)。本研究では、Tsunami コードと Secular コードを用いて同じ系の時間発展を追い、合体時間や時間発展の様子の違いを実証した。さらに、直接N体計算コードの場合には、3体目の軌道周期以内に起こるような Secular コードにおける短時間合体よりも唐突な合体や、長時間合体があることを明らかにした。本発表では、2種類のコードでの系の時間進化や合体時間の違い、さらに合体機構の違いについて定量的に議論する。

[スケジュール\(セッション毎\)に戻る](#)

[スケジュール\(全体\)に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P311a 原始惑星系円盤に埋もれた原始惑星 AB Aur b の発見

Taichi Uyama (NAOJ/Caltech-IPAC/NExSci), T. Currie (NASA Ames/Subaru), K. Lawson (Univ. of Oklahoma), G. Schneider (Univ. of Arizona), W. Lyra (New Mexico State Univ.), J. Wisniewski (Univ. of Oklahoma), C. Grady (NASA Goddard), O. Guyon (Univ. of Arizona/ABC/Subaru) M. Tamura (UTokyo/ABC/NAOJ), and AB Aur paper team

原始惑星系円盤は惑星形成の現場であるが、その円盤に未だ埋もれ強く質量降着中の「原始」惑星を直接撮像することは、惑星形成過程を理解する上で極めて重要である。既に報告されている PDS70bc は円盤中の空隙領域に発見された、いわば「若い」惑星と言える。さらに若い段階にある原始惑星の発見は惑星形成観測の大きなマイルストーンとなる。今回、我々はすばる望遠鏡とハッブル望遠鏡を用いて、AB Aur という若い恒星をとりまく原始惑星系円盤内、主星から約 90au 離れた場所に埋もれた原始惑星 AB Aur b を直接撮像する事に成功した (Currie et al. 2022, Nature Astronomy)。AB Aur の円盤には惑星と円盤の相互作用によってできたと考えられる非対称構造が複数報告されており、AB Aur b の存在はこの予測に合致しているものである。更に偏光観測を利用し円盤からの散乱光を探索した結果、AB Aur b の位置に対応する偏光シグナルが検出されなかったことから AB Aur b のシグナルが円盤の微細構造によるものではないことを確認し、更に可視光領域による直接撮像により AB Aur b の位置において H α 輝線を検出した。今回の観測結果とこれまでに円盤観測から示唆されてきた惑星形成の仮説を組み合わせると、重力不安定による木星型惑星形成による証拠と捉える事ができる。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P312a ヒアデス星団に属する恒星 HIP 21152 を公転する褐色矮星の発見と力学質量

葛原昌幸, 寶田拓也, 堀安範 (ABC/NAOJ), Thayne Currie (NASA/ハワイ観測所), Timothy Brandt (UCS 佐藤文衛 (東工大), 鶴山太智 (Caltech), Markus Janson (ストックホルム大学), Jeffrey Chilcote, Taylor Tobin (ノートルダム大学), 田村元秀 (東大/ABC/NAOJ), Post-SEEDS/SCEXAO/CHARIS チーム

軌道の大きな惑星や褐色矮星の伴星の観測に直接撮像法は適しているが、8m 望遠鏡と超補償光学を利用した近年の直接撮像探索からはそれらの存在率は約 10%以下と推定されている (例: Nielsen et al. 2019)。そのような低い存在率であっても効率的な発見とその後の特徴付けを行うために、我々は「固有運動の加速」を指標として選定したターゲットに対する直接撮像探索を進めている。具体的には、伴星による主星の固有運動の加速を Hipparcos および Gaia 位置天文衛星のデータから導出し、惑星や褐色矮星に相当する加速を示すターゲットに対して超補償光学系 SCEXAO と面分光器 CHARIS を用いた撮像分光観測を行う (2021 年春季天文学会 P323a 参照)。

それらの観測の結果、我々はヒアデス星団に属する F5 型の恒星 HIP 21152 を公転する褐色矮星 (HIP 21152 B) を検出するのに成功した。分光観測の結果、HIP 21152 B のスペクトル型は $T1.5^{+0.5}_{-1.0}$ と導出された。さらに別に行なった岡山 188cm 望遠鏡 HIDES による視線速度観測の結果と、撮像データから得た相対アストロメトリ測定、さらに Hipparcos-Gaia による固有運動のデータを組み合わせることで、HIP 21152 B の軌道を決定した。その軌道解析の結果、HIP 21152B の質量は力学的に木星の $27.8^{+8.4}_{-5.4}$ 倍、軌道長半径は $17.5^{+7.2}_{-3.8}$ au と推定された。一方、HIP 21152 B の光度と年齢を光度進化モデルと比較して得られた質量はその力学的質量よりも若干大きい値となった。HIP 21152 B はヒアデス星団の主系列星を公転する褐色矮星伴星として確認された初の例であり、褐色矮星や惑星の形成や特性を明らかにするためのベンチマーク天体として大きく期待できる。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P313a すばる望遠鏡 IRD による TOI-654 の視線速度の複数惑星モデリング

幾田 佳, 成田 憲保, 福井 暁彦, 小玉 貴則, 木村 真博 (東京大学), 平野 照幸, 堀 安範, 小谷 隆行 (ABC), 生駒 大洋 (国立天文台), 田村 元秀 (東京大学/ABC), IRD インテンシブチーム, IRD 装置チーム

2022 年 6 月現在, トランジット系外惑星探査衛星 TESS の 4 年間の観測から 5,767 個のトランジット惑星候補が検出されている。北半球の経度の異なる 3 台の望遠鏡に搭載された多色同時撮像カメラ MuSCAT シリーズによる追観測及びすばる望遠鏡に搭載された赤外ドップラー装置 IRD のインテンシブ観測によって, トランジット惑星の発見と特徴づけが行われている。IRD による視線速度の観測データには, TESS の観測期間にトランジットが検出されていない惑星が存在している複数惑星系候補が含まれている。その観測データから複数の惑星のパラメータ及び恒星磁気活動などに由来する相関ノイズをモデル化したガウス過程のハイパーパラメータを推定する場合, 従来のマルコフ連鎖モンテカルロ法より効率的にパラメータ推定を行う手法が不可欠である。

そこで我々は視線速度の観測データの解析にパラレルテンパリングを導入することで, 複数の惑星のパラメータ (≈ 20 個) とハイパーパラメータ (≤ 4 個) の同時推定と周辺化尤度による惑星の個数やガウス過程のカーネル関数のモデル選択を可能にした。トランジット惑星候補 TOI-654.01 (2.37 地球半径, 軌道周期 1.53 日) を持つ TOI-654 (0.43 太陽半径, 有効温度 3400 K, 距離 57.8 pc) の IRD による視線速度の観測データに対して, 2 惑星のモデルで最適化したところ, TOI-654.01 と 2 個目の惑星候補のパラメータはそれぞれ軌道周期 $P \approx 1.53, 95$ 日, 質量 $M_p \sin i \approx 7M_{\text{earth}}, 49M_{\text{earth}} (\approx 0.15M_{\text{jup}})$ と推定された。これらを元に, 1 惑星や相関ノイズを含めたモデルとの比較及び複数惑星系の形成過程に関して議論を行った結果を報告し, IRD のインテンシブ観測による他の複数惑星系候補の解析や将来必要な観測への示唆を与える。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P314a 主星金属量・年齢依存性を考慮したホットジュピターの存在頻度

宮崎翔太 (大阪大学), 増田賢人 (大阪大学)

ホットジュピターは軌道周期 10 日以下で主星を周回する巨大ガス惑星であり, 約 1% の太陽型星に存在する事が分かっている。観測事実として, 巨大ガス惑星の存在頻度は主星の金属量と強く相関する事がよく知られており, 巨大ガス惑星の形成過程に重要な示唆を与えている。その一方で, ホットジュピターに関しては比較的若い主系列星に付随する割合が多い事が近年指摘されており (Hamer & Schlaufman 2019), この観測結果の説明として, 中心星との潮汐相互作用によって主系列段階 (1-10Gyr) のうちにホットジュピターが中心星に落下するというシナリオが提唱されている。しかし, 主星の金属量と年齢には相関があるため, 両者を同時に考慮しなければ存在頻度におけるそれぞれの影響を適切に評価することはできない。また, 観測量から恒星年齢を精度良く推定するのも一般的に難しい。

我々は階層ベイズモデリング (e.g., Foreman-Mackey et al. 2014; Masuda 2022 in prep.) を用いて, ホットジュピターの存在頻度が主星の金属量・年齢に対してどのような依存性をもつか調べた。California Legacy Survey (CLS; Rosenthal et al. 2021) で系統的に RV 惑星サーベイ観測がなされた約 400 個の太陽型星に対して, 分光パラメータ ($[\text{Fe}/\text{H}]$, T_{eff}), Gaia パララックス, 2MASS 等級を用いた恒星進化モデリングを適用し, それぞれの星の金属量と年齢の事後確率分布を得た。これとホットジュピターの有無から, CLS 星サンプルの (金属量-年齢) 分布とホットジュピターの存在頻度の (金属量-年齢) 依存性を階層ベイズモデリングで同時に推定した。本手法によって, サンプルの物理量の不均一な事後確率分布を適切に考慮し, かつ, 存在頻度の (金属量-年齢) 依存性を同時に推定する事が可能になる。本講演では, 解析手法とその解析結果, 考察について紹介する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P315a The day-side atmosphere of WASP-33b seen through the InfraRed Doppler instrument

Stevanus K. Nugroho (ABC/NAOJ), Ernst de Mooij (Queen's University Belfast), Neale Gibson (Trinity College Dublin), Hajime Kawahara (University of Tokyo), Vivien Parmentier (University of Oxford), Teruyuki Hirano (ABC/NAOJ/SOKENDAI), Masayuki Kuzuhara (ABC/NAOJ), Matteo Brogi (University of Warwick/INAF-Osservatorio Astrofisico di Torino), Jayne Birkby (University of Oxford), Motohide Tamura (University of Tokyo/ABC), Yui Kawashima (RIKEN), Takayuki Kotani (ABC/NAOJ/SOKENDAI), Kento Masuda (Osaka University), Chris A. Watson (Queen's University Belfast), Konstanze Zwintz (University of Innsbruck) & IRD team

In this talk, I will present our latest result in characterising the day-side atmosphere of an ultra-hot Jupiter, WASP-33b, using the data obtained by the InfraRed Doppler instrument on the Subaru telescope last year. Using high-resolution cross-correlation spectroscopy, we confirmed our previous detection of OH emission but only after the secondary eclipse. Through an injection test, we show that we should be able to also detect the same signal before the eclipse. More importantly, we were able to detect the emission of Fe and Si both before and after the secondary eclipse and Ti only after the secondary eclipse. This indicates that the spatial distribution of each chemical species is different and that we are probing the different parts of this 3D atmosphere. Additionally, we also found evidence of the emission of Mg and Mn after combining all data sets, which along with Ti, if confirmed, add more chemical species that are detected on the day-side of an exoplanet.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P316a スパースモデリングとスペクトル脱混合による惑星マッピングの発展

桑田敦基, 河原創 (東京大学), 逢澤正嵩 (李政道研究所), 小谷隆行 (アストロバイオロジーセンター/国立天文台/総合研究大学院大学), 田村元秀 (東京大学/アストロバイオロジーセンター)

近年、系外惑星の表面環境の研究が発展しているが、その見かけの小ささのため惑星表面を空間分解して観測することは不可能である。そこで、系外惑星の反射光の時系列データから惑星表面の空間分布を復元する方法論である惑星マッピングが開発された (Kawahara & Fujii 2010)。この応用として (1) スパース性を持つ (要素の多くがゼロである) 解を誘導するスパースモデリングの導入 (Aizawa et al. 2020)、および (2) 海洋・植生・砂漠など複数成分の表面分布と反射スペクトルを同時に復元するスペクトル脱混合の導入 (Kawahara 2020) といった方法論がそれぞれ独立に提案されてきた。我々はこれらを結合させ惑星マッピングのさらなる発展を試みた。

本研究では先行研究と同様に、スパースモデリングのための ℓ_1 +TSV 正則化およびスペクトル脱混合のための単体体積正則化を用い、これらの構造を保ったまま最適化問題として定式化することで新たな方法論を構築した。まず、将来の宇宙望遠鏡での系外惑星の反射光観測を想定し、雲のない地球のシミュレーションモデルを用いてテストを行った。その結果スパース性および連続性を持つ表面分布、つまり実際の地球の表面分布に近いと考えられる表面分布を復元でき、さらに反射スペクトルに関しても先行研究に比べて誤差の最も小さな復元が可能になった。そこで、地球観測衛星 DSCOVR により実際に得られた地球の観測データに対しても本研究の方法論を適用した。その結果、雲に相当する成分に関しても実際の表面分布に近いと考えられる復元を行うことができた。複数成分が混在している部分の高精度な復元、および雲のように時間発展する成分に関する復元は今後のさらなる課題である。本講演では、この方法論の解説、実験結果、および惑星マッピングの今後の展望を述べる。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P317b 系外惑星大気探査のためのオープンソース・プロジェクト: ExoJAX

河原創 (東大), 川島由依 (理研), 増田賢人 (大阪大), 石川裕之 (ABC), Stevanus Nugroho (ABC), 笠木結 (総研大), 小谷隆行 (ABC/NAOJ/総研大), ExoJAX contributors

Python/JAX で書かれた勾配ベースの惑星大気推定ができるスペクトルモデル ExoJAX を開発しています。ExoJAX は分子・原子のデータベースを直接読み込み、高速に断面積を計算するアルゴリズムを用いて大気各層でのオパシティの計算を行います。そして放射伝達を解き、天体の rotational broadening や装置応答などを施し、観測データと直接比較できるスペクトルを生成します。生成されたスペクトルは、各層の温度や元素存在量、回転速度といった大気・惑星モデル中の物理パラメータに計算グラフを通じて繋がっています。このため物理パラメータでスペクトルを (自動) 微分することができます。この機能により確率プログラミング言語 (例えば NumPyro) や勾配ベースの最適化ツール (例えば JAXopt) と互換性を持ち、HMC-NUTS や SVI のようなベイズ推定、また ADAM などを用いた最適化を行うことができます。ExoJAX は前回発表時の Proof of Concept のような状態から脱皮し、現在、すばる望遠鏡 IRD や REACH による褐色矮星スペクトルなどに適用を始めているところです。ExoJAX は、github 上で MIT ライセンス下でオープンソース共同開発を行っていて、コロナ禍で人に会わずに国際共同研究のありかたの実践をおこなっているともいえます。単体テスト・PEP8 などの標準化・リファクタリングを行いつつあり、また、系外惑星以外にも天体のスペクトルモデリングへの発展性があると思います。ご興味のある方の Pull Request をお待ちしております。 <https://github.com/HajimeKawahara/exojax>

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P318c Hipparcos-Gaia 固有運動カタログを用いた直接撮像探査: 複雑な系における低質量伴星の発見

鶴山太智 (NAOJ/Caltech-IPAC/NExScI), Currie Thayne (NASA Ames/Subaru), Brandt Timothy D. (UC Santa Barbara), Robert De Rosa (ESA), Jerry Xuan (Caltech), 葛原昌幸 (ABC), 田村元秀 (東京大学/ABC/NAOJ), 堀安範 (ABC), and SCEXAO and NIRC2 team

近年 Gaia 衛星によって精密な星の位置と固有運動が測定できるようになったことで、Hipparcos 衛星の観測と比較して、伴星由来による固有運動の変化を調べることができるようになってきた (e.g. Brandt et al. 2018)。ただし伴星の位置や質量は上記のアstrometry による観測だけでは縮退しており、長周期伴星に感度の高い系外惑星の直接撮像法が相補的にこれらの縮退を解き、かつ木星型惑星や低質量褐色矮星伴星を新たに発見できるようになっている。本研究ではこのターゲットの一つである F 型星において、すばる望遠鏡・ケック望遠鏡を用いた観測で新たに低質量伴星を発見した。近赤外線における SED から得られた結果と、アstrometry から推測される力学的質量の差を考慮に入れると新たに得られた伴星が褐色矮星連星の可能性があり、また Gaia カタログによりさらに外側に M 型星の伴星が確認できているなど、今回観測したターゲットは複雑な系の様相を呈している。本講演では得られた観測結果とそれぞれの天体の性質について紹介するとともに、系の成り立ちについて議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P319c Earth through the looking glass: how frequently are we detected by other civilizations through photometric microlensing?

S. Suphapolthaworn (Hokkaido U.), S. Awiphan (NARIT), T. Chatchadanoraset (CMU Dem. School), E. Kerins, D. Specht (U. of Manchester), N. Nakharutai, S. Komonjinda (Chiang Mai U.), A.C. Robin (U. of Franche-Comté)

In principle, Earth's microlensing signal could offer the chance for other technological civilizations to find Earth across Galactic distances. We propose the "Earth Microlensing Zone" (EMZ), defined as the areas of the sky from which Earth's microlensing signal might most likely be detected by a distant observer. Using stellar parameters from *Gaia* DR2 catalogue, the probabilities and rates at which observers may discover the Earth through photometric microlensing for the entire sky are calculated. Although the Solar System is multiplanetary, we show that a binary lens assumption of the Earth and Sun adopted in the calculation can well describe the Earth's photometric microlensing signature. We found that, on average, a microlensing signal due to Earth comparable in size to those we detect from other planets, occurs tens per year towards any star in the Galaxy. In fact, the Earth seems to be very dark to photometric microlensing discovery by other observers, unless they have sensitivity well beyond our own present capabilities. Parts of the EMZ overlap with the Earth Transit Zone (ETZ) near the Galactic Center, which could be the main areas for future SETI searches.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P320a ヘルクレス座 τ 流星群の出現 (1) 一分裂彗星核からの流星群一

渡部潤一, 佐藤幹哉, 土屋智恵 (国立天文台), 蓮尾隆一, 長谷川均 (国立天文台太陽系小天体ゼミ), NHK コズミックフロント取材班

ヘルクレス座 τ 流星群は、73P/Schwassmann-Wachmann 彗星を起源とする流星群である。1930年に周期5.4年の短周期彗星として発見され、その後の軌道解析から、流星群を引き起こす可能性が指摘された。実際、同年には花山天文台で、微光流星の多数の出現が記録された(1)が、その後、彗星が行方不明となり、流星群の出現もないまま半世紀が過ぎた。1979年に彗星は再発見されたが、1995年9月に大規模なアウトバーストを起こし、12等の予測を大きく超え、10月には肉眼等級にまで達した。このとき彗星核は少なくとも4個に分裂し、A~D核と命名された。分裂後は雲散霧消する例も多いが、この彗星の分裂核は、その後もBとC核は2000年の回帰にも生き残り、2006年には地球に接近し、多数の破片が観測された(2)。激しい分裂現象を起こした彗星からの流星群は19世紀の3D/Biela彗星に伴うアンドロメダ座流星群の例があるだけで、その詳細は不明である。我々のグループは1995年の分裂時を起源とする流星体が流星群として出現する計算・予測を行い(3)、秒速26-7mの放出速度があれば2022年5月31日に流星群として出現することを指摘した。これは通常の彗星活動の流星体の放出速度よりかなり早く、否定的な意見もあったが、分裂現象の激しさから、この速度はあり得ると考え、予測極大時刻に観測条件の良い米国に遠征観測を試み、出現を捉えることに成功した。本発表では、本遠征観測の経緯と結果を紹介する。

参考文献：(1) Nakamura K. (1930) MNRAS, 91, 204-209. (2) Fuse et al. (2007) PASJ, 59, 381-386. (3) Horii, S., Sato, M., Watanabe, J. (2008) EMP, 102, 1-4, 85-89.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P321a ヘルクレス座 τ 流星群の出現 (2) – 出現数の時間推移と出現規模の解析 –

佐藤幹哉, 渡部潤一, 土屋智恵 (国立天文台), 蓮尾隆一, 長谷川均 (国立天文台太陽系小天体ゼミ), NHK コズミックフロント取材班

ヘルクレス座 τ (タウ) 流星群は、73P/Schwassmann-Wachmann 彗星を母天体とする流星群である。発表者を含む複数の予報研究により、2022 年には、1995 年に母天体から放出されたダストによって形成するダスト・トレイルが地球と衝突し、流星群の活発な出現が期待される状況であった。発表者の推測では、ZHR (Zenithal Hourly Rate: 天頂修正 1 時間流星数) で、30~数百の規模が想定された。そこで、我々は予報極大時間帯である 2022 年 5 月 31 日 5 時頃 (世界時、以下同じ) において観測条件の良い、アメリカ・カリフォルニア州に遠征し、観測を実施することにした。

極大当夜は、薄明中から群流星が出現し、活発な出現が期待された。順調に流星数は増加し、眼視による観測では 4:30~5:30 に 54 個の群流星を数え (HR: Hourly Rate = 54)、想定通りの活発な出現を記録した。また天頂方向に向けたビデオ観測 (約 $72^\circ \times 104^\circ$) では、さらに多くの流星を記録しており、瞬間的には 4:40 頃に HR で 80 以上の出現規模を記録した。全体的な傾向としてはピークは鋭くなく、比較的長く継続する極大が現れたと考えられる。本発表では、詳細な解析結果を紹介する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P322a ヘルクレス座 τ 流星群の出現 (3) – 放射点移動とその離散度について –

土屋智恵, 佐藤幹哉, 渡部潤一 (国立天文台), 蓮尾隆一, 長谷川均 (国立天文台太陽系小天体ゼミ), NHK コズミックフロント取材班

同一の流星が複数の地点で同時に観測されると、その流星の軌道要素、放射点などが求められる。これら個々の流星の放射点を天球図上にプロットしていくと、流星群の場合は天球図上の決まったある一点に集まるため、その集中度から視覚的に流星群と認識することが可能となる。

通常、流星群の放射点は小さくまとまるが、流星群ごとに放射点分布の広がり具合 (以下、離散度と呼ぶ) は異なることが以前より指摘されている。離散度が異なる最も大きな原因として地球速度による影響が考えられ、特に対地速度の遅い流星群の場合、軌道要素が似ていても同じ流星群とみなされないほど放射点の離散度が大きい。流星は流星体の地球への突入速度と地球の公転速度による合成ベクトルによってその対地速度が決まる。したがって本来の放射点を知るには、観測されたデータから地球の運動をベクトル的に差し引く必要がある。

我々の研究グループでは 2022 年 5 月 31 日、木星族の周期彗星 73P/Schwassmann-Wachmann を起源とするヘルクレス座 τ 流星群の出現を予測しており、世界各地で観測をするように注意喚起した。この流星群は対地速度約 12km/s と流星群の中でも非常に低速であるため、放射点の離散度が大きく、流星群として認識できず、見逃してしまう可能性すらある。

その結果、世界各地で極大日の数日前から活動がとらえられ、速報の観測データからは放射点が広がっているばかりか、放射点の中心が日ごとに移動していることが確認された。本発表では世界各地での観測データから得られた放射点の移動とその離散度について検証した結果を報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P323a 近赤外線における黄道光偏光観測による惑星間塵の組成と粒径の制約

瀧本幸司, 佐野圭 (九州工業大), 松浦周二 (関西学院大), 津村耕司 (東京都市大), James Bock (Caltech/JPL), Michael Zemcov (RIT), CIBER collaboration

太陽系の惑星間空間を漂う固体微粒子である惑星間塵 (Interplanetary Dust, IPD) は、彗星や小惑星などが主な供給源と考えられており、その物質組成や粒径は、IPD による太陽光散乱である黄道光の観測によって制約できる。これまでの近赤外線における黄道光の分光観測では、そのスペクトル勾配やアルベドから、IPD の光学特性が彗星や D 型小惑星などの性質と一致することが示唆されている。IPD の性質により強い制限を与えるためには、黄道光の分光観測に加えて、偏光観測が重要である。近赤外域の黄道光の偏光観測は観測ロケット CIBER (Cosmic Infrared Background Experiment) と赤外線観測衛星 COBE (Cosmic Background Explorer) で実施されており、我々はそれらの観測データを用いて黄道光の偏光度を測定した。また、さまざまな物質組成 (例: astronomical silicate, graphite) や粒径 (0.1~100 μm) の固体微粒子の光散乱・偏光特性を Mie 理論を基に計算し、観測結果と比較した。その結果、IPD が粒径 1 μm 以上の吸収物質からなる粒子の場合に、観測結果と整合することが新たに明らかになった。加えて、近赤外域の黄道光の偏光度は可視域での偏光度と同等であり、波長依存性を示す Rayleigh 散乱では説明できないことから、観測波長に比べて同程度の粒径の IPD が支配的であることが考えられる。本講演ではそれぞれの偏光観測データから得られた偏光度の波長・黄緯・太陽離角に対する依存性を示すとともに、さまざまな IPD モデルから予想される偏光特性との比較結果について報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P324a 微小高速自転小惑星 2022 JL の即時モニタリング観測

紅山仁, 酒向重行, 大澤亮, 瀧田怜 (東京大学), 奥村真一郎, 浦川聖太郎 (日本スペースガード協会), 吉川真, 白井文彦 (宇宙航空研究開発機構宇宙科学研究所), 吉田二美 (産業医科大学, 千葉工業大学惑星探査研究センター), 前原裕之 (国立天文台), OISTER コラボレーション

近日点距離が 1.3 au 未満の小惑星を地球接近小惑星 (near-Earth objects, 以下 NEO) という。NEO はその軌道進化過程において、太陽の輻射に起因して生じるトルクにより天体の自転状態が変化する (YORP 効果)。YORP 効果は直径が小さい天体に強く働くことから、微小 NEO の現在の自転周期および自転軸の向きは YORP 効果の理解に有用な物理量である。一般に微小 NEO は地球接近時の短時間しか観測できず自転状態の特徴づけは難しい。形状モデルを作成して自転軸の向きを推定するためには複数の光度曲線が必要となる。これらの困難性から自転軸の向きが推定された直径 150 m 以下の小惑星は (54509) YORP と 2021 DW₁ の 2 天体のみに限られる。発見直後の NEO を即座にモニタリング観測することができれば、微小小惑星の自転軸の向きの推定が可能となる。

我々は 2022 年 5 月に木曾広視野カメラ Tomo-e Gozen を用いた観測により微小 NEO 2022 JL から周期 50 秒の高速自転を検出した。2022 JL が日本から 6 日間観測可能であることに着目し、Tomo-e Gozen を用いた 6 日間の測光観測および岡山せいめい望遠鏡と TriCCS を用いた 1 日間の多色同時測光観測を実施した。せいめい望遠鏡の g, r, i バンドの観測から 2022 JL の色指数は $g - r = 0.360 \pm 0.005$, $r - i = 0.182 \pm 0.005$ と求まった。6 日間の観測を合わせた位相曲線から 2022 JL の絶対等級 H , スロープパラメタ G はそれぞれ $H = 23.03 \pm 0.07$, $G = 0.12 \pm 0.04$ と求まった。色指数, スロープパラメタは共に 2022 JL が C 型小惑星であることを示唆する。本発表では 2022 JL の観測と測光特性に関して報告し、6 日間の光度曲線を用いた形状推定の試みについても述べる。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P325a 小惑星分布に対する共鳴点近傍におけるヒルダ群小惑星の運動の安定性の根拠と Kirkwood gaps での不安定性の根拠

浅野光祐 (大阪府立大学), 野場賢一 (大阪公立大学), Tomio Petrosky (テキサス大学)

小惑星の運動の安定不安定性の分析を、太陽-木星-小惑星の平面楕円制限 3 体問題を使って分析した。よく知られているように、木星の運動との共鳴効果により、木星の公転振動数に対して小惑星の公転振動数の比が例えば $3/1$ や $2/1$ となるところの近傍に Kirkwood gaps と呼ばれる小惑星の分布のギャップがあり、それらはそれぞれ $3:1$ 共鳴点、 $2:1$ 共鳴点と呼ばれている。ところが、 $3:2$ 共鳴点近傍ではその反対に、ヒルダ群小惑星と呼ばれる数千もの小惑星が観測されている。同じ共鳴効果が一方では小惑星の運動を不安定化させ、他方では安定化させている。今回、共鳴効果によるこの相反する結果が、共鳴効果によるこの系の可積分-非可積分性の違いによって起こることを明らかにした。カオスの理論でよく知られているように、たとえ共鳴現象があっても、それが 1 つの共鳴項のみを持つ単一共鳴ハミルトニアンで記述される場合は可積分になり軌道は安定する。一方、2 つ以上の共鳴項を持つ多重共鳴ハミルトニアンの場合には非可積分になり、カオスが現れ、軌道は不安定化する。

我々は、上記の楕円制限 3 体問題を分析して、ヒルダ群の見られる $3:2$ 共鳴点近傍では、そのハミルトニアンが単一共鳴ハミルトニアンでよく近似され、一方、Kirkwood gaps のある $3:1$ 共鳴点、 $2:1$ 共鳴点近傍では、そのハミルトニアンが 2 重共鳴ハミルトニアンで近似されることを見出した。また、この解析的な結果を数値計算によって描かれる Poincaré 断面と比較して、我々の解析の正当性を論じた。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P326a Fermi-LAT による木星トロヤ群からのガンマ線アルベド放射と小惑星サイズ分布への制限

長澤 俊作 (東大 IPMU), 峰 海里 (東大 IPMU), Peter Cox (メルボルン大), Tom Melia (東大 IPMU), 水野 恒史 (広島大), 沼澤 正樹 (東京都立大), 高橋 忠幸 (東大 IPMU), Volodymyr Takhistov (東大 IPMU), Graham White (東大 IPMU), 米田 浩基 (理研)

小惑星のサイズ分布は、衝突・捕獲など形成過程の情報を反映しているため (Davis+ 2002)、太陽系の形成、動的進化を理解する上で重要である。特に木星トロヤ群については、可視・赤外線観測により ~ 1 km 以上のサイズ分布は求められてきたが (e.g. Uehata+2022)、それ以下のサイズ分布を調べることは難しい。しかし、宇宙線が小惑星と相互作用により放出されるガンマ線は、小惑星のサイズ分布に強く依存する上、数 m 程度のサイズでもカスケードが十分発達するため、sub-km のサイズ分布情報を得る強力なプローブとなる (Moskalenko+ 2008)。

2008 年打ち上げ以来 12 年間の観測データを持つ Fermi 衛星は、木星トロヤ群からの宇宙線によるガンマ線アルベド放射を評価する上で最適である。しかし、木星トロヤ群を始めとする太陽系天体は、Fermi 衛星から常に動いて見えるため既存の解析ツールをそのまま適用はできず、さらにバックグラウンドも刻々と変化する。月や太陽のように明るい点源状の天体については解析手法が確立しているが (Abdo+2011, 2012)、木星トロヤ群のような弱い広がったガンマ線源に対しては未だ確立されていない。そこで我々は、銀河系内外の背景放射の評価として Fake Source Method (Abdo+ 2011)、さらに特に問題となる他のガンマ線点源の混入を自動的に除去する方法を新たに開発し、これらを組み合わせることで、木星トロヤ群小惑星からのガンマ線放射の評価を行った。本講演ではこれらの解析方法と結果について報告を行うとともに、小惑星サイズ分布への制限に対する議論を行う。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P327a すばる HSC-SSP PDR2 データ中の移動天体探査と既知太陽系小天体カタログ作成

大坪貴文, 高田唯史, 古澤久徳, 古澤順子, 寺居剛 (国立天文台), 吉田二美 (産業医科大/千葉工大 PERC), 浦川聖太郎 (日本スペースガード協会), HSC 超高速 DB グループ

微惑星の生き残りである小惑星や彗星などの太陽系小天体の軌道やサイズ頻度分布の情報は、太陽系での天体の衝突進化の歴史を知る重要な手掛かりである。我々はすばる望遠鏡 Hyper Suprime-Cam (HSC) の大口径と広視野撮像という特長に着目し、まず軌道が決定され位置推定が可能な既知の太陽系小天体を HSC の観測データから抽出しカタログ化することを目指し、2020 年度から HSC 戦略枠サーベイ (HSC-SSP) の Public Data Release (PDR2) の観測画像と検出光源リストに基づく既知小天体の検出・同定作業を開始した (2021 年春季年会 P312b, 2021 年秋季年会 P308b 参照)。2014 年 3 月から 2018 年 1 月にかけての 170 観測夜を超える PDR2 のうち wide survey データからの太陽系小天体抽出作業をほぼ終了したので報告する。手順としては、(1) Minor Planet Center 及び JPL/HORIZONS に登録されている軌道要素情報を活用し、各観測時に HSC の視野内に入る小天体の座標を推定し、(2) HSC-SSP PDR2 で公開されている各露出での光源リスト (1 観測夜あたり ~3000 万個) を PostgreSQL でデータベース化した上で (1) で求めた小天体予測座標との座標マッチングをおこない、(3) 座標・像の形状・明るさを判定基準とした上で同定した天体の情報を得る、という段階を踏んでいる。移動天体である太陽系小天体は異なる時刻では異なる位置で検出される。その複数回検出を踏まえると、PDR2 wide のデータでは、総検出個数は延べ 35 万を超え、ユニークな天体数としては 5 万強であった。本講演では、既知太陽系小天体検出・同定の結果、移動天体の判定基準の詳細と改善点、今後の HSC 太陽系小天体カタログ化の見通しについて紹介する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P328a PONCOTS による木星での巨大衝突閃光現象の発見および詳細観測

有松亘 (京都大学), 津村耕司 (東京都市大学), 白井文彦 (ISAS/JAXA), 渡部潤一 (国立天文台)

史上初めて多波長同時動画観測に成功した、2021 年 10 月 15 日 (UT) の木星衝突閃光現象 (Arimatsu et al. ApJL accepted) について報告する。近年、直径数 10 m 程度の小天体が木星表面に大気圏突入する際に発生する可視閃光現象が、アマチュア天文家によって偶然発見されてきている。こうした閃光の観測的研究は巨大惑星領域での小天体のサイズ頻度分布や、小天体の大気圏突入時の発光プロセスの理解につながる貴重な機会である。しかし、衝突閃光は極めて短い継続時間 (~ 秒) をもつ極めて稀な現象であることから詳細な観測例がなく、その真価は見出されずにいた。我々は木星閃光の検出および詳細観測に特化した、口径 0.28 m の可視超小型多波長動画観測システム、Planetary ObservatioN Camera for Optical Transient Surveys (PONCOTS) を開発し、件の閃光現象を発見した。木星閃光を『狙った』観測で閃光検出に成功したのは、本件が史上初である。なお、本件発覚後 Twitter 上で情報提供を呼びかけた結果、この閃光は国内外 3 名のアマチュア天文家によって同時観測されていたことが判明している。PONCOTS の 3 波長観測データから推定される閃光の衝突エネルギーは ~ 2 Mt TNT であり、過去に観測された閃光と比較して 1 桁程度大きく、地上から観測された木星閃光のなかで最大である。したがって今回、初めて Mt クラスの惑星大気圏突入に伴う発光現象の多波長動画観測に成功したことになる。またこの衝突エネルギーは、1908 年に地球で発生したツングースカの大爆発の衝突エネルギーに匹敵する。今回の観測成功によって、これまで未解明だった木星表面での衝突閃光現象の発光特性、および巨大惑星領域での数 10 m クラスの天体のサイズ頻度分布についての知見を拡充しただけでなく、こうした小天体が地球に衝突した際の発光現象が人類社会にどの程度の脅威になり得るのかについて、我々は新たな視座を獲得したのである。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P329b 「あかり」がとらえた遠赤外線全天画像中の黄道面付近ダストバンド構造とダスト供給源小惑星族の推定

大坪貴文(国立天文台), 土井靖生(東大総合文化), 他「あかり」チーム

赤外線衛星「あかり」の遠赤外線全天画像(Doi et al. 2015, Takita et al. 2015)は、1年を超える観測期間中に全天の $> 97\%$ をカバーし黄道放射研究にとっても重要なデータである。これまでに「あかり」の遠赤外線画像の短波長側2バンド($65, 90 \mu\text{m}$)で、黄道面付近のブレンドした黄緯 $\pm 1.4^\circ, \pm 2.1^\circ$ と黄緯 $\pm 10^\circ$ の、FWHM幅 $\sim 5^\circ$ 、表面輝度数 MJy/sr レベルの小惑星ダストバンド構造を検出した(Ootsubo et al. 2016)。小惑星ダストバンドはメインベルト内での小惑星族同士の衝突がダストの供給源であり、Poynting-Robertson 効果などにより太陽方向内側へ落ちてくることで広がったトラス状構造をしている可能性が示唆されている。

我々は、「あかり」の遠赤外線全天画像に対して黄緯方向にハイパスフィルタなどの画像処理を施すことにより、小惑星ダストバンド中の、より微細な幅 2.5° 以下のバンド構造を抽出した。この画像強調処理によって、黄道面付近のダストバンドである黄緯 $\pm 1.4^\circ$ と $\pm 2.1^\circ$ の明確なピークを検出することができた。地球の公転によりダストバンド構造は黄経方向 360° に渡ってピークの黄緯が sinusoidal な変化を見せるが、その見かけの構造から地球-ダストバンド間(および太陽-ダストバンド間)の距離を推定することができる。抽出した幅 2.5° 以下の黄緯 $\pm 1.4^\circ$ と $\pm 2.1^\circ$ バンドはそれぞれ太陽から $\sim 2.8 \text{ au}$ 、 $\sim 3.2 \text{ au}$ の細い構造を見ていると考えられる。この日心距離はそれぞれのダスト供給源である Karin 族, Beagle 族の軌道長半径に対応しており、「あかり」の遠赤外線観測によりダスト供給が起こった軌道付近に残存するダストを初めてとらえることができたと考えている。

[スケジュール\(セッション毎\)に戻る](#)

[スケジュール\(全体\)に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P330b 時間変動する火星大気重力波を考慮したテラヘルツ分光観測の検討

山内良斗(大阪公立大学), 濱口優輝(大阪府立大学), 黒田剛史(東北大学), 佐川英夫(京都産業大学), 前澤裕之(大阪公立大学)

我々は次世代の火星探査機のサブペイロード搭載などを見据えて、テラヘルツヘテロダイナミック分光装置 (THSS) の設計検討を進めている。THSS は火星の表層から 100km 以上の高度にかけての緯度・経度、local-time の水蒸気や一酸化炭素、そのほかの微量分子や同位体の 4D 観測を可能にする特色を有す。また、大気の流れ場/ダイナミクスの観測を行える他、ダストやエアロゾルの吸収・散乱の影響を受けにくく、火星のダストストーム時でも、気象を担う境界層近傍まで見通すことが出来る強みをもつ。これにより、惑星大気の水を含めた物質循環やダイナミクス、大気の酸化反応素過程、気象・気候環境に迫ることが期待されている。大気重力波は、地球では近年、突発的な気象や、雲の形成やエアロゾルなどによる放射強制力や気候への寄与も議論されている。火星の大気重力波は、火星がどのように水や大気を失ったか、火星環境の過去から未来への変遷を理解する上で今後の理解が重要な物理過程である。Trace Gas Orbiter の赤外観測により、高度 $100\text{-}130 \text{ km}$ で大気重力波が碎波の様子(上層へのエネルギーの輸送)が捉えられつつあるが、まだ観測情報が非常に限られているのが実情である。本研究では火星の大気大循環モデル GCM(時間分解能、空間分解能はそれぞれ 10s 、 1.1° (67km)) のシミュレーション結果から、温度や圧力、一酸化炭素の 3次元データを採用し、衛星の移動や大気の時空間変化も考慮して、THSS でこれを疑似観測した。そして得たスペクトルデータ群から直接、リトリーバル解析などの複雑なプロセスや仮定を経ずに、火星の各高度の大気重力波の分布を捉える手法を検討した。その結果、GCM で予想される大気重力波の空間分布の大局的傾向を捉えることが出来たため、報告する。

[スケジュール\(セッション毎\)に戻る](#)

[スケジュール\(全体\)に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P331c 4 個の小惑星の偏光観測の再解析によるデータ改善と分光分類との比較

匠あさみ (放送大学/国立天文台), 渡部潤一, 大坪貴文 (国立天文台), 古荘玲子 (都留文科大学/国立天文台), 白井文彦 (ISAS/JAXA/神戸大学), 川端弘治, 中岡竜也 (広島大学), 山中雅之, 川端美穂 (京都大学), 石黒正晃 (ソウル大学), 倉本圭, 今井正亮, 大野辰遼 (北海道大学), 渡邊誠 (岡山理科大学)

2015 - 2016 年に国立天文台 50 センチ社会教育用公開望遠鏡と偏光撮像装置 PICO を用いて、4 個の小惑星 (2)Pallas, (27)Euterpe, (74)Galatea, (201)Penelope、2017 年に北海道大学ピリカ望遠鏡と可視光マルチスペクトル撮像観測装置 MSI、広島大学かなた望遠鏡と可視近赤外線同時カメラ HONIR の偏光モードを用いて、(74)Galatea をターゲットとして偏光観測を実施した。その結果は 2018 年春季大会 L06a にて「C 型小惑星 (74)Galatea の偏光観測」として発表した。

その後、国立天文台の PICO では off-focus で撮像しているため通常の測光方法ではなく、さらに改善の余地があると考えた。そこで、データの誤差縮小を目的として整約・測光方法を模索して再解析をした。その結果、PICO で観測した 4 個の小惑星 (2)Pallas, (27)Euterpe, (74)Galatea, (201)Penelope の偏光データの誤差はほぼすべて縮小した。それに伴い偏光度の値が変化したデータもある。また、前回解析中であった広島大学の HONIR による 2017 年 6 月 7 日 (UT) の (74)Galatea のデータも含めて解析し、偏光位相曲線 (Lumme and Muinonen, 1993) を作成した。偏光位相曲線の偏光パラメータは (74)Galatea の反転角 (α_{inv}) が前回と比べて約 2° 小さくなった。偏光パラメータの関係 P_{min} vs. α_{inv} と分光タイプの分布図 (Belskaya et al., 2017, Fig.5) に重ねると、(2)Pallas : B 型, (27)Euterpe : S 型, (201)Penelope : M 型は再解析の前後ともほぼ同じ分光分類の配置となった。また、分光分類では C 型の (74)Galatea は M 型から、B 型に近い M 型に近づいた。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Q01a Precise measurement of line intensities $S\mu^2$ of CH₂DOH by using emission-type millimeter and submillimeter-wave spectrometer SUMIRE

Takahiro Oyama, Yuki Ohno, Akemi Tamanai, Shaoshan Zeng, Riouhei Nakatani, Nami Sakai (RIKEN), Yoshimasa Watanabe (SIT), Takeshi Sakai (UEC)

Methanol (CH₃OH) is an abundant interstellar species and is known to play an important role in formation of various interstellar complex-organic molecules (COMs) as a mother species. As a monodeuterated methanol, CH₂DOH is one of the most abundant isotopologues of CH₃OH and it is often used to study deuteration of molecules. However, its theoretical line intensities listed in astronomical databases have significant errors disturbing determination of its accurate column density and temperature. To overcome this issue, the laboratory measurements of line intensities $S\mu^2$ of CH₂DOH are necessary. In this study, it has been determined in the millimeter-wave region from 216 GHz to 264 GHz by taking advantage of an emission-type millimeter and submillimeter-wave spectrometer SUMIRE. In the *b*-type transitions, significant systematic errors were found between theoretical and experimental $S\mu^2$ for three torsional sub-state, e_0 , e_1 and o_1 . On the other hand, in the *a*-type transition, determined $S\mu^2$ agree well with reported values in the database within experimental error of SUMIRE as 10% except for some transitions showing an effect from avoided crossing. The present study will enable us to trace deuterium fractionation of COMs along the star formation.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Q02a ALMA 校正用天体に対する分子吸収線探査 I: サーベイ概要

吉村勇紀、成田 佳奈香、河野孝太郎 (東京大学)、阪本成一 (国立天文台/東京大学)

水素の数密度が $10^2 - 10^3 \text{ cm}^{-3}$ 程度の希薄な星間ガスは、星形成過程やそれに伴う化学進化の初期条件として重要である。特に銀河系内においては、系外のクエーサー等の明るい電波源を背景光とするミリ波分子吸収線観測が、そのような希薄な星間ガスを研究する上で重要な手法となっている。しかし、明るい電波源やそれらに対する高感度なミリ波分光観測が必要であることから、既知の分子吸収線系の数は限られている。

そこで我々は、潜在的な分子吸収線系候補として、これまで ALMA が観測してきた膨大な数の校正用天体に着目した。数分程度の短い積分時間であっても、ALMA の高い感度をもってすれば、これまでに未発見の系を検出できる可能性がある。同じ着眼点で、先行研究では ALMA Cycle 0 で取得した 36 個の校正用天体を手動解析し、3 個の分子吸収線系を新たに検出している (Ando et al. 2016, PASJ, 68, 6)。我々はこの結果も踏まえ、Cycle 1 以降のデータにも範囲を拡大し、自動でデータダウンロード・校正・スペクトル抽出を行うスクリプトを組むことで、より悉皆的な探査を行った。その結果、現在までに 702 個の校正用天体に対して、2000 個を超える ALMA データを解析し、45 個の新たな分子吸収線系を検出した。これにより、既知の銀河系内分子吸収線系の数をほぼ倍増させる結果となった。得られた分子吸収線スペクトルには多くの類似性があり、例えば HCN/HCO⁺ 存在量比には普遍性が見られた。一方で、希薄な星間ガスでの検出がほとんど稀な CH₃OH や N₂H⁺ が検出されるような特異性を示すような天体も見られ、吸収線系周辺の固有な物理環境が化学的性質に影響を与える可能性が示唆されている。本講演では探査の概要を示し、希薄な分子ガスの化学的性質について、その一様性および多様性を議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Q03a ALMA 較正用天体に対する分子吸収線探査 II: QSO J1851+0035 方向の銀河系内分子吸収線系の物理状態と化学組成

成田佳奈香, 吉村勇紀, 河野孝太郎 (東京大学), 阪本成一 (国立天文台/東京大学)

分子雲は進化に伴い構造、物理状態、化学組成を変化させるが、その進化初期段階に相当する水素の数密度が $10^2\text{--}10^3\text{ cm}^{-3}$ 程度の希薄領域では分子輝線が十分に励起されず、観測的な理解は乏しい。一方で系外の明るい天体を背景光源とする分子吸収線系は、そのような天体を研究する上で重要なツールであるが、天体数は未だ限られている。そこで我々は最近実施した分子吸収線系探査 (吉村他 2022 年秋季年会) から、QSO J1851+0035 ($l = 33.50^\circ$, $b = +0.19^\circ$) 前景の吸収線系に着目し、ALMA の較正用天体データを中心とするアーカイブデータを用いて詳細な吸収線解析を進めている。その結果、これまでに ^{12}CO 、 ^{13}CO 、 HCO 、 HCO^+ 、 H^{13}CO^+ 、 HCN 、 HNC 、 CN 、 CS 、 CCH 、 $c\text{-C}_3\text{H}_2$ 、 SiO 、 SO を検出し、それぞれの柱密度 N を求めた。また、非検出分子のうち C^{18}O 、 HC^{18}O^+ 、 H^{13}CN 、 CH_3OH については柱密度の上限値を求めた。 ^{12}CO と ^{13}CO で同定された 16 個を超える独立の速度成分は銀河中心距離 $R_G = 4.7\text{--}10.2\text{ kpc}$ の範囲にあり、多くは $N(^{13}\text{CO}) \lesssim 10^{14}\text{ cm}^{-2}$ 、なかには $N(^{12}\text{CO}) \sim 10^{14}\text{ cm}^{-2}$ となるきわめて希薄な成分も検出された。 ^{13}CO の $J=1-0/J=2-1$ 吸収線から求めた励起温度は $2.9\text{--}5\text{ K}$ とほぼ CMB 温度に近い値となり、多くの場合、線幅は半値全幅で 0.4 km/s 程度とほぼ熱的であった。これらは原子雲と分子雲の中間段階にある希薄で暖かいガスの描像と合致する。 $^{13}\text{CO}/\text{C}^{18}\text{O}$ 存在比については 240 を超える異常値をもつものも見いだされた。また、 CN の超微細構造線についての強度比異常も見いだされた。講演ではこれらの分子種の存在比や同位体比に加え、それらと $N(\text{H}_2)$ や線幅、 R_G との関係についても述べる。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Q04a ALMA 望遠鏡による吸収線観測で探る分子雲内部の中性炭素と一酸化炭素の関係

宮本祐介 (福井工業大), 瀬田益道, 中井直正 (関西学院大), Salak Dragan (北海道大), 渡邊祥正 (芝浦工業大), 石井峻, 長谷川哲夫 (国立天文台), 幸田仁 (Stony Brook University)

星形成の母体である分子雲の構造記述の基礎となる光解離領域 (PDR) モデルでは、中性原子は星間紫外線による解離によって分子雲の表面に層状に分布すると期待される。一方、最近の銀河系内外の分子雲観測から、中性炭素原子 ($[\text{C I}]$) と一酸化炭素 (CO) の分布が一致する例が見出されている。この観測結果を説明するモデルとして、Clumpy-PDR モデルが提唱されている。分子雲が非一様な内部構造を持つ (高密度のクランプが希薄な分子雲内に存在する) 場合、紫外線は分子雲内部にまで入り込み分子ガスを解離できるため、分子雲スケールでの $[\text{C I}]$ と CO の分布の一致が説明できる。本モデルの実証は、これまで、銀河系内分子雲に対する高空間分解能 (数 $100\text{--}1000\text{ au}$) での $[\text{C I}]$ 輝線観測等から試みられたが、未解決である。実証には分子雲の内側深くに存在する高密度クランプ ($\leq 100\text{ au}$) の確認、およびこの空間スケールでの $[\text{C I}]$ と CO の比較が有効である。そこで、我々は、電波干渉計を用いて、銀河系の背後にあるキューサーを観測し、銀河系内分子雲を吸収線として測定する手法を用いた。分子雲内の高密度クランプを高い空間分解能で観測した場合には、クランプのサイズに対応する速度幅を持つ吸収線の検出が期待される。また、 CO および $[\text{C I}]$ のスペクトルプロファイルの比較から、これらの空間的な関係についても推測できる。本講演では、銀河系の背後にある 2 つのキューサーに対して ALMA 望遠鏡 (cycle 8) で行った ^{12}CO 、 ^{13}CO および $[\text{C I}]$ 観測の結果について紹介する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Q05a 野辺山 45m 鏡を用いた銀河面第一象限外縁部における分子雲探査

小西亜侑¹, 徳田一起^{2,3}, 西本晋平¹, 松本健¹, 山崎康正¹, 藤田真司¹, 村岡和幸¹, 大西利和¹, 泉奈都子⁴, 河野樹人⁵, 西村淳⁶, 柘植紀節⁷, 佐野栄俊⁸, 福井康雄⁹ (1: 大阪公立大学, 2: 九州大学, 3: NAOJ, 4: ASIAA, 5: 名古屋科学館, 6: NRO, 7: Friedrich-Alexander Univ., 8: 岐阜大学, 9: 名古屋大学)

銀河系外縁部 (銀河中心からの距離 $R_G > 15$ kpc) は太陽系よりも低金属量環境であることが示唆されており (Fernández-Martín+2017)、そのような環境での星形成過程を知ることに加えて、銀河系構造の理解を深める上でも重要な実験場である。しかし、銀河面第二/三象限と異なり、第一象限は銀河系内縁部の視線方向上の重なりが激しく、分子雲の探査は困難を極めていた。Dameらは H I ガスの銀河面サーベイ (Kalberla+2005) により知られていた、たて座-ケンタウルス座腕の延長成分と考えられる銀河系外縁に対して、CfA 1.2 m 鏡を用いて CO ($J=1-0$) の観測を行い、約 10 箇所 CO スポットを確認した (Dame+2011)。しかし空間分解能は 50 pc 程度と粗いため、分子雲の詳細な構造や性質までは分かっていた。我々は、FUGIN (Umemoto+2017) および大阪府立大学 1.85 m 鏡の銀河面 CO サーベイデータを用いて、CfA で検出された CO スポットを含む 9 領域の CO 輝線の空間的広がりを確認し、野辺山 45 m 鏡を用いたより高解像度/高感度の観測を行った。使用受信機は FOREST、観測期間は 2021 年 2-4 月、観測輝線は ^{12}CO , ^{13}CO , C^{18}O ($J=1-0$) である。観測した分子雲の CO 輝線から求めた質量の範囲は 10^3 - $10^4 M_\odot$ 程度であり、フィラメント状のものからクランプ状のものまで形態学的な特徴は多様性に富んでいた。銀河系の腕間領域にあるスパーや、M33 の $R_G \sim 2$ kpc 地点で見つかった分子雲 (Kohno+2022, Tokuda+2020) と比較的似た構造の長さ 50 pc 以上にもわたる巨大フィラメント状分子雲も 1 つ検出され、銀河系外縁部の詳細構造およびそれらを様々な銀河環境間で比較する上で重要な手がかりとなり得る。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Q06a 温度分布を用いた KAGONMA 天体の分子雲への星形成フィードバック

竹葉理史, 半田利弘, 村瀬建, 平田優志, 面高俊宏 (鹿児島大学), 河野樹人 (名古屋科学館), 仲野誠 (大分大学), Chibueze James O (North-West University/University of Nigeria), Burn Ross A (国立天文台)

星形成活動が星間物質 (ISM) に与える影響 (星形成フィードバック) は、次世代の星形成や銀河の進化を理解する上で重要な物理現象である。この影響は、HII 領域の膨張、双極分子流、強力な紫外線放射や恒星風に起因する衝撃波によって周囲の分子ガスが加熱される形で現れると予想される。そこで我々のグループでは、様々な段階にある星形成領域とその周辺の分子ガスの温度分布から星形成活動が分子ガスに及ぼす影響範囲を調べることを目的として、数年にわたってアンモニア分子輝線を用いたマッピング観測を実施してきた。この観測プロジェクトは「KAGONMA」(KAgoshima Galactic Object Survey with the Nobeyama 45m Telescope by Mapping in Ammonia lines の略称) と呼称している。これまでに我々のグループでは、マッピング観測を行った個別の分子雲に対して分子雲内部の星形成活動と分子ガスの運動学的特徴や温度分布に関する考察を行ってきた (e.g., Chibueze et al. 2013, Nakano et al. 2016, Burns et al. 2019, Murase et al. 2022, Kohno et al. 2022b, Hirata et al. in prep.)。これらの先行研究から、分子ガスに顕著な影響を与える星形成段階はコンパクト HII 領域であり、その影響範囲は 1 pc 程度であることがわかってきた。本講演では、マッピング観測が完了した天体の解析結果をまとめ、星形成活動が分子ガスに与える影響範囲に関する統計的な議論を行う。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Q07a 分子輝線データを用いた分子雲の密度階層構造解析

村瀬 建, 半田利弘, 松坂 怜, 西 潤弥, 竹葉理史, 柴田洋佑 (鹿児島大学), 島尻芳人 (九州共立大学), 小林将人 (国立天文台), 河野樹人 (名古屋科学館)

分子輝線データを用いた分子雲の密度階層構造の調査を行なった。星形成シナリオにおいて、大きさ $10 \sim 100$ pc スケールの分子雲は、希薄で広がったガスと星形成に繋がる高密度なガスが混在する重要な星形成進化段階である。分子雲の柱密度の分布から物理的特性を調査する手法として柱密度確率密度分布 (Column density probability distribution function: N-PDF) が観測、理論の両方で用いられている。これまで、N-PDF は低密度範囲での対数正規分布と、高密度範囲でのべき乗則分布の2つの成分で構成されると認識され、対数正規分布は乱流、べき乗則は自己重力が支配的な領域が形成すると解釈されてきた。過去の観測的研究では、べき乗則分布を形成している構造の大きさはおよそ 1 pc 程度と報告されているが、この結果は数値計算研究で報告されている結果と比べて1桁大きい。

今回、我々は複数の対数正規分布の組み合わせでN-PDFを解釈できる可能性を見出した。野辺山45 m電波望遠鏡で取得された広域分子輝線マッピングデータに対して、DENDROGRAMとSCIMESを用いた構造解析を実施し、取得した分子雲に対してN-PDF解析を行なった。その結果、解析を行なった分子雲の全てにおいて最大2つの対数正規分布の組み合わせだけでN-PDFをよく再現できることがわかった。また、N-PDFの特徴と分子雲の星形成活動の間に関係がないことがわかった。N-PDFは星形成活動ではなく、分子雲の密度構造と乱流構造の関係を反映していると考えられる。本講演では、上記の内容に加えて、N-PDFのフィッティングから得た対数正規分布を特徴つけるパラメータの統計的解析の結果も報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Q08a ALMA ACA による大マゼラン雲超広域 CO 探査 (3):Molecular ridge 領域における分子雲の統計的性質

北野尚弥, 松本健, 南大晴, 鈴木大誠, 小西亜侑, 東野康祐, 大西利和 (大阪公立大学), 徳田一起 (九州大学/国立天文台), 山田麟, 西岡丈翔, 立原研悟, 福井康雄 (名古屋大), 柘植紀節 (Friedrich-Alexander Univ.), 南谷哲宏, 河村晶子, 小林将人 (国立天文台), 竹腰達哉 (北見工業大)

大マゼラン雲 ($Z \sim 0.5 Z_{\odot}$) は現在の銀河系では見られないような大規模な星団が形成されており、様々な環境での星形成の統一的な見解を得るためにも重要な位置付けとなる銀河である。本研究で着眼している Molecular Ridge は大マゼラン雲南東部に位置する総分子ガス質量が $\sim 10^7 M_{\odot}$ の巨大分子雲複合体であり、N158, N159, N160 など星形成が活発な領域を含む。我々は Atacama Compact Array (ACA) で得られた 1.3mm 帯の CO 分子輝線アーカイブデータ (2016.1.00782.S, 2018.A.00061.S) の解析を推進している。これまでに、同領域内の複数のフィラメント状分子雲が 200 pc を超えたスケールの H I ガス衝突流により形成された可能性や、北部から南部にかけての分子雲の系統的進化を支持する高密度ガス比の変化を報告した (徳田他、南他 2022 年春季年会)。この ACA による $^{12}\text{CO}(J=2-1)$ データに対し、分子雲の半径と速度分散の関係を調べた結果、銀河系の標準的な関係 (Solomon+1987) と比べて、速度線幅は同程度かやや高い水準に分布することが分かった。この傾向は Molecular ridge から 500 pc 北に存在する 30 Doradus 領域の結果 (e.g., Indebetouw+13) とも整合的である。また、観測領域内で唯一大質量星形成が不活発である N159S とその他の活発な領域同士を比較しても優位な差は見られず、星形成のフィードバック等では線幅の増強は説明できないと思われる。本講演では分子雲の物理状態の変化が H I ガス流の存在や重元素量といった環境の違いに起因している可能性を論じる。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Q09a ALMA ACA による小マゼラン雲超広域 CO 探査 (3):N83/N84 領域

松本健, 小西亜侑, 北野尚弥, 村岡和幸, 大西利和 (大阪公立大学), 徳田一起 (九州大学/国立天文台), 大野峻宏, 立原研悟, 福井康雄 (名古屋大学), 柘植紀節 (Friedrich-Alexander Univ.), 佐野栄俊 (岐阜大学), 河村晶子 (国立天文台), 福島肇 (筑波大学), 竹腰達哉 (北見工業大学), 小林将人 (国立天文台)

小マゼラン雲 (距離 ~60 kpc) は金属量が銀河系の約 1/5 程度と低く、低金属量環境下での星形成過程を調べる上で最適な天体である。我々はこれまで小マゼラン雲北部領域における Atacama Compact Array (ACA) による ^{12}CO 輝線データ (空間分解能:2 pc, 総観測領域:0.26 平方度) の解析を行い、CO 輝線のトレーサーとしての振る舞いや分子ガスの物理的性質を明らかにしてきた (Tokuda+2021; 大野他 2021 春季年会)。本研究で着目する小マゼラン雲南東部の H II 領域 N83/N84 は北部領域よりも H I ガスの速度分布が複雑で、その起源として大小マゼラン雲の潮汐相互作用による H I 流の衝突が提案されている (大野他 2020 春季年会)。我々は、小マゼラン雲内での分子雲の性質の普遍性/多様性を検証すべく、ACA による N83/N84 領域 (空間分解能:2 pc, 総観測領域:0.03 平方度) での CO ($J=2-1$) 輝線アーカイブデータの (2018.1.01319.S) を解析した。分子ガスの総質量は $\sim 2 \times 10^5 M_{\odot}$ であり ($X_{\text{CO}} = 7.5 \times 10^{20} \text{ cm}^{-2} (\text{K km s}^{-1})^{-1}$ を仮定)、これは総観測面積が 9 倍程度の北部領域での半分程の質量に相当する。また、階層構造解析アルゴリズム Dendrogram (Rosolowsky+2008) により、周囲の CO フリーな場所と明確に境界が区別できる構造を 125 個同定した。これらの分子雲の半径 (R) と速度分散 (σ_v) の関係は冪乗則 $\sigma_v = 0.4R^{0.56}$ に従うが、銀河系 ($\sigma_v = 0.72R^{0.5}$, Solomon+1987) や大マゼラン雲の一部 (北野他本年会) と比較すると、同じ半径で線幅が約 2 倍小さいことを確認した。この傾向は小マゼラン雲北部領域と共通である。以上から、小マゼラン雲特有の性質をもつ CO 分子雲が N83/N84 領域ではより狭い領域に集中していることがわかった。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Q10b 大質量星形成領域 Sh 2-255, Sh 2-257 に対するアンモニアマッピング観測

河野樹人 (名古屋市科学館), 面高俊宏, 半田利弘, 村瀬建, 松坂怜 (鹿児島大), Chibueze James O (North-West University/University of Nigeria), Burns Ross A, 永山匠, 砂田和良 (国立天文台), 仲野誠 (大分大), 山田麟 (名古屋大), Bieging John H (University of Arizona)

Sh 2-255 (=S255) と Sh 2-257 (=S257) は、太陽系から距離 1.78 kpc にある大質量星形成領域である。ふたご座巨大分子雲複合体の一部であり、年齢 0.2 - 5 Myr の 4 つの HII 領域と 10^4 年以下の若い大質量星形成領域 S255 IR, S255 N で構成されている。これまで連鎖的星形成の現場として研究がされてきた (Bieging et al. 2009)。我々、鹿児島大学を中心としたグループは、野辺山 45 m 望遠鏡を用いて、2013 年 12 月から 2015 年 6 月までの 2 シーズンにかけて、 $\text{NH}_3 (J, K) = (1, 1), (2, 2), (3, 3)$ のマッピング観測を行った。観測の結果、3 輝線全てを検出し、 $\text{NH}_3 (1, 1)$ は、3 pc \times 2 pc にわたって分布し、2 つの HII 領域 Sh 2-255 と Sh 2-257 に挟まれている箇所でピークを持つことがわかった。さらに西側の HII 領域 Sh 2-254 に隣接する領域でも、 $\text{NH}_3 (1, 1)$ を検出した。 $\text{NH}_3 (2, 2)/(1, 1)$ の輝線強度比から求めた回転温度は、S255 IR 付近で局所的に高く約 25 K だった。また、 $\text{NH}_3 (1, 1)$ の線幅は、S255 IR と S255 N 付近で、 2 km s^{-1} から $3\text{-}4 \text{ km s}^{-1}$ に広がることがわかった。これらの結果は、S255 IR, S255 N に存在する埋もれた大質量星からのフィードバックによって、 NH_3 で捉えられる高密度分子雲が $< 1 \text{ pc}$ の空間スケールで局所的に加熱され、乱流運動が増幅された可能性を示唆している。さらに Young stellar object (YSO) の空間分布との比較を行ったところ、西側の $\text{NH}_3 (1, 1)$ を検出した領域では、Class II YSO が集中していることがわかった。Class II YSO の年齢はおよそ 2 Myr であることから、西側領域は、年齢 5 Myr の進化の進んだ HII 領域 Sh 2-254 の影響によって星形成が誘発された可能性を示唆している。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Q11b CCS ($J_N = 4_3 - 3_2$) 輝線の静止周波数と eQ 受信機を用いた高周波数分解能観測

中村文隆 (国立天文台)、下井倉ともみ (大妻女子大)、土橋一仁 (東京学芸大)、谷口琴美 (国立天文台)、Ross Burns (国立天文台)、ほか eQ チーム

分子輝線の静止周波数は、分光実験や理論計算によって決められるが、誤差を伴う。その例として CCS $J_N = 4_3 - 3_2$ の場合について考える。この輝線の静止周波数は約 45GHz であるが、ALMA で採用されている Spatalogue には複数の値が掲載され、16kHz も違っている。このズレは測定誤差などを考慮しても説明できない。野辺山 45m 鏡分光計 SAM45 の最小分解能 3.81 kHz で 5 channel もの違いに相当し、速度で ~ 0.1 km/s もの差を生み出す。近傍の prestellar 領域の線幅はせいぜいこの数倍程度なので、この誤差は大きい。

我々は、2021 年 11 月に 30-50 GHz の帯域を観測できる新受信機 eQ を野辺山 45m 鏡に搭載し、試験観測を続けているが、実測システム雑音温度は $T_{\text{sys}} = 60-100$ K と低く、非常に高感度の観測が可能である。Yebees 40m 鏡搭載の nanocosmo 受信機は eQ と同等の性能を有するが、周波数分解能は 2 倍荒く、帯域も少し狭い。つまり eQ 受信機システムは、30-50GHz では既存の受信機の中で世界一である。この高感度・高周波数分解能の eQ システムを用いれば、直接観測から CCS $J_N = 4_3 - 3_2$ の静止周波数を精度良く決められると期待される。

我々は、TMC-1 (CP) に向けて、eQ による $J_N = 4_3 - 3_2$ (45GHz) と $J_N = 3_2 - 2_1$ (33 GHz) 輝線の同時観測、FOREST による $J_N = 8_7 - 7_6$ (94 GHz) 輝線の観測を行い、これらの輝線プロファイルを比較することで、誤差の大きい $J_N = 4_3 - 3_2$ 輝線の静止周波数の決定を試みた。予備的な解析であるが、カタログ上で誤差の少ない $J_N = 3_2 - 2_1$ を基準とすると、正しい静止周波数は下限値の 45379029 kHz (Lovas) に近い値となるようである。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Q12a 中間速度 H I 雲の詳細研究 (2) 銀河系外起源を支持する新たな証拠

福井康雄, 早川貴敬, 立原研悟 (名古屋大学), 米田龍生, 藤田真司, 西本晋平, 大西利和 (大阪公立大学), 西村淳 (国立天文台野辺山), 徳田一起 (九州大学/国立天文台), 井上剛志 (甲南大学)

中間速度 H I 雲 (IVC=intermediate velocity clouds、視線速度の絶対値が 20 - 100 km/s) は、銀河回転に従わない高銀緯成分として注目される。その起源として、「Galactic fountain 説」と「系外起源説」とが議論されてきたが、その金属量が太陽近傍に近いために、Galactic fountain 説が有望とみられていた。我々は、新たに H I 21 cm スペクトルの全天観測結果 HI4P (HI4PI Collaboration 2016) が公表されたことを受けて IVC の詳細な解析を行ない、IVC の起源を追求してきた。

その結果、多くの IVC が銀河面に垂直な強い指向性を示すことを見出した。具体的には、IVC はフィラメント状に分布しており、その方向性が銀河面に垂直な角度 20 - 40 度の範囲に収束していることを発見した。このことはこれらの H I 雲が数 kpc 以遠から銀河面に落下し、銀河面に垂直に整列したことを示唆する。また、冷却凝縮によって周囲の hot gas を取り込みながら落下する H I 雲は、銀河系ハロー中の金属量の高いガスを吸収することで、当初 H I が低金属量であっても銀河面近くでは太陽近傍の金属量に近づくことが示唆されており、金属量は必ずしも Galactic fountain 説を支持しない。さらに、早川らは IVC の金属量を *Planck* のサブミリ波放射を用いて解析し、金属量が太陽系の 0.5 以下のガスが 40% を占めることを示した (2022 年春季年会)。

以上の結果を総合すると、IVC の多くは銀河系外起源であり、銀河系が閉じた系ではないことが改めて示唆される。多くの銀河で銀河間相互作用の重要性が指摘されており、銀河系もその例外ではないという理解が可能である。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Q13a ダスト内部エネルギーの制限を考慮した星間ダスト熱史追跡シミュレーションコードの開発

天崎賢至 (東北大学), 梨本真志 (東京大学), 服部誠 (東北大学)

今後 10 年間に計画されているさまざまな CMB 偏光観測精密測定で得られるデータは、星間ダストの物理の理解の深化につながるデータの宝庫でもある。それらのデータを最大限に活用するためには、物理モデルに基づいた星間ダストの熱史を追跡するシミュレーションコードが必須である。

先行研究では、小さいダスト粒子の温度が加熱源の一つである CMB 温度よりも極端に低い温度に長時間留まるという不自然な結果を示していた。また、「ダストが放射する光子のエネルギーは、ダスト自身が持つ内部エネルギーを超えてはならない」という物理的要請 (Internal Energy Bound, IEB) が考慮されていなかった。

そこで、IEB がダスト放射に与える影響を調べた。例えば、1 ナノサイズのグラファイトが 3 K のとき放射できる光子の最大周波数はおよそ 2 GHz となる。我々は、IEB を考慮した加熱と冷却過程の双方をストカスティックに扱うシミュレーションコードを開発した。このコードを様々なダスト粒子に適用し温度の時間変化を調べた。この結果、ナノサイズの粒子の温度は 10 K 程度に落ち着くことを示した。我々のこの手法は、小さいダストの温度が CMB 温度よりも極端に低い温度に長時間留まるという先行研究の問題を解消した。

また、計算コストの大幅な削減のためには、冷却過程を連続冷却モデルで近似できることが鍵である。そこで、ストカスティック冷却と連続冷却の結果の比較を行い、その近似の精度の検証を行なった。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Q14a 星間媒質中を高速移動する重力源が形成する星間コントレイル

北島敬大, 犬塚修一郎 (名古屋大学)

近年の観測により、星間空間に直線状で高密度な領域 (以下、フィラメント) が種々のスケール・場所で発見された。そのうち長さが数 pc 程度と比較的短いものは星形成の現場であり、その形成過程が解明されつつある (e.g., Abe+ 2021)。しかし、起源が全く不明な長大構造を持つフィラメントが多く存在する。特に、線密度が大きく長さが数十 pc にも及ぶフィラメント (Zucker+ 2018) 等、構造が非常に巨大なフィラメント (以下、長大フィラメント) は、その形成起源を説明する理論研究がほとんど無い。そこで本研究は重力源が高速で星間空間を移動した後の軌跡上で起こる HI ガスの圧縮と相転移によってフィラメントを形成するという可能性を考察した (以下、本メカニズムで形成されるフィラメントを「星間コントレイル」と呼ぶ)。特に、衝撃波中における HI ガスの振る舞いを調べた先行研究 (Koyama & Inutsuka 2000) を参考に相転移する条件を設け、重力場中の HI ガスの流れを解くことで、星間コントレイルの特徴 (e.g., 長さ, 幅, 質量) を解析的に求めた。その結果、星間コントレイルの長さは重力源と HI ガスの相対速度に依らなくなる。また、重力源の質量, 相対速度, HI ガスの密度に依存して種々のパラメータを持つ星間コントレイルが形成されることが分かり、中でも重力源の質量が $10^4 M_{\odot}$ 程度であれば長大フィラメントを形成し得ることを見出した。観測されたフィラメントが星間コントレイルであると断定することが出来れば、間接的に重力源の情報が得られる。そのため、本研究はブラックホール等の見えない天体を観測する新たなアプローチになることも期待できる。本公演では、星間コントレイルの形成モデルの概要および特徴量の解析法を報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Q15a 広帯域電波観測で探る銀河系巨大構造の起源

岩下稜司, 片岡淳 (早大理工), 祖父江義明 (東大理, 天文)

North Polar Spur(NPS) は銀河系全天観測において、電波帯及び軟 X 線帯で特徴的な巨大構造である。その起源については半世紀にわたって議論されており、太陽系近傍の超新星残骸から放出されたスーパーバブルであるとする説と、1000 万年以上前に起きた銀河中心 (GC ; Galactic Center) からの巨大な爆発の残骸であるとする説がある。近年、ガンマ線フェルミバブルや X 線 eROSITA バブル、マイクロ波帯での WMAP Haze などの GC からの泡構造が発見されたことで、NPS とこれらの泡構造を銀河中心からのアウトフローによって形成された構造であると統一的に理解しようとする試みがなされている。本研究では NPS について、22MHz(VLA) から 70GHz(Planck) までの広帯域電波観測を初めて解析し、NPS に付随する熱・非熱的放射の系統的な解析を行なった。その結果、NPS からの電波放射は、シンクロトロン放射・free-free 放射・ダスト放射の 3 成分で構成されていることが分かり、高銀緯領域ではシンクロトロン放射が他の放射より卓越していることが示された。また高周波数につれてダスト放射が支配的になる様子も確認することができた。ほとんどの領域において電子スペクトル指数 ($s, N(\gamma) \propto \gamma^{-s}$) は $s \simeq 2.2 - 3.0$ のべき乗を示し、電子のローレンツ因子 $\gamma \sim 10^4 (E \sim 10\text{GeV})$ でカットオフが見られ、電波放射電子がすでに NPS で冷却されていることが分かった。銀河系で典型的な磁場強度 $B \sim 5\mu\text{G}$ を仮定した電子の冷却時間は $\sim 10\text{Myr}$ であり、NPS が銀河中心からの構造であることを支持する結果となった。NPS に蓄積された非熱的エネルギーは、GC の構造である場合 $\sim 2.6 \times 10^{55}\text{erg}$ と見積もられた。また、NPS から放出されるガンマ線は CMB による逆コンプトン散乱によって 100 - 1000keV にピークをもち、フラックスは $\sim 10^{-9}[\text{erg sec}^{-1}\text{cm}^{-2}\text{str}^{-1}]$ と推定された。講演では、将来の X 線・ガンマ線観測の可能性についても触れたい。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Q16a 「すざく」を用いた銀河系高温ガスハローの観測 (2)

上田輝暉, 杉山剣人, 福島光太郎, 小林翔悟, 松下恭子 (東京理科大学)

冷たい暗黒物質モデルに基づくと、銀河間空間から降着したガスは衝撃波でビリアル温度まで加熱され、X 線を放射すると考えられる。また、銀河内で起きた超新星爆発による加熱で、星間ガスが銀河面から吹き出すことも起こり得る。銀河系ハローに存在すると考えられる 0.2 keV 前後の高温ガスからの放射が XMM や「すざく」で観測されたが、その強度は天球上で一桁以上ばらついていた (Henley+13, 中島+18)。さらに、吉野+(09), 関谷+(14) では、「」で観測した一部の領域で 0.8- 1.0 keV の放射成分 (以下 0.8 keV 成分) の存在が報告されている。しかし、これらの X 線放射の起源や分布に関しては未だに議論が続いている。

本研究では、銀経 $75^\circ - 285^\circ$ かつ銀河面から 15° 以上離れた 130 領域にわたる「すざく」の観測データを解析した。我々は、銀河系に定常的に存在するガスの温度や輝度及び構造について、太陽活動の影響が小さい時期のデータを用いた解析結果を 21 年秋季年会で報告した。0.8 keV 成分を考慮すると銀河系中心と反対方向では高温ガスの輝度と温度は概ね一定であった。本講演では、OVII, OVIII の輝線強度を直接評価した結果を報告する。太陽活動と強い相関のある OVII 輝線の混入は高温ガスの輝度の過大評価や温度の過小評価に繋がる。そこで、OVII 輝線の影響が小さい OVIII 輝線を用いることで高温ガスの輝度評価の系統誤差を減少させることができる。銀河中心と逆方向では、銀緯が大きくなると OVIII の輝度がゆるやかに上昇する傾向が見られた。この結果は高温ガスが銀河系ハローを球状に満たしていることを示唆する。また、算出される高温ガスのガス質量や静水圧平衡質量についても議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Q17a すざく衛星による銀河面拡散 X 線放射の空間構造の調査

山本久美子, 山内茂雄 (奈良女子大), 信川正順 (奈良教育大), 信川久実子 (近畿大), 内山秀樹 (静岡大)

天の川銀河には銀河系全体に拡がった X 線放射 (GDXE) が存在する。GDXE は高階電離した鉄輝線を持ち、その強度分布から銀河中心 (GCXE)、バルジ (GBXE)、銀河面 (GRXE) に分解された。

GRXE の放射の起源は、暗い点光源の重ね合わせとする説と真に拡がったプラズマであるとする説がある。点光源説では、太陽近傍の天体の個数密度よりも多くの天体を必要とするという問題がある (2021 年秋季年会山本他)。また、点光源の重ね合わせでは 3 本の鉄輝線を同時に説明できないこともわかっている (Nobukawa et al. 2016; Yamauchi et al. 2016)。プラズマ説では、スペクトルは高温 (数千万 K) と低温 (約 1 千万 K) の 2 成分プラズマによる経験的なモデルでよく再現できる (Uchiyama et al. 2013)。しかし、数千万度にもなるプラズマは銀河系の重力で維持できないため、プラズマの供給源か磁場による閉じ込め機構が必要であるという問題がある。

私たちは、すざく衛星のデータについて、現状最もよく GRXE を再現できるモデル (Uchiyama et al. 2013) を用いてスペクトル解析を行なった。ASCA の観測結果より、銀緯方向に依存性があることが既にわかっている (e.g., Kaneda et al. 1997; Sugizaki et al. 2001) ので、今回は特に銀河面上 (銀緯 $\sim \pm 0.8$ 度) に限定し、銀経 $\sim \pm 8-36$ 度の約 30 データを解析した。モデルより算出したフラックスから求めた表面輝度の銀経方向の分布は Sugizaki et al. (2001) と同様の傾向を示している。放射の起源がすべて点光源ならば、GRXE は一様な空間分布をしているはずである。しかし、高温成分と低温成分の比は東側で大きくなり、GRXE が一様に分布していない徴候が見られた。講演では、解析結果の詳細について報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Q18a 銀河系内中性子星連星合体残骸からの核ガンマ線放射診断

寺田幸功 (埼玉大, JAXA), 三輪祐也 (埼玉大), 大住隼人 (埼玉大), 藤本信一郎 (熊本高専), 勝田哲 (埼玉大), 馬場彩 (東大), 山崎了 (青山学院大)

連星中性子星合体は重力波天体であると同時に、宇宙における r-process 重元素合成の現場としても注目すべき天体である。しかし、合成核の崩壊で放出される核ガンマ線は極めて微弱であり、数十メガパーセクの距離に出現する連星中性子星合体の即時観測を実施しても、現行のガンマ線衛星ではその核ガンマ線を捉える事は極めて難しい。そこで発想を転換し、距離を銀河系内に絞りつつ、長寿命核からの核ガンマ線を用いた残骸を対象にすることで、より長時間の観測時間を投入した高感度探査となりうる。2020 年春季年会では、このアイデアに基づき、銀河系内の中性子星合体で合成される不安定核の核崩壊を 1 Myear まで追う各崩壊計算を行い、長寿命核ガンマ線のエネルギーと強度を推定した (2020 年春季 W40a 三輪ら)。さらに INTEGRAL 衛星の 15 年分の公開データを用いて銀河面探査を行い、各崩壊計算の結果と合わせ、近傍の中性子星合体の発生率に制限をつけた (2020 年春季 Q09a 寺田ら)。本講演では、前述の核崩壊計算で得たガンマ線エネルギースペクトルを用いて、新たなガンマ線診断ができないかを模索した。結果、 10^5 年以下の中性子星合体残骸は、 $70 \sim 3,000$ keV 帯域における color-color diagram で、銀河系内の連星や超新星残骸、活動銀河核など既知の天体と区別できることが分かった。さらに、 ^{137m}Ba 、 ^{85}K 、 ^{243}Am 、 ^{60m}Co など特徴的な核ガンマ輝線を用いれば、電子分率 Y_e が診断でき、より高い Y_e 環境となる超新星残骸と区別できることを示した。また、各帯域の予想強度をもとに、観測可能な中性子星合体残骸の期待数を推定し、将来のガンマ線衛星の感度との比較を行った。なお本講演は、Terada et al. ApJ 2022 in press (astroph/2205.05407) の結果をベースにした講演である。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Q19a 東アジア天文台 James Clerk Maxwell Telescope サブミリ波高感度偏波観測から明らかにされた超大質量ブラックホール Sgr A*への質量降着におけるCNDと磁場の役割

佐藤和樹, 新永浩子 (鹿児島大学), 鈴木建 (東京大学), 柿内健佑 (名古屋大学), Jürgen Ott (NRAO)

私たちの天の川銀河の核周円盤 (CND) は、銀河中心に存在する超巨大ブラックホール、Sgr A*の周囲を反時計回りに回転するディスク状構造を持つ。磁場は物質を重力に抗わさせるだけでなく、回転の角運動量を取り除き、Sgr A*に物質を降着させる働きをもつと考えられている。この領域の磁場を計測することは、CND の理解のみならず、Sgr A*の活動性を理解する上で重要である。私たちは、東アジア天文台 James Clerk Maxwell Telescope (JCMT) のサブミリ波カメラ SCUBA-2 と偏波計 POL-2 を用いた、CND 領域の波長 $850\mu\text{m}$ 連続波の偏波観測アーカイブデータを解析し、領域内のサブミリ波連続波と磁場を、高感度、高いダイナミックレンジで検出することに成功した。磁場は CND 内部で顕著に確認されるミニスパイラル構造を貫き、高温の電離物質の分布と強い相関を示していた。今回の発表では、JCMT による偏波観測データを Atacama Large Millimeter/submillimeter Array、Very Large Array、Stratospheric Observatory for Infrared Astronomy で取得した分子ガス、電波、サブミリ波、赤外線連続波データと比較し、銀河中心領域における Sgr A*への質量降着過程における磁場の役割について議論する。これら一連のデータから、Davis-Chandrasekhar-Fermi 法を用いて推定した磁場強度は、数 10mG 以上と、銀河中心領域における典型磁場強度より強いことを明らかにした。今回の私たちの研究から、磁場は領域内の主に電離したガスやダストとカップルし、力学的に強い影響を及ぼしており、CND 領域の物質を Sgr A*に降着させることに磁場が関与していることを強く示唆することがわかった。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Q20a Tibet 空気シャワー観測装置による天体からの sub-PeV ガンマ線の観測

加藤勢 (東大宇宙線研), 雨森道紘 (弘前大理工), 日比野欣也 (神奈川大工), 林優希 (信州大理), 堀田直己 (宇都宮大), 笠原克昌 (芝浦工大), 片寄祐作 (横浜国大工), 加藤千尋 (信州大理), 川原一輝 (横浜国大工), 川島輝能 (東大宇宙線研), 川田和正 (東大宇宙線研), 小財正義 (情報・システム研究機構), 宗像一起 (信州大理), 長屋開人 (横浜国大工), 中村佳昭 (東大宇宙線研), 南條宏肇 (弘前大理工), 西澤正己 (国立情報学研), 野口陸 (横浜国大工), 大西宗博 (東大宇宙線研), 奥川創介 (横浜国大工), 小澤俊介 (情報通信研), 齋藤敏治 (都立産業技術高専), 榊原陽平 (横浜国大工), 坂田通徳 (甲南大), さこ隆志 (東大宇宙線研), 佐古崇志 (東大宇宙線研), 佐々木翼 (神奈川大工), 柴田慎雄 (横浜国大工), 塩見昌司 (日本大生産工), 杉本久彦 (湘南工大), 鷹野和紀子 (神奈川大工), 瀧田正人 (東大宇宙線研), 立山暢人 (神奈川大工), 鳥居祥二 (早大理工研), 土屋晴文 (原子力機構), 有働慈治 (神奈川大工), 横江諄衛 (東大宇宙線研), 他 The Tibet AS γ Collaboration

宇宙空間から等方に飛来する原子核宇宙線は非熱的な冪型エネルギースペクトルをなす。この宇宙線スペクトルは 4PeV 付近に Knee と呼ばれる折れ曲がりを持ち、そこを境に冪が急峻になることが特徴である。銀河系内において宇宙線を Knee 領域 (PeV 領域) にまで加速する天体: PeVatron はいまだ特定されておらず、100 TeV 超のガンマ線 (sub-PeV ガンマ線) 観測を通じて PeVatron の探索が続けられている。これまでに Tibet、HAWC、LHAASO、HESS 実験による sub-PeV ガンマ線観測から、PeVatron 候補天体が複数検出されているものの、PeV 領域宇宙線加速の決定的な証拠はいまだ得られていない。そのため新たな候補天体の発見に加え、星周環境も考慮に入れて、個々の天体についてより詳細に研究することが重要となっている。

本研究では Tibet 空気シャワー観測装置により取得したデータを解析し、天体 HESS J1843-033 からのガンマ線放射のエネルギースペクトルを、25 TeV から 130 TeV にわたって初めて測定した。また電波観測の公開データの解析から、ガンマ線放射領域の分子雲分布を調べ、観測されたガンマ線放射と、近傍の超新星残骸 G28.6-0.1、及びガンマ線パルサー PSR J1844-0346 との関連付けを考察した。本講演では上の研究結果について報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Q21a Tibet 空気シャワー観測装置による sub-PeV 銀河拡散ガンマ線の観測

川田和正 (東大宇宙線研), 雨森道紘 (弘前大理工), 日比野欣也 (神奈川大工), 林優希 (信州大理), 堀田直己 (宇都宮大), 笠原克昌 (芝浦工大), 片寄祐作 (横浜国大工), 加藤千尋 (信州大理), 加藤勢 (東大宇宙線研), 川原一輝 (横浜国大工), 川島輝能 (東大宇宙線研), 小財正義 (情報・システム研究機構), 宗像一起 (信州大理), 長屋開人 (横浜国大工), 中村佳昭 (東大宇宙線研), 南條宏肇 (弘前大理工), 西澤正己 (国立情報学研), 野口陸 (横浜国大工), 大西宗博 (東大宇宙線研), 奥川創介 (横浜国大工), 小澤俊介 (情報通信研), 齋藤敏治 (都立産業技術高専), 榊原陽平 (横浜国大工), 坂田通徳 (甲南大), さこ隆志 (東大宇宙線研), 佐古崇志 (東大宇宙線研), 佐々木翼 (神奈川大工), 柴田慎雄 (横浜国大工), 塩見昌司 (日本大生産工), 杉本久彦 (湘南工大), 鷹野和紀子 (神奈川大工), 瀧田正人 (東大宇宙線研), 立山暢人 (神奈川大工), 鳥居祥二 (早大理工研), 土屋晴文 (原子力機構), 有働慈治 (神奈川大工), 横江諠衛 (東大宇宙線研), 他 The Tibet AS γ Collaboration

銀河面からの拡散ガンマ線の観測は、最近では Fermi 衛星 LAT チームにより 100 MeV 以上で詳細な観測が行われ、銀河系内で生成された宇宙線と星間物質との相互作用により発生した中性パイオン崩壊を通じたガンマ線が主成分であることがわかっている。一方で、宇宙線は系内で PeV エネルギー以上に加速されていると長年考えられており、同様の発生機構により sub-PeV 領域 (100 - 1000 TeV) の銀河拡散ガンマ線が期待されていた。

Tibet 空気シャワー観測装置は、約 600 台のシンチレーション検出器から成り、宇宙ガンマ線/宇宙線が大気との相互作用で起こす空気シャワー現象を観測する。2014 年から地下水チェレンコフ型ミュオン観測装置が稼働し、地上の空気シャワー観測装置と連動させることで、空気シャワー中のミュオン数を測定し、ガンマ線とバックグラウンドとなる宇宙線の選別が可能となり、宇宙ガンマ線に対する感度が劇的に向上した。本発表では、これらの観測装置により初めて観測に成功した sub-PeV 領域の銀河拡散ガンマ線の観測結果について議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Q22b *Suzaku* で探る Orion-Eridanus Superbubble を満たす高温ガスの起源

福島 光太郎, 上田 将暉, 小林 翔悟, 松下 恭子 (東京理科大学)

Suzaku の観測から銀河系ハローの放射には ~ 0.2 keV のガスからの放射に加えて、 ~ 0.8 keV ガスからの放射に類似した放射成分の存在が示唆されている (e.g., 吉野+14; 中島+18)。我々は *Suzaku* の観測データから 0.2 keV 成分の温度と輝度測定は太陽活動の影響を強く受ける一方で、この超過成分は観測領域の違いによって輝度が大きくばらつくことを発見した。とくに Orion-Eridanus Superbubble の領域では高輝度の超過成分が観測される。このバブルは太陽から ~ 300 pc にある高温バブルで 700 平方度もの視野に広がり、Orion 星雲や多くの大質量星が属する Orion OB1 に隣接する (e.g., Burrows+93; Pon+16)。ROSAT では 1/4, 3/4 keV バンドでこの領域に卓越した軟 X 線放射がみられ、銀河ハローに由来する構造であると考えられていた (Snowden+95)。

我々は *Suzaku* で観測されたバブル領域に該当するスペクトル (5 観測, 合計 >200 ks) のうち超過成分の放射を電離平衡や電離非平衡プラズマ放射モデルによって再現し、バブル領域で観測される超過成分の性質を調べた。バブルの形状を回転楕円体で近似し、内部が一様密度の 0.8 keV ガスで満たされていると仮定すると、推定されるガスの質量は $\sim 210 M_{\odot}$ となった。この質量は大質量星 ($\sim 8-15 M_{\odot}$) が起こす超新星爆発 $\sim 10-20$ 回分に相当する。これは最近 12 Myr に Orion OB1 で起こったと見積もられている大質量星の重力崩壊型超新星爆発が 10-20 個である (Bally08) こととよく一致している。また 0.8 keV ガスにおける O/Fe, Mg/Fe 比は太陽組成の 2-4 倍程度であった。この値は Ia 型超新星の元素合成モデルで予想される値よりはるかに大きく、重力崩壊型超新星での値に近い (e.g., 野本+13)。したがってこのバブル領域に観測される超過成分の起源は、バブルを満たす過去の超新星爆発の噴出物からの放射であると考えて矛盾がない。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Q23a Overview of WR DustERS: a JWST program of colliding wind Wolf-Rayet binaries

Ryan M. Lau, Hideo Matsuhara, Ryodai Yamaguchi (ISAS, JAXA), WR DustERS Team

Dust is a key ingredient in the formation of stars and planets. However, the dominant channels of dust production throughout cosmic time are still unclear. With its unprecedented sensitivity and spatial resolution in the mid-IR, the James Webb Space Telescope (JWST) is the ideal platform to address this issue by investigating the dust abundance, composition, and production rates of various dusty sources. In particular, colliding-wind Wolf-Rayet (WR) binaries are efficient dust producers in the local Universe, and likely existed in the earliest galaxies.

Here we describe an Early Release Science program DustERS (17.5 hours program in total). We will observe the colliding-wind binaries WR 140 and WR 137 with JWST to investigate dust composition, abundance, and dust formation mechanisms in this process. We will utilize three key JWST observing modes with the medium-resolution spectrometer (MRS) and imager on the Mid-Infrared Instrument (MIRI) and the Aperture Masking Interferometry (AMI) mode with the Near Infrared Imager and Slitless Spectrograph (NIRISS).

Our proposed observations will yield high impact scientific results on the dust forming properties in WR binaries, and establish a benchmark for key observing modes for imaging bright sources with faint extended emission. We are committed to designing and delivering science-enabling products for the JWST community that address technical issues such as bright source artifacts that will limit the maximum achievable image contrast.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Q24a 電波超新星のマルコフ連鎖モンテカルロ解析 1: 星周物質の密度と衝撃波加速の効率

松岡知紀 (京大), 木村成生 (東北大), 田中雅臣 (東北大), 前田啓一 (京大)

超新星の電波放射は、超新星衝撃波が星周物質と衝突した際に相対論的に加速された電子のシンクロトロン放射に由来する。電波放射は星周物質の直接的な探査手段であるため超新星親星の質量放出史を調べるのに強力なトレーサーであると同時に、超新星における電子の加速効率や乱流磁場の増幅効率など、衝撃波加速に関する検証が可能な電磁波帯でもある。しかし電波放射の理論計算においては星周物質の密度、衝撃波加速の効率、電子のスペクトル分布の形状など多くのパラメータを仮定するため縮退が発生し、最もらしいパラメータの統計的性質の議論が煩雑であるという問題があった。

本研究では系外銀河で観測された数十の超新星の、爆発から数ヶ月以内に観測された電波放射のデータにマルコフ連鎖モンテカルロ (MCMC) 解析を適用し、導出されるパラメータの統計的性質を調査した。その結果、星周物質の密度や衝撃波加速の効率は超新星のタイプごとに異なる頻度分布をとること、電子のスペクトルの冪はフェルミ加速の予言よりもソフトな値を好む傾向があることが明らかになった。本講演では MCMC 解析の手法、得られるパラメータの最尤値や相関に関する結果を報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Q25a 宇宙線源分布の統計的揺らぎと CALET 電子・陽電子宇宙線スペクトル

浅野勝晃, 浅岡陽一 (ICRR), 赤池陽水 (早大), 川中宣太 (京大), 郡和範 (KEK), H. M. Motz (早大), 寺澤敏夫 (ICRR)

複数の観測装置・観測グループが 10GeV-TeV 領域の電子・陽電子宇宙線を観測し、そのスペクトルを報告しているが、お互いに完全には一致しておらず、議論が続いている。しかし CALET によるスペクトルは、AMS-02 が報告したスペクトルと概ね一致しており、それよりもさらに高エネルギーのスペクトルを報告している。本講演ではこの CALET スペクトルに焦点を当て、宇宙線源からの電子・陽電子伝播をモンテカルロ法でシミュレーションし、そのスペクトルの再現結果を報告する。陽子やヘリウムとは異なり、電子・陽電子は単一の冪乗スペクトルの注入でそのスペクトルを再現できる。宇宙線スペクトルのベキ指数を乱数で振ったうえで、地球に到達した宇宙線のスペクトルを計算すると、大きな統計的ばらつきを見せる。このばらつきの範囲で、CALET の電子・陽電子スペクトルと AMS-02 の陽電子スペクトルは、ベキ指数平均 2.58 の超新星残骸起源成分と、ベキ指数平均 1.9 のパルサー星雲起源成分で説明できた。TeV 領域では 500pc 以遠の線源が少なくともフラックスの数%寄与している。また、CALET スペクトルは、400kyr 前に起きたハイパーノバのような特異なイベントの寄与を許している。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Q26a Ia 型超新星残骸 SN 1006 に付随する膨張 H α シェルの発見

佐野栄俊 (岐阜大学), 山口弘悦 (JAXA/東京大学), 有賀麻貴, 福井康雄, 立原研悟 (名古屋大学), Miroslav D. Filipović (Western Sydney University), Gavin Rowell (The University of Adelaide)

Ia 型超新星は、最大光度時の絶対等級が天体間で一様と考えられているため、宇宙の標準光源として広く利用されてきた (例えば宇宙の加速膨張の観測的証明, Perlmutter et al. 1999)。一方、その爆発に至るメカニズムは良くわかっておらず議論が続いている。現時点で有力な説は、白色矮星 (主星) に伴星からのガス流入が起きて爆発に至る single degenerate (SD) 説と、白色矮星同士の合体による double degenerate (DD) 説である。前者は、高密度星周物質や質量降着風、爆発から生き残った伴星の検出が期待できるが、後者はそれらが見られない。SN 1006 は西暦 1006 年に爆発した Ia 型超新星残骸であり、爆発から生き残った伴星候補が存在しないため、その爆発機構として DD 説が支持されている (e.g., Kerzendorf et al. 2018)。また、ガンマ線や非熱的 X 線の検出から、粒子加速の観点でも注目されている (e.g., Koyama et al. 1995; Acero et al. 2010)。今回我々は、SN 1006 における ATCA 干渉計を用いた H α 観測を行ったので報告する (Sano et al. 2022a, ApJ, accepted, arXiv: 2205.13712)。かつてない角度分解能 $4.5' \times 1.4'$ (距離 2.2 kpc で ~ 2 pc に対応) の観測により、膨張速度 ~ 4 km s $^{-1}$ 、質量 $1,000 M_{\odot}$ の H α 膨張シェルを発見した。膨張シェルの空間的広がり、SN 1006 の X 線シェル直径とほぼ等しい。我々は SN 1006 が質量降着風によって形成された希薄なバブル内で爆発し、衝撃波が H α シェル内壁に既に到達しているという描像を提案する。また、SN 1006 のガンマ線光度と (Xing et al. 2019) と、特定した付随ガス密度 ~ 25 cm $^{-3}$ を用いて、SN 1006 における被加速宇宙線陽子のエネルギー W_p を ~ 1.2 – 2.0×10^{47} erg と推定した。本講演では、SN 1006 の爆発機構が SD 説として理解できる可能性と、 W_p の時間発展について議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Q27a Suzaku による超新星残骸 G78.2+2.1 北部領域からの非熱的放射の発見及びその起源の検討

立石大, 砂田裕志, 寺田幸功, 勝田哲 (埼玉大学)

電波から超高エネルギーガンマ線の観測によって、超新星残骸では統計加速によって最大で $10^{15.5}$ eV まで荷電粒子を加速できると考えられている。このため、超新星残骸は銀河系内宇宙線の主な加速源と見做されており、超新星残骸からの非熱的放射は、衝撃波中での粒子加速機構を解明する上で重要なプローブと言える。MAGIC や Fermi を用いた観測から、超新星残骸 G78.2+2.1 の北部からは超高エネルギーガンマ線が報告されている (MAGIC Collaboration. 2020)。一方で、当該領域では衝撃波加速された電子からの非熱的 X 線の有無に決着がついていないことから、加速された電子のエネルギースペクトルの定量評価ができていない。このため、観測されたガンマ線に対する電子、陽子起源成分の寄与が定量評価できていない。

本研究では、加速された電子のエネルギースペクトルを求めるため、広がった微弱な X 線の検出に優れた X 線観測衛星 Suzaku で観測されたデータを解析した。Suzaku に搭載された CCD カメラ (XIS) で撮像された X 線を解析したところ、G78.2+2.1 の北部領域からは ~ 0.6 keV の熱的成分に加えて、 $\Gamma \sim 2-4$ の冪乗分布を持つ非熱的成分が存在することを発見した。この非熱的成分は、宇宙 X 線背景放射と比較して数倍高いことから、天体由来の放射であることを示唆している。また、超新星残骸の Shell とその外側でスペクトルに有意な差異は見られなかったことから、非熱的放射は超新星残骸よりも外側に広がる構造を持つことが分かった。本発表では、発見した非熱的放射の起源を探索し、MAGIC で観測された超高エネルギーガンマ線に対する電子起源成分の定量評価について議論を行う。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Q28a ガンマ線超新星残骸 Puppis A に付随する分子ガスと原子ガス (2)

有賀麻貴, 立原研悟, 福井康雄 (名古屋大学), 佐野栄俊 (岐阜大学), Estela Reynoso (Instituto de Astronomía y Física del Espacio), Gavin Rowell (The University of Adelaide)

超新星残骸 (SNR) Puppis A は、パイ中間子崩壊起源としても説明可能な GeV ガンマ線が検出されていることから、宇宙線陽子の加速現場候補として着目されている。我々はこれまでに、Puppis A の CO/H α 輝線観測を行い、Puppis A 方向に異なる視線速度をもつ 2 つの星間雲 (3 km s^{-1} 雲, 16 km s^{-1} 雲) が存在していること、このうち 16 km s^{-1} 雲は、膨張運動や高い $^{12}\text{CO } J = 2-1/1-0$ 強度比、CO の wing-like profile を示すことから、SNR に付随している可能性が高いことを論じた。また、ガンマ線光度との比較により、被加速陽子のエネルギーを推定し、宇宙線の加速・逃走についても議論した (有賀ほか 2022 年春季年会)。今回我々は、Puppis A における多波長解析を進めることで、新たに次の知見を得たので報告する (Aruga et al. 2022, ApJ submitted, arXiv:2206.00211)。

- 1) 星間吸収の指標となる X 線 hardness ratio と 3 km s^{-1} 雲の良い空間一致 (相関係数 ~ 0.67) から、 3 km s^{-1} 雲は SNR 手前側に位置することを確認した。この結果は、星間減光分布 (Dobashi et al. 2015) とも無矛盾である。
- 2) 16 km s^{-1} 雲周辺では、電波シンクロトロン放射と熱的 X 線・H α の強度上昇が見られた。前者は衝撃波-星間雲相互作用による磁場増幅、後者は中性ガスの電離によるものと解釈でき、 16 km s^{-1} 雲の Puppis A への付随を裏付ける新たな証拠である。
- 3) 16 km s^{-1} 雲の全星間柱密度分布は、GeV ガンマ線で最も明るい SNR 東部と空間的に良く一致しており、パイ中間子崩壊起源ガンマ線と考えて矛盾しない。一方、GeV ガンマ線の第 2 強度ピーク方向には高密度星間雲は存在しておらず、電子起源の寄与も含まれる可能性を見出した。以上を踏まえて本講演では、Puppis A に付随する星間雲と高エネルギー放射の密接な関係について論じる。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Q29a γ 線 SNR W51C における宇宙線による C^0/CO アバundance比の空間変化

山岸 光義 (東京大), 古家 健次 (NAOJ), 佐野 栄俊 (岐阜大), 泉 奈都子 (ASIAA), 竹腰 達哉 (北見工大), 金田 英宏 (名古屋大), 中西 康一郎 (NAOJ), 下西 隆 (新潟大)

宇宙線は、分子雲 (特に $A_V > 10$ mag の領域) において物質の状態を決定する重要な要素の1つである。これまで宇宙線の測定には、 DCO^+ などのイオンの観測が用いられてきたが、それらは輝線強度が非常に弱く、SNR など宇宙線の増加が見込まれる領域を広く観測するには不向きである。近年、モデル計算により C^0/CO アバundance比が宇宙線電離度の良い指標となることが示唆されている。 $[C\ I]$ 、 CO は、ともに強い輝線を出すため、容易にマッピング観測が可能である。したがって、 C^0/CO 比を用いることで、宇宙線の研究が大きく発展する可能性がある。しかし、宇宙線が強い領域における C^0/CO 比の振る舞いは、観測的に十分調べられていなかった。

我々はASTE、NRO45mを用いて、SNR W51C ($d=5.4$ kpc) に対して、 $[C\ I]$ ($^3P_1-^3P_0$)、 $^{12,13}CO(1-0)$ のマッピング観測を行った (マップサイズ: $28\text{ pc} \times 14\text{ pc}$)。W51C は、 γ 線で明るい middle-aged SNR (30,000 yr) で、 DCO^+ の一点観測から分子雲内で宇宙線電離度の上昇が示唆されている数少ないの天体の1つである。W51C に付随する分子雲 ($A_V > 20$ mag) での C^0/CO 比を調べたところ、中央値は0.55であり銀河系内の星形成領域に対する C^0/CO 比 (~ 0.1) よりも有意に高かった。さらに、 C^0/CO 比は、SNR 中心からの距離が離れるにしたがって減少する傾向が見られ、その広がりには低エネルギー宇宙線 (~ 100 MeV) の拡散距離と一致することが分かった。また、PDR モデルを用いて宇宙線電離度を求めたところ $\zeta \sim 1 \times 10^{-15} \text{ s}^{-1}$ であり、分子雲における典型的な ζ よりも2桁高いことがわかった。以上の観測結果は、W51C で加速された低エネルギー宇宙線が周囲の分子雲内で C^0/CO 比を上昇させていること、 $[C\ I]$ が宇宙線環境を調べるうえで強力な指標となること示している。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Q30a Chandra 衛星および XMM-Newton 衛星の観測を用いた SS 433/W50 における粒子加速の研究

佳山 一帆, 鶴 剛, 内田 裕之 (京都大学), 田中 孝明 (甲南大学), 須藤 貴弘 (オハイオ州立大学), 井上 芳幸 (大阪大学), Dmitry Khangulyan (立教大学), 辻 直美 (神奈川大学), 山本 宏昭 (名古屋大学)

SS 433 は超新星残骸 W50 の中心に存在するマイクロクエーサーで、歳差運動しながら東西に $0.26c$ の速さでジェットを噴出する。歳差軸に沿って中心から ~ 20 pc より外側には、東西に広がる X 線や γ 線で明るいローブが存在し (Watson et al. 1983, Abeysekera et al. 2018)、その中に局所的に明るい “knot” 構造がいくつか見つかっている (Safi-Harb & Ögelman 1997)。スペクトルは 100 TeV を超えるエネルギーまで加速された電子からのシンクロトロン放射で説明できるが (Safi-Harb & Petre 1999)、加速や放射、knot の成因は明らかではない。

我々は、Chandra で観測された西側ローブのスペクトルを、細かい空間スケールに分けて解析を行った。その結果、SS 433 から遠ざかるにつれて光子指数が大きくなり、特に knot より外側で急激に大きくなることが分かった。これは、シンクロトロン放射をする電子のエネルギーが低くなることを意味し、電子がジェットを進みながらシンクロトロン冷却を受けているからだと考えられる。そこで我々は、Sudoh et al. (2020) に基づいてシンクロトロン放射スペクトルの時間進化モデルを構築し、観測結果との比較を行い、knot が特に磁場が強い領域であることを明らかにした。また、我々は先行研究では見つかっていない新たな knot を検出した。この knot が分子雲と同一視線方向上に存在することから (Yamamoto et al. 2022)、分子雲とジェットの相互作用によって knot が形成されたことを示唆している。さらに我々は、XMM-Newton で観測された W50 東側領域のスペクトルを解析し、西側との比較を行った。本講演では、SS 433/W50 全体における粒子加速・放射の描像について議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Q31a 超新星残骸 RX J1713.7-3946 南西部の衝撃波速度の測定

田中孝明 (甲南大学), 内田裕之 (京都大学), 佐野栄俊 (岐阜大学), 鶴剛 (京都大学)

超新星残骸 RX J1713.7-3946 は X 線帯域において熱的放射がほとんど見えず、シンクロトロン放射が卓越していること (e.g. Koyama et al. 1997; Tanaka et al. 2008)、また、明るい TeV ガンマ線が検出されていること (e.g., Aharonian et al. 2004; H.E.S.S. Collaboration 2018) などから、特に粒子加速の観点で注目を集めている天体である。 ^{12}CO 輝線の観測より、この超新星残骸の衝撃波が分子雲と相互作用していることが分かっている (e.g., Fukui et al. 2003, 2012)。我々は特に密度の高いガスと相互作用している南西部のシェルに注目し、Chandra 衛星の X 線データを用いて衝撃波速度の測定を行った (Tanaka et al. 2020)。公開されている 2005 年の観測データと我々が新たに実施した 2020 年の観測データを用いた。この領域に見えている 2 つの比較的コンパクトで明るいブロッブ状の放射構造 (Blob A および Blob B と呼ぶ) について速度を求めたところ、Blob A が $3800 \pm 100 \text{ km s}^{-1}$ と Blob B が $2300 \pm 200 \text{ km s}^{-1}$ となった。この結果は、Blob B の方がより密度の高いガスと衝突しているという分子雲観測の示唆と一致し、この超新星残骸と分子雲との相互作用を支持する新たな観測結果である。さらに、Blob A と Blob B の X 線スペクトルを抽出して解析を行った。いずれのスペクトルもシンクロトロン成分が卓越しており、ベキ関数で合わせる事ができた。光子指数は Blob A が 2.74 ± 0.07 、Blob B が 2.52 ± 0.08 となり、密度の高い領域を進んでいる Blob B の方が、より硬いスペクトルを持つことが分かった。この結果を説明するメカニズムとしては、衝撃波とガスの相互作用による乱流磁場の増幅 (e.g., Inoue et al. 2012) が挙げられる。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)[スケジュール \(全体\) に戻る](#)[講演者索引 TOP に戻る](#)

Q32a 2 相星間ガスと相互作用をする超新星残骸 RX J1713.7-3946 からのガンマ線放射

藤田裕 (東京都立大学), 山崎了 (青山学院大学), 大平豊 (東京大学)

RX J1713.7-3946 は若い超新星残骸であるが、本研究で我々はそのガンマ線放射を理論的に考察した。宇宙線の分布は解析的モデルに従って与え、超新星残骸は高密度のクランプと希薄ガスで構成される 2 相星間ガスと相互作用しているものとした。さらにクランプ周辺では磁場が増幅していると考えられるため、 $\gtrsim \text{TeV}$ の高エネルギー宇宙線のみクランプに侵入できるとした。このモデルに基づきでガンマ線放射を計算したところ、 $\sim \text{TeV}$ 付近にピークをもつスペクトルを再現できた。

一方、最近の研究で、RX J1713.7-3946 の表面を覆う格子の各点での星間ガス柱密度 (N_p), X 線表面輝度 (I_X), ガンマ線表面輝度 (I_g) の値が $N_p-I_X-I_g$ の 3 次元空間で平面状に分布することが指摘されている (Fukui et al. 2021)。我々はその原因を超新星残骸の空間 3 次元構造を考慮しながら考察した。その結果、超新星残骸が完全に球対称の場合は、格子点の (N_p, I_X, I_g) の分布は平面になるものの、その向きが観測と合わないことがわかった。そこでさまざまな物理量が超新星残骸の中心周りの方位角方向 (動径垂直方向) に一定でない場合も調べた。その結果、宇宙線電子-陽子比が一定でない場合に加えて、星間ガス密度が一定でない場合も平面の向きが観測と合うことがわかった。さらに両者の可能性を区別するためには方位角と (N_p, I_X, I_g) の分布の相関を調べればよいことがわかった。

Ref: Fujita, Yamazaki, & Ohira, ApJ, in press, arXiv:2205.12276

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)[スケジュール \(全体\) に戻る](#)[講演者索引 TOP に戻る](#)

Q33a 超新星残骸 3C 396 における鉄 K 輝線の調査

信川久実子、神農夕奈 (近畿大学)

銀河系内の超新星残骸 3C 396 (G39.2-0.3) は、中央にパルサー風星雲 (PWN) がある composite SNR で、西側のシェルが分子雲と相互作用している。先行研究では、PWN は光子指数 $\Gamma \sim 1.5$ をもつべき型スペクトル (Olbert et al. 2003)、SNR プラズマは、温度 $kT_e \sim 0.6-1$ keV、電離タイムスケール $n_e t \sim 2 \times 10^{11} \text{ cm}^{-3} \text{ s}$ の衝突電離非平衡状態 (NEI) で表された (Harrus & Slane 1999; Su et al. 2011; Sezer et al. 2019)。このような電離パラメータをもつプラズマは、検出可能な鉄の K 輝線を放射している可能性があるものの、これまで 3C 396 で鉄 K 輝線バンドの詳細な調査は行われていない。そこで本研究は、X 線天文衛星すざくを用いて鉄 K 輝線の測定を行い、SNR の高温プラズマ由来と考えられる He 状鉄イオンからの K 輝線を 6σ の有意度で発見した。He 状鉄 K 輝線を含む 1-10 keV バンドでスペクトル解析を行ったところ、SNR プラズマは星間物質と爆発噴出物に由来すると考えられる 2 温度の NEI で説明できることを見出した。加えて、中性鉄からの K 輝線を 2.4σ の有意度で検出した。中性鉄 K 輝線は、有意とは言えないものの、低エネルギー宇宙線 ($\lesssim 10^8$ eV) と分子雲の相互作用に由来するものだろう。本講演では鉄 K 輝線に焦点を当てて議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Q34a 超新星残骸における低エネルギー宇宙線起源の中性鉄輝線の探査

森川朋美、信川久実子、小沼将天 (近畿大学)、信川正順 (奈良教育大学)、山内茂雄 (奈良女子大学)、佐治重孝 (名古屋大学)、松本浩典 (大阪大学)

エネルギーが $10^6 - 10^8$ eV の低エネルギー宇宙線は、宇宙線加速や星形成過程を理解する上で重要であるが、太陽磁場の影響のため太陽系内での直接観測は困難である。星間物質中の鉄原子が低エネルギー宇宙線によって電離されて放射する中性鉄輝線は、低エネルギー宇宙線の新たな観測方法である (Tatischeff 2003, Nobukawa, K. et al. 2015)。実際、これまでいくつかの超新星残骸で、低エネルギー宇宙線起源の可能性が高い中性鉄輝線が見つかっている (e.g., Saji et al. 2018, Nobukawa et al. 2018)。

我々は、低エネルギー宇宙線起源の中性鉄輝線を系統的に調査するため、銀河面上、かつ銀河中心の西側領域に位置する G290.1-0.8、G298.6-0.0、G304.6+0.1、G330.2+1.0、G346.6-0.2、G348.5+0.1、G348.7+0.3、G355.6-0.0 の 8 つの超新星残骸に注目し、すざく衛星のアーカイブデータを解析した。バックグラウンドには中性鉄輝線を付随する銀河面 X 線放射 (GRXE) が存在する。GRXE を考慮してスペクトル解析を行なった結果、G304.6+0.1 と G346.6-0.2 からおよそ 3σ の有意度で中性鉄輝線を検出した。特に、相互作用する分子雲が先行研究 (Sano et al. 2021) で詳細に観測されている G346.6-0.2 では、中性鉄輝線の分布は分子雲と部分的に一致していた。

本講演では、解析結果の詳細を報告し、低エネルギー宇宙線密度の制限などについて議論を行う。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Q35a すざく衛星による超新星残骸 G344.7-0.1 の空間構造の調査

藤重朝妃, 山内茂雄 (奈良女子大), 信川正順 (奈良教育大), 信川久実子 (近畿大)

G344.7-0.1 は、年齢が 3,000-6,000 年 (Combi et al. 2010; Giacani et al. 2011) と推定される銀河系内の超新星残骸 (SNR) であり、X 線では 2001 年に初めて観測された (Sugizaki et al. 2001)。電波および X 線放射は西部が明るい非対称構造をもち、X 線の放射ピークは電波よりも内部にある (Dubner et al. 1993; Whiteoak & Green 1996; Combi et al. 2010)。Chandra による観測 (Fukushima et al. 2020) では、Si, S, Ar, Ca が Fe 輝線放射のピークを中心として層状に分布することがわかった。また、SNR の内側に分布する Fe が外側に比べて低電離状態であることから、内側の Fe イジェクタは逆行衝撃波によってより最近加熱された可能性が示唆された。

本研究では、X 線天文衛星すざくが取得した G344.7-0.1 のデータを用いて、バックグラウンドの寄与を慎重に見積もったスペクトルの解析を行った。SNR 全体の領域を南東・中心・北西に分割して、プラズマの空間構造を調査した。結果、各領域の Fe 輝線の中心エネルギーおよび Fe を含むイジェクタの電離タイムスケール ($\tau = n_e t$) を比較すると、北西で Fe の電離が進んでいる傾向が見られた。G344.7-0.1 の北西方向には銀河面があるため、南東に比べて北西領域は高密度な環境にある。実際、電波観測では北部に広がった分子雲の存在が確認されている (Fukushima et al. 2020)。また、SNR 内部の元素は逆行衝撃波で加熱された電子によって電離されて X 線を放射するため、物質間の相互作用が大きい高密度な環境では、比較的速い段階で逆行衝撃波が発生して電離がより進むと理解できる。したがって、G344.7-0.1 は周辺環境の影響によって領域ごとで Fe の電離状態が異なっていると考えられる。本講演ではスペクトル解析の方法と詳細な結果について報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)[スケジュール \(全体\) に戻る](#)[講演者索引 TOP に戻る](#)

Q36a 再結合優勢プラズマを持つ超新星残骸 W49B の空間的な温度構造と進化過程

鈴木那梨, 山内茂雄 (奈良女子大), 信川久実子 (近畿大), 信川正順 (奈良教育大)

標準的な超新星残骸 (SNR) の進化に現れないプラズマ状態を持つ SNR が近年多数発見されている。この新たなプラズマは、電離よりも再結合が優勢であり、再結合優勢プラズマ (RP) と呼ばれている。RP は形成過程が不明であり、様々な議論が行われている。提案されている起源は、分子雲との接触による熱伝導や、前駆星が大質量星の場合に、周囲に形成した高密度な空間から外側の低密度空間へ衝撃波が抜ける過程での断熱膨張といったプラズマの冷却を考える電子冷却説と、近傍の明るい光源からの光子や低エネルギー宇宙線による電離の促進を考える電離促進説である。空間構造と周辺環境の比較は、RP の起源の解明に重要な情報を与える。

W49B は、X 線天文衛星すざくで 2 番目に発見された RP を持つ SNR である。これまでに私たちは、すざく衛星の W49B のデータにおいて、Hirayama et al. (2019) で導入された元素ごとに初期の電離状態が異なる新たなモデルを使用したスペクトルの解析を行い、元素ごとに初期電離温度が異なっていることを発見した (2021 年秋季年会 Q07a)。本研究では、空間構造と周辺環境の比較のため、すざく衛星の W49B の約 500 ks のデータを 9 つの領域に分け、Hirayama et al. (2019) のモデルで 1-12 keV の広範囲スペクトルの解析を行った。この新たなモデルを使用した 9 領域のスペクトル解析の結果、初期電離温度に空間的に大きな揺らぎが見られた。これは RP 初期に、空間的に異なる電離状態が必要であることを示す。一方、現在の電離温度を見積もると、空間的にほぼ一様であるとの結果が得られた。講演では、解析の詳細を報告し、この 2 つの結果に基づいた RP の起源について議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)[スケジュール \(全体\) に戻る](#)[講演者索引 TOP に戻る](#)

Q37a X線天文衛星「すざく」による超新星残骸 3C 400.2 のプラズマ調査

小沼将天, 信川久実子 (近畿大), 信川正順 (奈良教育大), 山内茂雄 (奈良女子大)

超新星爆発による衝撃波は星間物質 (ISM) やイジェクタを加熱し、超新星残骸 (SNR) は高温のプラズマ状態になる。SNR の多くは電離が優勢なプラズマ (IP) を持ち、やがてプラズマは電離が平衡な状態 (CIE) になる。近年、いくつかの SNR で再結合が優勢なプラズマ (RP) が発見された。3C 400.2 は先行研究で RP が存在すると報告されている (*Chandra* 衛星:Broersen et al. 2015, MNRAS, 446, 3885, 「すざく」衛星:Ergin et al. 2017, ApJ, 842, 22)。先行研究によると、3C 400.2 の X 線放射は温度の異なる 2 成分プラズマで説明できる。2 成分のプラズマに関して、Broersen et al. (2015) は ISM 由来の低温の RP とイジェクタ由来の高温の IP であると報告した。一方で、Ergin et al. (2017) は ISM 由来の低温の CIE プラズマとイジェクタ由来の高温の RP であると報告した。我々はこの原因の 1 つとしてバックグラウンドの評価の違いを考えた。Broersen et al. (2015) は ACIS-I バックグラウンドファイルを用いてスペクトルを作成したが、Ergin et al. (2017) は 3C 400.2 の周囲の領域をバックグラウンドとしてスペクトルを作成していた。本研究では「すざく」衛星のデータを用いて、SNR 領域とバックグラウンド領域のスペクトルを同時フィットすることで、SNR 領域からバックグラウンド領域への漏れ込み成分を考慮し、バックグラウンドを評価した。その上で、3C 400.2 のプラズマ状態を調査した。結果として、我々は 3C 400.2 のプラズマを ISM 由来の低温の CIE プラズマとイジェクタ由来の高温の IP の 2 成分で説明できることを見出した。本講演では解析結果と先行研究との違いを議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)[スケジュール \(全体\) に戻る](#)[講演者索引 TOP に戻る](#)

Q38a Chandra ACIS の粒子バックグラウンドスペクトル推定ツール mkacispback の開発と広がった X 線天体の解析への適用

鈴木寛大 (甲南大), Paul P. Plucinsky, Terrance J. Gaetz (CfA), 馬場彩 (東大理)

宇宙線を起源とする粒子バックグラウンドは、衛星による X 線観測のバックグラウンドの主要因である。Chandra 衛星搭載の X 線撮像分光器 ACIS (Advanced CCD Imaging Spectrometer) の粒子バックグラウンドは、平均的なスペクトルはよく知られているものの、その検出器上での座標依存性の理解は十分でなく (Bartalucci et al. 2014)、また太陽活動に伴う時間変動の理解が浅いため、任意の観測データに対するバックグラウンドの寄与を見積もることができなかった。このことは特に広がった X 線放射の解析に大きな不定性を与える。

本研究は、~17 年分の Chandra ACIS の観測データを使い、粒子バックグラウンドのスペクトルの空間・時間変動を徹底的に理解し、適切なモデルを導くことを目的とした。ACIS を焦点面からずらして運用した純粋な粒子バックグラウンド観測と、明るい点源がない座標の観測 (Chandra Deep Field South)、合わせて ~8 Msec 分のデータを使用した。スペクトルは主に連続成分と検出器由来の輝線成分 (Al, Si, Ni, Au) で現象論的に理解できた。強度は太陽活動の変化に伴って最大およそ 2 倍の変動を示し、スペクトルの形も <7 keV の帯域で最大 ±10% の変動を示した。スペクトルの検出器座標依存性は読み出し方向に見られ、その要因はイメージング領域外で検出されたイベントに対する本来不要な電荷転送非効率の補正であった。以上の空間・時間依存性の定量的な理解をもとに、我々は任意の観測データ・任意の解析領域に対して尤もらしい粒子バックグラウンドスペクトルを推定するツール mkacispback を開発した (Suzuki et al., A&A, 2021; <https://github.com/hiromasasuzuki/mkacispback>)。本講演では、超新星残骸の観測データを例にとり、本ツールの適用方法も概説する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)[スケジュール \(全体\) に戻る](#)[講演者索引 TOP に戻る](#)

Q39a 無衝突衝撃波でのイオン加熱機構：XRISM による宇宙線加速効率の制限

霜田治朗 (名古屋大学), 大平豊 (東京大学), 馬場彩 (東京大学), 寺田幸功 (埼玉大学, JAXA), 山崎了 (青山学院大学), 井上剛志 (甲南大学), 田中周太 (青山学院大学)

超新星残骸の衝撃波は宇宙線加速現場として期待され続けてきているが、その加速過程や実際に加速される量については理論的にも観測的にも決着がついていない。特に、宇宙線量を予言する理論は、標準的な加速機構 (DSA, Bell 1978, Blandford & Ostriker 1978) の提案から 50 年弱経つ今も、ほとんど提案されていない。観測的な宇宙線量についての研究としては、衝撃波速度から予言される断熱衝撃波の場合のイオン温度と実際のイオン温度の差から、衝撃波の運動エネルギーのうち宇宙線に分配された割合を推定するという方法がある。特に、下流のイオン温度は次世代の X 線衛星 XRISM によって従来の～100 倍のエネルギー分解能で、各元素毎に測定されることが期待される。これは電波～可視光帯域でなされている「輝線幅から温度を測定する」という方法が X 線帯域でも実現されるようになるという革新である。このような中で、イオン温度、すなわち宇宙線加速効率を予言する理論を構築することは挑戦的でありながら、新衛星での成果創出に必要な喫緊の課題である。本講演では無衝突衝撃波でのイオン加熱過程をモデル化および、実現可能な宇宙線の加速効率を制限することに成功したことを報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Q40a X 線天文衛星「すざく」で観測した彗星におけるコマの中性気体組成分析

関口 るな, 江副 祐一郎, 石川 久美, 沼澤 正樹, 伊師 大貴 (東京都立大学)

彗星のコマの中性気体分子は、太陽風プラズマ中の高電離したイオンとの電荷交換反応により、軟 X 線を放射することが分かっている (Cravens 1997)。電荷交換反応とは、イオンと原子や分子の衝突において弾き出された電子がイオンの外殻軌道に入ること、特定のエネルギーを持つ X 線輝線が放射される反応である。彗星の電荷交換反応 X 線輝線により分子の種類を同定できるため、その輝線比からコマに含まれる中性気体の組成を制約できる (Beiersdorfer et al. 2003)。この組成は核からの距離によって異なるため、電荷交換反応で放出された X 線輝線スペクトルも場所によって変化すると考えられるが、知る限り確かめられていない。

そこで我々は、X 線天文衛星「すざく」による 73P/Schwassman-Wachmann3 (以下 73P/SW) の観測データを解析した。「すざく」は、2 keV 以下の軟 X 線に高い感度を持ち、彗星からの広がった軟 X 線観測に適している。73P/SW は 2006 年に地球と太陽に接近した際に 3 回観測され、露光時間は合計 65 ksec であった。全観測において 0.3–0.8 keV のスペクトルを電荷交換反応による輝線モデルで再現できた (鈴木他 天文学会 春季年会 2020) が、場所ごとの変化については初めて検証を行った。今回は、最も X 線フラックスが大きく 8 分角程度に広がっていた 6 月 7 日の観測データを使用し、核からの距離ごとに領域を分けガウス関数でフィットを行い、各領域のスペクトル分布を比較した。特に統計の良かった酸素輝線に着目し OVII, OVIII 輝線の比を計算すると、核に近い領域 (3 万 km 以内) では観測値が 0.10 ± 0.03 となり、外側 (5–7 万 km) での値 0.22 ± 0.12 と比べて水素ターゲットの理論値 (0.14) との相違が見られた。このことから、コマの中性気体組成の違いが示唆される。本講演では、これらの解析について報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

R01a Sub-kpc scale gas density histogram of the Galactic molecular gas : a new statistical method to characterise the galactic-scale gas density structure II

松坂怜, 半田利弘, 村瀬建, 平田優志, 西潤弥, 佐々木恵, 溝口智貴 (鹿児島大学), 伊東拓実 (熊本大学), 藤本裕輔 (会津大学)

星間物質 (ISM) の物理的性質を様々なスケールで理解するためには、kpc スケールに渡る範囲に対して、pc スケールの状況を反映した解析を行う必要がある。そこで、天の川銀河内の各領域に対して、ガス密度頻度分布図 (Gas Density Histogram: GDH) を作り、銀河構造との比較を行った。GDH は特定の領域に対して、その内部での空間構造を同定することなく、より詳細スケールでの密度に関する頻度分布であり、定常状態を仮定した場合、ガス体積密度の確率密度分布 (PDF) に相当する。高分解能かつ無バイアスで広い範囲をカバーするものとして、野辺山 45m 鏡で得られた FUGIN (FOREST unbiased Galactic plane imaging survey with the Nobeyama 45 m telescope) より、 ^{12}CO と ^{13}CO ($J=1-0$) の銀河面 ($l=10^\circ-50^\circ$, $|b|\leq 1^\circ$) の $l-b-v$ データを用いた。GDH を得た範囲は、2 度 \times 2 度に分割したの全画素とした。観測時の rms 値を用いて blank sky からの寄与を推定し、除去することで、議論可能な密度範囲を拡張するなど、分子雲でのガス柱密度分布を論じた N-PDF とは異なる点がある。Blank sky 成分を差し引いた GDH は、1 または 2 つの対数正規分布の和でよく再現できる。それらを低密度および高密度対数正規分布 (L-LN と H-LN) とすると、指定領域内に占める両成分の体積比と L-LN 成分の分布関数の幅が、位置-速度図上で一貫した構造を持つことがわかった。これは、天の川銀河の各領域における ISM の性質が kpc スケールの構造と関係することを示唆している。本研究の手法は、近傍銀河へも適用可能で、両者に跨がる研究手法となると期待できる。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

R02a Mapping large scale structures and projection corrected environmental dependence of star forming activities at $z \sim 0.4$ and 1.5

Ronaldo Laishram, Tadayuki Kodama

Galaxies are distributed inhomogeneously on small scales in the Universe and thus define large-scale structures (LSS). Understanding the evolution of cluster galaxies is to determine how galaxies change their properties as a result of the hierarchical growth of LSS. The difficulty resides in the need for accurate redshift measurements to determine the precise environment of the galaxy. We demonstrate a method to estimate accurate redshifts of star-forming galaxies by measuring the flux ratio of the same emission line observed through two adjacent narrow-band filters taken with Hyper Suprime-Cam on the Subaru Telescope. We obtain redshifts for [OII] and H α emitters at $z \sim 1.5$ and 0.4 respectively. We find that the projected celestial distribution does not precisely trace the real distribution of galaxies, indicating the importance of the 3D view of structures. We then investigated the environmental dependence of galaxy properties with local density and some well-defined populations of galaxies. At low redshift, clusters identified with red sequence galaxies are older, more developed and cluster-specific quenching processes reduce their star forming activity. However, at high redshift, clusters are young and have not evolved well yet. We also find that “close companion galaxies” are inducing star formation (SF) activity. Moreover, there is a significant positive correlation between SF rate and overdensity at $z \sim 1.5$ and 0.4 particularly in high density regions which is weak or absent locally in star forming galaxies. These trends are associated with the existence of a population of bright, massive blue galaxies in dense regions.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

R03a NANTEN 銀河面サーベイデータを用いた巨大分子雲の Type 分類

山田麟¹, 立原研悟¹, 出町史夏¹, 小西亜侑², 徳田一起^{3,4}, 藤田真司², 佐野栄俊⁵, 村岡和幸², 山本宏昭¹, 大西利和², 水野亮¹, 福井康雄¹(1:名古屋大, 2:大阪公立大, 3:九州大, 4:国立天文台, 5:岐阜大)

本講演では 2022 年春季年会における山田他講演 (P126a) に引き続き、銀河面内の巨大分子雲 (GMC) への Type 分類の適用結果とその解釈について講演する。GMC の Type 分類は、Fukui et al. (1999) によって提案され、直近 1 年間の研究によって Type I は HII 領域が付随せず、Type II は $L_{\text{H}\alpha} < 10^{37.5} \text{ erg s}^{-1}$ の HII 領域が付随し、Type III: $L_{\text{H}\alpha} > 10^{37.5} \text{ erg s}^{-1}$ の HII 領域が付随すると再定義されている (小西他、2022 年春季年会講演 R05a)。Type 分類は進化過程を表すと解釈され、大マゼラン雲 (LMC) では統計的な GMC 寿命 20–30 Myr が導出されている (Kawamura et al. 2009)。近年我々は ALMA データを用いて 20 Mpc より近い多数の銀河に適用例を広げ、GMC 寿命を含む Type 分類結果の普遍性を調べている (出町他、2022 年秋季年会講演)。以上と相補的なのが銀河面の GMC を対象とする本研究である。銀河面の GMC に Type 分類を適用し、距離の近さを生かしたデータ解析で各 Type の GMC の特徴を詳細に明らかにできれば GMC 進化描像が改善される。今回、我々は太陽円の外側銀経 100° から 260° の領域について、CfA 1.2m 望遠鏡のデータ (Dame et al. 2001) と NANTEN 4m 望遠鏡による銀河面サーベイデータを合体させ、GMC の同定と Type 分類を行なった。全部で約 200 個の GMC を同定し、約 60 % が Type I、約 40 % が Type II であった。Type I の多さは近傍 GMC を対象とした事による質的な検出限界の向上によって説明できる。Type III GMC の不在については、GMC の平均質量が LMC における平均質量の約 60 % ほどと軽いため、GMC における星形成が進みづらい可能性がある。さらに、講演では代表的な星形成領域である Taurus、Orion、W3 などを、系外銀河の GMC を考察する上でのテンプレートとして議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

R04a Luminosity function of supernova host galaxy

Liang Zhuoxi, Doi Mamoru (The University of Tokyo), Suzuki Nao (Lawrence Berkeley National Laboratory)

A massive star comes to the end of its life as a core-collapse supernova (CCSN). Substantial research has revealed the stellar properties of galaxies which host CCSNe through follow-up spectroscopy, such as the host stellar mass and host star formation rate (SFR). And it has been known that CCSN has a preference on late-type galaxies with star-forming activities in previous statistical studies. However, the luminosity function of CCSN host galaxy has not yet been understood, which is of importance as a statistical tracer on the large scale.

In this work, we performed spectral energy distribution (SED) fitting by CIGALE based on the Hyper Suprime-Cam Subaru Strategic Program (HSC-SSP) photometry, with which stellar masses and SFRs are estimated for spectroscopically confirmed CCSN hosts from the Sloan Digital Sky Survey-II (SDSS-II) Supernova Survey. The completeness of our samples is evaluated, and the luminosity functions are derived by the $1/V_{\text{max}}$ estimator in terms of galaxy luminosity, stellar mass, and SFR. Moreover, thanks to that SDSS-II provides a rather complete sample set of supernova Type Ia (SNIa) and that HSC-SSP provides galaxy photometry with relatively higher signal-to-noise ratios (SNRs), we are also able to improve the SNIa host luminosity function in the same fashion. The comparison between host properties of CCSN and those of SNIa is also discussed. This study can provide us an insight into the host environment of CCSN and that of SNIa by statistical means.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

R05a Probing physical conditions of molecular gas in nearby galaxies with CO multi-line excitation analyses

S. Suphapolthaworn, K. Sorai, K. Shimizu, D. Salak, Y. Yajima (Hokkaido U.)

We investigate the radial variation in physical conditions (H_2 volume density, n_{H_2} ; kinetic temperature, T_k ; and $[\text{C}^{12}\text{CO}] / [\text{C}^{13}\text{CO}]$ abundance, X_{13}) in nearby galaxies using CO multi-line excitation analyses, and explore correlations with other physical parameters in nearby galaxies. Using $^{12}\text{CO} (J = 1 - 0)$, $^{13}\text{CO} (J = 1 - 0)$, and $^{12}\text{CO} (J = 2 - 1)$ archival data from COMING and HERACLES surveys, two intensity ratios R_{21} and $R_{13/12}$ are computed and fitted with models calculated with RADEX. Out of 20 galaxies in our sample, $R_{13/12}$ of 12 galaxies increases with galactocentric radius. We have found that n_{H_2} can be well-constrained and a decreasing trend with the galactocentric radius can be seen in most galaxies. Moreover, a positive correlation between $R_{13/12}$ and the derived n_{H_2} is seen when single value of X_{13} is fixed for the entire galaxy. However, when its value is set as a free parameter, the correlation between $R_{13/12}$ and n_{H_2} disappear. In some galaxies a positive correlation between n_{H_2} and star formation efficiency, which has been found previously in NGC 2903 and NGC 4303, can be seen regardless of the adopted value of X_{13} . Furthermore, when considering only emissions from ^{13}CO -detected regions which picks up only emissions from cloud-phase gas, the derived n_{H_2} is higher in many regions, since ^{13}CO emission comes from denser gas components. The dependency of the derived values on ^{13}CO emission suggests that to perform similar analysis, the existence of cloud-phase gas must be carefully considered.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

R06a CO excitation and its connection to star formation and outflow in NGC 1365

Fumi Egusa (IoA, UT), Yulong Gao (USTC/Nanjing U.), Kana Morokuma-Matsui (IoA, UT), Guilin Liu (USTC), Fumiya Maeda (IoA, UT)

NGC 1365 is the nearby ($D = 18.1$ Mpc) barred spiral galaxy with a Seyfert 1.8 nucleus in the southern hemisphere. We use CO(1-0) and CO(2-1) data from ALMA and VLT/MUSE data to explore the central region of this galaxy at a spatial resolution of $\simeq 200$ pc. In the past annual meetings (2019b (R10b), 2021b (R09a)), we reported that CO(2-1)/CO(1-0) ratios (R_{21}) vary within the $2 \text{ kpc} \times 3 \text{ kpc}$ FoV and that they are positively correlated with SFR indicators. The positive correlation is consistent with previous studies at kpc resolutions and suggests that molecular gas around recent star formation is dense and/or warm.

Since the previous presentation, the masks for making CO moment maps and their ratios have been updated following Maeda et al. (2020). As an SFR indicator, a new extinction-corrected $\text{H}\alpha$ map has been created using data provided by the PHANGS-MUSE project (Emsellem et al. 2022). These updates enabled us to measure CO and $\text{H}\alpha$ fluxes where emission lines are weak. While the median R_{21} becomes slightly lower (0.67), the positive correlation with $\text{H}\alpha$ still holds.

In addition, we have performed Gaussian fitting to spectra for selected positions. In the positions, where the spectra show double-peaked profiles, the fitted R_{21} are different between the two components. The one with a lower ratio likely corresponds to the outflow parallel to the disk that is first reported by Gao et al. (2021). Our result suggests that density and/or temperature are lower in such outflowing gas than in the disk.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

R07a スターバースト銀河 NGC 253 中心領域の衝撃波での CO₂ 氷の昇華

N. Harada (NAOJ), S. Martín (ESO/JAO), J. Mangum (NRAO), and ALCHEMI Collaboration

星間物質中の分子組成はガス中と氷上の組成が互いに影響し合い、その双方を調べることで星間物質の物理条件や置かれている環境をより深く知る事ができる。銀河の中心領域では激しい星形成や複雑なガスの運動などがガスや氷中、またはガスから氷への分子の降着や氷からの昇華反応に影響し、特異な化学組成がある事が期待される。CO₂ は CO、メタノールと共に星間氷を作る主な分子であるが、気中の生成は氷の中より効率が低いと考えられているため、気中の CO₂ は氷の昇華を調べる事ができるケースがある。冷たい CO₂ ガスの観測は双極子モーメントがないために不可能であるが、そのプロトン化された分子、HOCO⁺ を用いる事で見積もる事ができる。本研究では ALMA Large Program、ALCHEMI のデータを用いて HOCO⁺ の 6 つの遷移の解析を行った。ALCHEMI は ALMA Band 3-7 を用いた超広周波数域ラインサーベイで、分解能 1.6'' でスターバースト銀河 NGC 253 の中心分子領域を観測している。結果として、観測された HOCO⁺ の分布はメタノールのような氷で主に行われる分子と似ており、軌道の交差点で増えている事がわかった。また、HOCO⁺ の水素分子に対する存在量の比は、10⁻⁹ 程度と、天の川銀河の中心分子領域の分子雲での値と同等だが、銀河系内の他の星形成領域で観測される量に比べ 2 桁程度も多い事がわかった。また、化学モデルから計算された HOCO⁺/CO₂ 比を用い導き出した気中の CO₂ の水素分子に対する存在量の比は、過去の氷の観測に比べ数%から 100%ほどで、CO₂ 氷の頻繁な昇華反応が起こっている事が示唆される。そのような昇華反応を引き起こす原因の中でも NGC253 銀河中心の軌道の交差点で分子雲衝突により衝撃波が起こり、それが氷の昇華を引き起こしていることと推測される。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)[スケジュール \(全体\) に戻る](#)[講演者索引 TOP に戻る](#)

R08a 遠方銀河で観測された高い [O III] 88 μm/[C II] 158 μm 光度比の原因-近傍銀河からの示唆

浦遼太, 橋本拓也, (筑波大学), 井上昭雄, 菅原雄馬, 札本佳伸 (早稲田大学), Fadda Dario (SOFIA Science Center), 田村陽一, 萩本将都 (名古屋大学), 松尾宏, 馬渡健 (国立天文台), 山中郷史 (鳥羽商船高専), Matthew Hayes, Johannes Puschsig (Stockholm Univ.), Erick Zackrisson (Uppsala Univ.)

ALMA によって宇宙再電離期の銀河観測が盛んに行われ、再電離期の銀河は [O III] 88 μm と [C II] 158 μm の光度比が高い ([O III]/[C II] = 3-20) ことが明らかになった。星雲輝線モデルを取り入れた研究によると、この比は星形成の爆発度や星間物質の電離パラメータや重元素量などに依存する。しかし、遠方銀河で得られるデータは限られているため、これらの情報を詳しく調べられず、光度比が高い理由は明らかにされていない。そこで本研究は、近傍宇宙に存在し、遠方銀河に似た [O III]/[C II] を持ち多波長データが揃う Herschel Dwarf Galaxy Survey の天体と、我々が成層圏遠赤外線天文台を用いて新たにデータを取得した天体 Mrk54 を用いて、[O III]/[C II] と他の物理量の相関の確立を目指した。Mrk54 は再電離を理解するために必要な電離光子脱出率 (f_{esc}) を直接観測している希少天体であり、[O III]/[C II] を再電離の物理に紐付けるために重要である。この結果、[O III]/[C II] が大きい天体の特徴は、星形成活動が爆発的で電離パラメータが高い天体であることを初めて観測から明らかにした。さらに電離パラメータと f_{esc} の関係式 (Chisholm et al. 2018) と、本研究で求めた [O III]/[C II] と電離パラメータの関係を用いて、[O III]/[C II] から f_{esc} を推定する式を導いた。これは、ALMA で観測されている遠方銀河のように電離光子を直接測定できない天体の f_{esc} を推定する新しい手法である。この式により導出される f_{esc} は、ALMA で観測された遠方の銀河が再電離を引き起こすのに十分であることを示唆している。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)[スケジュール \(全体\) に戻る](#)[講演者索引 TOP に戻る](#)

R09a 銀河 NGC 1068 における 60 pc 分解能での HCN(1-0)/CO(1-0) 強度比による高密度ガスの研究

渡邊 友海, 馬場 一晴 (福島大学), 高野 秀路 (日本大学), 齊藤 俊貴, 原田 ななせ, 今西 昌俊, 植田 準子 (国立天文台), 中島 拓, 田村 陽一, 谷口 暁星 (名古屋大学), 河野 孝太郎, 西村 優里 (東京大学), 泉 拓磨 (東京都立大学), 濤崎 智佳 (上越教育大学)

銀河の進化を知るには、様々な銀河について活動的銀河中心核 (AGN)、星形成、およびその母体となる分子雲の状態を調べることが重要となる。そこで本研究は、典型的な近傍セイファート銀河の 1 つである NGC 1068 に着目し、分子ガスを調べることにより、この銀河での星形成の状況を明らかにし、銀河の進化の研究に繋げる情報を得ることを目指す。NGC 1068 は、中心部に巨大ブラックホールがあり、それを取り囲むガス (Circumnuclear disk: CND) (半径 ~ 0.2 kpc) がある。また、CND を取り巻くリング状の腕 (半径 ~ 1 kpc) には、大質量星が多数形成されている爆発的星形成領域 (Starburst ring: SBR) があり、星形成とその母体となる高密度ガスの関係を研究するのに最適である。そこで、高密度ガスをトレースするために、HCN 分子を取り上げた。ALMA で得られた HCN(1-0)、CO(1-0) のデータを使い、60 pc の高分解能かつ高感度で、HCN/CO 強度比の分布図を作成した。

現在までの解析で、以下の結果を得た。(1)CND では HCN と CO の両方で強度が強かったが、SBR では HCN が CO に対して相対的に弱いことがわかった。(2)CND の外側 0.1 kpc の領域で、強度比の値が 1.2 と高い値を示した。これは、渦巻銀河の典型値である 0.1 と比べると異常に高い値である。中心部には outflow があり、それと関連している可能性も示唆される。これに対して、SBR では比は 0.05 \sim 0.15 程度であり、典型値に近い。本講演では、CND の外側の異常な HCN/CO 強度比の原因を考察し、SBR 内での比の微妙な変化についても言及する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

R10b JWST 撮像観測シミュレーションから探る近傍 LIRG NGC7469 の銀河核領域における解析手法の検討

星岡 駿志 (広島大学), 稲見 華恵 (広島大学), Jason Surace (California Institute of Technology), GOALS JWST/ERS Team

大質量銀河は進化の過程において、1 度は銀河同士の合体に起因する爆発的な星形成を経験したと考えられている。高光度赤外線銀河 (Luminous Infrared Galaxies, LIRGs) は銀河合体の様々な段階を網羅しており、さらに宇宙初期の星形成を支配していることが示唆されているため、星形成や銀河進化の過程を理解するための理想的なターゲットである。最新の赤外線宇宙望遠鏡、James Webb Space Telescope (JWST) による高感度・高空間分解能の近傍 LIRGs の観測から、星形成や銀河進化過程の理解が大きく進むことが期待される。本研究では JWST で観測される近傍 LIRGs のうちの 1 つである NGC 7469 を対象に観測装置 MIRI の撮像観測シミュレーションを行った。この天体は活動銀河核とその周辺半径約 500pc の距離にある星形成リングから銀河全体の 2/3 の赤外線が放射されている近傍 LIRG であり、活動銀河核と星形成の関係を調査することに適している。これを先行研究の地上中間赤外線観測での結果に基づいてシミュレーションで再現し、活動銀河核とその周りの広がった放射を正確に抽出するための解析手法を検討した。本講演では、アパーチャー測光、ガウス関数やモファット関数のフィッティング、天体の構造を階層構造として同定することができる Astrodendro によるそれぞれのフラックスの抽出精度を議論する。これを実際の観測に応用することで、精度の高い解析手法で活動銀河核とその周りの広がった放射の正確な物理量を得ることができ、活動銀河核と星形成の関係への理解を進めることができる。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

R11b 分子雲衝突による星形成と銀河シミュレーション：分子雲衝突の速度分布と頻度

堀江秀, 岡本崇, 羽部朝男 (北海道大学)

分子雲同士の衝突は大質量星の形成を促進すると期待されている。我々は分子雲衝突による星形成を銀河のシミュレーションに取り入れるために、シミュレーション実行中に分子雲衝突を判定するアルゴリズムと、その衝突速度に依存した星形成のモデルを開発した。この分子雲衝突による星形成モデルを用いた銀河のシミュレーションでは、衝突による星形成を考慮しない場合と比べて、星形成率が約 40% 高くなることが分かった。これらの結果について前回の年会にて報告した (2020 年春季年会 R06a 参照)。

我々が用いている分子雲衝突による星形成モデルは衝突速度に依存しているため、どのような速度で分子雲同士が衝突するかは銀河の星形成と関係している。また、分子雲衝突がどのくらいの頻度で起きているかも銀河で生まれる大質量星の総量にとって重要である。今回、シミュレーション結果をさらに詳しく解析し、孤立した円盤銀河内での分子雲衝突の速度分布、衝突頻度が分子雲衝突による星形成のモデルの有無によってどのように変わるかについて調べた。

分子雲衝突による星形成モデルの有無に関わらず、 10 km s^{-1} 程度での分子雲衝突が最も多く起きていた。しかし衝突による星形成モデルを考慮した場合は、そうでない場合と比べ、より速い速度での衝突がより頻繁に起きていることが分かった。この原因として、分子雲衝突によってより多くの大質量星が生まれ、超新星爆発などのフィードバックが分子雲により大きな運動量を与えることが考えられる。一方、分子雲衝突の頻度には星形成モデルの有無による大きな変化は見られなかった。発表ではこの結果が銀河の性質に与える影響について議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

R12b Molecular line radiative transfer in a Monte Carlo radiative transfer SKIRT

Kosei Matsumoto, Peter Camps, Maarten Baes (Ghent University), Kentaro Nagamine (Osaka University), Leonard E. C. Romano (Max Planck Institute), Hiroyuki Hirashita (Academia Sinica)

Understanding the star formation (SF) in molecular clouds in galaxies is fundamental but complex because the local SF efficiency depends on the galactic environment, SF, and active galactic nuclei feedback. Recently, cosmological hydrodynamical simulations have become powerful tools in this quest, and our simulation code, GADGET4-Osaka, has succeeded in modeling molecular gas and star formation with sub-grid recipes (Romano et al. 2022). To understand the validity of the sub-grid recipes, we have to make synthetic images of molecular gas, dust, and stellar emission and compare them with actual observations. However, there have been no radiative transfer codes to calculate spectral energy distribution and molecular lines self-consistently, because previous codes used ray-tracing methods and could not handle the photons in a wide wavelength range. Therefore, we have developed a non-LTE atomic-and-molecular radiative transfer module in the Monte-Carlo radiative transfer code, SKIRT9 (Camps et al. 2018). In this presentation, first, we demonstrate the validity of our code by performing the test problems of Van Zadelhoff et al. (2002). We achieved the accuracy of $\lesssim 10\%$ even in the optically thick regime. Second, we show the comparison between observations and the results of CO and dust radiative transfer in a Milky-way-like galaxy simulation, and discuss implications on the CO-to-H₂ conversion factor and SF efficiency.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

R13c 非等方的速度分布の初期条件の下での球状星団の力学的進化：多質量成分系の場合

高橋広治 (埼玉工業大学)

球状星団の力学的進化の数値シミュレーションの初期条件としては、過去の大部分の研究では、等方的な速度分布を持つ理論モデルが使われてきた。2体緩和による力学的進化が十分に進むと、星団の中心部の速度分布は、初期条件に関わらずほぼ等方的になると期待されるが、現実の球状星団の初期の速度分布が等方的であったと期待する積極的な理由はない。

Breen et al. (2017) は、非等方的 (速度分布) Plummer モデルを初期条件とした N 体シミュレーションを行い、コア崩壊までの時間が初期の速度分布の非等方性に強く依存することを報告した。それを受けて、高橋は 2019 年秋季年会において、Fokker-Planck モデルを用いたシミュレーションによって彼らの計算を検証した結果を報告した。高橋 (2019) の結果は、Breen et al. (2017) の結果とほぼ一致するものであった。

今回は、非等方的速度分布の初期条件の影響をさらに探求するために、異なる質量の星が存在する星団、すなわち多質量成分系の星団について、Fokker-Planck シミュレーションを行った。一方、Breen et al. (2017) が扱ったのは、単一質量成分系の星団のみであった。

今回のシミュレーションの結果、コア崩壊は、単一質量成分系の場合と同様に、半径方向の速度分散がより優勢なモデルほどより遅く、接線方向の速度分散がより優勢なモデルほどより早く起きることが確かめられた。また、速度分布の変化の様子は質量成分ごとに異なることが分かった。講演では速度分布の時間変化の詳細などについて議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

R14a 爆発的星形成銀河 NGC 253 中心部で発見された shell 型高速度コンパクト雲

嶋田理央、岡 朋治、榎谷玲依 (慶應義塾大学)

銀河系の中心領域には、空間的にコンパクト ($d \lesssim 5$ pc) かつ極めて広い速度幅 ($\Delta V \gtrsim 50$ km s⁻¹) を持つ特異な分子雲「高速度コンパクト雲 (high-velocity compact cloud; HVCC)」が約 200 個同定されている。HVCC は、その位置-速度空間内の形態によって 5 つの型に分類され、このうち shell 型と wing 型の HVCC は、いずれも星形成活動に起因する構造と考えられている (Oka+22)。銀河系外では、最近 ALMA によって取得された高解像度データを用いた HVCC 探査が進められ、近傍の爆発的星形成銀河 NGC 253 の中心部においては 94 個の HVCC が発見されている。NGC 253 中心部の HVCC は、銀河系中心のものと比較して shell 型および wing 型の割合が高く、これは星形成活動の違いを反映したものと解釈されている (西山他、日本天文学会 2021 年秋季年会 Q34a)。

今回我々は、HVCC と星形成活動との物理的関連を調査する目的で、NGC 253 中心部に発見された 30 個の shell 型 HVCC について詳細な解析を行った。使用したデータは、先行研究において HVCC 探査の行われた空間分解能 ~ 2 pc の CO $J=3-2$ 輝線データである (project code: 2015.1.00274.S)。まず NGC 253 中の shell 型 HVCC の空間分布について、2 箇所所の空間領域に明瞭な偏在が見出された (13 個/30 個)。このうち一方は既知のスーパーバブルの縁に対応しており (Bolatto+13)、他方についても HVCC の円弧状分布が見られた。加えて、これらの空間領域にある HVCC は他のものと比較して運動エネルギー ($\sim 10^{51}$ erg) が 1 桁程度大きく、膨張時間 ($\sim 10^5$ yr) が短い傾向があることが分かった。これらのことは、NGC 253 に発見された shell 型 HVCC の約半数が 2 つのスーパーバブルに関係しており、現在それらの膨張に寄与していることを示唆するものである。本講演では、NGC 253 中心部の shell 型 HVCC を含む星形成プローブの情報を総合し、同領域の星形成履歴を議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

R15a FDPS-SCF: 円盤銀河の高速 N 体計算コードの開発

穂積俊輔 (滋賀大学), 似鳥啓吾 (理化学研究所), 岩澤全規 (松江高専)

円盤とそれを取り巻く大質量ダークマターハローからなる円盤銀河のシミュレーションでは、ハロー粒子が円盤を通過する際のショットノイズを避けるためにハロー粒子も円盤粒子と等質量にする必要があり、必然的に大量のハロー粒子を扱わなければならない。2 体間の重力を計算する N 体計算では計算量は $O(N^2)$ になることから、各粒子に対してある見込み角度内にある遠方の粒子をまとめて重力を計算することで計算量が $O(N \log N)$ になるツリー法がしばしば使われてきた。一方、系の密度とポテンシャルを直交基底関数系で展開してポアソン方程式を解く SCF 法 (Hernquist & Ostriker, 1992, ApJ, 386, 375) では重力場が求まるので、各粒子はその重力場中を運動するテスト粒子のように計算できる。その結果、計算量は $O(N)$ まで減らすことができる。SCF 法は完全な並列性を備えているため、現在の主流である並列計算機によるシミュレーションに最適な方法である。

そこで、ハローのような球状の系では少ない展開項数で系を表現できる直交基底が存在することからハロー粒子に対して SCF 法を適用し、円盤粒子は局所構造を記述できるようにツリー法で計算するハイブリッドコードを開発した。同様な計算コードは Vine & Sigurdsson (1998, MNRAS, 295, 475) によって開発されているが、彼らは円盤粒子がハロー粒子に及ぼす重力はツリー法で計算している。これに対して、我々は円盤粒子の自己重力のみツリー法で計算し、ハロー粒子の自己重力、および円盤粒子とハロー粒子の相互作用はすべて SCF 法で計算するようにしてさらなる高速化を実現した。現状では、ツリー法で並列化に適した FDPS (Iwasawa et al., 2016, PASJ, 68, 541) を使い、コード全体を SIMD 化した結果、円盤 100 万個、ハロー 500 万個に対して 64 コアマシンで 0.24 秒/ステップを達成することができた。講演では開発した計算コードの性能を詳細に紹介する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)[スケジュール \(全体\) に戻る](#)[講演者索引 TOP に戻る](#)

R16a 銀河系円盤外縁部の運動学的リッジ構造が若い星にも存在することの発見

船越菜月, 松永典之, 谷口大輔 (東京大学), 河田大介 (Mullard, Space Science Laboratory, University College London)

ESA の位置天文衛星 Gaia によって天の川銀河内の恒星の 6 次元データ (位置、速度) が得られ、さまざまな運動学的構造が新たに発見されている。その一つが、銀河系中心からの距離 R と回転速度 V_ϕ の関係に、リッジと呼ばれる斜めのパターンが複数現れる構造である。このリッジ構造に対応して、動径方向と銀河面垂直方向の速度も変化していることが先行研究で示された。Gaia EDR3 では、年老いた星である赤色巨星とレッドクランプ星によって、 $R > 12$ kpc という銀河系円盤外縁部における二本のリッジ構造が新たに発見された。これらのリッジを構成する星は、 $R = 5 \sim 12$ kpc の範囲で発見されていたリッジの星と比べて銀河面鉛直方向に大きな速度を持っている。これらのリッジを詳細に調べることで、銀河系円盤外縁部の力学的構造・進化を探ることができる。

セファイドは、周期光度関係によって正確な距離を測定できるため、銀河の構造と進化のよいトレーサーである。また、 $20 \sim 300$ Myr と若い恒星種族に属し、それらの運動学的構造によって短いタイムスケールで起こる銀河系円盤の進化に制限を与えることができる。我々は、772 個のセファイド ($R = 4 \sim 20$ kpc) を Gaia EDR3 の固有運動・視線速度と組み合わせ、セファイドのような若い星においてもリッジ構造が見られることを、少なくとも $R > 12$ kpc の範囲で初めて発見した。これらのリッジを構成するセファイドの鉛直方向の速度は Gaia EDR3 で発見されていた円盤外縁部のリッジ構造と定性的に一致する特徴が見られ、鉛直方向の分布は銀河面からたわんで外れる warp 構造を示している。これらの結果は円盤外縁部の warp とリッジ構造のモデルに制限を与えることが期待できる。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)[スケジュール \(全体\) に戻る](#)[講演者索引 TOP に戻る](#)

R17a COSMOS 領域における新たなポーラーリング銀河の発見

西村 実 (放送大), 松林 和也 (東京大), 村山 卓 (東北大), 谷口 義明 (放送大)

ポーラーリング銀河 (PRGs) は、中央のホスト銀河の円盤主軸に垂直に近い平面で回転する極構造 (ガス、塵、星のリングや円盤) を持つ銀河である。極構造は歳差運動で安定して維持されており、その運動はダークマター (DM) ハローのポテンシャルが影響していると考えられる。PRGs は銀河中心からの距離で DM ハローの 3 次元分布が変化することが報告されるなど、その構造や運動を詳細に研究することは大変重要である。また、天の川銀河、M31、Centaurus A などの近隣の銀河には極構造の存在が示唆されているが、 $z = 0.10 - 0.18$ における Sloan Digital Sky Survey 観測では PRGs の空間密度は 10^{-3} 程度とされ、強い観測選択効果が示唆されることからその探査も重要である。

我々は、PRGs の統計的研究を行うため、先行研究で発見され赤方偏移が分かっている 410 PRGs の distance-limited sample を構築した。これらのうち、Hyper Suprime-Cam Subaru Strategic Program (HSC-SSP) のデータに含まれる 43 PRGs の測光研究を進める過程で、新たな PRG 候補: SDSS J095351.58+012036.1 (J0953: 測光赤方偏移 $z \sim 0.20$) を COSMOS 領域で発見した。今回、銀河の輝度分布を 2 次元モデリングする Python ベースのコード「GaLight」を使い、HSC-SSP の 5 バンドの画像データから J0953 のホスト銀河と極構造を分離して構造パラメータを導出したところ、ホスト銀河と極構造のセルシック指数はそれぞれ 2.94, 0.47 であった。また、2 つの構造の色指数から形態解析を行ったところ、それぞれ Sab - Sb 銀河、Scd 銀河 であり、典型的な PRGs と矛盾しないことが示唆される。本講演では解析の結果について報告し、J0953 が PRG である可能性について議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

R18a New Strong Gravitational Lens Candidates from the HSC SSP

Kenneth C. Wong (NAOJ)

Strong gravitational lensing by galaxies and groups/clusters is an important tool for a variety of science goals, including studies of galaxy structure and evolution, the stellar initial mass function, the dark matter distribution of groups and clusters, and cosmology. However, strong lenses are rare, requiring deep, high-resolution imaging over large areas of the sky to discover in a systematic way. The Hyper Suprime-Cam Subaru Strategic Program (HSC SSP) is an ideal survey to search for strong lenses due to its deep multiband imaging and high data quality. I will discuss recent lens searches in the latest data release (DR4) as part of the Survey of Gravitationally Lensed Objects in HSC Imaging (SuGOHI). We have discovered new galaxy-galaxy and lensed quasar candidates using a variety of methods, including automated lens-finding algorithms, cluster searches, and machine learning techniques.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

S01a EHTC 公開データ再解析による M87 中心部のコアノット構造

Makoto Miyoshi(NAOJ), Yoshiaki Kato(JMA), & Junichiro Makino(Kobe Univ.)

これまで the Event Horizon Telescope Collaborators (EHTC) 報告の「約 $40 \mu\text{as}$ サイズのリング」は M 87 のブラックホール像ではなく、データ較正不足と EHT のデータサンプリングバイアスによる artifact であることを示してきた。EHTC の公開データから我々が得た M87 中心核、およびジェットに関する構造について 2021 年秋季年会では以下の 3 点を報告した。

(1) 中心核構造はリングではなく、コアとノット、さらに西側に第三成分がある。

(2) 有名な M87 ジェット構造は、230GHz 観測においても、存在する。ただし、その強度は中心核の強度に比べて桁違いに弱い。

(3) クロージャー位相残差については EHTC のリング像のそれとほぼ同等の残差を示し優劣はなかった。

今回、EHTC のリング像と我々の「コア・ノット+薄いジェット構造」のどちらがデータに合致しているかを振幅残差の点から調査、圧倒的に我々の像の残差は小さく M 87 の像としてはるかに妥当であることを報告する(以上を報告する論文は 2022 年 5 月に Ap.J にアクセプトされている。https://arxiv.org/pdf/2205.04623.pdf)。

なお、2022 年 5 月、EHTC 発表の Sgr A* のブラックホール像について、その公開データを調査、M 87 の場合と同様、データの寡少さによる artifact である可能性が高いことも報告する。EHTC の撮像結果 ($50 \mu\text{as}$ のシャドウ、謎の 3 つの輝点) はその PSF (dirty beam) の特徴と共通している。EHTC のブラックホール像は M87, Sgr A*, どちらも、各々の PSF に現われるくぼみの形、大きさと一致している。EHTC はその像合成の過程で PSF 形状の deconvolution に失敗し、リング像を得たと考える。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

S02a 東アジア VLBI 観測網による M87 高頻度モニター観測データの画像化

田崎文得 (東京エレクトロン テクノロジーソリューションズ株式会社), Yuzhu Cui (上海交通大学), 秦和弘 (国立天文台), 紀基樹 (工学院大学/国立天文台), EAVN AGN SWG

Event Horizon Telescope (EHT) による 1.3 mm 波帯の VLBI 観測によって、楕円銀河 M87 の中心にある巨大ブラックホールごく近傍が撮影された (EHTC et al. 2019)。ブラックホール質量は $6.5 \times 10^9 M_{\odot}$ である。EHT よりも長波長帯の電波観測によってブラックホール近傍からは相対論的ジェットが噴出していることがわかっているが、その根元のまさしくジェットが形成されている現場は、未だ明らかになっていない。そこでジェット形成の謎を明らかにするためには、長波長帯で得られる高感度・高解像度の画像を使い、EHT 観測と相補的に議論を進める必要がある。そこで我々は、東アジア VLBI 観測網 (EAVN) を使って、M87 ジェットを 7 mm と 14 mm の波長帯で高頻度モニター観測を実施している (Cui et al. 2021)。

本研究では、2017 年の EHT 観測キャンペーンに合わせて実施された EAVN 観測キャンペーンの中から、2017 年 3 月の M87 観測データを使い、EHT の画像化で採用されている正則化付最尤推定法 (RML) のツールである SMILI を使って画像化に取り組んだ。RML は従来手法の CLEAN と異なり、画像を観測方程式に基づいて観測量に順変換し、観測データと比較して尤度を最大化する画像を導く。事前知識を記述する正則化項を用いることで、柔軟な画像化を実現できる。この結果、ジェットの細かい構造を EAVN データから画像化することに成功し、ジェットの縁が明るく輝く (Limb-brightening) 現象に加えて、先行研究や他の天体で示唆されているジェット内部の複雑な構造についても再構成できる可能性が示唆された。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

S03a 近傍セイファート銀河 NGC 1068 に付随する電波ジェット先端部における宇宙線生成活動

道山知成 (大阪大学)、井上芳幸 (大阪大学)、土居明広 (宇宙航空研究開発機構)、Dmitry Khangulyan (立教大学)

系外銀河における宇宙線は銀河進化に影響を及ぼすことが近年の研究で示唆されており、宇宙線生成現場の特定が課題となっている。本講演では、近傍銀河 NGC 1068 における電波ジェット (サイズは kpc 程度) の ALMA 高解像度高感度観測結果を紹介する。周波数帯 100GHz において角分解能は 0.05 秒角 (約 4pc) を達成し、ジェット先端部に複数の blobs が存在することを確認した。検出された blob は大きさ約 12pc、明るさ約 0.8 mJy、スペクトルの冪が約 0.5 であった。これらの観測量から blob における磁場は約 230 μ G であることが判明した。星間物質の典型的な磁場強度は数 μ G 程度あるため、観測結果は blob での磁場増幅を示しており、磁場増幅は blob における効率的な宇宙線生成活動を示唆している。また、ジェットの各物理量と blob 観測結果から期待される宇宙線のパワーは、NGC 1068 の星形成活動に起因するパワーと同程度 (かそれ以上) であることが判明した。つまり、従来宇宙線の生成現場であると考えられている爆発的星形成活動や強力なジェット (Radio-Loud Quasars 等) だけではなく、NGC 1068 のような比較的弱いジェットでも銀河内の宇宙線生成活動に寄与することを本研究結果は示している。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

S04a *NuSTAR* による Pictor A 西側ホットスポットからの硬 X 線放射の発見と広帯域 X 線スペクトルの研究

砂田 裕志, 森本 有咲, 田代 信^A, 寺田 幸功^A, 勝田 哲, 佐藤 浩介, 立石 大, 佐々木 寅旭 (埼玉大, 埼玉大および ISAS/JAXA^A)

FR-II 型の電波銀河のジェット終端にみられるホットスポットは、非熱的な放射が観測されており、ジェットが形成した相対論的衝撃波による宇宙線加速の現場と考えられている。一部のホットスポットでは、TeV 電子のシンクロトロン放射と考えられる X 線が検出され、電子の最大エネルギーに対応する放射と期待されている。しかし、X 線スペクトルは、AGN との空間分離が可能な高空間分解能な装置で得られたものに限られており、光子統計の不足やエネルギー帯域制限から詳細な議論ができていなかった。本研究では、光子統計の改善とエネルギー帯域の拡張を目的として、*NuSTAR* の公開データを用いて、近傍 ($z = 0.035$) に位置する Pictor A の西側ホットスポットのスペクトルを調査した。その結果、 30σ の有意度で、3–20 keV の放射を検出した。X 線スペクトルはべき乗則でよく再現でき、フラックスは $(4.5 \pm 0.4) \times 10^{-13} \text{ erg s}^{-1} \text{ cm}^{-2}$ 、べきは $\Gamma = 1.8 \pm 0.2$ と得られた。このスペクトルは、*Chandra* と *XMM-Newton* で得られた低エネルギーのスペクトルと滑らかにつながり、0.2–20 keV の広い範囲で折れ曲がりやカットオフが無く、 $\Gamma = 2.07 \pm 0.03$ のべき乗則で再現できることが分かった。X 線放射をシンクロトロン放射と仮定すると、放射電子のエネルギー指数は $p = 3.14 \pm 0.06$ と得られる。一方、高エネルギー電子は急速なシンクロトロン冷却を受けるため、衝撃波で加速された直後の電子のエネルギー指数は $p_{\text{acc}} = p - 1 = 2.14 \pm 0.06$ と推定され、拡散衝撃波加速の理論予想と一致する。また、等分配磁場強度の 300 μ G を採用すると、20 keV までにカットオフが無いことから、電子の最大エネルギーを 40 TeV 以上と推定できる。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

S05a 活動銀河核 NGC 4151 の反射体形状の研究

奥平匠海, 松下恭子, 小林翔悟 (東京理科大学)

活動銀河核の X 線スペクトルは、中心核ブラックホール極近傍から放射される連続成分と、その一部が周辺に降着物質で吸収・散乱されることにより生じる反射成分などであらわされる。反射成分の強度変化は、反射領域までの光路差の分だけ連続成分より遅れる。よって連続成分と反射成分の時間変化を比べることにより、活動銀河核における反射物質の分布を推定することができる。激しい光度変化を特徴とする活動銀河核 NGC 4151 は、反射成分である鉄輝線も明るく、このような研究に最適である。Zoghbi et al. (2019) では X 線観測衛星 XMM-Newton 衛星の 2015 年の一ヶ月に及ぶ断続的な観測から活動銀河核 NGC 4151 について、5 日未満の鉄輝線成分の時間の遅れを発見したと報告している。この遅れは広輝線領域 (BLR) からの反射成分 ($H\beta$ 線) の時間の遅れである 6.6 日より短いため、鉄輝線放射源は BLR より内側と結論された。

本研究では、XMM-Newton 衛星の 2015 年の 1 ヶ月程度、X 線観測機器 NICER の 2019 年の 1 ヶ月程度、2022 年の 3 ヶ月程度の 1 日から数日おきの X 線データの解析を行った。連続成分の強度は数日から 10 日で 2 倍程度の変動が見られたが、鉄輝線成分の強度は XMM-Newton 衛星では 1 割程度の変動、NICER では有意な変動が見られなかった。その結果、Zoghbi et al. (2019) で報告されたような時間の遅れは確認できなかった。講演では、連続成分と鉄輝線の強度を時間変動を比較することにより反射体の分布も議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

S06a NLS1 銀河 IRAS 13224–3809 における輻射圧駆動部分吸収体の発見

御堂岡 拓哉 (東京大学, ISAS), 水本 岬希 (京都大学), 海老沢 研 (東京大学, ISAS)

近年、輻射磁気流体シミュレーションによって活動的銀河中心核への降着現象が活発に研究されており、中心付近で発生した強い円盤風が遠方で不安定になり、多くのクランプ状のガス塊に分裂することが予測されている。観測的には、これらの円盤風とガス塊は、それぞれ Ultrafast outflow (UFO) と部分吸収体に対応することが示唆されている (“inner-hot outer-clumpy wind” モデル; Mizumoto et al. 2019, MNRAS, 482, 5316)。しかし、観測される X 線スペクトル成分は複雑に絡み合っているため、UFO や部分吸収体の起源について具体的な制限を加えることは容易ではない。

XMM-Newton 衛星は 2016 年に狭輝線 1 型セイファート銀河 (NLS1) IRAS 13224–3809 を 2 週間以上にわたって長期モニター観測し、顕著なスペクトル変動と複雑な吸収特性を確認した。我々はこの観測データに対し「スペクトル比解析」という新たな手法を適用し、部分吸収体と他のスペクトル成分のパラメータ縮退の解消を試みた。その結果、低エネルギー側のスペクトル変動のほとんどは、やや電離した部分吸収体による吸収率の変化で説明されること、さらに部分吸収体は UFO と同程度の高速度 ($\sim 0.2\text{--}0.3c$) でアウトフローしていることを発見した。また、このアウトフロー速度はフラックスと相関して大きくなることもわかった。これらの結果は、部分吸収体が輻射圧駆動の円盤風から生じていることを示唆しており、“inner-hot outer-clumpy wind” 説を強く支持する。今回の発見が、円盤風の幾何学的な制限や AGN のフィードバック研究のための重要な鍵になることが期待される。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

S07a 活動銀河核 Mrk 766 が示す幅の広い鉄 K 輝線構造の起源

望月 雄友 (東京大学), 水本 岬希 (京都大学), 海老沢 研 (JAXA/ISAS)

活動銀河核の X 線スペクトルには、6–7 keV の帯域に幅の広い鉄 K 輝線構造が観測されることが多い。中心ブラックホールの周りには降着円盤、トーラス、円盤風などの高電離ガスや、広輝線領域などの粗密構造を持った低電離ガスなどが存在する。それぞれが X 線を吸収あるいは散乱することで、鉄 K 輝線のあたりに様々なスペクトル構造が現れ、複数の要素が足し合わさった結果、幅の広い鉄 K 輝線として観測されると考えられる。どの要素によってどのようなスペクトル構造が作られるのかという切り分けができれば、活動銀河核において各要素がどのように存在しているのか、という物理描像を得ることができる。

本研究では、活動銀河核 Mrk 766 を対象天体とした。過去の X 線観測から、この天体には X 線放射領域の一部を覆う部分吸収体と、光速の数%の速度で吹く超高速アウトフロー (Ultra Fast Outflow; UFO) が存在することが明らかになっている。また、“lamp post”と呼ばれる極端に小さいコロナをブラックホールの極近傍に配置することで、幅の広い鉄輝線を説明する先行研究も存在する。今回我々は、二つの X 線天文衛星、XMM-Newton と NuSTAR のアーカイブデータを再解析し、幅の広い鉄輝線の起源の解明を試みた。結果として、トーラスなどの遠方の散乱体による細い輝線、シュバルツシルトブラックホール周りの降着円盤反射によるやや広がった輝線の他に、6.4–6.7 keV 付近に等価幅で 30–50 eV 程度の弱い輝線構造が存在することを見出した。また、この弱い輝線構造は、視線外の UFO による散乱成分と考えて矛盾がないことを明らかにした。結果として、降着円盤、トーラス、UFO を考えることで、観測された鉄輝線構造が自然に説明できることがわかった。さらに、それぞれの要素が鉄 K 輝線に寄与する割合を調べることによって、中心ブラックホール周辺の描像を描くことができた。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)[スケジュール \(全体\) に戻る](#)[講演者索引 TOP に戻る](#)

S08a ALMA による高空間分解能観測を用いた X 線放射と強い相関関係を示すミリ波放射の発見とその起源の考察

川室太希 (理研), Ricci Claudio (UDP), 今西昌俊 (国立天文台), 泉拓磨 (東京都立大学), 市川幸平 (東北大学), 馬場俊介 (鹿児島大学), 上田佳宏 (京都大学), 他 BASS チームメンバー

活動銀河核 (AGN) は、電波からガンマ線に至る広い帯域で光を放ち、そのエネルギー分布を分解することで、X 線放射コロナ、降着円盤、塵トーラス、そしてジェットといった中心核構造の理解が進んできた。そのような中、ミリ波での AGN 放射の研究は、母銀河成分の混入や望遠鏡の低感度のために、あまり進んでこなかった。しかし、近年の ALMA の高空間分解能、高感度観測により、X 線放射コロナほどの空間スケールからのシンクロtron自己吸収放射が、ミリ波で卓越する可能性が示唆され始めた。そこで我々は、AGN 由来のミリ波放射の理解を進めるべく、硬 X 線選択の近傍 AGN ($z < 0.05$) のうち、2021 年 4 月時点で 1 秒角以下の ALMA Band 6 (1.1–1.4 mm) のデータがある全 98 天体について、ALMA のデータを系統的に解析した。約 1–200 pc の高空間分解能を達成し、89 天体において銀河中心から有意 ($> 5\sigma$) にミリ波放射を検出した。そして、初めてミリ波と X 線の光度の間に、傾きが ~ 1 で、標準偏差が 0.36 dex の強い相関を見つけた。これは、ミリ波放射が AGN、特に X 線コロナ近傍に起源を持つ可能性を示唆する。存在が示唆されている自己吸収放射以外の可能性として、塵トーラス、アウトフロー由来の衝撃波、そしてジェットについても考察した。観測で得たミリ波でのスペクトルの傾きが、熱放射で期待される ($\nu^{3.5}$) よりも基本的にフラットのため、トーラスの可能性は低い。また、輻射駆動アウトフローモデルが予測するような、エディントン比の増加に伴いミリ波光度が増加する傾向は見られなかった。更に、ミリ波光度の見込み角度への非依存性は、光度が視線方向にのみ依存する単純なジェットモデルと矛盾することがわかった。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)[スケジュール \(全体\) に戻る](#)[講演者索引 TOP に戻る](#)

S09a 活動銀河核の軟 X 線超過の起源としての温かいコロナモデル

川中 宣太, 嶺重 慎 (京都大学)

活動銀河核の X 線スペクトルの連続成分は一般に降着円盤起源の熱的成分と、円盤を取り囲む $\sim 10^9$ K 程度の高温コロナ (hot corona) 起源のべき型成分の重ね合わせでフィットできると考えられているが、一部の活動銀河核ではそれらに加えて、0.1 – 0.2 keV 付近に軟 X 線超過 (soft X-ray excess) と呼ばれる成分がしばしば見られる。このエネルギーは中心の超大質量ブラックホールの質量にはほぼ依存せず、その起源については未だによく分かっていない。また、恒星質量ブラックホールをもつ X 線連星のスペクトルにはこのような成分は見られず、その理由もよく分かっていない。我々は、降着円盤表面付近に必ず電子による散乱が吸収に卓越する領域が形成されることに注目し、超大質量ブラックホール周りの降着円盤においては、この領域が赤道付近からの光子を逆コンプトン散乱することで冷却する「温かいコロナ (warm corona)」として放射スペクトルの形成に重要な役割を果たすことを示した。本講演では我々が構築したこの温かいコロナの物理的性質を決定する理論モデルを紹介し、降着物質がもつエネルギーが温かいコロナで多く散逸される場合に限り典型的な温度と光学的厚み、活動銀河核にのみ現れるなどの軟 X 線超過の特徴が再現されることを示す。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)[スケジュール \(全体\) に戻る](#)[講演者索引 TOP に戻る](#)

S10b 電波銀河のガンマ線 loudness と X 線スペクトルの関係 (2)

梶木大修, 深澤泰司 (広島大学)

電波銀河は活動銀河核の 1 つであり、中心コアとジェットが観測される天体である。*Fermi* 衛星では約 60 天体の電波銀河が検出されているが、それらは電波銀河の 10% 程度である。なぜガンマ線で明るいものと暗いものがあるのかを知るために X 線での性質の違いがないかを調べた。本研究では、*Fermi* 衛星で検出されている (GeV-loud) 電波銀河のうち X 線データのある 36 天体と、*Fermi* 衛星で検出されていない (GeV-quiet) 電波銀河として、Mingo et al. (2014) と Massaro et al. (2015) から 32 天体を選び、合計 68 天体をサンプルとして *XMM-Newton* 衛星、*Chandra* 衛星、*Swift* 衛星、*NuSTAR* 衛星のデータについて X 線スペクトル解析を行った。

スペクトル解析の結果から 68 天体のべき指数の分布は Kang et al. (2020) で示されているセイファート銀河のべき指数に比べて大きな値であった。そこで、GeV-loud と quiet な電波銀河で比較を行うと GeV-loud な電波銀河は GeV-quiet な電波銀河に比べて大きい値を取る傾向にあることがわかった。ジェットのシンクロトロン放射が X 線スペクトルに表れる場合、べき指数が大きくなることが予想される (Fukazawa et al. 2015)。このことから、GeV-loud な電波銀河は X 線でジェットの影響を受けていると考えられる。また、GeV-quiet な電波銀河はおよそ 50% が強い吸収を受けているが、GeV-loud な電波銀河では 10% 未満であった。よって GeV-quiet な電波銀河はジェットを大きな角で見えており、GeV-loud な電波銀河はジェットを小さめの角度から見ていると考えることができる。本講演ではこれらの結果と議論について報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)[スケジュール \(全体\) に戻る](#)[講演者索引 TOP に戻る](#)

S11b 軟 X 線で明るい AGN の新しいサンプルの構築とその X 線スペクトル

寺島雄一, 全将煥 (愛媛大), 榎木大修 (広島大), 上田佳宏 (京都大), 志達めぐみ (愛媛大)

質量降着は巨大ブラックホールの質量を成長させる重要な過程と考えられている。質量降着率の大きい AGN は硬 X 線に対して相対的に軟 X 線が明るい X 線スペクトルを示すため、質量降着過程の全容を理解するためには軟 X 線で明るい AGN の系統的理解が必要である。そのために、我々は XMM-Newton Serendipitous Source Catalogue (4XMM-DR10) にある X 線源から、(1) 0.2–0.5 keV と 0.5–1.0 keV のエネルギー帯で求めたハードネス比が -0.25 以下、(2) XMM-Newton Serendipitous Ultraviolet source survey catalogue (SUSS5.0) に紫外線対応天体がある、(3) 銀緯 $|b| > 30^\circ$ 、(4) 系内天体でない、という条件を満たす天体のサンプルを構築した。その中から、これまでに詳細な X 線スペクトル解析が行われていない 36 天体 (計 158 回の観測) の X 線スペクトルを作成し解析を行った。これらはすべて分光または測光赤方偏移がわかっている銀河である。解析の結果、特徴的なスペクトルを示すいくつかの種族が見られた。まず、多くは傾きが急 (光子指数 > 2) なべき関数と 0.1–0.2 keV 程度の温度の黒体放射で近似できる強い軟 X 線超過成分からなるスペクトルであった。1 天体は 2000 年の観測で光子指数が 5.3 と極端に急なスペクトルであったが、2003 年から 2015 年の観測では検出されなかった。また、6 天体は、軟 X 線超過成分はほとんど吸収を受けていないが、1 keV 以上で見られるべき関数成分が $(1-8) \times 10^{22} \text{ cm}^{-2}$ 程度の水素柱密度による吸収を受けたスペクトルであった。講演では、X 線スペクトルや紫外線 X 線スペクトルの傾きなどの統計的性質と、特徴的な天体のスペクトル解析の詳細について述べる。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)[スケジュール \(全体\) に戻る](#)[講演者索引 TOP に戻る](#)

S12b 軟 X 線強度が大きく変化した AGN の X 線スペクトル変動

滝沢風佳, 寺島雄一 (愛媛大)

恒星質量ブラックホールは、質量降着率の変化によって急激な X 線強度変動と X 線スペクトル状態の遷移が起こることが知られている。一方で、AGN で強度が 1 桁以上の変動を示すものは少数であり、大きな変動のあった AGN であっても恒星質量ブラックホールのような急激なスペクトル変動はほとんどない。過去の研究によると、1 桁以上の変動がある大質量ブラックホールのほとんどが潮汐破壊現象候補天体であった。本研究では、X 線強度が 10 倍以上変動する AGN のスペクトル変動の解析を行った。

天体の選出には XMM-Newton 4XMM DR11 を用いた。複数回の観測データがある天体のうち、銀緯が $b \geq |10^\circ|$ であり、複数回の観測における 0.2–1.0 keV の PN カウントレートが 10 倍以上変化した天体を対象とした。さらに、選出した天体で分類が銀河や AGN、X 線源であり、系内天体でないものを選出した。上記の条件で選出された天体のうち、スペクトル変動が未解析である 12 天体の X 線スペクトルを作成し、比較を行った。結果、12 天体のうち、数年スケールで軟 X 線の明るさが変化していたのは 6 天体となった。他 6 天体は非常に暗い天体や明るさに変化がない天体であった。吸収の変化によるスペクトル変動があったのは 2 天体、急激なスペクトル形状の変化はないが強度変動のあった天体は 4 天体であった。4 天体のうち、3 天体はべき関数成分が主となるスペクトルを維持し、光子指数は 1.4–2.0 となった。他の 1 天体である J031914.1–663244 は、X 線強度が約 1 年間で $\frac{1}{12}$ に減少しているが黒体放射成分が強いスペクトルを維持した AGN としては稀な天体である。その間の黒体放射温度は $0.207 \pm 0.011 \text{ keV}$, $0.187^{+0.014}_{-0.013} \text{ keV}$ と有意な変化はなかった。このように、今回解析した天体についても恒星質量ブラックホールのような急激なスペクトル変動は見られなかった。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)[スケジュール \(全体\) に戻る](#)[講演者索引 TOP に戻る](#)

S13b JVN 山口-日立基線 VLBI を用いた超高エネルギーガンマ線 AGN 候補天体の探査

藤田大輔, 新沼浩太郎, 藤澤健太, 元木業人 (山口大学), 米倉寛則 (茨城大学)

フェルミガンマ線望遠鏡によるこれまでの観測で 3000 を超えるガンマ線ブレーザーが見つかっている。これらガンマ線ブレーザーは特徴的なスペクトル“ブレーザーシーケンス”(e.g., Fossatti+98, Donato+01)を示すことが観測的に知られており、特に超高エネルギーガンマ線放射を伴う種族 (High-synchrotron peaked BL Lac: HBL) は全体的に低光度であるため電波帯でも非常に暗く、またその数も 50 天体程度しかない (TeVCat より)。超高エネルギーガンマ線放射を伴う AGN の放射機構に関する理解を深めるためには、天体数の増加に加え、広帯域スペクトルを精度よく議論することが必要である。電波帯は低エネルギー側のシンクロトロン放射を議論する上で重要な帯域である。そこで我々は 1000 天体以上存在する未同定ガンマ線天体の中から微弱なガンマ線 AGN 候補を探し出すことを目指し、GeV 帯のスペクトルのベキが 2.3 (TeVCat に記録されている HBL 天体の中で最も steep なスペクトルを示す天体のベキ値) よりも平坦なもの且つ、銀緯が $|b| > 5^\circ$ で山口/日立から観測可能な 136 の未同定ガンマ線天体を選出した。次に、これら 136 天体の位置誤差内に存在する電波源 476 天体を大規模電波源カタログである FIRST および NVSS より選出し、JVN サブアレイである山口-日立基線および山口干渉計 (YI) による高感度電波サーベイを実施した。

本講演ではサーベイの概要および検出天体などの結果に加え、検出された超高エネルギーガンマ線 AGN 候補天体の SED の特徴から種族について議論をする。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

S14b ポーラーダストを含む活動銀河核トラスからの赤外線 SED モデル: Circinus 銀河との比較

小川翔司, 上田佳宏 (京都大学), 和田桂一 (鹿児島大学), 山田智史 (理化学研究所), 馬場俊介, 工藤祐己 (鹿児島大学)

活動銀河核 (AGN) の構造は中心の超巨大ブラックホールと降着円盤、それらを取り囲むトラスから成る。近年は赤外線の干渉計および高空間分解能な撮像観測などによって、これらの構造に加えて極域に広がるポーラーダスト成分の存在が明らかになっている。ポーラーダストは輻射圧で駆動されたアウトフローが起源と考えられており、その性質を調べることは AGN の活動と周囲へのフィードバックを理解する上で重要である。

ポーラーダストの空間構造 ($\sim 1-100$ pc) を解明できる例は少ないため、その性質を系統的に調査する上でスペクトルエネルギー分布 (SED) 解析が着目されてきた (e.g., Toba et al. 2021)。赤外線 SED ではトラスとポーラーダストの情報が縮退するが、X 線スペクトルの解析からトラス構造を導出し、同様の構造を持つトラスからの赤外線放射を仮定することで、ポーラーダスト成分を高精度に評価できる (山田の 2022 年春季年会講演)。しかし、これまでに行なわれてきたポーラーダストからの赤外線放射をグレイボディで近似する手法では、最近傍 AGN の 1 つである Circinus 銀河の中心核の赤外線 SED を再現できないことがわかった。

そこで私たちはポーラーダストについてグレイボディを仮定するのではなく、実際に輻射輸送を解くことで Circinus 銀河の赤外線 SED を再現できるか調べた。X 線解析から求めたパラメータに従うクランピートラスにポーラーダストを導入したダスト分布をもとに輻射輸送計算コード SKIRT (Baes et al. 2011) を用いて観測される赤外線 SED を計算した。本講演では仮定したモデルの詳細を紹介し、Circinus 銀河の赤外線 SED と比較する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

S15c High Spatial Resolution NIR Studies on a Host Galaxy of a γ -ray Emitting Blazar

Tomoki Morokuma, Malte Schramm (Chiba Institute of Technology), Kouji Ohta (Kyoto University), Jari Kotilainen (University of Turku)

Blazars are a peculiar class of radio-loud active galactic nuclei (AGN), characterized by their relativistic jets along our line-of-sight. Their emission is dominated by the non-thermal continuum produced in the jet all over the frequencies. At high energies (GeV-TeV regime), blazars represent the vast majority of the extragalactic sources detected by satellites like Fermi/LAT while some new classes of gamma-ray emitters, such as Narrow-Line Seyfert 1s and Seyfert 2s, have been recently identified. Blazars are also considered emitters of PeV neutrinos that can be detected e.g. by the IceCube experiment. From the point of view of optical spectra, blazars are divided into two subclasses: the flat spectrum radio quasars, that show prominent emission lines, and the BL Lacertae objects, characterized by extreme weakness or absence of emission and/or absorption lines that makes the determination of their distances very difficult. Studies of BL Lacs' host galaxies are also difficult due to observational limits to resolve the host galaxy strongly outshined by its bright nuclear core.

In this presentation, we introduce our method to study such host galaxies based on a recent pilot study using Subaru telescope. We here show first observational results of a potential high- z ($z \sim 1.36$ from SDSS/BOSS) blazar (J150101.83+223806.3) host galaxy. We obtained high spatial resolution (adaptive optics supported) near-infrared imaging and spectroscopic data with IRCS+AO188. Our results indicate that the galaxy is located at low redshift based on the properties of the resolved host galaxy after decomposing the blazar images.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

S16c The discovery of a candidate of a quasar with periodic UV/optical variability

Takashi Horiuchi (The University of Tokyo), Yoshiki Toba (NAOJ), Toru Misawa (Shinshu University)

Quasars are thought to have supermassive blackholes at their center and to form accretion disks around those. One of the most important properties of quasars is their flux variability, however, the cause of which is still under debate. Generally, the flux variability of quasars is random, but in 2015, a quasar with periodic variability was discovered. Recently, more than 130 candidates have been identified by Guo et al. Although the reason for such periodic variations is not well understood, the rotation of supermassive black hole binaries is one of the most promising candidates.

It is important to study the periodic flux variation in detail, since it has the potential to elucidate the intermediate stages in the evolution of quasars. Using the Catalina realtime transient survey (CRTS) catalog and the archival data of PanSTARRS, we identified one candidate source (WISE J0909) other than the sample of Guo et al. that exhibited the periodic variability (total: 1.8 periods, 5 years per period, amplitude: 0.06 mag). Apart from the archival data, we had performed simultaneous three-color observations in the g' , R_c , and I_c bands using the 105 cm Murikabushi telescope/MITSuME in Ishigakijima Observatory for a year. The results are consistent with the expectation that the recent years are in the diminishing phase based on the fitting with the sinusoidal function. Since the SED of this candidate is known to be very red, it may be possible to discuss the connection between galaxy interactions and black hole binaries.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

S17a WISE 衛星を用いた NEP 領域における中低光度 AGN の反響マッピング

恒次翔一, 峰崎岳夫, 水越翔一郎, 吉田篤洋, 鮫島寛明 (東京大学), 小久保充 (プリンストン大), 野田博文 (大阪大学)

活動銀河核 (AGN) のダストトラスは、AGN の統一モデルにおいて大きな役割を担うだけでなく、中心領域に存在する巨大ブラックホールの成長と銀河へのフィードバックを考慮する上でも重要な構造である。しかし、ダストトラス最内部の構造はコンパクトであり直接撮像による観測は困難である。これを可能にするのが、反響マッピング法である。その中でも我々は降着円盤・広輝線領域 (BLR) とダストトラスの接続部であるダストトラス最内部の構造へのアプローチとして、多波長赤外線によるダスト反響マッピングに注目している。

近年、これまでに多数観測が行われてきた波長 $1-2.5\ \mu\text{m}$ に加えて、WISE 衛星の全天モニター観測を用いた波長 $3-5\ \mu\text{m}$ でのダスト反響マッピングが行われてきた (Lyu et al. 2019, Yang et al. 2020)。これらの結果により、ダストトラス最内部の半径温度構造が統計的に示されている。しかし、WISE 衛星のサンプルは、地上での波長 $1-2.5\ \mu\text{m}$ で観測された近傍セイファート銀河と比べて遅延の大きな大光度 AGN に限定されている。そのため同程度の光度をもつ AGN 間での直接的な比較ができていない。

そこで本研究では、他の領域に比べ高頻度かつ欠測期間の少ないデータを得ることのできる北黄極 (NEP) 領域に注目することで、今まで観測が困難だった波長 $3-5\ \mu\text{m}$ での中低光度 AGN のダスト反響マッピングに成功した。ダスト反響マッピングを行った 5 天体に対して、W1[$3.4\ \mu\text{m}$], W2[$4.6\ \mu\text{m}$] バンドでの測定結果は静止波長でおおよそ $2.4-3.8\ \mu\text{m}$ に相当しており、近傍セイファート銀河での先行研究 (Minezaki et al. 2019, Koshida et al. 2014) の結果との直接的な比較に成功した。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

S18a AGN 近赤外線放射の時間変動における高温ダスト成分の卓越性評価

水越翔一郎, 峰崎岳夫, 恒次翔一, 吉田篤洋, 鮫島寛明 (東京大学), 小久保充 (プリンストン大), 野田博文 (大阪大学)

活動銀河核 (AGN) には、ダストトラスによるダスト減光が強い obscured AGN と呼ばれる種族が存在する。ダストトラスに由来する視線方向のダスト減光量は、ダストトラス構造を理解するのに重要なパラメータであるが、obscured AGN ではダスト減光が非常に強いため可視光観測が十分行えず、ダスト減光量の測定は困難であった。そこで我々は、赤外線衛星 WISE によるモニター観測データに着目し、obscured AGN にも適用可能なダスト減光量測定法の確立を進めてきた (Mizukoshi et al. submitted)。本手法では、AGN 特有の近赤外線放射の時間変動を利用し、変動が顕著なダストトラス内縁の高温ダストに由来する放射成分を選択的に捉えることで、ダストトラスに由来する視線方向のダスト減光量を正確に測定できることが期待される。

今回、WISE の 2 バンドでの AGN 観測データから求めた各バンドの変動成分の強度比 ($W1[3.4\ \mu\text{m}]/W2[4.6\ \mu\text{m}]$) を先行研究の AGN テンプレート SED から求めた同じバンド間の近赤外線強度比と比較し、実際に高温ダスト成分が卓越しているかを調べた。Elvis (1994)、Hernán-Caballero et al. (2016) の AGN テンプレート SED から測定した赤外線強度比はそれぞれ $W1/W2 = 0.69, 0.70$ であり、本研究で求めた intrinsic な変動成分強度比 $W1/W2 = 0.86$ の方がより青いことを確認した。高温ダストの外側にある warm dust からの放射成分が弱い warm-dust-deficient (WDD) AGN (Lyu et al. 2017) のテンプレート SED から同様に赤外線強度比を計算した結果、 $W1/W2 = 0.78$ となり、変動成分の強度比の方が尚も青くなった。この結果は、近赤外線の変動成分を用いることで、warm dust の放射成分の混入を抑え、高温ダスト放射成分を選択的に捉えられることを示唆する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

S19a Subaru/HSC SSP 可視光サーベイと VLA/FIRST 電波カタログを用いた 29 天体の radio-loud dust obscured galaxies の発見

福地輝, 市川幸平, 秋山正幸, 登口暁 (東北大学), 鳥羽儀樹, 山下拓時 (NAOJ), Malte Schramm (千葉工業大学), Xuheng Ding, Connor Bottrell (Kavli IPMU), 長尾透 (愛媛大学)

銀河合体に伴い超巨大ブラックホール (SMBH) が急激に成長する段階はダストに覆われ、可視光で暗く赤外線で見ると明るく光ると考えられる。そのため、HSC *i*-バンド、WISE W4-band (22 μm) での AB 等級の差が $(i - [22]) > 7$ と定義される dust obscured galaxies (DOGs) には、急速に成長する SMBH が存在し、一部の DOGs はエディントン限界に達する可能性があると考えられる。エディントン限界を超えるような降着率の高い天体では電波ジェットが放出されることが理論的に示唆されていることから、我々は HSC-WISE DOGs 約 1300 天体と VLA sky survey および VLA/FIRST 電波カタログとのクロスマッチングを行い、電波光度 $L_{1.4\text{GHz}} = 10^{24-26.5} \text{ W Hz}^{-1}$ を持つ電波で明るい DOGs (radio-loud DOGs) を 29 天体発見した。本研究では、これらの DOGs について HSC で得られた測光赤方偏移と CIGALE コードを用いて SED フィッティングを行い、AGN 成分 (L_{AGN} : AGN 光度) と母銀河成分を分離した。これにより、BH 質量と母銀河の星質量 (M_{star}) の比例関係を用いて、 $L_{\text{AGN}}/M_{\text{star}}$ からエディントン比を見積もった。その結果、エディントン限界を超えた radio-loud DOGs がサンプルの 30% を占め、その割合は電波で検出されていない DOGs (7%) とくらべて高いことがわかった。したがって、radio-loud DOGs はエディントン限界付近での急激な質量降着やジェット生成機構を理解するための有力天体かもしれない。本発表ではさらに、SDSS で分光観測され、エディントン限界に達していると考えられる radio-loud DOG 1 天体についても紹介する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

S20a 可視変光選択された活動銀河核の調査

星篤志 (東北大学), 山田亨 (宇宙科学研究所)

楕円銀河やバルジを持つ大多数の銀河中心には観測と理論的観点から超巨大ブラックホール (SMBH) が存在することが知られている。そして銀河のバルジ質量と中心ブラックホールの質量の間には、正の相関があるなど、銀河中心のブラックホールと銀河形成には密接な関係があることが示唆されている。この銀河とブラックホール共進化のプロセスを解明することが重要な課題である。Kimura et al.(2020) は、すばる望遠鏡 HSC-SSP サーベイのデータを活用することで、これまでにない広視野かつ深い多色撮像観測に基づく変光による AGN 探査を実施し、低光度 AGN を多く含む新たな AGN サンプル 491 個 (≤ 25 等、*i*-band) を得ることに成功した。本研究では、共進化の起源の解明を念頭に、この可視変光 AGN サンプルについて特に低質量の銀河と低質量の SMBH を詳細に調査を行った結果を報告する。今回、SDSS、Keck 望遠鏡、すばる望遠鏡等の分光データを用いて 141 個のブラックホール質量を解析し、その結果、 $10^6 M_{\text{sun}}$ 程度の SMBH を持つと考えられる 12 個の変光 AGN を同定した。講演では可視変光 AGN の特徴と、エディントン比、星形成率、星質量から考察できる、SMBH と母銀河の相互作用についても議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

S21a Optical Variability of Blazars in the Tomo-e Gozen Northern Sky Transient Survey

TF Zhang, M Doi, S Sako, R Ohsawa (Institute of Astronomy The University of Tokyo);
T Morokuma (Chiba Institute of Technology); N Tominaga (NAOJ/Konan University);
M Tanaka (Tohoku University)

A blazar is an active galactic nucleus which shows intense activity due to the large gravitational energy of a supermassive black hole in the host galaxy's center. We used data obtained from the Tomo-e Gozen Northern Sky Survey to study the optical variability of blazars in the 4FGL catalog. A wide-field camera called Tomo-e Gozen, which is equipped on the 1-m Kiso Schmidt telescope, deploying 84 CMOS sensors with no filters, has been used in the Tomo-e Gozen Northern Sky Survey. The survey observes at least 7000 square degrees on a clear night with a depth of 18mag, covers nearly 60% of the 4FGL survey area, and 951 or 45% of 4FGL blazars in the area were bright enough to be studied. We analyzed the data observed from September 2019 to December 2021, with the average number of epochs per blazar of 26. We not only analyzed the optical variability of each blazar but also obtained structure functions to study the characteristics of the optical variability of the BL Lac class and the flat-spectrum radio quasar (FSRQ) class of blazars classified by the 4FGL catalog. The dependence of luminosity and redshift is also studied.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

S22a コクーン膨張力学から探る 3C84 ミニジェットのパワーとプラズマ組成

川勝望 (呉高専), 紀基樹 (工学院大学/国立天文台)

活動銀河核から噴出する相対論的ジェットのパワーやプラズマ組成といった根本的な問題は未だに良く分かっていない。最近、*RadioAstron* を用いた 5GHz の電波観測により、ペルセウス銀河団中心の 3C84 に付随したパーセクスケールの中心核から噴出するジェットとその先端のホットスポット全体を包み込むミニコクーン成分が初めて検出された (Savolainen et al. 2021)。これまでキロパーセクスケールにまで広がる FR II 型電波ジェット/コクーンのパワーや組成については研究されてきたが、パーセクスケールのミニコクーンのパワーやプラズマ組成については調べられていない。

そこで、3C84 に対して、コクーン膨張力学に基づく方法 (e.g., Kino and Kawakatu 2005, Kawakatu, Kino and Takahara 2016) を適用することで、相対論的ジェットのパワーとプラズマ組成について調べた。まず、Faraday rotation を用いて評価した周辺ガス密度の上限値と観測されたコクーン圧力の下限値を組み合わせることで、ジェットパワーに制限をつけた。その結果、ジェットパワー L_j は $1.8 \times 10^{43} \text{ erg/s} - 1.5 \times 10^{45} \text{ erg/s}$ となり、エディントン光度の 0.01 - 1% 程度であることが分かった。また、ジェットと相互作用する周辺ガス密度 n_a は $3 - 150 \text{ cm}^{-3}$ であった。次に、観測されたコクーンの非熱的電子と熱的電子の上限をコクーンの状態方程式に代入することで、3C84 ジェットの陽子と電子の個数密度比は 0.1 以下であり、陽電子の混入が必要であることが分かった。また、熱的電子がない場合には、陽子圧優勢のジェットとなるが、熱的電子が非熱的電子の 30 倍程度の場合には、電子・陽電子圧優勢のジェットも許容されることが分かった。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

S23a AGN ジェットのプラズマ供給源における二流体不安定性

小出眞路 (熊本大学)、高橋芳太 (国立高専機構苫小牧高専)、高橋真聡 (愛知教育大学)

巨大楕円銀河 M87 などの活動銀河核から放射される相対論的ジェット (AGN ジェット) は、ブラックホールの回転エネルギーが磁場を介して引き抜かれプラズマの運動エネルギーに変換されることにより形成されることが一般相対論的磁気流体 (GRMHD) 数値計算により示唆されている。ただし、AGN ジェットを貫く磁力線はブラックホール地平面に達しているため、降着円盤からのプラズマは磁力線に阻まれてジェット形成領域に侵入できない。AGN ジェット内での対生成モデルなど提案されているものの、実際のプラズマ源は分からない。我々は AGN ジェットのプラズマ源の問題を解決するために、『二流体不安定性』による降着円盤やコロナからのプラズマの供給を検討した。ここで扱う二流体不安定性は、AGN ジェット内に反平行磁場があるとき、その境界電流層で起こる。この不安定性により反平行磁場が消失すれば、AGN ジェット外部からのプラズマの供給が可能になる。

我々は二流体不安定性を有限温度プラズマの二流体方程式系において調べ、安定条件を明らかにした。その結果、密度が十分に小さくなると必ず二流体不安定性が起こり反平行磁場の崩壊・消失が起こることを見出した。磁場が消失すると、そこにプラズマが流れ込むことになる。M87 の AGN ジェット形成領域では反平行磁場構造が準周期的に形成され、その消滅の期間にプラズマが供給され AGN ジェットが形成され続けると考えられる。このプラズマ供給モデルは、AGN ジェットが基本的に間欠的であることを示唆する。実際、AGN ジェットでは「ノット (knot)」という塊状のプラズマが連なっている。一方、銀河系中心核 (Sgr A*) の降着円盤は磁場優勢 (MAD) と思われているが、ジェットは見られない。これは、Sgr A* のブラックホールを貫く磁場の方向が揃っていて磁場の消失が起こらずプラズマの供給が生じないためと説明される。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

S24a 相対論的流体中から放出された光子の多重散乱効果

高橋芳太 (国立高専機構苫小牧高専)、梅村雅之、大須賀健、朝比奈雄太、竹田麟太郎、高橋幹弥 (筑波大学)、川中宣太 (京都大学)

相対論的宇宙ジェット、パルサー近傍における高エネルギー粒子の伝搬、ブラックホール降着流や噴出流など多様な天体現象の理解に至る過程の中で、流体中における粒子の多重散乱の効果を正確に計算する必要がある。ブラックホール天体など場合には、研究手段として相対論的な輻射輸送シミュレーションや輻射流体シミュレーションが用いられ、一般相対論的輻射輸送方程式を位相空間中で直接解く試みも実行されている。ところが、これらの計算において、粒子の多重散乱を因果律を保った形で厳密に取り扱う手法が存在しないだけでなく、既存の手法の一部は因果律を破り、非物理的な側面があることも知られている。

この問題を解決するために、我々は相対論的流体中において散乱を繰り返す光子の時空中の存在確率を記述する確率密度関数の解析解を導出した (2022 年春季年会)。この解は、時空中の光子の存在確率分布を与える解であるので因果律を完全に保存する。また、相対論的流体中の光子散乱のモンテカルロ・シミュレーションの結果も再現し、シミュレーションで解くことが困難な領域においても計算に用いている数値精度の解を与える。これまでの研究では、多重散乱光子の確率密度関数がある時刻に瞬間的に放出される光子に対してのみ計算されていた。今回の研究では、光子数保存の記述と実際の数値シミュレーションで必要な光子数密度フラックス (4 元ベクトル) の解析解に拡張した。また、より現実的な状況を計算するため、時空中で連続的に光子が放射される光源に対し、放射後の多重散乱光子の時空中の分布を記述する方向にも拡張することができた。講演では、今回得られた解の性質の他、将来的な研究と展望についても発表する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

S25a コンプトン冷却されたブラックホール降着流の輻射磁気流体シミュレーション

五十嵐太一 (千葉大学)、高橋博之 (駒澤大学)、大須賀健 (筑波大学)、松本洋介 (千葉大学)、松元亮治 (千葉大学)

活動銀河核における軟 X 線放射領域の期限に迫る手がかりとして、硬 X 線放射が強い状態と軟 X 線放射が強い状態を遷移する Changing Look AGN が観測され注目されている (e.g., Noda & Done 2018)。この状態遷移は、銀河系内 X 線連星において観測される硬 X 線が卓越するハードステートと軟 X 線放射が卓越するソフトステートとの間の状態線に類似している。ハード・ソフト状態遷移は、降着率が増加して高温で光学的に薄い状態である RIAF の上限降着率を超え、低温で光学的に厚い状態である降着円盤に遷移する過程であると考えられている。しかし、ハード・ソフト状態遷移時には、輻射冷却率が加熱率を凌駕して円盤温度が低下するにもかかわらずエディントン光度の 1-10% の光度が維持されることが知られている。Oda et al. 2009, 2012 は、方位角磁場を考慮することにより、光学的に薄い状態と光学的に厚い状態の中間に磁気圧で支えられた定常・熱平衡状態が存在することを示した。

2022 年度春季年会では、コンプトン冷却を考慮した巨大ブラックホール降着流の輻射磁気流体シミュレーションを実施しブラックホール近傍の高温降着流とその外側の $10^6 - 10^7$ K の電子散乱に対して光学的に厚い Warm Comptonization 領域が共存することを示した。本講演では、輻射磁気流体シミュレーション結果と方位角磁場を考慮した軸対称定常解を比較することにより、Changing Look AGN がガス圧、磁気圧および輻射圧がほぼ同程度となる境界状態にあることを示す。さらに、方位角方向の解像度を高めた計算結果についても報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

S26a ブラックホール磁気圏における磁気流体波の伝播

高橋真聡 (愛知教育大)

ブラックホールを取り巻く降着プラズマは、赤道を含む低緯度領域にガストラス、中緯度領域に低密度コロナ、回転軸周りの高緯度領域に磁気圏として分布すると考えられる。本講演では、ブラックホール周辺環境における構造形成およびエネルギー・角運動量輸送を理解するため、コロナ領域および磁気圏における磁気流体波の伝播について考察する。磁気圏は、磁力線の回転により駆動されたプラズマ・アウトフロー領域 (宇宙ジェット加速域) とブラックホール強重力が卓越するインフロー領域から構成される。コロナ域からは低速のアウトフローが流れ出すであろうが、本研究では磁場により閉じ込められた磁気トラス領域とみなす。

波の伝播は波動方程式に対し幾何光学近似 (アイコナル近似) して考察する。正準形式として扱うことで磁気流体波についての「メトリック (magneto-acoustic metric)」を導入できる。これにより、降着流に生じる磁気音速点に対応して magneto-acoustic horizon を導入できる。これはブラックホールの事象の地平面のアナロジーである。また、回転する磁気トラス (コロナ) においては、自転ブラックホール周りの erogosphere のアナロジーとして magneto-acoustic ergoregion を導入できる。

本講演では、ブラックホール周りの光波面の計算と同様に、プラズマや磁場の分布に応じて決まる磁気流体波のメトリックを用いて磁気流体波の伝播を議論する。ブラックホール周りに分布する磁気トラスや磁気圏について、自己矛盾ない解は知られていないのだが、もっともらしい磁場分布および流体トラス解を参照して磁気トラスのトイモデルを用意し、波の伝播を数値計算した。磁気圏については インフロー定常解を用いて流体と磁場の分布を設定した。これらの領域における磁気流体波の伝播の特徴について報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

S27a 強磁場降着流ガンマ線放射モデル:電子加熱率の影響

久世陸 (東北大学), 木村成生 (東北大学), 當真賢二 (東北大学)

活動銀河核の一部である電波銀河は中心部から相対論的なジェットが噴出していることが確認されている。電波銀河の一部からは GeV や TeV のエネルギーを持ったガンマ線が観測されているが、その放射機構や放射領域はわかっていない。ジェットからのガンマ線放射が活発に議論されているが、ジェットモデルでは電波イメージから得られる物理量と矛盾する場合がある。近年、降着円盤での粒子加速とそこからの放射も議論されている。ガンマ線放射機構の解明は、ジェットや降着円盤の物理や高エネルギー宇宙線の加速機構の解明につながる。電波銀河中心部の磁場が強い降着円盤 (Magnetically Arrested Disks: MAD) では、磁気再結合による粒子加速が効率的に生じ、ガンマ線を生成しうる。MAD 内部の電子加熱率は不明であり、これまでの MAD モデルでは磁気再結合による非相対論的な電子加熱モデルを用いていた。一方で、磁気再結合による相対論的な電子加熱モデルとして Chael et al. (2018) がある。我々は 2 種類の電子加熱率それぞれの場合に対して、GeV ガンマ線で明るい 15 個の電波銀河に MAD モデルを適用し、観測データを説明できるか検証した。その結果、非相対論的な電子加熱モデルでは降着率がエディントン降着率の 0.1% 以下であれば、MAD モデルで観測データを説明できることが明らかになった。しかし、Chael et al. (2018) の電子加熱モデルを用いて計算を行うと、ブラックホール質量や質量降着率によらず半分以上の天体の観測データが説明できなくなった。これは、MAD のパラメータ領域では Chael et al. (2018) の電子加熱率が大きく、電子シンクロトロン放射が電波、X 線帯域で明るくなり過ぎてしまうためである。MAD モデルでは電子加熱率の推定が決定的に重要であることが示された。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)[スケジュール \(全体\) に戻る](#)[講演者索引 TOP に戻る](#)

S28a 活動銀河核円盤風のセンチ波電波放射への寄与

山田知也, 井上芳幸 (大阪大学)

活動銀河核 (Active Galactic Nucleus; AGN) のうちの 9 割は電波光度が小さい Radio-Quiet AGN (RQ AGN) であり、その電波放射の起源については星形成やコロナなどの様々な候補が挙げられているが、いまだに謎に包まれている (Panessa et al. 2019)。ここで約 5 割もの RQ AGN において、降着円盤から光速の数% の速さで広い立体角に噴出されるアウトフローである活動銀河核円盤風が存在が知られている (Laha et al. 2021)。Nims et al. (2015) らは円盤風と星間物質の衝突による電波放射が、RQ AGN の電波放射を説明し得る可能性を定性的に示しているが、円盤風の電波放射への具体的な寄与はわかっていない。

我々は Nims et al. (2015) らのモデルに基づき、衝撃波面において加速された非熱的電子による電波シンクロトロン放射モデルを構築し、観測データとの定量的比較を可能とした。粒子加速機構としては一次フェルミ加速を仮定し、円盤風の力学エネルギーは可視光、X 線の吸収線の観測をもとに決定した。一例として、近傍 I 型セイファート銀河である NGC 985 の X 線観測に基づいて電波スペクトルを計算したところ、円盤風モデルでセンチ波帯域の電波スペクトル観測データの結果を再現することに成功した。本モデルによると NGC 985 においては、AGN の放射エネルギーから円盤風の運動エネルギーへのエネルギー変換効率は約 15 %、電波放射領域の磁場は約 0.03 mG が必要であることがわかった。本講演では、NGC 985 だけでなく、円盤風が観測されている他の近傍 RQ AGN の電波放射スペクトルについてフィッティングを行った結果についても報告し、将来の ngVLA 観測で期待される成果についても議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)[スケジュール \(全体\) に戻る](#)[講演者索引 TOP に戻る](#)

S29a AGN トーラス内部の CO 振動回転遷移吸収線形成の理論

松本 光生 (Ghent 大学, 東京大学, ISAS/JAXA), 中川 貴雄 (ISAS/JAXA), 和田 桂一, 馬場 俊介, 工藤祐己 (鹿児島大学), 磯部直樹 (ISAS/JAXA)

活動銀河核 (Active Galactic Nuclei, AGN) を取り囲む幾何学的に厚い「トーラス」は、その見込み角に応じて AGN 中心領域からの可視広輝線の観測可否を決定すると考えられている。しかし、トーラスの内部構造を分解して観測する事は難しく、その厚みの形成機構は未だ議論中である。そこで、我々は CO 振動回転遷移吸収線 (波長 $\sim 4.67 \mu\text{m}$, $v=0-1$, $\Delta J=\pm 1$) の観測を行い、トーラス内部状態に迫っている。Onishi et al. (2021) は、複数の速度成分を持つ吸収線を観測し、特に Outflow, Inflow 成分は星形成領域の分子ガスよりも高温な励起温度を持つガスであった。そのような高温ガスは、AGN 放射により加熱されたガスであると考えられる一方で、分光観測だけではダスト昇華層と吸収体の位置関係を明らかにできず、そのガスの起源を理論的に検証する必要があった。

本研究では、AGN 加熱や分子形成機構を含む流体モデル (Wada et al. 2016) に基づいて、CO とダストに関する輻射輸送計算を行う事で、観測された吸収スペクトルを再現できるか検証を行った。このモデルは、トーラス赤道面の Inflow が AGN 放射により巻き上げられ Outflow となり、その一部が赤道面に落下する事でトーラスの厚みが形成される事を提案しており、その構造は多波長観測とも整合性が確認されている。そのモデルに基づいた計算の結果、トーラス内側のダスト昇華層を背景光として複数の速度成分を持つ CO 吸収線を観測でき、Inflow, Outflow 成分は AGN 中心から 1 pc 付近で AGN 放射により加熱されているガスと同定した。この事は、Outflow に支えられた準定常なトーラス形成機構を支持すると同時に、CO 吸収線がトーラス内部の速度や温度を捉える手段である事を示している (Matsumoto et al. 2022, ApJ, in press; arXiv:2206.00688).

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

S30a 輻射駆動アウトフロー起源の BLR

和田桂一, 工藤祐己 (鹿児島大学), 長尾透 (愛媛大学)

活動銀河核 (AGN) の内部構造はそのスケールの小ささゆえに未解明な点が多い。分光学的特徴等から AGN 内部には 6 桁以上の空間スケールにわたる多様な構造が存在しているとされる。それらは 1) 広輝線領域 (BLR)、2) 遮蔽トーラス (torus)、3) 狭輝線領域 (NLR) と解釈され、観測者が AGN を見込む角度によってスペクトルが変わるという統一モデルが 80 年代に提唱された。しかし、このパラダイムでは AGN の様々な要素間の関係や起源を物理的に説明できていなかった。一方、我々は輻射流体計算に基づく動的な描像 (輻射駆動噴水モデル) を提案し、セIFAートタイプの低光度 AGN においては、torus と NLR、そして、近年話題の回転軸方向に伸びた赤外線構造 (polar dust emission) といった $\text{pc} \sim 10 \text{ pc}$ スケールの構造を統一的に再現することや、1 型 2 型の SED を矛盾なく説明できることを示した (Wada et al. 2012, 2016)。このモデルは ALMA による分子・原子ガスの高分解能観測とも整合する (Izumi et al. 2018, Wada et al. 2018)。しかし、torus のさらに内側 ($< 0.1 \text{ pc}$) に存在すると考えられる BLR は流体計算の分解能の限界 (0.125 pc) により再現できていなかった。そこで今回われわれは $10^7 M_{\odot}$ の巨大ブラックホールの周辺 $10^{-4} \sim 10 \text{ pc}$ 以内でのガスダイナミクスを 2 次元軸対称輻射流体計算により高分解能 (10^{-5} pc) で調べた。計算結果を入力に電離スペクトル計算コード Cloudy (Ferland et al. 2013) を用いて多次元計算し、紫外線～可視光でのスペクトルを求めた。その結果、BLR に特徴的な $\text{H}\alpha$ 、 $\text{H}\beta$ などの幅広い特徴的な輝線が得られた。これらは円盤面に近い部分を伝搬する高密度アウトフローの一部に起源があり、近年赤外干渉計観測などで指摘されているダストトーラス内縁 (昇華半径) に迫る構造に対応している。講演では輝線スペクトル構造の観測との比較やガス降着・アウトフロー構造との関連を議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

S31a 超高速アウトフローの時間変動と周辺環境への影響

工藤祐己, 和田桂一 (鹿児島大), 野村真理子, 川勝望 (呉高専)

活動銀河核 (AGN) における光度変動は長いタイムスケール (\lesssim a few years) に渡って多波長観測で報告されているが、その物理メカニズムはよくわかっていない。X 線について、明るさのみならず柱密度変化や広輝線 (BLR) の消失/発生といった changing-look 現象が報告されている (e.g. Yang et al. 2016)。このような天体のスペクトルでは光速の 10 パーセントを超える強力な電離ガス流出が観測的にしばしば報告され、これを超高速アウトフロー (UFO) と呼ぶ。線輻射駆動アウトフローの輻射流体シミュレーションは UFO の示す青方偏移等の X 線スペクトルを再現できることがわかってきた (Nomura et al. 2020; Mizumoto et al. 2021)。しかし、UFO の持つ強力な噴出エネルギーが AGN 全体のガス分布にどう寄与するのかわかっていない。

そこで我々は非定常 UFO が pc-scale に至るまでの 2 次元軸対称流体シミュレーションを行った。UFO は Nomura et al. (2020) の計算結果に従い噴出角や物理状態を境界条件として考慮した。この境界へ流入するガス降着率 (\sim エディントン比) の時間変動が UFO の変化することで非定常構造が形成される。SMBH 質量 $10^7 M_\odot$ における幾何学的に薄い低温円盤を粘性によって中心部へ降着させることで、境界を降着円盤外縁部 ($\sim 1000 R_s$) として計算領域 $10^2 - 10^6 R_s$ (R_s は Schwarzschild 半径; $10^{-4} - 1$ pc に相当) を伝播する UFO の時間発展を調べた。その結果、表面に衝撃波を纏ったシェル状ガス分布が数年のタイムスケールで繰り返し作られること、円盤表面付近のシェル根元の流れは脱出できず舞い戻るバックフローを形成すること、そしてこれらは降着率の時間変動と連動していることがわかった。また、形成したシェル構造は周辺環境によって維持できない場合もあった。本講演では、周辺環境によるシェル構造の維持と観測でみられる時間変動の関係について議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

S32a 輻射駆動噴水モデルに基づく原子分子ガス輝線の輻射輸送計算と観測との比較

馬場俊介, 和田桂一, 工藤祐己 (鹿児島大), 泉拓磨 (都立大), 松本光生 (ゲント大, 東大, ISAS/JAXA)

活動銀河核 (Active Galactic Nucleus; AGN) は光学的・幾何学的に厚い数十 pc スケールの遮蔽体、「トーラス」に囲まれており、それに対する視線の傾斜角が可視広輝線の観測可否を分けている、と広く理解されている。しかし、アприオリに仮定されたトーラス構造がいかなる物理機構で成立するのかは、未だ決着がついていない。

我々は、トーラスの形成機構として輻射駆動噴水モデル (Wada 2012) を提案し、その検証を進めている。このモデルでは、降着円盤の非等方輻射が非定常アウトフローを駆動し、その一部が赤道面に落下することで、準定常のトーラス構造が自然に作られる。X 線照射下での化学反応も加味した流体計算では、原子ガスが鉛直方向に幅広く分布しアウトフロー中にも存在する一方、分子ガスは赤道面に集中して分布するという、多相・多層構造を予測している (Wada et al. 2016)。前回の年会では、最近傍 AGN の 1 つである Circinus 銀河に対して行った高空間分解能 (~ 2 pc) ALMA 観測の結果が、この理論予測で整合的に解釈できるものであったことを報告した (泉ほか 2022 年春季年会)。今回我々は、ALMA で観測した [CI] ($^3P_1 - ^3P_0$), CO ($J = 3 - 2$) 両輝線を、Circinus 銀河を模擬した噴水モデルから非局所熱平衡輻射輸送を解いて擬似観測することで、より詳細な比較を行った。実観測では短軸方向 PV 図において [CI] 輝線が青/赤方偏位したピークを示すことが特徴的であったが、そのパターンはモデルにおいても軸方向のアウトフローによって再現された。長軸方向 PV 図では実観測でもモデルでも、CO 輝線が遅い (系速度に近い) 弱い成分を中心から離れた位置で示したが、これは分子ガスのインフローを反映したものと思われる。以上の結果は、輻射駆動噴水モデルと観測結果の間の整合性を、これまでより強固に示している。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

S33a 高解像度サブミリ波水素再結合線による AGN 電離アウトフローの検出

泉拓磨 (国立天文台/東京都立大), 今西昌俊, 中西康一郎 (国立天文台/総研大), 和田桂一, 工藤祐己, 馬場俊介 (鹿児島大), 川室太希 (理研), 松本尚輝 (東北大), 河野孝太郎 (東京大), 藤田裕 (東京都立大), Konrad R. W. Tristram (ESO)

活動銀河中心核 (AGN) が引き起こすアウトフローは銀河進化に大きな影響を与える機構として注目されている。アウトフローは電離ガス, 原子ガス, 分子ガスの各相で観測されているが, AGN 直近の 1 pc 程度の領域, すなわちアウトフローの「根本」では電離ガスが主たる相だろう。しかし, 静止系紫外線や可視光線の電離ガス輝線放射は, 銀河中心部の大量の星間物質に遮られて観測することが難しく, その領域の詳細は未解明である。これはいわゆる AGN トーラスを通じて観測される「2 型 AGN」で特に深刻な問題である。そこで我々は ALMA 望遠鏡を用いたサブミリ波水素再結合線観測に注目した。サブミリ波水素再結合線は電離ガスをトレースすると同時に, その波長特性としてダスト減光をほぼ受けないため, 銀河中心部の電離ガス構造の調査に適する。今回我々は, 最近傍 AGN の一つである Circinus 銀河に対する H36 α 輝線 ($\nu_{\text{rest}} = 135.286$ GHz) データを解析した。得られた空間分解能は $\sim 0''.05$ (~ 1 pc) と非常に高い。H36 α 輝線の空間分布は AGN 位置から伸びる conical horn 状で, kpc スケールで観測された電離ガス ([OIII]5007Å 等) と方角・開口角とも一致する。また, H36 α の線幅 (FWHM = 393 ± 44 km s $^{-1}$) は同程度の分解能で観測した CO(3-2) 輝線 (主にトーラスの回転をトレース) の FWHM (115 ± 1 km s $^{-1}$) よりはるかに大きい。これらは H36 α 輝線が電離アウトフローをトレースしていることを意味し, AGN アウトフローの根本の調査に対する高解像度サブミリ波水素再結合線観測の有用性を示している。本講演ではさらに, この電離アウトフローと分子ガスや原子ガスの構造 (2022 年春季年会 S18a) との関連も議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

S34a 2 型セイファート銀河 NGC 5506 における AGN アウトフローからの非熱的放射の検出

永井洋 (国立天文台), 川勝望 (呉高専), 大西響子 (Chalmers University), 土居明広 (JAXA), 泉拓磨 (都立大), 紀基樹 (工学院大), 磯部直樹 (JAXA), 中西康一郎 (国立天文台), 笹田真人 (東工大), Monica Orienti (IRA)

NGC 5506 は $z = 0.0061$ にある 2 型セイファート銀河で, $10^{44.15}$ erg s $^{-1}$ の総光度を持ち, 近傍宇宙では最も明るい部類に入る活動銀河核である。一方, 電波帯の放射は弱く, radio-quiet な活動銀河核に分類される。この天体では, Very Large Array (VLA) の観測によって, 銀河面に垂直な方向に 300 pc 程度の大きさで広がる電波連続波放射が以前から知られていた。電波連続波の空間分布は円形に近く, 活動銀河核ジェットによって作られる構造とは明らかに異なる。しかし, その起源についてはこれまで深く考察されてこなかった。電波連続波の起源として, 分子ガス核周円盤中の星形成や超新星爆発に伴うシンクロトロン放射が可能性の一つとして考えられる。核周円盤が銀河円盤よりも傾きを持っている場合, 銀河面から垂直な方向に電波連続波が観測されうる。そこで我々は, アルマデータを用いて高密度分子ガスの分布を調べたところ, 核周円盤は銀河面と並行に分布することが明らかになった。このことから, 核周円盤中の星形成・超新星爆発以外の要因が電波連続波の起源と考えられる。その起源として有力なのは, 活動銀河核アウトフローからのシンクロトロン放射である。実際に NGC 5506 では, 赤外線, 可視光, X 線でアウトフローの兆候が確認されている。活動銀河核アウトフロー全般に同様の電波連続波が観測されうるのか, 現時点では不明であるが, アウトフローの形状や性質を探る全く新しい手法となり得る。今後, ngVLA や SKA などの次世代電波干渉計によって, 同様の検出例が増えることが期待される。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

S35a 近傍電波銀河 NGC 4261 の 100-pc スケール高密度ガス円盤

澤田-佐藤 聡子 (大阪公立大学), 亀野 誠二 (JAO/NAOJ), Sascha Trippe (SNU)

電波銀河は数百 kpc に及ぶ相対論的ジェットを持つ radio-loud AGN である。そしてこの強力なジェット噴出のエネルギー供給源として、電波銀河中心部の星間物質による巨大ブラックホール (SMBH) への質量降着が重要な役割を果たしていると考えられる。従って、電波銀河中心部の分子ガスの分布や運動を詳細に調査することにより、電波銀河の SMBH 質量降着過程を理解する重要な手がかりが得られる。この目的のため、我々は IRAM のミリ波干渉計 NOEMA を用いて近傍電波銀河 NGC 4261 中心部の高角分解能観測を実施した。本観測では、光学的に厚い low-J CO 輝線よりも SMBH の影響半径内をよくトレースすると期待される高密度ガストレーサー HCN および HCO⁺ 輝線に観測周波数を合わせた。その結果、5 kpc に広がる双極シンクロトロンジェットと中心の明るいコア成分の 80 GHz 帯初撮像に成功すると共に、半径 100 pc の核周円盤 (CND) に付随する HCN と HCO⁺ の J=1-0 輝線を初めて検出した。両分子輝線は銀河系統速度を中心に視線速度およそ $\pm 500 \text{ km s}^{-1}$ の速度範囲で検出され、その空間的分布は過去の Hubble Space Telescope 撮像で示された 100 pc スケールのダスト円盤と一致していた。そして両分子輝線から得られた CND の速度構造をケプラー回転に当てはめたところ、中心質量 $1.6 \times 10^9 M_{\odot}$ が見積もられた。更に測定された HCN 輝線光度と典型的な仮定から CND に付随する高密度ガスの質量 $7.5 \times 10^7 M_{\odot}$ を導出した。この値は典型的なセイファート銀河の CND 質量値とほぼ一致する。しかし、他の近傍電波銀河 NGC 5128 および NGC 1052 と比較すると NGC 4261 の CND 質量はそれぞれ一桁および二桁値が大きく、電波銀河の CND 質量の多様性を示唆する結果となった。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

S36a Discovery of Fading AGNs in ULIRGs with Kpc-scale Fast Winds

Xiaoyang Chen (NAOJ), Kohei Ichikawa (Tohoku U.), Hirofumi Noda (Osaka U.), Taiki Kawamuro (NAOJ/UDP), Toshihiro Kawaguchi (Onomichi City U.), Yoshiki Toba (Kyoto U.), Masayuki Akiyama (Tohoku U.)

Large-scale outflows are generally considered as a possible evidence that active galactic nuclei (AGNs) can severely affect their host galaxies. Recently several ultraluminous IR galaxy (ULIRG) selected from AKARI FIR catalog was found to have galaxy-scale [OIII] 5007 outflows with extremely high energy-ejection rates compared to active galaxies at $z < 1.6$. However, the NuSTAR hard X-ray follow-up observations identified that these ULIRGs have the most extreme cases of X-ray deficit among local AGNs and ULIRGs, suggesting that the primary radiation from the AGN accretion disk is currently in a fading status. With this presentation, we would like to show the latest NuSTAR, Gemini, and ALMA follow-ups of these galaxies, which could indicate a limited cumulative effect on star formation in host galaxies with the powerful but short-term AGN feedback winds.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

S37a 多波長観測による超/高光度赤外線銀河が持つ X 線で暗い活動銀河核の調査

山田智史 (理化学研究所), 上田佳宏 (京都大学), Martín Herrera-Endoqui (UNAM), 鳥羽儀樹 (NAOJ), 宮地崇光 (UNAM), 小川翔司, 植松亮祐 (京都大学), 谷本敦 (鹿児島大学), 今西昌俊 (NAOJ), Claudio Ricci (Diego Portales Univ.)

多くが合体中の銀河である超/高光度赤外線銀河 (Ultra-/Luminous Infrared Galaxy; U/LIRG) は, ガスやダストに覆われた中心に活発な活動銀河核 (Active Galactic Nucleus; AGN) が誘発されるため, 巨大ブラックホール進化の理解の鍵となる種族である. 遠方 U/LIRG ($z \sim 1-6$) では, トーラスの吸収を補正した AGN 成分の X 線光度 (L_X) と $6 \mu\text{m}$ 光度 (L_6) を比べると通常よりも X 線で暗く, AGN 光度 ($L_6 \sim 10^{47} \text{ erg/s}$) の大きさが特殊な性質の原因と考えられてきた. 一方, AGN 光度が約 2 桁小さい近傍 U/LIRG でも, 合体後期では全放射光度に対する X 線光度は小さいことが判明した (Yamada et al. 2021). これらの AGN では強いアウトフローが観測されることから, 近傍 U/LIRG では降着円盤領域のダストフリーな吸収体 ($<100r_g$; r_g は重力半径) が発達し, X 線の遮蔽により電離度は低下して, 紫外線の束縛-束縛遷移の吸収によりアウトフローが加速する描像が示唆された. しかし, 近傍と遠方の U/LIRG の議論で扱う波長が異なっており, 両者が同様の AGN を持つのかは不明である.

本研究では, Yamada et al. (2021) で X 線スペクトル解析を行った 57 天体の U/LIRG に対し, X 線から電波までの多波長データ解析を実施し, 多波長での吸収補正した AGN 光度を推定した. まず, L_X と L_6 を比較すると, 近傍と遠方の U/LIRG は通常の銀河における AGN の相関式より X 線光度が約 1 桁も小さいことが分かった. さらに, X 線 (2 keV) と可視光 (2500 Å) のべき指数とエディントン比の比較でも, 両者は通常の相関式より X 線で暗いことが示唆された. 以上の結果は, 近傍と遠方の U/LIRG は同様に X 線で暗い AGN を持つ可能性を支持する.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

T01a Large scale structures and galaxy evolution in a $z=0.9$ supercluster traced by unique pair narrow-band imaging

Zhaoran Liu (Tohoku Univ.), Tadayuki Kodama (Tohoku Univ.), Jose Manuel Perez Martinez (Tohoku Univ.), Naoaki Yamamoto (Tohoku Univ.), Zhiying Mao (Tohoku Univ.), Ronaldo Laishram (Tohoku Univ.), Kazuki Daikuhara (Tohoku Univ.), Kouta Adachi (Tohoku Univ.), Riho Okazaki (Tohoku Univ.), Masaharu Tamura (Tohoku Univ.), Tetsuro Asano (Univ. of Tokyo), Kentaro Motohara (NAOJ), Masahiro Konishi (Univ. of Tokyo), Hidenori Takahashi (Univ. of Tokyo), Yusei Koyama (NAOJ), Ichi Tanaka (NAOJ), Tomoko Suzuki (Tohoku Univ.), Lori Lubin (UC Davis), Brian Lemaux (UC Davis)

Galaxies in growing large scale structures are not only regulated by internal processes, but are also affected by external processes. Our goal is to understand the physics behind such environmental dependence. However, how we correct for dust extinction is important to obtain the critical physical quantity. Balmer decrement technique is known to be the best indicator of dust extinction. In this work, we take a unique approach with two narrow-band filters (on SWIMS and HSC) which can capture $H\alpha$ and $H\beta$ lines and thus Balmer decrement only with imaging. Our science target is CL1604 supercluster at $z=0.9$. We have completed $H\alpha$ imaging for one pointing and detected 28 emitter candidates in a galaxy group in CL1604, we are comparing those emitters with those in a rich cluster in this supercluster (our previous work, Asano et al. 2020) to investigate the environmental effects. We will also describe the whole concept of this program and its future prospects.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

T02a すばる望遠鏡 HSC を用いた銀河団メンバー銀河の形態と環境効果の調査

柳川晏里 (奈良女子大学), 鳥羽義樹 (国立天文台), 太田直美 (奈良女子大学), 他 HSC project 417 メンバー

銀河の形態と銀河の存在する環境には、形態-密度関係に代表されるような関わりがあることが知られている。また、銀河の形態は銀河の進化に深く関係し、銀河の進化は銀河団の進化に影響する。階層的集団化モデルのもとで、銀河合体 (マージャー) は銀河進化における主要因に位置付けられ、かつ銀河の星生成活動や活動銀河核 (AGN) の活動を活発にすると考えられている (Hopkins et al. 2008)。一方で、マージャーの環境依存性についてはよく分かっていない。本研究では、1) マージャーと環境効果 2) マージャーと AGN の関係を明らかにすることを目的とする。解像度の良いすばる望遠鏡 HSC の画像を用いれば分類精度の向上につながると考え、SDSS 分光データから同定された 8375 の銀河団に属する 26862 のメンバー銀河と 28028 のフィールド銀河、合計 54890 の銀河画像に対して解析を行なった。ノンパラメトリックな形態学的指標である Gini 係数と M20 を求め統計的に銀河形態を分類し、SDSS 分光データから AGN の有無を輝線比診断 (BPT 図) を用いて判定した。分類結果から、赤方偏移と銀河団中心からの距離に対してマージャーフラクション (f_{Merger}) と AGN フラクションを求めた。その結果 i) フィールド銀河、銀河団メンバー銀河ともに赤方偏移と f_{Merger} には正の相関があり $0 < z < 0.2$ の範囲で約 1.5 倍となること、ii) 銀河団メンバー銀河とフィールド銀河では銀河団メンバーの方が f_{Merger} は大きくなること、iii) 銀河団中心部の f_{Merger} は外縁部より約 1.6 倍となること、iv) AGN を持つ銀河の方が AGN を持たない銀河より f_{Merger} が大きくなり、銀河団中心部でその傾向が顕著になることが分かった。これらの結果は、銀河団のような高密度な環境でマージャーは発現しやすく、マージャーが AGN の発現を誘発することを示唆している。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

T03a HSC-SSP 領域にある高赤方偏移銀河団のスケーリング関係と力学的進化

吉本愛使, 太田直美 (奈良女子大), 三石郁之, 作田皓基 (名古屋大), 大栗真宗 (東京大), 岡部信広 (広島大), 鳥羽儀樹, 浜名崇, 宮崎聡 (国立天文台), 他 HSC 銀河団コラボレーション

広い赤方偏移と質量範囲にわたる銀河団の質量関数の測定は、銀河団自身の理解にとどまらず宇宙論的应用にとっても意義が大きい。また、銀河団の質量は X 線観測量との相関関係から推定できるが、そもそも遠方にある大きな銀河団は希であり、現状ではガスの力学状態やサンプル選択バイアスによる不定性が無視できない。これに対して、すばる望遠鏡 Hyper Suprime-Cam による戦略枠観測プログラム (HSC-SSP) に基づいて可視銀河団カタログ (Oguri et al. 2017) が構築されたことで、高赤方偏移銀河団のサンプル数は大幅に増加した。そこで本研究は、HSC-SSP 領域にあるリッチネスが 40 以上の 10 個の高赤方偏移銀河団 ($0.8 < z < 1.1$) を対象に、銀河団の力学状態とスケール則を求め、その赤方偏移進化に制限をつけることを目的とする。

我々は、XMM-Newton 衛星により取得した X 線データを用いて、X 線輝度分布およびスペクトルの解析を行った。その結果、可視光座標に対する X 線ピークオフセットから見積もられる規則型銀河団の割合は 20% 以下となり、既知の X 線銀河団や近傍の可視銀河団と比べて低い傾向があることがわかった。また、X 線光度温度関係およびリッチネス温度関係は、自己相似モデルと誤差の範囲で一致した。さらに、等温 β モデルと静水圧平衡の仮定のもと質量を求めると平均値は $\sim 10^{14} M_{\odot}$ となり、リッチネスと重力レンズ質量の関係 (Okabe et al. 2019) とも矛盾しない大質量銀河団であることを確かめた。以上の結果に基づいて、高赤方偏移にある可視銀河団の性質について議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

T04a cool core 銀河団における、cool core、cold fronts、spiral structure の起源

井上 一 (JAXA 宇宙科学研究所)

井上 (2014, PASJ, 66, 60) に従い、cool core 銀河団の中心部において、brightest cluster galaxy (BCG) が動き回っている状況を考える。そして、BCG の静止系で見て、高温ガスが BCG に向かって流れてきているとする。その時、ある臨界値以下のインパクトパラメータで流入してくるガスのみが、放射冷却の結果、BCG の重力にとらえられて cooling flow となり、残りのガスは BCG のポテンシャルの井戸を乗り越えて流れ去る状況が期待できる。そのような状況では、次のような描像を描くことができる。まず、BCG 重力場を乗り越えるガスと BCG 重力場にとらえられるガスが、BCG の背後に、よどみ点を含む境界面を形成する。その境界面付近のガス温度は X 線では観測されないほどの低温になると考えられ、この境界面は X 線では cold front として観測されることになろう。この境界の内側の、BCG 重力にとらえられたガスは、BCG に向かって落ち込んでいることになるが、BCG の銀河団中心部での動き回りには回転成分もあると考えられ、BCG 静止系では、落下ガスにコリオリ力が働くと考えられる。その結果、落下ガスは BCG まわりに spiral structure を形成することが期待される。BCG の周りを旋回するように落下していったガスは、BCG の前面で、遠方から流入してくる高温ガスと衝突し、そこに接触不連続面が生じることになり、内側の第二の cold front として観測されよう。このように、上の描像は X 線で観測される cool core の存在、その中の cold fronts や spiral structure の構造をよく説明する。また、BCG 背後のよどみ点内側からは低温のガスが BCG に向けて流れ込むと考えられ、観測される H α filaments の分布や運動の特徴とよくあう。そして、周辺高温ガスの一部のみが cooling flow とし BCG に流れ込むとする考えは、観測される cooling flow が球対称 model の予想より有意に抑圧されている理由を説明する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

T05a X線・可視光・近赤外線データを用いた近傍銀河団の重元素質量-銀河質量比

近藤麻里恵, 佐藤浩介 (埼玉大学), 松下恭子 (東京理科大学), 岡部信広 (広島大学), 中澤知洋 (名古屋大学), 田村隆幸 (JAXA/ISAS)

銀河団に含まれている重元素は、銀河の恒星内部の核融合や超新星爆発によって生成され、銀河間空間に供給された。銀河団の高温ガス (ICM) と銀河は、銀河団形成時から内部で生成された重元素を蓄えていると考えられるため、銀河団の重元素供給過程の解明は、星生成史やバリオンの進化を理解することに繋がる。銀河団全体の重元素供給過程を調べるためには、ICM と銀河中に含まれる重元素量に加え、重元素を供給する銀河 (恒星) と供給された重元素の分布の関係を調査することが良い指標となり、重元素質量-銀河光度 (質量) 比が調べられてきた。これまで、近赤外線 (K バンド) の銀河光度を用いて重元素質量-銀河光度比が調べられてきたが、K バンドは観測の感度が比較的浅いため、やや遠方の銀河団では光度の低い銀河の観測が十分でない可能性が指摘されていた (2016 年秋季年会 佐々木講演等)。

我々は、近傍銀河団 Abell 2199 銀河団について、可視光 (Sloan Digital Sky Survey)、近赤外線 (Two Micron All Sky Survey) の 2 つの波長帯の観測を用い、初期質量関数を仮定した銀河進化モデルを考慮することで銀河質量を評価し、鉄質量-銀河質量比を導出する方法を確立した。可視光帯域は、近赤外線に比べて深い観測が可能であることから、検出可能な銀河数が増加し先行研究では考慮されていなかった暗い銀河まで含めた銀河質量を計算することができた。今回求めた銀河質量は、先行研究で示された K バンド光度から換算した銀河質量と同程度になった。本講演では、本研究と先行研究で示された銀河団についても銀河質量評価の違い及び鉄質量-銀河質量比の違いを議論し、また、本研究を数値シミュレーションによる鉄質量-銀河質量比とも比較する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

T06a 銀河団などの中心領域にみられる平坦な元素/Fe 個数比分布

福島 光太郎, 小林 翔悟, 松下 恭子 (東京理科大学)

銀河団や銀河群/早期型銀河中心における高温ガスの元素組成比やその空間分布は、これらの天体の元素合成史を調べる重要な手がかりである。中心領域ガスの元素/Fe 比は Perseus をはじめ多くの天体で O, Ne から Ni まで太陽組成比に一致する (e.g., Hitomi Coll.+17; Mernier+18)。また中心銀河からの元素供給がある最中心で外側より低い Fe 組成比が測定される場合があり、星間塵への元素沈着などが提唱されている (e.g., Panagoulia+15)。例えば CCD では中心への Ne/Fe 比 (M87; Million+11) や Ar/Fe 比 (Centaurus; Lakhchaura+19) 増加が報告されていた。しかし我々は Centaurus 中心を XMM の回折格子 RGS により高精度分光・空間分解解析することで、Ne/Fe 比が平坦な半径分布をもつことを発見した (Fukushima+in press)。反応性の低い貴ガスが Fe と同じように星間塵へ貯蔵されるとは考えにくいと、星間塵貯蔵説により Fe などの組成比減少を説明することは難しい。

今回、X 線で明るい 7 つの銀河団 (M87 など)、7 つの銀河群/早期型銀河 (M49 など) の RGS 観測データに対して Centaurus での解析手法を適用した。電離平衡プラズマモデルによるスペクトルフィットから、すでに Fe 組成比減少の報告がある 7 天体 (Mernier+17) においても $\lesssim 60''$ では O/Fe, Ne/Fe, Mg/Fe 比がきわめて平坦な分布をもつことがわかった。これらの結果はプラズマコードの違い (AtomDB vs SPEXACT) によらなかった。しかし中心領域における比較的低いガス温度 (~ 1 keV) での Fe 組成比測定には、連続成分の推定や Fe-L 輝線のモデル化の不備由来する不定性がある。これらの不定性が中心領域の Fe 組成比減少の原因となっている可能性は依然として考慮する必要がある。講演では観測された元素/Fe 比のパターンと超新星元素合成モデルとの比較から推定される元素合成史についても議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

T07a すざく衛星と WISE 衛星の観測による銀河団の鉄質量-銀河光度比

荒川一樹, 松下恭子, 小林翔悟, 佐々木享, 福島光太郎 (東京理科大学)

銀河団では銀河内で合成された重元素の多くが銀河団ガス中に拡散されてきた。一方現在の銀河団銀河はほとんど星形成を行っておらず、銀河光度は長寿命の小質量星の全質量を反映する。そのため、銀河団内の重元素の質量と銀河団を構成する銀河の光度の比は銀河団における重元素合成、拡散史を知る上で重要な手がかりとなる。佐々木他、日本天文学会 2016 年春 (T05a) ではすざく衛星でヴィリアル半径までの観測が行われた近傍 (赤方偏移 0.06 以下) の 13 個の銀河団、銀河群のデータの解析から得られた銀河団ガスの鉄質量、2 ミクロン全天サーベイ (2MASS) による銀河光度を用いて求めた鉄質量-銀河光度比を報告した。ただし、2MASS では感度が悪く赤方偏移 0.03 より遠い天体では系統誤差が大きかった。光度関数を仮定し、未検出の銀河光度を推定したものの、求めた鉄質量-銀河光度比に銀河団により 2-3 倍のばらつきがみられた。

本研究では佐々木らが解析した銀河団、銀河群について、赤外線天文衛星「WISE」の 3.4 ミクロン帯域の観測データを用いて銀河光度を求めた結果を報告する。WISE 衛星でも全天サーベイを行なった結果、2MASS より暗い銀河まで検出されている。銀河と銀河以外の天体が混ざった WISE の観測データから等級や色指数を使って銀河のデータを抽出し、ヴィリアル半径より外のデータを用いて前景背景の銀河の寄与を差し引いた。すざく衛星の結果を用い、鉄質量-銀河光度比を求めた。その結果、2MASS のデータを用いたときに比べ r_{500} での銀河団の鉄質量-銀河光度比の分散は小さくなった。一方銀河群は鉄質量-銀河光度比が銀河団に比べ 20~50% となり WISE 衛星を用いても有意に銀河団より小さな値が得られた。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

T08a X線観測による銀河団中心領域の高温ガスの鉄分布の進化

土屋采那, 松下恭子, 小林翔悟, 米山理可子, 福島光太郎 (東京理科大学)

銀河団ガス内に含まれる鉄の量の赤方偏移依存性を調べることにより銀河団ガスへの鉄の供給時期を直接調べることができ、銀河団の星形成史や化学進化について理解する手がかりになる。Balestra+07 によつて、 $0.3 < z < 1.3$ の天体において、銀河団ガスの鉄の組成比と赤方偏移に負の相関があることが発見された。天体の中心領域について、Ettori+15 や McDonald+16 ではクールコアを持つ天体では鉄組成比と赤方偏移に負の相関があり、クールコアを持たない天体では誤差の範囲で一定であると報告された。また中心領域より外側については、鉄組成比は赤方偏移に依らず一定となることが報告されている (Liu+20, Ettori+15)

21 年春季 米山講演では、XMM 衛星で観測された $z < 0.7$ の 48 天体、 $z > 1.0$ の 1 天体について、 $0.15 r_{500}$ 以内の領域でのアバダンス、鉄の質量、鉄の質量/中心銀河の質量はエントロピーと負の相関を持ち、そしてこれらの相関に赤方偏移依存性が無いことが報告された。本研究の目的は空間分解能の高い Chandra 衛星の観測データを用いてより内側の領域への重元素供給について調べることである。 $z < 0.7$ の 10 天体 $0.3 < z < 0.7$ の 13 天体、 $z > 0.7$ の 2 天体について、XMM 衛星と Chandra 衛星のデータの解析結果を用いて鉄の質量を求めた。 $0.05 r_{500}$ の領域において、鉄の質量/中心銀河の質量とクールコアの強さの指標であるエントロピーには負の相関が見られた。この関係に赤方偏移依存性は見られなかった。鉄の質量の供給のタイムスケールも考えることにより、先行研究で見られたクールコアでの鉄組成比と赤方偏移の負の相関について議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

T09a 銀河団衝突による電波ハローの駆動と大質量銀河団からのニュートリノ背景放射

西脇公祐 (東京大学), 浅野勝晃 (東京大学), 村瀬孔大 (ペンシルバニア州立大学/京都大学)

IceCube によって、10 TeV から 1 PeV に及ぶ高エネルギーニュートリノの背景放射が発見されたが、その起源は未だ明らかになっていない。銀河団はその候補の一つであり、銀河団内物質中に蓄えられた宇宙線陽子が熱的陽子との衝突 (pp 衝突) を介してニュートリノを放射すると考えられている。一方、一部の大質量銀河団からは相対論的電子の存在を示す広がった電波放射が観測されている。特に巨大電波ハローと呼ばれる放射は、衝突合体で生じた乱流による相対論的電子の再加速によって駆動されると考えられている。

本研究では、pp 衝突による電子注入と銀河団衝突による乱流再加速に着目し、銀河団の電波放射とニュートリノ放射の関係を調べた。乱流再加速による放射スペクトルの時間発展と、衝突による銀河団成長のモンテカルロシミュレーションを組み合わせ、非熱的放射の光度関数とその赤方偏移進化を計算した。これを電波ハローの観測と比較した結果、再加速の種となる相対論的電子が pp 衝突起源か否かによって、乱流加速の駆動に要求される衝突の質量比が大きく異なることが明らかになった。また、電波観測によって制限されたモデルを用いてニュートリノ背景放射を計算した。その結果、大質量銀河団 ($M_{500} > 10^{14} M_{\odot}$) の衝突に伴って加速された宇宙線からのニュートリノ放射は、IceCube フラックスに $\sim 1\%$ 程度寄与しうることが明らかになった。低質量銀河団では活動銀河核の寄与が無視できないため、この結果は全銀河団からの寄与に対する下限値であると考えられる。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

T10c Galaxy Group Finding via Unsupervised Machine Learning

Hai-Xia MA (1), Tsutomu T. TAKEUCHI (1, 2), Suchetha COORAY (1)
(1) Nagoya University; (2) Institute for Statistical Mathematics

As one of the most popular unsupervised classification techniques, clustering is the task of dividing the population or data points into a number of groups such that data points in the same groups are more similar to other data points in the same group than those in other groups. In an astrophysical context, clustering is to assign galaxies into galaxy groups. In this work, We create a sample of identified galaxy groups with $0.01 < z < 0.20$ from the Sloan Digital Sky Survey (SDSS) Data Release 7 (DR7). We apply a variety of unsupervised machine learning methods: Dynamic Friends-of-Friends (DFoF), Gaussian Mixture Models and its variants (GMMs), and Ordering points to identify the clustering structure (OPTICS). We perform a test of the clustering results obtained by different methods in terms of completeness and contamination. With fixed free parameters, all the clustering algorithms produce the best group catalogues as quantified by the statistics. The results demonstrate that the OPTICS and Extreme Deconvolution GMM (XDGM) are robust group finders that are efficient in determining a wide variety of group shapes and sizes with very low contamination. We also investigate the gravitational dynamics and group properties of these galaxy groups.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

U01a 宇宙論的 VLASOV シミュレーションで探るニュートリノの性質: N -body シミュレーションとの比較

田中賢 (京都大学), 吉川耕司 (筑波大学), 吉田直紀 (Kavli IPMU/東京大学), 斎藤俊 (ミズーリ工科大学)

ニュートリノの振動の発見により、ニュートリノには微小ながらも質量があることがわかっているがその絶対質量や各世代の質量階層構造は未だに解明されていない。一方、宇宙初期のビッグバンにおいて光子に匹敵する量のニュートリノが生成されており、質量を持ったニュートリノは大規模構造形成の重力相互作用に寄与することが考えられている。コールドダークマターとニュートリノの非線形効果を考慮した構造形成を計算するためには数値シミュレーションが必須であるが、質量が小さく速度分散が大きいニュートリノを正確に取り扱うには一般的に用いられている N -body シミュレーションではショットノイズなどの影響が無視できないという問題がある。そこで我々のグループは 6 次元位相空間上の分布関数を Vlasov (無衝突 Boltzmann) 方程式で数値的に計算するコードを開発し、ショットノイズの影響なしにニュートリノの運動を解くことを可能とした。

本講演では計算精度や解像度を変えた Vlasov シミュレーションと粒子数を変えた N -body シミュレーションを同じ初期条件のもとで大規模構造形成シミュレーションを行い、それぞれの手法が結果に与える影響を詳細に調べた。冷たい成分であるコールドダークマターが大部分を占めるトータルマターの密度のゆらぎのパワースペクトルでは手法に依らずほぼ違いは見られなかったが、熱い成分であるニュートリノに注目するとショットノイズの影響が大きく、手法による違いが大きく現れた。Vlasov シミュレーションでないとノイズに埋もれてわからなかったニュートリノの非線形領域での物理的な性質を紹介する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

U02a Simons Array 実験, POLARBEAR 実験の蟹座星雲の観測による Axion 探索

山田恭平 (東京大), 金子大輔 (KEK 素核研), 日下暁人 (東京大), 高取沙悠理 (総研大), 高倉理 (Colorado Boulder), 茅根裕司 (東京大), 西野玄記 (JASRI), 羽澄昌史 (KEK 素核研), 長谷川雅也 (KEK 素核研), 廣瀬開陽 (横浜国大), 松田フレドリック (ISAS) 他 POLARBEAR コラボレーション

宇宙マイクロ波背景放射 (CMB) の観測技術を用いた暗黒物質探索、特に宇宙の小スケール問題から注目されている ultra-light axion-like particle (ALP) の探索について報告する。ALP は光子と相互作用し、ALP の場を伝搬する光子の偏光をわずかに振動させる。本研究では CMB の観測に於いて較正のために観測されてきた蟹座星雲に注目する。蟹座星雲は CMB の周波数領域で特に明るい偏光点源であり、その観測から偏光角の絶対較正が行われてきた。現在従来の較正に加え、Axion 探索を目指した蟹座星雲の重点的な観測が Simons Array 実験 (SA) で計画・進行中である。SA の観測データとその前世代実験 POLARBEAR の観測データを用いて、一日から数年の時間スケールで蟹座星雲の偏光角の時間変動を評価し、 $1e-21$ eV から $1e-20$ eV の質量領域で ALP の探索を行う。本講演で進捗状況について報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

U03a インフレーション起源 B モード検出に向けた E/B モード分離手法の性能評価

茅根裕司, 日下暁人 (東京大学, Lawrence Berkeley National Laboratory), Reijo Kesitalo (Lawrence Berkeley National Laboratory)

インフレーション起源の原始重力波を検出するためには、宇宙マイクロ波背景放射 (CMB) に刻み込まれた B モードと呼ばれる特殊な直線偏光パターンを、数度角及び数十度角スケールで観測することが有効である。観測により原始重力波の大きさが決定できれば、数多く存在するインフレーションモデルの峻別が可能となり、また地上では困難な大統一理論 (GUT) スケールの超高エネルギー物理の検証にもつながると期待されている。

測定感度が向上し統計誤差が小さくなって行く中、様々な系統誤差、特にデータ解析を起源とする系統誤差の影響が無視できなくなっている。特に取得された膨大な時系列データに適切なフィルタリングを施し、二次元の空でのマップを作成する際に生じるモードの混合、所謂『 E/B mixing』が大きな問題となっている。

本発表では、昨年の発表に引き続き“Observation Matrix”を用いた E/B モード分離手法の開発状況について報告すると共に、様々な観測・解析条件下に於ける性能評価の比較についても報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

U04a 精密銀河団宇宙論に向けた銀河団形成史と観測量の関係の研究

Seongwhan YOON (名古屋大学), 宮武広直 (名古屋大学), 永井大輔 (Yale 大学), Erwin Lau (Harvard 大学), Andrew Hearin (Argonne 国立研究所)

これまでの宇宙論研究により、我々の宇宙が加速膨張していることが明らかになった。今まで構築された標準宇宙論では宇宙定数と呼ばれる項を数学的に導入して加速膨張を説明するが、宇宙定数の物理的な起源はまだ理解されていない。それに、最近の研究によると、宇宙の膨張速度を表すハッブル定数 (H_0) やパワースペクトルの振幅を表す σ_8 の制限が様々な測定方法で一致しない可能性が指摘されている。このような状況において、標準宇宙論の徹底検証が現代の宇宙論分野における重要課題となっている。宇宙論モデルを検証するため様々な方法が提案されているが、その中の一つとして銀河団を用いる方法がある。銀河団の単位体積・単位質量あたりの個数密度 (質量関数) は宇宙の膨張史に敏感なので、質量を調べることで宇宙論モデルの検証ができる。銀河団を用いて宇宙論モデルを検証する上で、銀河団の選択関数の定量化、観測量と銀河団質量の関係、重力レンズ信号へのバリオンの影響を理解することが重要である。そのためには、バリオンを含む流体シミュレーションを走らせる必要があるが、広い範囲の宇宙論パラメータ空間やバリオン物理の不定性を網羅した宇宙論的スケールの流体シミュレーション群を走らせるのは計算時間の面で現実的に難しい。そこで、我々の研究グループでは、小スケールのバリオン入りのシミュレーションからバリオンの影響をパラメータ化して抜き出し、暗黒物質のみの宇宙論的シミュレーションに貼り付ける Baryon Pasting 法 (BP 法) を開発している。本研究では、特に銀河団の形成過程と X 線、スニヤエフ・ゼルドビッチ効果、弱重力レンズ効果などの観測量との関係を調べ、BP 法の高精度化を行う。本講演では今までに得られた成果の報告を行う。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

U05a 宇宙の大規模構造の自律的エミュレータに向けたサンプリング法の開発

西道啓博, 田中賢 (京都大学基礎物理学研究所), 小林洋祐 (アリゾナ大), 宮武広直 (名古屋大)

宇宙論的 N 体シミュレーションは、宇宙の大規模構造の形成を定量的に与える強力な手段として確立してきた。しかるに、その計算コストの大きさのために、数十万から数百万の宇宙論パラメータの組み合わせに対してこれを実行し、観測データと照らして尤もらしい宇宙論パラメータを導き出すような使い方は事実上不可能である。我々が推進するダーククエスト計画では、数百から数千程度の現実的な時間で構築可能なシミュレーションデータベースから、目標となる統計量を抽出し、その宇宙論パラメータ依存性を学習する統計モデル DarkEmulator を構築した (Nishimichi et al. 2019)。これをすばる望遠鏡 Hyper Suprime-Cam (HSC) サーベイと Sloan Digital Sky Survey (SDSS) のデータを組み合わせて行う銀河・銀河弱レンズ効果、銀河クラスターリングの統合解析に応用することで、シミュレーションに基づく統計推論を実質的に可能とした (2021 年秋季年会、U04a、宮武ら)。

本講演では、今後の観測データの更なる拡充を念頭に、考慮する宇宙モデルの拡張や、エミュレータの精度向上のためのデータベースの増強の最適化について議論する。その好例として暗黒エネルギーの状態方程式パラメータ w に着目し、これまでのダーククエスト計画ではカバーされなかったものの、既存の観測データと整合的な領域を効率良く埋める方法を紹介する。我々は、上記の統計解析 (Planck 衛星の観測データもあわせて考慮) から得られた宇宙論パラメータの事後確率分布に正規化流を施すことで潜在変数に変換し、 4σ 以内に相当する領域に対して Sobol' 列を生成する手法を採用した。これにより、良い空間充填性を保ったまま、必要な精度に到達するまで逐次的にシミュレーションデータを追加していくことを可能とした。この手法は、観測データに照らして調査すべきパラメータ領域を自動的に判断し、データベースを更新する「自律的エミュレータ」への第一歩と言える。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

U06a 機械学習を用いた SDSS 銀河パワースペクトルの宇宙論解析

小林洋祐 (University of Arizona), 西道啓博 (京都大学), 高田昌広 (カブリ数物連携宇宙研究機構), 宮武広直 (名古屋大学)

宇宙の大規模構造に広がる銀河の 3 次元的空间分布を観測する銀河分光サーベイは、大規模構造の情報を得る強力な観測手段である。特に、サーベイで測定される銀河分布のパワースペクトル (フーリエ空間上の 2 点相関) は、大規模構造から宇宙論モデルを制限する上で最も基本的で重要な統計量である。従来、こうした銀河分布の統計量からの宇宙論推定には、宇宙の密度揺らぎを小さいとしてそれを展開する、摂動論に基づく解析的な理論予言が用いられてきた。しかし摂動論では、重力相互作用によって揺らぎが大きく成長する小スケールでの物質の分布を正確に記述することができない。また観測される銀河の分布とその背後にある物質分布との間のバイアス、さらに銀河の固有運動に起因する見かけ上の分布の非等方性 (赤方偏移空間歪み) も摂動的に取り扱わざるを得なかった。

これに対して、我々は大規模構造の形成を再現する N 体シミュレーションのデータをニューラルネットワークに学習させることで、揺らぎの摂動展開によらずに銀河パワースペクトルを高速かつ精密に予言するコード (エミュレータと呼称する) を開発した。本研究で、我々はこのエミュレータをスローン・デジタル・スカイ・サーベイ (SDSS) の分光観測で得られた銀河パワースペクトルの測定データに適用し、宇宙論パラメータの推定を行った。これは、ニューラルネットワークを用いた大規模構造の理論予言で実際の観測データから宇宙論パラメータを推定した世界初の研究であり、特に初期揺らぎの大きさを特徴づける σ_8 を摂動論に基づく解析を上回る精度 (5% 以内) で推定している。本講演で本研究の概要を述べ、今後の展望についても触れる。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

U07a 21cm 線強度マップの画像解析による暗黒物質質量探査

村上広椰 (名古屋大学), 西澤淳 (岐阜聖徳学園大学), 長峯健太郎 (大阪大学), 清水一紘 (四国学院大学)

本講演では機械学習を用いて再電離後の宇宙における 21cm 線強度マップの画像を解析し、暗黒物質質量の探査を行う。暗黒物質質量は宇宙の物質分布の小スケールの構造に影響を与えるため、21cm 強度マップから得られる中性水素の分布を解析することで暗黒物質質量についての情報を得ることができる。

本研究では流体シミュレーションを利用して、電波干渉計 Square Kilometer Array (SKA) による将来観測を想定した擬似データを作成する。この擬似データについて、機械学習による解析と既存の手法である二点統計を用いた解析と比較し、暗黒物質質量探査のための物質分布の解析手法として機械学習が優れた手法であることを示す。

また、本研究で用いる流体シミュレーションコードは星形成、超新星爆発フィードバック、背景紫外線場及びその自己遮蔽効果、金属線冷却、などの物理過程を含めたシミュレーションを行うことができる。これらの物理過程は中性水素の分布に影響を及ぼすため、本研究ではこれらの影響を網羅的に探査し、機械学習による暗黒物質探査に与える影響について議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

U08a uGMRT による相互相関を用いた再電離終了時期 21cm 線の探査

吉浦伸太郎 (国立天文台水沢 VLBI 観測所)

宇宙再電離期中性水素由来の 21cm 線は当時の銀河間物質中の中性水素ガスの分布を明らかにする事ができるため、初期の銀河の性質や電離史を探査する上で非常に重要な観測量である。ただし、微弱な 21cm 線の信号に対して、銀河系シンクロトロン放射などの前景放射は 3 桁以上明るく、21cm 線検出には前景放射除去が不可欠である。そうした前景放射の影響を軽減する有用な解析が 21cm 線と他の観測量との相互相関である。例えば、中性なガスから放射される 21cm 線の分布は電離源である遠方銀河の分布と強く反相関すると期待されているため、すばる望遠鏡 HSC などで観測されているライマンアルファエミッター (LAE) などの遠方銀河の空間分布と 21cm 線の相互相関は銀河と電離進化の関係を調べる上で有用な観測量である。近年では再電離の終了時期がこれまでよりも遅いという議論や遠方の電波背景放射が存在する可能性なども議論されているが、そのような極端なモデルも 21cm 線と遠方銀河の相互相関を用いて調査する事ができる可能性がある。本研究では、現在進行中の、電波望遠鏡 uGMRT による赤方偏移 5.7 の 21cm 線観測を想定し、uGMRT と HSC の組み合わせで制限できる 21cm 線のモデルを調査した。まず、21cm 線と前景放射のモデルを組み合わせることで uGMRT を想定した現実的な観測シミュレーションを作成した。さらに、そのデータを用いて現実的な前景放射除去とイメージングソフトウェアを用いた 21cm 線の解析パイプラインの開発を行った。このシミュレーションと HSC の LAE 観測領域を想定した上で観測可能性を議論したところ、およそ 20 平方度の観測領域があればこのパイプラインを用いて 21cm 線の検出が可能である事や、例えば再電離が想定より遅い上にガスが冷たい極端なモデルを棄却できる事がわかった。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

U09a 月面低周波電波干渉計による科学：暗黒時代 21cm 線による宇宙論

山内大介 (神奈川大学), 井口聖 (自然科学研究機構国立天文台), 大西利和 (大阪公立大学), 高橋慶太郎 (熊本大学), 土屋史紀 (東北大学), 磯部直樹, 岩田隆浩, 関本裕太郎, 宮崎康行, 山田亨, 佐伯孝尚, 森治, 吉光徹雄 (宇宙科学研究所)

中性水素の超微細構造遷移による 21cm 線は、現在および将来の観測的宇宙論において中心的な役割を演じると考えられている。中性水素は、星や銀河などが存在しなくても宇宙に広く存在していることから、中性水素 21cm 線は暗黒時代や宇宙再電離期のユニークな観測量となる。また、暗黒時代は宇宙物理的過程による不定性がないため、原始宇宙の情報がそのまま残されていると考えられており、暗黒時代における中性水素 21cm 線を通じて原始宇宙を探索出来る。その中でも、暗黒時代 21cm 線を空間的に平均した信号 (グローバルシグナル) は、宇宙論のみで記述され、その差異を通じて標準宇宙論の破れを探ることが出来ることから重要である。しかし、暗黒時代 21cm 線に対応する周波数は 50 MHz 以下と非常に低いため、地球上では観測することは難しいことが知られている。そのため、月面や月周回軌道などでの観測計画が近年活発に議論されている。現在、暗黒時代 21cm 線に代表される超低周波電波の観測および測定の実現を目指し、月面低周波干渉計に関するフィジビリティスタディが進められている。本講演では、この観測計画に関して概観するとともに、暗黒時代 21cm 線、特にグローバルシグナルの観測可能性について科学検討の結果を報告する。また、将来的に測定が期待されている 21cm 線の空間的な揺らぎについての検討状況についても報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

U10b Fast method for generating mock line intensity maps based on hydrodynamical simulations

Rui Lan Zhang, Kana Moriwaki (UTokyo)

Large-scale structure provides information that allows us to constrain the cosmological model. For accurate constraints to be obtained, large volumes need to be mapped to reduce cosmic variance. In contrast to galaxy surveys which detect individual galaxies, line intensity mapping measures the emission of spectral lines from many sources collectively, thus providing a much faster way to map the universe. Its ability to detect contributions from faint galaxies undetected in galaxy surveys also means that deeper redshifts can be probed. In order to analyse the intensity mapping observations, it is necessary to generate many independent realisations of mock intensity maps to evaluate statistical uncertainties and systematic errors.

We develop a new method for generating mock data using a dark matter halo catalogue generator, PINOCHIO, based on Lagrangian Perturbation Theory, allowing it to be faster than a conventional N-body simulation. We find a correlation between halo mass and SFR in hydrodynamical simulations, EAGLE and TNG. We use this and the halo occupation distributions to assign emission lines to halos. This enables the rapid generation of many mock intensity maps, with cubic volumes as large as 2Gpc on a side at redshift ~ 2 . Using the same method, galaxy catalogues can also be generated, allowing cross-correlation predictions between future galaxy surveys and intensity maps, such as JWST and SPHEREx. These mock catalogues can be used for estimating uncertainties in future constraints as well as training machine learning models for data analysis.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

U11b 宇宙再電離期における天体形成の可能性

照井 勇登 (防衛大学校), 釜谷 秀幸 (防衛大学校)

近傍宇宙の観測によると、バリオン総量のうちせいぜい 10 パーセント程度が銀河や銀河団といった天体を形成している。エックス線観測による銀河間物質の測定やガンマ線観測からの示唆からも、必要とされるバリオン量の半分程度しか説明することができていない。残りのバリオンがどのような形態でどこに存在するのかを明らかにすることは、現代の構造形成の詳細を詳らかにするために必修の研究である。

こういったミッシングバリオンの正体を明らかにするためには、近傍宇宙における天体形成と直接的に関わる宇宙再電離期における構造形成過程の詳細を明らかにする必要があるだろう。しかしこの時期の観測は困難を極めるため、可能な限りの構造形成過程の作業モデルを組み立て、様々な天体形成過程を吟味することはまだまだ意義のある研究である。特に、近傍銀河における星間物質や銀河間物質の研究を拡張する作業は、比較検討しうる研究成果が積み重ねられているため、作業モデルの構築に大きなヒントを与えるはずである。

そこで本研究では、宇宙再電離直前 ($z \sim 10$) における極金属欠乏銀河 (EMPG) から噴出した銀河風に伴う衝撃波 (shock wave) による天体形成の可能性を吟味した。EMPG は、この時期の主要な銀河と期待でき、さらに高い星形成率が見られ、銀河風が噴出するはずである。我々はまずこの銀河風に伴う衝撃波による温度変化を $\gamma \sim 0.0001$ 程度で近似できることを見出した。この γ に相当する衝撃波層のバリオン密度比は 1 万程度となり、これは EMPG による天体形成がトリガーしうることを示唆する。講演では、どの程度の規模の天体が形成されるかについて論じる予定である。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

U12a 粒子軌道に基づくダークマターハロー中心部の密度構造の解析

柄本耀介 (京都大学), 樽家篤史 (基礎物理学研究所), 西道啓博 (基礎物理学研究所)

ダークマターハローの重力進化とその内部構造の解明は、天文観測からダークマター候補を峻別する上でも重要である。冷たい暗黒物質 (Cold Dark Matter, CDM) の場合、速度分散がほぼゼロのダークマター粒子が質量降着することにより、ハロー内部のダークマターの位相空間分布には、マルチストリームと呼ばれる特徴的な多層構造が現れる。先行研究 (Sugiura, et al., 2019) は、宇宙論的 N 体シミュレーションを用いて、ダークマター粒子の遠点通過数をカウントし、ハロー外縁部に現れるマルチストリーム構造を分解、その動径位相空間分布を自己相似解と定量的に比較した。

本研究では、この手法をより高解像度のシミュレーションに適用してハロー中心部の構造を解析するため、ハローの形成史に基づいた新たなハロー中心決定法を導入した。新たな解析手法で粒子の遠点通過数をカウントした結果、遠点通過数 50 を超えるような中心部のストリームまで分解することに成功し、それらの動径密度分布が中心部の冪が $-1 \sim -2$ 、外縁部が $-7 \sim -9$ となる二重冪則で表されることが明らかになった。さらに、これらの重ね合わせが Navarro-Frenk-White (NFW) プロファイルとよく一致することもわかった。本講演では、個々のストリームの構造に見られる普遍的な密度構造とハローの質量降着史との関係について議論し、NFW プロファイルの中心カスプの成り立ちについて考察を行う。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

U13a ダークマターハロー由来の熱制動放射

阿部克哉 (名古屋大学), 田代寛之 (名古屋大学)

制動放射はプラズマ粒子の熱運動に由来する宇宙で普遍的な放射の一つである。その放射強度は自由電子の二乗に比例するため、ダークマターハローも有力な放射源の一つである。ダークマターハローの内部に降着したバリオンガスは、その重力エネルギーを開放することでダークマターハローの質量に応じた高温電離状態となっており、こうした電離ガスは制動放射によって強い電波を放射していると考えられる。そこで本研究では、ダークマターハロー内のバリオンの密度構造と温度構造を考慮することで、ダークマターハロー由来の制動放射の強度と背景放射としての制動放射の非等方性を見積もり、そのハロー質量、赤方偏移依存性についても調べた。その結果、比較的低い質量のハローほどより大きい寄与をもたらすことがわかり、小スケールのダークマターハロー探査として、背景放射としての制動放射観測が有効であることがわかった。本講演では、これらの結果について触れるとともに、ダークマターハロー由来の制動放射精密測定が小スケールの密度ゆらぎの解明に繋がる可能性があることについても議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)[スケジュール \(全体\) に戻る](#)[講演者索引 TOP に戻る](#)

U14a HSC サーベイ初年度データのコスミックシア COSEBIs 解析による E/B モード分解と宇宙論パラメーター推定

浜名崇 (国立天文台), 日影千秋 (東京大学), 大栗真宗 (千葉大学), 白崎正人 (国立天文台/統計数理研究所), Surhud More (The Inter-University Center for Astronomy and Astrophysics, Pune)

Complete Orthogonal Sets of E/B-Integrals (COSEBIs) はコスミックシア場を 2 点相関関数を介して E/B 分解する二点統計量である。我々は HSC サーベイ初年度弱重力レンズカタログのコスミックシア COSEBIs 解析を行い宇宙論パラメーターの制限を求めた。E モードの測定値より標準的ベイジアン統計解析法を用いて宇宙論パラメーター推定を行なった。その際に、銀河の intrinsic alignment 効果、point spread function の測定と推定の誤差、コスミックシアの較正誤差、ソース銀河の赤方偏移分布推定の誤差といった系統誤差の寄与も統計解析に取り入れている。データの共分散行列は全天重力レンズシミュレーションデータから求めており、サーベイ形状や測定誤差の影響も取り入れている。平坦な Λ cold dark matter モデルを仮定した場合、 $S_8 \equiv \sigma_8 \Omega_m / 0.3 = 0.809^{+0.036}_{-0.026}$ の制限を得た。この結果に対する系統誤差や採用しているモデルの不定性による影響を調べ、それらの影響はこの制限域より十分小さいという結果を得た。B モードの測定値に関してはゼロシグナルと無矛盾であるという結果を得た。さらに、他の HSC サーベイ初年度のコスミックシア二点統計量 (power spectrum, 二点相関関数) による S_8 の制限結果と比較し COSEBIs を含めた 3 つの結果はお互いに整合的であるという結論を得た。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)[スケジュール \(全体\) に戻る](#)[講演者索引 TOP に戻る](#)

U15a すばる HSC の 3 年度データと SDSS データを用いた宇宙論解析：弱重力レンズ+銀河-弱重力レンズ+銀河クラスタリングの統合解析

杉山素直 (1), 高田昌広 (2), 宮武広直 (3), More Surhud (4), Li Xiangchong (5), 他 HSC collaboration members, (1. University of Tokyo, 2. Kavli IPMU, 3. Kobayashi Masukawa Institute, 4. The Inter-University Centre for Astronomy and Astrophysics, 5. Carnegie Mellon University)

すばる HSC をはじめとする広天域銀河サーベイを使って宇宙の大規模構造を調べる手法は宇宙論パラメタを数%レベルで推定することが可能になってきており、精密宇宙論と呼ばれるまでに成長してきた。中でも、CMB の観測と銀河サーベイから独立に推定された宇宙論パラメタの間に見られる 2σ 程度の不一致は宇宙の標準模型 (Λ CDM) を超えた物理を示唆している可能性があり、今後の銀河サーベイによる統計精度の向上によってこの問題を詳細に調べることが可能になると期待される。本講演ではすばる HSC の 3 年度までの観測で得られた銀河の形状カタログと Sloan Digital Sky Survey (SDSS) の分光サーベイで得られた銀河カタログを使用した宇宙論解析について発表する。HSC と SDSS の二つのカタログを用いることで、弱重力レンズ、銀河-弱重力レンズ、銀河クラスタリングの 3 つの 2 点相関関数を測定した。これらの 3 種類の 2 点相関関数を、すばる HSC の初年度の解析に用いたモデルを用いて同時に統合解析することで宇宙論パラメタの推定を行った。解析には、シミュレーションと HOD に基づくモデルと摂動論的描像に基づいた銀河バイアスモデルの 2 種類を用いており、それぞれ小スケールと大スケールの信号を用いて解析した。いずれの解析も解析者の確認バイアスを避けるためにブラインド解析を行い、その間に信号の系統誤差のテストや模擬データを用いたモデルや解析条件の検証などを行い、最終結果がロバストであることを保証する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

U16a SDSS 及びすばる HSC で測定した弱重力レンズ、クラスタリング、赤方偏移歪みを用いた一般相対性理論の検証

中沢准昭 (名古屋大学), 宮武広直 (名古屋大学素粒子宇宙起源研究所), 砂山朋美 (名古屋大学素粒子宇宙起源研究所), HSC SSP サーベイコラボレーション

宇宙の加速膨張は現代宇宙論における最も大きな問題の一つである。一般相対性理論を基礎として構築された Λ CDM 標準模型は宇宙の加速膨張を宇宙項によって説明しているが、その正体は全くの不明である。そこで、一般相対性理論が宇宙論的スケールで適用できるかどうかの検証を行うことは非常に重要である。本研究では、一般相対性理論を宇宙の大規模構造から E_G と呼ばれる銀河弱重力レンズ、銀河クラスタリング、赤方偏移歪みを組み合わせた観測量を測定することで検証する。宇宙の大規模構造の測定量の一つである赤方偏移歪みからは $\beta = f/b$ が得られる。ここで線形成長率 f は一般相対性理論の破れに敏感であるが、銀河バイアス b は銀河サンプルに依存するものであり赤方偏移歪みの測定からは得ることができない。ところが、赤方偏移歪みに用いた銀河サンプルの弱重力レンズ信号とクラスタリング信号を組み合わせることで銀河バイアス b を測定することが可能である。よって、この 3 つの観測量を組み合わせることで、線形成長率 f を取り出すことが可能である。本研究では SDSS の CMASS 銀河サンプルと HSC の 3 年目までのデータを用いて E_G の制限を行った。本講演では、 E_G を用いた一般相対性理論の検証手法の紹介、そして E_G の測定結果を報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

U17a 測光的赤方偏移推定におけるブレンド天体の影響

西澤淳 (岐阜聖徳大), Maxime Paillassa, 宮武広直, Suchetha Cooray (名古屋大)

すばる望遠鏡の HSC や Vera C. Rubin 観測所の LSST サーベイなどによる高感度なイメージング観測においては、複数の銀河が重なり合って観測されるブレンドという現象がしばしば起こる。銀河同士が重なり合うと、個々の銀河のフラックスや形状を正確に測定できず、精密宇宙論においては考慮すべき系統誤差となり得る。

通常、画像処理パイプラインでは、天体の形状を測定し、その天体が複数成分から構成されているかどうかを判定し、フィットを行う。しかし、地上望遠鏡のデータは、大気による影響で像がぼやけるため、複数の天体が重なり合っている場合でも一つの天体として検出してしまうことがある。我々は COSMOS 領域において、地上望遠鏡の HSC データと宇宙望遠鏡の HST データを照合することで、HSC パイプラインでは検出できないブレンドした天体を発見した。また、このデータをもとに画像生成シミュレーションによって擬似的なブレンド天体のデータを作成した。

本講演では、可視イメージング観測の広帯域フィルターを用いた測光的赤方偏移の推定において、複数の銀河がブレンドする距離、両者の SN の大小関係、ブレンドする銀河の色などによってどの程度の影響を受けるかを網羅的に調査した結果について報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)[スケジュール \(全体\) に戻る](#)[講演者索引 TOP に戻る](#)U18a Lyman α forest の 3 次元パワースペクトルによる構造成長率の制限

中島光一郎 (名古屋大学), 西澤淳 (岐阜聖徳学園大学), 田代寛之, 長谷川賢二, 柏野大地, 村上広椰 (名古屋大学), 長峯健太郎 (大阪大学), 清水一紘 (四国学院大学)

現在の宇宙加速膨張の起源は宇宙論における大きな謎の一つである。この加速膨張を説明するためにダークエネルギーや修正重力理論などが提唱されている。一般相対性理論からのずれを考える修正重力理論には様々なモデルがあり、観測的には密度揺らぎの重力成長に関する 2 つの宇宙論パラメータの組み合わせ $f\sigma_8$ により制限される。 $f\sigma_8$ はこれまで銀河分布の観測によって制限されてきた。銀河スケールにおける構造の重力成長は、銀河の特異速度と対応する。ここで特異速度によるドップラー効果は見かけ上の銀河の位置を観測者の視線方向にずらすため、銀河の統計量は非等方になる。この現象は赤方偏移空間歪み (RSD) と呼ばれ、 $f\sigma_8$ の制限に利用されている。近年は銀河に代わって中性水素分布による RSD 検出の可能性が議論されており、その観測として Lyman α forest (LAF) が有望視されている。

本研究では、LAF 観測による $f\sigma_8$ の制限可能性を調査した。RSD 解析には LAF の 3 次元パワースペクトルを用いるが、 $f\sigma_8$ を正しく制限するためには、構造成長の非線形性が優位になる小スケールのパワースペクトルを正確に予言する必要がある。宇宙論的流体シミュレーションを行い非線形パワースペクトルの予言を行うとともに、すばる Prime Focus Spectrograph (PFS) による分光観測を仮定した $f\sigma_8$ の制限可能性を議論した。本講演では、宇宙論的流体シミュレーションを用いた PFS 模擬データの作成、LAF の 3 次元パワースペクトルを用いた解析手法の紹介、 $z \sim 2-3$ での $f\sigma_8$ に対する制限予測と必要なサーベイパラメータについて議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)[スケジュール \(全体\) に戻る](#)[講演者索引 TOP に戻る](#)

U19a 重力波の再構成時に発生する偏極モード間におけるエネルギーの漏れ分析

具島侑也, 端山和大 (福岡大学)

重力波には偏極があり、アインシュタインの一般相対性理論では、重力波はテンソルモードと呼ばれるプラスモードとクロスモードの2つの偏極のみ持つことが許されている。一方、一般の計量重力理論では2つのスカラーモードと2つのベクトルモードを加えた最大6つの偏極を持つことが許されている。重力波がどの偏極を持つかは重力理論に依存しているため、重力理論モデルに依存しない方法で重力波の偏極を調べることは、重力理論の検証に重要である。また、重力波の持つ偏極の数以上の重力波望遠鏡で観測ができ、重力波の到来方向が分かると、これらの偏極を観測データから再構成することができる。しかし、重力波の偏極を再構成する際、ほかの偏極からのエネルギーの漏れにより実際よりも大きく再構成されてしまうことがある。また、この偏極モード間の漏れの大きさは重力波の到来方向や重力波望遠鏡の数によって異なることが分かっている。本講演では、偏極モード間での漏れの分析として、テンソルモードのみを持つ重力波が観測されたとき、スカラーモードにどれぐらいの漏れが生じるか全地球位置でシミュレーションした結果について報告する。

[スケジュール\(セッション毎\)に戻る](#)[スケジュール\(全体\)に戻る](#)[講演者索引 TOP に戻る](#)

V101a 広帯域受信機のための高温超伝導マルチバンド帯域阻止フィルタの基礎検討

湯山 義崇, 作間 啓太, 關谷 尚人 (山梨大学), 赤堀 卓也 (国立天文台), 新沼 浩太郎 (山口大学)

センチ波帯域は FRB, マグネターや AGN のアウトバーストに代表されるような極限環境下の非熱的なコヒーレント放射やインコヒーレント放射を捉えることのできる最も重要な周波数帯であるが, 近年, 衛星通信や携帯電話による電波干渉 (RFI) が増え, 広帯域観測に支障をきたしている. これに対して, 広帯域にわたりすべての RFI を除去するためには帯域阻止フィルタ (BRF) を高密度実装できる小型・高性能超伝導マルチバンド帯域阻止フィルタ (MB-BRF) の開発が必要不可欠である. しかしながら, 広帯域にわたって 4 つ以上の帯域を持つ常伝導及び超伝導 MB-BRF の報告例はない. そこで, 本研究では 7 つの帯域を持つ広帯域 (6~18 GHz) 超伝導 MB-BRF の設計を通して, 基礎的な設計指針を明らかにしたので報告する. 超伝導 MB-BRF の設計条件は中心周波数を 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18 GHz とし, 各帯域の帯域幅を約 100 MHz とした. 明らかとなった設計時に考慮しなければいけない重要な設計指針は次の 2 点である. 1 つ目は低域側 (6~10 GHz) の BRF の高調波が帯域内に発生しないようにすること. 2 つ目は MB-BRF を収納する筐体が空洞共振器とし動作するため, 帯域内に共振が発生しない筐体サイズを選ぶこと. 1 つ目の設計指針は共振器形状の工夫で解決できる. 2 つ目は筐体サイズが制限されるが, 筐体を従属接続していくことで, BRF の数を増やすことが可能である. しかしながら, 接続数の増加により, 損失やサイズが増加する問題が生じる. したがって, できる限り一つの筐体内に BRF を数多く実装することが今後の課題となる. 今回設計した超伝導 MB-BRF の詳細については当日報告する.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V102a 超低損失立体回路の実現に向けた超伝導ニオブ導波管の伝送特性の測定

中島 拓, 鈴木 和司 (名古屋大学), 小嶋 崇文, 鶴澤 佳徳 (国立天文台), 石野 雅之 (川島製作所), 渡邊 一世 (情報通信研究機構)

現在, ALMA をはじめ多くのミリ波・サブミリ波望遠鏡では, 比較的複雑な導波管回路 (偏波分離器やハイブリッドカップラ, 周波数分離フィルタなど) を用いる受信機が一般的になっている. しかし, このような回路を初段検出器の前に配置すると, その伝送損失により受信機雑音を上昇させてしまう. 一方, 超伝導体を用いた導波管は, 常伝導金属に比べて伝送損失を大幅に低減できる可能性が指摘されているが, これまで超伝導導波管を実際に製作・評価した研究はほとんどなかった. 我々は, 超伝導金属である純ニオブ材を用いた導波管を製作して伝送特性を実測することにより, 超伝導導波管が本当に伝送損失の低減に有効かどうかを検証した.

測定器を用いて限られた導波管長さの通過損失を極低温で精度良く測定するのは困難であるため, 伝送特性の評価には共振器法を応用した. これは, 共振回路の Q 値 ($f_0/\Delta f$) の逆数が, その回路の損失で決まることを利用したものである. まずは 100 GHz 付近で急峻な特性を持つ W-band 矩形導波管共振器をニオブ (Nb), アルミニウム合金 (A6061:Al), テルル銅 (+金メッキ: Au) の 3 種類の金属で製作し, 常温時と極低温時の共振特性をそれぞれ測定した. その結果, 常温下での Q 値は, 文献値の導電率から予想される値と, どの金属も概ね一致した. 一方極低温では, 常温での Q 値に比べて Al が 1.6 倍, Au が 2.7 倍高くなったが, 超伝導 Nb は 84 倍と桁違いに大きな Q 値が測定された. この Q 値を再現する導電率を電磁界解析を用いて見積もったところ, 超伝導 Nb では 1.1×10^{11} S/m となり, これは先行研究において理論的に予測された値 (7.5×10^7 S/m; Yeap et al. 2015) と比べて 3 桁以上高い値であった. 講演では, 超伝導 Nb 導波管で予想される伝送損失についての詳細を述べる.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V103a 次世代マイクロ波放射計兼広帯域 VLBI 受信システムの開発 (III)

氏原秀樹 (京都大/情報通信研究機構), 市川隆一, 関戸衛 (情報通信研究機構), 宗包浩志, 宮原伐折羅, 小林知勝 (国土地理院), 寺家孝明, 小山友明 (国立天文台), 竹内央 (JAXA), 今井裕 (鹿児島大)

JSPS 科研費 JP18H03828 の助成で開発した次世代高感度マイクロ波放射計用 16-64GHz 程度の広帯域フィードと OMT を改良し、JSPS 科研費 21H04524 にて放射計を兼ねた広帯域 VLBI 受信機を開発中である。これは観測と同一視線上の水蒸気 (22GHz 帯) だけでなく、その測定誤差要因となる雲中の水滴 (30GHz 帯) と酸素 (50GHz 帯) の放射も同時に計測し、観測と同時・同一視線の水蒸気遅延量の補正を目指すものである。しかし全帯域を受信できる冷却低雑音アンプがみあたらないので、当面は OMT で偏波を分け、26-34GHz で重なり合う 2 つの帯域のそれぞれを冷却低雑音アンプで受信する仕様とした (もちろんあまり低雑音でない常温アンプなら全帯域を受信できる)。常温で様々な試験を行ってきたが、40GHz 付近と 50GHz 付近で OMT の損失が大きかった。また、市販のプリント基板用 1.85mm 端子を使用していた高周波ポートのコネクタ部分が不安定で長期使用には向かなかった。そこで、このコネクタの改良と並行して Gala-V で開発した 3.2-16GHz のクワッドリッジタイプの OMT を高周波化してみることにした。低周波ポートは導波管接続ではなくなるため損失が増えるかもしれないが、高周波ポートでは損失低減が見込めるためである。リッジの隙間と同軸端子の寸法は変わらずに導波管サイズを約半分にしたシミュレーションでは、Gala-V と同じく (数百円程度の) 安価な SMA 端子でも 6.7~18GHz で -15~-20dB 程度の反射損失となっている。K コネクタ版では 6.7-22GHz で使用可能であり、本課題に向けた更なる高周波化を目指している。Gala-V と同じく加工精度は 0.01mm 程度を前提としており、製作上の問題は無い。夏には NICT 鹿島にて 90cm ヘラ絞りパラボラによる試験を予定しており、これらの開発についても報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V104a 1.85 m 電波望遠鏡搭載受信機の高感度化・広帯域化に向けた開発

川下紗奈, 増井翔, 山崎康正, 知念翼, 米山翔, 抱江柊利, 野曾原千晟, 孫赫陽, 澤田-佐藤聡子, 長谷川豊, 大西利和, 小川英夫 (大阪公立大), 小嶋崇文, Alvaro Gonzalez (国立天文台)

我々は野辺山宇宙電波観測所に設置している口径 1.85 m の電波望遠鏡を開発・運用してきた。これまでに 230, 345 GHz 帯に存在する CO 同位体 6 輝線の同時観測を目指し、プロトタイプ of 広帯域マルチプレクサなどを用いてファーストライトに成功した (Masui et al. 2021)。現在はマルチプレクサおよび受信機システムのさらなる性能向上に向けて改良を進めている。その開発項目として、受信機システムの低雑音化やマルチプレクサの全ての出力に広帯域 SIS Mixer を接続すること、そして両偏波化を挙げている。

低雑音化に関して、マルチプレクサは 3 つのダイプレクサからなる回路であるが、プロトタイプでは 3 つの異なるブロックでダイプレクサを製造しており、回路的に不要な線路長が存在している。この不要な線路は回路全体の挿入損失の 40 % 程度を占めており、我々は受信機の低雑音化のために一体型マルチプレクサの開発を進めている。現状では、不要な線路を 30 - 50 % 削減した設計が得られている。また、現在の受信機には 275 - 500 GHz 帯の SIS Mixer (Kojima et al. 2020) を使用しているが、周波数帯の都合上、マルチプレクサの一つの出力のみに接続している。そのため、開発中の受信機には我々の観測周波数帯に最適化した 210 - 375 GHz 帯の広帯域 SIS Mixer (小嶋他 2021 年秋季年会) を搭載することを検討している。まずはじめの段階として、この mixer の実験室評価を進めており、その後は試験的に現在の受信機システムへの載せ替えも検討している。両偏波化に関しては、広帯域な円偏波分離器の開発を進めており、円偏波分離器を構成する各回路では良い特性が得られている。

本講演では、上記の一体型マルチプレクサや広帯域 SIS Mixer 受信機の開発状況について報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V105a 野辺山 45m 鏡 7 ビーム 3 帯域両偏波受信機 (7BEE) の開発 XIII

米山翔, 亀山晃, 孫赫陽, 抱江柁利, 野曾原千晟, 川下紗奈, 知念翼, 中尾優花, 松本健, 山崎康正, 増井翔, 長谷川豊, 澤田-佐藤聡子, 大西利和, 小川英夫 (大阪公大), 立松健一, 西村淳, 宮澤千栄子, 高橋敏一, 前川淳, 小嶋崇文 (国立天文台), 酒井剛 (電通大)

我々は野辺山 45m 電波望遠鏡に搭載する 72–116 GHz 7 ビーム 3 帯域両偏波受信機 (7 BEam Equipment) の開発を進めている。前春季年会では、我々が開発した直交偏波分離器 (OMT) と 3 帯域分離フィルター (Triplexer) について 7 ビーム分全ての製作と測定を終えており、測定結果は概ね設計通りであった。さらに、Horn, OMT, CLNA, Triplexer を接続した RF 系システムを立ち上げ、受信機雑音温度に問題がないことを報告した。

本年会では、その後の進捗について報告する。(1) 全 42 個 (7×2×3) の Mixer に入力する LO 系は、発振器からの信号を分配させる導波管回路で構成されている。これらの組み付けは完了し、Mixer 入力レベルが適切であることを確認した。(2) Mixer 後の IF システムでは 2–10 GHz の信号を Diplexer で分岐させた後、高周波帯の信号を Mixer によりダウンコンバートし、低周波帯の信号と合成して 2–4 GHz で出力する。本受信機の IF 出力強度は、RF 系での伝送損失等によって、低周波信号と高周波信号とで最大 10 dB の強度差が生じる。そこで、シミュレーションとして 3 bit ADC の分光計における線形性が保証される範囲を調査した結果、線形性を保つためには強度差は 5 dB 以下に抑える必要があることが確認できた。このシミュレーション結果から IF 出力強度差を抑えるため 2–10 GHz 回路ヘイコライザーの挿入を検討中である。(3) パワーメータで各ビームにおける雑音評価を行っており、受信機雑音温度はおおよそ 50–80K である。現在は楕円鏡を用いてより安定した評価システムを構築中であり、スペクトラムアナライザで周波数特性を評価する予定である。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V106a 茨城観測局電波望遠鏡搭載広帯域 CX 帯受信機の開発 3

知念翼, 孫赫陽, 抱江柁利, 米山翔, 川下紗奈, 増井翔, 山崎康正, 野曾原千晟, 長谷川豊, 澤田-佐藤聡子, 小川英夫, 大西利和 (大阪公立大学), 岡田望 (JAXA), 米倉覚則 (茨城大学), 清水裕亮, 新沼浩太郎, 藤澤健太 (山口大学)

突発的な質量降着率増大に伴い、励起温度が高い 6.2, 7.6, 7.8, 12.2 GHz メタノールメーザーが 2019 年に初めて検出された (Breen et al. 2019, MacLeod et al. 2019)。メタノールメーザーは大質量星形成過程に付随することが知られており、日立・高萩 32 m 鏡で観測を行なっている 6.7 GHz メタノールメーザーに加え、上記メーザーを観測することで、大質量星形成に関する新たな知見を得ることが期待できる。現在、32 m 鏡に搭載中の CX 帯受信機の観測帯域は 6.3–7.0 GHz 及び 8.0–8.8 GHz であり、上記メーザーの観測ができない。そこで我々は 32 m 鏡の CX 帯受信機広帯域化に取り組んでおり、目標観測帯域は 6.5–12.5 GHz (比帯域: 63%) である。

広帯域な円偏波分離器を開発するために従来のセプタム型 (比帯域: 20%) ではなく、位相遅延器 (孫他 本年会) と Turnstile OMT を組み合わせたモデルを開発している (知念他 2022 年 春季年会)。さらに、RF 信号を同軸の伝送モードへと変換する広帯域な同軸導波管変換器も新たに開発した (抱江他 本年会)。設計した OMT は反射損失 22 dB 以上の結果を得ており、位相遅延器と OMT を組み合わせ設計した円偏波分離器全体のシミュレーション結果では反射損失 20 dB 程度を達成した。設計した円偏波分離器は構造が複雑なため、位相遅延器や OMT のパーツである E ベンド、H ベンド、結合器をそれぞれネジ締結することで製作した。各コンポーネントの測定については、測定物のみの実測結果を得るために TRL 校正による測定を検討している。本公演では CX 帯受信機の開発進捗について報告する。(本公演は JSPS 科研費 JP21H01120 を受けたものである)。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V107b 広帯域 CX 帯同軸導波管変換の開発とそれを用いた TRL 校正

抱江柀利, 孫赫陽, 野曾原千晟, 知念翼, 米山翔, 川下紗奈, 山崎康正, 増井翔, 長谷川豊, 澤田-佐藤聡子, 大西利和, 小川英夫 (大阪公立大学), 米倉覚則 (茨城大学), 清水裕亮, 新沼浩太郎, 藤澤健太 (山口大学)

現在、茨城大学が整備・運用を行なっている 2 台の日立・高萩 32 m 電波望遠鏡では、6.7 GHz メタノールメーザーの観測が行われている。近年、新しく 6.2、7.6、7.8、12.2 GHz メタノールメーザーが初観測された (Breen et al. 2019, MacLeod et al. 2019)。ここで上記メーザーの同時観測にあたって、受信機を広帯域化 (知念他 本年会) する必要があり、それに伴い、比帯域限界の 66% に近い 6.5–12.5 GHz (比帯域 :63%) の広帯域同軸導波管変換の製作を試みた。同軸導波管変換器は、伝搬モードが異なる同軸線路と導波管をそれぞれの適切な伝搬モードに変換する接続回路素子で、それぞれの特性インピーダンス Z が異なるため、両者の整合を取る必要がある。そこで導波管内に同軸線路の芯線をプローブとして挿入し電磁界を誘起させ、また導波管内にリッジ構造を作ることによって導波管 ($Z \approx 300 \Omega$) から同軸 ($Z = 50 \Omega$) へのインピーダンスの整合を行う工夫を取り入れている。特にリッジの背面と導波管との間の構造では特性が変化しやすく、損失を少なく同軸モードに変換しなければならないので、 $10 \mu\text{m}$ 単位で調節する必要があった。結果、反射損失として 6.47–12.93 GHz (比帯域 :66.5%) において、-30 dB 程度の結果を得ることができた。また、これを用いた TRL 校正にて位相遅延器 (孫他 本年会) の実測をおこなった。TRL 法では、反射板とラインのみで測定できるが、SOLT 法ではそれらに加えて終端が必要となる。今回の導波管は規格外なので、TRL 法を用いれば終端を新たに作る必要がないという利点がある。講演では、同軸導波管変換のシミュレーション、並びに実測との比較、また TRL 校正を用いた位相遅延器の実測とシミュレーションとの比較、SOLT 校正との比較についても述べる (本研究は JSPS 科研費 JP21H01120 の助成を受けたものである)。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V108b 茨城観測局電波望遠鏡搭載広帯域 CX 位相遅延器の開発

孫赫陽, 抱江柀利, 野曾原千晟, 知念翼, 米山翔, 川下紗奈, 山崎康正, 増井翔, 長谷川豊, 澤田-佐藤聡子, 大西利和, 小川英夫 (大阪公大), 米倉覚則 (茨城大), 清水裕亮, 新沼浩太郎, 藤澤健太 (山口大)

我々は茨城観測局日立・高萩 32 m 鏡の CX 帯円偏波受信機広帯域化に取り組んでおり、その目標観測帯域は 6.5–12.5 GHz (比帯域: 63%) である (知念 他本年会)。円偏波分離器として 1 番簡単な方法は準光学的な $1/4$ 波長板を用いるものであるが、この方法では比帯域 10% しか達成できない。そこで一般的に広帯域化な円偏波分離器として知られる位相遅延器と OMT を組み合わせたモデルを採用した。導波管回路で構成された位相遅延器では方形導波管が用いられ、両側の導波管面にリッジをつけたリッジタイプ (比帯域:30%) とコルゲートをつけたコルゲートタイプ (比帯域:40%) がある。

本研究は海外の先行研究である Quad-Ridge (2 つの Ridge (H-pol) + 2 つの Corrugation 付き Ridge (V-pol)) 構造の方形導波管型位相遅延器 (Tribak et al. 2009) を参考にした。この位相遅延器は Ridge と Corrugate 部分の管内波長の違いを利用し、水平偏波と垂直偏波での位相差を 90° つけている。よって我々は Ridge 及び Corrugation の個数を増やすことで、目標観測帯域において位相遅延量 90° かつ低損失な位相遅延器の設計に取り組んだ。シミュレーションでは目標帯域で位相遅延量 $90^\circ \pm 10^\circ$ 、反射損失 21 dB 以上を達成した。位相遅延器の製造は完了しており、TRL 校正を用いた測定を行なっている (抱江 他本年会)。H-pol の反射損失の測定結果はシミュレーション結果とほとんど一致しているが、V-pol では必ずしも一致していない。本講演では位相遅延器のシミュレーション結果及び測定結果について報告するとともに、シミュレーションとの誤差原因についても考察し述べる (本研究は JSPS 科研費 JP21H01120 の助成を受けたものである)。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V109b 高萩 / 日立 32 m 電波望遠鏡の整備状況 2022B

米倉覚則, 田辺義浩, 森泉怜, 百瀬宗武 (茨城大), 知念翼, 増井翔, 山崎康正, 孫赫陽, 抱江柊利, 小川英夫 (大阪大), 岡田望 (JAXA), 清水祐亮, 元木業人, 新沼浩太郎, 藤沢健太 (山口大), 須藤広志 (岐阜大), 久野成夫 (筑波大), 中川亜紀治 (鹿児島大), 本間希樹, 小林秀行 (国立天文台), 他 JVN 関係者

国立天文台水沢 VLBI 観測所茨城観測局 (日立 32-m アンテナ, 高萩 32-m アンテナ) では, VLBI 観測を 6.7, 8.4, 22 GHz において実施するとともに, 6.7 GHz メタノールメーザー源の単一鏡モニター観測 (以下, モニター観測と表記), 日立-高萩電波干渉計による連続波高感度観測等を実施している。日立アンテナは 1 年を通して 6-9 GHz 帯受信機を搭載し, モニター観測を毎日実施している。高萩アンテナは, 9 月から 6 月は 22 GHz 帯受信機を搭載し, 東アジア VLBI 観測網 (East-Asian VLBI Network [EAVN]) の共同利用観測や気球 VLBI 実験に対応する。2022 年度は, それ以外の時期には 6-9 GHz 帯受信機を搭載し, モニター観測を実施予定である。EAVN 共同利用観測には, 22 GHz 帯において年間 100 時間, 6.7 GHz 帯において年間 100 時間を提供している。

受信機の広帯域化 (6-9 → 6.5-12.5 GHz) を行っている。モニター観測の高頻度化を行っている。日立アンテナでは, $AZ = 0-5$ 度および $EL > 85$ 度の範囲で器差パラメーターが反映されず, 追尾エラーが発生している事が判明した。高萩アンテナでは, 2018 年 8 月末以降 DCPA の不具合により 2 台の AZ モーターのうち 1 台のみを用いて駆動してきたが, 交換部品が見つかり 2 台駆動に戻った。その一方で天体追尾時に共振が発生するようになった。現在対策中である。前回報告した 2 件の不具合は, 電源交換, 角度読取装置清掃により解決した。モニター観測結果の公開を開始した (<http://vlbi.sci.ibaraki.ac.jp/iMet>)。 (本研究は, 国立天文台大学間連携プロジェクト「国内 VLBI ネットワーク事業 (JVN)」, JSPS 科研費 JP21H01120, JP21H00032 の助成を受けた)。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V110b 水沢 VERA20 m 望遠鏡搭載に向けた 67-116 GHz 帯 2SB 回路の検討

亀山晃, 増井翔, 山崎康正, 孫赫陽, 抱江柊利, 野曾原千晟, 澤田-佐藤聡子, 小川英夫, 大西利和 (大阪公立大), 上野祐治, 小山友明, 鈴木駿策, 砂田和良, 秦和弘 (国立天文台), 岡田望 (JAXA)

EAVN は, 日本を初めとする東アジア各国の約 20 局の電波望遠鏡を連携させた観測網であり, 最大直径 5,100 km に及ぶ世界最大級の電波望遠鏡観測網である。86 GHz 帯は M87 をはじめとする近傍の活動銀河ジェット天体において, ブラックホールシャドウに迫るスケールでジェットの付け根を観測するのに最適な周波数領域と考えられている。この周波数領域でモニター可能な高感度・高解像度 VLBI アレイの構築を EAVN で目指している。これにより, ジェット生成における最重要パラメータ (初速度, 加速度, 磁場, スピン) を決定し, 駆動理論が確かめられる。

これを受け, 我々は水沢 VERA20 m 望遠鏡に搭載する 86 GHz 帯の受信機開発を進めている。搭載する受信機は, Low Noise Factory の冷却アンプを用いた 67-116 GHz 帯の円偏波受信機を検討している。本研究では 67-116 GHz 帯の信号をダウンコンバートする常温 2 side band (2SB) Mixer の開発を進めている。近年開発されている常温 Mixer の IF では, 25 GHz を超える IF を出力することから 67-116 GHz の信号を一度の観測で取得できる可能性がある。これらの検証を行うために, 現在 Mixer に接続する導波管型の 90° ハイブリッドカップラとパワーディバイダの設計を進めている。また, Mixer などの個々のコンポーネントの特性から, 2SB Mixer の Image Rejection Ratio (IRR) が劣化する原因を追及する。本講演では, 2SB mixer を構成するハイブリッドカップラとディバイダの設計について述べる。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V111b 45m 電波望遠鏡 43/86GHz 観測用 Perforated Plate 型周波数フィルターの評価

野曾原千晟, 山崎康正, 米山翔, 川下紗奈, 知念翼, 孫赫陽, 抱江柊斗, 亀山晃, 増井翔, 長谷川豊, 小川英夫, 大西利和 (大阪公立大学), 今井裕 (鹿児島大学), 坂井了 (国立天文台), 岡田望 (JAXA)

我々は野辺山 45m 電波望遠鏡において 22、43、86GHz 帯 VLBI 同時観測システムを構築すべく、22/43GHz 帯及び 43/86GHz 帯 Perforated Plate 型周波数分離フィルタの開発を行ってきた (岡田他、2018 春季年会)。22/43GHz 帯分離フィルタの電氣的性能については設計通りの結果が得られており、VERA20m アンテナとの VLBI 観測に成功している (Okada et al. 2020)。しかしそのスケールモデルである 43/86GHz 帯分離フィルタについての性能評価は未完了であった。そこで本研究では、67-117GHz 帯フリースペース測定を構築し、シミュレーションとの比較を行った。

本フィルタで特に重要となるパラメータは、斜入射における透過特性である。なぜなら 86GHz 帯受信機の雑音上昇に大きく起因するからである。そこで電磁界解析ソフトを用いて、周期的境界条件を仮定した単位構造に平面波を 30° で入射した時の透過特性を計算した結果、80-90GHz において -0.2dB 以上という結果が得られた。この結果と比較するために、VNA、Extender、コルゲートホーン、誘電体レンズで構築されるフリースペース測定系を構築した。ビームウェストにフィルタを設置し、入射角 30° での状態で透過特性を測定した。その結果、80GHz 以下の周波数では、シミュレーションと非常によく一致したのに対して、それ以上の周波数では透過率が 1GHz あたり 0.2dB の割合で減少し、シミュレーションと異なる結果が得られた。その原因として、80GHz 以上の周波数ではフィルタ構造に対して電磁場が平面波としてではなく、ビームとして振る舞っているからではないかと考えられる。本講演では上記の詳細な結果について報告し、シミュレーションとの相違について議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V112b HINOTORI (Hybrid Integration Project in Nobeyama, Triple-band Oriented) 進捗報告

今井 裕, 新永浩子, 甘田 溪, 松坂 怜, 中島圭佑, 沈 嘉耀 (鹿児島大学), 新沼浩太郎, 清水祐亮 (山口大学), 小川英夫, 澤田佐藤聡子, 米山 翔 (大阪公立大学), 小山友明, 西村 淳, 宮澤千栄子, 高橋敏一, 亀野誠二, 廣田朋也 (国立天文台), 岡田 望 (JAXA), 米倉覚則 (茨城大学)

HINOTORI は、2016 年度から推進してきた、野辺山 45m 電波望遠鏡に 2 or 3 バンド同時観測 (単一鏡・VLBI) システムを構築する事業である。H22 受信機 (22 GHz 帯) + H40 受信機 (43 GHz 帯) 同時観測システムは科学運用 (VLBI・単一鏡) に公開され (学会講演 2017 年秋季 V103b、V106a)、科学成果を挙げつつある (2021 年秋季 N18a)。H22+Z45 受信機 (43 GHz 帯) 同時観測システムの完成も目前である。TZ 受信機 (86 GHz 帯) を加えた 3 バンド同時観測システムもほぼ完成し (2020 年春季 V116c、2021 年春季 V120b)、Doppler tracking 機能が TZ 受信機信号にも付加されれば、この 3 バンド同時観測 (単一鏡) システムにおいても科学運用に投入できる目処が立つ。しかし、86 GHz 帯 VLBI 初フリンジ検出を未だ実現しておらず、その原因究明が急がれる。本講演では、昨今の HINOTORI 全般の状況について報告し、新たな観測モードの公開に向けて広く周知することとする。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V113b 野辺山 45 m 鏡 eQ 受信機のコミッションング観測結果

山崎康正 (大阪公大), 中村文隆 (NAOJ), Chau-Ching Chiong (ASIAA), 西村淳 (NRO), Ross Burns, 谷口琴美, 川邊良平 (NAOJ), 米山翔, 川下紗奈, 知念翼, 西本晋平, 野曾原千歳, 孫赫陽, 小西亜侑, 小川英夫, 大西利和 (大阪公大), 米倉覚則 (茨城大), 土橋一仁 (東京学芸大), 下井倉ともみ (大妻女子大) ほか eQ チーム

野辺山 45m 鏡に搭載された 30–50 GHz 帯 新 2SB 受信機 eQ のコミッションング観測を開始した。本受信機は ALMA Band1 受信機の技術に基づいて台湾中央研究院によって開発され、同周波数帯受信機 Z45 よりも 5 倍以上の比帯域で 20–30 K 低い受信機雑音温度、システム雑音温度にして 1.5 倍低い値を達成した (中村ほか 2022 春季年会 V108a)。これによって、ゼーマン観測や系外銀河探索、アストロケミストリーの研究のさらなる発展に貢献することが期待される。搭載時には受信機の設置アライメント、ビームスケイント調整を行なったことで、ビームサイズの 1/10 以下の指向精度を得た。さらに、点源天体 NML-Tau の OTF 観測によって 42 GHz のビームパターンを測定した結果、 $\sim 37''$ と Z45 と同様の結果が得られた (山崎ほか 2022 春季年会 V109b)。最後に、惑星を用いた連続波観測による開口能率及び主ビーム能率測定を行なった。LO 周波数を 37 GHz とし、5–7 GHz 帯連続波バックエンドを使用して、木星を観測した (LSB:31 GHz, USB:43 GHz)。観測時の木星の視直径 $35''$ と T_{a^*} のピーク値から求めた開口能率と主ビーム能率はそれぞれ、 ~ 0.61 , ~ 0.75 (31 GHz)、 ~ 0.61 , ~ 0.73 (43 GHz) であった。Z45 の主ビーム能率は 43 GHz で 0.72 である (Nakamura et al. 2015) ため、概ね適切な結果が得られたことが確認出来た。以上より、システム雑音温度、指向精度、ビーム能率は科学観測を行うにあたって十分な値を達成した。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V114b マイクロ波帯増幅器の出力における信号雑音比について

川下紗奈 (大阪公立大), 小嶋崇文 (国立天文台), 増井翔, 大西利和, 小川英夫 (大阪公立大)

現在のミリ波サブミリ波帯の受信機システムにおいて、量子限界に近い受信機雑音温度を実現することが求められている。その中で、局部発信器系で用いられる増幅器 (Amp) や通倍器による受信機雑音への影響を理解し、低減することは非常に重要である。

Amp については従来、飽和状態では出力の SNR (Signal Noise Ratio) が大きくなることが知られている。そこで我々は、飽和状態の Amp における出力の SNR や出力雑音の特性を調査した。本測定では、利得が 26 dB、雑音指数が 3.0 dB、Output 1 dB compression が 24 dBm の Amp を使用した。測定の結果、Amp が飽和状態になるにつれて利得が小さくなるが、入力等価雑音温度はほとんど変化しないことを確認した。この入力等価雑音温度と利得の積をとって出力雑音を求めると、飽和状態になるにつれて出力雑音が小さくなるという結果を得た。さらに、この出力雑音から導出したパワーと Amp 出力後のキャリア信号のパワーの比から出力の SNR を求めると、線形状態の Amp の出力の SNR に比べて 20 dB 程度大きくなっていった。また、同じスペックの理想 Amp について、Microwave Office を用いてシミュレーションを行い、飽和状態における利得や出力雑音の特性が測定結果と同じ傾向であることを確認した。以上の結果から、Amp を飽和させることによって、受信機雑音温度の低減が期待できる。

本講演では、飽和状態の Amp における上記の出力 SNR や出力雑音の測定結果について報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V115b 大気オゾン分光観測の高効率化に向けた周波数変調局部発振器を用いた受信システム開発

彦坂 拓海, 中島 拓, 谷口 暁星, 萩本 将都, 長濱 智生 (名古屋大学), 原田 健一, 藤井 慎人, 下山 幸一郎, 竹沢 公佑 (エレックス工業)

ヘテロダイン受信機の局部発振器 (LO) の周波数を変調 (FM) することにより、単一鏡分光観測において観測効率の大幅な向上を実現できる新しい観測手法である FMLO が提案されている (田村他 2012 年秋季年会、Taniguchi et al. 2020 など)。この手法は、従来のポジションスイッチングで必要だった OFF 点の取得が不要となる利点の一方で、地球大気の大気輝線成分も同時に検出されるという課題があった。我々はこれを逆手にとり、FMLO を地球大気観測に応用することを考えた。FMLO は LO 周波数を高周波 (10 Hz) で変調しながら同時に分光計の出力を取得し、統計的な解析によって時系列スペクトル上で離散的な分子輝線と、相関雑音となる準連続波成分を分離する。しかし地球大気の大気輝線は、線幅が一般的な星間物質からの輝線と比べて広がっている (裾野の幅が ~ 1 GHz) ため、スペクトルの形状を正しく捉えることは難しく、最適な変調パターンの検討が重要となる。

我々は、まず大気観測専用の FMLO を用いた受信システムを設計した。線幅の広い O_3 輝線の観測に対応できるように、周波数帯域 0.1–4 GHz、周波数分解能 75 kHz のデジタル分光計を開発した。この分光計には、データの積分開始と同時に出力される 10 Hz のトリガー信号があり、他の制御装置を必要とせずに分光計の積分と LO 周波数変調のタイミングを 1 ms 以下の精度で同期させることができる。現在、実験室内において信号発生器を用いたテスト信号を分子輝線の模擬信号として受信機に入力し、周波数変調された分光計出力の取得とスペクトルへの復調ができることを確認したほか、 O_3 輝線の観測に最適な変調パターンを検討している。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V116b 有機物合成実験のための mm–THz 波プラズマ分光診断システムの最適化開発

米津 鉄平, 前澤 裕之 (大阪公立大学)

はやぶさ 2 が持ち帰った試料からのアミノ酸の検出や、隕石からの主要な核酸塩基の検出に見られるように、宇宙空間で形成された有機分子も原始地球における生体高分子の形成の供給源の一つとなった可能性が示唆されている。このため、星間空間における有機分子の形成過程の探究は、宇宙においてハビタブルな環境を探る上で重要である。我々は、星間分子雲や星形成領域におけるアミノ酸前駆体や核酸塩基などの複雑な有機分子の形成過程の多様性に迫るべく、プラズマ放電による有機物合成実験や、その際に形成される気相分子を計測するための超伝導 SIS 素子によるヘテロダイン分光診断を推進してきた (前澤、米津 21 年春季年会、他)。mm–THz 波の本分光手法は波長が長いため、ダストが舞うプラズマ放電時のチャンバー内においても、ダストの吸収・散乱の影響を受けずに分光できる強みを持つ。

C_2H_5CN は、例えば、星形成領域 Orion–KL の Hot Core と Compact Ridge において、 CH_3OCHO などの酸素を含む分子との存在量比が異なるといった (米津他 21 年秋季年会、他)、分子雲・星形成領域の物理・化学的環境の違い、あるいは複雑な生体高分子の形成環境・多様性を理解する上で、重要な星間分子の一つである。今回、長時間のプラズマ診断に向けた強度校正法 (改良型 Chopper–Wheel 法) の最適化の検討や、原料ガス流入速度の安定化、分光計測の自動化などの改良を行った新分光計測システムにより、有機物合成実験を行った。その結果、アグリゲート上のダストが形成される中で、プラズマ気相中の分子として C_2H_5CN などの分子輝線を検出できており、これらは四重極質量分析装置 (QMS) により相当する質量数を持つ分子としてモニタリング/クロスチェックを行っている。本講演では、これら一連の手法と解析結果について詳細を報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V117b Application of machine learning in Faraday tomography

Suchetha Cooray (1), Tsutomu T. Takeuchi (1 and 2), Daiki Iwasaki (1), Shinsuke Ideguchi (3), Takuya Akahori (4 and 5), Yoshimitsu Miyashita (6), Keitaro Takahashi (6, 7, and 3) ((1) Nagoya Univ., (2) ISM, (3) NAOJ, (4) Mizusawa VLBI Observatory, NAOJ, (5) SKA Observatory, UK, (6) Kumamoto Univ., (7) IROAST, Kumamoto Univ.)

Faraday tomography is a novel technique that can provide tomographic information on magnetized astronomical objects, such as quasars, galaxies, or galaxy clusters. Faraday dispersion function (FDF), which contains this information, is calculated from the linear polarization data obtained through broadband polarimetry. However, to access the magnetic information from FDFs, we need to overcome two complexities. Firstly, the limited wavelength coverage of the observing instrument "blurs" the intrinsic FDF of the object. Additionally, an intrinsic FDF is also highly dependent on the configuration of turbulence. Thus, even the same global physical properties produce different intrinsic FDFs (Ideguchi et al. 2014), making inferences of the global physical properties from observations extremely difficult. In this work, we explore machine learning for inference of physics from observations. Our preliminary results suggest that machine learning methods can successfully aid Faraday tomography. Proposed machine learning approaches will be necessary for effective cosmic magnetism studies using the Square Kilometre Array and its precursors.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V118c 火星惑星保護カテゴリー IV/乾熱滅菌によるテラヘルツアンテナの性能評価

山内良斗, 前澤裕之 (大阪公立大学), 岡田望, 西堀俊幸 (JAXA)

我々は現在、Mars Ice mapper 計画を含めた将来の火星探査機のサブペイロードへの搭載の展開などを見据え、テラヘルツヘテロダイン分光装置 (THSS) の設計開発・検討を進めている。これは火星大気微量分子や同位体を調べることで火星の水を含めた物質循環や大気科学、気象・気候環境に迫ることを目的としている。火星探査機では惑星保護カテゴリー IV が適用されるため、THSS の構成要素の乾熱滅菌への耐久性の評価は今後重要な課題となる。本研究では、THSS の軽量アンテナについて乾熱滅菌の試験を実施したので報告する。アンテナは CFRP スキンの表面に特殊なコーティング層を設け、その上にプラズマ溶射とコールドスプレー法でアルミ層を成膜し、さらに切削と研磨を行って高精度かつ低粗度な鏡面に仕上げている。これにより、成膜したアルミ層にマイクロポーラスが残留しにくくなり、研磨により $1 \mu\text{m}$ 以下の鏡面粗さが実現している。本実験では、乾熱滅菌 125 度/48 時間の高温処理が、こうした鏡面・構造に与える影響を反射損失として検証した。高温槽内の雰囲気は若干の温度のばらつきが生じるため、 126 ± 1 度に維持した。アンテナの反射損失は非常に小さな値をとるため、高感度な計測が必要である。そこで JAXA において 4K に冷却した 649.32 GHz 帯の Nb 超伝導電極/絶縁層/Nb 超伝導電極 (SIS) の並列接合型のヘテロダインミキサ検出素子を用いて計測を行った。超伝導 SIS ミキサは、量子雑音に迫る高感度性能を有し、電波天文学などにおいて確立した技術となっている。テラヘルツアンテナは、この SIS 受信機システムの常温の光学伝送系にセットして通常の Y-factor 法を適用して反射損失を導出した。乾熱滅菌処理後の詳細解析の結果、反射損失は、 $1.14 \pm 0.55\%$ となり、熱処理前と比較して有意な性能劣化は見られないことが分かった。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V119a Update on ALMA Operations and Development Program - Autumn 2022

A. Gonzalez, M. Fukagawa, D. Iono, S. Sakamoto, K. Sugimoto, T. Kojima, K. Kikuchi (NAOJ), and the ALMA Project team

In this presentation, we will offer an update on ALMA Operations and Development Program.

Operations: After the Return to Operations efforts and the completion of Cycle 7 on a best effort basis, Cycle 8 2021 observations have been carried out from October 1st 2021 as close to nominal as possible and are currently ongoing. The Cycle 9 (from Oct. 1st 2022) Call for Proposal has set yet a new record in terms of requested observing hours by the Community. This presentation will provide an update on the latest situation with respect to the status of Cycle 8 2021 operations and the planning towards Cycle 9.

Development: NAOJ is collaborating in the development of receivers for Bands 1 (led by ASIAA) and 2 (led by ESO), and the ACA Spectrometer (led by KASI) in addition to initial studies in hardware and software. In this presentation, we will provide an update on the status of the different projects and studies. In particular, we will report on the status of work towards the implementation of Band 1 and the ACA Spectrometer in ALMA towards Cycle 10, and the demonstration of different technologies towards ALMA2. Moreover, ALMA continues to establish the framework towards the implementation of the Wideband Sensitivity Upgrade (WSU) prioritized in the ALMA Development Roadmap, including the preparation of a formal description of the upgraded system design and the consequent requirement upgrade. An update on this process will be offered.

[スケジュール\(セッション毎\)に戻る](#)

[スケジュール\(全体\)に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V120a ALMA 受信機用広帯域光学系コンポーネントの開発 (V)

金子慶子, 坂井了, 今田大皓, 上水和典, 小嶋崇文, Alvaro Gonzalez

国立天文台では、ALMA の将来開発を目的として、電波天文観測用広帯域受信機に用いる光学系部品を開発している。開発の一環として、欧州南天天文台 (ESO) が主導で開発を進めている ALMA Band2 受信機 (観測周波数 67-116 GHz) に搭載用の光学系部品の製造評価と、誘電体レンズの設計評価をおこなっている。導波管部品 (コルゲートホーン、偏波分離器) についてはすでに設計が完了しており、プレ量産段階にある。一方、レンズについては、系全体の光学性能を含めたレンズの詳細設計および検証をすすめてきた。誘電体レンズは主鏡の下に配置される受信機搭載用デュワーのトッププレート上に設置される。主鏡のカセグレンホールには不要な電磁波をカットするためのメンブレンが配置されているが、すべてを除去できるわけではなく、一定量の紫外線がデュワー上に到達し、デュワー上に配置されたレンズや真空窓に照射される。我々はアルマ望遠鏡が運用されているアタカマ高地の日照量を観測した論文をもとに、材料メーカと協力して促進耐候試験装置をもちいたレンズ材料への紫外線の影響を確認した。機械物性測定は JIS 規格に則った強度試験機をもちい、電気特性評価には我々がこれまで測定系の開発や解析手法の検証をおこなってきた、フリースペース法やファブリペロー式をもちいて確認した (本年会 2019b V121a, 2020b V117a)。特に材料の損失の測定は高精度な測定と綿密な検証が必要であり、複数の測定系や手法をもちいて比較することで詳細な確認をおこなった。その結果をもとに選定した材料をもちいて最終プロトタイプレンズを製作評価し、ビーム性能および受信機雑音性能の両方において問題のないレベルであることが確認できた。本発表では、Band2 受信機開発の進捗と併せて、この紫外線照射試験に関する詳細を報告する。

[スケジュール\(セッション毎\)に戻る](#)

[スケジュール\(全体\)に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V121a Double-ridge 導波管型直交偏波分離器における共振現象解析

坂井了, 金子慶子, 今田大皓, 上水と典, 小嶋崇文, 鶴澤佳徳, Alvaro Gonzalez (国立天文台)

欧州南天天文台 (ESO) 主導で ALMA Band 2 受信機 (観測周波数 67-116 GHz) の開発が進められている。国立天文台は誘電体レンズ, コルゲートホーンアンテナと直交偏波分離器 (OMT) の開発に携わっている。OMT は受信機フロントエンドシステムの前段に位置し, 受信機の偏波分離特性, 雑音性能を左右する重要なコンポーネントである。Band 2 受信機カートリッジには Boifot junction を用いた Double-ridge 導波管型 OMT が搭載される予定である。本タイプは他の OMT と比較し, 短い経路長や導波管構造の対称性により低挿入損失かつ高い偏波分離特性を有する。受信機のプレ量産用に製造した 10 個余りの OMT の挿入損失を測定したところ, 幾つかの個体において共通の周波数に 50 MHz 幅で 0.1 dB 程度の鋭い落ち込みが複数箇所見られた。落ち込みが見られる周波数とその間隔に着目し, 特定のモードの共振現象が生じていると推定して電磁界解析を実施したところ, 加工誤差による導波管構造の対称性の低下が共振現象を発生させる可能性が示唆された。特に Double-ridge 部の加工誤差が共振現象に加えて, 交差偏波特性にも大きく影響し得る事が明らかとなった。今後, 本研究を基に導波管型 OMT における共振現象のメカニズムを理解することで, これを抑制する構造設計や, 公差設計の指針となることが期待される。詳細は当日報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V122a ミリ波・サブミリ波帯 広帯域コルゲートホーンの交差偏波ビームパターンの多様性の起源の解明

山崎康正 (大阪公立大), 浅山信一郎 (SKAO), 今田大皓, 小嶋崇文, Alvaro Gonzalez, 坂井了, 金子慶子 (国立天文台), 米山翔, 小川英夫, 大西利和 (大阪公立大)

ミリ波・サブミリ波帯受信機を用いた観測の効率化のために, RF を比帯域 50% 以上に広帯域化することは重要な課題の一つである。コルゲートホーンは低い交差偏波強度を持つビームを放射することから, 導波管型フィードとして ALMA などでも広く使用されてきた。そして, ALMA Band 2 や 7+8 に向けて, 比帯域 50% を超えるコルゲートホーンの開発が国立天文台を中心に進められている。従って, アンテナ・受信機を含めたシステムにおける広帯域ホーンの具体的な振る舞いを理解することは非常に重要である。我々の経験では, ビーム測定において主偏波はシミュレーション通りの結果が得られるのに対して, 交差偏波では大きく異なっていた。これまでの我々の設計手法では, 導波管の基本モード TE_{11} のみを励起し, 開口から放射するビームを解析することに留まっていた。しかし, 実際には OMT などのホーンに接続されるコンポーネントが, その間の導波管において高次モードを励起し, ビームに強い影響を与える事が報告されている (M. S. de Villiers et al. 2021)。そこで本研究では, 我々が設計した 210–375 GHz 帯 コルゲートホーン (Yamasaki et al. 2021) について, 高次モードを考慮した詳細な解析を行なった。例えば, 製造誤差によって円角変換がホーンに対して 2.5 deg 傾いた時, 第 1–3 象限に持つピーク分布が繋がる構造が確認された。入力導波管での高次モード (TM_{01} , TE_{21}) をそれぞれ 1/1000 の割合で発生させることで, 上記測定結果が再現できることが認められた。このように, 我々の設計したフィードにおいても, 入力導波管における高次モードは交差偏波パターンに非対称性のような劇的な変化を与えることを確認した。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V123a ALMA ACA 7 m アンテナ用 Band 2 受信機光学系の設計

今田 大皓, 金子 慶子, 坂井 了, 小嶋 崇文, Alvaro Gonzalez (国立天文台),

欧州南天天文台の主導で 67– 116 GHz を観測する ALMA Band 2 受信機の開発が進んでいる。国立天文台では光学部品的设计等を担っており、Atacama Compact Array 7 m アンテナに搭載する機器的设计も含まれる。本講演では、7 m アンテナ用の伝送光学系向けの光学素子の配置の検討を紹介する。

本検討の制約条件は、設計済みの 12 m アンテナ用のレンズとホーンを用いること、カセグレン焦点に対して 12 m アンテナと共通の位置・向きにホーンを配置すること、アンテナ (主鏡と副鏡) によって合成される F 値を 12 m アンテナと共通にすること、副鏡の像がホーン開口面に来ることである。また、達成すべき目標は副鏡での開口能率が 80% 以上、偏波の能率が 99.5% 以上である。これらの厳しい制約条件の中で目標をできるだけ達成すべく、光線追跡によるレンズの配置の検討を行なった。また、候補となるレンズの配置に対して、モーメント法と物理光学によるビームシミュレーションを行なった。

光線追跡とビームシミュレーションの結果、7 m アンテナの主鏡の焦点距離の短さゆえの入射瞳位置での入射波のスピルオーバーとコマ収差の影響が大きいことがわかった。また、これらの影響を低減するために副鏡をわずかにずらすと、大きな球面収差が発生することもわかった。光線追跡を用いた電波望遠鏡の光学設計の具体的な手法や、収差やスピルオーバー間のトレードオフについて、詳細に報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V124a 高開口能率サブミリ波マルチビーム受信機光学系の開発に向けた収差が開口能率に及ぼす影響の調査

政井崇帆 (総合研究大学院大学)、Alvaro Gonzalez、今田大皓 (国立天文台)

マルチビーム受信機による観測視野の拡大は広天域に渡る観測に望ましく、ALMA Development Roadmap 及び ALMA2 プロジェクトなどで注目されている。我々は、ALMA の将来的なマルチビーム受信機開発などの一環として、高い開口能率を持つサブミリ波マルチビーム受信機光学系の開発を目指している。本目的を達成するために収差がマルチビーム受信機光学系の開口能率をどう劣化させ、高い開口能率を持つマルチビーム受信機光学系的设计方法を調査している。

本研究の開口能率の計算は Imada & Nagai, 2020 に基づいている。また、本研究ではサブミリ波帯の ALMA Band 8 周波数帯 (385-500 GHz) で動作するマルチビーム受信機光学系を考え、収差の影響を受けた開口能率を計算した。斜めから入射する平面波の波面収差は光線追跡ソフトウェアから求め、支配的な収差を特定した。そこから、マルチビーム受信機のオフセットピクセルの開口能率が最大になる位置とフィードパターンを探った。この結果を基に、開口能率が 0.80 以上になるフィードホーンのフィードパターン及びそのフィードパターン特性を持つフィードホーンの形とフィード位置の条件を求め、マルチビーム受信機光学系の初期な設計を考察した。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V125a Noise Breakdown of Dual-polarization Balanced MMIC SIS Mixer at 2 mm Wavelength

Wenlei Shan, Shohei Ezaki (NAOJ)

We have been developing an innovative approach to enable compact focal plane heterodyne detector arrays with SIS mixers for wide field-of-view astronomical observation at mm and sub-mm wavelengths. The new scheme is characterized by the adoption of superconducting monolithic microwave integrated circuits (MMICs), on which substantially larger scale circuitry can be accommodated than traditional quartz SIS mixers. We have demonstrated full functioning of such devices with reasonable performance in previous annual meetings. In particular, the DSB noise temperature measured at 2 mm wavelength is around 40 K, which is not very unreasonable allowing for much more complicated on-chip circuit than quartz SIS mixers but still not as good as state-of-the-art at this wavelength. For example, ALMA Band 4 SIS mixers shows averagely < 25 K DSB noise temperature estimated from about 50 K SSB noise temperature. To understand the noise performance of the MMIC SIS mixers, we have been investigating various noise sources that compose the overall 40 K noise including the on-chip transmission loss, the RF loss of the optics path in the measurement setup, and the linearity of the measurement system. In this talk, we would like to report the results of this investigation and present more accurate noise measurement results.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V126a 次世代 FITS ビューワ Vissage の開発：偏波表示機能 3 および Python インタフェース

○川崎渉, 白崎裕治, Christopher Zapart, 吉野彰, 森田英輔, 林洋平, 小杉城治, 大石雅寿, 水本好彦 (国立天文台)

Vissage (VISualisation Software for Astronomical Gigantic data cubEs) は、ALMA 望遠鏡で観測・公開された大サイズ、かつ多次元の FITS データを、電波天文の専門家に限らず誰もが手軽に閲覧し、研究に活用できるようにすることを目的として開発中のスタンドアロン形式のソフトウェアである。本講演では、Vissage の紹介および、最近の機能追加について報告を行う。

現在公開されている ALMA 偏波観測データの大部分は、Stokes パラメータ毎に別々の FITS ファイルに分れており、それらを組み合わせて偏波度や偏波角などの情報を可視化することは必ずしも簡単な作業ではない。これまで、そのような複数の FITS ファイルの組み合わせで作られる (空間 2 次元+偏波 1 次元) の 3 次元データキューブについて基本的な表示機能を実現してきたが、最近はさらに周波数情報を持つ 4 次元データキューブの表示、すなわち、偏波成分・偏波度・偏波角などの周波数依存性の可視化機能を実装している。

偏波以外の新機能として、Vissage の Python インタフェースを紹介する。まだ基本的な機能に限られてはいるが、これを用いることにより、手動で GUI を操作するだけでなく、ローカルあるいはリモート環境で動作する Vissage を自作の Python スクリプトからコントロールすることも可能になる。具体的な用途としては、Vissage を CASA や PyRAF といった解析ソフトウェアなどと組み合わせたり、作図エンジンとして利用することを想定している。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V127a ALMA 向けイメージングツール PRIISM の開発：(1)

中里 剛 (国立天文台), 池田 思朗 (統計数理研究所), 塚越 崇 (足利大学), 谷口 暁星 (名古屋大学), 山口 正行 (ASIAA), 小杉 城治, 本間 希樹, 川邊 良平 (国立天文台), 秋山 和徳 (MIT)

データサイエンス的手法にもとづいて開発されたアタカマ大型ミリ波サブミリ波干渉計 (ALMA) 向けイメージングツール Python module for Radio Interferometry Imaging with Sparse Modeling (PRIISM) について報告する。

PRIISM はスパースモデリングの考え方を基盤としている。スパースモデリングは、最近話題となったブラックホールシャドウの撮像観測での成功に見られるとおり、電波干渉計観測の新たなイメージング手法としての地位を確立している。我々はこの手法を ALMA の観測データに適用するため、「解が疎である」、「解がなめらかである」という 2 つの制約のもとで画像を復元するツールを開発し、ALMA で取得された実際の観測データに対してイメージングが可能であることを過去の年会で報告した (池田他 2018 年春季年会 V138a; 中里他 2018 年春季年会 V139a)。その後機能追加やインターフェースの改善を図り、モジュール名を PRIISM と改めて一般ユーザーに公開した (Nakazato & Ikeda 2020)。最新版の PRIISM では処理速度が向上し、非等間隔高速フーリエ変換 (NUFFT) の導入によりグリiddingの影響を排除するなどの機能追加がなされた。PRIISM は GitHub を通じて広く一般に公開されており、簡単なコマンドをいくつか実行するだけでインストールして使うことができる。また基本的な使い方を Jupyter Notebook のチュートリアル形式でまとめている。本講演では PRIISM の機能全般、および今後の開発予定について詳しく述べる。また、今後利用を希望するユーザーに向けてインストールから実行までの流れについても解説する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V128a ALMA 向けイメージングツール PRIISM の開発:(2)

池田思朗 (統計数理研究所), 中里剛 (国立天文台), 塚越崇 (足利大学), 谷口暁星 (名古屋大学), 山口正行 (ASIAA), 小杉城治, 本間希樹, 川邊良平 (国立天文台), 秋山和徳 (MIT)

電波干渉計では、複数の望遠鏡による同時観測をもとに、画像のフーリエ変換の情報をビジビリティとして得る。各望遠鏡には大気の変化などに起因するゲインの揺らぎがあり、ビジビリティの各点もこの影響を受ける。ビジビリティから画像を構成する画像化と合わせて、このゲインの揺らぎを推定して取り除く操作がセルフ・キャリブレーションである。ゲインの揺らぎは画像に大きな影響を与えるため、この操作は重要である。しかし、局所最適な解に陥りやすく良い画像を得るには人間による丁寧なパラメータ調整と繰り返し作業が必要となる。

我々が開発を続けている Python module for Radio Interferometry Imaging with Sparse Modeling (PRIISM) は、スパースモデリングにもとづくアタカマ大型ミリ波サブミリ波干渉計 (ALMA) 向けイメージングツールである。現在の PRIISM はスパースモデリングにもとづく画像化部分が実装されているが、今後はセルフキャリブレーションの自動化の実装を視野に入れている。本講演では、新たに開発しているセルフ・キャリブレーションの自動化について報告する。

新たなセルフ・キャリブレーションでは、各望遠鏡のゲインは平均的には 1 であるものの時間的になめらかに変動すると仮定している。調整可能な 2 つのパラメータがあり、ひとつはゲインの大きさのみの制約を調整し、もうひとつは大きさと位相の制約を調整する。すでに PRIISM に実装されている画像化法と新たに提案するセルフ・キャリブレーションを交互に繰り返し、最終的な画像を得る。本講演では ALMA データを用いた結果を示す。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V129a The Next Generation Very Large Array - Fall 2022

伊王野大介 (国立天文台), 百瀬宗武 (茨城大学), Alvaro Gonzalez (国立天文台), 立原研悟 (名古屋大学), 新沼浩太郎 (山口大学), 永井洋 (国立天文台), 廿日出文洋 (東京大学), 片岡章雅 (国立天文台), 深川美里 (国立天文台), 河野孝太郎 (東京大学), 坂井南美 (理化学研究所), 長谷川哲夫 (国立天文台)

We present an overview, status, and the future plan of the Next Generation Very Large Array (ngVLA), including the recent scientific and technical activities of the ngVLA study group, which is coordinated by NAOJ in close collaboration with members of the Japanese science community. In the past, the study group has organized meetings and workshops for the purposes of promoting ngVLA science in Japan and synergies with other instruments, and it is ready to accelerate its activities with the community members in close coordination with the Science Working Group organized by the NRAO. Technical studies in the area of the antenna, front end, and time/frequency distribution have also seen some significant progress. Armed with the solid outcome for ngVLA in the Astro2020 decadal survey, the study group is actively investigating the possible future contributions toward offering a significant fraction of ngVLA observing time to the Japanese community.

The ngVLA will consist of three arrays – the Main Array with 214 18-m antennas (baselines up to 1000 km) placed around the current JVLA site, the Short Baseline Array with 19 antennas of 6-meter diameter and four antennas of 18- meter diameter operating as single-dish telescopes, and the Long Baseline Array which will consist 30 18-meter antennas with the longest baseline of 8860 km. All antennas will be equipped with receivers covering frequencies from 1.2 to 116 GHz.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V130a ngVLA プロジェクトのための時刻・周波数配信システムの開発

木内等, 藤枝美穂 (国立天文台)

米国の ngVLA プロジェクトは 263 基のアンテナから成る次世代の電波干渉計であり、国立天文台も共同研究機関として技術面での貢献が期待されています。各アンテナは放射状もしくは数珠つなぎ状に光ファイバにより中央局と接続され、時刻・周波数の配信が行われることで完全同期系となり電波干渉計を成立させることができます。プロジェクト仕様の最長伝送距離目標は 1000km、受信周波数は 1.2GHz から 116GHz です。このような高周波数の信号受信を行う電波干渉計では、高安定な高周波基準周波数・時刻タイミング信号を各アンテナに配信し、受信信号の周波数変換を行うことで低周波信号に変換し、最終的に時刻の揃ったデジタル信号としてデータ収集されます。周波数変換は各アンテナで全く同じ量の“周波数の大下駄”を除くための手法で、その“周波数の大下駄”が各アンテナで不安定だったり異なっていたのでは電波干渉計は成立しません。低周波の基準信号を配信し、各アンテナで基準信号を×N 倍して高周波の周波数変換を行うことも考えられますが、各アンテナでの温度変動や外乱雑音は独立ですので×N 倍によって生じる変動を抑えるのは容易ではありません。このため、高安定な高周波基準信号・時刻タイミング信号を原子周波数標準から発生し、ファイバによる長距離伝送位相・遅延を補償するマイクロ波フォトニクスシステムの開発が重要となります。本報告では国立天文台での開発状況のご紹介を行います。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V131b Correction of Atmospheric Effects in ALMA Single-Dish Pipeline

Takeshi Nakazato, Kanako Sugimoto, Hajime Ezawa, Akira Yoshino, Kazuhiko Shimada, George Kosugi (NAOJ), Tsuyoshi Sawada (NAOJ/JAO), Harold Francke, Chin-Shin Chang, Laura Gomez (JAO)

We report recent improvement of ALMA Single-dish Pipeline regarding the correction of atmospheric effects. Single-dish spectral data has been corrected for atmospheric effects by subtracting the reference data from the source data where the reference data is taken at the reference position which is emission-free region close to the source. In practice, however, the reference can be far from the source for ALMA especially in the observation of Galactic sources. If elevations of reference and source are significantly different, resulting corrected spectra may show artificial emission or absorption features, which make subsequent data processing extremely difficult.

Recently, Sawada et al. (2021) established a way to correct atmospheric effects in the offline data processing phase. They showed that artificial features originated from the incorrect reference are considerably suppressed by performing the additional correction based on the estimation of residual component using atmospheric model. The algorithm has been implemented in CASA as a new task, `sdatmcor`. We succeeded in reducing the noise level of final image cube by incorporating the new task into ALMA Single-dish Pipeline for Cycle 8. Currently, we are developing the heuristics to optimize the atmospheric model for correction. The heuristics is expected to be available in Cycle 9 Pipeline. In this talk, we describe the algorithm of offline correction and the heuristics for optimization as well as the technical aspects of the development.

[スケジュール\(セッション毎\)に戻る](#)

[スケジュール\(全体\)に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V132a 月面の科学を実現するシナリオと実現性の検討：月面からの宇宙観測計画

山田亨, 磯部直樹, 岩田隆浩, 関本裕太郎, 宮崎康行, 佐伯孝尚, 森治, 吉光徹雄 (宇宙科学研究所), 井口聖 (国立天文台), 大西利和 (大阪公立大学), 高橋慶太郎 (熊本大学), 土屋史紀 (東北大学), 山内大介 (神奈川大学)

日本のアルテミス計画への参画により月面活動の機会が拡大していくことを念頭に、科学的成果および月面活動に必要な技術の双方の獲得を目指す活動が開始されつつある。我々は JAXA 国際宇宙探査における計画検討の呼びかけに呼応し、(1) 月面からの天体観測 (月面天文台)、(2) 重要な科学的知見をもたらす月サンプルの選別・採取・地球帰還、(3) 月震計ネットワークによる月内部構造の把握という 3 つの主要な科学課題を同定し、これらの段階的な実現を通じて将来の月面における国際宇宙探査活動につながる主要技術の実証と獲得を目指す検討をすすめている。とくに月面からの天体観測としては、自立型アンテナユニットを用いた低周波 (50MHz 以下) 電波干渉計を実現して月の裏側・月面の観測環境を活かした初めての本格的な月面での宇宙観測を実現することを提案しその検討をすすめている。その究極の目標は、月面でしか成しえない観測により、天体形成前の宇宙最初期における中性水素密度ゆらぎの直接の検出をめざすものである。このための段階的な実施計画として、早期の月面探査機会において着陸機に搭載するプロトタイプアンテナ、そして自立型アンテナユニット複数台によるプロトタイプ電波干渉計を構想し、そのための概念検討を行っている。本年会においては、本講演においてこれまでに検討した「月面の科学実現シナリオの検討」の概要と共に、とくに月面からの天体観測提案について報告し、関連する講演では、月面低周波電波干渉計を実現する科学目的 (山内、他、および土屋、他)、月面低周波電波干渉計の実現に向けた概念設計検討結果 (井口、他) についてより詳細に報告する。

[スケジュール\(セッション毎\)に戻る](#)

[スケジュール\(全体\)に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V133a 月面低周波電波干渉計の実現に向けた概念設計検討

井口聖 (自然科学研究機構国立天文台) 大西利和 (大阪公立大学)、高橋慶太郎 (熊本大学)、土屋史紀 (東北大学)、山内大介 (神奈川大学)、磯部直樹、岩田隆浩、関本裕太郎、宮崎康行、山田亨、佐伯孝尚、森治、吉光徹雄 (宇宙科学研究所)

月面での観測環境の最大の利点は、地球では電離層の影響を受けて受信が困難な 50MHz 以下での観測周波数が可能であること、そして特に月の裏側であれば地球からの人工電波やオーロラ等の自然電波の影響を避けられることがある。さらに月面では、安定した長期間の観測が可能であること、そして軌道上等では困難な大型建造物を設置できることなどの利点があげられる。この観測周波数は、暗黒時代における中性水素 21cm 線を観測することでグローバルシグナル (空間的な平均温度) の測定やさらには空間的な揺らぎの測定、太陽や木星の電波に加えて木星型系外惑星からの電波の観測、さらには月の電離層の観測など、これまで未開拓であった科学を観測的に切り開く潜在能力を秘めている。50MHz 以下の周波数帯での観測および測定の実現を目指し、本講演では月面での電波干渉計の概念設計の検討結果について報告する。まず干渉計としての基本設計概念、次に各素子となるアンテナの基本設計概念、そして干渉を行う相関処理の設計概念について、原理に基づいてそれらの検討結果を報告する。次に、科学目標等から定められる科学要求仕様、そしてシステム要求仕様の項目の洗出しと、それらの現段階での目標値の検討結果について報告する。そして最後に、現存する科学技術を用いて、これらシステム要求仕様を達成できるかについての検証結果についても報告する。また同様に米国で検討が進められている FARSIDE 計画との比較、そして月探査促進ミッション (LEAD) における電波望遠鏡の検討状況についても報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V134a SKA プロジェクトへの参加計画 6

小林秀行、赤堀卓也、河野裕介、廣田朋也、吉浦伸太郎、小山友明、寺家孝明、砂田和良、藏原昂平、本間希樹 (国立天文台) 高橋慶太郎 (熊本大学)

本講演では、SKA 計画の進捗と日本の参加計画の検討の進捗状況について報告する。SKA 計画は、50 - 350MHz の SKA LOW をオーストラリアに 350MHz - 15.4GHz の SKA MID を南アフリカに建設する計画で、第 1 期の SKA 1 計画の建設が 2021 年 7 月から開始されており、インフラの建設、アンテナ、受信機、相関器、ソフトウェアの開発が参加メンバー国の分担のもと進められている。日本でも研究コミュニティ団体である日本 SKA 協会を中心に 10 年以上にわたる参加の検討が進められており、宇宙電波懇談会・VLBI 懇談会も参加をサポートしている。国立天文台では、2019 年から 3 年間 SKA1 検討グループとして日本の参加案について検討を進め、SKA 本部とも協議を進めてきた。それを元に 2021 年 10 月に 2022 年から 2028 年の建設期における参加プランに加えて、2033 年までの初期科学成果の創出に向けた活動計画を含むプロジェクトを国立天文台に提案した。これを踏まえて SKA 本部と MoU を締結し、AIV 活動への参加を開始しているほか、Scinence Regional Center (SRC) の SKA 全体での検討に参加し、日本、中国、オーストラリア、韓国が参加するアジア太平洋地域における SRC プロトタイプの開発・試験を開始している。日本国内では、初期科学性能の評価に参加するための計画の検討も開始した。これら SKA 計画の進捗状況および日本国内での準備活動の状況と今後の計画について述べる。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V135a 北半球最高感度ミリ波サブミリ波ヘテロダイン受信システム LMT-FINER III. 遠赤外線微細構造線による前・宇宙再電離期の銀河形成の開拓

田村陽一, 萩本将都, 谷口暁星 (名古屋大), 酒井剛 (電気通信大), 小嶋崇文, 川邊良平 (国立天文台), 河野孝太郎, 廿日出文洋, 吉村勇紀 (東京大), 田中邦彦 (慶応大), 井上昭雄 (早稲田大), 橋本拓也 (筑波大), 竹腰達哉 (北見工業大), 他 FINER チーム

近年、遠赤外線輝線 [O III] や [C II] の ALMA 観測による宇宙再電離「前期」(赤方偏移 $z > 8$ 、以下、前・再電離期)の開拓が目覚ましい(橋本他 2018, 田村他 2019, Bakx 他 2020, 播金他 2022, 徳岡他 2022 等)。JWST や Euclid、Roman など近赤外線宇宙望遠鏡の時代がいよいよ到来し、前・宇宙再電離期の銀河候補天体が南天・北天問わず数多く発見される期待が高まる今、こうした銀河候補天体に対する遠赤外線輝線のサブミリ波分光観測はその重要性を増している。また、こうした科学的要求に応える広帯域中間周波数を備える受信機フロントエンド(小嶋他 2017, 2020)など、「ALMA2」を支える要素技術が着々と実現している。

本講演では、大型ミリ波望遠鏡 LMT 50 m と組み合わせることで北半球で ALMA に比肩する分光探査性能を実現する、120–350 GHz 帯ヘテロダイン受信機 FINER の開発計画を報告する。ALMA2 の鍵技術を活用する LMT-FINER は、ALMA に比して 40% の集光面積、同等の標高 (4600 m)、4.5 倍広い分光帯域をもたらす。これにより、ALMA と同等の分光探査効率を、ALMA ではアクセスが困難な北天 ($\delta > +30^\circ$) で達成し、未分光のまま残された北天の $z \sim 8$ –15 の前・再電離期候補天体を [O III] 88 μm ・[C II] 158 μm 輝線で分光同定しその星間物理を探る計画である。本講演では、科学的目標と装置への要請、装置仕様、推進体制、年次計画を示すとともに、デジタル分光計やスパースモデリングによる観測法の開発進捗にも触れる。

[スケジュール\(セッション毎\)に戻る](#)

[スケジュール\(全体\)に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V136a Large Submillimeter Telescope (LST): 8. コミュニティーとの連携強化

河野孝太郎 (東京大学), 田村陽一, 谷口暁星 (名古屋大学), 古屋 玲 (徳島大学), 竹腰達哉 (北見工業大学), 川邊良平, 阪本成一, 石井 峻, 大島 泰 (国立天文台)

大型サブミリ波望遠鏡 LST は、ミリ波サブミリ波帯で広視野・広波長域を一挙に観測可能な大口径 (50m) 単一鏡を南米チリに建設し、アルマや ngVLA、SKA などと相補的で新しいディスカバリー・スペースを開拓する計画である。2021 年夏には宇宙電波懇談会・電波天文将来計画検討 WG で日本学術会議マスタープラン 2023 に向けたコミュニティーの中での議論が行われ、LST は計画の成熟度・完成度を高めていくフェイズにある一方、高い学術的価値を有するとの評価を得た。さらに計画を前進させていく上で、コミュニティーとの連携を強化し、多様な分野からの科学的要請を集約していくため、LST 科学白書の作成を開始した。白書では、銀河や銀河団の形成と進化・構造形成・ブラックホール・星間物質・星形成・太陽系内天体・宇宙化学・時間軸天文学など多岐にわたるテーマをカバーする。7 名の研究者に各テーマの取りまとめ役をお願いし、さらに合計 93 名もの執筆者が参画して、今年の秋の完成を目指している。この過程の中で、コミュニティーに開かれたワークショップの開催を行っている。また、LST 計画に関心を持ち計画推進にご賛同いただく研究者が所属する機関として 24 に及ぶ大学が加わっていただくことになった。こうした研究者や興味を持つ若手研究者・学生が気軽に参加できる LST セミナーを昨年 12 月より毎月 1 回のペースで開始した。こうした取り組みに加え、欧州 AtLAST 計画との連携、また、ASIAA(台湾)との連携協定についての準備も開始するなど、国際的な連携を強化するための活動にも今後さらに力を入れていく計画である。このほかミリ波補償光学や焦点面装置などの開発活動の状況についても触れる。遺伝的アルゴリズムによる LST アンテナ構造設計に関する講演(今村千博他、本年会)も参照のこと。

[スケジュール\(セッション毎\)に戻る](#)

[スケジュール\(全体\)に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V137a 遺伝的アルゴリズムによる自重変形を考慮した 2 次元パラボラ構造最適化手法の実装

今村千博, 田村陽一, 谷口暁星 (名大), 木村俊明, 河村拓晶, 白井彩女 (名市大), 栗田光樹夫 (京大)

本講演では、Large Submillimeter Telescope (LST) 主鏡支持構造最適化を目的とした、遺伝的アルゴリズム (GA) による構造最適化コードの開発および、今後の方針を報告する。

LST はチリ共和国に建設を計画している口径 50m の大型ミリ波・サブミリ波単一鏡の広視野、広帯域観測により、ALMA と相補的なディカバリースペースを開拓するプロジェクトである。LST のサブミリ波観測には十分な鏡面精度 ($45\mu\text{m}$ RMS) が求められる (Kawabe+2016) が、巨大なアンテナゆえに鏡面精度は自重変形や温度膨張・収縮に大きく影響されるため、高剛性かつ軽量な主鏡支持構造が必要である。一般的に、この構造を構成する部材の数は数万に上り、部材の配置や断面積の組み合わせは無数に存在する。この中から上記の要求を満たす構造体を探索することは従来の構造設計では困難であり、計算機を用いた構造最適化を行うことが望ましい。この手法の天文学への応用例として、せいめい望遠鏡の開発において、支持構造を GA により最適化した結果、軽量で高速に駆動する望遠鏡の開発に成功したことが報告されている (Kurita+2020)。

本研究では、構造解析ツール OpenSeesPy と進化計算フレームワーク DEAP を組み合わせた GA による構造最適化コードのうち、ホモログス変形とアンテナの仰角を考慮した最適化を実装した。作成した 2 次元パラボラ構造のモデルにコードを適用したところ、部材の配置、断面積が最適化され、仰角 30° と 90° の変形を考慮した多目的最適化では、ホモログス変形を考慮した鏡面誤差の最大値がアクチュエータで対応できる値 (約 $100\mu\text{m}$) になった。このツールの開発により、さまざまな条件下での主鏡支持構造の最適化の研究を行う基礎が作られた。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V138a 超広帯域ミリ波サブミリ波帯反射防止多層膜の開発

長沼桐葉, 吉岡佳輔, 酒井剛, 山村亮介 (電気通信大学), 大島泰 (国立天文台), 竹腰達哉 (北見工業大学), 丹羽佑果 (東京工業大学), 宇野慎介, 陳家偉, 井上修平 (東京大学)

我々は宇宙構造形成史・星形成史の解明を目標に、広視野かつ超広帯域 (130–710 GHz) の多色同時撮像型ミリ波サブミリ波カメラの開発を進めている。本カメラでは超伝導検出器を 250 mK に冷却することで高感度を実現する。冷却系の真空断熱に必要な真空容器には、光学能率を最大化し、大口径 (直径 250 mm) かつ超広帯域で反射損失の小さな真空窓が不可欠となる。真空窓には、強度が高く、サブミリ波帯での吸収係数の小さな超高分子量ポリエチレン (屈折率 $n = 1.52$) が広く用いられているが、窓と真空の界面での屈折率の違いに起因する反射はその両面で平均 8% にもなる。この反射を広帯域に渡って防止する方法として、一般に真空と窓材の中間の屈折率を持つ膜材を、その屈折率が等比的に並ぶように窓に積層すればよいが、特に $n = 1.3$ 付近で様々な厚みを持つ膜材が乏しいため、本カメラで目指すような超広帯域の真空窓が実現した例はない。我々はこれまで、この材料不足を克服する技術として、膜間の接着層を活用し、これと低屈折率膜材を組み合わせることで必要な屈折率を持つ層を合成する方法を検討し、透過特性の最適化計算手法を確立した (長沼他、2021 年秋季年会 V122a)。今回、この検討に基づいて最適化した多層膜の小型サンプルの作製、および時間領域分光法による透過特性の評価を実施した。その結果、シミュレーションとよく一致する 130–710 GHz の平均反射損が $< 1\%$ となる特性を得た。これによって、従来の屈折率の自由度の低さによる材料不足を克服し、真空窓の超広帯域な反射防止の実現が可能となる。本講演では、この反射防止膜の多層接着手法に加え、多色サブミリ波カメラの大口径真空窓および冷却光学系に用いられる誘電体レンズ曲面への接着方法について、その検討状況を報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V139a 広帯域ミリ波サブミリ波帯多色カメラ用平面型直交偏波分離器の設計

宇野慎介, 陳家偉, 井上修平 (東京大学), 大島泰 (国立天文台), 竹腰達哉 (北見工業大学), 長沼桐葉 (電気通信大学), 丹羽佑果 (東京工業大学)

ミリ波サブミリ波帯受信機のアレイ化を実現する技術として、ホーンアンテナと結合させた平面型の直交偏波分離器 (ortho-mode transducer; OMT) を検出器回路の一端として同一基板上に配列、集積化する手法が注目されている。この平面型 OMT は焦点面検出器アレイの各ピクセルで直交二偏波を同時検出するためのもので、既に宇宙マイクロ波背景放射観測用の受信機での搭載・運用実績がある。

我々が開発を進めている広帯域ミリ波サブミリ波帯多色同時撮像カメラでは、平面型 OMT とオンチップ型周波数弁別フィルターとを組み合わせるにより、一素子で3バンド両偏波同時検出を行う。本カメラの実現に向けては、OMT を含む検出器回路上の各コンポーネントの広帯域化が重要な開発課題となっている。具体的には、本カメラの低周波3色検出器アレイ用の OMT に対して 130–295 GHz (比帯域 2.27 倍) をカバーする広帯域特性が要求される。

そこで本研究では、比帯域 2.27 倍以上の広帯域にわたって高効率となるような平面型 OMT の設計解探索を行った。3次元電磁界シミュレーションを用いて周波数応答を解析したところ、高次の円形導波管モードが励起され始めるカットオフ周波数と平面型 OMT のバンド上限周波数との対応関係が見られた。この結果からは平面型 OMT で実現可能な比帯域が最大 2.28 倍程度であることが導かれ、既存の平面型 OMT で半経験的に知られる比帯域をよく説明できる。本講演では上記の解析結果に加え、最新の設計および製作準備状況について報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V140a 広帯域ミリ波・サブミリ波検出器のためのアレイ化に適した Magic-T の設計

井上修平, 陳家偉, 宇野慎介, 河野孝太郎 (東京大学), 丹羽佑果 (東京工業大学), 長沼桐葉, 山村亮介 (電気通信大学), 竹腰達哉 (北見工業大学), 大島泰 (国立天文台)

我々は、宇宙構造形成史および星形成史の解明を目指し、広視野かつ超広帯域なミリ波サブミリ波帯多色同時撮像カメラの開発を行っている。天体信号はホーンで集光され検出器基板上の平面型直交偏波分離器 (OMT) で直交する2偏波に分離されるが、各偏波で対向する2つのプローブで位相が反転している。そこで、2つの入力信号を広い帯域でずれを抑えつつ位相反転させて合成する平面型 Magic-T が同じ基板上に必要な。その基本は、長さが1/4波長と3/4波長の線路で構成し、線路長の差を用いて位相を反転するため、単一波長付近しか機能せず、狭帯域であった。一方、3/4波長の線路を結合線路 (Coupled Line) に置換し、この導入で非対称になる回路の位相を補償するスタブ、および多段のインピーダンス変換器を追加することで広帯域にできる。0.8–2.8 GHz 帯においては、誘電体を積層した結合線路と2段のインピーダンス変換器で比帯域 3.5 が実証されている (Gruszczynski 他, 2012)。そこで、検出器に合わせた比帯域 2.3 を実現するために、この手法を基盤として、単層構造でアレイ化の製造負荷を低減する Magic-T の開発を行った。

今回は、性能評価が容易な低周波数 (6–14 GHz、比帯域 2.3) スケールドモデルで設計手法の確立を行った。単層結合線路はインピーダンスが高く、先行研究のような解析解は存在しない。そこで、解析解の拘束条件をやや緩和した上で、電磁界シミュレーションにより結合線路の構造とインピーダンスの関係を網羅的に探索した。その結果、1段のインピーダンス変換器と組み合わせて、入力反射係数が 0.12 以下、かつ出力の振幅と位相のずれをそれぞれ 0.03 と 1.5° 以下に抑えることに成功した。本講演では設計手法と得られた最適解について報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V141a テラヘルツ領域の観測に向けた強度干渉計の開発

小関知宏, 丹羽綾子 (筑波大学), 江澤元, 松尾宏 (国立天文台), 栄野比里菜 (東邦大学)

テラヘルツ強度干渉計にむけた実証実験を目的とした強度干渉計実験の光学システム、広帯域かつ低雑音の読み出し回路の開発の取り組みを報告する。

我々は 2 素子強度干渉計の実証実験のために周波数 500GHz、口径 76.2mm、基線長 10 – 50cm の光学システムを製作している。本干渉計の特徴は、SIS 光子検出器を用いた広帯域・高速読み出しによる遅延時間測定である。SIS 光子検出器は 0.8K で低リークが得られ約 300M Ω の出力抵抗を持っている。このため信号を後段の広帯域増幅器に接続するためのソースフォロワー回路の開発が必要である。冷却性能制限の消費電力 100 μ W で動作し、出力抵抗が 3.4k Ω まで下げることの可能である 0.8K 動作のソースフォロワー回路を開発した。4K ステージでは消費電力 10mW 以下で動作し、出力抵抗をさらに下げることが可能である GaAs HEMT を候補として IV 特性、ゲートリークの評価を進めた。その結果、出力抵抗を 100 Ω 以下まで下げることができ、SIS 光子検出器の高速信号読み出しによる実現が可能である。本講演では信号読み出しシステムの評価および強度干渉計光学システムの概要を報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V142a CMB 偏光観測衛星 LiteBIRD ミッション部の概念設計と構造検討

小栗秀悟, 岩渕頌太, 小川博之, 小田切公秀, 奥平俊暁, 加賀亨, 佐藤泰貴, 鈴木仁研, 関本裕太郎, 堂谷忠靖, 永田竜, 榎崎勝弘, 松田フレドリック, 宮崎康行, 吉原圭介, 綿貫一也 (JAXA/ISAS), 一色雅仁, 吉田誠至 (SHI), Baptiste Mot, Gilles Roudil (IRAP), Thomas Prouve (Univ. Grenoble Alpes)

LiteBIRD は、初期宇宙を記述するインフレーション宇宙論の検証を目指して検討が進められている科学衛星で、JAXA 主導の国際プロジェクトである。宇宙マイクロ波背景放射 (CMB) の偏光観測に特化し、原始重力波の痕跡である B モード偏光パターンを、テンソル・スカラー比 $\Delta r < 0.001$ の精度で観測する計画である。2020 年代後半の打ち上げ目指し、現在は JAXA のプロジェクト準備審査に向け、準備を進めている。

衛星は、望遠鏡を搭載するミッション部と、電力や姿勢制御を担当するバス部に分けられ、それぞれが JAXA リードで開発されている。ミッション部は、5K まで冷却する 2 台の望遠鏡 (低周波望遠鏡と中高周波望遠鏡) を有する。望遠鏡の冷却には、機械式冷凍機が用いられる。衛星の冷凍機は電力の制限が厳しいため、ミッション部には高い断熱性が求められる一方、ロケットの打ち上げに対する十分な剛性も必要となる。断熱部は、CFRP チューブによるトラス構造を組んでおり、その配置やチューブ径の最適化が進められている。また同時に、断熱部への負荷を軽減させるため、望遠鏡の軽量化も進められている。

本講演では、ミッション部、その中でも特に、JAXA が所掌する低周波望遠鏡の設計について説明する。また、構造検討では、低周波望遠鏡及びミッション部全体の構造解析を進めている。固有振動解析、および、準静的荷重に対する座屈解析等の進捗を報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V143a CMB 偏光観測衛星 LiteBIRD 低周波望遠鏡の crossed Dragone 型光学設計の開発

松田フレドリック (JAXA/ISAS), 小栗秀悟 (JAXA/ISAS), 小田切公秀 (JAXA/ISAS), 鹿島伸悟 (NAOJ), 関本裕太郎 (JAXA/ISAS), 高倉隼人 (東京大学), 堂谷忠靖 (JAXA/ISAS), 永田竜 (JAXA/ISAS), 中野遼 (東京大学), 吉原圭介 (JAXA/ISAS), 綿貫一也 (JAXA/ISAS), 他 LiteBIRD Joint Study Group

ビッグバンは時空の加速膨張「インフレーション」により生み出されたと推測されている。インフレーションの決定的証拠となりうるのが「原始重力波」であり、宇宙マイクロ波背景放射 (CMB) の偏光成分の大角度スケール「B モード」の元となっている。LiteBIRD は原始重力波の精密測定を CMB の偏光観測で行う JAXA 主導の国際プロジェクトである。ラグランジュ点 (L2) にて 3 年間の観測を 34-448 GHz の幅広い周波数帯域で行い、原始重力波の強度に相当するテンソル・スカラー比 r の誤差を $\delta r < 0.001$ の精度で測定する計画である。JAXA の戦略的中型ミッション 2 号機として選定されており、2020 年代後半の打ち上げを目指している。

LiteBIRD は 34-161 GHz 観測を行う低周波望遠鏡 (LFT) と 89-448 GHz 観測を行う中高周波望遠鏡 (MHFT) を搭載する。LFT は日本グループが、そして MHFT は欧州グループが担当し、精力的に開発が進められている。読み出し用エレクトロニクスはカナダグループが担当する。LFT は二つの反射鏡を用いた crossed Dragone 型望遠鏡であり、それぞれの鏡面の形に高次の補正項を導入することにより、広い視野と広域な観測周波数帯での高い光学性能を維持できる光学設計である。本講演では、LFT の光学性能をより向上させる光学設計の改良について報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V144a LiteBIRD 低周波望遠鏡アンテナの時間領域分割測定による迷光評価

高倉隼人, 中野遼, 関本裕太郎, 小栗秀悟 (東京大学・JAXA), 稲谷順司, 松田フレドリック (JAXA), 杉本正宏 (NAOJ)

2020 年代後半打ち上げ予定の宇宙マイクロ波背景放射偏光観測衛星 LiteBIRD に搭載される望遠鏡のうち、低周波望遠鏡は 34-161 GHz の帯域を $18^\circ \times 9^\circ$ の視野で観測する。低周波望遠鏡は、2 枚の反射鏡で構成される crossed Dragone 型のアンテナ光学系を持つ。望遠鏡の迷光に起因する銀河面の放射との混信は観測への主要な系統誤差要因となる一方、広視野光学系では迷光が生じやすいことから、光学設計の精密な検証が必要である。

我々は、LiteBIRD 低周波望遠鏡のアンテナ光学系を波長も含めて 1/4 倍にスケールし、アンテナパターンや偏光角などの光学特性評価に取り組んでいる (H. Takakura+2019, IEEE TST; H. Takakura+, submitted to JATIS)。過去の測定により、迷光に起因する広角サイドローブ成分が、開口部に取り付けたフードにより設計通り低減されていることを確認した。今回は、より高精度な検証に向けて、時間領域での分割による迷光評価を行った。アンテナ開口近傍における 160-200 GHz (実寸の低周波望遠鏡の 40-50 GHz に相当) の電場分布を測定し、測定面内の各位置で周波数領域から時間領域に逆 Fourier 変換した。到達時刻の異なる成分の空間分布を比較することで、迷光成分を空間的・時間的に判別した。幾何光学シミュレーションと角度や到達時刻が矛盾しない成分が見られ、フードの内壁により反射された光やフードに遮られない多重反射光がサイドローブに寄与していること、これらが -60 dB レベル以下に低減されていることを実験的に確認した。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V145a ボロメータアレイ検出器搭載望遠鏡のアンテナパターン測定に向けたホログラフィー近傍界測定法の考察

中野遼, 高倉隼人, 関本裕太郎 (東京大学・ISAS), 稲谷順司 (JAXA/ISAS), 杉本正宏 (NAOJ), 小栗秀悟 (東京大学・ISAS), 松田フレドリック (ISAS)

インフレーション理論が予測する原始重力波は、宇宙マイクロ波背景放射 (CMB) の偏光に B-mode と呼ばれる特徴的な偏光パターンを生成することが予測されている。この信号をより高精度に観測するためには、望遠鏡のマルチピクセル化と低雑音化が必要である。近年の CMB 実験では、低雑音かつマルチピクセルのボロメータアレイ検出器と、これを搭載するための広い焦点面を持つ広視野望遠鏡が開発されてきた。望遠鏡の光学特性の検証のために実験室レベルでのアンテナパターン測定が行われてきたが (Takakura et al. 2019 IEEE TST)、位相の検出できない検出器とアンテナ光学系を組合せた状態で検証する手法に課題があった。

我々は CMB 偏光観測衛星 LiteBIRD 低周波望遠鏡のスケールモデルの測定を通じて、参照信号との干渉の強度測定から開口面の位相分布を復元するホログラフィー近傍界測定法により、広視野でアンテナパターンを -60 dB レベルで測定できる見込みを得た (2021 秋季天文学会 V115a)。

ホログラフィー近傍界測定において位相を復元するためには、位相情報を含む成分のフィルタリングと参照信号の較正が必要である。本講演では、今後の測定の高精度化に向けてこれらの手法について考察する。フィルタリングについては、空間方向または時間方向にフーリエ変換する手法が提案されており、これら 2 つの手法を比較した。参照信号の較正については、参照信号を焦点面に向けて固定しアンテナを受信モードで測定する構成を新たに開発し、較正を不要にした。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V146a Geant4 を用いた LiteBIRD 衛星における宇宙線の影響評価

富永愛侑 (東京大学, JAXA/ISAS), 辻本匡弘 (JAXA/ISAS), Samantha Lynn Stever (岡山大学), 石野宏和 (岡山大学), 塚常芹香 (岡山大学)

LiteBIRD 衛星は、インフレーション理論から予想される宇宙マイクロ波背景 (Cosmic Microwave Background; CMB) の大角度スケール B モード偏光観測に特化した観測衛星である。2020 年代後半に打ち上げ予定であり、太陽-地球系の第 2 ラグランジュ点で 3 年間の全天観測を行う。衛星は宇宙空間で常に宇宙放射線 (Cosmic Rays; CR) に晒される。焦点面検出器に照射した CR は、熱的なゆらぎを生じ、数千個の超電導遷移端ボロメータ (Transition Edge Sensor; TES) を通してノイズとして検出される。これは、B モード偏光測定における最も大きな系統誤差の要因の 1 つと考えられており、物理モデルに基づく End-to-End のシミュレーションによる影響評価が進められている。先行研究では入射する CR として銀河宇宙線のみモデル化し、一次粒子として採用した。しかし実際の L2 点では、(1) 異常宇宙線、太陽エネルギー粒子線と呼ばれる異なるフラックスをもつ CR が到来する。また、(2) 衛星構体の物質と一次粒子が相互作用することで生じる二次粒子の影響も考慮すべきである。

そこで我々は、上記 2 項目を考慮した場合の検出器面上の熱的なゆらぎを評価することを目標とし、モンテカルロ法を用いた物質中の粒子飛跡シミュレーション用ソフトウェアツールキットである Geant4 を用いたシミュレーションを行った。本講演ではシミュレーションの結果と妥当性評価、及び CR ノイズ低減に向けた設計の提案について述べる。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V201a TMT 計画 – 進捗報告

白田知史, 青木和光, 山下卓也, 杉本正宏, 鈴木竜二, 嘉数悠子, 倉崎高明, 藤縄俊之, 能丸淳一, 関口和寛, 吉田道利, 常田佐久 他 (国立天文台), H. Yang, L. Simard, E. Reddy, T. Soifer, S. Xue, B. Kirshner, F. Liu 他 (TIO)

TMT は日本が国際協力で実現を目指している次世代の地上超大型 30m 望遠鏡である。TMT 国際天文台 (TIO) は、2019 年以後マウナケア山頂域での建設工事を進められていないが、状況の改善に向け、TIO が地元ハワイに根差した活動で信頼関係を醸成することを重視し、TIO 本部のハワイへの段階的移転を 2021 年より開始した。ハワイの TIO および国立天文台職員を中心に、これまで TMT に批判的だった人たちを含め地元関係者との直接対話および教育支援等の活動により、急先鋒だった先住民から感謝も聞かれるなど、信頼関係の醸成が進んでいる。ハワイ州議会の下に設置されたワーキンググループがとりまとめた報告書を基に、マウナケア管理法案が州議会で審議され、先住民も参加する新管理組織への移行が圧倒的多数で可決された。TMT の建設・長期運用には、先住民に信頼されるマウナケア管理は必要でありそれに向けた大きな一歩と言える。米国国立科学財団 (NSF) などがスポンサーとなって米国科学アカデミーが実施する Decadal Survey (Astro2020) において、地上望遠鏡計画として TMT を含む US-ELT プログラムが最優先計画として位置づけられたことを受け、TIO は AURA と協力して NSF が実施する基本設計審査 PDR を年内に受ける予定で準備を進めている。TIO および参加機関における活動は財政的に抑制している状況ではあるが、全体計画の工程上必須の作業が各国で進められている。国立天文台でも日本担当部分が全体計画の遅延を引き起こさないために、製造再開後に必須の準備作業や設計・開発作業を進めている。本講演では、TMT 計画の国内外を含む現状と今後の展望について報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V202a TMT 第一期観測装置 広視野可視撮像分光装置 WFOS の開発進捗

尾崎忍夫, 浦口史寛, 清水莉沙, 都築俊宏, 池之上文吾, 田中陽子, 宮崎聡 (国立天文台), 海老塚昇 (理化学研究所), Chuck Steidel, Jason Fucik, Reston Nash (Caltech), Davide Lasi (TMT), Eric, Peng (Peking University), WFOS team

広視野可視撮像分光装置 Wide Field Optical Spectrograph (WFOS) は次世代超巨大望遠鏡 Thirty Meter Telescope (TMT) のファーストライト期に揃えられる 3 つの観測装置の一つで、可視域での撮像とスリット分光の機能を有する汎用装置である。WFOS はアメリカ、日本、中国、インドの国際協力で推進されており、今年 2 月に行われた Conceptual Design Review に合格し、4 月から Preliminary Design Phase へと移行した。国立天文台はスリットマスク交換機構やその製造設備の検討を行ってきた。WFOS の光学系は非球面 2 面のコーリメーターの後流でダイクロミックミラーにより 550nm 付近で光を分け、各波長域に最適化された分散素子とカメラレンズシステムが配置される。撮像視野は 8.3' × 3', スリット分光時には 0.75" 幅スリットに対して波長分解能 R~1,500, 3500, 5,000 である。R~1,500 においては一度の露出で 310 – 1,000 nm のスペクトルを得られる。0.25" 幅スリットにすると、最大で R~15,000 を達成できる。多天体分光の場合、スリット長さ 8" にすると約 60 天体のスペクトルを同時に得ることが出来る。装置効率 (望遠鏡と大気は含まず) はピークで約 70%、最低でも約 25% (波長 310nm) と見込まれている。分散素子は VPH グレーティングがベースラインとなっているが、より帯域幅の広い Volume Binary Grating (VBG) も検討されている。また我々のグループでは将来計画として WFOS へ組み込む面分光ユニットの検討を進めている。本講演では、これまでの WFOS のレイアウトの変遷を振り返った後、最新の設計と期待される性能について説明する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V203a SuMIRe-PFS[33]: プロジェクト概要と装置開発進捗状況まとめ 2022 年秋季

田村直之¹, 森谷友由希^{2,1}, 矢部清人¹, 村山齊¹, 高田昌広¹, 田中賢幸², Julien Rousselle², 越田進太郎², 石塚由紀², 鎌田有紀子², 他, PFS A project、PFS collaboration (¹ 東京大学カブリ IPMU, ² 国立天文台)

PFS(Prime Focus Spectrograph) プロジェクトでは、昨年秋に望遠鏡上に主焦点装置 (PFI) を装着しての試験 (9 月) と試験観測 (11 月) を初めて行い、ファイバー配置精度確認、AG カメラ first light、分光器からの安定したデータ取得等一定の成果を上げた。引き続き今年 5 月に行った試験観測では PFI の電源系統や冷却水漏れ検知センサーにトラブルが起き多くの試験が実施できなかったが、復旧を進めており、次回 6 月のランでファイバーへの星の導入 (Engineering First Light) 達成等を目指す。試験観測を通しては、装置制御やパイプライン等のソフトウェア開発の他、共同利用観測運用に必要なデータベースやツールの準備にも注力しており、合わせて様々なポリシー策定に向けた議論も進めている。残存するハードウェア開発のうち、PFI と分光器をつなぐファイバーケーブルの 2 本目を 4 月に望遠鏡・ドーム上に敷設した。敷設後継続している光学試験の結果は良好である。残り 2 本のケーブルは輸送前レビューを通過後ブラジルからハワイに向けて先日出荷された。分光器については、2 台目 3 台目の年内ハワイ到着を目標に、懸案だった検出器の傾き問題の修正を施しつつ組上試験を進めている。ジョンズホプキンス大学で進んでいる近赤外カメラの 1 台目の試験は終盤を迎え、7 月に輸送前レビューを予定している。このカメラはまずマルセイユ天文物理研究所に送られ分光器 3 台目上でさらに試験された後ハワイへ納入される。なお、熱輻射抑制特殊コーティングの膜付は無事全て完了し、1 台目のカメラで残存熱輻射が想定通りに低く抑えられていることが確認された。本発表ではこうした装置開発の現状と今後の展望を紹介する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V204a すばる望遠鏡広帯域分光装置 NINJA : 装置概要

東谷千比呂, 吉田道利, 守屋堯, 本原顕太郎, 尾崎忍夫, 柳澤顕史, 大野良人, 美濃和陽典, 早野裕, 小山佑世, 富永望, 大内正己, 田中賢幸 (国立天文台), 田中雅臣, 秋山正幸 (東北大学), 長尾透, 松岡良樹 (愛媛大学), 柳引洗佑, 穂満星冴 (東京大学) 他

本講演では、すばる望遠鏡への新規持ち込み観測装置として提案予定の NINJA (Near-INfrared and optical Joint spectrograph with Adaptive optics) の装置概要を紹介し、その開発状況を報告する。

すばる望遠鏡では広視野高解像赤外線観測装置 ULTIMATE-Subaru 計画を推進しており、その主要コンポーネントとして可変副鏡を軸とした新たな補償光学システムの開発が進行中である。この計画では、メインとなる広視野地表層補償光学 (GLAO) に加えて、複数のレーザーガイド星とトモグラフィ技術を利用して大気ゆらぎを高さ方向に分解して推定を行い、ターゲット方向に対して最適な波面補償を行うレーザートモグラフィ補償光学 LTAO (Laser Tomography Adaptive Optics) も検討されており、広視野観測だけでなく、視野は限られるが近赤外線域では回折限界かつ可視域でも大幅に空間分解能を改善する観測モードの実現も目指している。この LTAO に最適化し、可視光・近赤外線のシングルスリット分光かつ同時多波長分光する観測装置が NINJA である。NINJA は、大きく 3 つのシステムから構成される。LTAO から出た光を可視と近赤外に分ける前置光学系と、分けられた光をそれぞれ分光する可視分光器と近赤外線分光器である。目標波長分解能は約 3000-4000 としている。現在は、前置光学系の概念設計が終了し、近赤外線分光器の光学系最終設計およびクライオスタットの概念設計を行っており、2024 年度中の近赤外線分光器のファーストライトを目指している。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V205a すばる望遠鏡広帯域分光装置 NINJA：科学目標

守屋亮, 吉田道利, 東谷千比呂, 本原顕太郎, 尾崎忍夫, 柳澤顕史, 大野良人, 小山佑世, 富永望, 大内正己, 美濃和陽典, 早野裕, 田中賢幸 (国立天文台), 田中雅臣, 秋山正幸 (東北大学), 長尾透, 松岡良樹 (愛媛大学), 櫛引洸佑, 穂満星牙 (東京大学) 他

すばる望遠鏡では、広視野高解像赤外線観測装置 ULTIMATE-Subaru 計画を推進している。その1つの機能として整備されつつある次世代の補償光学 Laser Tomography Adaptive Optics (LTAO) は、可視光から近赤外線領域において回折限界に近い集光を可能とする。我々は、すばる望遠鏡の LTAO に最適化した広帯域分光装置 NINJA (Near-INfrared and optical Joint spectrograph with Adaptive optics) の開発を進めており、現在、近赤外線域 (波長範囲約 850-2500 nm) を波長分解能約 4000 で観測する近赤外線分光器を製作中である。

本講演では NINJA の科学目標について議論する。NINJA の主な科学目標は宇宙における鉄より重い重元素の起源を解明することである。2つの中性子星の合体による重力波 (GW 170817) とその電磁波対応天体 (キロノバ) の観測により、中性子星合体で多くの重元素が合成されていることが確かめられたが、観測例はまだ1例に限られている。2025年より開始予定の重力波望遠鏡第5期観測では 200 Mpc までの中性子星合体による重力波が観測できるようになり、全天で年間 50 個ほどの中性子星合体が重力波で観測される。NINJA によって 200 Mpc までに現れるキロノバを1週間以上近赤外線分光可能となり、中性子星合体における元素合成の多様性を明らかにすることができるようになる。また、高赤方偏移の銀河やクエーサーの候補の分光を通して高赤方偏移銀河とクエーサーを同定するとともに、これらの金属量やブラックホール質量を決めることで、初期銀河や超巨大ブラックホールの形成史を明らかにできる。他にもより近傍の銀河などの分光観測での活躍が期待される。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V206a すばる望遠鏡 HSC データを用いた小惑星検出アプリ COIAS の開発 2

浦川聖太郎 (日本スペースガード協会), 杉浦圭祐 (東京工業大学), 前田夏穂 (神戸大学), 大坪貴文, 小池美知太郎, 白田-佐藤功美子 (国立天文台), 茂木遙平 (北海道大学), 木下大輔 (台湾国立中央大学), 北里宏平, 服部晃大 (会津大学), 関口朋彦 (北海道教育大学)

すばる望遠鏡 HSC (Hyper Suprime-Cam) データに向けた小惑星検出アプリケーション COIAS (コイアス。Come On! Impacting Asteroids) の開発状況について報告する。すばる望遠鏡 HSC のアーカイブデータには、未発見のものを含む数多くの小惑星が撮像されている。しかしながら、これらの小惑星に対して検出、位置測定、測光を行い、その結果を MPC (Minor Planet Center) へ報告を行う有用なアプリケーションが存在していなかった。そこで、我々は、小惑星の検出、測定、報告を行うアプリケーション「COIAS」の開発を行った。COIAS ではマスク画像による恒星の除去、移動天体の検出及び測定、既知小惑星との照合、未知小惑星の確認、報告ファイルの作成という、画像処理から MPC への報告に至るまでの一連の作業を行うことができる。さらに、これらの処理は全て Web ブラウザ画面を利用した GUI (Graphical User Interface) でのクリック操作で実施することができる。Web ブラウザを用いたことでコンピュータの OS によらず COIAS を実行することができる。また、コマンドライン入力を用いず、OS によらない実行環境を構築できたことにより、研究者のみならず、高校生や一般市民でもすばる望遠鏡 HSC データを用いた小惑星探索を実施できるようになった。COIAS を用いた小惑星探索により以下の効果が期待できる。1. 直径 200m 程度に至る小惑星のサイズ分布や軌道分布の解明。2. 地球接近天体検出による Planetary Defense への貢献。3. 未発見小惑星の検出体験を通じた教育効果、市民天文学への寄与。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V207a 銀河画像の空間分解能改善:最適な正則化と主双対近接分離を用いた解法

村田一心 (国立天文台), 竹内努 (名古屋大学, 統計数理研究所)

本研究では、銀河画像の空間分解能改善に適した正則化手法を提案する。近年の銀河進化の研究分野では、空間分解して構造を調べる研究が主流であるが、地上望遠鏡での観測ではシーイングの影響により、十分な空間分解能を得ることは難しい。一般的に、空間分解能の改善には点拡がり関数 (PSF) の逆畳み込みが有効であるが、この処理は逆問題であり、安定した解を得るためには先見情報を用いた正則化が必要であることが知られている。その正則化としては、全変動正則化やティコノフの正則化が広く用いられている。これらの正則化を用いた手法では、画像の滑らかさを先見情報とし、隣接画素の値の差分が小さくなるように画像を復元する。ところが、これらの正則化は必ずしも銀河画像には適していない。なぜなら、銀河の輝度プロファイルは指数関数で表される急激な傾きを持つため、隣接画素同士の差分を小さくする処理により、画像を過度にぼかしてしまうのである。

そこで本研究では、ティコノフの正則化を銀河の等級画像に対して適用する。等級画像すなわち輝度値の対数を画素値とする画像においては、隣接画素同士の差分を最小化しても、銀河の輝度プロファイルを維持できる。そのため、銀河の構造に適した正則化となる。正則化に等級画像を用いることで、PSF の逆畳み込みのための目的関数は複雑になるが、主双対近接分離を用いた変数分離を用いることで解決できる。本手法の有効性の検証には、すばる望遠鏡の HSC およびハッブル宇宙望遠鏡の画像を用いた。HSC の画像に対して本手法を適用した結果、ハッブル宇宙望遠鏡の画像によく一致することが示された。さらに、モンテカルロ法を用いることで、復元画像の誤差も精度良く推定できることがわかった。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V208a MITSuME 望遠鏡画像に対する深層学習を用いた突発天体検知システムの構築

伊藤 尚泰, 村田 勝寛, 細川 稜平, 笹田 真人, 庭野 聖史, 谷津 陽一, 河合 誠之 (東工大理), 篠田 浩一, 井上 中順 (東工大情報理工), 伊藤 亮介 (美星天文台), 下川辺 隆史 (東大)

突発天体とは、ときに数秒という時間スケールで増光する天体であり、その一つが重力波源である。重力波天文学において、そのような重力波源を重力波望遠鏡の数百平方度に及ぶ広大な位置決定領域から素早く発見して電磁波で追って観測することが求められている。重力波源は銀河に付随する可能性が高いため、重力波到来方向の位置決定領域内にある銀河を網羅的に観測することで突発的に増光した重力波源天体の発見を目指す中、従来は得られた銀河の画像中の突発天体の有無を重力波発生前後の異なる望遠鏡画像間の差分画像で調べる運用をしてきた。しかし、この差分画像を用いる手法では、二つの望遠鏡間で光学系が異なり点源の引き残しが発生すると引き残った突発天体を検出できないため、人の目による突発天体の有無の確認が必要とされてきた。東京工業大学河合研究室が運用する可視光望遠鏡 MITSuME は、重力波の電磁波追跡観測ネットワーク J-GEM に参加しており、LIGO/Virgo の O4 期間の観測が 2022 年 12 月に控えているため、この期間でのより効率的な重力波対応天体の発見を目標とする。

本研究では、星像の複雑な形状を自動的に認識することを期待して、深層学習により突発天体識別器を作成し、MITSuME の自動観測システムに組み込んだ。深層学習は、MITSuME で銀河を観測し近傍に点源を埋め込んだ画像と Pan-STARRS 天体カタログの画像のペアに対して行い、点源未埋め込み画像に対する 6% 程度の誤検知率と、埋め込んだ点源の S/N が 5 を上回る範囲における 90% 近い再現率が得られた。本講演では、この識別器の MITSuME の日々の自動観測システムにおける反応についても報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V209a 自由曲面のための3点計測法の開発

徳地研人、栗田光樹夫（京都大学）、高橋啓介（ロジストラボ）

自由曲面は、広視野・高空間分解能・高スループットな光学系をよりコンパクトに実現する上で有用である。自由曲面の光学系を実現するには、計測技術が不可欠である。しかし、従来の干渉計測では基準となる波面の生成が困難である。そこで我々は、基準を必要としないひきずり3点法と、データ処理のためのステッチング技術を開発してきた。実績として、せいめい望遠鏡の副鏡（ ϕ 1000 mm の凸非球面）と第三鏡が挙げられる。

今回、我々は3点法の計測精度の向上のために、円環パス計測を開発した。計測経路が開いた直線パスと異なり、円環パスは経路が閉じている。したがって、計測の始点と終点での値と傾きが一致する、という境界条件によって測定誤差を軽減できる。また、ステッチング技術と合わせて計測精度を向上できる。

本研究ではその実証実験として軸外し非球面の円環パス計測を行った。非球面量が 2×10^4 nm 以上ありながらも計測再現性は RMS=5 nm であり、CGH 干渉計の結果と RMS=70 nm で一致した。今後、さらに測定誤差を軽減する試みを行っていく予定である。

[スケジュール\(セッション毎\)に戻る](#)

[スケジュール\(全体\)に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V210a 自由曲面を用いた超広視野光学系の設計

橋ヶ谷武志（京都大学）、栗田光樹夫（京都大学）

サーベイ・モニター観測用の衛星望遠鏡にとって、広視野は重要である。広視野によって観測効率が高まり、限られた時間の中でより深い観測・時間分解能が高い観測が可能になる。コルシュが設計した二次曲面を3枚用いた軸対称光学系は、広視野な衛星望遠鏡として広く用いられている。しかし、設計自由度が低く視野拡大に限界があるため、より自由度の高い自由曲面を3枚用いた軸外し光学系が研究されている。

我々は、自由曲面としてゼルニケ多項式の4-37番を用いて設計をした。曲率成分(4番)を含めて最適化をすることで、鏡面上において各光束が反射する領域が最適になり、より高い取差改善が可能となる。設計例として、以下の二つを挙げる。(1) 口径1.2mで2.5度×2.5度において可視光(0.55 μ m)の回折限界を達成する光学系。(2) 口径1.2mで3度×3度において赤外(3 μ m)の回折限界を達成する光学系。また、公差解析を行った結果、最も厳しい組立公差は第2面の傾きでそれぞれ(1)5秒角、(2)40秒角となった。鏡面の傾きによる星像の悪化は、焦点面を傾けることで補正できる。したがって、解析にこれを考慮すれば、傾きの組立公差は緩和される。

[スケジュール\(セッション毎\)に戻る](#)

[スケジュール\(全体\)に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V211a 広視野近赤外線望遠鏡 PRIME の光学調整と試験観測

山響 (大阪大学), PRIME コラボレーション

我々は世界初の広視野で近赤外線を用いた銀河系中心方向の重力マイクロレンズサーベイを行うために、広視野近赤外線望遠鏡 PRIME (PRime-focus Infrared Microlensing Experiment) の建設を 2022 年 7 月から南アフリカ共和国にて予定している。PRIME 望遠鏡は近赤外線重力マイクロレンズサーベイを行うため、星間減光が強い低銀緯領域を観測することが可能である。星の数密度が高い領域を観測することで、惑星発見数が可視光観測の約 4 倍に増えると見積もられている。地球質量以下の惑星検出数も増え、より正確に惑星分布を求めることができる。また、銀河系中心付近の星の数密度が高い領域での惑星頻度を世界で初めて見積もり、従来の可視光観測の領域と比較することで、環境による惑星頻度の違いを検証できる。PRIME 望遠鏡は NASA が打ち上げを予定している Roman 宇宙望遠鏡の観測領域の最適化や、Roman との同時観測も行う予定である。

2022 年 9 月頃に予定している PRIME-Cam (H4RG を用いた主焦点撮像装置) のインストールに先駆けて PRIME 望遠鏡の設計性能を最大限引き出すために、3 次元測定器と 2 種類の光学調整用カメラを用いた 3 段階の光学調整を行う予定である。本講演では PRIME 望遠鏡の光学調整法と調整結果、また光学調整後に行う試験観測の結果について報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V212a 南アフリカ望遠鏡用近赤外ドップラー分光器 SAND の光学設計

高橋葵 (ABC/NAOJ), 小谷隆行 (ABC/NAOJ/総研大), 西川淳 (NAOJ/ABC/総研大), 上田暁俊 (NAOJ), 細川晃, 多田将太郎 (総研大), 田村元秀 (東京大), 永山貴宏 (鹿児島大), 國生拓摩, 小崎瑛子 (名古屋大), 住貴宏 (大阪大), 栗田光樹夫 (京都大), 佐藤文衛 (東工大), 山室智康 (オプトクラフト), 平野照幸 (ABC/NAOJ/総研大), 葛原昌幸, 寶田拓也, 大宮正士 (ABC/NAOJ)

年齢の若い巨大ガス惑星の軌道分布を調査することは、惑星形成段階の軌道進化を知る上で重要である。可視域の視線速度観測による若い星周りの惑星探索では、活発な恒星活動によるスペクトル変動が惑星の擬検出を引き起こすため、恒星活動の影響が弱まる近赤外域での視線速度観測が効率的である。また生命居住可能な惑星の探索は宇宙生命科学における重要課題である。晩期型星は存在頻度が高い上に惑星からの重力的影響を受けやすく、そのような惑星探索の対象として適した天体であるが、放射強度がピークとなる近赤外域での視線速度観測が不可欠である。

そこで我々は、年齢の若い巨大ガス惑星、および生命居住可能な惑星を視線速度法により探索する目的で、南アフリカ望遠鏡用近赤外ドップラー分光器 (the South Africa Near-infrared Doppler; SAND) を開発している。SAND は $0.84 - 1.09 \mu\text{m}$ の波長域を分解能 $\lambda/\Delta\lambda \sim 60,000$ で分光可能なファイバー導入型の冷却分光器であり、2023 年以降、大阪大で開発中の PRIME 望遠鏡に加えて IRSF や SALT といったサザerland 観測所内の複数の望遠鏡に対してファイバー接続および観測運用される予定である。本講演では主に SAND のファイバー入射部および冷却分光器部分の光学設計と仕様について述べる。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V213b PRIME 望遠鏡におけるハルトマンテストを用いた光学調整方法

鈴木大介, 山響 (大阪大学), PRIME コラボレーション, 大谷一人 (西村製作所)

世界初の近赤外線マイクロレンズ惑星探査を実施するため、南アフリカ天文台サザーランド観測所にて、PRIME (PRime-focus Infrared Microlensing Experiment) 望遠鏡の建設が2022年7月から開始される。望遠鏡建設の最終段階においては、視野である1.45平方度の広さに渡って要求性能が満たされるように光学調整を行い、またその評価をする必要がある。PRIME望遠鏡の光学系は、口径1.8mの放物面主鏡と補正レンズ4枚が格納されているレンズユニットで構成されている。光学調整作業では、光軸に対してレンズユニットのdecenter及びtip/tiltを調整することで、コマ収差と非点収差を抑えることができる。3次元測定器による粗調整後に、星像のintra及びextra focus像から収差量を導出する方法(Kujiken et al. 2004)によって光学調整を行う予定であり、すでに国内で実証済みである(2021年秋季年会V234a)。この手法ではz-bandを用いるが、マイクロレンズ探査で主に使用するH-bandの波長においても光学性能を確認する必要がある。

我々は、ハルトマンテストのスポットデータから各視野での収差量を測定し、レンズユニットの調整量を推定するツールを開発した。これにより、視野全体における収差量がバランスよく設計光学系に近づくように光学調整することが可能である。試験観測に用いるH-bandテストカメラ(2021年秋季年会V235a)及びPRIME-Cam(H4RGを用いた主焦点撮像装置)でも光学調整が可能であり、上記手法とは相補的である。

本講演では、本手法の紹介をし、2022年7月から8月に行われるハルトマンテストを用いた光学調整の結果を報告する。

[スケジュール\(セッション毎\)に戻る](#)

[スケジュール\(全体\)に戻る](#)

[講演者索引 TOPに戻る](#)

V214b 恒星フレアのH α 輝線を検出する25cm自動望遠鏡の開発

井出善心, 伊藤洋一 (兵庫県立大学)

恒星フレアとは恒星表面で起こる爆発現象のことで、 γ 線から電波までの広範な電磁波を放出する。近年の観測的研究で、太陽での最大規模のフレアの10倍以上も大きなエネルギーを放出する、スーパーフレア現象が明らかになってきた。しかし、恒星でのフレア現象は発生の予測が困難なため、発生直後の観測例は多くない。そこで、恒星を夜間モニターし続け、その星のフレアの発生を検出する自動望遠鏡を作成した。

口径25cmの市販の望遠鏡に、素子サイズが6.9mm \times 4.6mmのCCDを取り付けた。視野は9.5' \times 6.3'である。そして、透過光の中心波長が656.3nmで半値幅が3nmのH α 干渉フィルターをCCDの前に置いた。Rバンドで12等級の天体を露出時間5分でS/N=40で撮影できる。視野2.3度 \times 1.7度のガイダーを望遠鏡に同架し、天体の導入精度を約12'から約2'に、追尾精度を1時間当たり約5.3'から約2.9"に向上させた。望遠鏡とカメラを制御するソフトウェアはINDI、PHD2、CCDCielを組み合わせて開発した。西はりま天文台に設置したスカイモニターからの天候状況の情報に応じて、指定した天体を自動で観測できる。将来は25cmの自動望遠鏡でフレア発生を検出した場合、すぐに西はりま天文台なゆた望遠鏡で分光観測できるように運用する。講演では、自動化の詳細と今までの観測結果について述べる。

[スケジュール\(セッション毎\)に戻る](#)

[スケジュール\(全体\)に戻る](#)

[講演者索引 TOPに戻る](#)

V215b 遠方 QSO モニタリングに向けたなゆた・NIC 測光精度向上の試み

齋藤智樹, 高橋隼 (兵庫県立大), 関根章大, 井上昭雄 (早稲田大)

我々は、なゆた望遠鏡・近赤外カメラ NIC を用いて遠方 QSO のモニタリングを行っている。 $z \gtrsim 6$ QSO の系統的な観測は、宇宙開闢から数億年という短時間で $\sim 10^9 M_{\odot}$ という巨大ブラックホールを形成する機構の解明に重要な役割を果たす。特に近赤外での変光モニターは例がなく、降着円盤の構造や温度分布、変動の空間スケールといった情報を得る上で貴重である。文献値と合わせることで、例えば $z = 7.5$ の天体では J バンドで約 30% の増光が約 1 年 (静止系) 以内に起こったことが示唆された (関根他, 年会 2022 春, X15a; Sekine et al. 2021)。こうした現象を確定的に捉えるには、より系統的なサンプルで高精度な測光をする必要がある。

精度の改善のために、較正用データの更新・解析スキームの改善・パラメーターの調整をまず行い、20 秒積分・14 等 (AB) 以下における測光のばらつきを約 1% から約 0.5% 程度にまで改善した。さらに、星団のディザリング観測で視野内の様性を改善する“ubercalibration”の実験を進めた (齋藤他, 年会 2021 秋, V249b)。これを複数条件で更に進め、フィッティング次数の調整などにより、例えば J バンドでは、15 等程度までの天体に対し、視野の約 80% にわたって約 1% の測光精度を実現した。ポワソン統計を仮定すると、これは 20 等の天体で約 5% の精度に相当する。これらを適用した新たなパイプラインを整備した。現状の問題点とともに、実際の QSO 観測データへの適用について報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V216c PRIME 望遠鏡近赤外主焦点撮像装置：PRIME-Cam の開発

平尾優樹 (大阪大学), 他 PRIME コラボレーション

我々 PRIME (PRime-focus Infrared Microlensing Experiment) コラボレーションは、南アフリカ天文台サザランド観測所 (SAAO) に口径 1.8m の主焦点式 PRIME 望遠鏡を建設し、近赤外線銀河系中心方向の重力マイクロレンズサーベイ観測を行う。NASA の Roman 宇宙望遠鏡の観測予定領域である、従来の可視光観測ではダストによる減光が強くて観測ができない星密度が高い低銀緯領域において新たな惑星を発見し、マイクロレンズイベントレートを見積もる。これによって、氷境界以遠において地球質量程度までの惑星の存在量を明らかにすると共に、Roman の観測ストラテジーの最適化を行う。また、将来 Roman と同時観測を行うことで視差を検出し、浮遊惑星の質量を決定する。銀河系中心領域が見えない期間は、突発天体の追観測や広視野近赤外線望遠鏡の特性を生かした、星団におけるトランジット観測等を行うことが検討されている。

観測に主として使用される近赤外主焦点撮像装置：PRIME-Cam は NASA ゴダード宇宙飛行センターで開発が行われた。検出器には NASA の Roman 宇宙望遠鏡でも使用される 4k*4k ピクセルの H4RG-10 検出器を 4 つ使用し、近赤外線 1.4 平方度という世界最大級の視野を持った広視野望遠鏡となる。PRIME-Cam の dewar 内部は検出器の動作温度である 90K 程度まで機械式冷凍機で冷却される。また、5 つの光学フィルターが 2 つのフィルターホイールに取り付けられ、それぞれをモーターで回転させることで、4 つのブロードバンド (Y, J, H, z) および 3 つのナローバンドでの観測を可能とする。

本ポスターでは、PRIME 計画で使用される PRIME-Cam の詳細と、2022 年夏に南アフリカで行われる PRIME 望遠鏡および PRIME-Cam のインストールの進捗を報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V217a 重力波望遠鏡 KAGRA における迷光対策

阿久津智忠, 平田直篤, 佐藤直久, 都築俊宏, 福嶋美津広, 大淵喜之, 池之上 文吾, 浦口史寛, 清水莉沙 (国立天文台), 牛場崇文, 山本尚弘, 横澤孝章 (東大), KAGRA collaboration

大型低温重力波望遠鏡 KAGRA は、岐阜県神岡の地下にある基線長 3 km のレーザー干渉計である。KAGRA では 2020 年春にはじめて本格的な観測運転が行われた。以来、そこで得られた知見を元に感度や安定度の向上のため干渉計の大規模なオーバーホールを行ってきた。知見としてたとえば、最も感度が高い観測周波数帯の中域が、比較的安定な運用時においてもなんらかの迷光由来の雑音で制限されていた可能性が示されている。また、レーザー光の干渉状態をグローバルに安定に保つには、干渉計内のミラーどうしの姿勢や配置を制御することで干渉計光軸を精緻に保つことが求められるが、たとえばミラーの姿勢センサーへ迷光が混入し、突発的に性能が悪化することがしばしば起きた。いずれの問題にせよ、まずは迷光の混入経路を特定し、次にその抜本的な対策をとることが解決の鍵となるが、経路特定は高難度であり、すでに重力波観測に成功した欧米の干渉計においてもそれぞれ最後まで実用上の感度を制限してきた。このオーバーホールの期間に KAGRA では、これまで手薄だった干渉計中央部を中心に光学バッフルやビームダンプの増設を進めてきた。また狭帯域の光学バンドパスフィルターなどで姿勢センサーへの迷光の経路を制御することを試みてきた。今回の講演では、これら一連の迷光対策について報告する。

[スケジュール\(セッション毎\)に戻る](#)

[スケジュール\(全体\)に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V218a 重力波望遠鏡 KAGRA における出射光学系の改良と性能評価

西野耀平 (東京大学), 麻生洋一 (国立天文台)

重力波望遠鏡 KAGRA の出射光学系の主な構成要素としてアウトプットファラデーアイソレータ (OFI) とアウトプットモードクリーナー (OMC) があり、両者の性能は重力波望遠鏡の感度を制限する直接的な要因となる。OFI は出力ポートから主干渉計への光の逆流を防ぐ役割を持ち、消光比と呼ばれる量で性能が評価される。また将来スクイズドされた真空場の入射ポートにもなるため、内部のロスの評価が重要である。OMC は出力光に含まれる重力波信号以外の高次モード成分や制御用 RF サイドバンドなどの不要な成分を除去する役割を持つ。第 3 期観測では OMC の透過率が低いという点や重力波信号読み出し用のフォトディテクターの雑音が大きいという問題点が見つかった。本講演で 2022 年 12 月開始予定の第 4 期観測へ向けて行った OFI および OMC の改良と性能評価について報告する。

[スケジュール\(セッション毎\)に戻る](#)

[スケジュール\(全体\)に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V219a 可視近赤外線偏光観測による銀河磁場探査

中村謙吾, 川端弘治, 森文樹, 中岡竜也, 今澤遼 (広島大学), 土井靖生 (東京大学), 松村雅文 (香川大学), 笹田真人 (東京工業大学)

銀河磁場は星生成や星間物質の進化と密接に関わっていると考えられているが、直接捉えることは難しく、その三次元的構造は未だ不明である。星間磁場によって整列した非球状ダストが引き起こす星間偏光を観測することで、光源の恒星までの視線方向に積分した磁場情報を得られる。近年、Gaia 衛星により各恒星までの距離を正確に知ることが可能になり、空間的に密に多数の恒星の偏光測定サンプルを集めることで、距離分解した三次元的な磁場構造を導き出せると期待される。広島大学宇宙科学センターでは、全天偏光サーベイプロジェクト SGMAP を推進しているが、その前駆として、東広島天文台 1.5 m 望遠鏡との可視赤外線同時カメラ HONIR を使い、銀河面中で興味深い領域から偏光サーベイを開始した。観測は、半波長板とウォラストンプリズム、偏光撮像用焦点面マスクを用い、75 秒露出 (R バンド) ないし 60 秒露出 (H) \times 4 波長板方位角 \times (3 \times 3) 点ディザリングを標準モードとして実施した。これにより、視野 9.3 \times 9.0 分角内に写る全ての点光源について、露出時間 300 秒 (R) ないし 240 秒 (H) で 3 回以上の偏光測定を行っている。これまでに、Planck 衛星により遠赤外線域で特徴的な偏光パターンを示しつつ、Gaia カタログで適度な赤化を示し比較的遠くまで多くのサンプル星が存在する銀河面内の領域について、銀河中心方向の 2 領域、及び反銀河中心方向の 6 領域について観測を実施した。これまでの観測で、器械偏光は視野内に亘って $\lesssim 0.2\%$ 以下と安定し、偏光測定精度のランダム誤差が $R \leq 17$ 等で $\Delta p \lesssim 0.1\%$ に抑えられていることが確認できた。また、偏光位置角が恒星の距離に応じて系統的に変化することが示され、視線上に重なった複数の雲の異なる磁場が存在すると解釈される。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V220a 東京大学アタカマ天文台 TAO 6.5m 望遠鏡計画 進捗報告 2022

宮田隆志 (東京大学), 吉井讓 (東京大学, アリゾナ大学), 土居守, 河野孝太郎, 峰崎岳夫, 酒向重行, 廿日出文洋, 江草英実, 小西真広, 上塚貴史, 高橋英則, 松林和也, 加藤夏子, 沼田瑞樹, 鮫島寛明, 山岸光義, 大澤亮, 浅野健太朗, 小山舜平, 堀内 貴史 (東京大学), 本原顕太郎 (国立天文台, 東京大学)

東京大学アタカマ天文台 (TAO) 計画は、南米チリ・アタカマ高地のチャナントール山山頂 (標高 5640m) に口径 6.5m の赤外線望遠鏡を設置し、宇宙論から星惑星形成までの幅広いサイエンスを行う計画である。

TAO の山頂工事は 2019 年度より開始されている。2019 年後半はチリ国内の暴動、2020 年以降は新型コロナウイルス感染症蔓延の影響などいくつかの困難があったが、安全体制を強化しながら工事を進めてきた。2021 年にチリ国境封鎖が解除になってからは、日本企業による山頂施設の建設工事を本格化しており、最大 30 名程度の日本人ワーカーが山頂で工事にあたってきた。2022 年 5 月の時点ではエンクロージャー下部・ブリッジ部の鉄骨工事および山麓運用棟の鉄骨・外装・屋根工事まで完了している。

望遠鏡本体の準備も進めている。米国ツーソンで保管を続けていた鏡・能動光学系は輸送に向けて再チェックを行い、アクチュエータなども正常に駆動することを確認した。観測装置については中間赤外線装置 MIMIZUKU、近赤外線分光器 NICE は三鷹で調整を進めている。近赤外線装置 SWIMS はすばる望遠鏡で PI 装置として観測運用経験を積んでいる。これら装置を現地で整備するための山麓施設実験棟の増設工事も 2022 年 5 月に開始している。さらに科学観測に向けた組織整備や機器も整備が進んでいる。2023 年度には観測開始の予定である。

本講演ではこの間の TAO 計画の進捗状況と今後の見通しについて詳述する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V221a SWIMS(近赤外線 2 色同時多天体分光撮像装置)の検出器性能評価

穂満星冴、小西真広、高橋英則、小山舜平、加藤夏子、櫛引洗佑、陳諾、安田彩乃(東京大学)、本原 顕太郎(国立天文台)

SWIMS は東京大学がチリのアタカマ高地チャナントール山頂(5640m)に建設中の TAO6.5m 望遠鏡用第 1 期観測装置の近赤外線撮像分光装置であり、現在すばる望遠鏡に持ち込まれ、PI 観測装置として共同利用に供されている。この装置は、波長 $0.9-2.5\mu\text{m}$ の光をダイクロミックミラーによって青側 ($0.9-1.4\mu\text{m}$) と赤側 ($1.4-2.5\mu\text{m}$) に分割して 2 色同時に多天体分光、もしくは、撮像観測することができ、赤側、青側それぞれのアームの焦点面には Teledyne Imaging Sensors 社の HAWAII-2RG が 2 台ずつ (B1,R1,R2: $2.5\mu\text{m}$ cutoff, B2: $1.7\mu\text{m}$ cutoff)、計 4 台搭載されている。

今回、我々はドームフラット画像を用いて、これら 4 台の HAWAII-2RG のコンバージョンファクター等の再評価と、線形性、残像等の解析を行い、以下のような結果を得た。また、得られた結果を用いて SWIMS 撮像パイプラインに非線形性の補正を組み込んだところ、測光精度の改善が確認できた。

検出器	B1	B2	R1	R2
コンバージョンファクター [e^-/ADU]	2.1	(2.9)*	2.4	2.3
非線形性 (@ ウェルの半分)	5%	10%	5%	5%
残像時定数 [s]	70	40	120	120

本講演では、これらの検出器の性能評価の結果について詳細を報告する。

[スケジュール\(セッション毎\)に戻る](#)

[スケジュール\(全体\)に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V222a 近赤外線面分光ユニット SWIMS-IFU：すばる望遠鏡でのファーストライト

櫛引洗佑(東京大学)、尾崎忍夫(国立天文台)、竹田真宏、細島拓也、山形豊(理化学研究所)、森田晋也(東京電機大学)、中川桂一、佐伯峻生、大竹豊(東京大学)、都築俊宏、三ツ井健司、沖田博文(国立天文台)、本原顕太郎(国立天文台、東京大学)、高橋英則、小西真広、小山舜平、加藤夏子、陳諾、穂満星冴(東京大学)

SWIMS-IFU は東京大学がチリのアタカマ高地チャナントール山頂に建設を進めている TAO 6.5 m 望遠鏡の第一期近赤外線撮像分光装置 SWIMS に面分光機能を追加するイメージスライサー方式の面分光ユニットである。既存の近赤外線面分光装置の中では最大の視野 $13.5'' \times 10.4''$ を持ち、SWIMS の広い同時観測波長帯域 $0.9-2.5\mu\text{m}$ と合わせて、空間的に広がった天体の面分光観測をより効率的に行うことができる。

我々は超精密加工による光学素子開発、組み上げ、実験室での評価を 2021 年末までに完了した。その後、2022 年 2 月のハワイへの輸送、3 月の SWIMS へのインストール作業を経て 3 月 27 日に SWIMS-IFU のすばる望遠鏡でのファーストライト観測に成功した。この試験観測では Th-Ar ランプやドームフラットの較正用データ、結像性能評価や効率測定用の標準星、アストロメトリ用の星団の観測を行った。SWIMS-IFU による疑似スリット像はほぼ設計通りの幅 $\sim 0.4''$ に結像し、標準星の PSF の劣化も SWIMS と比較して想定された範囲のものであった。その一方で SWIMS-IFU 単体でのスループットは 55-75% で目標よりやや低いものとなり、標準星によって測定されたシステム効率は 5-20% であった。また、今回の観測では $2.1\mu\text{m}$ より波長の長い部分に強い迷光が見られた。この迷光は望遠鏡や装置の常温構造からの熱輻射と考えられ、原因の特定を進めている。本講演ではこれらの試験観測の結果と今後の SWIMS-IFU の計画について報告する。

[スケジュール\(セッション毎\)に戻る](#)

[スケジュール\(全体\)に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V223a TAO 6.5-m 望遠鏡用中間赤外線観測装置 MIMIZUKU: 近赤外線チャンネルの性能評価

上塚貴史, 宮田隆志, 酒向重行, 大澤亮, 浅野健太郎, 橘健吾, 飯田熙一, 成瀬日月, 左近樹 (東京大学), 尾中敬 (明星大学, 東京大学), 片ざ宏一, 長谷川直, 白井文彦, 内山瑞穂 (JAXA), 海老塚昇, 細島拓也 (理化学研究所), 吉井讓 (東京大学, アリゾナ大学), 土居守, 河野孝太郎, 峰崎岳夫, 廿日出文洋, 江草美実, 小西真広, 高橋英則, 松林和也, 鮫島寛明, 山岸光義, 小山舜平, 堀内貴史, 加藤夏子 (東京大学), 本原顕太郎 (国立天文台)

MIMIZUKU は、東京大学がチリ・アタカマ砂漠に建設中の東京大学アタカマ天文台 (TAO) 6.5-m 望遠鏡に搭載する第一期中間赤外線観測装置である。本サイトは標高 5640 m に位置し、砂漠気候も相まって可降水量が低い。このため、近赤外線から波長 38 μm の長波長中間赤外線にわたり、良好な大気の窓が得られる。この特長を活かすべく、MIMIZUKU は異なる検出器を搭載した三つの光学チャンネルを備え、波長 2–38 μm における撮像・低分散分光観測を実現する。本講演では、その一つである近赤外線チャンネルの性能評価について報告する。

本チャンネルは Teledyne 社製の H1RG 検出器 (5.3- μm cutoff) を搭載し、波長 2–5.3 μm におけるシーイングリミットの撮像観測、および波長分解能率 $R \sim 200\text{--}600$ の低分散分光 (点源) を実現する。実験室実験にて本チャンネルの性能評価を行った結果、装置の結像性能として 0.12–0.18 秒角 (TAO 6.5-m 望遠鏡搭載時) の空間分解能が達成可能であり、シーイングサイズ (約 0.5 秒角) に比べ十分良いことを確認した。点源分光の波長分解能率は、*KL* モード (波長: 2.0–4.0 μm) で 210、2.7- μm モード (波長: 2.40–2.98 μm) で 660、*LM* モード (波長: 2.7–5.3 μm) で 200 となり、所定の性能を確認した。以上の結果、および予測される観測性能について報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V224a TAO/MIMIZUKU による中間赤外線モニタ観測の実現に向けた高精度フラット補正ユニットの開発

成瀬日月, 上塚貴史, 宮田隆志, 酒向重行, 左近樹, 大澤亮, 浅野健太郎, 橘健吾, 飯田熙一 (東京大学)

MIMIZUKU は東京大学がチリのアタカマ砂漠に建設中の TAO 望遠鏡に搭載される観測装置であり、世界初の地上中間赤外線モニタ観測拠点となる。モニタ観測では測光精度が重要だが、これまでの中間赤外線における測光精度は 10% 程度であった。MIMIZUKU はそれより 1 桁高い 1% の測光精度を目指しており、これを実現するには、さらにそれより 1 桁高い 0.1% 精度でのフラット補正が必要である。従来の地上中間赤外線観測でもフラット補正は行われてきたが、数% の誤差がある。主な原因は、検出器応答の線形性の破れが十分に考慮されていないことである。この問題は、観測時と同等の入射フラックス環境で複数の観測点を取り、検出器の応答曲線の傾きを正しく評価することで解決できる。実際、大気背景光の時間変動を用いれば 0.5% 精度のフラット補正を行える (Michifuji et al. 2020)。しかしこの手法は、大気条件が安定した観測に最適な状況では用いることができない。

本研究では、検出器を一様に照射し、そのフラックスを時間変化させることで、いかなる状況でも高精度のフラット補正を行えるユニットを開発した。補正ユニットはシリコンレンズと最高温度 150°C の黒体炉からなり、MIMIZUKU の入射窓外側に挿入する。検出器には黒体放射以外に補正ユニットの熱放射も入射するが、黒体炉の温度を時間変化させてその変動成分だけを抽出することにより、高精度のフラット補正を行うことが可能である。黒体炉を光学系の瞳位置に設置することで、検出器のすべてのピクセルが同じ黒体面を見る光学系を設計した。本ユニットを用いることで、従来の方法では除去できなかった検出器に由来するパターンを補正することに成功した。本講演では、本ユニットの設計および本ユニットを用いた実験結果について報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V225a 12分割6次位相マスクを用いた高コントラスト観測の室内実証

米田 謙太 (国立天文台), 林 寛昭, 浅野 瑞基, 村上 尚史 (北海道大学), 村松 大海, 田中 洋介 (東京農工大学), 西川 淳 (国立天文台/総合研究大学院大学/アストロバイオロジーセンター)

系外惑星の分光観測により、惑星の大気組成や表層環境などの調査を行うためには、明るい恒星光を広い波長域で除去する高コントラスト観測技術が有効と期待される。この技術は主に、恒星の回折光を除去するコロナグラフと散乱光を除去するダークホール制御系から構成される。

将来の系外惑星観測のためのコロナグラフに向け、フォトニック結晶技術を用いた6次位相マスクの設計が行われている(林他、2021年秋季年会 V247b)。我々は今回、単層構造と3層構造の12分割6次位相マスクを作製した。このマスクは、軸方位が空間変化する半波長板から構成され、放射状に12分割された領域において、光波に $0, \pi$ の位相を交互に与えるデバイスである。6次マスクは、より低次のマスクと比較して低次波面収差に強く、恒星が点光源と見なせない場合や、望遠鏡に指向誤差がある場合にも、恒星光を強力に除去することができる。単層構造のマスクは、設計波長で恒星光を強力に除去することができるが、それ以外の波長では、その性能は劣化してしまう。そこで、広い波長域での恒星光除去を目指し、マスクを3層構造とし、各層の軸方位を最適化する。

我々は、作製した2種類のマスクについて、異なる波長の光源を用いて、恒星光除去の波長特性を評価した。また、単層構造マスクについて、単色光源を用いたダークホール制御の室内実験を行った。この実験では、ダークホール制御に空間光変調器 (SLM) を用いた。SLM を用いて強力に恒星光を除去するため、新たに提案したハーフトンドークホール制御法を適用した(米田他、2021年秋季年会 V239a など)。本講演では、単層構造および3層構造マスクの波長特性評価、単層構造マスクのダークホール制御実験について報告する。

[スケジュール\(セッション毎\)に戻る](#)

[スケジュール\(全体\)に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V226b 30–38 μ m 中間赤外線観測ユニット TAO/MIMIZUKU MIR-L の開発

飯田 熙一, 宮田 隆志, 上塚 貴史, 酒向 重行, 大澤 亮, 左近 樹, 浅野 健太郎, 橘 健吾, 成瀬 日月 (東京大学)

MIMIZUKU MIR-L チャンネルは、東京大学アタカマ天文台 (TAO) に搭載する中間赤外線観測装置 MIMIZUKU の中で最も長い波長 30–38 μ m; 30 ミクロン帯をカバーする光学チャンネルである。観測にあたり、30 ミクロン帯以外の光をカットする必要があり、特に星の周りの弱いダスト超過を観測する場合には、短波長のリークは十分に抑える必要がある。我々はこのリークの量を、「10000K の黒体放射が入射した時に 30 ミクロン帯で検出される光子数に対する、短波長側の光子の総数」で定義し、その目標を 1% と定めた。30 ミクロン帯で用いるメタルメッシュフィルター単体ではこのリーク量 1% は達成できないため、複数のメッシュフィルターを重ねて用いることとした。フィルターの透過率測定結果をもとに検討すると、メタルメッシュフィルターを 4 枚重ねる必要があることが分かった。

実際の観測を考えると、30 ミクロン帯の大気透過率は大気中の水蒸気量 (可降水量) に大きく影響される。一方、リーク成分となる短波長側ではこの影響は小さく、水蒸気量によらず一定のリーク光が入ってくることになる。この影響を ATRAN 大気モデルを用いて評価した。結果、可降水量 0.4 mm (TAO サイトでの best 10%) の時には実効的なリーク量は 2%、可降水量 0.9 mm (TAO サイトでの中央値) の時には 7% になることが分かった。さらに、このようなリークは星像にも影響する可能性がある。先の実効的なリーク量をもとに星像のゆがみを評価したところ、可降水量 0.9 mm でも 0.03 秒角程度しか FWHM を変化させないことが分かった。また、フィルター 4 枚をフィルターホイールにセットするための治具も国立天文台先端技術センターの協力のもと作成した。

[スケジュール\(セッション毎\)に戻る](#)

[スケジュール\(全体\)に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V227b 大口径望遠鏡コロナグラフ向けの可視広帯域24分割6次位相マスクの開発

西川 淳 (国立天文台/総研大/アストロバイオロジーセンター), 米田謙太 (国立天文台), 村上尚史, 林 寛昭, 浅野瑞基 (北大・工), 村松大海, 田中洋介 (東京農工大・工)

系外惑星の反射光のスペクトル中にバイオマーカーを探すことは、今後の大型望遠鏡計画のひとつの目標となっている。反射光での系外惑星の主星に対するコントラストは、 $10^{-8}\sim 10^{-10}$ である。我々は、回折光を除去するコロナグラフに用いる焦点面位相マスクとして、セグメント化されたフォトニック結晶半波長板を用いて開発を進めている。単層の波長板では単色対応のため、速軸方位を調整した3層や5層構造で広帯域化を行ってきた。確保できる帯域幅とコントラストは逆相関する。従来は、帯域幅10%や20%が目標とされたきたが、TMT PSI-blueとHabEx Vis & IRの多数の観測バンドを共通的にカバーすることが、当面の開発では効率的で、最も帯域の広いものとしては(帯域幅40%以上だが可能ならば理想的)、3個のバンド(A:450-670、B:600-1000、C:950-1800nm)が適切との結論に至り、それぞれ速軸方位角とコントラストの設計値を得た(林:修士論文)。地上望遠鏡での生コントラストや、宇宙望遠鏡では偏光子の寄与を引いて、 10^{-5} が目標となるが、C以外では目標に達した。

一方、望遠鏡口径が大きくなると角度分解能が上がり、恒星本体の縁からの斜入射光が消えにくくなるため、従来の4次の8分割位相マスクではなく、6次の12分割や24分割が候補となる。24分割は、宇宙での円偏光子補助や、パターン中心付近の不整形が弱点だが、セグメント境界でも惑星が生き残るメリットがある。今回、3層24分割位相マスク(600-1000nm対応)を製作した。F/100のコロナグラフ光学系における単色(670nm)の試験では、残留光@2ndBrightRingは、設計値 $0.6E-5$ に対して $1.4E-5$ であり、円偏光子補助では推定 $8E-8$ 以下である(PSFpeakがスペckルノイズ以下)。各セグメントの速軸方位や位相差の精密な評価などを進めている。

[スケジュール\(セッション毎\)に戻る](#)

[スケジュール\(全体\)に戻る](#)

[講演者索引 TOPに戻る](#)

V228b 高コントラスト高分散分光装置 REACH の広帯域化に向けた開発

細川晃(総研大), 小谷隆行(ABC/国立天文台/総研大), 河原創(東大), 川島由依(理化学研究所), 増田賢人(大阪大学), Olivier Guyon, Julien Lozi, Sebastien Vievard, 美濃和陽典(国立天文台ハワイ観測所), 藤井友香(国立天文台, 総研大)

太陽系外惑星において、大気の情報を得ることは表面の温度構造や雲の有無、さらには惑星の形成過程を知る手がかりになる点で重要である。特に直接撮像された惑星は主星と空間分解して観測出来るため、主星光ノイズの少ない大気スペクトルを取得するポテンシャルを秘めている。現在すばる望遠鏡で運用中のREACHは極限補償光学・コロナグラフ装置であるSCEXAOと赤外線高分散分光器IRDをファイバー接続により一体化することで、これらの惑星の位置の光のみを分光器に導光し、大気スペクトルを $R=100000$ で取得することを可能にした。しかし、直接撮像惑星の大気にはREACHの観測波長域($\lambda = 0.97 - 1.75 \mu\text{m}$)より長波長側に強い吸収をもつCOも多く含まれていると考えられており、詳細な大気組成の理解や惑星形成の議論で重要なC/O比の制限に至るには、より長波長域もカバーすることが必要である。

このため、我々はREACHを構成しているSCEXAOの内部で新たに長波長域の光をシングルモードファイバーへ入射させ、近赤外線分光撮像装置IRCSの入射ウィンドウ前まで導光する光学系を開発し、REACHの観測と同時に $\lambda = 1.9 - 2.5 \mu\text{m}$ で $R=20000$ の高分散スペクトルを得ることを目標としている。現在は設計と部品調達を推進しており、発表では開発中の装置設計や状況の詳細について報告する。

[スケジュール\(セッション毎\)に戻る](#)

[スケジュール\(全体\)に戻る](#)

[講演者索引 TOPに戻る](#)

V229b 点回折干渉計方式を用いた補償光学用波面センサの開発3：波面測定実験

津久井遼, 木野勝, 山本広大 (京都大学), 佐藤美那, 遠西美重, 松谷晃宏 (東京工業大学), 栗田光樹夫 (京都大学)

宇宙における生命探査のため、地球型の太陽系外惑星の直接観測を目指す動きが活発化している。こうした惑星と主星との光度比は 10^{-7} 以下であり、直接観測には極限補償光学装置が不可欠である。本装置の心臓部である波面センサには、1-6 kHz のフレームレートと数十 nm の測定精度との両立が求められる。すなわち、光量が少ない状況 (光子数 $N \sim$ 数十個) においてもフォトンノイズによる測定誤差を生みにくい波面センサが必要である。そこで我々は新方式の波面センサ (Tsukui et al., 2020) を開発している。本方式は、光学面検査で用いられてきた点回折干渉計と位相シフト干渉法を応用したものである。我々はこれまでに、本方式の核となる TiO_2 製の光学素子を製作した。さらに我々は、製作した光学素子を用いて実験室内で波面測定を行い、本方式の測定精度と測定レンジを評価した。光源には波長 800 ± 100 nm の白色光を用い、可変形鏡により被測定波面を成形した。

測定精度の評価では、sensitivity factor として知られる β_p を評価した。フォトンノイズによる波面の測定誤差 σ [rad] は、光子数 N に対して $\sigma = \beta_p / \sqrt{N}$ で表される。 β_p が小さいほどフォトンノイズの影響が小さく、現在主流のピラミッド波面センサでは $\beta_p \gtrsim 1.4$ である (Guyon, 2005)。対して本方式を試験した結果、平面波に対して $\beta_p \simeq 1.0$ 、サインカーブ型の波面 (P-V 80 nm) に対して $\beta_p \simeq 1.4$ だった。なお、 $N \lesssim 60$ での測定誤差は $\sigma = \beta_p / \sqrt{N}$ のカーブを外れ、一定値付近に留まった。この振る舞いはシミュレーション結果とも整合した。

測定レンジの評価では、サインカーブ型の波面形状を検出できる範囲を評価した。その結果、測定レンジは Strehl 比 $\gtrsim 1\%$ に相当する P-V $\lesssim 600$ nm だった。講演では以上の実験について詳細を述べる。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V230b 近赤外撮像装置 TOPICS の検出器駆動と冷却システムの開発

永田 和也, 坂野井 健, 鍵谷 将人, 市川隆, 笠羽 康正, 大友綾 (東北大学), 平原 靖大 (名古屋大学)

本講演では、開発中の近赤外撮像装置 TOPICS (TOhoku Planetary near-Infrared Camera System) の開発状況について報告する。木星衛星イオの火山活動と木星磁気圏、電離圏の変動の因果関係を理解するには、イオ火山活動度 (J,K-band の熱輻射) と電離圏側の発光現象である H3+, H2 オーロラ発光 (K,L-band) の連続観測が重要である。我々は、東北大学ハワイ・ハレアカラ観測所 (標高 3040m) の口径 60cm 望遠鏡 (T60) に今後一年以内に TOPICS を設置して検出器駆動回路の動作実証と試験観測を実施する予定であり、将来的には木星圏の赤外発光のモニタリング観測を計画している。TOPICS は $1 - 5 \mu\text{m}$ に感度を持つレイセオン社の CRC463 InSb256x256 FPA 検出器を用いている。TOPICS の検出器駆動回路は並行して開発中の近赤外分光器 ESPRIT と共通であり、TOPICS での動作実証後は ESPRIT に検出器駆動回路を移設して、高分散分光 ($\lambda / \Delta \lambda \sim 20,000$) の惑星大気連続観測を目指している。ESPRIT は将来的に、ハワイ大他と共同開発中の軸外し望遠鏡 PLANETS (口径 1.8m) への設置を計画している。

TOPICS では検出器暗電流が大きいことが課題であった。暗電流は検出器温度低下に伴って低減される。本研究での検出器周辺熱パスの改良により、昨年時点で 41K (暗電流 211 e-/s) だった検出器温度を 28K まで低減し、動作至適温度である 30-35K をほぼ達成した。今後 28K での暗電流を実測する予定である。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V231b Micro-Mirror Slicer-Based IFU for High-Resolution Solar Imaging Spectroscopy

末松芳法 (国立天文台), S. R. Olivares, R. L. Lopez, M. Collados, C. Dominguez-Tagle, A. Perez-Garcia, M. Barreto (IAC)

Integral Field Spectroscopy makes feasible the simultaneous measurement of a 2D field with a use of an Integral Field Unit (IFU). Slicer-based IFUs rearrange an input 2D field to an output long-slit that is used to feed a standard spectrograph. The spatial resolution reachable with this technique is determined by the slicer width. As a technology demonstrator for a future large aperture solar telescope development, we describe an IFU for the GREGOR solar telescope. According to the optical design, the slicer unit has been fabricated: A novel technique was applied to produce a $35\mu\text{m}$ -wide metal-mirror image slicer. The IFU transforms an input rectangular field of $1.176 \times 0.56 \text{ mm}^2$ into 16 mini-slits rearranged in two parallel output long-slits to feed the GREGOR infrared spectrograph for simultaneous 2D field spectropolarimetric measurements in several wavelengths. A collimator and camera mirror concept was applied to control the pupil and stray light contamination, leading to a telecentric configuration with a one-to-one magnification. An output with two full slits represents a challenge. An important issue that has been taken into account in the design is the individual mini-slit tilt, which is induced by the compact multi-mirror design. Diffraction effect in the IFU produced by the very thin slicer mirrors is not negligible. To understand the impact of the diffraction effects on the IFU and the spectrograph, an extensive study has been carried out.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V232a すばる望遠鏡用極限補償光学装置 SCEXAO による高速偏光撮像モードの開発

工藤智幸, Lozi Julien, Deo Vincent (国立天文台ハワイ観測所), Guyon Olivier (国立天文台ハワイ観測所 / アリゾナ大学 / アストロバイオロジーセンター), Norris Barnaby (シドニー大学) ほか、Subaru/SCEXAO team.

現在、国立天文台ハワイ観測所では、すばる望遠鏡用の極限補償光学装置「SCEXAO (スケックスエーオー)」の開発が進んでいる (PI: Olivier Guyon 氏)。2000 素子の可変形鏡やピラミッド型波面センサーを搭載しており、近赤外線波長帯において、ストレール比 0.9, 主星から半径 0.5 秒角以内の領域において 10^{-6} のコントラストを達成している。これまで我々は SCEXAO 用の面分光装置 CHARIS に偏光観測機能をもたせることに成功してきた。しかし、読み出しが比較的遅く、未だ時間変化の影響を受けやすい上、明るい天体に対しては検出器の中心部が大きく飽和してしまい、コロナグラフマスクの使用が必須であった。そこで次のステップとして、高速 (1kHz 以上) で動作する C-RED-1 カメラと、電磁液晶素子 (FLC) の組み合わせを用いた高速の偏光撮像機能を追加した。これにより、時間変動の影響を受けにくい偏光データセットが取得でき、明るい天体に対してもコロナグラフマスクを使わず、中心部まで検出器を飽和させることなく撮像できると期待される。今後、よりコンパクトな原始惑星系円盤の形態や、これまで明るすぎてマスクなしでは観測不可能だった晩期型における極近傍の質量放出現象の解明にむけた高精度高解像度偏光観測を目指す。本講演では、現在までの開発状況と試験結果を報告したい。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V233a 高コントラスト観測法 Coherent Differential Imaging on Speckle Area Nulling (CDI-SAN) の開発

西川 淳 (国立天文台/総研大/アストロバイオロジーセンター), 早野 裕 (国立天文台/総研大), 入部正継 (大阪電気通信大), 山本広大, 津久井 遼 (京大・理), 米田謙太, 東谷 千比呂 (国立天文台), 村上尚史, 浅野瑞基 (北大・工), 田村元秀 (東京大・理/アストロバイオロジーセンター/国立天文台), 住 貴宏 (大阪大・理), 山田 亨 (宇宙研), Olivier Guyon, Julien Lozi, Vincent Deo, Sebastien Vievard, Kyohoon Ahn (Subaru Telescope)

系外惑星の反射光のスペクトル中にバイオマーカーを探すことは、今後の大型望遠鏡計画のひとつの目標となっている。反射光での系外惑星の主星に対するコントラストは、 $10^{-8}\sim 10^{-10}$ であるが、地上望遠鏡や温度制御の無い Roman 宇宙望遠鏡では、補償光学を最大限効かせても $10^{-4}\sim 10^{-7}$ レベルのスペckルノイズが残留して動き、後処理後もスペckル限界となって惑星検出を妨げる。CDI-SAN 法は (Nishikawa22 ApJ 930,163) それを解決する観測アルゴリズム+後処理法である。SAN 法は、実時間 Dark-Hole 制御法の一つで、可変形鏡で5種類の変調波面を加えて得た5種類の焦点像から、対象となる領域の全ピクセルの電場が減るよう波面修正してスペckルを削減する。しかし、高コントラストになると露出時間が長くなり、その間にスペckルが変動するため下げ止まり、達成できる実時間コントラストが限界にくる。ここで CDI-SAN 法では、スペckル変化よりも高速に SAN 法の5種類の変調波面加算と焦点像取得を繰り返しながら長時間のデータを取得し、5種類の焦点像の積分値と6種類の差分二乗積分値から、ほぼホトンノイズ限界のコントラストで惑星光を分離する。現在、ATCにおいて実証実験が進行中で、北大、JPL などでの実験や、SCEXAO、SEICA、Roman への実装可能性がある。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V234a 2チャンネル型位相マスクコロナグラフのための2偏光・複数バンド焦点面波面センサーの開発

大平泰広, 須藤星路, 村上尚史 (北海道大), 西川淳 (国立天文台/総研大/Astrobiology Center)

太陽系外惑星のキャラクター化のため、偏光・分光観測が可能な高コントラスト観測装置が必要である。恒星回折光を除去するコロナグラフのため、フォトニック結晶位相マスクの開発が行われている (e.g., 林他, 2021 年秋季年会 V247b)。フォトニック結晶位相マスクは、偏光子で挟むことにより、広帯域で恒星回折光を除去することができると期待される。我々は、偏光子の代わりに偏光分離素子を用いた2チャンネル (2ch) 型位相マスクコロナグラフの開発を進めている。これにより、直交する2偏光成分の恒星回折光を同時に除去でき、惑星の効率的な偏光・分光観測が可能になると期待される。恒星光をさらに強力に除去するためには、光学系の収差による散乱光 (スペckル) を低減するための波面補正系と、スペckル電場を測定する波面センサーが必要である。我々は、2ch 型位相マスクコロナグラフのため、Self-Coherent Camera (SCC) 法をベースに、2偏光・複数バンドで波面センシングが可能な新たな手法を提案した (大平他, 2021 年秋季年会 V246b)。SCC 法は、コロナグラフの Lyot 面において恒星光をピンホールで取り出し、焦点面でスペckルと干渉させ、干渉縞を解析することでスペckル電場を測定する手法である (Baudoz et al. 2006, Proc. IAU, 200, 553)。提案する手法のため、直交する2枚の偏光子と2種類の波長フィルタを設置した4つのピンホールをもつ Lyot stop を試作した。長波長および短波長側の2バンドでの同時波面センシングのため、カットオフ波長 600 nm のショートパスおよびロングパス波長フィルタを用いた。我々は今回、試作した Lyot stop を用いて、2偏光および2波長レーザー (532 nm, 670 nm) での波面センシングの実証実験を行った。本講演では実証実験の結果について報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V235a 回折限界の Inner Working Angle を持つ新しいコロナグラフ原理の確認実験

伊藤 哲司, 松尾 太郎, 太田 峻介 (名古屋大学), 池田 優二 (京都産業大学, Photocoding), 小島 礼己 (京都産業大学), 山田 亨 (JAXA 宇宙科学研究所), 住 貴宏 (大阪大学)

恒星コロナグラフは、恒星光で照らされた微かな明るさの系外惑星を、その中心星の光と分離して直接観測するために使われる。どれだけ小さい離角まで惑星が観測できるかの性能評価指標が、Inner Working Angle (IWA) である。理想的な恒星コロナグラフが遮断するのは、軸上点光源から出て、焦点面上で回折限界像を形成する光波である。逆に、透過するのは、この遮断する光波成分と関数空間上で直交する光波成分である。したがって、IWA の理論限界は、望遠鏡空間分解能の回折限界レーリー基準 (約 $1 \lambda/D$) 程度である。私たちが 2020 年に発表したコロナグラフ方式のアイデアでは、主星と惑星の任意のコントラストに対して、理論限界 IWA が可能である。今回の実験では、その方式の原理を確認した。本方式の核となる焦点面マスクは、従来と異なり、光の振幅と -1 倍 (π ラジアン) の位相 (幾何学的位相) を同時に変調する。これは、空間的に速軸方向が変化する半波長板を、2 枚の透過軸が互いに直交する直線偏光子で挟むことで実装した。実験光学系では、光学素子の表面形状精度に依るスペックルを避けるため、焦点距離 400mm のレンズの中央 1mm x 1mm 程度の領域だけを使用した F 値 400 の光学系を、集光およびコリメート用に使用した。結果、 $1 \lambda/D$ の離角にある点光源 (惑星を模擬) の PSF の形状を変化させずに、その位置での光軸上の点光源 (恒星を模擬) の PSF 強度を、もとの PSF ピークの 10^{-5} 乗倍にできた。現状、恒星光の取り残しに対応するものを生んでいる可能性があると思われるのは以下である: (1) 開口サイズの製作精度や変形, (2) 焦点面マスク内の直線偏光子や波長版の性能, (3) 光学素子の設置精度や表面形状精度に起因するスペックル。今後、これらに対処した、より高精度での性能検証が望まれる。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V236a 広帯域コロナグラフマスクの実現に向けた同心型分光器の性能測定

太田峻介, 松尾太郎, 伊藤哲司, 叶哲生 (名古屋大学), 池田優二, 小島礼己 (京都産業大学), 助川隆 (Canon), 住貴宏 (大阪大学), 山田亨 (JAXA/ISAS)

私たちが 2020 年に提案した、回折限界コロナグラフマスクは、焦点に形成される点回折像の複素振幅を変調して Lyot stop で null することで、 $1\lambda/D$ において 10^{-10} 乗のコントラストを実現する。さらに、複数の鏡で構成される分割鏡や幅鏡やその支持棒の影ができる軸上望遠鏡においても、コロナグラフとして有効に働く。しかし、点回折像の広がりには波長に比例するため、ある特定の波長の点回折像にのみマスクが最適化されるため、その有効な帯域は 0.3% に制限される。ここで、私たちはマスクが次元のみに変調されることに着目して、もう次元を分光することで広帯域化することが可能であるに気づいた。私たちは本コロナグラフに最適な分光器の設計として、球面鏡と凸型回折格子の救心を一致させた。本光学素子は Canon によって高精度に作成され、共心光学系であることから、色収差を無くし、球面収差だけが生じるような光学系を実現した。その結果、本分光器で生じる収差は、コロナグラフを伝播しないため、性能の低下が抑えられることが分かった。ただし、その結像位置は波長によって変化するため、波長ごとに異なる鏡面を反射し、前段の可変形鏡によって補正できない収差成分が生じる。本発表では、高精度な球面鏡と凸型の回折格子を一体型のマウントでアライメントし、単色光での収差測定を行った結果を報告する。本アライメント精度で達成可能なコントラスト性能は、補償光学による収差補正なしで 9×10^{-5} 乗であると期待され、本方式によって非共通の収差成分がコントラストに与える影響を評価し、本分光器の実現可能性について議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V237a 地球型系外惑星観測を目指した広帯域ダークホール制御系の開発

浅野 瑞基, 村上 尚史 (北海道大学), 米田 謙太 (国立天文台)

将来のスペースコロナグラフ計画では、地球型系外惑星のキャラクタリゼーションにより、ハビタビリティの評価やバイオシグネチャーの検出を目標としている。そのためには、広い波長域で恒星光を 10^{-10} レベルに除去することが求められる。これを達成するため、コロナグラフとダークホール制御系からなる高コントラスト観測装置の開発が、世界中で盛んに進められている。ダークホール制御とは、コロナグラフ前段の波面制御系により、恒星散乱光を除去し、焦点面に暗い領域 (ダークホール) を形成する技術である。コロナグラフとダークホール制御系により、 10^{-10} レベルの恒星光除去が期待される。しかしながら、広い波長域で 10^{-10} レベルのコントラストを達成するダークホール制御は困難であり、波長幅 20% 程度のバンドパスフィルターを切り替えて、複数回観測することなどが検討されている。

我々は、一度に広い波長域にわたりダークホール制御を実現するため、新たなシステム Spectral-Division and Beam-Rotation (SD-BR) 系を提案する。SD-BR 系とは、天体光を複数バンドに分割し、波面制御のモードが重ならないように異なるビーム回転を与えるシステムである。これにより、各バンドに対し独立にダークホール制御を行うことができる。提案手法の初期試験のための室内シミュレータとして、2 バンドに分割する SD-BR 系を構築し、2 波長 (532nm, 675nm) のレーザーを用いたダークホール制御を行った。その結果、2 波長で独立にダークホール制御を行うことに成功し、両方の波長で、現状およそ 2×10^{-7} のコントラストを得ている。本講演では、提案する SD-BR 系の原理と、室内シミュレータによる実証実験の進捗について報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V238a CIB 観測ロケット実験 CIBER-2: 第 2 回打上げに向けた観測装置改修の現状

松浦周二, 橋本遼, 河野有哉, 松見知香, 中川智矢, 長尾亜実, 野田千馬 (関学大), 佐野圭, 瀧本幸司 (九工大), 津村耕司 (東京都市大), 高橋葵 (ABC), 松本敏雄, 和田武彦 (JAXA/ISAS), Michael Zemcov (RIT), James Bock (Caltech/JPL), ほか CIBER-2 チーム

宇宙赤外線背景放射 (CIB - Cosmic Infrared Background) は個別に分解できない高赤方偏移天体や銀河間物質の放射を視線積分した拡散放射であり、大域的な星形成史を研究する上で重要な観測量である。我々は NASA の観測ロケットを用いて波長 0.5–2.0 μm の CIB 観測を行う国際共同実験 CIBER-2 (Cosmic Infrared Background Experiment 2) の計画を進めている。CIBER-2 では、液体窒素冷却の口径 28.5 cm 反射望遠鏡および 3 個の $2\text{k} \times 2\text{k}$ の HgCdTe アレイ赤外線検出器 (HAWAII-2RG) を用いた 6 波長カメラに分光フィルタを装備することで撮像 (視野 $2.3 \times 2.3 \text{ deg}^2$) と分光 ($\lambda/\delta\lambda \sim 15$) を同時に行い、これまでになく高い精度で CIB の非等方性とスペクトルを観測する。

2021 年 6 月に第 1 回の打上げに成功したが (2021 年秋季年会 松浦ほか)、観測データには熱放射迷光や電磁干渉ノイズが寄与しており、科学的に意味のあるデータは一部の波長バンドでしか得られていない (2022 年春季年会 松浦ほか)。そこで第 2 回の打上げ (2023 年初旬) に向け、熱放射迷光を除去するためのバッフルや赤外線カットフィルターの改良、電磁干渉ノイズの低減のための電気計装の改良などの観測装置の改修を実施している。また、望遠鏡鏡面の銀コートに著しい劣化が認められたため、主副鏡に再コートを施すための追加加工を行うとともに、劣化が少ない銀合金のコート材料の試作と試験を進めている。さらに地上と上空での感度校正の精度やこれを改善する手法について見直した。本講演では以上のような事項を中心にプロジェクトの現状を述べる。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V239a Solar-C (EUVST) に搭載する超高精度太陽センサ「UFSS」:センサの2軸同時出力によるリニアリティ誤差測定実験の状況

吉田南 (東京大学, ISAS/JAXA), 鄭祥子, 内山瑞穂, 清水敏文, 伊藤琢博 (ISAS/JAXA), 久保雅仁 (国立天文台), 津野克彦 (理化学研究所)

Solar-C (EUVST) は、2020 年代中頃の打ち上げを目指す太陽観測衛星で、太陽から届く紫外線を分光観測することで、太陽大気を隙間なく観測する。高解像度の分光観測を実現するには、衛星姿勢制御の高精度指向安定 (サブ秒角) が必須であり、超高精度太陽センサ「Ultra Fine Sun Sensor (UFSS)」が十分な精度で太陽指向角度を検出することが重要である。UFSS は直交する 2 つのセンサから成り、各センサはレチクルが生み出す太陽光の明暗模様を計測し、基板から出力される基準信号波形との積分が最小になるように基準信号の位相を調整して太陽角度を決定する。角度の決定にバイアス (リニアリティ誤差) があると指向誤差となるため、予め地上試験で測定したリニアリティ誤差マップを用いることで、UFSS の角度を補正する必要がある。

これまで我々は 2 軸ジンバルと太陽シミュレータから成る測定系を用いて、UFSS のリニアリティ誤差測定精度向上のための検討を行ってきた (鄭他, 天文学会 2021 年秋季年会 V211b)。今回はまず、光源に対するジンバルの設置が、UFSS の測定に影響がない精度で実現できていることを確認した。次に、UFSS センサ 2 軸が同時に測定できるように基板の増改築等を実施した。さらに、UFSS 構造体の改修も実施し、2 軸の視野重複範囲が $1^\circ \times 1^\circ$ という要求を満たすことを確認した。このとき、非干渉視野で問題となる挙動は見られなかった。センサ感度方向のリニアリティ誤差の変動量は改修前と同程度であったが、リニアリティ誤差の形状は改修前後で異なっていた。本講演では、以上の解析結果と新たに見つかった課題について報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V240a Immersion Grating 材料の極低温中間赤外線屈折率測定手法の開発

榎木谷海, 松原英雄 (総合研究大学院大学/宇宙科学研究所), 中川貴雄, 和田武彦 (宇宙科学研究所), 平原靖大, 古賀亮一, 李源 (名古屋大学), 山口遼大 (東京工業大学/宇宙科学研究所)

我々は、中間赤外線高分散分光観測 ($9.6\text{-}18\ \mu\text{m}$, $R = \lambda/\Delta\lambda \sim 30,000$) の実現のため、Immersion grating (IG) の開発を行なっている。通常のグレーティングに比べ、IG は高屈折率 n の媒質中に光を通すことで、分光素子の大きさを $1/n$ (体積で $1/n^3$) 倍にし、装置全体を小型化することができる。物質中に光を通すため、IG の材料には小さい吸収係数 ($<0.01\text{cm}^{-1}$) が要求されており、CdZnTe が中間赤外線用 IG の材料候補に選出された (Sarugaku et al., 2017)。前嶋らの測定により、低抵抗 CdZnTe は要求を満たさないため IG 材料として不適切であることが判明した。現在は、高抵抗 CdZnTe の透過率測定を名古屋大学の李らが進めている。このように、IG 材料の吸収係数は重要だが、正確な屈折率の絶対値を求めることも重要である。また、吸収係数を正確に求めるためには、屈折率で決まるフレネル反射から引き起こされる多重反射効果を考慮しなければならない。IG 材料の屈折率を正確に測定することは吸収係数の決定に関係している。

本研究の目的は、屈折率を極低温・中間赤外線で測定するための装置を開発し、CdZnTe の屈折率を 10^{-4} の精度で求め、また吸収係数算出の際に多重反射効果を考慮することである。本測定装置は常温・可視光での測定系の構築から着手し、極低温・中間赤外線の測定系に繋げられるよう、光ファイバーを用いたアライメント調整を行う。サンプル台以外の部分において、測定光を光ファイバーで誘導することで、ファイバー端を切り替えるだけで中間赤外線測定系においてもアライメントが保証される。現状の測定精度は 10^{-3} であった。目標の測定精度に到達するためには、光学系やデータ処理系の改良が必要であると考えている。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V241b Immersion Grating 材料選定のための低温赤外線透過率精密測定装置の開発

李源, 古賀亮一, 平原靖大 (名古屋大学), 榎木谷海, 松原英雄 (総合研究大学院大学/宇宙科学研究所), 中川貴雄, 和田武彦 (宇宙科学研究所)

我々は、中間赤外線高分散分光観測 ($9.6\text{-}18\mu\text{m}$, $R = \lambda/\Delta\lambda \sim 30,000$) の実現のため、次世代赤外線天文衛星 GREX-Plus への搭載を目指した Immersion grating (IG) の開発を進めている。IG は回折面を高屈折率 n の材料で満たした回折格子で、同じ波長分解能の古典回折格子に比べ $1/n$ サイズに小型可能な回折素子である。IG 材料は吸収係数が小さい必要があり ($< 0.01\text{cm}^{-1}$)、CdZnTe が中間赤外線用 IG の材料候補である。我々はこれまでに、SiN ランプからの中間赤外光を AgS 多結晶ファイバとバンドパスフィルタ 4 種を介して GM 冷凍機の真空チャンバー窓に導くことにより、低抵抗 CdZnTe 結晶 ($\sim 10^2 \Omega\text{cm}$) の透過率の温度依存性を $T \geq 8.6\text{K}$ まで測定した。その結果、従来の予想に反し、低抵抗 CdZnTe の透過率が極低温域では吸収率がむしろ上昇し、IG 材料として不適であることを明らかにした (前嶋ら 2021 年春季年会, Maeshima et al. J. of Electronic Materials, 2021)。

現時点では唯一、高抵抗 CdZnTe 結晶 ($\sim 10^{10} \Omega\text{cm}$) が IG の材料として有力である。我々の研究グループによる測定結果では、高抵抗 CdZnTe は極低温領域での吸収係数の有意な変化は確認されていない。本研究では、高抵抗 CdZnTe の同一ロットからの切り出した試料 (大きさ 7mm □, 厚さ $1.5, 10\text{mm}$) の極低温での透過率の精密な測定に向けた、下記の開発項目による高精度の測定装置の開発をおこなった: (1) 単一の光源と赤外線検出器を用いたコモンパス・ダブルビーム光学系の構築 (ビーム径 $\sim 3\text{mm}$)、(2) 二周波チョッピングによる参照光・測定光の同時ロックイン検出、(3) 2 段式 4K GM 冷凍機による試料の冷却と輻射断熱シールド機構の構築 など。新しい装置における透過率の測定精度は 0.1% 以下であり、CdZnTe の吸収係数を 0.003cm^{-1} の精度で決定できる。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V242b 准共通光路波面分割型位相シフト干渉法による遠赤外線イメージング分光器の開発

趙彪, 古賀亮一, 平原靖大, 根岸昌平, 李源 (名古屋大学), 伊藤文之 (産総研), 笠羽康正 (東北大学), 松原英雄 (ISAS/JAXA)

木星衛星イオは大気と表面で SO_2 の気相-固相循環が成立する環境である。イオ大気の ALMA 観測データから気温低下に伴う火山プルーム中の SO_2 の減少が示されたが (Koga et al. 2021)、 SO_2 の凝縮過程を詳細に捉えるには赤外観測や実験が必要である。現在我々は中間赤外線 2D FT-IR 分光器を用いて、イオ表面環境を模擬した低温 SO_2 霜の生成と赤外スペクトルの in-situ 測定を行っている (Negishi et al., Koga et al. JpGU2022)。この分光器は、准共通光路波面分割型位相シフト干渉法 (Qi et al., 2015) に基づき、コリメート及びリフォーカス用 Ge レンズ、 piezo アクチュエータと非冷却マイクロボロメータアレイ検出器を搭載している。波長範囲と分解能は $7.4 < \lambda < 12 \mu\text{m}$ 、 $R = \lambda/\Delta\lambda \sim 100$ at $\lambda = 8 \mu\text{m}$ 、画素数は 640×512 、ピクセルサイズは $12 \mu\text{m}$ である。

本研究ではこの分光器の測定可能波長範囲の拡張 ($8 < \lambda < 25 \mu\text{m}$) を目的として、次の検討を行った: (1) $\lambda > 13 \mu\text{m}$ での大気吸収の影響を除くための真空対応筐体の設計、(2) Ge レンズの軸外し放物面鏡 ($25.4\text{mm}\phi$, $\text{RFL} = 25.4 \text{mm}$) への変更、(3) 2 次元スペクトル感度向上のための一次元多重スリット (開口幅 $24 \mu\text{m}$ 、遮光幅 $12 \mu\text{m}$) の最適化。これらの光学部品の交換により、 SO_2 分子の基準振動モード: $\nu_1: 8.7 \mu\text{m}$ 、 $\nu_3: 7.3 \mu\text{m}$ に関連する固体振動スペクトルに加えて、スペクトル線形状が凝縮により大きく変化する $\nu_2: 19.1 \mu\text{m}$ バンドも測定可能になる。また、高抵抗 CdZnTe 試料の極低温下の透過率・屈折率測定 (李他、榎木谷他、本年会) にも適用可能である。設計した分光器は奥行き 160mm 、高さ 50mm とコンパクトであり、惑星探査機器として応用できる。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V243b 中間赤外線波動追跡計算を用いた宇宙機搭載用イメージョンエシエル高分散分光器における波長分解能の評価

伊藤 哲司, 石原 大助, 和田 武彦, 中川 貴雄 (JAXA 宇宙科学研究所), 大藪 進喜 (徳島大学), 金田 英宏, 平原 靖大 (名古屋大学), SPICA-SMI コンソーシアム

イメージョンエシエル回折格子は光赤外線天文学における高分散分光に広く用いられる。しかし、一般に用いられているイメージョンエシエル回折格子の点光源に対する波長分解能の評価式 ($R = \lambda / \Delta \lambda = 2n w \tan(\theta) / \lambda$, λ : 真空中の波長, n : 回折格子面に接する媒質の屈折率, w : 入射平行光線全幅, θ : プレーズ角) では、光学収差、二次元的な開口形状の影響、そして、分光器入射スリットと有限の大きさを持つイメージョンエシエル回折格子による 2 段階の回折効果が、考慮されていない。そこで、本研究は、これらの要因を考慮した波動追跡計算 (VirtualLab Fusion を使用) を行い、小型で高波長分解能 ($R > 10000$) の中間赤外分光器が持つ波長分解能を評価した。主な結果として、以下のことが分かった。(i) スリットの存在は、望遠鏡収差の R への影響を抑制する。(ii) スリットでの回折が回折格子表面の照明領域を上記評価式内の w よりも広げるので、スリットがある場合の方が無い場合よりも R が向上する (短波長側ほど向上は少ない)。(iii) スリット幅を 0 から増加させていくと R は回折格子が完全に均一に照明される時 (R が回折格子サイズによって制限されている状況) の値から減少していく。そして、スリット幅が無収差 PSF の最初のゼロ点間の幅とほぼ一致するとき、 R は最小になる。そこからさらにスリット幅を広げていくと、回折格子の照明がより均一になっていくため、 R は増加し、上記評価式の値に漸近していく。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V244b Nancy Grace Roman 宇宙望遠鏡計画：日本の参加の現状

山田 亨, 村田 泰宏, 田村 隆幸 (宇宙科学研究所), 住 貴宏, 鈴木 大介 (大阪大学), 田村 元秀 (東京大学), 村上 尚史 (北海道大学), Roman 宇宙望遠鏡検討チーム

Nancy Grace Roman 宇宙望遠鏡 (Roman 望遠鏡) は、NASA が 2026 年頃の打上を目指して開発を進める衛星計画であり、JAXA を通じた国際協力として日本はこれに参加している。日本の貢献は、コロナグラフ装置における偏光光学系設計および光学素子の製作・提供およびコロナグラフマスク基板の製作・提供、JAXA 地上局を用いた Roman 科学データの受信協力、国立天文台・すばる望遠鏡による協調観測、大阪大学・PRIME 望遠鏡などマイクロレンズ協調観測のパッケージからなる。本講演では、これらの日本の Roman 計画の進捗と現状について報告する。コロナグラフ光学素子については、2021 年度においてフライトモデルで使用する素子の製作を行い、NASA への送付を実施している。地上局については、JAXA 美笹深宇宙探査局において K 帯 26GHz 受信システムの開発のための概念検討を完了し、システム定義審査を経て現在基本設計を開始したところである。すばる望遠鏡協調観測については、観測計画の策定を段階的に進めるとともにすばるコミュニティとの状況の共有・議論を行っており、また、PRIME 望遠鏡は建設が進み 2022 年中に稼働を予定している。協調観測の検討を含む科学協力においては、NASA Formulation Science Working Group の検討に 20 名以上の日本の研究者が参加してきた。このような進捗を受けて、JAXA では 2022 年 6 月より「Roman 宇宙望遠鏡プロジェクト」が発足し計画をさらに進めることとしている。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V245c フリンジ画像の等値線上線形当てはめによる連星スペckル差測光

西田 來樹, 桑村 進, 三浦 則明 (北見工大), 馬場 直志 (北大)

多くの連星に対して離隔ベクトルおよび等級差を長期にわたって測定し蓄積されたデータは、恒星の質量光度関係の精度を向上させる上で重要である。可視域における連星パラメータ測定では、二星の離隔が地球大気揺らぎによるシーイング限界より小さい場合、スペckル干渉法が使用される。この方法では、大気揺らぎが凍結する数十 ms 程度の短時間露光および狭帯域で撮影された多数枚のスペckル像の平均パワースペckトルを求める。連星の場合、平均パワースペckトルは1枚のフリンジ画像となるが、二星の離隔ベクトルに関しては、この画像から回折限界で観測した時とほぼ同程度の精度で測定が可能である。これに対し、等級差測定 (差測光) では、検出器雑音によるバイアスと大気揺らぎによる伝達関数を補正した上でフリンジ可視度を求めるが、これらの補正処理を正確に行うのは通常困難であり、不適切な補正処理による測光精度の低下は避けられない。

連星のスペckル差測光において、上記のような補正処理を避け、フリンジ画像から直接等級差を推定する手法が用いられてきた。最もよく用いられる手法として、フリンジ画像に対し、伝達関数と雑音バイアスを考慮に入れたモデル関数を当てはめるといふ手法があるが、この場合、適切なモデル関数を如何に選定するかが問題となる。我々は、このようなモデル化が不要な手法として、伝達関数の等値線に沿ったフリンジ画像画素値の線形当てはめによって等級差を推定する手法を試み、数値実験を通してその有効性を確かめ、昨年度の年会において発表した。我々は現在、2006年から2017年にかけて30連星に対して取得した約120件のスペckルデータを保有しているが、今回の発表では、それらのデータに対して本手法による差測光測定を行い、測定結果を報告する予定である。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V301a 地球磁気圏 X 線撮像計画 GEO-X (GEOspace X-ray imager) の現状 IV

中嶋大 (関東学院大), 江副祐一郎 (都立大), 船瀬龍 (東大), 永田晴紀 (北大), 三好由純 (名大), 萩野浩一 (関東学院大学), 沼澤正樹, 石川久美 (都立大), 三石郁之 (名大), L.Kamps(北大), 川端洋輔, 布施綾太 (東大), 米山友景, 中島晋太郎, 上野宗孝, 山崎敦, 長谷川洋, 三田信, 藤本正樹, 川勝康弘, 岩田隆浩 (ISAS/JAXA), 平賀純子 (関西学院大), 満田和久 (NAOJ), 小泉宏之, 笠原慧 (東大), 佐原宏典 (都立大), 金森義明 (東北大), 森下浩平 (九大) ほか GEO-X チーム

GEO-X (GEOspace X-ray imager) は世界で初めての地球磁気圏の X 線撮像を目指す超小型衛星計画である。太陽風に含まれる酸素や窒素などの多価イオンと地球外圏大気との電荷交換反応に伴って X 線が生じる。その発光分布は地球磁気圏の太陽側境界面の構造を反映するため、X 線撮像は磁気圏構造を可視化する全く新しい手段になる (江副天文月報 2018, Ezoe et al., 2018 JATIS など)。そこで我々は本目的に特化した超小型衛星を月付近に投入し、約 $10^\circ \times 20^\circ$ に広がった放射を広視野で俯瞰的に観測する。GEO-X は 2021 年 9 月に JAXA 宇宙理学委員会の小規模計画に採択され、2023-25 年頃の打ち上げを目指している。

衛星は 18U の CubeSat 約 20 kg に、月付近の高度に投入するための推進系約 30 kg を加えて、合計約 50 kg の規模とする。観測装置は 3U サイズ ($10 \times 10 \times 30$ cm 規格) と小型だが、 $5^\circ \times 5^\circ$ の広視野によって広がった軟 X 線に対する高い感度を実現する。本年度我々は Si 微細加工技術を用いた独自の超軽量望遠鏡、焦点面検出器として軟 X 線撮像分光を行う CMOS カメラ、可視光遮光フィルタのそれぞれについて EM 品を製作しており、要素としての性能を確認している。夏季以降これらを組み上げて順次環境試験を実施していく。衛星バス部についても検討を進めており、推進系も EM 相当品での燃焼試験を実施した。本講演ではこうした開発状況を報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V302a 地球磁気圏 X 線撮像計画 GEO-X 搭載高速 CMOS イメージセンサーのデータ取得システムの開発

萩野浩一, 中嶋大, 中村彰太郎, 松本拓也 (関東学院大), 米山友景 (ISAS/JAXA), 平賀純子 (関西学院大), 江副祐一郎 (都立大)

GEO-X (GEOspace X-ray imager) は世界初の地球磁気圏の X 線によるグローバル撮像を目指す超小型衛星計画であり、太陽活動が極大を迎えると期待される 2023-25 年頃の打ち上げを目指している。主検出器は、Si 微細加工技術を用いた独自の超軽量望遠鏡と商用の CMOS イメージセンサを用いた焦点面検出器から構成される。GEO-X の焦点面検出器は、0.3-2 keV の軟 X 線帯域で 80 eV (FWHM) @0.6 keV という優れたエネルギー分解能を有すると同時に、露光時間 10 ms 程度という高速で撮像できる必要がある。そこで我々は、Gpixel 社の GSENSE400BSI という可視・紫外用の CMOS イメージセンサを採用し、その評価を進めてきた。しかしながら、その CMOS センサから得られる (2048×2048) pixel \times 12 bit \times 48 fps \approx 300 MB/s という高いデータレートを軌道上で処理するシステムの開発は進んでいなかった。

我々は、太陽観測ロケット実験 FOXSI-3 用に開発された Zynq SoC を用いたシステム (Ishikawa et al. 2018) をベースに、軌道上での X 線イベント処理を実装することで、CMOS センサからのデータを高速で処理するシステムを開発している。すでに、Zynq 上での X 線イベント判定の実装に成功しているが、CPU で大部分の処理を実行する現状の方法では、フレームレートが 1/10 以下にまで低下してしまう。現在、これを改善するため、FPGA 内に簡単なイベント候補判定処理を実装中である。本講演では、これらの GEO-X 用のデータ処理システムの開発の現状を報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V303a X 線分光撮像衛星 (XRISM) 搭載軟 X 線撮像装置 (Xtend) の開発の現状 (8)

小林翔悟 (東理大), 鈴木寛大 (甲南大), 森浩二 (宮大, ISAS/JAXA), 富田洋 (ISAS/JAXA), 中嶋大 (関東学院大, ISAS/JAXA), 林田清, 野田博文 (阪大), 内田裕之 (京大), 萩野浩一 (関東学院大), 青木悠馬 (近大), 金丸善朗, 宮崎啓太郎, 楠康平, 大塚芳徳, 横須晴彦, 米丸若菜 (宮大), 中村彰太郎, 亀井貴光 (関東学院大), 朝倉一統, 善本真梨那, 大出優一, 佐藤淳矢, 袴田知宏, 青柳美緒 (阪大), 角町駿, 土居俊輝, 青木大輝, 藤澤海斗, 清水康行 (東理大), 畠中大介 (関西学院大), 田中孝明 (甲南大), 村上弘志 (東北学院大), 信川正順 (奈良教大), 信川久実子 (近大), 内山秀樹 (静大), 吉田鉄生, 米山友景 (ISAS/JAXA), 幸村孝由 (東理大), 鶴剛 (京大), 松本浩典 (阪大), 岡島崇 (NASA/GSFC), 石田学, 前田良知 (ISAS/JAXA), 山内誠, 廿日出勇 (宮大), 平賀純子 (関西学院大), 山岡和貴 (名大), 尾崎正伸, 堂谷忠靖 (ISAS/JAXA), 常深博 (大阪大), 他 XRISM/Xtend チーム

2022 年度打ち上げ予定の X 線分光撮像衛星 XRISM には、X 線反射望遠鏡 (XMA) と X 線 CCD カメラ (SXI) からなる軟 X 線撮像装置 Xtend が搭載される。Xtend は、XMA の焦点面に 4 枚の CCD を 2×2 で配置することにより、 $0.4 - 13$ keV の帯域で 38 分角の広視野な集光撮像観測を実現する。SXI は、フライト品から構成される全システムを接続した状態で、軌道上環境を模擬した熱真空試験において正常に動作することが確認された。また、その後の音響振動試験においても、構造的な破損は認められず、正常動作も確認された (萩野+22 年春季年会)。現在は衛星構体に搭載されており、衛星総合試験において、動作確認と軌道上で用いる運用手順の検証を進めている。7 月からは、軌道上の環境を模擬した中で衛星全体の動作を検証する熱真空試験も実施される。本講演では、この衛星総合試験での SXI のノイズ・分光性能、そして運用手順の検証状況について報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V304a XRISM 搭載軟 X 線撮像検出器 SXI のフライト用 CCD 素子の地上較正試験における分光性能の評価

宮崎啓太郎, 寺田裕太, 金丸善朗, 楠康平, 大塚芳徳, 横須晴彦, 米丸若菜, 森浩二 (宮崎大学), 青木悠馬, 信川久実子 (近畿大学), 筆本脩介, 信川正順 (奈良教育大学), 内田裕之, 鶴剛 (京都大学), 鈴木寛大, 田中孝明 (甲南大学), 朝倉一統, 善本真梨那, 大出優一, 佐藤淳矢, 袴田知宏, 青柳美緒, 岡崎貴樹, 野田博文, 林田清, 松本浩典 (大阪大学), 米山友景, 吉田鉄生, 富田洋 (ISAS/JAXA), 朝比奈遥, 萩野浩一, 中嶋大 (関東学院大学), 平賀純子 (関西学院大学), 村上弘志 (東北学院大学), 内山秀樹 (静岡大学), 山内誠, 廿日出勇 (宮崎大学), 小林翔悟, 幸村孝由 (東京理科大学), 山岡和貴 (名古屋大学), 堂谷忠靖, 尾崎正伸 (ISAS/JAXA), 常深博 (大阪大学), 他 XRISM/Xtend チーム

X 線分光撮像衛星 XRISM に搭載される軟 X 線撮像装置 Xtend は、軟 X 線反射鏡 XMA と軟 X 線撮像検出器 SXI の組み合わせによって構成される。CCD 素子を 2×2 のモザイク状に配置し、 $0.4 - 13$ keV の帯域において 38 分角平方の広視野を実現する。今回我々は衛星に搭載する 4 つのフライト用素子のエネルギー較正用データ取得のため、SXI 地上較正試験を実施した。試験では $Mn-K\alpha$, $O-K\alpha$, $Al-K\alpha$ 輝線など複数の単色 X 線を長時間照射し、高統計の較正データを取得した。較正データの解析では主に偶数・奇数列毎の出力波高値のゲイン、転送による後続ピクセルへの漏れ電荷量、電荷転送非効率率、ピクセルのまたがり方による出力波高値のずれを評価し補正を行った。その結果、選定した 4 つの素子の較正後のエネルギー分解能は $160 - 180$ eV であった。これは、SXI の分光性能の要求値である 200 eV を優に下回っており、過去の衛星搭載品と比較しても十分な性能を有することが分かった。本講演では、フライト用素子の補正結果、および較正後の分光性能評価の結果を報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V305a X線分光撮像衛星 XRISM 搭載 X線 CCD の軟 X線帯域の検出効率の測定

青木大輝, 幸村孝由, 小林翔悟, 角町駿, 土居俊輝, 清水康行, 藤澤海斗 (東京理科大学), 富田洋 (ISAS/JAXA), 中嶋大, 萩野浩一, 中村彰太郎, 亀井貴光 (関東学院大学), 森浩二 (宮崎大学)

我々は 2022 年度打ち上げ予定の X 線分光撮像衛星 (XRISM) に搭載する軟 X 線撮像分光装置 (Xtend) の焦点面 X 線 CCD 検出器 (SXI) の開発を行なっている。SXI は 200 μ m の厚い空乏層を持つ裏面照射型の X 線 CCD で、0.4-13keV の帯域で高い検出効率をもつ。X 線 CCD は X 線以外の可視光線にも感度があるため、SXI の X 線の入射面には、可視光線を遮光する目的で厚みが 200nm (仕様値) の Al を蒸着している。Al は可視光線を遮光するだけでなく、観測対象となる X 線も吸収する。そこで、この主成分が Al である OBL の厚みから SXI の検出効率 (特に軟 X 線) を決めることは地上の較正実験として非常に重要である。

我々は、OBL の厚さを求めるために、2022 年 3 月と 5 月に KEK のフォトンファクトリーの BL-11A において、SXI と同等の小型の X 線 CCD に対して、0.4-1.7keV の単色 X 線を照射した。X 線 CCD は回転ステージ上に設置し、X 線の入射角を 0° と、OBL の厚さが見かけ上厚くなる 50° の 2 つの条件で照射し、両者の条件で取得する X 線の強度比から OBL の組成と厚みを求める”斜入射法”で評価実験を行なった。これまでに行った一次解析結果では、OBL の厚さが 220nm 程度と求めることができた。本講演では以上の結果について報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V306a XRISM 衛星搭載 Xtend における受光部外からの電荷侵入に強い新 CCD 駆動法

青柳美緒, 野田博文, 岡崎貴樹, 朝倉一統, 善本真梨那, 大出優一, 佐藤淳矢, 袴田知宏, 林田清, 常深博, 松本浩典 (大阪大学), 富田洋, 米山友景 (ISAS/JAXA), 金丸善朗, 寺田裕大, 宮崎啓太郎, 楠康平, 森浩二 (宮崎大学), 田中孝明, 鈴木寛大 (甲南大学), 中嶋大 (関東学院大学), 信川正順 (奈良教育大学), 青木悠馬, 信川久実子 (近畿大学)

我々は 2022 年度打ち上げ予定の X 線分光撮像衛星 XRISM に搭載される軟 X 線撮像装置 Xtend の X 線 CCD カメラ (SXI) の開発を行っている。Xtend は 38 分角四方の広視野を 0.4 - 13 keV のエネルギー帯域で撮像する。SXI は電荷転送時の電荷トラップによる分光性能の劣化を防ぐために人工的な電荷注入 (Charge Injection: CI) を行うが、2021 年 2 月に行ったフライトモデル CCD の冷却試験の最中に CI 用電極が作るポテンシャル構造を經由して X 線由来ではない電荷が受光部に侵入する事象が確認された。そこで我々は CI 時とそれ以外の時間帯で CI 用ポテンシャル構造を変化させることで分光性能を保ちつつ、受光部外からの電荷侵入にも強い CCD 駆動法を開発した。本研究では、SXI とほぼ同じ設計の CCD の側面に黒色塗装した素子を真空度 $\sim 10^{-6}$ Torr の環境下で -50°C まで冷却をし、受光部外からの電荷侵入事象を再現した。そこで新駆動法を用いたところ電荷侵入の影響を受ける撮像範囲が 3% 未満まで抑えられることが分かった。さらに黒色塗装を施していない素子を -110°C まで冷却し、X 線を照射して新駆動法を用いた結果、分光性能の要求 (FWHM 200 eV 以下 @ 6 keV) を満たすことが分かった。これにより異常事象の対処法を確立することができた。現在、大阪大学の実験室にて、2021 年 2 月の実験で実際に電荷侵入事象を経験した CCD 素子を、フライト品を模擬した検出器構体の中で本事象発生時の状況を模擬した真空冷却システムで駆動し、電荷侵入の原因を調べている。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V307a XRISM 搭載軟 X 線撮像検出器 SXI のイベント検出アルゴリズムのパラメタ決定

大塚芳徳, 金丸善朗, 宮崎啓太郎, 楠康平, 横須晴彦, 米丸若菜, 森浩二 (宮崎大学), 信川久実子 (近畿大学), 信川正順 (奈良教育大学), 内田裕之, 鶴剛 (京都大学), 鈴木寛大, 田中孝明 (甲南大学) 朝倉一統, 善本真梨那, 野田博文, 林田清, 松本浩典 (大阪大学) 米山友景, 吉田鉄生, 冨田洋 (ISAS/JAXA), 萩野浩一, 中嶋大 (関東学院大学), 平賀純子 (関西学院大学), 村上弘志 (東北学院大学), 内山秀樹 (静岡大学), 山内誠, 廿日出勇 (宮崎大学), 小林翔悟, 幸村孝由 (東京理科大学), 山岡和貴 (名古屋大学), 堂谷忠靖, 尾崎正伸 (ISAS/JAXA), 常深博 (大阪大学) 他 XRISM/Xtend チーム

X 線分光撮像衛星 XRISM に搭載される軟 X 線撮像検出器 SXI は 4 枚の大型 CCD 素子から成る X 線 CCD カメラである。4 枚の CCD を 2×2 のモザイク状に配置することで 38 分角四方の広視野撮像を実現する。X 線 CCD 検出器では X 線の入射の有無に関わらず周期的に全ピクセルが読み出されるが、読み出したピクセルの大部分は X 線が入射していないピクセルである。そのため X 線が入射したピクセルの情報を抜き出すために、X 線 CCD 検出器には X 線イベント検出アルゴリズムを搭載したデジタル処理回路が搭載される。このイベント検出アルゴリズムはパラメタを適宜設定することによって、各 CCD 素子の応答に合わせてイベント検出を最適化できるようになっている。機上で保持しておけるイベント数には限りがあるため、XRISM に実際に搭載する X 線 CCD 素子の特徴に合わせてイベント検出アルゴリズムにおけるパラメタの最適値を決定した。本講演では、パラメタの最適値の決定方法とその結果について報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V308a X 線分光撮像衛星 XRISM 搭載 CCD 検出器における Goffset のシミュレーション

青木悠馬, 信川久実子 (近畿大), 信川正順 (奈良教育大), 金丸善朗, 宮崎啓太郎, 楠康平, 森浩二 (宮崎大), 冨田洋 (JAXA), 中嶋大 (関東学院大), 松本浩典, 野田博文, 林田清 (大阪大), 鶴剛, 内田裕之 (京都大), 田中孝明, 鈴木寛大 (甲南大), 吉田鉄生, 米山友景 (ISAS/JAXA), 村上弘志 (東北学院大), 山内誠, 廿日出勇 (宮崎大), 萩野浩一 (関東学院大), 幸村孝由, 小林翔悟 (東京理科大), 平賀純子 (関西学院大), 内山秀樹 (静岡大), 山岡和貴 (名古屋大), 尾崎正伸, 堂谷忠靖 (ISAS/JAXA), 常深博 (大阪大), 他 XRISM/Xtend チーム

我々は X 線分光撮像衛星 XRISM に搭載する軟 X 線撮像装置 Xtend の開発を行っている。XRISM 用 CCD 素子では、1 ピクセルイベントよりも複数ピクセルにまたがったイベントの方が波高値が高くなるという現象があり、その波高値の差を Goffset という。さらに Goffset にはエネルギー依存性があり、低エネルギー側ほど Goffset は大きくなる。Goffset の物理的メカニズムは分かっておらず、較正手法に不定性があった。

我々はノイズが Goffset に影響を与えているという仮説のもと、シミュレーションを用いてノイズと Goffset の関係を調査した。その結果、ノイズが増加すると Goffset も増加すること、あるノイズの値での Goffset が実データを再現することを確認した。さらにシミュレーションデータから算出した補正パラメータを用いて実データの波高値を補正した結果、Goffset が解消することを確認した。また、ノイズがない場合でも Goffset が存在することが分かった。この場合の Goffset は、周囲のピクセルにまたがった波高値の取りこぼしに起因すると考えた。X 線が入射したピクセルの周囲 3×3 ピクセルの波高値を全て足し合わせると、Goffset が解消することを確認した。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V309a メッシュの影を用いた XRISM/Xtend 搭載 CCD 検出器の相対位置の評価

大出優一, 朝倉一統, 松本浩典, 野田博文, 峯田大靖, 善本真梨那, 鴨川航, 袴田知宏, 佐藤淳矢 (大阪大学), 内田裕之 (京都大学), 信川正順 (奈良教育大学), 森浩二 (宮崎大学), 冨田洋 (ISAS/JAXA)

我々は 2022 年度打ち上げ予定の X 線分光撮像衛星 (XRISM) に搭載する軟 X 線撮像装置 (Xtend) の焦点面 CCD 検出器 (SXI) の開発を行っている。Xtend は、4 枚の CCD 素子を 2×2 に配置することで、0.4 keV から 13 keV のエネルギー帯域で 38 分角四方の広視野での撮像観測を実現する。軌道上観測に向け、コールドプレートへ取り付け付けた CCD 素子の位置を詳細に把握しておく必要がある。そこで我々は、2021 年 9 月のフライトモデル CCD 冷却試験で、素子と X 線源の間に金属製のメッシュを設置し、格子状の影を撮像した。この影絵の回転と射影を考えることで CCD 素子の相対位置の評価を行った結果、X 線源とメッシュカバーの距離が近いことによる拡散光の影響と、メッシュカバーが撓むことによるメッシュの影の変形という問題を発見した。これらは XRISM 衛星の先代であるひとみ衛星で実施された同様の試験では生じていなかった問題である。そこで、カウント分布をフラットにする補正や解析に用いる領域の選定を行い、現象論的により適当な評価を目指した。結果として、CCD 素子の相対位置を 19 秒角の精度で決定できた。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V310b X 線分光撮像衛星 XRISM 搭載軟 X 線撮像装置 Xtend のためのパイルアップシミュレータの開発

米山友景 (ISAS/JAXA), 丹波翼, 小高裕和, 馬場彩 (東京大), 村上弘志 (東北学院大), 森浩二 (宮崎大), 寺田幸功 (埼玉大), 信川正順 (奈良教育大), 水野恒史 (広島大), XRISM MOPT

ピクセル検出器において、1 フレームの露光時間中に複数の光子が隣り合うピクセルに入射すると、イベント処理のアルゴリズムによって 1 つの光子イベントとして検出される。これをパイルアップと呼ぶ。特に高フラックス天体を観測する際、パイルアップは見かけ上の光子数の減少によるフラックスの過小評価や、光子のエネルギーの誤った評価によるスペクトル形状の変化など、無視できない悪影響を及ぼすことが知られている。そのため、多くの X 線天文衛星では、パイルアップを避けるためにピクセル検出器の特殊な駆動モードを導入している。XRISM/Xtend でも、CCD の視野を絞ってフレームレートを優先するモード (Window mode) と 1 フレームあたりの露光時間を短くするモード (Burst mode) を導入する。XRISM の公募観測においては、Xtend 駆動モードの選択は観測提案者に委ねられる。

我々は、モンテカルロシミュレーションを用いて Xtend による天体観測を模擬し、パイルアップの影響を評価する「パイルアップシミュレータ」の開発を行っている。本ツールの最終目標は、天体の明るさに対するパイルアップの影響、すなわちフラックスの過小評価とスペクトルの歪みについて定量的に評価し、公募観測の際に観測提案者が Xtend 観測モードを選択するための指標を提供することである。本ツールは Tamba et al. (2022) がすざく/XIS 用に開発したものを Xtend 用に改良して実装を行う。本発表では、Xtend の地上試験データを用いたシミュレーションパラメータの調整と、実際に天体観測を模擬した際のパイルアップの影響について報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V311b 地球磁気圏 X 線撮像計画 GEO-X (GEOspace X-ray imager) 搭載検出器の軟 X 線応答評価

松本拓也, 中村彰太郎, 木内歩, 萩野浩一, 中嶋大 (関東学院大), 米山友景 (ISAS/JAXA), 平賀純子 (関西学院大), 江副祐一郎 (都立大) ほか GEO-X チーム

世界初の地球磁気圏の X 線撮像を目指す超小型衛星計画 GEO-X (GEOspace X-ray imager) に搭載される、焦点面検出器のセンサ部分についての開発状況を報告する。GEO-X は太陽活動が極大期を迎える 2023-2025 年の打ち上げを目指しており、現在我々は検出器のエンジニアリングモデルを開発している。GEO-X は月付近軌道に投入され、太陽風と地球外圏大気との電荷交換反応 (SWCX : Solar Wind Charge eXchange) による X 線を検出する。そこで検出器は SWCX 輝線の卓越する 0.3-2.0 keV において高感度撮像分光を行う。撮像サイクルは可視光バックグラウンドの寄与を低減するため 0.01 sec/frame 程度とし、エネルギー分解能は SWCX による輝線を分解するため 80 eV(FWHM) @ 0.6 keV を要求とする。

我々は、可視紫外向けに開発された Gpixel 社の CMOS イメージセンサ GSENSE400-BSI を採用し評価を進めている。これまで、放射線損傷前の時点で 182 eV(FWHM) @ 5.9 keV(シングルピクセルイベント) のエネルギー分解能 (室温動作) を確認し、さらに 20 krad/cm² の放射線損傷を受けた後でも有効帯域下限が要求の 0.3 keV を満たすことを実証した。しかし GEO-X の観測帯域である <2.0 keV における分光性能評価はできていなかった。そこで我々は X 線発生装置と二次ターゲットを用いた多色 X 線発生装置を製作し、-20°C 未満に冷却した CMOS センサに対して O-K 輝線 (0.53 keV) や Si-K α (1.74 keV) など複数の軟 X 線を照射するシステムを構築した。本講演ではフライトモデル候補センサについてゲイン・エネルギー分解能・応答関数などの評価状況を報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V312b 微細加工技術を用いた軽量ロブスターアイ光学系の開発

石川久美, 伊師大貴, 福島碧都, 稲垣綾太, 上田陽功, 森下弘海, 関口るな, 辻雪音, 村川貴俊, 山口和馬, 石川怜, 森本大輝, 山田裕太, 沼澤正樹, 江副祐一郎 (都立大), 満田和久 (国立天文台), 金森義明 (東北大), 森下浩平 (九州大)

重力波源の X 線対応天体の同定やガンマ線バーストを用いた初期宇宙探査といった時間領域天文学の発展に、広視野 X 線望遠鏡は不可欠である。そこでロブスターアイ光学系が注目されている。ロブスターアイ光学系は、甲殻類の目を模倣した格子状の微細穴が球面状に並んだ構造で、直交する微細穴の側壁で 2 回反射させて集光結像する (Angel et al. 1979 SPIE)。これまで X 線天文衛星に搭載されてきた Wolter I 型光学系に比べて、より広い視野を実現することができる。我々は微細加工技術を用いた独自の世界最軽量 X 線望遠鏡を開発している (Ezoe et al. 2010 MST)。厚さ 300 μm のシリコン基板に幅 20 μm の微細穴を多数あけ、その側壁を X 線反射鏡として利用する。同様の手法を用いて、シリコン製の軽量ロブスターアイ光学系の開発に着手した。

我々は、微細な四角穴から成る Angel 型と、長方形のスリットを配置した基板を 2 枚重ねて完成する Schmidt 型のロブスターアイ光学系を試作した。Angel 型は基板 1 枚で完成することが利点となる。試作および X 線照射試験の結果、正確な四角穴を形成することが難しいことがわかった。一方で Schmidt 型は、我々が開発してきた Wolter I 型光学系製作のノウハウを活かせることが利点である。直径 ~ 10 cm、厚さ 300 μm のシリコンウェハに、穴幅 ~ 20 μm の長方形スリットを無数にあけ、曲率半径 ~ 1000 mm の球面塑性変形を行なった曲板を 2 枚製作し、試作品を完成させた。X 線照射試験の結果、ロブスターアイ光学系特有の十字集光を確認できた。本講演では、これらの開発状況について述べる。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V313a X線分光撮像衛星 XRISM 搭載 X線望遠鏡 (XMA) 開発の現状 (7)

林多佳由, 岡島崇, 田村啓輔, Rozenn Boissay-Malaquin, Danielle N. Gurgew, Larry Olsen, Richard Koenecke, Leor Bleier, Richard Kelley, Steve Kenyon, Gary Sneiderman, Meng Chiao (NASA's GSFC), 佐藤寿紀 (立教大), 森英之, 石田学, 前田良知, 飯塚亮 (ISAS/JAXA), 武尾舞, 宮本明日香, 松本岳人, 石崎欣尚 (首都大), 藤本龍一 (金沢大, JAXA), 森浩二 (宮崎大)

我々は NASA の Goddard Space Flight Center (GSFC) で X 線分光撮像衛星 XRISM の 2 つの観測システムである、Resolve と Xtend の光学系である XMA (X-ray Mirror Assembly) を開発している。2 台の XMA は 2021 年 8 月までに完成し、2022 年 5 月までに GSFC の 100m X 線ビームラインで地上較正試験を完了した。Resolve-XMA の 1.5, 4.5, 6.4, 8.0, 9.4, 11.1, 17.5, 22.2 keV の単色 X 線点光源による測定の結果、光軸での有効面積はそれぞれ、585, 435, 416, 345, 233, 163, 38, 12 cm²、Half-Power Diameter (HPD) は 22.2 keV を除き、上記のエネルギーで 1.2–1.3 分角となった。同様に、Xtend-XMA の光軸での有効面積は 1.5, 4.5, 6.4, 8.0, 9.4, 11.1, 17.5 keV でそれぞれ 589, 442, 422, 349, 236, 165, 38 cm²、HPD は 1.4–1.5 分角となった。光軸から外れた光源に対する応答も抑えており、特に 6.4 keV では、検出器の視野 (Resolve: 3×3 分角、Xtend: 38×38 分角) を考慮し、光軸を中心に 45 度毎、8 つの位相角 (roll 角) 方向に、Resolve-XMA では 0.5, 1, 2, 3, 4.5 分角、Xtend-XMA では 2, 5, 10, 15, 20 分角傾けたデータを取得した。さらに、口径上の 10×10 mm 領域毎の性能測定も実施した。この測定から得られる、局所的な集光像の広がりや焦点距離のばらつきを応答関数に取り込む作業が進められている。GSFC での地上較正試験後に XMA は日本へ輸送され、輸送後の性能確認を宇宙科学研究所の 30m X 線ビームラインで実施している。本講演では XMA の地上較正試験と輸送後の測定の結果、応答関数の開発状況を報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V314a XRISM XMA フライト品性能試験のための X 線結像測定システムの開発

松本岳人, 武尾舞, 宮本明日香 (東京都立大学), 前田良知, 石田学 (宇宙科学研究所)

2022 年度打ち上げ予定の X 線天文衛星 XRISM には X 線望遠鏡 (XMA: X-ray Mirror Assembly) が 2 台搭載されている。XMA は 2 つの観測システム (Resolve と Xtend) の焦点面への X 線の集光・結像を担う。XMA の地上較正試験は NASA で行われたため、輸送中に XMA の性能が変化していないかを、衛星搭載前に確認しておく必要がある。そこで宇宙科学研究所の X 線ビームラインに新たに導入した C-MOS 検出器を使って結像性能を高い S/N 比で測定するシステムを開発した。計測モードとして採用した Photon counting 方式では、イベント検出に必要なパラメーター、ADC gain, event threshold, split threshold, grade selection, frame exposure の成立解を見つける必要がある。photon counting では pile up event が発生しやすく、その評価のため gain を抑えめにし、double event, triple event 等を捉えられるようにしている。また、threshold levels がダークレベルの揺らぎに依存しないように、2 段のペルチェ素子からなる冷却システムを開発し、−50 deg C 程度を達成することで熱雑音を下げている。exposure は、frame 取得の時間がステージの移動時間と同等になる程度に調整した。

以上の調整を行った後、XMA と同型の ASTRO-H 用軟 X 線望遠鏡 SXT のエンジニアリングモデルを使って Fe の K α 特性 X 線 (エネルギー 6.4 keV) で、従来の Flux mode で取得したイメージの HPD (Half Power Diameter) を比較したところ、ほぼ一致した値となった。Photon counting mode では、バックグラウンドの大幅な低減が実現でき、ほぼバックグラウンドによらない高い S/N 比でイメージを取得することができた。こうして開発・検証した結像性能評価システムを用いて 2022 年 6 月より、XMA の Flight Model の評価試験を行なっている。本講演ではその結果も一部報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V315a X線分光撮像衛星 XRISM 搭載 Resolve の開発の現状 IX

K. Sato^A, Y. Ishisaki^{B,J}, R. L. Kelley^C, H. Akamatsu^D, H. Awaki^E, T. G. Bialas^C, R. Boissay-Malaquin^C, G. V. Brown^F, M. P. Chiao^C, E. Costantini^D, J.-W. den Herder^D, M. J. Dipirro^C, M. E. Eckart^F, Y. Ezoe^B, C. Ferrigno^G, R. Fujimoto^{H,J}, A. Furuzawa^I, S. M. Graham^C, M. Grim^D, R. Hayakawa^J, T. Hayashi^C, A. Hoshino^K, Y. Ichinohe^J, R. Iizuka^K, M. Ishida^K, K. Ishikawa^B, C. A. Kilbourne^C, S. Kitamoto^J, M. A. Leutenegger^C, Y. Maeda^K, D. McCammon^L, I. Mitsuishi^M, M. Mizumoto^N, T. Okajima^C, S. Paltani^G, F. S. Porter^C, M. Sawada^O, H. Seta^B, P. J. Shirron^C, G. A. Sneiderman^C, Y. Soong^C, A. E. Szymkowiak^P, Y. Takei^K, T. Tamagawa^O, K. Tamura^C, M. Tsujimoto^K, Y. Uchida^Q, C. P. de Vries^D, S. Yamada^J, N. Y. Yamasaki^K, S. Yasuda^K (埼玉大^A, 都立大^B, NASA^C, SRON^D, 愛媛大^E, LLNL^F, U-Geneva^G, 金沢大^H, 藤田保健衛生大^I, 立教大^J, JAXA^K, 名古屋大^L, U-Wisconsin^M, 京都大^N, 理研^O, Yale-U^P, 東京理科大^Q)

X線分光撮像衛星 XRISM(X-Ray Imaging and Spectroscopy Mission) に搭載される Resolve は、50 mK の極低温で動作する 35 ピクセルのマイクロカロリメータと焦点距離 5.6 m の多重薄板 X 線望遠鏡から成り、日米欧で開発を進めている。すでに XMA を除く Resolve FM 機器を用いたサブシステム試験を筑波宇宙センターにて終了しており、ASTRO-H(ひとみ) 衛星搭載 SXS と同等の性能を確認している。2022 年 4 月より筑波宇宙センターにおいて Resolve を XRISM 衛星に搭載し、5 月より初期電気試験を開始している。その後、熱真空試験を実施する予定である。この講演では Resolve の開発の現状を報告する。

[スケジュール\(セッション毎\)に戻る](#)

[スケジュール\(全体\)に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V316a XRISM 衛星 Resolve 精密分光器の軌道上ゲインドリフト較正戦略の最適化

澤田真理 (理研), Caroline Kilbourne, Frederick S. Porter, (NASA/GSFC), Cor de Vries (SRON), 辻本匡弘 (ISAS/JAXA), 藤本龍一 (金沢大), 竹井洋 (JAXA), 北本俊二 (立教大), 石崎欣尚 (都立大), Renata Cumbee, Maurice A. Leutenegger (NASA/GSFC), Megan Eckart (LLNL), & Resolve team

XRISM 衛星に搭載する Resolve は、マイクロカロリメータアレイをもちいた精密分光器であり、「ひとみ」SXS で目指した高温プラズマ天体の精密 X 線分光を復活させることを使命とする。要求分解能 7 eV (FWHM) の達成には、軌道上での温度環境変化によるゲインドリフトを補正し、ドリフト由来の分解能劣化を許容範囲内に収めることが不可欠だ。そこで MXS をもちいる。MXS は X 線をパルス状に照射できる較正線源で、観測中絶え間なくドリフト測定をしながら、観測効率損失をパルスの duty 比 (~1%) 程度に抑えられる。しかし、パルスオフ後も MXS 内の残留イオンが X 線を生じ (残光テイル), バックグラウンドを増加させることが判明した。また、観測天体の X 線イベントのうち精密分光解析に適す H および Mp グレードの分岐比はピクセルごとの総計数率で決まるため、MXS の使用による計数率増加でこの分岐比が減少することもわかった。したがって、較正輝線の必要計数率を充足しつつ、観測への悪影響を最小限にとどめる MXS 駆動パラメータの最適化が必要となる。そのために、単体試験でわかった MXS の応答、グレード分岐比などカロリメータ特有の要素、これらの組み合わせによる非線型かつ不連続な振る舞いを考慮して、パルス・テイルの計数率をモデル化した。パラメータ最適化の結果、元々想定するドリフト測定間隔 10 分の場合、残光テイル強度は許容値の 130 倍、観測天体 X 線の H+Mp グレード損失率は 20% にのぼった。本講演では、これらに対する低減策の検討結果を含め、エネルギー分解能・バックグラウンド・観測効率という 3 つの性能要求にまたがるドリフト較正戦略の見通しを示す。

[スケジュール\(セッション毎\)に戻る](#)

[スケジュール\(全体\)に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V317a XRISM 衛星搭載極低温検出器における電磁干渉の影響評価

栗原明稀(東京大学), 辻本匡弘, 小栗秀悟, 松田フレドリック (JAXA/ISAS), Brian McLaughlin, Leslie Hartz, Scott Porter, Caroline Kilbourne(NASA), on behalf of the XRISM

2023年打ち上げ予定のX線天文衛星XRISMに搭載される精密分光装置 *Resolve* をはじめ、極低温検出器における衛星バス系からの電磁干渉は大きなリスクである。特に、先代のASTRO-H搭載SXS装置において軌道上での分解能劣化につながった (i) 姿勢制御系の磁気トルカによる低周波磁場干渉、SXS装置試験における未検証項目である (ii) 通信系機器及びアンテナからの高周波電場干渉について、*Resolve* 検出器への影響を調べることは喫緊の課題となっていた。

2022年4月までの *Resolve* サブシステム試験の中で、上述の (i), (ii) の干渉パスに対しそれぞれ干渉源を模擬し、検出器の応答データを取得する試験を行った。(i) ではASTRO-H衛星エンジニアリングモデルの磁気トルカを、検出器に対して軌道上と同じ配置・方法 (127 Hz のパルス幅変調) で駆動させた。検出器で取得したノイズスペクトルには127 Hzのラインノイズが現れ、その強度が磁気トルカと検出器間距離に依存することを確認できた。(ii) では、検出器上部から通信系からの発生電波を模擬した信号を入射し、ノイズスペクトルを取得した。入射強度は電磁場シミュレーションの結果から余裕をもって設定したうえで、検出器での有意な応答は見られなかったことが確認できた。本発表では、現在進行中の衛星システム試験の結果も含め、報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V318a X線偏光観測衛星IXPEの現状(2)

玉川 徹, 北口貴雄, 榎戸輝揚(理研), 内山慶祐, 武田朋志(東京理科大/理研), 三石郁之, 柏倉一斗, 田原譲(名古屋大), 郡司修一, 渡邊瑛里, 寺島政伸, 管 佑真, 上小林柁(山形大), 深沢泰司, 水野恒史, 高橋弘充, Zhang Sixuan(広島大), 岩切 渉(中央大), 林田 清, 朝倉一統(大阪大), Martin Weisskopf, Brian Ramsey, Stephen O'Dell(NASA/MSFC), Paolo Soffitta(IAPS/Rome), Luca Baldini(INFN/Pisa) ほかIXPE衛星チーム

X線偏光観測は、高エネルギー天体の幾何構造や磁場、放射機構を探るすぐれた手段として期待されてきたが、可視光や電波にくらべ高感度な偏光計を製作するのが技術的に難しいことや、十分な光子統計が必要なことから、これまでほとんど実施されてこなかった。2017年1月にNASA小型衛星計画として、NASAマーシャル宇宙飛行センターがイタリアと共同提案したIXPE (Imaging X-ray Polarimetry Explorer) が採択され、2-10 keV帯域の高感度軟X線偏光観測が実現することとなった。IXPE衛星には日本から、JAXA小規模プロジェクトの枠組みで国際協力として参加しており、ハードウェアならびに観測計画策定への貢献を進めてきた。

IXPE衛星は予定通り2021年12月9日に、NASAケネディ宇宙センターからSpaceX Falcon 9ロケットにより、高度600 kmの赤道軌道に打ち上げられた。衛星と検出器の立ち上げ作業は順調に進み、約1ヶ月間のコミッションング期間を経て、2022年1月12日より科学運用が始まった。これまで、Crab (Pulsar/PWN)、4U 0142+61 (Magnetar)、Mrk501 (Blazar)、Her X-1 (Acc. pulsar) などから、統計的に有意な偏光が受かっており、観測と並行して論文化を進めている。本講演では、IXPE衛星の詳細と打ち上げ後の現状、最新の観測成果について報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V319a 硬X線偏光観測実験XL-Calibur 気球の2022年フライトにおける現地準備状況

高橋弘充, 阪本菜月, 今里郁弥, 山本龍哉, 今澤遼, 眞武寛人, Poon Helen, 楊冲, 水野恒史, 深沢泰司 (広島大), 内田悠介 (東京理科大), 峯田大靖, 鴨川航, 松本浩典, 服部兼吾, 井出峻太郎, 米山友景, 岡崎貴樹, 朝倉一統, 石倉彩美, 佐久間翔太郎, 花岡真帆, 澤上拳明, 松下友亮, 善本真梨那, 大出優一, 佐藤 淳矢, 袴田知宏, 佐藤淳矢, 青柳美緒, 石渡幸太, 萩原涼太, 野田博文, 林田清, 常深博 (大阪大), 前田良知, 石田学, 内田和海 (宇宙科学研究所), 宮澤拓也 (沖縄科学技術大学院大学), 石橋和紀 (名古屋大), 中庭望, 武尾舞, 鈴木瞳, 宮本明日香 (東京都立大), 今村竜太, 亀谷紀香, 栗木久光 (愛媛大), 古澤彰浩 (藤田医学大), 北口貴雄, 玉川徹, 榎戸輝揚 (理化学研究所), 内山慶祐, 武田朋志, 吉田勇登 (東京理科大学), 郡司修一 (山形大学), 岡島崇, 田村啓輔 (NASA/GSFC), Henric Krawczynski (ワシントン大), Fabian Kislat(ニュー・ハンプシャー大) 他 XL-Calibur チーム

偏光観測は、撮像、測光、分光とは独立な物理量（磁場や幾何構造など）が得られる強力な観測手段である。しかしX線やガンマ線の高エネルギー帯域では未開拓であり、IXPE 衛星による軟X線観測が始まったばかりである。我々は日米瑞の国際協力でXL-Calibur 気球実験を推進し（PI: Henric Krawczynski）、15–80 keV の硬X線について望遠鏡により天体信号を集光し、高感度な偏光観測を実現する。偏光計は、Be 散乱体と CZT 半導体で、コンプトン散乱の際に光子は偏光方向と垂直に散乱されやすい（クライン-仁科関係）ことを利用する。

今回は、2022年夏にスウェーデンから1週間の長期フライトを計画している。2022年5月から打ち上げ場のスウェーデン SSC/Esrang Space Center において、ゴンドラの組み上げ、偏光計の動作確認と偏光能力の較正、望遠鏡の取り付け、姿勢系のアライメントを実施した。本講演では、現地での最終準備状況について報告する。

[スケジュール\(セッション毎\)に戻る](#)

[スケジュール\(全体\)に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V320a 硬X線偏光検出気球実験XL-Calibur の2022年フライト向け望遠鏡の取り付け

鴨川航, 峯田大靖, 松本浩典, 服部兼吾, 井出峻太郎, 米山友景, 岡崎貴樹, 朝倉一統, 石倉彩美, 佐久間翔太郎, 花岡真帆, 澤上拳明, 松下友亮, 善本真梨那, 大出優一, 佐藤 淳矢, 袴田知宏, 青柳美緒, 石渡幸太, 萩原涼太, 野田博文, 林田清, 常深博 (大阪大), 宮澤拓也 (沖縄科学技術大学院大学), 石橋和紀 (名古屋大), 前田良知, 石田学 (宇宙科学研究所), 中庭望, 武尾舞, 鈴木瞳, 宮本明日香 (東京都立大) 内田悠介 (東京理科大), 今里郁弥, 山本龍哉, 今澤遼, 眞武寛人, Poon Helen, 楊冲, 高橋弘充 (広島大), 今村竜太, 亀谷紀香, 栗木久光 (愛媛大), 古澤彰浩 (藤田医学大), 岡島崇, 田村啓輔 (NASA/GSFC), Henric Krawczynski (ワシントン大), Fabian Kislat(ニュー・ハンプシャー大) 他 XL-Calibur チーム

XL-Calibur 計画とは、15–80 keV の硬 X 線帯域で高感度な偏光観測を目標とする日米スウェーデンの国際協力気球実験である。本実験では、硬 X 線帯域での高い集光能力を実現するために、焦点距離 12m、口径 45cm、角度分解能 2.0 分角程度の Wolter-I 型 2 回反射斜入射望遠鏡を搭載する。我々は、2020 年 12 月までに本望遠鏡の全反射鏡フォイルの位置調整を完了し、2021 年 6 月には望遠鏡の性能測定を大型放射光施設 SPring-8 の BL20B2 にて行い、角度分解能・有効面積が要求を満たす結果となっていることを確認した。また、望遠鏡と偏光計、姿勢制御系の噛み合わせ試験を 2021 年 11 月に NASA/Wallops Flight Facility(WFF) で行い、取り付け位置の確認を行った(峯田他 2022 年春季年会 V315a)。以上で望遠鏡の調整は終了とし、スウェーデンから 2022 年 6 月以降に行われるフライトの準備を 2022 年 5 月 6 日から SSC/Esrang Space Center にて行なった。フライト準備では、望遠鏡の中心に装着した Forward Looking Camera と Back Looking Camera を用いた望遠鏡の取り付け位置調整や望遠鏡の結像位置の確認を行った。本講演では、望遠鏡の取り付けに関する結果について報告する。

[スケジュール\(セッション毎\)に戻る](#)

[スケジュール\(全体\)に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V321a 硬 X 線偏光観測気球実験 XL-Calibur 搭載 CZT 半導体検出器の性能評価

阪本菜月、高橋弘充、水野恒史、深澤泰司(広島大学)、内田悠介(東京理科大学)、前田良知、石田学(宇宙科学研究所)、峯田大靖、鴨川航、松本浩典、林田清、常深博(大阪大学)、宮澤拓也(沖縄科学技術大学院大学)、栗木久光(愛媛大学)、古澤彰浩(藤田医学大学)、玉川徹、北口貴雄(理化学研究所)、岡島崇(NASA/GSFC)、Henric Krawczynski(ワシントン大学)、Fabian Kislak(ニューハンプシャー大学)、他 XL-Calibur チーム

XL-Calibur は、日米瑞の国際協力により硬 X 線領域 (15-80 keV) での世界最高感度の偏光観測を目指す気球実験である。入射した硬 X 線はクライン仁科の式に従い、偏光方向と垂直な方向にコンプトン散乱しやすい。XL-Calibur は、散乱体である直径 12 mm の円柱 Be の周囲に CZT 検出器 (2.5 mm 角 × 1088 ピクセル) を配置し、測定した散乱光の異方性から、偏光度と偏光角を調べる。CZT 検出器 1 枚は 0.8 mm 厚で、表面 20 × 20 mm が 8 × 8 の 64 ピクセルに分割されている。印加電圧は 41 V である。

本研究では、CZT 検出器の性能評価を行った。エネルギー較正直線を 1088 チャンネルごと求めるため、 ^{152}Eu ガンマ線源を照射した際の地上データを解析した。40 keV と 122 keV のガンマ線が検出され、前者はガウス関数によるフィッティングで求めた。後者は 0.8 mm 厚の CZT での検出効率が低く使用できないと考えていたが、エッジとなって存在することがスペクトルから判断できたため、相補誤差関数を用いてピークを評価した。導出した各ピクセルのしきい値は、多くが 15 keV 付近の十分に低い下限であることを確認した。軟 X 線領域 (2-8 keV) での観測を対象とした IXPE と同時観測を行うにあたり、本研究で得られたしきい値が 15 keV にあることは本質であると言える。2022 年にスウェーデンでフライト準備を行う CZT 検出器の性能について報告する予定である。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V322b Ground performance test of the pulse shape processor in the XRISM/Resolve microcalorimeter under a high-count-rate situation

M. Mizumoto^a, M. Tsujimoto^b, Y. Ishisaki^{c,b}, S. Yamada^d, Y. Uchida^e, M. Sawada^f, E. Hodges-Kluck^g, F.S. Porter^g, C.A. Kilbourne^g, M.A. Leutenegger^h, on behalf of the XRISM/Resolve team (^aKyoto U., ^bISAS/JAXA, ^cTMU, ^dRikkyo U., ^eTUS, ^fRIKEN, ^gNASA/GSFC, ^hLLNL)

In the *Resolve* x-ray microcalorimeter onboard the XRISM satellite, x-ray events are triggered and reconstructed in the orbit and only the characteristic values of events are downlinked. The Pulse Shape Processor (PSP) is the onboard digital electronics responsible for this processing, such as event triggering and reconstruction. With this modest resources, the onboard process becomes CPU-bound at count rates higher than about 200 s^{-1} , which is equivalent to about 100 mCrab. Beyond this rate, the instrument suffers significant loss of events, but the data are still useful for spectroscopy if the behavior is understood in advance of observations. We report the result of the ground testing in the high count rate case. We tested that the original x-ray signals can be correctly reproduced from the processed events even when the event losses occur, except for the energy resolution. The energy resolution becomes worse as the count rate increases due to the cross talk effect; if the event losses occur, some of the cross talk cannot be identified. We modelled the degradation of the energy resolution. We also developed a method to calculate the CPU usage and estimate the energy resolution when the x-ray model spectrum and flux are given as inputs. This method is essential when planning observations of bright objects in XRISM.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V323b 炭素繊維強化プラスチック製 X 線反射鏡における薄板ガラスを用いた新鏡面製作法の開発

岩崎雅大, 川中榛名, 田淵優, 小谷賢伸, 粟木久光 (愛媛大), 青柳美緒, 松本浩典 (大阪大), 前田良知 (宇宙科学研究所), 鈴木浩文 (中部大), 土屋魁琉, 森田晋也 (東京電機大), 宇都宮真 (株式会社テックラボ)

我々は、炭素繊維強化プラスチック (CFRP) を用いて、15arcsec 以下の高角度分解能と大有効面積を併せ持つ X 線望遠鏡用の X 線反射鏡開発を進めている。CFRP は従来のアルミニウム基板に比べ、成形性と比強度が高い材料で、その高い成形性から Wolter 光学系の回転放物面と回転双曲面を一体とした二段一体型反射鏡基板の製作が可能である。これまでに、CFRP 基板の反射面形成において、従来のレプリカ法を用いると鏡面に欠損が生じることが分かり、新鏡面製作法として基板表面に厚さ 50 μm の薄板ガラスを付加する薄板ガラス法を提案してきた。薄板ガラス法では反射面表面に凹凸ができることによる結像性能の悪化が課題となっている。

この凹凸を無くすことを目的に製作条件を変化させたところ、CFRP と薄板ガラスの接着を真空中で行った後、加圧せずに硬化する方法で、最も凹凸が少なくなる結果が得られた。このサンプルについて、2021 年 12 月に宇宙科学研究所のビームラインで性能評価実験を行った結果、HPW \sim 52arcsec の結像性能が得られ、2020 年に製作したサンプルよりも結像性能が向上した。一方、加圧をしないことで CFRP と薄板ガラスの密着度が低下し、形状精度が悪化する課題が残った。現在、更なる結像性能の向上に向けて、硬化時の加圧方法の最適化を進めている。Wolter 型基板全体に均等な加圧を行うために大気圧を利用した加圧方法を試しており、約 0.03 気圧の圧力をかけた場合には凹凸が現れた。この結果から 0 気圧から 0.03 気圧の間に最適な圧力があると考えている。本講演では、昨年行ったビームラインでの実験結果と、硬化時の最適な加圧方法について報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V324a OHMAN (MAXI - NICER ISS 上連携) 開始

三原建弘 (理研)、根来均 (日大)、岩切涉 (中央大)、芹野素子 (青学大)、志達めぐみ (愛媛大)、海老沢研 (JAXA/ISAS) ほか MAXI チーム

我々は国際宇宙ステーション (ISS) 搭載の全天 X 線監視装置 MAXI を運用している。X 線帯での全天監視は、現在 MAXI のみである。同じく ISS には NASA/GSFC の X 線望遠鏡 NICER が搭載されている。今まで MAXI の新星発見と連絡、NICER のコマンドは地上で行われていて、MAXI 天体の追観測には約半日を要している。そこで ISS 上のラップトップ PC を用いてそれらを行い、X 線帯での発見 2-10 分後から X 線帯での詳細観測を自動で行う計画が MAXI チームと NICER チーム合同で立ち上がった。OHMAN プロジェクト (On-orbit Hook-up of MAXI and NICER) である。OHMAN の日本側は 2017 年度に ISAS 小規模計画で準備した。アメリカ側は 2020 年から予算を得て準備が行われ、このたび 2022 年 5 月 26 日に開通した。日米協力ということで JAXA-NASA の Open Platform 3 計画の後押しもいただいた。PC や通信経路のほとんどはアメリカ側の物品を使用するが、情報は日本から発信する日米協力である。X 線帯での即時観測は世界初であり、激変星での軟 X 線新星爆発、中性子星 X 線連星からのスーパーバースト、恒星のフレア、MAXI の 1 スキャンでのみで光る急速減光天体 (MUSST 天体) などの観測が期待される。これらは硬 X 線の Swift/BAT では検出されていない。もちろん、ガンマ線も出しいつどこで発生するかわからない、ガンマ線バースト、重力波対応天体も OHMAN の対象となる。既知天体の増光の場合、NICER はピンポイントでその天体を指向する。未知天体の場合、NICER は MAXI の誤差領域を約 40 マルチポイントで位置を正確に求める。2022 年 6 月 3 日現在、OHMAN は 1 週間正常に稼働した。バックグラウンド粒子起源のイベントを 1 つ検出し、NICER は自動で動きスキャンを行い、動作が確認された。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V325a X線突発天体監視速報衛星こよう搭載の広視野X線撮像検出器 T-LEX の応答関数構築

鈴木大晴, 澤野達哉, 米徳大輔, 有元誠, 橘建志, 吉田翼 (金沢大学)

2015年に米国の重力波干渉計 LIGO が史上初となる重力波の直接検出に成功し、重力波天文学が幕を開けた。しかし、重力波干渉計のみでは方向決定精度が荒いため到来方向の同定が難しく、イベント発生直後の天体を詳細に観測することができていない。その解決方法として、重力波と同時に発生するとされる短時間ガンマ線バースト (SGRB) などの電磁波対応天体を、重力波と同時に観測することが考えられている。金沢大学では、重力波と同期した X 線突発天体を検出し、到来方向と時刻を同定するとともに地上へ即時アラートの送信を実現する X 線突発天体監視速報衛星こようを開発している。このように重力波源の迅速な多波長観測を促進することで重力波天文学に貢献する。観測は衛星搭載の広視野 X 線撮像検出器 T-LEX によって行う。T-LEX は、ランダムな開閉パターンを持つコーデッドマスクとストリップ型シリコン半導体検出器で構成されており、15 分角の決定精度で母天体の方向を同定し、天体のライトカーブやスペクトルを取得することができる。これらの観測データを解析することでブラックホールの形成メカニズムや放出されるジェット機構の解明を狙う。

センサに入射した X 線は検出器固有の物理プロセスを経て電荷信号として読み出されるため、天体本来のスペクトルとは一致しない。天体のスペクトルを推測するためには、衛星打ち上げ前の地上試験で検出器固有の応答関数を作成する必要がある。本講演では、(1) 単色 X 線の測定データを用いて、任意のエネルギーでのスペクトル応答を構築できたこと、(2) モデル関数を作成した際に導入した系統誤差の観測への影響を考察した結果を報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V326a X線突発天体監視速報衛星こよう搭載のガンマ線検出器 KGD の性能評価

吉田翼, 澤野達哉, 米徳大輔, 三原建弘, 有元誠, 金善勇, 鈴木大晴 (金沢大学)

連星中性子星の合体を起源とする重力波 GW 170817 が重力波干渉計 LIGO、Virgo によって観測された。一方、Fermi/GBM によって短時間ガンマ線バースト (以下「short GRB」と称する) と思われる放射 GRB 170817A が同一方向から観測された。しかし、GRB170817A は通常より非常に暗いことや、X 線残光が 2 週間も遅れて出現するなど、典型的な short GRB とは異なる特徴を示した。中性子星を含む連星合体がどのような物理プロセスを経て short GRB の放射に至るかは解明されていない。今後重力波と short GRB の同時観測事例をふやし、重力波観測から得られる母天体の情報と、short GRB の電磁波から得られる情報の統計的な議論が必要とされている。

そこで金沢大学では、重力波と同期した X 線・ γ 線の観測を目的とした X 線突発天体監視速報衛星こようの打ち上げを計画している。我々はこれらを実現するための観測機器の開発を行っている。その 1 つがガンマ線を観測し、short GRB 到来時刻を決定するガンマ線検出器 (以下「KGD」と称する) である。

KGD は、CsI (Tl) シンチレーターと光子計測半導体素子 MPPC を組み合わせたシンチレーション検出器である。実験室で GRB の検出を模擬するため X 線・ガンマ線源を用いて、MPPC における光子イベントの信号計数の変化を検出する GRB 判定アルゴリズムと自律的に観測データを蓄積するソフトウェアの実装を行った。本講演では、X 線源・ガンマ線を用いた模擬 GRB の検出システムの動作検証の結果、宇宙環境を模擬した真空環境での動作試験結果を報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V327a 超小型 X 線衛星 NinjaSat の開発進捗

大田尚享 (東理大/理研), 玉川徹, 榎戸輝揚, 北口貴雄, 加藤陽, 三原建弘 (理研), 岩切渉 (中央大), 沼澤正樹 (都立大), 周圓輝, 内山慶祐, 武田朋志, 吉田勇登, 林昇輝, 重城新大, 渡部蒼汰 (東理大/理研), 佐藤宏樹 (芝浦工大/理研), Chin-Ping Hu (彰化師範大), 高橋弘充 (広島大), 小高裕和, 丹波翼 (東大), 谷口純太郎 (早大), 小平聡 (量研)

NinjaSat は X 線天文観測用の 6U サイズ (10 cm × 20 cm × 30 cm) CubeSat である。柔軟な運用による、可視光・電波と連携した明るい X 線天体の長期占有観測や、全天 X 線監視装置 MAXI 等が発見した突発天体の追観測を主な目的とする。2023 年 10 月の打ち上げを予定しており、観測帯域 2–50 keV の非撮像型ガス検出器 (GMC) と Si-PIN フォトダイオードによる放射線帯モニタ (RBM) を 2 台ずつ搭載する。GMC は、視野角 2.3° の金属コリメータ、ガス電子増幅フォイル搭載のガスセル、アナログ信号処理基板 (FEC)、及びデジタル信号処理基板 (DAQ) からなる。ガスセルには Xe:Ar:DME = 75:24:1 (体積比) の混合ガスを封入しており、6 keV において 2 台で合計約 32 cm² の有効面積を持つ。FEC と DAQ はガスセル電極への高電圧印加などの GMC 制御も担う。GMC1 台の最大消費電力は約 1.8 W である。RBM は高放射線帯のモニタや太陽フレアなどの突発現象の検知を行い、高いフラックスの荷電粒子到来時に、GMC 保護のため DAQ 経由で高電圧を下げる働きをする。

2021 年度後半から、予備を含め、4 台の衛星搭載品 GMC と RBM を製作した。それぞれに対して、宇宙環境を模擬した真空中での熱サイクル試験、衛星の打ち上げを模擬した振動試験を実施した結果、いずれも問題なく動作することを確認した。2022 年 7 月には重イオンに対する回路の過渡応答の確認試験を実施し、7 月下旬に欧州の衛星製作会社に引き渡す。本講演では NinjaSat の開発進捗について報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V328a 超小型 X 線衛星 NinjaSat に搭載するガス X 線検出器のオンボード信号処理

北口貴雄, 玉川徹, 榎戸輝揚, 加藤陽, 三原建弘 (理研), 岩切渉 (中央大), 沼澤正樹 (都立大), 周圓輝, 内山慶祐, 武田朋志, 吉田勇登, 大田尚享, 林昇輝, 重城新大, 渡部蒼汰 (東理大/理研), 佐藤宏樹 (芝浦工大), Chin-Ping Hu (彰化師範大), 高橋弘充 (広島大), 小高裕和, 丹波翼 (東大), 谷口純太郎 (早大)

超小型 X 線衛星 NinjaSat に搭載するガス X 線検出器のオンボード信号処理の開発を報告する。NinjaSat は 2023 年に打ち上げ予定の 6U サイズ (10 × 20 × 30 cm³) の超小型衛星であり、ガス電子増幅器を内蔵するキセノンをベースとしたガス X 線検出器を搭載して、天体からの 2–50 keV の X 線を長期的にポインティング観測する。

宇宙線を反同時計数を用いて除去するために、円柱型の検出器は同心円上に 2 つの電極を持つ。両電極からの信号は増幅器およびフィルタからなるアナログ処理を行った後に、25 MHz で連続サンプリングして、デジタル波形として取得される。取得波形は、その後 (1) ベースラインおよびコモンモードノイズの引算、(2) クロストークの補正、(3) 波高値の測定、を行う。またバックグラウンド除去として、(4) 反同時計数、(5) 波形弁別、も実行する。波形弁別は、反同時計数にかからない円柱軸上を通った荷電粒子を判別するのに有効である (吉田ほか, 2021 年秋季年会)。これらの処理をオンボード MCU で実施し、イベント選別によりデータサイズを削減して、各イベントについてエネルギーに相当する波高値を、時刻情報および識別フラグを付けて、ダウンリンクする。

本講演では、実装したオンボード波形処理の詳細を紹介する。イベント処理時間を内蔵クロックで測ると約 1 ms/event だったので、X 線で最も明るい Sco X-1 の予想最大レート 500 cps の信号をすべて処理できる。また 500 Hz の周期信号を入力した高負荷下でも、消費電力は約 1.5 W で、2000 秒かけて 100 万イベントを入力しても、ロスなく衛星バス側へ送信できることを確認した。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V329a 超小型X線衛星 NinjaSat 搭載のガスX線検出器のエネルギー較正

林昇輝(東理大/理研), 玉川徹, 榎戸輝揚, 北口貴雄, 加藤陽, 三原建弘(理研), 岩切渉(中央大), 沼澤正樹(都立大), 周圓輝, 内山慶祐, 武田朋志, 吉田勇登, 大田尚享, 重城新大, 渡部蒼汰(東理大/理研), 佐藤宏樹(芝浦工大/理研), Chin-Ping Hu(彰化師範大), 高橋弘充(広島大), 小高裕和, 丹波翼(東大), 谷口 純太郎(早大)

NinjaSat は 6U CubeSat 規格の X 線観測衛星で、ペイロードとしてガス X 線検出器 (GMC) を 2 台搭載する。GMC は視野角 2.3° の金属コリメーター、ガス電子増幅器を内蔵したガスセルを持つ。ガスセルの読み出し電極は同心円状に内側と外側の 2 つに分かれている。NinjaSat が機上でエネルギー較正に用いることができるのは、外側電極の 1 点に照射する ^{55}Fe 線源の 5.9 keV のみである。GMC の観測帯域は 2–50 keV と広く、また、同じエネルギーの X 線に対する出力波高値は面内の X 線入射位置や温度によって変化することがわかっているので、 ^{55}Fe 線源のみでエネルギー較正ができるかを、予め調査しておくことが重要である。

エネルギー較正として、(1) 入射エネルギーと出力波高の線形性確認と、(2) X 線の入射位置、温度と出力波高の関係を求める試験の 2 つを行った。前者の線形性の確認については、X 線発生装置に二次ターゲット (Cl, Mn, Ni, Sr, Sn) を設置し、そこからの蛍光 X 線を用いることで、2.6–25.6 keV の範囲で線形性を確認した。後者の場所と温度依存性を確認する試験では、恒温槽内部に GMC を固定し、 ^{55}Fe 線源を二次元ステージで移動させることで、X 線照射場所、温度を変化させながらデータを取得した。本講演では、衛星搭載品 GMC に対して行ったエネルギー較正試験の詳細について述べるとともに、軌道上におけるエネルギー較正の予想精度についても報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V330a 超小型衛星による、宇宙空間からの太陽中性子の観測 (V)

山岡和貴, 田島宏康(名古屋大), 宮田喜久子(名城大), 中澤知洋, 渡部豊喜, 伊藤和也, 増田智(名古屋大), 谷浩一, 新井正樹(合同会社星), 宮澤拓也(OIST), 高橋弘充(広島大), 渡邊恭子(防衛大)

太陽フレアによる粒子加速に伴い、時には人類の生活にまで影響が及ぶものの、その粒子(特にイオン)について、いつ・どこで・どのように加速されているか? 分かっていない。イオン加速機構解明のため、我々はこれまで観測されてきた電磁波ではなく、中性子という観測手段に着目している。中性子は長年地上で観測されてきたが、大気の影響を強く受けるなど感度が悪く、10 例程度の観測例にすぎない。また、現在は宇宙空間からの中性子観測も皆無に近い状況である。我々はこの状況を打破するため、世界初の専用衛星による宇宙空間からの観測を行うことを目指し、次期太陽極大期である 2024 年頃を狙って、3U キューブサット SONGS(SOLar Neutron and Gamma-ray Spectroscopy Mission) を開発している。SONGS には新規独自開発した、中性子・ガンマ線観測装置を搭載する。装置は多層に並べた棒状のプラスチックシンチレータと底面におかれた GAGG シンチレータからなり、中性子は水素原子核との弾性散乱を通じて、ガンマ線はコンプトン散乱もしくは光電吸収を通じて検出される。シンチレータはシリコン半導体光センサ MPPC で独立に読み出され、700 にも及ぶ信号が集積回路 (ASIC) で処理され、3 次元的に宇宙線の飛跡を捉えることができる装置である。2022 年 10 月、若狭湾エネルギー研究センターにてプラスチックシンチレータ 4 層の要素試作モデルに 12–46 MeV のエネルギーの陽子を照射する実験を行った。その結果、46 MeV の陽子に対して、エネルギー分解能 14.6 % を得ており、中性子に換算するとエネルギー 56 MeV で 22.8 % に相当する。この分解能は太陽表面の発生時刻で 158 秒に相当し。フレアか CME 起源かをはっきり区別できる。本発表では現在開発中の SONGS 衛星のミッション、センサ状況について述べる。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V331a 放射線劣化により暗電流が増加した MPPC の低温での性能回復

丹羽怜太, 高橋弘充, 川端弘治, 深澤泰司, 須田祐介, 中村謙吾, 堀友哉 (広島大学)

宇宙空間でガンマ線や粒子を検出するために、シンチレータと光検出器を組み合わせた検出器がしばしば利用される。シンチレータとは蛍光物質の一つで物質内にガンマ線などの放射線が入射すると、そのエネルギーに対応した量の可視光子を放出する物質である。MPPC は cm サイズの小型で、数 10V の低電圧で作動できるため、電力の限られるキューブサットでは、光検出器として MPPC の利用が検討されている。MPPC は宇宙線に被曝することで放射線劣化し、暗電流が桁で増加してしまうことが知られている。暗電流の増加は、検出器のエネルギー分解能の劣化、低エネルギー閾値の上昇につながる。一方で、一般的な半導体検出器と同じく、MPPC は低温下で暗電流が減少することも知られているが、放射線劣化した MPPC でどれほど暗電流が低減されるかは調べられていない。

本研究では、放射線劣化した MPPC について、室温から液体窒素・アルゴンと同程度の低温 (100K) までの環境で、性能を評価した。使用した MPPC は、受光面が 6mm 角の浜松ホトニクス製の S13360 型で、200 MeV 陽子を 1 krad 照射したものである。シンチレータは 1cm 角の CsI(Tl) で、オプティカルラバーを用いて接着した。暗電流は、室温では 100 μ A 程度 (放射線劣化していない通常の MPPC は $<1 \mu$ A) と高かったの対し、100K では 0.1 μ A 台と約 1/1000 まで低減された。 ^{241}Am を照射したエネルギースペクトル (シェーピングタイムは 1 μ 秒) については、室温 (294K) では 60 keV のピークは暗電流に起因するノイズに埋もれてしまっていたが、190K では閾値が 30 keV 以下まで回復した。本講演では、これらの測定結果について報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V332a MPPC を用いたプラスチックシンチレータのアクティブシールドとしての性能評価

森下皓暁, 深澤泰司, 高橋弘充 (広島大学)

従来から軟ガンマ線観測では、検出器全体をアクティブシールドで囲むことにより、反同時計数を利用して観測の妨げとなるバックグラウンド事象を低減している。近年の軟ガンマ線観測衛星ではこのアクティブシールドに BGO 無機シンチレータを使用していることが多く、ガンマ線と荷電粒子の阻止能が高いために高感度の観測を可能にしている。

一方、BGO の密度が大きいという点から、小型の衛星で打ち上げる際等では、アクティブシールドとして密度が約 7 分の 1 である有機のプラスチックシンチレータを MPPC とともに用いることも試みられている。プラスチックシンチレータはこれまでの BGO シンチレータに比べて減衰時間が数十倍速く、出力波形がすどく波高値が高いという特徴がある。しかし長年衛星を上空で使い続けると、宇宙線の衝突等で MPPC 半導体検出器自身が放射線劣化してノイズを出してしまう問題が懸念される。

そのため本研究では、シンチレーション光を MPPC で読み出した際、その読み出し時間の短さを活かして上空での Threshold を下げることができないかを調べた。またシンチレータに 2 つの MPPC をつけて同期した信号のみを取得することによりノイズを落とせないかも検討した。本講演では、これら一連の実験結果について報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V333a 可視光による Lobster Eye Optics のアラインメント調整と X 線結像性能評価

後藤初音、米徳大輔、萩野直樹、有元誠、澤野達哉 (金沢大学)、三原建弘 (理研)、坂本貴紀 (青山学院大学)、前田 良知 (宇宙研)、土居明広 (宇宙研)

HiZ-GUNDAM は、高感度の広視野 X 線モニターにより突発天体を発見し、可視光・近赤外線望遠鏡による自動追観測を行う計画である。これにより、第一世代星を起源とするガンマ線バーストの探査やそれを背景光とした初期宇宙の物理状態の観測、また重力波やニュートリノ放射と同期した突発天体の観測などを行う。突発天体を監視する広視野 X 線モニターには、Lobster Eye Optics (LEO) と呼ばれる X 線結像光学系と 2 次元イメージセンサを用いたシステムが検討されている。この検出器は、0.4–4.0 keV の軟 X 線帯域において、約 0.5 ステラジアン視野を 10^{-10} erg/cm²/s (100 秒間露光) の感度で監視する。LEO は一辺が数十 μ m の微細な四角形の穴が多数配列されたガラス基板を球殻状に湾曲させた光学系で、その内壁を X 線反射光学系として利用する。複数の LEO を球殻状に配置することで広視野のモニターを実現可能であり、入射 X 線の到来方向を HiZ-GUNDAM の目標精度 < 3.0 arcmin で決定するためには、LEO 同士の精密な位置検出と調整が必要である。

そこで本研究では、LEO の位置検出の簡便な方法として可視光による測定を検討し、1 枚の LEO を用いて可視光に対する特性を調査した。また、2 枚の LEO を球殻上に配置するために高精度のチタン製フレームを製作し、フレームに並べた LEO の位置精度を可視光による測定と形状測定により評価した。それらの測定結果からフレーム内の LEO の機械的な位置調整をおこない、調整後の LEO とフレームに対して X 線による性能評価をおこなった。本講演では、可視光と形状測定を用いた複数枚の LEO のアラインメント調整システムについて紹介し、複数枚の LEO に同時に入射した X 線に対する結像性能評価の結果を報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V334a 軟 X 線から硬 X 線の広帯域を高感度で撮像分光する衛星計画 FORCE の現状 (14)

森浩二、武田彩希 (宮崎)、村上弘志 (東北学院)、寺田幸功 (埼玉)、久保田あや (芝浦工業)、榎戸輝揚 (理研)、馬場彩、小高裕和、谷本敦 (東京)、谷津陽一 (東京工業)、小林翔悟、幸村孝由 (東京理科)、内山泰伸、佐藤寿紀 (立教)、北山哲 (東邦)、高橋忠幸 (東大/カブリ IPMU)、石田学、渡辺伸、山口弘悦 (ISAS/JAXA)、藤田裕 (都立)、中嶋大、萩野浩一 (関東学院)、中澤知洋 (名古屋)、古澤彰浩 (藤田医科)、鶴剛、上田佳宏、内田裕之、水本岬希 (京都)、田中孝明、鈴木寛大 (甲南)、松本浩典、野田博文、常深博 (大阪)、伊藤真之 (神戸)、信川正順 (奈良教育)、信川久実子 (近畿)、太田直美 (奈良女子)、粟木久光、寺島雄一、志達めぐみ (愛媛)、深沢泰司、水野恒史、高橋弘充 (広島)、赤松弘規 (SRON)、Hornschemeier, A.E., 岡島崇, Zhang, W.W., Venters, T., Yukita, M. (NASA/GSFC), 他 FORCE WG

我々は 1–79 keV の広帯域 X 線を高感度で撮像分光する衛星計画 Focusing On Relativistic universe and Cosmic Evolution (FORCE) を提案している。FORCE の科学目的は、「ブラックホールがどのように成長し、母銀河とどのように共進化してきたか?」、「非熱的エネルギーがどのようにして生成され、どれだけ宇宙に存在しているか?」、および、「星がどのように終末を迎え、どのように爆発するか?」を理解することである。この目的にむけて、10 keV 以上の硬 X 線帯域にも感度を持つ衛星として初めて 15 秒角以下の高角度分解能を実現し、既存の衛星と比較して、1 桁以上高い硬 X 線点源感度を達成する。また、迷光を抑えた衛星・望遠鏡デザイン、超低バックグラウンドを実現する検出器により、拡がった硬 X 線天体にも高い感度を実現する。現在我々は、周辺分野の動向および同分野の世界情勢も踏まえた上で、科学目的の明確化とミッションデザインの最適化を進めている。本講演では、2022 年 5 月に発出された小型科学衛星の公募への対応と、それに伴うアップデートを報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V335a SOI 技術を用いた新型 X 線撮像分光器の開発 53:MeV ガンマ線観測への応用に向けた SOI ピクセル検出器の基礎特性評価

橋爪大樹, 須田祐介, 深澤泰司 (広島大学), 鶴剛 (京都大学), 武田彩希 (宮崎大学)

MeV 領域のガンマ線を多く放出する天体現象には、ガンマ線バーストによるガンマ線の放射機構など、未だに解明されていない重要な問題が多く残されている。ところが、その観測は CGRO 衛星搭載の COMPTEL 検出器以降進展がないというのが現状であり、MeV ガンマ線観測用の衛星は必須であると言える。

MeV ガンマ線観測にはコンプトンカメラという技術が用いられる。その散乱体として、イベント駆動型 SOI ピクセル検出器 XRPIX を利用することで電子飛跡を捉え、より正確なコンプトンイメージングを可能とすることを目標としている。XRPIX は、京都大学、宮崎大学を中心に開発、研究が進められている X 線撮像用の検出器である。本研究で使用した XRPIX8 のピクセルサイズは $36 \mu\text{m}$ 角と細かいため、数 100 keV のガンマ線の散乱に対する電子飛跡も捉えることが期待できる。

これまでにセンサーの基礎特性として、エネルギー分解能、暗電流と、空乏層の厚さのバックバイアス依存性を調べた。空乏層の厚さの測定は、X 線を照射しその検出レートから Si 層での反応確率を調べ、そこから空乏層の厚さを算出するという手法をとった。さらに数 100 keV のエネルギー帯のガンマ線を照射し、どのような応答が見られるかを調べた。本講演では空乏層の厚さの測定とガンマ線に対する応答について、その解析方法と結果を報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V336a SOI 技術を用いた新型 X 線撮像分光器の開発 54 : PDD 構造を有する X 線 SOI-CMOS 検出器 XRPIX の TID 効果測定試験

岩切卯月, 森浩二, 武田彩希, 西岡祐介, 行元雅貴, 石田辰徳, 泉大輔 (宮崎大学), 鶴剛, 内田裕之, 天野雄輝, 佳山一帆, 松田真宗 (京都大学), 倉知郁生 (ディーアンドエス), 新井康夫 (KEK), 幸村孝由, 土居俊輝, 角町駿, 武居悠貴, 清水真 (東京理科大学), 萩野浩一 (関東学院大学), 田中孝明 (甲南大学)

我々は次世代の X 線天文衛星「FORCE」搭載に向けて、X 線 SOI-CMOS ピクセル検出器「XRPIX」の開発を行っている。XRPIX は Silicon-On-Insulator (SOI) 技術を用いることで、 SiO_2 からなる絶縁層を挟んでセンサー層と CMOS 回路層を一体化している。XRPIX の実用化にむけた評価項目として、放射線損傷により絶縁層内に正の電荷が蓄積し検出器の性能に影響を及ぼす Total Ionizing Dose (TID) 効果がある。最新の XRPIX には過去最高の分光性能を達成した Pinned-Depleted-Diode (PDD) 構造を導入している。従来の XRPIX の構造では軌道上での利用を想定した吸収線量以上の照射において、高い放射線耐性が示されている一方で、PDD 構造を有する XRPIX での放射線耐性の評価は行われていない。そこで我々は、今回、最新の PDD 構造を持つ XRPIX に対して軌道上 3 年相当の吸収線量を照射させ、エネルギー分解能、読み出しノイズ等の変化を調べた。本講演では、その詳細を報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V337a SOI 技術を用いた新型 X 線撮像分光器の開発 55:現在の到達点と今後の開発

鶴 剛, 内田裕之, 上ノ町水紀, 池田智法, 佳山一帆, 松田真宗, 天野雄輝 (京都大), 森浩二, 武田彩希, 西岡祐介, 行元雅貴, 石田辰徳, 泉大輔, 岩切卯月 (宮崎大), 幸村孝由, 土居俊輝, 角町駿, 武居悠貴, 清水真 (東京理科大), 橋爪大樹, 須田祐介, 深澤泰司 (広島大), 信川久美子 (近畿大), 神谷好郎, 島添健次 (東京大), 萩野浩一 (関東学院大), 田中孝明 (甲南大), 新井康夫 (KEK), 倉知郁生 (ディーアンドエス), 川人祥二, 安富啓太 (静岡大), 亀濱博紀 (沖縄高専)

私達は次世代広帯域 X 線撮像分光 FORCE 衛星に搭載予定の X 線 SOI (Silicon-On-Insulator) ピクセル検出器「XRPIX」を開発している。SOI ピクセル検出器は SOI 半導体プロセスを応用した日本独自の検出器であり、一体型でありながら厚い空乏層と高速の CMOS 回路を同時に実現可能である。私たちは、X 線 CCD に匹敵する高い撮像分光能力を持った上で、各ピクセルに閾値回路とトリガ出力機能を備えることで、 $10\mu\text{sec}$ よりも高い時間分解能を実現する。講演では以下の昨年度 (2021 年度) の開発のまとめと今後の見通しを述べる。(1) ピクセル構造の電場シミュレーションに基づく性能再現, (2) 従来の生じていたパンチスルーの問題を解決した新型のピクセル構造の実験検証, (3) 従来開発した大型素子 (XRPIX7) が小型素子に対する性能劣化の原因追求とその設計検証, (4) (2) と (3) を踏まえた設計改良と最新のピクセル構造を搭載したアナログ出力型大型素子の開発, (5) デジタル XRPIX の実現に向けた AD 変換回路を搭載した小型素子 (XRPIX9) の製造, (6) DA 変換回路と定電流発生回路のレイアウトの設計と, それを搭載する試験素子の開発, (7) 衛星搭載品用検出器トレイの検討, (8) X 線衛星搭載以外の実験に向けた開発 (アクション探索, 中性子撮像分光)。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V338a 太陽観測ロケット実験 FOXSI-4 に向けた高角度分解能 X 線望遠鏡の開発

藤井隆登, 作田皓基, 安福千貴, 柏倉一斗, 伊藤駿, 岡田久美子, 吉平圭徳, 叶哲生, 石田直樹 (名古屋大学), 田村啓輔 (NASA/GSFC, メリーランド大学), 鈴木亮汰, 宮田喜久子 (名城大学), 成影典之 (国立天文台), 山口豪太 (SPRING-8), 伊藤旺成, 伊藤駿佑, 毛利柊太郎, 竹尾陽子 (東京大学), 久米健大, 松澤雄介, 齋藤貴宏, 平栗健太郎, 橋爪寛和 (夏目光学株式会社), 三村秀和 (東京大学), 三石郁之 (名古屋大学)

FOXSI (Focusing Optics X-ray Solar Imager) は、太陽 X 線の撮像分光観測を目的とした日米共同のロケット実験である。2024 年には 4 号機が打ち上げられる予定であり、我々はこの FOXSI-4 搭載用高角度分解能 X 線望遠鏡の開発を進めてきた。我々は地上 X 線結像系開発で構築した独自の小口径超高精度電鍍技術 (Mimura et al., Rev. Sci. Instrum., 2018) を用い、これまで直径 60 mm、焦点距離 2 m、有効高さ 220 mm の Wolter-I 型反射鏡試作に成功し (Takigawa et al., JATIS, submitted)、X 線照射試験を実施してきた。結果、15 keV にて広がった天体に対する感度の指標である HPD $<13''$ 、点源感度を示す FWHM は $\sim 5''$ (検出限界) を達成した。また、局所的な照射では 17% の領域で目標分解能である HPD $\sim 10''$ を達成した (2022 年春季年会 作田他)。

今回は、試作品の望遠鏡を用いて振動試験方法の確立を試みた。ここでの要求は、ランダム振動を 20 - 2000 Hz 帯域にて 13 Grms, 10 秒間であった。試験を実施した結果、異音や接着剤の破断など著しい異常はなく、周波数応答にも大きな変化はなかった。また、EM 反射鏡支持機構の設計・製作までが完了し、ロケットへの取り付け作業等を含め、反射鏡接着方法も検討している。本講演では、振動試験の結果に加え、X 線結像試験や可視光試験の性能評価試験結果についても報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V339a 日米共同・太陽 X 線集光撮像分光観測ロケット実験 FOXSI-3 に用いたプリコリメータの性能評価

佐藤慶暉(総研大), 成影典之(国立天文台), 坂尾太郎(宇宙研), 清水里香(総研大), 加島颯太(宇宙研/関西学院大学), Lindsay Glesener(ミネソタ大学), Juan Camilo Buitrago-Casas(カリフォルニア大学バークレイ校), 犬塚隼人, 吉村太志(東レ・プレジジョン), FOXSI チーム

FOXSI (Focusing Optics X-ray Solar Imager) は、太陽コロナにおける高エネルギープラズマ現象の理解を目的とした、日米共同の太陽 X 線集光撮像分光観測ロケット実験である。これまでに 3 度打ち上げを行い、3 回目の FOXSI-3 (2018 年 9 月打ち上げ) では、太陽コロナの軟 X 線での集光撮像分光観測に世界で初めて成功した。FOXSI-3 では多様なコロナ構造が見られる軟 X 線観測に対応するため、望遠鏡の前方部にプリコリメータを搭載した。これは FOXSI で用いる多重多重斜入射ミラーによって生じる迷光(本来意図されている光路を外れて検出器に入ってくる光)の原因となる「望遠鏡の軸中心から 18 分角以上傾いてミラーに入射する光」を除去するためのもので、穴径と穴の深さの比が 1:190 という高アスペクト比の穴をハニカム状に連ねた構造を持つ(一つの穴の直径は 1mm)。このような構造は、機械加工では製作が困難であり、金属 3D プリンターを用いて製作した。このプリコリメータがどの程度迷光を除去できているのかの検証は、FOXSI-3 の科学データ解析のために非常に重要である。そこでプリコリメータの有無によって得られたデータがどのように変化するのかを FOXSI-3 と同時観測を行った「ひので」衛星搭載の X 線望遠鏡のデータも用いて検証し、プリコリメータの性能と FOXSI-3 の観測データにおける迷光の多寡を評価した。本講演ではこれらの結果について報告するとともに、太陽フレアを観測ターゲットとして 2024 年春に打ち上げ予定の FOXSI の 4 回目の飛翔(FOXSI-4)に搭載するプリコリメータについても紹介する。

[スケジュール\(セッション毎\)に戻る](#)

[スケジュール\(全体\)に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V340a 日米共同・太陽フレア X 線集光撮像分光観測ロケット実験 FOXSI-4 に用いる CMOS イメージセンサの X 線光子計測能力評価

清水里香(総研大, ISAS/JAXA), 成影典之(国立天文台), 坂尾太郎(ISAS/JAXA), 佐藤慶暉(総研大, 国立天文台), 加島颯太(関学大, ISAS/JAXA) 高橋忠幸(東大/Kavli IPMU), 渡辺伸(ISAS/JAXA), FOXSI-4 チーム

観測ロケット実験 Focusing Optics X-ray Solar Imager の 4 回目の飛翔となる FOXSI-4 では、太陽フレアに対する X 線集光撮像分光観測を行う。これは太陽フレアにおいて磁気再結合が引き起こす磁気エネルギーの解放とその変換機構を追求することを目的とし、2024 年春に打ち上げ予定である。高温プラズマと非熱的プラズマの物理情報を有する X 線帯域を太陽フレアシステム全体にわたり空間・時間・エネルギー分解して観測する。

太陽フレアを構成する諸現象・諸構造の空間スケールは数秒角と細かく、時間スケール(Alfvén time scale)は 10 秒程度と短い。これらに対し適切に空間・時間分解したエネルギースペクトルを得るためには、ピクセル化された検出器による毎秒数百枚の高速連続撮像が必要である。0.8 – 10 keV の軟 X 線の撮像分光観測では、それを可能とする裏面照射型 CMOS イメージセンサを用いて光子計測を行う。FOXSI-4 では、10 keV 程度までの観測帯域を確保するために、FOXSI-3 で用いたものより感受層が約 6 倍厚い CMOS センサを用いる。

打ち上げに向けた本研究では、シンクロトロン放射光により単色の軟 X 線を照射することで、この CMOS センサの応答関数や量子効率を評価している。0.8 – 4.5 keV のエネルギー帯域の評価には分子科学研究所 UVSOR を用いており、本講演ではこれらの結果を紹介する。また、4.5 keV 以上の評価に関しては SPring-8 を用いる予定であり、それを含めた今後の展望についても紹介する。

[スケジュール\(セッション毎\)に戻る](#)

[スケジュール\(全体\)に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V341a 狭視野 Si/CdTe 半導体コンプトン望遠鏡による気球実験の試作機 miniSGD : 計画概要と進捗

中澤知洋 (名大 KMI), 武田伸一郎 (東大 Kavli IPMU/iMAGINE-X), 大熊佳吾, 大宮悠希, 安藤美唯, 大口真奈里, 田中淳也, 辻結菜 (名大理), 渡辺伸 (JAXA/ISAS), 高橋忠幸 (東大 Kavli IPMU), 小林昌彦 (名大 KMI), 石田直樹 (名大技セ), 南喬博 (東大理), 大西光延, 新井利彦 (iMAGINE-X)

宇宙の非熱的エネルギーや重元素生成の探査を進めるには MeV 帯域の感度向上が重要であり、その有力な手法が半導体コンプトン望遠鏡 (Semiconductor Compton Telescope : SCT) である。2016 年打上げの「ひとみ」衛星に搭載された軟ガンマ線検出器 (SGD) は、日本独自の Si/CdTe-SCT を中心に、アクティブシールドでその視野を狭めてバックグラウンドを下げる「狭視野 Si/CdTe-SCT」であった。たった 1.5 時間で「かに星雲」の 100 keV 帯の偏光観測に成功するなど、SCT 技術で世界の最先端にあったが、初期運用中に失われてしまった。我々は狭視野 Si/CdTe-SCT を用いた大気球実験を実現すべく、その性能実証機「miniSGD」を開発している。

SGD の主要な感度制約要因であった放射化は大気球高度では起きない一方で、大気吸収や宇宙線に起因する大気ガンマ線が邪魔である。これら 2 つの障害は水平線に近いほど顕著なため、視野を制限し大仰角を選択的に観測することが有効で、狭視野 SCT の特徴が活きる。miniSGD は 2023 年春に豪州からピギーバックとして飛揚する予定である。システムは $40 \times 40 \times 55 \text{ cm}^3$ 立方、総重量 65 kg とコンパクトである。現在、SCT とシールドの組み上げは終了し、パラメータ調整を進めている。CdTe 両面ストリップ検出器や BGO と MPPC ベースのシールドなどは、FORCE 衛星の WHXI 検出器の技術実証の重要なステップでもある。耐圧容器や電源系、テレコマ系の開発も進んでいる。本講演では miniSGD 全体計画とその進捗を報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V342a 狭視野 Si/CdTe 半導体コンプトン望遠鏡による気球実験の試作機 miniSGD : 半導体コンプトン望遠鏡の開発と現状

大熊佳吾 (名大理), 中澤知洋 (名大 KMI), 武田伸一郎 (東大 Kavli IPMU/iMAGINE-X), 安藤美唯, 大宮悠希, 大口真奈里, 田中淳也, 辻結菜 (名大理), 渡辺伸 (JAXA/ISAS), 高橋忠幸 (東大 Kavli IPMU), 小林昌彦 (名大 KMI), 石田直樹 (名大技セ), 南喬博 (東大理), 大西光延, 新井利彦 (iMAGINE-X)

我々は、sub-MeV・MeV ガンマ線帯域の宇宙観測の感度向上を目指し、2016 年打上げの「ひとみ」衛星でも搭載された Si/CdTe 半導体コンプトン望遠鏡とアクティブシールドを組み合わせた狭視野コンプトン望遠鏡による気球実験の検討しており、現在、性能実証実験機である miniSGD の開発を進めている。miniSGD は有効検出面積 $32 \times 32 \text{ mm}^2$ で 0.5 mm 厚の Si 両面ストリップ検出器 (DSSD) 2 枚と、同じく $32 \times 32 \text{ mm}^2$ で 2 mm 厚の CdTe 両面ストリップ検出器 (CdTe- DSD) 4 枚からなる半導体コンプトン望遠鏡をコンパクトに実装し、これを厚さ 20-30 mm の 9 個の BGO シンチレータからなるアクティブシールドで構成されている。これらは直径 314 mm、高さ 350 mm の円筒に収まるコンパクトな設計となっている。本講演では、Si/CdTe 半導体コンプトン望遠鏡の開発状況について報告する。

まず DSSD と CdTe-DSD 単体試験を経て、全 6 枚を組み上げた Si/CdTe 半導体コンプトン望遠鏡としての動作試験を実施し、 ^{57}Co からの 122 keV ガンマ線に対する性能を検証したところ角分解能 10.6 度が得られた。これは半導体のエネルギー分解能と位置分解能、散乱体の Si の量子的不定性で説明でき、miniSGD の半導体コンプトン望遠鏡が初期の性能を発揮できていることが確認された。その後、アクティブシールドも含めた miniSGD 全系の動作試験を実施し、検出器パラメータの調整と耐環境試験を実施している。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V343a 狭視野 Si/CdTe 半導体コンプトン望遠鏡による気球実験の試作機 miniSGD : シールド部の開発

安藤美唯 (名大理), 中澤知洋 (名大 KMI), 武田伸一郎 (東大 Kavli IPMU/iMAGINE-X), 大熊佳吾, 大宮悠希, 大口真奈里, 田中淳也, 辻結菜 (名大理), 渡辺伸 ((JAXA/ISAS), 高橋忠幸 (東大 Kavli IPMU), 小林昌彦 (名大 KMI), 石田直樹 (名大技セ), 南喬博 (東大理), 大西光延, 新井利彦 (iMAGINE-X)

我々は大気球高度での MeV ガンマ線観測の高感度化の技術実証のため、Si/CdTe 半導体コンプトン望遠鏡とアクティブシールドを組み合わせた、狭視野半導体コンプトン望遠鏡の概念実証機 miniSGD を開発している。検出器中で BGO アクティブシールドは Si/CdTe 半導体検出器の周りを囲むように配置され、反同時計数を用いてバックグラウンドを除去する役割がある。本発表では、アクティブシールド部の開発と性能評価について述べる。

BGO アクティブシールドは BGO 結晶と MPPC を用いたシンチレーション検出器ユニットで構成され、BGO 結晶の大きさが $14 \times 13 \times 3 \text{ cm}^3$ の Top ユニット 4 台, $18 \times 7 \times 2 \text{ cm}^3$ の Side ユニット 4 台, $10.6 \times 4 \times 3 \text{ cm}^3$ の Bottom ユニット 1 台の計 9 台である。それぞれのユニットを制作し、ゲインと温度特性を評価したところ、同一種類のユニット間の光量差は 40% peak-to-peak であった。Top ユニットと Side ユニットは、各々 4 つを 1 チャンネルの回路で読み出すため、その後、光量差は反射材によって調整した。次に、Si/CdTe 半導体コンプトン望遠鏡も含めた miniSGD 全系の組み上げを実施し、機械的に組み上がることを確認した。また、動作試験を実施し、組み上げ前後で性能に各部の性能に大きな差が生じないことを確認した。シールド部のデータ取得系は雷ガンマ線観測システムを流用しているが、miniSGD への採用にあたりヒット情報をリアルタイムでコンプトン望遠鏡に通知する信号線を追加し、基礎評価試験で仕様通りに開発できたことを確認したうえで組み込んでいる。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V344a GRAMS 計画 5: MeV ガンマ線観測・ダークマター探索気球実験

一戸悠人, Dmitry Khangulyan (立教大), 青山一天, 櫻井真由, 田中雅士, 中曾根太地, 寄田浩平 (早稲田大), 市橋正裕, 小高裕和, 高嶋聡, 丹波翼, 南木宙斗, 馬場彩 (東京大), 井上芳幸 (大阪大), 内田悠介 (東京理科大), 須田祐介, 高橋弘充, 深沢泰司 (広島大), 辻直美 (神奈川大), 広島渚 (富山大), 八幡和志 (防衛医大), 米田浩基 (理研), 渡辺伸 (宇宙研), Tsuguo Aramaki (Northeastern U), Georgia Karagiorgi (Columbia U), Reshmi Mukherjee (Barnard College), GRAMS コラボレーション

観測天文学における未開拓の電磁波帯域である中間エネルギーガンマ線、すなわち 0.1–10 メガ電子ボルト (MeV) の帯域には、原子核が放出するラインガンマ線が存在し、超新星爆発や連星中性子星の合体、ブラックホールなどの高エネルギー天体における核反応の唯一の直接的プローブを提供する。われわれは、MeV ガンマ線天文学開拓のため、液体アルゴン Time Projection Chamber (LArTPC) を気球搭載し、同一検出器で反重陽子検出によるダークマター間接探索とコンプトンカメラによる MeV ガンマ線観測を同時に行う GRAMS 実験を日米国際協力のもと推進している。検出器媒体に液体を用いることで、高密度かつ大容量の充填が可能となり、これまでにない大有効面積の実現を目指す。

現在、コンプトンイメージングの実証実験と性能評価のために、小型プロトタイプ機の開発を東大、早稲田大、ノースイースタン大などで並行して進めている。本講演では、試験の計画、プロトタイプ検出器の開発状況、シミュレーションによるガンマ線観測の性能予測について述べる。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V345a GRAMS 計画 6：低温環境下での光検出系の開発

市橋正裕, 小高裕和, 高嶋聡, 馬場彩 (東京大学), 一戸悠人 (立教大学), 八幡和志 (防衛医科大学), 米田浩基 (理化学研究所), GRAMS コラボレーション

MeV ガンマ線帯域は宇宙線加速や重元素合成など、様々な現象の理解のために非常に重要な帯域である。しかし、この帯域は X 線や GeV ガンマ線と比較して 2 桁ほど低い感度までしか達成できておらず、より高感度の新たな観測衛星の開発が望まれている。そこで、我々は大容量の液体アルゴンを用いた MeV ガンマ線観測衛星 GRAMS を推進している。衛星搭載に向けた実証実験として、現在は気球搭載に向けた液体アルゴン TPC (Time Projection Chamber) 開発を行なっている。

液体アルゴン TPC では、光検出器として MPPC (Multi-Pixel Photon Counter) の採用を検討している。MPPC は従来の光検出器である PMT (Photomultiplier tube) より薄型で量子効率が高く、低電圧で使用できるというメリットがある。しかし、液体アルゴンの 87K という低温下での MPPC の使用例は少なく、実用に向けて十分な性能試験を行う必要がある。そこで、現在我々は容易に調達できる上に液体アルゴンに近い温度 77K である液体窒素を用いて、低温環境下での MPPC の読み出し系の確立および光応答特性の測定を行なっている。また、液体アルゴン TPC でのシンチレーション光はガンマ線による反応とバックグラウンドとなる中性子との反応とで波形が異なるため、両者の識別は GRAMS の精度向上に直結する。この波形弁別の実現のため、低温でも動作する $\sim 10\text{ns}$ 程度の十分速い時間応答を持つ IV アンプを開発を進めている。

本講演では、MPPC の性能評価及びシンチレーション光の波形弁別に関する現状について報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V346a 全天 MeV ガンマ観測衛星計画 AMEGO-X の現状と日本の関わり

深沢泰司, 須田祐介 (広島大学), 田島宏康 (名古屋大学), Regina Caputo, Jememy Perkins (GSFC/NASA), AMEGO-X team

ガンマ線観測は、GeV 帯域では Fermi 衛星により高感度全天観測が続いており、TeV 帯域では CTA 望遠鏡が高感度観測を開始しようとしている。これらにより、2000 年以前に比べて観測感度は 2 桁向上している。一方、MeV ガンマ線帯域 (100 keV–10 MeV) は、軟ガンマ線側は Suzaku/HXD, INTEGRAL などにより向上したが、1MeV 以上は 1990 年代の CGRO 衛星 COMPTEL が達成した感度より向上していない。2000 年以降、さまざまな衛星計画が計画されては消えており、一方、複数の気球実験が実施されている。こうしたなか、GSFC/NASA を中心として全天 MeV エネルギーガンマ線観測計画「AMEGO-X」が提案された。AMEGO-X は 2028 年頃の打ち上げを目指しており、0.2 MeV – 10 GeV の帯域で、従来の 2 桁近い感度向上を目指し、さらにはガンマ線偏光観測も可能である。2021 年 12 月に NASA MIDEX ミッションとして申請をした。サイエンスは、マルチメッセンジャー観測の推進を掲げている。これまで、全天 GeV ガンマ線 Fermi 衛星が、重力波と高エネルギーニュートリノの両方で大きな役割を果たしてきており、フェルミ衛星よりも MeV に重点を置くことで、マルチメッセンジャー天文学をさらに推し進めることを目指す。具体的には、重力波に関わるガンマ線バーストの高感度フォローアップ、高エネルギーニュートリノに関わるブレーザー天体の陽子放射の解明、銀河系高エネルギー天体による宇宙線異常の解明などである。検出器の面でも、HV-CMOS シリコンセンサーという新技術を用いて低エネルギー側の感度を上げようとしている。本講演では、AMEGO-X の観測装置の概要や期待されるサイエンス、日本の関わりも含めた現状について報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V347a 次世代 MeV ガンマ線衛星に向けた HV-CMOS ピクセルセンサ AstroPix の開発

須田祐介, 深澤泰司 (広島大学), 田島宏康 (名古屋大学), Regina Caputo, Carolyn A. Kierans, Amanda L. Steinhebel (GSFC/NASA), Henrike Fleischhack (CUA, GSFC/NASA, CRESST), Manoj Jadhav (ANL), Nicolas Striebig (KIT)

宇宙 MeV ガンマ線の観測は、ガンマ線バーストやブレーザーにおけるガンマ線放射機構や、宇宙での元素合成の謎などを解明する上で重要な役割を果たすと期待される。また、近年花開いたマルチメッセンジャー天文学を発展させていくためにも、MeV ガンマ線観測に特化した本格的な宇宙観測衛星が強く求められている。現在、NASA の GSFC を中心に、2028 年の打ち上げを目指して AMEGO-X 衛星計画を提案し、推進している。MeV ガンマ線の観測は、ガンマ線を検出器内でコンプトン散乱させ、散乱および吸収位置とそれぞれのデポジットエネルギーを測定することで、ガンマ線のエネルギーの推定と到来方向を円錐状に制限する。このとき、反跳電子の方向を測定することで、ガンマ線到来方向を円弧に制限でき、背景事象の削減により感度を向上できる。また、1MeV 以下のガンマ線再構成効率や角度分解能を向上するには、10keV を切る低エネルギー閾値をもつセンサが必要である。そのため、AMEGO-X ではコンプトン散乱体として、低エネルギー閾値で動作するピクセルセンサとして、ATLAS 実験用に開発された HV-CMOS ピクセルセンサをデザインし直したセンサ AstroPix の開発を進めている。AstroPix は信号処理回路を集積したモノリシック CMOS ピクセルセンサであり、Time Over Threshold 方式により信号をデジタル化する。センサ層に高比抵抗シリコンを用いることで、高電圧の印加により全空乏化することができ、ガンマ線の検出効率を向上させている。本講演では、ピクセルサイズが 250 μm \times 250 μm の AstroPix のノイズ特性、出力のリニアリティ、X 線に対する応答といった基礎特性試験の結果を報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V348a Cherenkov Telescope Array (CTA) 計画：全体報告 (22)

野田浩司, 窪秀利, 齋藤隆之, 武石隆治, 手嶋政廣, 戸谷友則, 吉越貴紀 (東京大学), 吉田龍生 (茨城大学), 井岡邦仁 (京都大学), 山本常夏 (甲南大学), 田島宏康 (名古屋大学), 他 CTA Consortium

宇宙から飛来する超高エネルギーガンマ線が地球大気と反応すると空気シャワーを作るが、その荷電粒子が放射するチェレンコフ光を地上で捉えるのが大気チェレンコフ望遠鏡である。この方法では、複数望遠鏡による観測で角度分解能や粒子識別などの性能を高めることができる。チェレンコフ望遠鏡アレイ (CTA) は、複数種類の望遠鏡を 10 台以上用いることでその感度を現行の望遠鏡の約 10 倍に高めつつ、20 GeV から 300 TeV の広いエネルギー領域をカバーする。これにより 100GeV 以上の超高エネルギーガンマ線での天体数は現在の約 200 から 1000 程度になると予想され、銀河系内の宇宙線起源やパルサーの理解、系外のガンマ線バーストや活動銀河核などでの非熱的放射機構の解明が進む。それに加え、銀河外背景放射や銀河間磁場など宇宙論に関わるパラメータの測定や、ダークマター候補検出やローレンツ不変性の検証などの基礎物理への貢献も期待される。

CTA 北サイトであるスペイン・ラパルマ島の観測所では、1 台目の大口径望遠鏡の建設・試運転を終え、2020 年からは定常観測が続いている。2021 年には火山の噴火による 3 ヶ月の観測休止があったものの、ブレーザー BL Lac や回帰新星 RS Oph などの新しい観測結果を報告することに成功した。今後はガンマ線バーストなど突発天体の観測を含めて継続するとともに、大口径望遠鏡の残り 3 台の建設を進め、2025 年には大口径望遠鏡 4 台での観測が始まる計画である。また 2022 年には CTA 南サイト、チリ・パラナルでのインフラ整備が始まり、南北サイトでの全天観測が目前となっている。本講演では国内外の CTA 計画全体の進捗状況について報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V349a CTA 大口径望遠鏡のための SiPM モジュールの開発

橋山和明, 猪目祐介, 岩村由樹, 大岡秀行, 岡崎奈緒, 窪秀利, 齋藤隆之, 櫻井駿介, 高橋光成, 手嶋政廣, 野田浩司, Daniela Hadasch, Daniel Mazin (東京大学), 岩崎啓, 岡知彦, 寺内健太 (京都大学), 奥村曉, 田島宏康 (名古屋大学), 折戸玲子 (徳島大学), 片桐秀明, 野上優人, 吉田龍生 (茨城大学), 柳田淳子, 西嶋恭司 (東海大学), 郡司修一, 門叶冬樹, 中森健之 (山形大学), 佐々木寅旭, 砂田裕志, 立石大, 寺田幸功 (埼玉大学), 田中真伸 (KEK), 溝手雅也, 山本常夏 (甲南大学), 野崎誠也 (マックスプランク物理学研究所), 他 CTA-Japan Consortium

CTA 大口径望遠鏡 (LST) の焦点面光検出器 (カメラ) は光電子増倍管 (PMT) で構成されており、宇宙ガンマ線と地球大気が相互作用する過程で発生するチェレンコフ光を検出する。一方で、チェレンコフ光は宇宙線陽子等のハドロンからも生じ、これが背景雑音となる。そのため、ガンマ線とハドロンの弁別性能が望遠鏡の感度決定に影響する。現行の解析手法では、主に Hillas パラメータと呼ばれる検出イメージの 2 次までのモーメントを用いてガンマ線とハドロンの弁別を行っている。その場合、検出イメージの大きさより遥かに小さな画素で撮像する恩恵は小さい。一方でガンマ線とハドロンのイメージには細部に違いがあることがシミュレーションからわかっている。カメラを高画素化することで細部の違いを明瞭化すれば、ガンマ線とハドロンの弁別に高次のモーメントを用いることが可能となり、LST の更なる高感度化が見込める。そこで、1 画素あたりの受光面積が小さい、半導体光検出素子 SiPM を採用し、画素数を 4 倍にする可能性を検討中である。本講演では、SiPM の基礎特性を調べ、LST 搭載の観点から長所と短所を議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V350a ALPACA 実験 3: ALPAQUITA 建設報告 2022

M. Anzorena (東大宇宙線研), E. de la Fuente (グアダハラ大), 林優希 (信州大理), 日比野欣也 (神奈川大工), 堀田直己 (宇都宮大), 片寄祐作 (横浜国大工), 加藤千尋 (信州大理), 加藤勢 (東大宇宙線研), 川原一輝 (横浜国大工), 川島輝能 (東大宇宙線研), 川田和正 (東大宇宙線研), 小井辰巳 (中部大工), 小島浩司 (中部大天文台), R. Mayta (阪公大理, 阪公大南部研), P. Miranda (サン・アンドレス大), 宗像一起 (信州大理), 長屋開人 (横浜国大工), 中村佳昭 (東大宇宙線研), 西澤正己 (国立情報学研), 野口陸 (横浜国大工), 荻尾彰一 (東大宇宙線研), 大西宗博 (東大宇宙線研), 奥川創介 (横浜国大工), 大嶋晃敏 (中部大工), 齋藤敏治 (都立産業技術高専), 榊原陽平 (横浜国大工), さこ隆志 (東大宇宙線研), 佐古崇志 (東大宇宙線研), 佐々木翼 (神奈川大工), 柴田祥一 (中部大天文台), 塩見昌司 (日大生産工), 田島典夫 (理研), 鷹野和紀子 (神奈川大工), 瀧田正人 (東大宇宙線研), 多米田裕一郎 (大阪電通大工), 田中公一 (広島市大情), 土屋晴文 (原子力機構), 常定芳基 (阪公大理, 阪公大南部研), 有働慈治 (神奈川大工), 山崎勝也 (中部大工), 横江誼衡 (東大宇宙線研) 他 The ALPACA Collaboration

南米ボリビアのチャカルタヤ山中腹 (標高 4,740 m) で超高エネルギーガンマ線の観測を行う ALPACA 実験が進行中である。大面積 (3,600 m²) の水チェレンコフ型地下ミュオン観測装置を世界で初めて南半球に設置し、これを広視野 (約 2 sr) 連続観測宇宙線望遠鏡である空気シャワー観測装置 (有効面積 83,000 m²) と連動させ、背景となる原子核宇宙線からガンマ線を高純度・高効率で選別する。10 TeV から 1 PeV 領域のガンマ線を高感度で連続観測することによって、南天における超高エネルギーガンマ線天文学の開拓を目指している。本講演では ALPACA の前段階である小規模空気シャワー観測装置 ALPAQUITA の建設状況について報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

W01a 冷え切った原始中性子星への降着によるニュートリノ放射とその観測可能性

赤穂龍一郎 (早稲田大学), 長倉洋樹 (国立天文台)

ニュートリノ検出器の発展に伴い、近傍超新星からのニュートリノ観測の期待が高まっている。そして爆発時のバーストシグナルだけではなく、その後長時間続く原始中性子星 (PNS) からのニュートリノ放射が注目を浴びつつある。PNS からのニュートリノ観測が行われれば、核物質状態方程式などに強い制限をつけられるのではないかと期待されている。

PNS からのニュートリノ放射では通常 fall back による物質降着の影響は無視されてきた。しかし現実では吹き飛びきれなかった物質が PNS へ降着し、その影響でニュートリノが放出されることも予想される。特に、冷え切ってしまってあまりニュートリノを出さないとされるような PNS への fall back で観測可能な量のニュートリノが放出される可能性もある。単位時間あたりの放出率は cooling phase と比べて低いと考えられるが、より長時間続けば観測可能性も決して低くないのではないだろうか。

本研究では、冷え切った PNS への降着の toy model を作成し、ニュートリノ輻射流体シミュレーションによってダイナミクスやニュートリノ放射を調べた。降着流と PNS 外層が釣り合う場所で降着衝撃波が生じ、その内側の高温領域から主にニュートリノが放出されることが分かった。また、PNS の質量が大きく、さらに質量降着が大きい方がその温度が高まり、より多くのニュートリノが放出されることが分かった。また、現在稼働中、および将来建設予定中のニュートリノ検出器での観測可能性を見積もった。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

W02a 磁気中性子星のクラスト部分の弾性限界と弾性エネルギー蓄積過程

小嶋 康史, 木坂 将太 (広島大), 藤澤 幸太郎 (東京大)

典型的な電波パルサー (中性子星) の磁場は $\sim 10^{12}$ G であるが、それを超える磁場 ($> 10^{14}$ G) を考える必要性が増している。ひとつは強い表面磁気双極子をもつマグネターの存在であり、逆にその値は $\sim 10^{11}$ G 程度と典型的な値より弱いものの、超新星残骸に存在する、若い単独星の CCO (Central Compact Object) の存在である。後者は、その明るい X 線光度を説明するために、内部にマグネター級の強い磁場 ($\sim 10^{14}$ G) が存在し、そのジュール熱がエネルギー源になっていると考えられている。

磁気星の静水圧平衡モデルとその安定性の研究は数値シミュレーションなども含めて進んできたが、中性子星に特化して考えると、星の表層 (固体のクラスト (殻) 部分) では弾性力が働く。弾性力の大きさは電磁気的なローレンツ力とともに、天体の構造に関する圧力や重力に比べて小さいが、ローレンツ力による「循環的な歪み」を抑え、内部の磁場を保持するのに有効であることを、これまでの年会で報告した。

永年的な磁場進化モデルの結果として、どのような磁場構造が生じて、それに応じてクラスト部分の弾性変形を起こし、弾性限界に至る過程を調べた。弾性力の応答を考慮することなく、磁場構造のみで弾性限界を推定するものが先行研究で見られるが、多くの場合、その議論は不正確かであることが具体的に弾性変形を調べた結果、わかった。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

W03a 一般相対論的輻射磁気流体力学シミュレーションによる超高光度 X 線パルサーのスピナップレート

井上壮大 (筑波大学)、大須賀健 (筑波大学)、高橋博之 (駒澤大学)、朝比奈雄太 (筑波大学)

超高光度 X 線パルサー (ULX パルサー) とは、恒星質量ブラックホールのエディントン光度 $\sim 10^{39} \text{erg s}^{-1}$ を超える光度を有する X 線パルサーである (e.g., Bachetti et al. 2014)。その正体として、磁化した中性子星への超臨界降着流 (エディントン限界降着率を超える降着流) が有力視されている。我々は、磁化中性子星への超臨界降着流の一般相対論的輻射磁気流体力学シミュレーションによって ULX パルサーのモデルを構築し、系内 ULX パルサー Swift J0243.6+6124 で観測されている約 1000 万度の黒体放射温度を説明可能であることを報告した (2021 年秋季年会)。しかしながら、タイミング解析で得られている自転周期の時間変化率 (スピナップレート) を、我々の数値シミュレーションモデルで説明可能か否かは未解決のままだった。

そこで本年会では、数値シミュレーションモデルから算出したスピナップレートについて報告する。中性子星磁場強度が 10^{10}G 、平均的な質量降着率がエディントン質量降着率の 100 倍程度の時、スピナップレートは約 10^{-11}s s^{-1} となる。これは、観測結果 (単位時間あたり $10^{-12} - 10^{-7}$ 秒でスピナップ) と無矛盾である。さらに、シミュレーションで得られたスピナップレートは、理論予想である中性子星磁場強度の $2/7$ 乗、および質量降着率の $6/7$ 乗におおよそ合致することも明らかになった。講演では、これらのスピナップレートから予想される ULX パルサーの中性子星磁場強度についても述べる。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

W04a マグネターの磁気変形とトロイダル磁場：観測結果の中間まとめ

牧島一夫 (東大)、内田和海 (JAXA 宇宙研)、榎戸輝揚 (理研)

過去数回の年会で報告したように、我々は X 線公開データを用い、マグネター (最強磁場を持つ中性子星) が内部トロイダル磁場の磁気圧で縦長に変形し、自由歳差運動を起こし、そのため周期 P の硬 X 線パルスの位相が、長い「スリップ周期」 T で位相変調される現象を研究してきた。表にまとめるように現時点で、解析した 7 天体すべてから、この効果の検出に成功した。[検出回数] で 2A6S1N などとあるのは、「あすか」2 観測、「すぎく」6 観測、NuSTAR の 1 観測で検出できたことを言う。測定からトロイダル磁場を $B_t / (10^{16} \text{G}) = \sqrt{10^4 (P/T)}$ として推定した結果、マグネター内部には普遍的に $B_t \sim 10^{16} \text{G}$ が潜むことがわかった。 B_t を双極子磁場 B_d の文献値で規格化したところ、特性年齢 τ_c に対し、 $B_t/B_d \propto \tau_c^{0.38}$ 程度のスケーリングが確認できた (一部は 2022 春に既報)。これはマグネター内部のトロイダル磁場が、双極子磁場より長く持続することを示唆する。

天体名	種別	自由歳差 検出回数	P sec	T ks	P/T 10^{-4}	B_t 10^{16}G	B_d 10^{14}G	B_t/B_d	τ_c kyr	論文
4U 0142+61	AXP	2S1N	8.96	55	1.6	1.3	1.3	97	68	M+14,+19
1E 1547-5408	Tran	1S1N	2.07	36	0.6	0.8	3.2	24	0.58	M+16,+21a
SGR 1900+14	SGR	1S1N	5.22	40.5	1.3	1.1	7.0	16	0.9	M+21b
SGR 1806-20	SGR	2A6S1N	7.4-7.8	16.5-17.8	4.5	2.1	20	11	0.24	執筆中
SGR 0501+45	Tran	1S	5.76	16.4	3.4	1.8	1.9	90	15	準備中
1E 1708-4009	AXP	2S	11.00	46	2.3	1.5	4.7	32	9	準備中
1E 1841-045	AXP	1S	11.78	23.5	5.0	2.2	7.0	31	4.6	準備中

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

W05a マグネター SGR 1806-20 の長期観測

内田和海 (JAXA 宇宙科学研究所), 山崎典子 (JAXA 宇宙科学研究所), 牧島一夫 (東京大学)

SGR 1806-20 は、史上初めて発見されたマグネターであり、特性年齢は 0.24 kyr と若く、磁場は $2 \times 10^{15} \text{ Gauss}$ と、マグネターの中でも強い。1994 年 12 月 27 日に大バーストを起こして以来、散発的にバーストを起こしており、多くの観測がなされてきた。大バーストを含む約 8 年間の定常放射のスピン周期やスペクトルの挙動は、Younes et al. (2015, 2017) が XMM-Newton を用いて報告している。本研究では、その結果を独立に検証し、改良することを目指した。

我々は、初めて本天体を同定した「あすか」衛星の 1993–1996 年の観測と、「すざく」衛星が 2006–2015 年に得た 5 回の観測データを再解析し、NuSTAR 衛星の 2018 年データを新規解析した。これにより、先行研究より長期 (~26 年間) で、かつ硬 X 線領域も網羅した精度の良い解析が可能となる。

時系列解析の結果、中性子星の自由歳差運動によるパルスの位相変調を検出し補正することで、先行研究より高い信頼度でパルス周期を決定でき、 dP/dt がより一定であることがわかった。スペクトルは、他のマグネターの場合と同様、 $\Gamma \sim 1.5$ の power-law 成分に $kT \sim 0.6 \text{ keV}$ の黒体放射を加えることで再現できた。

大バースト後にはそれ以前に比べ、おもに power-law 成分の強度が 3 倍ほど増加し、バースト後約 5 年で元のフラックスレベルに減衰していることが明らかになった。これは、Younes et al. 2015 の報告と矛盾ない。一方で、黒体放射成分の変化はより小さく、また先行研究の結果より穏やかである可能性が得られた。黒体放射温度はバースト後下がり続けており、NuSTAR データでは、バースト前の「あすか」観測時と同程度の温度に戻っていることも確認した。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

W06a すざくによる低質量 X 線連星 2S 0921–630 の降着円盤コロナの解析

米山友景 (ISAS/JAXA), 堂谷忠靖 (東工大, 総研大, ISAS/JAXA)

低質量 X 線連星 (LMXB) 2S 0921–630 は、K0III 型星と中性子星の蝕連星系である。軌道周期 $\sim 9 \text{ day}$ は、これまでに発見された LMXB の中で最長のうちのの一つである。これまでの観測で、2S 0921–630 の X 線放射源は広がった降着円盤コロナ (ADC) であり、高階電離した原子からの輝線が多数見られることが分かっている。本発表では、2S 0921–630 について「すざく」のアーカイブデータの解析結果を報告する。全観測時間で積分した平均 X 線スペクトルは、電子温度 $kT_e = 2 \text{ keV}$ の光学的に厚い ($\tau = 7$) ガスによって逆コンプトン散乱を受けた温度 $kT_{\text{bb}} = 0.3 \text{ keV}$ の黒体放射と多数の輝線で再現された。輝線のほとんどは高階電離した O、Ne、Mg、Si、S、Ar、Fe などの原子に由来するものと同定した。一方、幅 $\sim 80 \text{ eV}$ に広がった中性鉄輝線も検出された。この中性鉄輝線は ADC の光学的厚みなどを考慮すると、ADC の外縁付近の降着円盤から放射されていると考えられる。その場合、中性鉄輝線の幅がケプラー運動によるドップラーシフトに由来するものと仮定すると、ADC の広がり $\sim 10^9 \text{ cm}$ と見積もられる。また、color-color diagram (CD) から、2S 0921–630 が atoll source として振舞うことを確認した。更に、CD 上で定義した spectral branch についてスペクトル解析を行い、ほとんどの高階電離輝線が有意に変動しないこと明らかにした。一方、特定の branch 上でのみ中性鉄輝線が暗くなる兆候が得られた。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

W07a 「すざく」による低質量 X 線連星 EXO 0748-676 の解析：dip と光電離吸収体

中間洋子サラ (東工大), 堂谷忠靖 (ISAS/JAXA, 東工大, 総研大)

中性子星を含む低質量 X 線連星系のうち、中程度の明るさの天体 (Eddington 光度の $\sim 1-10\%$) は、X 線バースト、dip, eclipse など多彩な現象を示す。このうち、dip (X 線光度の一時的な減少) は、一般に吸収量の増加を伴うことから、降着円盤外縁の膨らんだ部分が視線を横切ることにより生じると考えられている。ただ、光度減少が中エネルギー帯 ($\sim 2-3$ keV) で最も大きいことから、伝統的に、大きく広がった放射領域の一部のみを遮蔽する部分吸収で説明されてきた。一方「あすか」等により、高階電離 Fe の吸収線が検出され、光電離プラズマの存在が確実になった。それにより、dip も光電離吸収体による完全な遮蔽であり、部分吸収したがって大きく広がった放射領域は不要とする議論が行われている。

EXO 0748-676 は、典型的な dip 天体かつ eclipse もある天体で、星間吸収が小さいことから 1 keV 以下のスペクトル変化も精度良く観測できる。Eclipse 中も、数%程度の残存 X 線が観測されることから、広がった散乱体の存在が示唆されている。我々は、「すざく」アーカイブデータを用い、光電離吸収体を仮定し dip 中のスペクトルの再現を試みた。この時、スペクトル解析から推定される X 線放射モデルを光電離プラズマの ionizing radiation として用い、モデルの首尾一貫性に注意した。その結果、dip に伴うスペクトル変化は、光電離吸収体のパラメータ (N_H, ξ) 変化で説明できること、吸収を受けない散乱成分が $\sim 5\%$ 存在すること、X 線放射領域の温度は ~ 0.15 keV 程度で ~ 100 km サイズの広がりを持つことがわかった。講演では、これらの結果について議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)[スケジュール \(全体\) に戻る](#)[講演者索引 TOP に戻る](#)

W08a Supergiant fast X-ray transient MAXI J0709-153 の発見と可視対応天体 (Be 星 LY CMa) の同定

志達めぐみ (愛媛大), 杉崎睦 (NAOC), 三原建弘 (理研), 小林浩平, 根来 均 (日大), Sean Pike (Caltech), 岩切渉, 浦部蒼太 (中央大), 芹野素子 (青学), 河合誠之 (東工大), 中島基樹 (日大), Jamie Kennea (Penn State Univ.), Zhu Liu (MPI)

MAXI J0709-153 は、全天 X 線監視装置 MAXI により 2022 年 1 月 25 日におおいぬ座の方向に発見された X 線トランジェントである。発見後 3 時間以内に 2 度のフレアが MAXI で検出され、ピーク時の $2-20$ keV フラックスは 5×10^{-9} erg cm $^{-2}$ s $^{-1}$ に達した。その間、スペクトル形状も大きく変化した。詳細解析の結果、このスペクトル変動は X 線吸収量の変化で説明でき、水素柱密度が 10^{22} cm $^{-2}$ から 10^{23} cm $^{-2}$ に増加していたことが示唆された。1 月 29 日に NuSTAR による追観測を実施したところ、X 線フラックスが 6×10^{-13} erg cm $^{-2}$ s $^{-1}$ にまで減少していることがわかった。NuSTAR データを用いた位置決定により、可視光の対応天体が、3 kpc の距離に位置する B 型超巨星のスペクトルを持ち Be 星にも分類されている LY CMa と同定された。

今回観測された、(1) 数時間以下の短い X 線活動期間、(2) 活動期の数秒の時間スケールでのスペクトル変動を伴う強度変動、(3) 静穏期と活動期の 4 桁にわたる変動幅、を考慮すると、本天体の正体は supergiant fast X-ray transient (SFXT) と呼ばれる、中性子星と青色超巨星の連星系と考えられる。一方、MAXI による発見後に可視光での分光観測を実施したところ、広がった H α 輝線を検出した。これは、可視光対応天体が Be 星に分類されるような星周円盤を持つことを示唆する。これらの結果を踏まえると、LY CMa の星周物質は、高密度なクランプ (塊) を含む複合的な分布を持つと考えられる。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)[スケジュール \(全体\) に戻る](#)[講演者索引 TOP に戻る](#)

W09a Collision between the stellar wind and the accretion disk in misaligned Be/X-ray binaries

Atsuo T. Okazaki (Hokkai-Gakuen University)

About a half of high-mass X-ray binaries consist of a neutron star and a Be star. Here, a Be star is a massive star with a fast polar wind driven by stellar radiation and a dense equatorial disk formed by viscous diffusion of gas ejected from the stellar equatorial surface. Since these Be/X-ray binaries have, in general, eccentric orbits as a result of aspherical supernova explosions when neutron stars were born, it is likely that the binary orbital plane in these systems is also misaligned with the equatorial plane of the Be star. In such systems, when the neutron star captures gas from the Be star's disk for a short period of time around periastron, the resulting accretion disk is most likely tilted to the equatorial plane of the Be star. This leads to an interesting possibility that, in misaligned Be/X-ray binaries, the polar wind of the Be star collides with the accretion disk and significantly affects the accretion flow structure by its large ram pressure.

In this talk, I will study the effects of the Be star's wind on the accretion disk in misaligned Be/X-ray binaries. First, using simplified wind and disk models, I will analytically compare the wind ram pressure with the gas pressure of the accretion disk, in order to constrain the parameter range for full stripping of the accretion disk. Then, I will discuss the wind-disk interaction in more detail, on the basis of the result from 3D SPH simulations of the collision between the stellar wind and the accretion disk in these binary systems.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

W10a NuSTAR 衛星の長時間観測による大質量 X 線連星 Cen X-3 のスペクトル変動機構の解明

丹波翼, 小高裕和 (東京大学), 谷本敦 (鹿児島大学), 高嶋聡, 馬場彩 (東京大学), 鈴木寛大 (甲南大学)

中性子星を伴う大質量 X 線連星 (HMXB) は、降着率の変化、周辺物質による吸収、見込み角の変化といった要素が複雑に絡み合い、多くの天体で激しいスペクトル変動が検出される。こうしたスペクトル変動の原因の解明は、降着円柱や降着円盤のジオメトリ、星風の状態など HMXB の 3 次元物理描像の確立に直結する。我々はこれまで、2.1 日の軌道周期と 4.8 s の自転周期をもつ HMXB である Cen X-3 の NuSTAR アーカイブデータを解析し、軌道位相に沿ったスペクトル変動は周辺物質の非一様性に起因する一方で、自転位相に沿った変動は逆コンプトン散乱の効率の違いに起因することを示した (丹波, 2021 年秋季年会)。しかし、解析したデータは軌道 0.2 周分という短時間に限られるため、正確な物理描像の確立には、より長時間をカバーする観測が必要であった。

我々は、さらなる長期間のスペクトル変動を探るため、2022 年 1 月に NuSTAR 衛星を用いて、軌道位相の 2 周分に相当する 369 ks (net exposure: 189 ks) にわたって Cen X-3 を観測した。軌道位相・自転位相に伴うスペクトル変動を調査したところ、前者は軟 X 線帯域を中心に、後者は硬 X 線帯域を中心に変動しており、過去の観測のスペクトル変動と同様の傾向が検出された。また、鉄輝線バンドはそのどちらにおいても周辺バンドよりスペクトル変動が小さく、中性子星から離れた放射領域に由来する可能性が高い。さらに、短時間の観測では達成できなかった軌道の長期間安定性の調査も行なった。1 周目に比べて 2 周目は最大で 10 倍程度増光しており、特に軟 X 線帯域の増光が顕著に検出されたため、星風の状態が頻繁に変化していることが示唆される。本講演では、長時間観測の速報を行うとともに、スペクトル変動を再現する物理モデルの構築過程についても報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

W11a MAXI と NICER の観測による継続時間の長い X 線バーストの降着円盤への影響

芹野素子, 小町和輝 (青学大), 岩切渉 (中央大), 他 MAXI チーム

伴星から中性子星表面にガスが流れ込む近接連星系では、降り積もったガスが爆発的な核融合反応を起こすことで X 線バーストと呼ばれる増光現象が発生する。バースト現象は、そのエネルギーの規模から中性子星に降着するガス (降着円盤) にも影響をおよぼすと考えられ、その詳細についての研究は近年になって詳細に調べることが可能になった分野でもある。とくに、エネルギーの規模が大きい継続時間の長い X 線バースト (intermediate duration X-ray burst やスーパーバースト) では降着円盤への影響がより顕著に現れることが期待される。

本研究では、継続時間の長い X 線バーストを効率的にとらえられる装置である全天 X 線監視装置 (MAXI) と X 線で詳細な観測ができる NICER の両方のデータを組み合わせることで、バーストと降着円盤との関係を明らかにすることを試みた。

今回は、MAXI がとらえた減衰時間が 1 分以上 1 時間未満のバーストのうち NICER で追跡観測ができた 4 例について、バーストおよびその後の降着円盤からの放射を解析した。その結果、2 例ではバースト後から降着円盤の放射に減光が見られ、のこりの 2 例では逆に増光が見られた。更に、減光が見られたものはバーストの減衰時間が比較的長く、増光した 2 例は減衰時間が長かったことがわかった。今回扱ったバーストのような中程度の減衰時間をもつバーストについては、過去の観測例から、バーストのピークではほぼ Eddington 光度に達していることがわかっており、バーストのエネルギーの規模は、減衰時間で決まることになる。したがって、バーストの後の降着円盤の振る舞いは、バーストのエネルギーの規模に関係するという示唆が得られる。発表では、MAXI と NICER のデータ解析について紹介するとともに、バーストが降着円盤に与える影響に関しての考察を述べる。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

W12a 臼田 64 m アンテナを用いた FRB 20201124A からの 2 GHz における高フルエンスバースト検出

池邊蒼太 (東大/国立天文台), 岳藤一宏, 村田泰宏, 竹内央 (JAXA), 寺澤敏夫 (東大), 本間希樹, 赤堀卓也, 吉浦伸太郎, 鈴木駿策, 小山友明 (国立天文台), Eie Sujin (東大/国立天文台), 橋本哲也 (国立中興大学), 木坂将大 (広島大), 榎戸輝揚 (理研), 米倉覚則 (茨城大), 新沼浩太郎 (山口大), 関戸衛 (NICT)

Fast Radio Burst (以下 FRB と呼ぶ) は 2007 年に初めて発見された、宇宙論的距離から約数ミリ秒のごく短い時間に膨大なエネルギーのパルスが数百 MHz から数 GHz という電波帯で観測される天体である。初検出から今日に至るまで多くの研究がなされてきたが未だに FRB の母天体や発生機構の包括的な解明には至っておらず、この発生機構を制限するために様々な周波数で FRB を観測することは重要である。

FRB は大きく分けると一回きりしか観測されていない one-off FRB と、同じ場所から複数回バーストが見られる repeating FRB に分けられる。この repeating FRB の中でも最も活動性の高い FRB のうちの 1 つである FRB 20201124A は 2021 年の活動活性期で千個以上のバーストが検出され (Xu et al. 2021)、今年の 1 月末にも数個のバーストが観測された (Ould-Boukattine et al. 2022a; Ould-Boukattine et al. 2022b; Atri et al. 2022, etc.)。そこで我々は本 FRB を臼田宇宙空間観測所の 64 m 電波望遠鏡を用いて S バンドと X バンドで同時観測を行い、その結果 1 つのバーストを S バンドで検出した。我々の検出したバーストは本 FRB から検出されたバーストの中で最も明るいものの 1 つであり、かつ検出周波数は最も高く非常に特異的であった。本講演では、我々の検出したバーストの性質と特異性を過去に検出されたバーストと比較することで議論したい。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

W13a 高速 CMOS カメラ Tomo-e Gozen による Fast Radio Burst 可視光放射の探査

新納悠, 土居守, 酒向重行, 大澤亮, 有馬宣明, 小林尚人, 高橋英則, 近藤荘平, 森由貴, 青木勉 (東京大学), 富永望, Ji-an Jiang, 春日敏測 (国立天文台), 田中雅臣 (東北大学), Di Li, Chen-Hui Niu, Chao-Wei Tsai (NAOC), 有松亘 (京都大学), 奥村真一郎 (日本スペースガード協会)

Fast Radio Burst (以下 FRB) は ~ 1 GHz 程度の周波数帯の電波で観測される数ミリ秒間の非常に短時間の突発現象で、数 J_y 程度のフラックス密度をもつ。FRB の発生源やその放射のメカニズムは未だ解明されておらず、一部の FRB は繰り返しバーストを発生させる repeating FRB であることが知られているが、発見後の長時間の監視にもかかわらず一切の反復性を見せない FRB (non-repeating FRB) もあり、それらの FRB が同一種族の天体なのかどうかははっきりしていない。様々な観測波長で対応天体を発見することは正体のわからない突発天体の起源を突き止める重要な手がかりである。これまでに様々な観測波長や時間タイムスケールで FRB の対応天体探査が行われているが、可視光観測においては既存の観測装置のほとんどが CCD センサーを用いているため、1 回画像を取得するために 10 秒程度以上の時間スケールを必要としており、FRB の電波放射のような短いタイムスケールでの対応天体探査は進んでいない。我々は東京大学木曾観測所の高速 CMOS カメラ Tomo-e Gozen を用いて 500 メートル球面電波望遠鏡 (FAST) と repeating FRB 20190520B の同時観測を行い、電波バーストに伴う可視光放射を探査した。この観測によって 11 の電波バースト到来時刻をカバーする 24.4 fps (40 ミリ秒露光) の可視光高速撮像データの取得に成功した。電波バースト到来時刻のデータに可視光放射が見られなかったことから、電波バーストに伴う可視光成分に深い制限が得られた。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

W14a TESS を用いた Be/X 線連星 MAXI J0903-531 の解析

山口遼大 (東京工業大学/ISAS,JAXA)、河合誠之、村田勝寛、細川稜平 (東京工業大学)

大質量 X 線連星である Be/X 線連星ではしばしばアウトバーストが見られるが、この発生機構は未だよくわかっていない。これは原因と思われる Be 星の星周円盤の形成原理の理解が不十分であることや、稀な天体現象であることからアウトバースト前からの詳細な観測例がなかったことに起因する。

本研究の目的は Be/X 線連星 MAXI J0903-531 の TESS の可視光観測データを用いて、光度変化の周期解析によりアウトバーストの発生機構を調べることである。本天体は TESS によりアウトバースト発生前からの光度変動の密な可視光観測データが取得された非常に稀な Be/X 線連星である。Lomb-Scargle 法を用いて変動の周期解析を行なったところ、アウトバーストの 2 年前には 0.79 日の安定した周期が見えていたものの、その直前ではこの周期信号は弱まり、主に 1.5-2.5 日の周期信号が卓越していることがわかった。前者は Be 星の脈動周期、後者は本研究の推定によれば Be 星の自転周期に近い値である。これらの結果から、おそらく星周円盤の不均一性に関連した周期信号がアウトバースト直前に観測され、これは Be/X 線連星の X 線活動に関連があると考えられる。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

W15a 矮新星 SS Cyg における 2021 年の異常な光度変動とその前兆現象の正体

木邑真理子, 榎戸輝揚, 三原建弘 (理化学研究所), 山田真也, 牧田佳大 (立教大学), 中庭望 (東京都立大学), 根来均 (日本大学), 志達めぐみ (愛媛大学), 加藤太一 (京都大学), VSNET team 他

矮新星は白色矮星 (主星) と低質量星 (伴星) から成る近接連星系で、主星の周囲に降着円盤 (以下「円盤」) を持ち、円盤の熱不安定によりアウトバーストと呼ばれる突発的増光を起こす (Osaki 1996)。円盤は主に可視光を放射し、円盤の内側に存在する光学的に薄い高温ガスは X 線を放射する。SS Cyg は可視光・X 線の両方で最も明るく、100 年もの間およそ一ヶ月おきに振幅 3–4 mag のアウトバーストを繰り返していた代表的な矮新星だが、2021 年 2 月からしばらくの間、振幅が普段の半分程度のアウトバーストを連続的に起こし、X 線光度も一桁程度上がる異常な状態が続いた。私達は、2020 年 5 月から X 線と可視光の両方で長期モニターを行い、2021 年の異常な光度変動とその前兆となる静穏期の光度上昇を多波長域で捉えることに成功した。データの解析の結果、これらの現象の間に伴星から輸送されるガスの量が増加している証拠は見つからず、可視光放射における X 線照射の寄与は少ないことがわかった。さらに、これらの現象の間、円盤内側領域が高温であったこと、X 線放射領域の温度と厚みが増加していたことが示唆された。これらの結果を元に、私達は、この天体の静穏期に円盤粘性が徐々に増加していたのではないかと考えた。静穏期の円盤粘性が増加すると、円盤内縁部から X 線放射領域に注入される質量が増え、X 線光度が増加する。また、X 線放射領域の温度が上昇し、ガス圧の増加によりスケールハイトが上昇する。さらに、静穏期の円盤粘性の増加が激しい場合、円盤内側が常にアウトバースト状態となり、円盤外側のみで熱不安定が起こると考えられる。つまり、円盤粘性の増加により、SS Cyg の 2021 年の異常な光度変動とその前兆現象を説明できる可能性がある。本講演では、これらの解析結果と考察を紹介する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

W16a Smart Kanata の観測による 3 つの WZ Sge 型矮新星の降着円盤構造

佐崎凌佑, 植村誠, 古賀柚希 (広島大学)

矮新星とは白色矮星と低質量星からなる連星系である。この天体は降着円盤の不安定性によってアウトバーストを起こす。矮新星の中でも、WZ Sge 型は特に主星と伴星の質量比が小さい系で、アウトバースト初期に早期スーパーハンプと呼ばれる、ダブルピークをもつ周期的な明るさの変動現象が見られる。降着円盤の温度分布を仮定すれば、この現象の多波長観測データからアウトバースト初期の降着円盤の構造を再構成することができる。しかし、そのような研究例は過去に 2 例のみで、早期スーパーハンプの駆動機構は十分に理解されていない。また、早期スーパーハンプはアウトバースト初期でしか観測できないため、その研究は困難である。そこで、我々は広島大学が運用するかなた望遠鏡を用いた自動観測システム Smart Kanata で増光初期の激変星を自動的に観測し、この現象を捉えようとしている。

我々は 2021 年 10 月から 2022 年 5 月までの Smart Kanata の試験運用期間中に、WZ Sge 型矮新星 3 天体の早期スーパーハンプを可視光と近赤外線で見出すことに成功した。2022 年 1 月に観測した TCP J07094936+1412280 では、可視光と近赤外線で見出す早期スーパーハンプが検出され、その色はハンプの極大で最も赤くなり、極小で最も青くなるという反相関を見せた。また、再構成された円盤には、外縁部が縦方向に膨らみ、そこから内側へ向かって腕状の構造が見られた。2022 年 1 月に観測した TCP J02280150+29563652 では可視光で早期スーパーハンプを検出し、近赤外線でも可視光のハンプに同期した変動が部分的に見られた。同年 5 月に観測した ASASSN-22ha では可視光と近赤外線で見出す早期スーパーハンプを検出し、主極大で色が赤く変化しているのが確認された。本講演ではこれらの天体のアウトバースト初期の円盤構造と早期スーパーハンプの機構について議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

W17a せいめい望遠鏡 TriCCS による Early superhump の多色観測と円盤高度構造の再構成

反保雄介, 磯貝桂介, 小路口直冬, 加藤太一, 田口健太, 伊藤潤平, 野上大作 (京都大学) 植村誠 (広島大学), 前原裕之 (国立天文台), 他 vsnet collaboration

矮新星は白色矮星と低質量星からなる連星系で、白色矮星周りに降着円盤を形成しており、円盤から白色矮星への降着率が一時的に上昇することで矮新星アウトバーストが観測される (円盤不安定モデル; Osaki 1996)。質量比 (伴星質量/主星質量) が小さい天体の矮新星アウトバーストでは、伴星の公転と降着円盤のケプラー回転が共鳴を起こすことで、降着円盤内に高さ方向に変形した腕構造が出現し、これの公転が early superhump と呼ばれる微小光度変動として観測されるといわれる (Lin and Papaloizou 1979; Osaki and Meyer 2002)。

本講演では、矮新星 PNV J00444033+4113068 (以下 J0044) のせいめい望遠鏡 TriCCS と vsnet collaboration による連続測光観測を中心に報告する。J0044 では食が観測され、その軌道周期は 0.055425534(1) 日と決定された。J0044 で観測された early superhump の振幅は 0.7 等級に達し、既知天体の early superhump では最も大きい値となった。また、TriCCS による多色測光によって、その色は副極小付近で最も赤くなることがわかったが、これは他天体で観測された主極大付近で最も赤くなる挙動とは異なるものである。

これらユニークな特徴が他天体と同様な円盤構造で説明されるか確認するため、TriCCS による 3 色同時測光データを、Uemura, et. al., (2012) による early superhump mapping コードを用いて解析した。その結果、J0044 の early superhump の振幅と色変化は、他天体と同様に、高さ方向に変形した腕構造を持つ降着円盤によって説明されることが判明し、early superhump の更なる多様性が腕構造を持つ円盤で説明できることを確認した。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

W18a ヘリウム激変星の多波長モニター観測による再増光メカニズムの解明

磯貝桂介, 加藤太一, 野上大作, 小路口直冬, 大西隆平, 若松恭行, 木邑真理子, 新島啓友 (京都大学), 谷津陽一, 伊藤亮介, 村田勝寛, 河合誠之 (東京工業大), 佐野康男 (北海道大), 松本桂, 杉浦裕紀, 伊東大輝, 二階健吾 (大阪教育大), 笠井潔, 伊藤弘, 清田誠一郎 (VSOLJ), 他 VSNET collaborations

激変星とは白色矮星を主星に持つ近接連星系で、ロシュローブを満たす伴星から主星へガスが流れ込んで降着円盤を形成している。降着円盤に一定以上の質量が溜まると円盤内の物質は一気に主星へと落ちていき、重力エネルギーの解放により円盤は明るく輝く。これが矮新星アウトバーストと呼ばれる現象である。激変星の一種 WZ Sge 型矮新星で見られるアウトバーストの特徴のひとつが、大規模なアウトバースト終了後すぐに小さいアウトバーストを起こす、「再増光」と呼ばれる現象である。アウトバーストを起こすには一定以上の質量が溜まる必要があるが、円盤はアウトバースト中に主星へと落ちて少なくなっているため、通常のアウトバースト理論だけでは再増光のメカニズムは説明できない。そこで考えられているのが (1) Mass Reservoir モデル: アウトバースト後も薄く広がった円盤が残っており、その円盤が次第に縮むことで円盤内縁部でアウトバーストが発生する、(2) Enhanced Mass Transfer (EMT) モデル: アウトバーストによって加熱された伴星が膨らみ、質量輸送率が上昇することでアウトバーストを起こす、という 2 つのモデルである。

本講演では、ヘリウム激変星 SDSS J1411+4812 で見られた WZ Sge 型アウトバーストの観測結果を報告する。我々は大学間連携 (OISTER) による多色測光観測を行い、再増光前後での色変化を調べた。更に、Zwicky Transient Facility (ZTF) と Swift 衛星の public data も利用することで、色が再増光前後で大きく変化していることを突き止めた。これは EMT モデルでは説明のつかず、Mass Reservoir モデルを指示する結果である。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

W19a 矮新星静穏時における硬X線放射領域の物理状態の解明

武尾舞 (都立大), 林多佳由 (NASA's GSFC/UMBC), 石田学, 前田良知 (宇宙研)

矮新星静穏時には、エネルギー数 keV 以上の硬 X 線は白色矮星と降着円盤の間に形成される光学的に薄い「境界層」と呼ばれる部分から放射されると考えられているが、硬 X 線を放射するプラズマの温度や密度などの動径プロファイルは未だ明らかにされていない。我々は、この境界層の高温プラズマおよび反射体である白色矮星や降着円盤の位置関係を様々に変えた反射シミュレーションによって、6.4keV 中性鉄輝線のプロファイルを計算し、それを観測されたスペクトルと比較することで、境界層プラズマの空間の構造や物理状態を観測的に理解する研究に取り組んでいる。

我々はこれまで発表してきた代表的な矮新星である U Gem (Takeo et al. 2021a) と SS Cyg (Takeo et al. 2021b) に加え、V893 Sco、Z Cam の、合わせて 4 天体に対して X 線天文衛星「すざく」のデータを用いたシミュレーション解析を行った。その結果、いずれの矮新星でも可視光静穏時には、光学的に厚い円盤が白色矮星表面に到達する前に途切れていて、その内側の縁 (境界層入り口) でプラズマが急加熱され鉄の K 殻が電離されるほどの高温 ($kT \gtrsim 10$ keV) まで上がっていることを発見した。この結果は、今後、矮新星静穏時における境界層からの X 線放射モデルを構築する際の重要な境界条件となる。我々は更に、この 4 天体の境界層プラズマのパラメータを連星系のパラメータとの関係において理解しようとする研究を進めている。本発表ではこれらの結果を詳述し議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

W20a Z Cam 型矮新星アウトバーストにおけるスペクトル変化

大島誠人 (兵庫県立大学西はりま天文台), 磯貝桂介, 野上大作 (京都大学)

きりん座 Z (Z Cam) 型矮新星は、standstill と呼ばれる一定光度の状態を保っている時期があることを特徴とする矮新星である。矮新星アウトバーストは激変星の円盤における熱的不安定性によって引き起こされる活動現象であると考えられているが、このような現象の存在はアウトバーストの原因としての熱的不安定とは別に伴星からの質量輸送率が変化する現象が存在することを示唆している。

特に近年ではこれまで standstill を示したことの無い天体が standstill 様の変動を示す現象が発見されたこと、アンドロメダ座 IW (IW And) 型と呼ばれる Z Cam 型に類似した新サブグループが発見されたことなどから、standstill を示す円盤の状態についての物理的な状態について関心が集まっている。

本研究では、兵庫県立西はりま天文台 2.0m-なゆた望遠鏡および可視光中低分散分光器 MALLS を用いて、明るい Z Cam 型矮新星を対象として、矮新星アウトバーストのさまざまな時期におけるスペクトル観測を行った。得られたスペクトルからは、多くの系においてアウトバースト時を含め顕著な H α 線の輝線プロファイルが存在することが確認された。

アウトバースト中の降着円盤は通常光学的に熱く、輝線プロファイルは見られないとされるがそのような挙動はむしろ稀であることから、アウトバースト中にコロナのような周囲への物質放出が置けていると考えられる。当研究では、アウトバーストの位相ごとでのプロファイルの変化についても議論する予定である。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

W21a X線天体の半世紀にわたる長期変動の研究 I

北本俊二, 福一誠 (立教大)、堂谷忠靖、海老沢研 (ISAS/JAXA)

X線による天体観測が始まり、半世紀以上が経過した。X線天体、特にブラックホールや中性子星を含む連星系は、X線強度やエネルギースペクトルが様々な時間尺度で変化することが知られている。この強度やエネルギースペクトル、また、それらの変化の時間スケールや因果関係を引き出すことは、これらの天体のX線放射の主役である降着円盤の物理を知る上で重要である。これまで、アーカイブとして活用できるデータは、NASA/HEASARCやJAXA/DARTSでまとめられている。とくに本研究に必要な、長期にわたるモニター観測として、古くはVela5B, Ariel5/ASMから、現在も稼働中であるMAXIやSWIFT/BATまで、ギャップはあるものの、ほぼ1万9千日、すなわち半世紀にわたり、データ抽出可能である。

Ginga衛星搭載の全天監視装置 (Ginga/ASM) は、1987年から1991年の間、全天のモニター観測を続けた。この間、他にモニター観測している衛星が存在せず、世界で唯一のデータである。Ginga/ASMのデータは、すでに、データベースとしてJAXAから公開されている。しかし、これらは、決められた天体の既に作成されたデータのみであり、その他の天体の活動を振り返ることができなかった。新たに発見されたX線新星等データベースに無い天体のかつての活動の有無を知るためには、Ginga/ASMのデータをいつでも再解析できるようにする必要がある。そこで、X線源の長期変動の研究をスタートさせる第1段階として、Ginga/ASMの衛星からのテレメトリデータに立ち戻り、興味ある天体の座標を指定することで、Ginga/ASMが観測中の活動を調査できる解析ツールを作成し、ある程度の結果を得ることができたので報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

W22c 激変星 AE Aqr の短時間電波強度変動

藤沢健太, 穂本正徳, 新沼浩太郎 (山口大学)

AE Aqr は DQ Her 型に分類される激変星であり、磁場は 10-1000 T と比較的強い。距離は 150 pc、白色矮星質量はほぼ太陽質量に等しい。AE Aqr は白色矮星としては最も高速に自転していることが知られており、周期はわずか 33 秒である。

AE Aqr は 10 mJy 程度の電波放射をしていることが知られている。電波光度は他の激変星と比較して 1 桁以上大きな値であり、AE Aqr の特異性を示している。電波放射機構はシンクロトロン放射であるとされているが、AE Aqr が特別に強力な電波放射をする機構は理解されていない。

われわれはこの電波放射の発生領域および発生機構を調べるために、山口干渉計を用いた電波観測を行った。これまでの研究では、電波強度が 1 時間程度の時間スケールで変動していることが分かっているが、その全体像はまだ十分に明らかにされていない。電波強度変動は電波発生領域の物理状態を知る手がかりとなるので、8 時間の連続観測で強度変動を観測することを最初の目的とした。

観測は 2021 年通算日 156 日、観測時間は 15-23 時 UT の 8 時間、観測周波数は 8.4 GHz、偏波は LHCP である。観測の結果、5-23 mJy にわたる強度変動が検出された。観測時間中に 4 回の上昇と下降を繰り返しており、18 分間でフラックス密度が 2.5 倍に増加する短時間変動も観測された。変動時間スケールの短さは、電波放射領域の大きさが 1 天文単位以下であることを示している。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

W23a Tomo-e Gozen の高頻度サーベイを用いた Fast Optical Transient 探査

押切翔, 田中雅臣, 高橋一郎 (東北大学), 富永望 (国立天文台), 諸隈智貴 (千葉工業大学), Tomo-e Gozen コラボレーション

近年、観測機器の性能向上により、短い時間間隔で広範囲の視野をカバーした突発天体探査が可能になっている。これにより、明るさが1日程度で変動する初期の超新星爆発や rapid transient などの突発天体の探査が盛んに行われるようになった。しかし、さらに変動のタイムスケールが短い、数時間程度での変動を示す天体の探査には、より短い時間間隔での観測が必要となる。

そこで本研究では、東京大学木曾観測所の 105cm シュミット望遠鏡に搭載されている Tomo-e Gozen カメラを用いた可視光広視野動画サーベイのデータを利用し、銀河系外の短時間突発天体の探査を行った。Tomo-e Gozen の約2年に及ぶ観測データの中から、数時間だけ増光していた天体を探査したところ、8個の候補天体を選出された。しかし、これらの天体には Pan-STARRS1 で暗い対応天体が存在したため、Pan-STARRS1 や WISE の測光データを用いた色指数の比較や、光度曲線の特徴から、全て系内天体であると結論づけた。本講演では、検出した短時間突発天体候補の性質と、銀河系外短時間突発天体の発生率について議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

W24a ブラックホール X 線連星 MAXI J1348-630 の特異な近赤外線短時間変動

高松裕, 河合誠之, 村田勝寛, 庭野聖史, 細川稜平, 伊藤尚泰, 今井優理 (東工大), 永山貴宏 (鹿児島大), 森鼻久美子, 楠根貴成 (名古屋大)

ブラックホールを主星に持つブラックホール X 線連星は、伴星のガスがブラックホールに降着することで重力エネルギーが解放され、X 線を強く放射する。その放射機構について様々なものが提案されているが、いまだその全容は明らかにされていない。また、X 線連星は、可視光や近赤外線を含めた広い波長域での放射も観測されており、X 線以外の波長域の解析もまた、ブラックホールの降着現象の解明に大きな役割を果たす。MAXI J1348-630 は、全天 X 線監視装置 MAXI によって 2019 年 1 月 26 日に発見されたブラックホール X 線連星であると考えられている天体である。我々は、南アフリカの IRSF1.4m 望遠鏡によって、同年の 2 月 6 日から近赤外線 3 バンド (J, H, K_s バンド) で観測を開始した。一晩につき 10 秒積分 7 秒オーバーヘッドで、2 時間程度観測を行った。

この IRSF を用いた観測において、2019 年 3 月 18 日に特異な光度曲線が見られた。約 10 秒ほどの間に 10 % 程度増光し、30 分程度増光状態が継続した後、また 10 秒ほどの時間で 10 % 程度減光するというステップ関数的な光度変化をしていた。これは、数秒単位での急激な光度変化である X 線の flip flop に酷似している。しかし、flip flop は X 線での観測例はあるが、可視光・近赤外線では我々が知る限り無い。また、観測期間中の MAXI J1348-630 は X 線ソフト状態であったが、ソフト状態において短時間で明るさが変化する現象も発見例が無かった。その他の特徴として、近赤外線領域において、長波長側の方が増光幅が大きいという特徴が確認された。

本発表は、X 線ソフト状態のブラックホール X 線連星 MAXI J1348-630 について、IRSF の近赤外線と MAXI の X 線の観測を紹介する。また、それらの観測データから、今回の flip flop 的現象の起源について議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

W25a X-ray state evolution of EXO 1846–031 during its 2019 outburst with NICER observations

WANG Sili (Ehime Univ), SHIDATSU Megumi (Ehime Univ), KAWAI Nobuyuki (Tokyo Tech)

EXO 1846–031 is a Galactic black hole candidate discovered in 1985, whose black hole mass is still unknown. After a long quiescent period, the source exhibited a new outburst in 2019. We analyzed the X-ray properties of EXO 1846–031 and attempted to constrain its black hole mass using the MAXI/GSC and NICER/XTI data obtained during its 2019 outburst. The X-ray state transition from the low/hard state to the high/soft state was observed and a reverse transition was also seen. The X-ray spectra were characterized with a multi-color disk blackbody component predominantly seen at low energies and a power-law shaped component at high energies; the former component dominated in the high/soft and the later in the low/hard state. The inner disk radius remained almost constant at $\sim 40(D/10 \text{ kpc})(\cos i/\cos(40^\circ))^{-1/2}$ km during the high/soft state, where D and i are the distance to the source and the inclination of the disk, respectively. The black hole mass was estimated to be $\sim 4.5(D/10 \text{ kpc})(\cos i/\cos(40^\circ))^{-1/2}M_\odot$, assuming that the black hole is not spinning and that the constant inner radius in the high/soft state corresponds to its innermost stable circular orbit. Detailed mass and spin constraints using a relativistic accretion disk emission model will also be discussed in the presentation.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

W26a 相互相関関数を用いた MAXI J1820 + 070 のタイムラグ解析

大間々知輝, 辻本匡弘 (総研大, ISAS/JAXA), 海老沢研 (東京大学, ISAS/JAXA), 水本岬希 (京都大学)

MAXI J1820 + 070 は 2018 年 3 月にアウトバーストを起こし、多くの異なる波長帯で観測されたブラックホール連星 (BHB) である。BHB のソフト状態はブラックホールの近傍まで伸びている降着円盤の放射でエネルギースペクトルを説明できるが、ハード状態ではそれに加えて高温コロナ、ジェットなどが存在していると考えられている。エネルギースペクトル解析だけではこれらの位置やダイナミックな関係性を議論することは難しい。別のアプローチとして異なるエネルギーバンドの光度曲線の時間の遅れを調べるタイムラグ解析がある。X 線同士のタイムラグ解析には 2 つの時系列データにおける周波数ごとの位相のズレをタイムラグとして求めるクロススペクトルがよく用いられている。BHB では直接信号の変動が支配的でありタイムラグ信号の変動は小さく、クロススペクトル解析では求めたいタイムラグ信号のラグが「希釈」されてしまう。一般的なタイムラグ解析手法に、タイムラグとその相関を評価してタイムラグを求める相互相関関数 (CCF) がある。直接信号にタイムラグ信号が埋もれてしまうことから、X 線バンド同士のタイムラグ解析に CCF が用いられることは少ないが、希釈の影響を受けないという数学的性質も持っている。我々は正と負における相関の差分を取ることで直接信号を取り除けることに着目し、差分相関関数 (differential CCF; dCCF) を開発した。

本研究では NICER で取得された高時間分解能データに対して dCCF を適用し、スペクトル成分との関係性とタイムラグ信号の時間発展を調べた。発表ではタイムスケールが異なる 2 つのタイムラグ信号の特徴、及びそれとスペクトルの構成成分との関係性を議論する。またこれらの特徴量とスペクトル的な特徴量それぞれの時間変化を比較し物理的示唆についても考察を行う。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

W27a 超臨界降着流からのアウトフロー；運動学的光度の質量降着率依存性とその起源

芳岡尚悟, 嶺重慎 (京都大学), 大須賀健 (筑波大学), 川島朋尚 (東京大学), 北木孝明

超高光度 X 線源やマイクロクェーサー、成長期の巨大ブラックホールなど、エディントン光度以上で輝く天体のガスダイナミクスや電磁放射特性を明らかにするために輻射流体シミュレーションは欠かせない。我々は 2021 年度秋季年会にて、大局的輻射流体計算に基づく超臨界降着流からのアウトフローに関するパラメータサーベイの結果を報告した。これまでの研究により、(1) アウトフローは「フェイルドアウトフロー」+「ピュアアウトフロー」という 2 つの構造を持つこと、(2) 運動学的光度は輻射光度よりも強い質量降着率 \dot{M}_{BH} 依存性を持つことが明らかになった。

上記結果を踏まえ、なぜ運動学的光度が極めて強い \dot{M}_{BH} 依存性を持つのか？という疑問に答えるために、ガス密度と速度の \dot{M}_{BH} 依存性を調べた。その結果、回転軸付近のガス密度は $\dot{M}_{\text{BH}}^{4.1}$ 、速度は $\dot{M}_{\text{BH}}^{-0.47}$ に比例することが分かった。運動学的光度は密度と速度の 3 乗の積で表されるため、 \dot{M}_{BH} 依存性が高くなる ($\propto \dot{M}_{\text{BH}}^{2.7}$) のである。さらにガス密度の \dot{M}_{BH} 依存性が高い理由を明らかにするために、単位質量あたりの輻射力の分布を調べると、 \dot{M}_{BH} が増加するにつれて、輻射力の強い領域は極方向へ集中することが確認できた。これは \dot{M}_{BH} が増加するにつれて光学的に厚い円盤が鉛直方向に膨らみ、輻射が極方向へ集中することに起因する。以上から、運動学的光度が \dot{M}_{BH} に強く依存する理由は、円盤が鉛直方向に膨らむことで輻射が極方向へ集中し、その結果、極付近で多量のガスが輻射力駆動の高速なアウトフローへと転じるためだと結論づけられる。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

W28a 回転軸が傾いた降着円盤の一般相対論的輻射磁気流体シミュレーション

朝比奈雄太 (筑波大学), 大須賀健 (筑波大学)

ブラックホール等のコンパクト天体から高速なアウトフローである宇宙ジェットが噴出していることが観測されており、そのエネルギー源としてブラックホールに降着するガスが開放する重力エネルギーが考えられている。アウトフローや降着円盤の構造解明のためにブラックホール近傍の数値計算が実施されているが、その多くはブラックホールの回転軸と降着円盤の回転軸が一致することを仮定している。Fragile et al. (2007) や Liska et al. (2021) らによって回転軸が一致しない、傾いたトラスからの質量降着を一般相対論的磁気流体シミュレーションが実施され、時空の引きずりが降着円盤の歳差運動を引き起こすことが示されている。この歳差運動が X 線星に見られる X 線強度の順周期的振動や歳差運動するジェットの一因となる可能性が示された。V404 Cygni では増光中にジェットの向きが変化するという現象が観測され (Miller-Jones, J. C. A., et al. 2019)、傾いた降着円盤の歳差運動が原因であると推測されている。増光中の V404 Cygni はエディントン光度を超えるほど明るい、先行研究のシミュレーションでは輻射の効果が考慮されていない。

そこで我々は明るい天体に適用するために、輻射の効果をとり入れた、傾いた降着円盤の一般相対論的輻射磁気流体シミュレーションを実施した。初期条件として、弱いポロイダル磁場を持つ傾いた平衡トラスを仮定した。計算の結果、ブラックホールの回転軸から傾いた回転軸を持つ超臨界降着円盤が形成され、降着円盤の回転軸方向には光速の 30% 程度の速度を持つジェットが形成された。さらにジェットと動径方向の輻射フラックスの高い領域が、降着円盤の回転軸の周りを歳差運動することがわかった。本講演では、この歳差運動の詳細と降着円盤の傾きの時間進化との関係について報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

W29a ブラックホール降着流中に生じる磁気渦状腕形成機構の解明

町田真美 (国立天文台), 川島朋尚 (東大宇宙線研), 工藤祐己 (鹿児島大), 松本洋介, 松元亮治 (千葉大)

X線連星や、活動銀河中心核 (AGN) で観測されるジェットやX線フレアなどの高エネルギー現象は、中心のコンパクト星の重力エネルギーを駆動源としている。コンパクト星の周りを回転しながら落下するプラズマが作る降着流では、磁気回転不安定性によって成長する磁気乱流が、重力エネルギーの解放を媒介している。我々は、降着流中で成長する磁気回転不安定性が大局構造形成へ与える影響を調べる目的で、大局的な3次元磁気流体数値実験を行っている (町田ら、日本天文学会 2019 年秋季年会など)。本計算の初期条件としては、弱い方位角方向磁場を持つガストラスを仮定し、数値計算コードは、空間5次精度を担保する CANS+ を使用している。これまでの年会で、動径方向と鉛直方向の条件を固定し、空間解像度が最も低い方位角方向のメッシュ数を $N_\phi = 64, 128, 512$ と変化させて、影響を調べており、高解像度の場合には、大局的な渦状磁場構造が形成される事を報告している。また、この渦状構造は、動径方向速度にはっきりとした不連続を作るが、衝撃波ではない事、渦状構造内の高温でガス密度が低い状態は渦状構造内で生じた磁気リコネクションによることなどを明らかにした。

本発表では、新たに行った、 $N_\phi = 256$ の計算結果を加えた上で、ポロイダル面内での乱流渦の成長と方位角方向解像度の依存性、質量降着率に与える影響を調べた。その結果、例えばポロイダル方向の分解能が同じであっても、方位角方向の解像度が低い場合には、ポロイダル面内の乱流渦のスケール長が長くなる事が分かった。ポロイダル面内の乱流渦の大きさと磁気渦状腕構造の形成の間に相関があるか、質量降着と大局構造形成の関係性などに関して報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

W30a 3次元輻射流体計算で探る Dusty-gas 中を浮遊する中質量ブラックホールの降着成長過程: ダストの昇華と非等方輻射の影響

尾形絵梨花, 大須賀健, 福島肇, 矢島秀伸 (筑波大学)

超大質量ブラックホール (BH) 質量と銀河バルジ質量の間には相関関係があることが観測により示唆されており、超大質量 BH 形成過程は銀河形成を理解する上での重要課題となっている。しかし、超大質量 BH の形成過程はよく分かっていない。超大質量 BH 形成過程の一端を担うと考えられる機構の一つが、Bondi-Hoyle-Lyttleton 降着である。太陽質量の 10^4 倍程度の質量を持つ中質量 BH が、銀河中を浮遊しながら重力でガスを吸い込み質量成長するというものである。ただし、星間ガス中にダストが豊富に存在する場合、dusty-gas に対する輻射の力や、ダストによる減光の効果がガスの流れに大きな影響を及ぼすことになる (Toyouchi et al. 2020)。しかも、一部のダストは BH 周囲から放射される輻射により温められ昇華することが予測されるので、ダストに働く輻射の力や減光の度合いは複雑に変化すると考えられる。

そこで本研究は、dusty-gas に対する輻射の力、ダストによる減光、ダストの昇華を組み込んだ3次元輻射流体シミュレーションを実施し、銀河中を浮遊する中質量 BH への Bondi-Hoyle-Lyttleton 降着過程を調べた。ここでは、AMR (Adaptive Mesh Refinement) を実装した流体コード SFUMATO (Matsumoto 2007) に、M1 クロージャ法に基づく輻射輸送ソルバーを実装した SFUMATO-M1 (Fukushima & Yajima 2020) を用いた。その結果、等方輻射場における降着率は周期的に変動し、ダストの昇華を考慮していないケースと比較して、時間平均降着率は約 1.7 倍大きくなる事が分かった。また、講演では、降着円盤が生成する非等方的な輻射場を考慮したケースについても報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

W31a MAXI/GSC が検出した 2022 年度前半の突発現象

根来均, 中島基樹, 小林浩平 (日大), 岩切渉, 浦部蒼太 (中央大), 川久保 雄太 (LSU), 芹野素子 (青学), 三原建弘 (理研), 河合 誠之 (東工大), 松岡勝 (理研) 他 MAXI チーム

全天 X 線監視装置 MAXI が前回の春季年会以降に発見検出した突発現象について報告する。6 月 6 日現在、新天体はまだ見つかっていない。一方、既知天体に関しては、2009 年 8 月の MAXI の稼働以来初となる、Be 型 X 線連星 IGR J06074+2205 からのアウトバーストを 3 月 23 日に検出し、ATel (The Astronomer's Telegram) に報告した (Nakajima+ ATel #15294)。4 月 24 日には、MANGA (MAXI And NICER Ground Alert) プロジェクトがモニターしている銀河中心付近から 150 mCrab に達する増光が検出され (Iwakiri+ #15346)、Swift/XRT の追観測により低質量連星系 SAX J1747.0-2853 からのアウトバーストが確認された (Kennea+ #15347)。5 月 30 日には、低質量連星系 1A 1744-361 からの 2013 年来のアウトバーストを検出し (Kobayashi+ #15407)、Swift/XRT によって確かめられた (Kennea+ #15408)。

また、これまでに 2 つガンマ線バースト (GRB) を検出している。220506A (Urabe+, ATel #15365, GCN Circ. 32001) の Swift/XRT の追観測ではアフターグロー (候補) が検出された (Osborne+ GCN 32006)。一方、220514B (Kawakubo+ GCN 32046) の XRT の追観測では何も受からなかったが (D'Ai+ GCN 32053)、Konus-Wind の観測から約 100 秒間続いたバーストの一部であることが判明した (Ridnaia+ GCN 32056)。

これら以外にも、SGR 1935+2154 (5 月 23 日) や Aql X-1 のアウトバースト (5 月 27 日) などを捉え、MAXI メーリングリストを介して世界に速報した。MAXI は平均して年 3 つの新天体と月 1 つの GRB を検出している。講演では、年会までに発見検出された天体を含め、これら MAXI が検出した突発現象について報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

W32b 一般相対論的輻射磁気流体シミュレーションによる降着円盤の最内縁構造の調査

大野翔大 (筑波大学) 大須賀健 (筑波大学), 高橋博之 (駒澤大学), 朝比奈雄太 (筑波大学), 内海碧人 (筑波大学)

従来のブラックホール (BH) 降着円盤の理論研究においては、降着円盤の内縁半径は最内安定円軌道 (innermost stable orbit; ISCO) 半径と一致すると考えられていた (Novikov&Thorne 1973 など)。しかし、近年の一般相対論的磁気流体シミュレーションによると、ISCO より内側にも円盤が形成され、その領域からの放射が無視できない可能性が示唆されている (Beckwith et al. 2008)。だが、これらの研究では輻射とガスの相互作用を考慮していないため、少なくとも光学的に厚い円盤、いわゆる標準円盤やスリム円盤の円盤内縁構造を正確に求めたとは言えない。そこで本研究では、2次元軸対称一般相対論的輻射磁気流体シミュレーションを実施し、円盤内縁付近の構造を調査した。

その結果、光学的厚みから見積もった内縁半径は、BH のスピンパラメータが大きいほど小さくなる傾向が現れた。また、質量降着率が大きいほど小さくなり、降着率が $0.2L_{\text{Edd}}/c^2$ (L_{Edd} はエディントン光度、 c は光速) 以上になると、ISCO 半径よりも小さくなることがわかった。ガス温度と輻射温度がおおよそ等しくなる最小半径を調べたところ、これも ISCO 半径より小さくなることがわかった。講演では、より大きな質量降着率の場合や、円盤内縁付近の観測的性質についても議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

W33b カー・ブラックホール周りの超臨界降着円盤からのエネルギー解放；超高光度 X 線源との比較

内海碧人 (筑波大学), 大須賀健 (筑波大学), 高橋博之 (駒澤大学), 朝比奈雄太 (筑波大学)

超臨界降着円盤は光度がエディントン光度を超える円盤であり、質量降着率がおおよそエディントン限界を超えた場合に現れると考えられている。超高光度 X 線源 (ULXs) は、 $\sim 10^{39} \text{erg s}^{-1}$ 以上の X 線光度を示すコンパクトな X 線源であるが、そのエネルギー源はまだ解明されていない。可能性の一つが恒星質量ブラックホール (BH) への超臨界降着である。これまでの超臨界降着円盤の研究は、無回転 BH 周囲のものが主であり、BH の回転の効果は十分に調べられていない。BH が回転すると、円盤の内縁半径が変わるために利用できる重力エネルギーが変わる。さらに、磁場を介した BH の回転エネルギーの抽出も起こり得る (Blandford & Znajek 1977)。これらの効果は、超臨界降着円盤の構造や輻射強度、ジェットのパワーに影響を与えると考えられる。

そこで我々は、BH のスピンパラメータ a^* を 0.9 (円盤と BH が順回転) から -0.9 (円盤と BH が逆回転) まで変化させ、超臨界降着円盤の 2.5 次元一般相対論的輻射磁気流体計算を実施している。2022 年春季年会では、 $|a^*|$ が大きいほどエネルギー解放率が上昇することや、輻射エネルギー、磁場エネルギー、運動エネルギーの割合が a^* に依存することを報告した。本講演では、運動エネルギーと輻射エネルギーの比のスピンパラメータ依存性を調査し、ULX の観測と比較した結果について報告する。この比は、 $|a^*|$ が大きいほど高くなる傾向があり、その結果、ULX Holmberg II X-1 はブラックホールのスピンパラメータが比較的小さいモデル、ULX IC342 X-1 はスピンパラメータが比較的大きいモデルと矛盾しないことがわかった。また、BH 降着円盤から解放されるエネルギーの磁場強度依存性についても議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

W34b 円盤-コロナ系の熱平衡曲線

古野雅之 (京都大学), 嶺重慎 (京都大学), 川中宣太 (京都大学)

活動銀河核 (AGN) のスペクトル観測では、降着円盤の熱放射に由来する成分とは別に軟 X 線領域の excess や硬 X 線領域の連続成分などがあることが知られている。この観測結果を説明するものとして、円盤とコロナが層状に併存するモデルがある。先行研究では、コロナの加熱機構として磁気リコネクションを仮定し、コロナが厚く円盤への照射が優位に効く「Hard 状態」、そしてコロナが薄く円盤への照射があまり効かない「Soft 状態」の二つの円盤コロナモデルについてスペクトルエネルギー分布が研究された (Liu et al. 2003)。今回の計算では、この先行研究と同じコードから計算される f (コロナで散逸されるエネルギーの割合) を用いて、質量 $10^8 M_{\odot}$ のブラックホールの円盤の表面温度 T_{eff} を求め、その表面温度を再現するような円盤の面密度 Σ を Shakura-Sunyaev モデルから計算し、円盤-コロナ系の熱平衡曲線 (横軸は Σ 、縦軸は降着率 \dot{M}) を描いた。

円盤コロナが存在する場合、熱平衡曲線で Σ が極大となる降着率 (\dot{M}_{crit}) は、コロナが存在しない場合より大きくなる。このことから、標準円盤で輻射圧優勢になるような降着率でも、円盤-コロナ系での円盤はガス圧優勢の状態が保たれることが分かる。これは円盤に比べてコロナのエネルギー散逸率が著しく大きい ($f \sim 1$) ので、円盤本体の温度の上昇が抑えられて輻射圧が弱い状態がより高い降着率でも維持されるためと推測される。また円盤-コロナ系で輻射圧優勢に切り替わる \dot{M}_{crit} が高くなることから、コロナの存在によって降着円盤は幾分安定化されると言える。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

W35b ボルツマン輻射輸送によるコンプトン冷却を考慮した輻射非効率降着流の電子温度計算

小川拓未, 朝比奈雄太, 大須賀健 (筑波大学), 高橋博之 (駒澤大学), 川島朋尚 (東京大学)

近年、Event Horizon Telescope (EHT) によるブラックホール・シャドウの撮像が成功し、対象となった M87*, Sgr A* の質量に強い制限がかかり、質量降着率、ブラックホールスピン、視線角度等についても新たな議論がなされた。この解析のプロセスには輻射非効率降着流 (RIAF) の一般相対論的磁気流体 (GRMHD) シミュレーション結果が使われているが、この計算には多くの不定なパラメータが存在する。中でも撮像データとの比較に大きな影響を与えるのが電子温度を決めるパラメータである。EHT の解析で使用されたシミュレーションデータは 1 温度計算で得られたものであり、電子温度は電子・陽子温度比をプラズマ β (ガス圧/磁気圧) のみに依存した関数であると仮定して求めている。しかし、(エディントン比が比較的大きい M87* では特に) 電子温度は輻射冷却の影響を受けて決まるため、プラズマ β だけでなく輻射場や電子密度・温度等にも依存するはずである。

そこで我々は、2 温度プラズマ計算と輻射輸送計算を同時に計算することにより、RIAF における電子温度をより正確に求めることを目指す。2 温度計算のコードは高橋博之氏らが開発した GRMHD コード UWABAMI を電子と陽子のエン트로ピー方程式を解くように改良したものをを用い、輻射輸送コードはコンプトン散乱を考慮したボルツマン輻射輸送コード (2021 年度春季年会 W44a で発表) を用いる。これらにより、振動数・方向依存性を考慮したコンプトン散乱やシンクロトロン放射などの輻射過程による加熱・冷却の計算を行い、現実的な電子温度を決定し、かつ、そこから得られる放射スペクトルを無矛盾に得ることが可能となる。今回は M87* に対応したモデルにおける計算結果について議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

W36b 超臨界降着流におけるライマンアルファ輝線の輻射力：2 光子放射の効果

武者野拓也, 小川拓未, 大須賀健, 矢島秀伸 (筑波大学), 大向一行 (東北大学)

宇宙開闢から僅か 8 億年という初期宇宙において $10^9 M_{\odot}$ もの質量を持つ超巨大ブラックホールが存在することが知られているが、その起源は不明である。超巨大ブラックホールはその形成過程においてエディントン限界を超えた降着率 (超臨界降着) で急成長したと考えられているが、ガス降着に伴う輻射電離加熱による降着率の低下が問題となる。現状では、初期の電離領域がボンディ半径内に収まるような高密度環境であれば、電離領域内の高温高压ガスが降着流を押し返すことができず最終的に超臨界降着が実現すると考えられている (Inayoshi, et al. 2016; Sakurai et al. 2016)。しかしながら、これらの研究では電離領域で生成される大量のライマンアルファ (以下 $\text{Ly}\alpha$) 光子の輻射力を考慮しておらず、最終的な結論は不明である。なぜなら、 $\text{Ly}\alpha$ 輝線の輻射力は、多重散乱によって光子密度が増幅することで強力になるため、降着を妨げる可能性があるからである。

そこで我々は、流体の速度勾配を考慮した特殊相対論的モーメント方程式を拡散近似で解く 1 次元球対称 $\text{Ly}\alpha$ 輝線輻射輸送計算コードを開発した。2021 年度秋季年会では、これを用いて超臨界降着流中における $\text{Ly}\alpha$ 輝線輻射力を評価した結果、超臨界降着流中では $\text{Ly}\alpha$ 輝線輻射力が重力を圧倒することを報告した。

本講演では、この計算で未考慮であった 2 光子放射による $\text{Ly}\alpha$ 輝線輻射力の減衰効果について報告する。計算の結果、超臨界降着流中では 2p 軌道から 2s 軌道への衝突遷移の卓越に伴う 2 光子放射による $\text{Ly}\alpha$ 光子の消失によって、 $\text{Ly}\alpha$ 輝線輻射力が抑制されるものの、依然として重力を圧倒し超臨界降着が妨げられる可能性があることを報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

W37b 相対論的流体中から放出された光子の多重散乱効果; 数値計算によるアプローチ

竹田麟太郎 (筑波大学), 大須賀健 (筑波大学), 高橋芳太 (苫小牧工業専門学校), 梅村雅之 (筑波大学)

ブラックホール周辺の光学的に厚い降着円盤やそこから発生する高密度アウトフローでは、光子が多重散乱されつつ拡散していると考えられる。現存する輻射流体コードは、こうした相対論的流体中での光子の多重散乱過程を厳密に扱わず、非相対論的な拡散近似や、光の伝搬速度を抑制するといった近似法を用いている。ブラックホール周囲の構造やダイナミクスをより正確に解明するには、相対論的流体中での光子の多重散乱を正確に扱うシミュレーションコードの開発が必要である。その第一歩として我々は、相対論的流体中での光子多重散乱の集団的振る舞いを記述する確率密度関数の解析解を得ることに成功した (高橋芳太ら, 2022 年春季年会)。

本研究では、流体静止系とそれに対して一定の速度で運動する実験室系において、任意の時刻での光子の確率密度分布を得るためのモンテカルロ輻射輸送計算コードを作成した。数値計算によって得られた流体静止系での光子の確率密度分布は、解析解と一致した。また、実験室系での分布は非対称となることが確かめられた。流体の進行方向とその逆方向で光子の拡散速度が異なるからである。さらに、光子数保存の記述とシミュレーションへの実装に不可欠な光子数密度フラックス (解析的なアプローチは本年会における高橋芳太らの講演) に関しても、数値計算で求めた結果と解析解を数値微分して求めた結果が一致することが確かめられた。講演では、輻射流体シミュレーションへの実装に向けた展望についても議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

W38b 歳差運動するブラックホール降着円盤の観測的性質の解明

人見拓也 (筑波大学), 川島朋尚 (東京大学), 荻原大樹 (筑波大学), 高橋博之 (駒澤大学), 大須賀健 (筑波大学)

ブラックホール降着円盤は、ブラックホールの質量とスピン、質量降着率でおよそ決まると考えられており、盛んに研究されてきた。しかしながら、ブラックホールのスピン軸と降着円盤の回転軸が一致していない状況で生じる歳差運動 (いわゆる Lense-Thirring 効果) についてまだよくわかっていない。円盤の歳差運動はブラックホールのスピンによって引き起こされるため、歳差運動からスピンパラメータが制限できる可能性がある。また、準周期的振動やジェットのスピン構造も円盤の歳差運動が起源である可能性があり、そのメカニズムを解明することは重要である。近年になり、一般相対論的磁気流体シミュレーションや一般相対論的輻射輸送計算による研究が徐々に行われてきており、観測的特徴、特に、X 線・ガンマ線を含む多波長スペクトル計算は、我々が世界に先駆けて推進している状況である (川島ら 2022 年春季年会)。

本研究の目的は、歳差運動するブラックホール降着円盤を一般相対論的磁気流体シミュレーションで作り出し、その密度、温度、速度構造をもとに、一般相対論的多波長輻射輸送計算コード“RAIKOU”で輻射スペクトルとその時間変動を調べることである。一般相対論的磁気流体シミュレーションで作成した低降着率円盤の輻射スペクトル計算を行ったところ、電波から X 線・ガンマ線に至る輻射スペクトルが現れることを確認した。また、高エネルギー光子の大部分は、ブラックホール近傍で生じた光子が逆コンプトン散乱を受けることで生成されていることがわかった。また一部はジェット領域で発生した光子が逆コンプトン散乱を受けたものであることがわかった。講演では、歳差運動による輻射スペクトルの特徴的な振る舞いについても議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

W39b コンプトン散乱を考慮した偏光 X 線輻射輸送計算コードの開発

竹林晃大 (筑波大学), 大須賀健 (筑波大学), 川島朋尚 (東京大学)

ブラックホールのスピンや降着円盤は、輻射スペクトルやその時間変動などによって、長年にわたって調べられてきたがまだよくわかっていない。こうした状況を打破する可能性を秘めているのが、昨年 12 月に打ち上げられた IXPE による偏光 X 線観測である。ブラックホール降着円盤から飛来する X 線がもつ偏光情報は、降着円盤の幾何構造を反映する。そのため、偏光 X 線の理論計算結果を観測データと比較することで、ブラックホール周りの降着円盤の構造 (すなわちスケールハイトや円盤内縁の位置、円盤の歪み、さらには円盤内部温度構造など) を解明し、観測者の視線角度といった天体と観測者の間の情報も得られる可能性がある。しかし、偏光 X 線の輻射輸送計算の開発やその結果に基づいた研究は、世界的に見ても立ち遅れているのが現状である。

そこで本研究では、コンプトン散乱を考慮した偏光 X 線の輻射輸送計算コードを開発した。このコードはモンテカルロ法に基づいており、偏光 (ストークスパラメータ I, Q, U) を加味したクライン・仁科の式に従って電子散乱を扱っている。テスト計算として、まずトムソン散乱の極限で平板から放射される光の偏光角と偏光度の見込み角依存性を調査した。その結果、抜け出す角度が 90° (平板に平行) に近い光子ほど、高い偏光度 P を示すという結果が得られた。具体的には、平板に垂直に抜け出す光子は P の平均値がほぼ 0 となり、 90° 近くでは平均的に約 0.1 となった。これは、平板に垂直な方向に運動していた光子が平板に平行な方向に散乱されると、平板に平行な方向の偏光ベクトルを持つ光子が支配的になることが原因と考えられる。また、本テストの結果を準解析的に求めた先行研究 (Chandrasekhar 1960) と比較したところ、ほぼ一致していることが確認できた。さらに本発表では、コンプトン散乱の効果についても議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

W40b 突発的超臨界降着現象における輻射性衝撃波の研究

島田悠愛 (筑波大学), 大須賀健 (筑波大学), 高橋博之 (駒澤大学), 朝比奈雄太 (筑波大学)

潮汐破壊現象やブラックホール (BH) 連星が起こすアウトバーストでは、BH への突発的なガス降着が起こると考えられる (Arcavi et al. 2014, Rodriguez et al. 2015)。この際、角運動量の小さいガスがエディントン限界を超えた降着率で BH に落下する可能性があるが、落下するガスがどのようにしてエネルギーを解放するのかは、あまりよくわかっていない。輻射流体力学シミュレーションによる研究が、Okuda et al. (2021) によって行われているが、磁場を扱っておらず、また一般相対論効果も組み込まれていない。

そこで本研究では、2.5 次元一般相対論的輻射磁気流体力学計算を駆使し、角運動量の小さいガスによって引き起こされる超臨界 BH 降着流を調査した。具体的には、初期条件として設定する回転ガストーラスの角運動量をパラメータとしてシミュレーションを実行した。その結果、降着流の構造は、初期角運動量の大小によって二つに大別できることがわかった。比較的角運動量が大きいモデルでは超臨界降着円盤が形成されるが、比較的角運動量が小さいモデルでは、円盤を形成することなくガスが BH に落ち込むことがわかった。円盤は形成されないものの、衝撃波が形成されることでガスが加熱され、光度がエディントン光度程度に達することがわかった。講演では、降着流の詳細な構造や、先行研究との相違、BH のスピン依存性についても議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

W41b Swift/XRT と MAXI/GSC の MAXI J1631-479 のエネルギースペクトルに含まれる星間ダスト成分の抽出とダストと天体までの距離の見積もり

小林浩平, 根来均 (日本大学), 他 MAXI チーム

銀河面にある天体からの X 線に星間吸収の他にダストによって散乱された成分が観測されている (e.g., V404 Cyg (Beardmore+ MNRAS 2016), MAXI J1421-613 (Nobukawa+ PASJ 2020), MAXI J1348-630 (Lamer+ A&A 2021)). 散乱される光子は 3 keV 以下の低エネルギー側で多く (Smith+ ApJ 2016), エネルギースペクトル解析に影響する. また, アウトバーストからの直接光と散乱光の強度比, それらのなす角度, そしてそれらの時間差などの情報から天体およびダストまでの距離をいくつかの条件下で見積もることができる.

我々は, これまでにブラックホール候補天体 MAXI J1631-479 の長期スペクトル解析を行い, 同天体の特徴を明らかにしてきた (小林他 2019 年秋季年会 W08b, 小林他 2021 年秋季年会 W07a, Kobayashi+ in prep). 21 年の年会では, Swift/XRT のイメージより, MAXI J1631-479 からの散乱成分が観測されたことを報告した. その後, Swift/XRT のデータを詳細に調べたところ, バックグラウンド領域を含む XRT の視野の広範囲にわたって散乱成分が含まれていることが分かった. そこで, MAXI J1631-479 のアウトバースト後にとられた XRT のデータを取得し, 領域全体のスペクトルを銀河 X 線背景放射を表す異なる温度の非平衡イオン化プラズマ 2 成分モデル (Kaneda+ ApJ 1997) と冪関数の和でモデル化した. そのバックグラウンドモデルを用いてアウトバースト開始後 186 日のデータを再解析したところ, 天体からの直接光の他に, 1 keV 以下で軟 X 線成分が検出された. この軟 X 線成分を冪関数で表すと, 冪が > 3.4 となり, その空間分布からもより前の明るい時期の散乱成分であると考えられる. 発表では, これらデータ解析の詳細と見積もられる天体およびダストまでの距離を議論する.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

W42b 欠損の多い教師データを用いた銀河系内突発現象の機械判別

古賀柚希, 植村誠, 佐崎凌佑 (広島大学), 池田思朗 (統計数理研究所)

新星爆発や矮新星アウトバーストなどの突発的に起こる現象を効率的に研究するには, 迅速に適切な追跡観測を自動で行う必要があり, そのためには, 似た振る舞いをする他の天体と目的天体を区別しなければならない. これには機械学習が有用である. 我々は, 新星, 矮新星, WZ Sge 型矮新星, ミラ型変光星, フレア星の 5 つの型を想定し, 座標と距離, 静穏時の可視光と近赤外線の色等級から得られる 14 の特徴量を教師データとして, 機械判別を行ってきた. しかし, この教師データには欠損値が多く, 現在使っている「スパース多クラスロジスティック回帰 (SMLR)」という判別モデルは, 非線形で複雑な決定境界を定めることができるが, 全特徴量が揃っているサンプルしか扱えない. このような欠損の多い教師データを使わざるを得ないことは, 天文学の他のケースでも生じる共通の問題である.

そこで, 我々はベイズの定理の表式をそのまま使う「生成モデル (GM)」を扱い, 様々な特徴量の組み合わせに対して, SMLR と判別性能を比較した. 今回は尤度関数を多変量正規分布とし, 教師データの分散・共分散を用いた. 欠損の多いデータなので, 分散共分散行列が半正定値行列にならないことがあるが, 分散の推定値に簡単な補正を加えることで, 全サンプルを教師データとして用いることができるようになった. SMLR と GM について, 交差検証で得られた正解率に大きな差はなく, 今回のデータに対しては複雑な決定境界が不要であることが示唆された. また, 静穏時の近赤外線のデータをもつ WZ Sge 型矮新星のサンプルが少ないため, 同程度の性能であれば, より多くのデータを使える GM の方が安定した結果を期待できることや, 計算時間の観点から常に GM を使った方が良いこと等も結果として得られた.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

W43b 将来の X 線干渉計観測に向けた X 線ブラックホールシャドウ予測

川島 朋尚 (東大宇宙線研), 大須賀 健 (筑波大学), 高橋 博之 (駒澤大学)

Event Horizon Telescope (EHT) により M87* や Sgr A* のブラックホールシャドウとそれを縁取る明るいリング画像が観測された。これにより事象の地平面極近傍のプラズマのダイナミクスや、更にはブラックホール時空構造に迫ることが可能になりつつある。一方で、EHT で観測される 230 GHz 帯の光子はブラックホール近傍で電子が相対論的溫度まで加熱されることで非熱的電子よりも熱的電子によるシンクロトロン放射が支配的になり、EHT 単独の観測で電子の相対論的加速についての情報を探ることは難しい傾向にある。また、ブラックホールシャドウの画像を異なる波長の観測からも検証することも必要不可欠である。近年、国内や欧州で計画が進められつつある X 線干渉計は、これらの問題を解決し得る重要な手段である。

そこで我々は将来の X 線干渉計によるブラックホールシャドウ観測の理論的予言を行うために、一般相対論的輻射磁気流体コード UWABAMI と一般相対論的輻射輸送コード RAIKOU を用いてブラックホール降着流およびジェット of X 線イメージを含む多波長輻射輸送計算を実施した。天体は Sgr A* を仮定した。X 線帯域において非熱的電子によるシンクロトロン放射が支配的なモデルと熱的電子によるシンクロトロン自己コンプトン散乱が支配的なモデルを用いた。計算の結果、両モデルともに X 線でブラックホールシャドウと光子リングを形成することがわかった。非熱的電子によるシンクロトロン放射が支配的な場合の X 線シャドウイメージは、熱的電子によるシンクロトロン自己コンプトン散乱が支配的な場合に比べ、空間的に広がった放射イメージを形成する。将来の X 線干渉計で目標とされている μas スケールの空間分解能が達成されれば、X 線のブラックホールシャドウのイメージを通してブラックホール近傍の電子加速機構に迫れる可能性がある。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

W44a 相対論的に磁化されたプラズマにおける Alfvén 波の崩壊不安定性

石崎 渉, 井岡 邦仁 (京都大学基礎物理学研究所)

近年、高速電波バースト (FRB) やマグネターフレアのエネルギー源として、星震等によって中性子星の表面近傍で励起された Alfvén 波の崩壊が活発に議論されている。中性子星やブラックホールのようなコンパクト星の周囲に形成される磁気圏は、磁場のエネルギー密度がプラズマの静止エネルギー密度を凌駕するような相対論的磁化率を持ったプラズマであることが期待される。これまでこのようなプラズマ中での Alfvén 波の崩壊は、プラズマの慣性を無視する近似である Force-free 近似のもとで計算されてきた。しかし、太陽風のような非相対論的なプラズマ中で主要である Alfvén 波が音波と Alfvén 波に崩壊するパラメトリック崩壊不安定性という過程は、この近似のもとでは取り扱うことができない。

我々は、Force-free 近似を課さず、相対論的な MHD 方程式に対して、Alfvén 波のパラメトリック崩壊不安定性を調べた。その結果、磁化率が大きい極限で、崩壊不安定性が消失することを見出した。また、非相対論的な極限では不安定であった Alfvén 波が、磁化率の大きな極限でどの様に安定化するのかを調べるために、不安定性の成長率の磁化率に対する依存性を明らかにした。本講演では、その解釈と FRB モデルへの示唆を述べる。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

W45a 星周物質による GRB ジェットの mass-loading と明るく短い可視光突発天体

鈴木昭宏 (東京大学)

近年の無バイアスな可視光突発天体探査から、光度進化のタイムスケールが既存の可視光突発天体 (超新星など) と比べて極めて短く、スペクトルが青い明るい突発天体 (Fast Blue Optical Transients: FBOTs) の存在が明らかになってきた。FBOTs には明るい UV-可視光放射とともに電波でも明るく輝く天体が存在し、電波光度の時間変化を (外部) 衝撃波シンクロトロン放射で説明するためには光速の 10% 程度の準相対論的速度で膨張する 0.1 太陽質量程度のエジェクタが必要であると考えられている。そのような高速エジェクタを作り出す FBOTs の起源天体は未解明であるが、いくつかの提案されているシナリオの一つにガンマ線バースト (GRB) ジェットを起源とするものがある。このシナリオでは、GRB 親星が比較的重い星周物質に囲まれた状態で GRB を起こし、ジェットが星周物質にせき止められ熱化することで星周物質の一部を準相対論的な速度で吹き飛ばす。このようなモデルは低光度 GRB とその可視光放射成分を説明する際にも重要と考えられている。

本研究では、GRB ジェットが星周物質によって減速し周囲にエネルギーを受け渡す過程の理解及び結果として加速されるエジェクタの質量や力学的エネルギーがどの程度になるのか、またはそのパラメータ依存性を調べる目的で、3次元特殊相対論的流体シミュレーションを実行した。いくつかの質量の星周物質を仮定した計算の結果、準相対論的な速度 ($>0.1c$) に加速されるガスの質量は典型的に 0.1 太陽質量となることが分かった。これは FBOTs の電波観測から推定される値と無矛盾である。講演では、シミュレーション結果を紹介するとともにこのような状況での GRB ジェットの mass-loading 過程や予想される可視光放射の特徴についても議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

W46a 超高エネルギーガンマ線バースト GRB 190829A の多波長残光の理論的解釈

佐藤 優理, 大林 花織, 山崎 了 (青学大), 村瀬 孔大 (Penn. State Univ.), 大平 豊 (東大), 田中 周太 (青学大)

ガンマ線バースト (GRB) とは、0.1 秒から数 100 秒程度の間、およそ数 MeV のガンマ線が観測される現象である (即時放射)。即時放射の発生直後から、数日から数年にわたり、多波長の電磁波残光が観測される。正体不明の中心エンジンから相対論的ジェットが放出され、それを進行方向のほぼ真正面から見たときに GRB として観測されると考えられているが、ジェットの生成機構、即時放射や残光の放射機構、中心エンジンの起源などは未解明である。ここ 3 年の間に、大気チェレンコフ望遠鏡 MAGIC と H.E.S.S. により超高エネルギーガンマ線 (TeV ガンマ線) 残光が検出され、これまでに 4 イベント報告された (GRB 180720B, 190114C, 190829A, 201216C)。上記のイベントの中で、GRB 190829A については、GRB 発生後およそ 2 万秒後に H.E.S.S. によって検出されたが、即時放射の全放射エネルギーが通常の GRB よりも一桁以上小さく、さらに、X 線と可視・赤外の残光の光度曲線は GRB 発生後 2000 秒後にほぼ同時にピークをもつという珍しい特徴を持つ。我々はこれまでに GRB 190829A はジェットの開口角が 0.015 rad と狭いジェットを斜めから見たときに、初期の X 線・可視光残光の観測と即時放射のエネルギーが小さいことを同時に説明可能であることがわかった。さらに、後期 X 線残光、電波 (1.3, 15.5 GHz) 残光といった他の観測事実を説明するためには、ジェットの開口角が 0.015 rad よりも広いジェットが必要であることを明らかにした (Sato et al. 2021)。本講演では、Sato et al. 2021 で決定したパラメータを用いて新たな観測結果の TeV ガンマ線残光、電波 (5.5, 99.8 GHz) 残光、電波サイズも説明可能か紹介する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

W47a ジェットの内部構造を考慮した GRB 080710 の可視光・X 線残光の理論的解釈

大林 花織, 佐藤 優理, 鳥山 歩生, 村越 麻友, 山崎 了, 田中 周太 (青山学院大)

ガンマ線バースト (GRB) とは 1 日に数回の頻度で天球面上のある一点から、典型的には数百 keV のエネルギーを持つガンマ線が 0.1 秒から 100 秒程度の間観測される、電磁波では最大光度の天体現象である。GRB 本体である即時放射には残光放射が伴う。これらの放射は正体不明の中心エンジンから放出される相対論的ジェットをジェットの進行方向に対し真正面 (on-axis) から見ることで観測されると考えられている。*Swift*/BAT で検出された GRB 080710 の即時放射の光度は典型的な GRB と一致する。しかし、このイベントの残光は、発生から約 2.2×10^3 秒後に赤外から可視光にかけての帯域で同時に極大を示したことに加え、ピーク前の光度の上昇が典型的なものとは比べると緩やかである点で特異である。このことを、残光の標準モデル (ジェットの中心軸に対する角度方向のエネルギー分布が一般的なジェットを on-axis で見たと仮定した計算) で説明することは困難である。波長に依存しないピークを説明するだけならば、ジェットの中心軸からズレた角度から見たとする off-axis 残光であると考えられる。しかし、緩やかな増光部分や典型的な即時放射である点を単純な off-axis 残光で説明するのは難しい。そこで我々はジェットの内部構造が一様ではなく、角度依存性を持つと仮定することで観測結果が説明可能かを検討した。ジェットのエネルギーやローレンツ因子に角度依存性があるとき、ジェット放射における相対論的ビーミング効果等の角度依存性が顕著になり、中心軸から少しズレた方向からジェットを観測すると、可視光残光のピーク前の緩やかな増光を説明できると期待される。本講演ではこの検討結果について紹介する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)[スケジュール \(全体\) に戻る](#)[講演者索引 TOP に戻る](#)W48a *HETE-2* で観測された GRB 050709 からのコクーン放射

荻野直樹, 有元誠, 米徳大輔, 澤野達哉 (金沢大学), 坂本貴紀, 芹野素子 (青山学院大学), 浅野勝晃 (東京大学), Hamid Hamidani (京都大学)

ショートガンマ線バーストは、連星中性子星の合体を起源とするガンマ線バースト (GRB) と考えられている。2017 年 8 月には、連星中性子星の合体による重力波と、ガンマ線バースト GRB 170817A から発生した X 線・ γ 線が *Fermi*/GBM によって同時に観測された (Abbott et al. 2017a, Abbott et al. 2017b)。また、紫外から電波まで様々な波長による追観測が行われ、r 過程によって生じた元素が放射性崩壊を起こすことによって発生する電磁放射 (マクロノバ) も観測された。*Fermi*/GBM で得られた GRB 170817A のライトカーブには、継続時間が ~ 0.5 s の短時間でハードな非熱的成分 (hard spike) と、 ~ 2 s のソフトで熱的なテール成分 (soft tail) の存在が報告されている (Goldstein et al. 2017)。Burns et al. (2018) では、マクロノバが観測された GRB 150101B の解析を行い、同様な構造を持つ放射が報告されている。そのため、hard spike と soft tail は、連星中性子星の合体によって引き起こされる GRB に共通した特徴である可能性が高い。GRB 050709 は、*HETE-2* 衛星によって検出されたショートガンマ線バーストであり (Villasenor et al. 2005)、前述した 2 つの GRB と同様、マクロノバが報告されている (Jin et al. 2016)。我々は、この GRB のデータを再解析することで、継続時間が ~ 0.1 s の hard spike と、 ~ 0.5 s の soft tail が存在することを明らかにした。詳細な時間・スペクトル解析の結果、この soft tail は、相対論的なジェットが周囲の物質にエネルギーを注入することによって生じるコクーンからの放射である可能性が示唆される。観測から推定されるコクーンの圧力は $\sim 10^{19}$ erg cm $^{-3}$ となり、中性子星合体による相対論的流体シミュレーション結果 (Hamidani et al. 2021) と一致する。本講演ではこれらの結果について報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)[スケジュール \(全体\) に戻る](#)[講演者索引 TOP に戻る](#)

W49a 磁場優勢相対論的ジェットに於ける磁気エネルギー転換機構

草深 陽, 浅野勝晃, 大村 匠, 川島朋尚 (東京大学)

相対論的ジェットが重要な役割を果たす天体現象の1つにガンマ線バーストがある。ガンマ線バーストとは 10^{54} erg ものガンマ線を数秒-数分の間に放つ宇宙最大の爆発現象であり、その後残光と呼ばれる多波長放射が数日にわたって観測される。残光放射のエネルギー源は、相対論的ジェットと星間物質との衝突によって生じる先進・逆行衝撃波が、運動エネルギーを散逸させて生じる内部エネルギーと考えられている。近年、ガンマ線バースト残光の TeV ガンマ線が初めて観測され話題となっており、相対論的ジェットがもつ磁場の強さ・構造が、ガンマ線バースト残光のダイナミクス・放射に及ぼす影響を明らかにすることは、喫緊の課題となっている。特に逆行衝撃波はジェット内部を伝播するため、そのダイナミクスはジェットが持つ磁場の影響を受けるが、磁場優勢ジェットの数値計算は超高解像度を必要とするため難解であり、詳細な数値計算が行われていないのが現状である。

本研究では、我々が開発した球対称1次元相対論的磁気流体数値計算コードを用いて、相対論的ジェットの磁場の強さが先進・逆行衝撃波のダイナミクスに与える影響について調べた。このコードでは空間高分解能を達成するためにAMR(適合格子細分化法)を実装している。計算の結果、先進・逆行衝撃波の形成及び伝播時間スケールに関して、過去の解析的研究と同様な結果が得られた。一方、相対論的ジェット及び衝撃波加熱された星間物質のエネルギー進化を計算した結果、元々相対論的ジェットが持っていた磁気エネルギーが全て星間物質の運動エネルギーに転換されていることを発見した。この磁気エネルギー転換機構は磁気リコネクションのような磁場散逸機構とは異なり、系の全磁束が保存しているところが注目すべき点である。本講演ではこれらの結果と磁気エネルギー転換機構について議論する。

[スケジュール\(セッション毎\)に戻る](#)

[スケジュール\(全体\)に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

W50a 相対論的無衝突衝撃波での乱流ダイナモによる磁場増幅

富田沙羅(東北大学 学際研), 大平豊(東京大学), 木村成生(東北大学 学際研), 富田賢吾(東北大学), 當真賢二(東北大学 学際研)

無衝突衝撃波での磁場増幅は、高エネルギー天体現象における効率の良い宇宙線加速やシンクロtron放射に必要である。これまで、非一様な密度媒質中を伝播する相対論的無衝突衝撃波の磁気流体シミュレーションでは、背景磁場が乱流ダイナモによって増幅されることが示されている。しかし、観測から高エネルギー天体現象で形成される衝撃波は無衝突な系であることがわかっている。そのため、衝撃波下流では粒子拡散によって密度揺らぎがすぐに減衰する可能性がある。つまり、無衝突衝撃波で乱流ダイナモが駆動されるかどうかは自明ではない。そこで我々は、多数粒子の運動方程式と Maxwell 方程式を同時に解くプラズマ粒子シミュレーションを用いて、相対論的無衝突衝撃波と密度クランプの衝突によって駆動される乱流ダイナモの発展を世界で初めて調べた。また、同様のセットアップで磁気流体シミュレーションを行い両者の結果を比較した。プラズマ粒子シミュレーションでは密度クランプから磁力線に沿って粒子逃走が起きた。その結果下流の密度クランプ周辺に生成される渦度が、磁気流体シミュレーションでの渦度よりも遥かに小さくなった。さらに相対論的衝撃波の場合、密度クランプが衝撃波通過後に急激に減速することが両シミュレーションで示された。以上の粒子逃走とクランプの急減速によって、相対論的無衝突衝撃波では、衝撃波と密度クランプの衝突で駆動される乱流ダイナモ機構は、非相対論的衝撃波の場合に比べて非常に効率が悪いことが示唆された。

[スケジュール\(セッション毎\)に戻る](#)

[スケジュール\(全体\)に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

W51a 下流磁場での乱流による効果を加味した相対論的衝撃波加速

森川莞地, 大平豊 東京大学

相対論的衝撃波では粒子加速が効率良く起こらないということが指摘されている。先行研究では、衝撃波下流の磁場は、衝撃波上流の非一様磁場が衝撃波圧縮されたものとした。その結果、粒子は衝撃波を複数回往復することができないということを示した。本研究では、粒子を下流から上流に向かわせるためには、下流磁場の増幅による粒子のジャイロ半径の急激な変化が本質になると考え、下流磁場の大きさの空間変化を様々なスケールで試し、粒子が下流から上流へと躍ることができるのかを数値計算によって調べた。具体的な下流磁場増幅機構としては、密度揺らぎが衝撃波面にぶつかることで、衝撃波面が揺らぎ、乱流ダイナモが下流で駆動されるというメカニズムがある。そこで、相対論的 MHD シミュレーションによって、密度揺らぎと相互作用する衝撃波での磁場増幅過程を計算し、その背景磁場を使ったテスト粒子シミュレーションも行い、相対論的衝撃波で粒子が効率良く加速できるか調べる。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

W52a SS433 ジェット先端のコンパクトな高偏波率領域の磁場構造

酒見はる香 (鹿児島大学), 永井洋, 町田真美 (国立天文台), 赤堀卓也 (国立天文台/SKA 天文台), 大村匠 (東京大学), 赤松弘規 (SRON), 中西裕之 (鹿児島大学), 藏原昂平 (国立天文台)

近年 X 線連星ジェットは 10^{15} eV 以上に宇宙線を加速する天体の候補として注目を集めている。特にジェット内部に形成される衝撃波が主な加速領域と考えられているため、衝撃波と関連のある構造の特定は、X 線連星ジェットによる粒子加速の物理特性を解明する上で重要である。SS433 は系内で最も活発なマイクロエーサーの 1 つであり、周辺を取り囲む電波星雲 W50 とジェットが相互作用することで、W50 の “wing” と呼ばれる突き出た構造を形成していると考えられている。ただし wing 内部ではジェット本体からの電波放射が検出されておらず、wing に付随する構造とジェットとの関係性は自明ではない。例えば東側 wing 先端のフィラメント構造は、ジェット軸に対して垂直であるため一般的には先端衝撃波と考えられている。しかしフィラメント構造全体が衝撃波により形成されているかどうかを判別するためには、より高分解能の観測データを用いた解析が必要である。

我々は W50 の東側 wing 先端における SS433 ジェットの影響を調べるため、VLA で観測された 2.0–4.0 GHz の連続波観測データを用いて偏波解析を行った。その結果、フィラメント構造と SS433 ジェット軸が交差する領域に特に明るくコンパクトな構造を同定し、20–40 % の高い偏波率、ジェット軸に対して垂直で揃った磁場を持つことが分かった。このことから、フィラメント構造内のコンパクトな領域のみが SS433 ジェットによる圧縮で形成された先端衝撃波である可能性がある。また、コンパクトな領域を除くフィラメント構造と、wing の表面に巻きつくような螺旋状構造の偏波率や磁場の空間分布の特徴が非常に類似していることが分かった。本講演では SS433 ジェットによる wing に付随する構造の形成機構についても議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

W53a MAXI が観測した GRB のスペクトル解析での相関関係と他衛星との同時解析

平松裕貴, 吉田篤正, 杉田聡司, 芹野素子 (青山学院大学), 他 MAXI チーム

MAXI (Monitor of All-sky X-ray Image) は現在まで 144 個の GRB を観測している。MAXI に搭載されているガスリットカメラ (GSC) は GRB を観測する装置の中では、約 10 keV 以下のエネルギー帯域の X 線 (軟 X 線領域) に感度をもつため、他衛星とは異なる帯域の GRB スペクトルを得ることができる。Serino et al., 2014 では、MAXI が観測した GRB は他衛星で観測された GRB より光度が暗く、スペクトルがソフトなものが多いと報告されている。本研究では MAXI で観測された 144 個の GRB のうち 70 個の GRB をスペクトル解析し、スペクトルモデルには GSC の観測エネルギー帯域と統計を考慮して星間吸収モデルとベキ型関数モデルを掛け合わせたものを使用した。解析結果である flux とベキのそれぞれの分布については 2021 年秋季年会で報告した。その解析結果より、スペクトルには flux が低くハードなスペクトルが一定数存在し、GRB 即時放射の光度と E_{peak} に相関を仮定するとこれらは遠く明るい GRB か近く暗い GRB は低 flux でソフトになるためここには入れないような Low-Luminosity GRB (LL-GRB) を観測していることとなり、遠い GRB の空間分が小さくなることを考えると MAXI は LL-GRB を多く観測している可能性が示唆される。さらに logN-logS 分布を作成したところ、flux が $-10^{-8} \text{erg/cm}^2/\text{s}$ より大きいところではベキが $-\frac{3}{2}$ に従い、GRB は一様に分布していることがわかり、他衛星と同様の振る舞いをする事が確認された。だがそれよりも flux が低いところではベキが $-\frac{3}{2}$ から緩やかになり始めた。より詳細にスペクトルパラメータを調べるために GSC より観測エネルギー帯域の高い衛星と同時に観測した GRB の joint-fit スペクトル解析を行った。本発表では MAXI が観測した GRB のスペクトル解析から flux とベキ、 E_{peak} と距離の相関関係、logN-logS 分布、他衛星との joint-fit の結果を報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

W54a 任意の角速度分布を持つ一般相対論的回転星の新しい平衡形状

藤澤幸太郎 (東大), 大川博督 (早稲田), 安武伸俊 (千葉工大), 小形美沙 (早稲田), 山田章一 (早稲田)

連星中性子星が合体する時、合計質量がある閾値より小さい場合はただちにブラックホールにはならず、高速回転している質量の大きい中性子星が形成される。そのような中性子星の回転は角速度が非一様な差動回転であると考えられており、有力な重力波源の一つであるとされている。このような差動回転している中性子星の構造を求めるためには、一般相対論的な定式化の下で回転星の平衡形状を計算する必要がある。

回転が差動回転の場合、回転星の平衡形状を計算するためには角速度分布を決めなければならないが、これまでの一般相対論的な回転星の平衡形状の計算では、角速度分布を直接与えることはできなかった。従来の定式化では、角運動量と角速度の間の関数関係である回転則を与えて解を計算しており、角速度分布はこの回転則に応じて解を計算した結果求まっていた。回転則の関数形としては、例えば Komatsu et al. (1989) による j -constant law が多くの計算で用いられており、最近では、Uryū et al. (2017) により新しい回転則が定式化され、新しい種類の差動回転をしている解も求まるようになった。しかしいずれの定式化でも回転則が必要であり、角速度分布そのものを陽に与えることはできないため、任意の角速度分布を持った解を求めることは困難であった。

そこで本研究では、任意の角速度分布を持つ一般相対論的な回転星を計算する新しい定式化と数値計算コードを開発し、実際に解を求めることに成功した。この新しい定式化では回転則を与える必要はなく、代わりに任意の角速度分布を陽に与えることができる。今回開発した数値計算コードを用いることで、従来の手法で求まっていた解はもちろん、これまでは求まらなかった新しい解まで、任意の角速度分布を持つ高速回転する中性子星の平衡形状を、一般相対論的な定式化の下で計算できるようになった。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

W55a ブラックホール・中性子星連星合体の長時間発展における磁場配位、磁場強度、赤道面対称性の有無の影響

林航大 (京都大学), 木内建太 (マックスプランク研究所・ポツダム), 久徳浩太郎 (京都大学), 柴田大 (マックスプランク研究所・ポツダム, 京都大学), 関口雄一郎 (東邦大学), 藤林翔 (マックスプランク研究所・ポツダム)

ブラックホール・中性子星連星の合体は地上重力波検出器の主なターゲットの一つであり、2020 年に LIGO と Virgo によって検出された。これらのイベントでは電磁波対応天体は観測されなかったが、連星のパラメータによってはキロノバやショートガンマ線バーストが付随することは十分に期待される。

この状況に鑑みてブラックホール・中性子星連星の合体とその後に形成されるブラックホール降着円盤の一貫した時間発展を求め、一般相対論、ニュートリノ放射輸送、磁気流体の効果を取り入れた長時間の数値シミュレーションを行った。今回着目したのは、中性子星に挿す磁場配位や磁場強度、赤道面対称の有無への依存性である。先行研究では、 10^{16} ガウスを超えるポロイダル磁場が挿さった中性子星を仮定し、赤道面対称性を課していたが、本研究では、 1.3×10^{15} ガウスの磁場を仮定したモデル、2. トロイダル磁場を仮定したモデル、3. 赤道面対称性を外したモデル、の 3 つについての計算を行った。

その結果いずれのモデルについても、先行研究と同様に円盤風が駆動されることと、磁気圏形成に伴いショートガンマ線バーストと無矛盾なポインティングフラックスが発生することを確認した。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

W56a 天の川銀河系中心 SgrA* が超巨大ブラックホール・バイナリーである事実と重力波・無放射モデルの存在

東北大学 (理)

本研究では SgrA* からのデカメータ波電波の長距離干渉計観測をブラックホール・スピンと同期するパルス検出に焦点をおいて継続しているが、2016 年及び 2017 年それぞれ 6 月 1 か月に亘る観測データをもとに、SgrA* が質量 227 万太陽質量および 194 万太陽質量をもち、周期 2200 ± 50 秒で公転する超巨大 2 重星型ブラックホール (SMBHB) であることを結論し発表している (註 1)。この結果を用いて 2011 年及び 2017 年 Fish et al により発表されてきた 1.3mm 波 VLBI による SgrA* の Event Horizon スケールで起こる電波フラックス強度の短時間変動を検討した結果、SMBHB の公転周期 2150 ± 5 秒に対する 1.3mm 波電波強度変動モデルと一致することが確認された (本年会予稿 Z3-0060-b)。

課題はこの激しい極端な近接 SMBHB の安定的存在条件で、特に重力波放射に関し、2020 年以来発表してきた SMBHB から重力波が放射のないモデルの存在可能性が問題となる。SMBHB の物質領域は、星質量 BH と異なり超高温プラズマに対する一般相対論で取り扱え、状態の平衡問題は座標系変換で Minkowsky 時空からの摂動で取り扱える。内部物質の超高速回転 (例えば Lorentz Factor 22) の場合物質半径は Event Horizon の $1/40$ までも凝縮し、こうした物質から放射される重力波は内部 Kerr 時空を伝搬する間時空の特性が持つ伝搬停止域のため逆行し定在波を形成、ブラックホール外に伝搬することはない。謎とされてきた SgrA* からの mm 波電波放射の揺らぎは降着円盤に流入するプラズマ流の状況、フレアの発生等の現象と並行し SMBHB の存在が基本にあると結論された。 (註 1) <https://doi.org/10.5047/978-4-88704-171-4>

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

W57a 種族 I, II 星による中性子星-ブラックホール連星形成及びその観測可能性

衣川智弥 (東大宇宙線研), 中村卓史 (京大), 中野寛之 (龍谷大)

LIGO/Virgo による第三期観測により、GW200105 と GW200115 という二つの中性子星-ブラックホール連星イベントが報告された。これらのイベントのブラックホールの質量はそれぞれが $9.0_{-1.7}^{+1.7}$ 太陽質量, $5.9_{-2.5}^{+2.0}$ 太陽質量, 中性子星の質量はそれぞれ $1.91_{-0.24}^{+0.33}$ 太陽質量, $1.44_{-0.29}^{+0.85}$ 太陽質量である。重力波カタログ GWTC-2 によると中性子星-ブラックホール連星の合体率は $7.4-320 \text{ /yr/Gpc}^3$ と見積もられている。

我々は連星進化計算を用いて、これらの天体となりうる典型的な前駆進化を調べた。また、中性子星-ブラックホール連星合体の前駆天体としてパルサー-ブラックホール連星が存在するはずだが、まだ電波観測による発見に至ってはいない。我々は種族 I, II 星による中性子星ブラックホール連星合体が重力波観測率と従来の電波観測結果と矛盾しない事を示した。さらに、電波観測の将来計画である SKA でのパルサー-ブラックホール連星の観測率も見積もった。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

W58a 非常に重たい Population III 起源の連星ブラックホール合体からの重力波と連星進化のパラメータ

聖川昂太郎, 谷川衝, 衣川智弥, 梅田秀之 (東京大学), 吉田敬 (京都大学)

金属量が 0 である種族 III の星 (Pop. III) はその星形成シミュレーションにより、 $\sim 100 - 1000 M_{\odot}$ の星の誕生が示唆されており、これらは中間質量 BH ($> 100 M_{\odot}$) を形成することが期待されている。そして連星を成していれば、連星ブラックホールとなり、その一部は宇宙年齢以内に合体を起こす。連星ブラックホールは形成時の軌道半径により、合体するまでに数 Myr-数十 Gyr 以上の時間を要するため、Pop. III 由来の連星 BH も近傍の宇宙にも存在しうる。そのため、advanced LIGO 等の現在の重力波観測器でも検出可能なはずである。一方、連星ブラックホール合体に至るまでの連星進化には共通外層などに関する不定性が存在し、観測量に影響を与える。本研究では binary population synthesis による計算を行い、観測される Pop. III 起源の連星中間質量ブラックホールの質量やスピンの連星進化パラメータ依存を議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

W59a キロノバの赤外線スペクトルにおけるランタノイドの特徴

土本菜々恵、田中雅臣 (東北大学)、加藤太治 (核融合科学研究所)、川口恭平、仏坂健太 (東京大学)、和南城伸也 (マックス・プランク研究所)

宇宙における重元素の起源、特に速い中性子捕獲元素合成 (r-process) を必要とする元素の起源は未だ解明されていない。2017年には連星中性子星合体からの重力波 (GW170817) 検出とそれに付随した電磁波放射 (キロノバ) の観測により、中性子星合体で r-process が起こっていることが確認された。しかし、これまでに報告されたストロンチウムを除き、GW170817 で実際に合成された元素の種類や量はわかっていない。

合成された元素を特定する方法の一つは、スペクトルにおける吸収線の同定である。しかし、元素の同定に必要な分光的に正確な重元素の束縛遷移の原子データは赤外線域ではほとんどなく、実際観測されたキロノバのスペクトルには同定されていない吸収特徴が残されている。また理論計算による完全性の高い原子データは存在するものの、そのようなデータは個々の遷移波長の精度は低く、直接元素の同定には使えない。

そこで我々は理論計算による原子データを使用し、ラインの強さを系統的に計算することで、中性子星合体の放出物質において吸収線を作りうる元素を調べた。次に、吸収線を作る候補となる元素の理論原子データを実験データで較正して新しいラインリストを構築し、これを用いてキロノバの輻射輸送シミュレーションを行った。その結果、可視光域におけるストロンチウムに加え、ランタノイド元素であるランタンやセリウムが赤外線域で吸収線を作ることが明らかになった。講演ではこれらの結果を GW170817 の観測スペクトルと比較し、吸収線を使った元素量の制限について議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

W60a rプロセス元素を合成する磁気駆動型超新星の観測的特徴と観測可能性

長谷川樹、田中雅臣、齋藤晟、土本菜々恵 (東北大学)、西村信哉 (理化学研究所)、川口恭平 (東京大学)

近年、中性子星合体に付随してキロノバが観測されたことで、rプロセス元素の起源天体として中性子星合体が有力視されている。しかし、中性子星合体だけでは銀河の化学進化を説明できないという指摘があり、中性子星合体で合成される rプロセス元素の組成比もまだ明らかでないことから、中性子星合体は rプロセス元素の唯一の起源ではない可能性がある。そういった中で、起源天体の別の候補として考えられているのが、ニュートリノ加熱とは異なるメカニズムで爆発する特殊な超新星爆発である。その一つである磁気駆動型超新星は、近年の数値シミュレーションにより、rプロセス元素を合成する可能性があると予想されている (Nishimura et al. 2017)。

そこで本研究では、このような超新星の観測的特徴を詳らかにするために、Nishimura et al. (2017) で求められた rプロセス元素と ^{56}Ni の質量に基づいて磁気駆動型超新星をモデル化し、輻射輸送計算を行った。その結果、このような特殊な超新星は、主に2つの熱源によって光ることが明らかとなった。1つ目の熱源は、爆発時の衝撃波加熱によるエネルギーで、主に初期 (< 20 day) の電磁波放射に寄与する。この時、ionization front が光球面となり、II型超新星のように光度がほぼ一定になる。もう1つの熱源は、rプロセス元素や ^{56}Ni の放射性崩壊によるエネルギー供給で、主に後期 (> 20 day) の電磁波放射に寄与する。この後期の放射に関しては、磁場が弱いモデル (h, i-model) では、 ^{56}Ni の放射性崩壊が主なエネルギー源となる一方で、磁場が強いモデル (m-model) では、rプロセス元素の放射性崩壊によるエネルギー放出が主なエネルギー源となることがわかった。本講演では、このような超新星が、観測的な特徴から普通の超新星と区別できるかどうかについても議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

W61a 重力波に付随するニュートリノ信号の予言：コクーン光子の効果

松井理輝 (東北大学), 木村成生 (東北大学), 當真賢二 (東北大学)

GW170817 によって中性子星連星合体にはジェットが伴い、短い種族のガンマ線バースト (sGRB) が観測されることがわかったが、ジェットの生成機構や散逸領域の性質は明らかになっていない。多くの sGRB の X 線光度曲線では、100 秒から 1000 秒程度に渡って Extended Emission と呼ばれる前進衝撃波からの放射では説明できない成分が確認され、ジェットにエネルギーを与える中心エンジンが長期的に活動している証拠と考えられている。sGRB のジェットは中性子星連星合体で放出される物質の内部を伝播し、コクーンと呼ばれる構造を形成する。ジェットの継続時間が長い場合コクーンはジェットの散逸領域を覆い、コクーン内部を満たす光子がジェットの散逸領域に侵入することができる。そこで我々は、ジェット内部で加速された宇宙線とジェットに侵入するコクーン由来の光子の相互作用を考慮した上で生成されるニュートリノの放射量を計算し、IceCube および将来計画である IceCube-Gen2 による観測可能性を検討した。その結果、算出した観測確率はジェットのローレンツ因子に依存しないことがわかった。これは、ニュートリノ放射量はローレンツ因子に強く依存する、というジェット外部から侵入する光子を考慮しないモデルの結果とは異なる。また、約 10 年間観測することで重力波に付随するニュートリノが IceCube なら 95.4%、IceCube-Gen2 なら 99.7% の確率で検出できるということを示した。外部光子を考えないモデルの計算ではローレンツ因子とジェットの散逸半径という物理量が縮退していたが、本研究のモデルを用いることで、将来のニュートリノ観測によりジェットの散逸半径に対し厳しい制限を与えることができる。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

W62a massive スカラーテンソル理論における球対称重力崩壊計算

浅川直道, 関口雄一郎 (東邦大学)

一般相対性理論はこれまで多くの実験をクリアしている重力理論の標準理論であるが、宇宙の加速膨張の説明にはダークエネルギーが必要になり、重力場の量子化ができないなどの問題点もある。このような問題点の解決に向けた取り組みとして、一般相対性理論の拡張を考えることは重要である。本研究では拡張重力理論の中でも作用においてスカラー場と重力場の非最小結合を含むスカラーテンソル理論を扱う。スカラーテンソル理論では一般相対論では放射されないスカラー重力波の放射が可能であるため、スカラーテンソル理論の検証として重力波を用いることができる。

スカラーテンソル理論では自発的スカラー化と呼ばれる中性子星がスカラー場を強く纏う現象が存在する。これによりスカラー重力波の放射が強められるため、スカラー重力波観測の観点からも重要な現象である。自発的スカラー化の発生にはスカラー場と重力場の結合関数のパラメーターの値に依存し、パラメーターの値には連星パルサーの観測や Cassini 衛星を用いた実験から制限がかけられている。スカラー場が massless の場合では強い制限がかけられ自発的スカラー化が生じるパラメーター領域が狭められる一方で、massive な場合では制限が massless の場合よりも緩和され自発的スカラー化が生じるより広いパラメーター領域が許される。

そこで本研究では massive スカラーテンソル理論における球対称重力崩壊が計算可能な数値計算コードを構築した。コードの構築は Rosca-Mead et al. (2020) の手法を参考にして行った。構築したコードを用いてスカラー場のポテンシャルに質量項のみが追加された場合で、重力崩壊によって放射されるスカラー重力波について調べた。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

X01a 原始銀河団領域の星形成活動と 21cm シグナルの関係

秋葉健志, 矢島秀伸, 安部牧人 (筑波大学)

原始銀河団領域 (Proto-Cluster Region:PCR) では、初代星、初代銀河が形成されたと考えられている。それら初代天体が周囲のガスに及ぼした影響を調べることは銀河の進化や宇宙再電離など、その後の宇宙史の解明において重要である。21cm 線シグナルは、銀河間ガスの物理状態を反映するため、それらを探る強力なプローブとなる。近年 SKA を始めとした 21cm 線の観測計画が進められているが宇宙初期の天体形成には未解明な部分が多く、観測結果の解釈には理論モデルの構築が必要不可欠である。

本研究で、我々は FOREVER22 シミュレーション (Yajima et al. 2022) のデータを使用して 21cm 線シグナルを計算し星形成活動との関係を調べた。2021 年度春季年会では、PCR の星形成率と 21cm シグナルの関係や特徴について報告した。今回は新たに、計算時の銀河の SED モデリングにおいて、Sturburst99 を用いて星団の初期質量、金属量、年齢に基づいた SED を使用した。また得られたシグナルの 2Dmap のパワースペクトル解析を行なった。

本研究の結果から、PCR 内の星質量が $5 \times 10^8 M_{\odot}$ となる $z \sim 15$ では、シミュレーションボックスの中心面平均において、Wouthuysen-Field 結合定数 $x_{\alpha} \sim 1$ となることがわかった。この時 PCR の 21cm 線シグナルは -400mK 程度であり、本講演ではその観測可能性、また計算モデルや解析方法を紹介するとともにその他の銀河活動によるガスの温度への影響についての議論を紹介する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

X02a 原始銀河団シミュレーション：超遠方サブミリ波銀河の形成について

矢島秀伸, 安部牧人, 福島肇 (筑波大学)

近年のサブミリ波観測の目覚ましい発展により、赤方偏移 6 を超える多数の遠方銀河がサブミリ波帯で観測されるようになった。これら遠方サブミリ波銀河は、初期宇宙の星形成、重元素分布、ダストの性質が複雑に関係するため、その形成過程は未だよく分かっていない。我々は、大規模な宇宙論的流体計算によって、原始銀河団領域における大質量銀河のサブミリ波特性を調べた。計算は 714 Mpc のサイズの計算ボックスにおいて、10 の原始銀河団領域を同定し、ズームインシミュレーションによって高精度な流体シミュレーションを実行した。そして、多波長輻射輸送計算により、ダストによる減光、ダスト温度、ダスト熱放射について理論的にモデル化した。

結果として、赤方偏移 6 を超える初期宇宙においても、ハロー質量が 10 の 11 乗太陽質量を超えると、星の紫外線輻射の半分以上がダストによって吸収される事が分かった。これは、ハローの深い重力ポテンシャルにより、星のフィードバック下においても大量のガスと重元素が銀河中心付近に堆積するためである。我々は、シミュレーションからハロー質量とサブミリ波連続波の関係を調べ、ハロー質量関数と組み合わせる事で光度関数を導出した。結果として、約 0.1 mJy の感度で 1 立方ギガパーセク程度の領域をサーベイすれば、赤方偏移 10 を超えるサブミリ波銀河が検出出来る可能性を示唆した。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

X03a 初代銀河における星団形成シミュレーション

福島肇, 安部牧人, 矢島秀伸 (筑波大学)

宇宙で最初に形成される銀河である初代銀河は、その後の宇宙における天体形成を担うとともに、紫外線光による宇宙再電離を行うことで、銀河間ガスの進化にも影響を与える。近年の ALMA をはじめとする大型観測装置を用いた観測により、赤方偏移 10 に迫る、もしくは超える天体が発見されつつあり (e.g., Hashimoto et al. 2018, Harikane et al. 2022)、更に JWST による初代銀河の形成現場の直接観測が目前に控えている状況となっている。

そこで本研究では、今後発見が期待される初代銀河内部における星・星団形成について、輻射流体シミュレーションを用いて明らかにする。ここでは、初代銀河形成シミュレーション (Abe et al. 2021) から得られたガス雲を初期条件として、星団形成シミュレーションを行った。星団形成については、適合格子細分化法を用いた流体コードである SFUMATO (Matsumoto 2007) に輻射輸送計算を実装したコードを用いる (Fukushima & Yajima 2021)。結果として、大質量星による超新星爆発が起きる前の 3 Myr 以下の短時間で、電離フィードバックによりガス雲は蒸発し、星形成が抑制されることが判明した。この際、多くの星はガス蒸発に伴い重力的に束縛されないために、星密度の低い散開星団に相当するような星団が誕生することも判明した。また、形成される星団質量は $10^3 - 10^4 M_{\odot}$ となる。講演では、更に星団の性質について詳細に紹介するとともに、観測的特徴についても議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

X04a The Formation of Pop III Star Clusters under UV radiation

Oerd Xhemollari, Hidenobu Yajima, Makito Abe (University of Tsukuba)

The first stars, the “culprits” for the vanishing of the dark universe, are believed to have emerged in minihaloes of masses $\sim 10^6 M_{\odot}$, when the Universe was a relatively simple environment. With their birth, life, and death, their influence manifests as radiation feedback (internal and external), supernovae explosions, dynamical, and metal enrichment, among many more. This work aims to look into star formation, and related processes to galaxy formation, under a low-moderate external feedback. The Lyman-Werner (LW) radiation is responsible for destroying the hydrogen molecules, which are crucial for an efficient cooling in the early Universe, thus affecting directly star formation. The smoothed particle hydrodynamic (SPH)/N-body code GADGET-3 is used to conduct the simulations, with a spatial resolution of $\sim 40 - 50$ comoving pc, SPH particle mass $\sim 12 h^{-1} M_{\odot}$, and dark matter particle mass $\sim 67 h^{-1} M_{\odot}$, of halo masses of $\sim 10^8 h^{-1} M_{\odot}$. The conducted simulations resolve minihaloes and follow galaxy formation until redshift $z = 9$, in which different values of LW radiation are implemented. The relation between star formation, collapsing halo mass and UV strength is investigated. Results reveal that star formation is more effectively suppressed when radiation is stronger, accumulating more mass while delaying the collapse, and leading to the formation of larger and more concentrated structures. The collapsing mass increases with the UV background. If the physical quantities are of values within the observability limitations of current and future missions, then these structures and scenarios might provide a fairly good interpretation of what will be witnessed.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

X05a 赤方偏移 9.1 の銀河 MACS1149-JD1 の ALMA 高空間分解能観測と回転運動解析

徳岡剛史, 井上昭雄 (早稲田大学), 橋本拓也 (筑波大学), Richard S. Ellis (University College London), Nicolas Laporte (University of Cambridge), 菅原悠馬 (早稲田大学), 松尾宏 (国立天文台), 田村陽一 (名古屋大学), 札本佳伸 (早稲田大学), 森脇可奈 (東京大学), Guido Roberts-Borsani (UCLA), 清水一紘 (四国学院大学), 山中郷史 (鳥羽高専), 吉田直紀 (東京大学), Erik Zackrisson (Uppsala University), Wei Zheng (Johns Hopkins University)

銀河形成過程の理解において、形成途上の銀河の構造や、その中でのガスや恒星の運動状態を調べることは重要である。ALMA 望遠鏡により、遠方宇宙の銀河を空間分解したガスの運動学解析が可能になってきた。私たちは、最遠方銀河の一つである、赤方偏移 9.1 の銀河 MACS1149-JD1 の [O III] 88 μm 輝線を ALMA で観測し、重力レンズ効果を補正した source plane での解像度約 0.3 kpc のデータを得た。[O III] 輝線はきれいな速度勾配を示し、最大速度差と輝線幅の比 $\Delta V_{\text{obs}}/2\sigma_{\text{tot}} = 0.84 \pm 0.23$ は、回転運動の経験的基準である 0.4 (Förster Schreiber et al. 2009) を上回っている。次に、指数関数的面密度分布で幾何学的に薄い自己重力回転円盤の解析解 (Freeman 1970) と重力レンズ効果を仮定して、3次元データキューブをモデル化するプログラム (徳岡他 2021 年春季年会 X25a, 菅原他 本年会) を用いて、回転速度と速度分散の比 $V_{\text{rot}}/\sigma_V = 0.67^{+0.73}_{-0.26}$ を得た。この場合も、回転運動が卓越する基準である 1 を超える解も許された。 V_{rot}/σ_V の値は、これまでに報告された赤方偏移 6 までの、平均的な V_{rot}/σ_V が低下していく進化の延長線上にある。また、得られた力学質量 $0.65^{+1.37}_{-0.40} \times 10^9 M_{\odot}$ は、スペクトルエネルギー分布に見られる Balmer break から推定された、年齢 3 億年の成熟した恒星種族の質量と整合的である。したがって、MACS1149-JD1 は、成熟した恒星種族の重力に支配された回転円盤銀河の可能性がある。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

X06a Tokult—重力レンズ効果を受けた銀河の回転運動解析コード

菅原悠馬 (国立天文台/早稲田大学), 徳岡剛史, 井上昭雄 (早稲田大学), 札本佳伸 (国立天文台/早稲田大学), 橋本拓也 (筑波大学), 田村陽一 (名古屋大学)

高赤方偏移銀河の運動解析は銀河の形成進化過程を探るうえで重要な情報の一つである。ALMA 望遠鏡は、その高い感度・角度分解能・周波数分解能により、赤方偏移 $z \gtrsim 4$ における銀河の運動解析を可能にした。さらに、もし銀河が強い重力レンズ効果を受けていれば天体の座標系 (source plane) において達成される角度分解能は数倍から数十倍となり、銀河の運動解析に大きく役立つ。こうした重力レンズ効果を ALMA データの運動解析に取り入れるため、我々は新たに回転円盤モデルのフィッティングコード Tokult を開発した。このコードは source plane 上において円盤モデルを構築し、強い重力レンズ効果を正しく考慮して image plane 上の 3次元データにフィッティングすることができる。過去の年会では円盤モデルの基本設計と途中経過について報告した (徳岡他, 2021 年春季年会 X25a)。本講演では、Tokult のモデル設計とともに、前講演からの改良点を中心に報告する。Tokult では ALMA 望遠鏡で得られた天体の dirty image を観測データとして使用する。dirty image は dirty beam (点源拡散関数に相当) 程度のスケールで空間相関したノイズを含む。この空間相関を考慮して、ランダムノイズを dirty beam で畳み込むことで空間相関したノイズを作成し、それを元データに加えてフィッティングを繰り返すモンテカルロ的な誤差推定を採用した。今後は空間相関の影響をより軽減するため、モンテカルロ的な手法のほかに、uv-plane 上における visibility フィッティングへの拡張も検討している。Tokult は python 言語で書かれており、パブリックコードとして公開する予定である。講演ではその使用方法についても紹介する。本コードを実際の観測データに適用した結果については本年会の別講演を参照されたい (徳岡他, 本年会)。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

X07a Early Results from the GLASS JWST ERS Program

T. Morishita (Caltech/IPAC), G. Roberts-Borsani (UCLA), L. Yang (Kavli IPMU), T. Treu (UCLA), M. Bradac (University of Ljubljana), G. Brammer (DAWN), A. Fontana (INAF), A. Henry (STScI), C. Mason (DAWN), L. Pentericci (INAF), X. Wang (Caltech/IPAC), and the GLASS JWST ERS team

The James Webb Space Telescope (JWST) offers unprecedented sensitivities and spatial resolution in near- and mid-infrared wavelengths. Among nearly 300 science programs scheduled in Cycle 1, there are 13 programs that were pre-selected in a category called the Early Release Science (ERS). These programs are designed to advance the community's understanding and early use of data from this new observatory, and thus all data taken therein have been/will be released immediately without a proprietary period. The Grism Lens-Amplified Survey from Space (GLASS) is one of the ERS programs, targeting the Abell 2744 field, a massive cluster of galaxies at $z = 0.308$. In this presentation, we present the overview of our program and early results with the NIRISS and NIRCcam instruments, focusing on spectroscopic identification and characterization of $z > 7$ galaxies through gravitational lensing by the cluster and structural analyses of $z \sim 2-6$ galaxies in the parallel field. We will also introduce our efforts on making high-level science data products and inspection tools publicly available.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

X08b The updated measurements of [OIII] $88 \mu\text{m}$ and [CII] $158 \mu\text{m}$ emission from a $z = 7.212$ galaxy

Yi W. Ren, Yoshinobu Fudamoto, Akio K. Inoue, Yuma Sugahara, Tsuyoshi Tokuoka (Waseda U.) et al.

We updated the measurements of [OIII] $88 \mu\text{m}$ and [CII] $158 \mu\text{m}$ emission from a $z = 7.212$ galaxy, SXDF-NB1006-2. After combining ALMA Cycle 2 and Cycle 3 datasets of [OIII] emission, we obtained 5.8σ detection. After combining ALMA Cycle 1, Cycle 3, and Cycle 7 [CII] observations, we eventually obtained [CII] detection covering $3.3 \sigma - 4.5 \sigma$. We considered the Surface Brightness Dimming (SBD) effect and recovered the total [CII] flux by using the SBD correction factor estimated by Carniani et al. (2020). The obtained [OIII]/[CII] luminosity ratio is 6.2 ± 2.7 and 12.2 ± 7.3 in terms of 4.5σ and 3.3σ [CII] detection, respectively, which is consistent with the local dwarf galaxies and simulations within the large uncertainty. Besides, we compared the $L_{[\text{CII}]} / \text{SFR}$ ratio with that of local HII/starburst galaxies, $4 < z < 6$ star-forming galaxies from ALPINE survey, and $6 < z < 9$ galaxies with modified [CII] detection and corrected for the SBD effect. As a result, whether corrected for the SBD effect or not, none of our results is consistent with the samples mentioned above. This may indicate the non-universality of the [CII]/SFR relation, but it is also possibly due to an overestimation of SFR obtained by SED fitting, and we expect the future observation of JWST could solve this problem.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

X09b 高赤方偏移銀河のダスト温度推定：ALMA 単波長の観測による経済的手法

札本佳伸 (早稲田大学・国立天文台), 井上昭雄 (早稲田大学), 菅原悠馬 (早稲田大学・国立天文台)

ALMA 望遠鏡によって、高赤方偏移に存在する星形成メインシーケンス銀河からの遠赤外線放射の観測が可能となった。これにより、遠方銀河のダストに隠された星形成活動やダスト質量の観測的研究が急速に進んでいる (e.g., Hodge & da Cunha 2020)。しかしながら、研究に必要な遠赤外線光度の推定には、ALMA 望遠鏡 1 バンドの観測から得られる単波長のフラックスに対して銀河の遠赤外線 Spectral Energy Distribution (SED) を仮定して行うことが典型的な手法となっている。この遠赤外線 SED は、赤方偏移 4 以下の銀河に対しては多波長観測データのスタッキング解析により研究が進められてきた一方で、高赤方偏移銀河に対して直接遠赤外線 SED を制限することは多大な ALMA 望遠鏡の観測時間が必要であり数少ない例しか未だ存在しない (e.g., Sugahara+2021)。一方で、遠赤外線 SED (=主にダスト温度) を仮定することは、導出される赤外線光度やダスト質量に大きな系統的不定性をもたらしている。Inoue+2020 において初めて、アルマ望遠鏡による単波長観測から正確なダスト温度を導出するという、極めて短い観測時間で遠赤外線 SED を制限する方法が考案された。今回、我々は Inoue+2020 において考案された手法を、アルマ望遠鏡による多波長観測が行われている高赤方偏移銀河に対して適用し、遠赤方偏移銀河におけるダストと星の間の空間分布モデルの較正を行った。この較正されたモデルを用いることで、銀河の (1) 赤方偏移、(2) 紫外線光度、(3) ダスト放射のサイズ、(4) ダスト放射の単波長フラックスの 4 つの観測量から、高赤方偏移銀河におけるダスト温度・遠赤外線光度の導出が可能である。これは、ALMA 望遠鏡による多波長観測を必要としない経済的な手法であり、多数の銀河サンプルへの適用が期待できる。本発表ではその手法の紹介と不定性、そして将来的な観測可能性について議論を行う。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

X10b ALMA Lensing Cluster Survey: Full SED Analysis of Distant Galaxies Detected by Millimeter Observation

植松亮祐, 上田佳宏 (京都大学), 河野孝太郎 (東京大学), 鳥羽儀樹 (NAOJ), 山田智史 (RIKEN), 藤本征史 (コペンハーゲン大学), 廿日出文洋 (東京大学), 梅畑豪紀 (名古屋大学), and ALCS collaboration

銀河進化の歴史を理解する上で、近傍から遠方に渡る星形成が活発な銀河の調査が重要である。特に遠方宇宙 ($z = 0.5-6$) では銀河の星形成率が近傍宇宙よりも大きく、その調査は極めて重要である。電波干渉計 ALMA は星形成の激しい遠方銀河の調査に最適である。なぜなら、星形成の激しい遠方銀河では負の K-補正によりサブミリ波帯での観測が有利となるためである。また、ALMA はサブミリ波帯で非常に高い角度分解能を持つため、個々の銀河について信頼性の高い同定が可能という利点も持つ。そこで、我々のチームは ALMA/Cycle6 において、重力レンズ効果の受けた領域を対象とした深サーベイを行った (ALMA Lensing Cluster Survey; ALCS, 藤本他、本年会)。このサーベイは約 134 平方分の領域を $\sim 70 \mu\text{Jy}$ (1.2 mm, 1σ) の深さでカバーしており、100 個以上の電波源 ($>5\sigma$) を検出している。本研究では、ALCS で観測された銀河 (ALCS 天体) について、可視光から電波までの幅広い観測データ (HST, Spitzer, Herschel) を用いて多波長 SED 解析を行った。解析にあたっては、多波長 SED 解析コード: CIGALE を使用した。その結果、ALCS 天体は銀河の主系列と同様の傾向を示すものの、“starburst-like” な特性を持つものを多く含むことがわかった。また、ALCS 天体には IRX ($= \log L_{\text{IR}}/L_{\text{UV}}$) が 5 を超えるような極めて吸収の激しい銀河が存在することがわかった。本公演では、解析の詳細を示しつつ、上記に挙げた性質以外も含めて議論を行う。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

X11b 高赤方偏移電波銀河の分光追観測

山下拓時 (国立天文台)、WERGS コラボレーション

すばる望遠鏡 SSP データと VLA 電波カタログとから選出した 7 天体の高赤方偏移電波銀河候補に対して、我々はすばる望遠鏡 FOCAS による分光同定観測を実施した。本発表では、その観測結果について報告する。電波銀河はしばしば大質量銀河を母銀河とし、その放つ電波ジェットは銀河の星形成を抑制する機構の有力候補である。宇宙初期の急速な大質量銀河形成が始まった時代において、高赤方偏移の電波銀河がどれほど存在しどのように大質量銀河形成に関わったかを調べることは大質量銀河形成を理解する上で重要である。しかし同定されている高赤方偏移 $z > 4$ の電波銀河は 13 天体のみと少ないため、まずは天体数を増加させる必要がある。

我々はすばる望遠鏡 SSP サーベイデータと VLA FIRST 電波カタログとを組み合わせ、g バンド及び r バンドでライマンドロップアウトを示し電波放射をする高赤方偏移電波銀河候補を 14 個発見した。この内、7 天体に対してすばる望遠鏡 FOCAS を使い可視光分光観測を実施し、分光赤方偏移の決定を目指した。5 天体の検出に成功した。解析の結果、少なくとも 3 天体は目的である $z = 3 - 5$ の高赤方偏移天体であることが分かった。アーカイブ分光データから高赤方偏移天体であることが分かっている天体も含めると、少なくとも 6 天体が $z > 4$ 高赤方偏移電波銀河及び電波クエーサーであることが分かった。本発表では赤方偏移 $z = 4, 5$ における高赤方偏移電波銀河の数密度見積もりと低赤方偏移との比較についても議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

X12b A Wide and Deep Exploration of Radio Galaxies with Subaru HSC (WERGS): $z = 4.72$ の電波銀河周辺環境

内山 久和 (愛媛大), 山下 拓時 (国立天文台), 長尾 透, 鍛冶澤 賢, 松岡 良樹, 久保 真理子 (愛媛大), 小野 宜昭 (宇宙線研), 利川 潤 (Bath Univ.), 市川 幸平 (東北大), 川勝 望 (呉高専), 鳥羽 儀樹, 今西 昌俊 (国立天文台), 伊藤 慧 (東京大), 川口 俊宏 (尾道市立大), Chien-Hsiu Lee (NOIRLab), 斎藤 智樹 (兵庫県立大)

電波銀河の周辺環境を様々な時代で特徴づけることは銀河形成・進化を理解する上で重要である。しかし、 $z > 4$ の時代では電波銀河の希少性ならびに観測的な制限により、既知の電波銀河ならびに周辺銀河のサンプルが極端に少なく、電波銀河環境は全く分かっていないのが現状である。

本講演では、最近分光特定された $z = 4.72$ の時代にある高赤方偏移電波銀河「HSC J083913.17+011308.1 (HSC J0839+0113)」の周辺銀河数密度環境の調査結果を報告する。周辺数密度環境はすばる HSC 戦略観測枠の大規模データから抽出したライマンブレイク銀河サンプルを用いて定義する。結果として HSC J0839+0113 は、 4.7σ の有意性を持つ高密度領域に付随することを明らかにした。HSC J0839+0113 と高密度領域のピーク位置との射影距離は 0.4 pMpc で、この時代の典型的な原始銀河団のサイズより小さい。また、Extended Press Schechter ならびに Light cone のモデルにより、HSC J0839+0113 が付随する高密度領域は、 $z = 0$ において 80 % 以上の高い確率で $> 10^{14} M_{\odot}$ のハローに進化することが期待される。これらの結果は、HSC J0839+0113 が原始銀河団と関連していることを示唆する。この HSC J0839+0113 の系は、ライマンブレイク銀河を有する既知の原始銀河団と比べて最も高密度な領域であることが分かった。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

X13b UNIONS データに基づく赤方偏移 3 の電波銀河探査

井手亮太, 長尾透, 内山久和, 久保真理子, 山本優太 (愛媛大学)

銀河の中には、中心部の狭い領域から非常に強い電磁波を放射する活動銀河核 (AGN) をもつものが存在する。その中でも電波を強く放射する AGN を有する銀河を電波銀河という。電波銀河は一般には非常に大質量の銀河および超大質量ブラックホール (SMBH) への低い質量降着率で特徴づけられる。このため、電波銀河は銀河と SMBH の共進化シナリオの最終段階に対応すると考えられている。つまり遠方電波銀河の探査により宇宙初期における共進化シナリオの理解が深まることが期待される。しかし、現状では赤方偏移 $z=3$ を越す電波銀河は数十個程度しか発見されていないため、遠方電波銀河の統計的性質は未解明である。

そこで我々は、CFHT、Pan-STARRS、すばる HSC による可視サーベイを組み合わせた UNIONS サーベイのデータを用い、約 800 平方度に渡る $z=3$ の電波銀河探査とその性質の調査を行った。まず可視光撮像データを用いて、点源を除いてからライマンブレイク法を適用することにより、約 380 万個の u-dropout 銀河を選出した。更に VLA による広域電波サーベイである FIRST の 1.4 GHz データとマッチングし、314 個の $z=3$ の電波銀河候補を得た。今回の発表では、得られた電波銀河候補の統計的な性質について議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

X14b UV & Ly α halos around Ly α emitters at $z = 2.84$ across environments

菊田智史, 松田有一, 今西昌俊 (国立天文台), 井上茂樹 (北海道大学), Charles C. Steidel (Caltech), Renyue Cen (Princeton), Zheng Zheng (University of Utah), 百瀬莉恵子 (Carnegie), 小宮山裕 (法政大学)

Diffuse Ly α emission around galaxies, or Ly α halo (LAH), is a valuable probe of their circumgalactic medium which regulates galaxy evolution. We present UV & Ly α radial surface brightness (SB) profiles of Ly α emitters (LAEs) at $z = 2.84$ detected with the Hyper Suprime-Cam on the Subaru Telescope. The depth of our data, together with the wide field coverage including a protocluster, enable us to study the dependence of LAHs on various galaxy properties, including Mpc-scale environments. UV and Ly α images of 3490 LAEs are extracted, and stacking the images yields SB sensitivity of $\sim 1 \times 10^{-20}$ erg s $^{-1}$ cm $^{-2}$ arcsec $^{-2}$ in Ly α . Fitting of the two-component exponential function gives the scalelengths of 1.56 and 10.4 pkpc. Dividing the sample according to their photometric properties, we find that while the dependence of halo scalelength on environment outside of the protocluster core is not clear, LAEs in the central regions of protoclusters have very large LAHs and may be related to diffuse Ly α emission from abundant cool gas permeating the forming protocluster core irradiated by active members including a hyperluminous QSO. For the first time, we identify “UV halos” around bright LAEs which are probably due to a few lower-mass satellite galaxies. Through comparison with numerical simulations, we conclude that, while scattered Ly α photons from the host galaxies are the dominant contributor to LAHs, star formation in satellites evidently contributes significantly to LAHs, and that fluorescent Ly α emission may be boosted within protocluster cores at cosmic noon and/or near bright QSOs.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

X15b すばる望遠鏡 HSC データと SDSS クェーサーカタログを用いた $z = 0.3 - 1.0$ のクェーサー周辺環境の調査

柴田航平, 長尾透, 内山久和, 久保真理子 (愛媛大学)

銀河の中には、中心部の非常に狭い領域から銀河全体を凌駕するような強い放射をしているものがある。このような銀河中心部領域を活動銀河核といい、中でも特段放射が強い活動銀河核をクェーサーと呼ぶ。クェーサーの発現メカニズムの一つとしてガスが豊富な銀河同士の合体が提案されている (e.g., Hopkins et al. 2008) が、現状、観測的には確証が得られていない。クェーサーが銀河同士の合体により発現すると考えると、銀河の密集しているところにクェーサーが多く存在していると予想される。また、クェーサーの放射も銀河の密集しているところでは強く、更に、活動銀河核の中心に存在するブラックホール質量も大きいことが予想される。

こうした予想の妥当性を検証するため、本研究では、すばる望遠鏡 Hyper Suprime-Cam (HSC) データと Sloan Digital Sky Survey (SDSS) クェーサーカタログを用いて、約 $1,000 \text{ deg}^2$ に渡って $z = 0.3 - 1.0$ の 974 個のクェーサーの環境を統計的に調査した。手法として、着目天体から k 番目に近い銀河までの距離に基づいて銀河数密度を算出する k -近傍法を用い、クェーサー周りの一定以上の明るさを持った銀河の数密度を計測し、クェーサー自身の物理量 (絶対等級、ブラックホール質量) との相関を調べた。クェーサーは分光観測がされている為距離が決まっているが、銀河の多くは分光観測がされていないので測光赤方偏移 (Tanaka 2015; Tanaka et al. 2018) を用いている。結果としては、クェーサー周辺の銀河数密度とクェーサー自身の絶対等級、ブラックホール質量の間には強い相関は見られなかった。本講演では、具体的な結果や先行研究との関係について議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

X16b 中間赤方偏移における極端に大きな星形成率を示す銀河種族の探査

佐久間昂太, 秋山正幸, 市川幸平, 大金原, 福地輝, 赤澤拓海 (東北大), Xiaoyang Chen, 鳥羽儀樹, 寺尾航暉 (国立天文台), 小久保充 (プリンストン大), Abdurro'uf (ASIAA), 山村一誠 (JAXA), 川口俊宏 (尾道市立大), 野田博文 (大阪大)

星形成率が $500 \text{ M}_\odot \text{ yr}^{-1}$ を超える極端に大きな星形成率を示す銀河は、サブミリ波などでの探査により赤方偏移 1 を超える宇宙では多数見つかっているが、より小さい赤方偏移の宇宙ではほとんど見つかっていなかった。このような銀河は可視域で暗く、これまでの広域探査では見逃され、統計的に過小評価されている可能性がある。

本研究では、赤外線天文衛星「あかり」の全天探査で得られた遠赤外線カタログに可視光 SDSS および中間赤外線 WISE のカタログを組み合わせて、15,545 個の遠赤外線天体のカタログを構築した。そのうち約半分の天体については SDSS のスペクトルから分光的赤方偏移の情報が得られたが、残りの天体については測光的赤方偏移の情報のみであった。測光的赤方偏移の情報から大きい星形成率が示唆される 42 個の銀河について、私たちはせいめい望遠鏡 KOOLS-IFU を用いた追観測を行い、分光的赤方偏移を決定した。

遠赤外線銀河について、分光的及び測光的赤方偏移の情報に基づき、CIGALE を用いたスペクトルエネルギー分布フィッティングを行い、それぞれの星形成率の推定を行った。それらの星形成率は高いもので $\sim 3500 \text{ M}_\odot \text{ yr}^{-1}$ に達することが確認できた。また、同じ共動体積となる赤方偏移のビン ($0.1 < z < 0.4$, $0.4 \leq z < 0.51$, $0.51 \leq z < 0.62$) をとって星形成率の分布を比較したところ、低赤方偏移側において高い星形成率 ($> 500 \text{ M}_\odot \text{ yr}^{-1}$) を示す銀河の数が減少することが分かった。今回見つけた中間赤方偏移にある極端に大きな星形成率を示す銀河は、高赤方偏移で多く見られる同様の星形成活動の物理的なメカニズムを紐解く上で鍵となる可能性がある。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

X17b 連星種ブラックホールへの Bondi 降着と軌道進化

鈴木智也, 杉村和幸, 細川隆史 (京都大学), 松本倫明 (法政大学)

銀河中心には普遍的に $10^{6-10} M_{\odot}$ の超巨大質量 BH が存在する。観測により, $z = 6$ 程度の初期宇宙にもその存在が確認されているが (Yang et al. 2021), その形成過程は未だに解明されていない。

超巨大質量 BH の形成の有力なシナリオは, $10^{3-5} M_{\odot}$ 程度の種 BH がガス降着や合体によって成長することである。ガス降着については Inayoshi et al. (2016) の球対称 1 次元計算により, 高密度領域では輻射圧による臨界降着率を超えて, 球対称点源降着 (Bondi 降着) 的な降着が実現されることが示唆されている。このような超臨界降着は多次元の効果を考えても実現され得ることが示されている (Sugimura et al. 2017, 2018, Toyouchi et al. 2020, 2021 等)。この際, 種 BH 同士の合体も成長に寄与する可能性があるが, 種 BH 同士が連星をなしている場合を考えた研究は非常に限られている。Toyouchi et al. (2020) では, 動く種 BH への Bondi 降着が調べられており, 高密度領域においては種 BH が減速することが示唆されている。しかし, Toyouchi et al. (2020) の計算は単独の種 BH の場合を考えており, 連星軌道の Bondi 降着による振る舞いについては議論されていない。

本研究では, SFUMATO-RT (Matsumoto 2007, Sugimura et al. 2020) というコードを用い, 連星種 BH への Bondi 降着とそれによる軌道進化について調べた。まず, 円軌道に固定した連星軌道計算に Bondi 降着を実装し, 準定常状態になるまで計算した。Bondi 半径と連星間距離の比をパラメータとし, ガス降着率と種 BH に働くトルクを調べた。本講演ではこれらの結果を示し, ガス降着率のパラメータ依存性と, トルクから示唆される軌道進化のタイムスケールについて議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

X18b 量子コンピューターによる無衝突ボルツマン方程式の数値シミュレーション

山崎壮一郎 (東京大学), 内田経夫 (東京大学), 藤澤幸太郎 (東京大学), 吉田直紀 (東京大学)

銀河、銀河団、宇宙の大規模構造などのシミュレーション手法の一つに、無衝突ボルツマン方程式の数値シミュレーションが挙げられる。この手法は、従来から採用されてきた N 体シミュレーションにあった人工的な二体緩和や物理量に含まれるショットノイズなどの問題がなく、物質の動きを正確に追うことが可能である。しかし、無衝突ボルツマン方程式の数値シミュレーションは空間 3 次元 + 運動量 3 次元の 6 次元位相空間での数値シミュレーションをすることになるため、古典コンピューターでは計算資源に限界があり大規模なシミュレーションは行うことが不可能である。この限界を超える手段として量子コンピューターを用いた数値シミュレーション (Todorova & Steijl 2020) が提案されたが、空間依存のある力を扱うことはできず、実用性が低かった。

そこで、本研究では空間依存のある力の分布に対しての無衝突ボルツマン方程式の数値シミュレーションアルゴリズムを新しく提案する。この量子アルゴリズムでは古典的な場合に比べて、指数的に少ない空間計算量と改善された時間計算量でシミュレーションを行うことができる。Proof of Concept で古典コンピューターによるこの量子アルゴリズムのシミュレーションを計算可能な小さいケースで実行した結果、性能を評価するテスト問題の計算に成功した。将来的に十分な規模の量子コンピューターができた際には、この量子アルゴリズムを用いて大規模な無衝突ボルツマン方程式の数値シミュレーションを行うことが可能になる。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

X19b 分子雲の進化

前岡光明

水素分子は、近づき過ぎると互いに反発する。そんな水素分子がどうやって塊になったか？ 水素分子の分子雲は、「全体的な凝集力」でその形を維持する。そして、わずかな率だが「内部凝集」するので、中心に圧力がかかって中心塊が生まれる。では、微細な水素分子が、膨張する宇宙空間で、どうやって分子雲を形成するか？ ビッグバンから 37 万年後に水素が現れ、激しく分子運動していた。断熱膨張で空間温度が低下していく。そして水素分子の沸点を下回った瞬間、分子運動が静まり、水素分子はその密度を維持し分子雲になった。温度ばらつきがあったので、冷え切ったところから分子雲がまとまった。それで、無数の、巨大な「最初の分子雲」が生まれた。それから「最初の分子雲」は分裂、再編して、現在に至っている。「最初の分子雲」から「銀河分子雲」に再編する過程では、「膨張する宇宙空間の転向力」と「宇宙空間の独楽の原理」が働いた。分子雲は内部凝集して中心部が進化し、取り残されたのが「外層」である。星は分子雲の中心星として生まれる。銀河は巨大分子雲の中心で形成される。太陽は、オールドの雲（半径 1 光年）を「外層」とする「太陽系分子雲」の中心星である。天の川銀河は、ダークハロー（半径 30 万光年）を「外層」とする「天の川分子雲」の銀河である。銀河は「渦巻ベルト」（渦状腕）が中心に引き込まれなくなって出来る。そして、中心部に「新たに傾いた回転面」が出来やすい。天の川銀河では、3 キロパーセクの腕がある「新たに傾いた回転面」が、棒状に見える。そして「新たに傾いた回転面」の傾斜軸端の二本のベルトが最後まで引き込まれ、天の川銀河円盤は楕円形になる。レンズ状銀河は、合体銀河である。

[スケジュール\(セッション毎\)に戻る](#)

[スケジュール\(全体\)に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

X20c AMD 製 GPU・NVIDIA 製 GPU 両対応 direct N -body code の実装と性能評価

三木洋平, 埜敏博, 河合直聡, 星野哲也 (東京大学)

国内・海外を問わず今まで導入・運用されてきた GPU スパコンはそのほとんどが NVIDIA 製 GPU を搭載してきた。しかし、AMD 製 GPU を搭載した Frontier が 2022 年 6 月版の TOP500 リストにおいて 1 位を獲得し、また Intel 製 GPU を搭載するスパコンの導入予定が発表されるなど状況は変わりつつある。コード開発においても、これまでは NVIDIA 製 GPU が主な対象であったが、今後は NVIDIA 製 GPU, AMD 製 GPU, Intel 製 GPU の全てを念頭に置いたコード開発・最適化が重要になるだろう。AMD 社が提供する開発環境 HIP では、NVIDIA 製 GPU と AMD 製 GPU 両方で動作可能なコードを実装でき、なおかつ NVIDIA 製 GPU 専用の CUDA と同レベルの性能最適化も施せる。そこで本研究では、NVIDIA 製 GPU 向けに CUDA で実装された既存の N 体計算コードを、AMD 製 GPU 上でも動作可能となるように HIP に移植・最適化した上で性能評価を行った。

AMD 製 GPU である MI100 向けの性能最適化としては逆数平方根の計算に `_frsqrt_rn()` 命令を用いることが重要であり、最大 14.6 TFlop/s という高い演算性能を発揮した（相互作用あたりの浮動小数点演算数として単精度 22 Flops を仮定）。NVIDIA 製 GPU である A100 上では最大 14.5 TFlop/s であり、両 GPU の発揮した性能はほぼ同じであった。さらに A100 上で CUDA 版コードと HIP 版コードの性能差を測定したところ、性能差は存在しない、つまり HIP 実装によるオーバーヘッドは存在しないか十分に小さいということが分かった。また、より簡易な GPU コードの実装手法である OpenMP による GPU オフローディング版では、MI100 上では HIP コードの 72% 程度、A100 上では CUDA コードの 55% 程度の性能が得られた。

[スケジュール\(セッション毎\)に戻る](#)

[スケジュール\(全体\)に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

X21a How can we find them? : [OIII] 88 μm emission line and dust continuum observation of a dust-obscured galaxy at $z = 7.35$

札本佳伸 (早稲田大学・国立天文台), 井上昭雄 (早稲田大学), 菅原悠馬 (早稲田大学・国立天文台), 稲見華恵 (広島大学), H. S. B. Algera (広島大学・国立天文台), and REBELS collaboration

Over the past decades, rest-frame ultra-violet (UV) observations have revealed large samples of normal, star-forming galaxies during the epoch of reionization (EoR) at $z > 7$ using optical and near-infrared observatories (e.g., Madau&Dickinson 2014). Since UV light is highly susceptible to dust extinction, however, it is still a major open question whether heavily dust obscured systems are being missed in large numbers at early cosmic times (e.g., Casey+18). In Fudamoto+21, we reported the first discovery of two heavily dust-obscured, main-sequence galaxies in the EoR. These galaxies are not identified from their rest-UV to optical emission, and serendipitously found as companions of UV-bright massive galaxies using their bright [CII] 158 μm emission lines. In this talk, we report new results from the cycle-8 ALMA observation for one of the dusty galaxies: REBELS-12-2, that shows a bright [CII] emission at $z = 7.347$ and a tentative (2.8σ) dust continuum in the previous observation. In the Cycle-8 observation, we found a bright [OIII] 88 μm emission line that enables further investigation of gas properties, however we did not find dust continuum detection. REBELS12-2 has been so far significantly detected only by its bright FIR emission lines, but absent from continuum, except for the faint $\lesssim 3\sigma$ dust continuum. This suggests a miss-match between the galaxy's bright FIR emission line. We discuss properties of REBELS12-2, and implications for future galaxy surveys including JWST.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

X22a Big Three Dragons: Molecular Gas in a Bright Lyman-Break Galaxy at $z = 7.15$

橋本拓也¹, 井上昭雄², 菅原悠馬^{2,3}, 札本佳伸^{2,3}, 藤本征史⁴, Knudsen K. Kirsten⁵, 松尾宏³, 田村陽一⁶, 山中郷史⁷, 播金優一^{8,9}, 久野成夫¹, 小野宜昭⁸, Salak Dragan¹⁰. (所属先: ¹筑波大学, ²早稲田大学, ³NAOJ, ⁴コペンハーゲン大学/DAWN, ⁵チャルマース工科大学, ⁶名古屋大学, ⁷鳥羽商船高等専門学校, ⁸東京大学, ⁹ロンドンカレッジ大学, ¹⁰北海道大学)

We report ALMA Band 3 observations of CO(6-5), CO(7-6) and [C I](2-1) in B14-65666 (“Big Three Dragons”), one of the brightest Lyman-Break Galaxies at $z > 7$ in the rest-frame ultraviolet continuum, far-infrared continuum, and emission lines of [O III] 88 μm and [C II] 158 μm . None of CO(6-5), CO(7-6) and [C I](2-1) are detected, whose 3σ upper limits on the luminosities are about 50 times fainter than the [C II] luminosity. Based on three methods of i) [C II] luminosity and a [C II]-to- H_2 conversion factor reported in local metal-poor dwarf galaxies, ii) a dust mass and metallicity-dependent dust-to-gas mass ratio, and iii) a dynamical mass estimate, we obtain the molecular gas mass (M_{mol}) to be $(0.05 - 11) \times 10^{10} M_{\odot}$, which is consistent with its upper limit inferred from the non-detection of mid- J CO and [C I](2-1). Albeit with large uncertainty in M_{mol} , we estimate a high molecular gas-to-stellar mass ratio (μ_{gas}) of $0.65 - 140$ and a short gas depletion time (t_{dep}) of $2.5 - 550$ Myr, which are broadly consistent with extrapolations of μ_{gas} and t_{dep} as functions of redshift, specific-star formation rate, and stellar mass as reported in previous studies. The short t_{dep} partly reflects the starburst nature of the target, likely to be induced by a major-merger event. B14-65666 can be an ancestor of a passive galaxy at $z \gtrsim 4$ if no gas is fueled from outside the galaxy.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

X23a JWST-ALMA Joint Efforts on Calibrating Gas-Phase Metallicities of Star-Forming Galaxies at $z > 6$

播金優一 (東京大学)

Accurate measurements of gas-phase metallicities and stellar masses at $z > 6$ are crucial for understanding the formation and growth of early galaxies, but these measurements were not feasible with telescopes before JWST due to their limited sensitivities and wavelengths. In this talk, we will overview our JWST program (GO-1657: PI: Y. Harikane, co-PI: R. Sanders), which will take deep NIRSpec and MIRI IFU spectroscopy and NIRCам photometry targeting three galaxies at $z_{\text{spec}} = 6.0 - 7.2$ covered by ALMA [OIII]88 μm observations in order to derive gas-phase metallicities at $z > 6$ using the reliable direct electron temperature method. Although the direct method usually relies on temperature-sensitive auroral lines that are too faint to detect at $z > 6$, we will accomplish this goal by combining measures of the temperature-sensitive far-infrared fine structure line [OIII]88 μm (from ALMA) with rest-frame optical lines (H α , H β , [OIII]4959,5007, and density-sensitive [OII]3726,3729 from JWST). Combined with the stellar mass measurements from the NIRCам photometry, our program will deliver robust measures of the mass-metallicity relation to $z \sim 6 - 7$ along with accompanying constraints on dynamical and gas masses, ionization parameter, and ionizing spectral shape. Finally, we plan to discuss the prospects from this program and other JWST programs to constrain the physical properties of galaxies at $z > 6$ to understand early galaxy formation and the sources of cosmic reionization.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

X24a $z = 6 - 7$ Ly α 輝線天体の光度関数及び等価幅分布と宇宙再電離史への制限

梅田滉也 (東京大学), 大内正己 (国立天文台/東京大学), 小野宜昭, 播金優一 (東京大学), 澁谷隆俊 (北見工業大学), 他 HSC Project 85, CHORUS Project

宇宙を満たしていた中性水素 (HI) が $z = 5 - 6$ で全て電離された現象を宇宙再電離と呼び、大量の小質量銀河がゆつくりと (Finkelstein et al. 2019)、もしくは少数の大質量銀河が急激に HI ガスの電離を進めた場合 (Naidu et al. 2020) が考えられている。2つのシナリオを見分けるには宇宙再電離史を特徴づける HI 割合 x_{HI} を各 z で求める必要がある。Ly α 光子が HI ガスによる散乱を受け減光することを利用し、Ly α 輝線の観測から x_{HI} 値が推定でき、特に広範囲で大量に検出される Ly α 輝線天体 (LAE) の光度関数 (LF) を用いると精度の高い x_{HI} 推定が可能になる。一方、明るい LAE ほど個数密度が低くなり、また AGN などのコンタミネーションも混じるため、先行研究ごとに Ly α LF の明るい側でばらつき、 x_{HI} 推定値に系統誤差が生じる。本研究では Subaru/HSC による $z = 6 - 7$ 大規模 LAE 探査で得た測光データに基づき作成された最大規模の LAE サンプル (Ono et al. 2021) を用いて Ly α LF を求め、明るい側の個数密度に強い制限を与える。求めた Ly α LF をシェヒター関数でフィッティングした所、典型的光度 L^* と暗い側での傾き α は $z = 5.7(6.6)$ で $\log L^*/\text{erg s}^{-1} = 43.4(43.3)$ 、 $\alpha = -2.6(-2.9)$ となり、暗くなるにつれ個数密度が急激に増大し、 $z = 5.7 - 6.6$ にかけてより急峻になることを確かめた。また、Matthee et al. (2015) で報告された Ly α LF の明るい側での個数密度の超過は確認されなかった。さらに、LAE サンプルの $z = 5.7(6.6)$ での広狭帯域間の色 $i - \text{NB816}(z - \text{NB921})$ 分布を再現する Ly α 輝線の等価幅 (EW) 分布を指数分布 ($\propto \exp(-\text{EW}/W_0)$) に従うと仮定して求めた結果、 $W_0 \sim 80 - 120 \text{ \AA}$ と過去の研究と整合した値を得た。本講演では Ly α LF と EW 分布からそれぞれ求めた x_{HI} 値に基づき、宇宙再電離史シナリオを議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

X25a 準解析的モデルで探る高赤方偏移クエーサーの母銀河

大木平 (愛媛大学), 長島雅裕 (文教大学), 川口俊宏 (尾道市立大学), 岡本崇 (北海道大学), 榎基宏 (東京経済大学), 小倉和幸 (呉高専), 白方光 (株式会社 タダノ), ν^2 GC collaboration

クエーサーの母銀河の性質 (光度、星質量、星形成率、形態等) を明らかにすることは、銀河と超巨大ブラックホールの共進化仮説を検証する上で重要である。クエーサーからの光が銀河全体の光を圧倒するため、母銀河の観測は困難であるが、今後 JWST の高分解能観測によりクエーサーの母銀河について新たな知見が得られると期待される。そこで我々は、超大規模宇宙論的 N 体シミュレーション Uchuu simulation をベースとした準解析的銀河・AGN モデル Uchuu- ν^2 GC を用いて、高赤方偏移 ($z \sim 6-7$) クエーサーの母銀河の性質を調べた。このモデルは、Uchuu simulation の広い計算領域 ($(2\text{Gpc}/h)^3$) により、大規模なモデル銀河・AGN サンプルを得ることが可能である。我々のモデルは、スターバースト時に銀河の UV 放射が強くダスト減光を受けると仮定することにより、銀河と AGN の UV 光度関数をともに再現することに成功している。

モデルの結果から、クエーサーの光度に関わらず、クエーサーの母銀河は UV 等級にして 2-3 等ほど減光を受けていることがわかった。また、低光度クエーサー ($-22 \text{ mag} > M_{1450} > -24 \text{ mag}$) では、AGN を上回る UV 光度をもつ銀河が 1 割程度存在することがわかった。母銀河の星質量は $\log(M_{\text{star}} / M_{\odot}) = 9.8 \pm 0.3$ 、星形成率は $\log(\text{SFR} / M_{\odot} \text{ yr}^{-1}) = 1.8 \pm 0.3$ であり、クエーサー光度に大きく依存しない (値はそれぞれ中央値、16, 84 パーセントイル)。バルジ-全光度比 B/T は $B/T = 0.85 \pm 0.1$ であるが、低光度クエーサーでは $B/T < 0.5$ の種族が多数存在する。母銀河の星質量-星形成率関係の中央値は AGN を持たない銀河とほとんど違いがない。これらの結果を示し、母銀河観測によってモデルを制限する可能性について議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

X26a $z \sim 6$ におけるクエーサーのダークマターハロー質量に対する観測的制限

有田淳也, 柏川伸成 (東京大学), 松岡良樹 (愛媛大学), Wanqiu He (国立天文台), 伊藤慧 (東京大学), Yongming Liang (総合研究大学院大学/国立天文台), 石本梨花子, 吉岡岳洋, 武田佳大 (東京大学), SHELLQs Team

銀河とその中心にあるブラックホールの質量は常に正の相関を持ち、共進化という名で知られているが、その成因についてはわかっていない。共進化の理解においてクエーサーから母銀河へのフィードバックは重要であり、ダークマターハロー (DMH) の質量は高赤方偏移で知ることができる母銀河の重要な特性の 1 つであるとともに、そのモデルの検証に利用できる物理量である。DMH の質量を推定するための有用な手法にクラスタリング解析がある。しかし、クエーサーのクラスタリング解析は十分な数密度でクエーサーが検出されている $z < 4$ に限られており、それ以遠の宇宙では DMH の質量の制限には至っていなかった。我々はすばる望遠鏡の HSC を用いた高赤方偏移クエーサー探査プロジェクト (Subaru High- z Exploration of Low-Luminosity Quasars : SHELLQs) による $z \sim 6$ におけるクエーサーの大規模サンプルが十分な数密度に達していることに着目し、初めてクラスタリング解析を行った。

本研究では SHELLQs で検出されたクエーサーに加え、SDSS で検出された $z \sim 6$ のクエーサーを用いてクラスタリング解析を行い、クエーサーが非常に質量の大きい DMH に存在するという結果が得られた。本講演では解析と結果の詳細を示し、低赤方偏移の結果と比較するとともに示唆されるクエーサーのフィードバックモデルなどについて議論を行う。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

X27a IGM の光学的厚みと LAE 密度の関係から探る宇宙再電離非一様性の起源

石本梨花子, 柏川伸成 (東京大学), 柏野大地 (名古屋大学), 伊藤慧 (東京大学), Yongming Liang (総合研究大学院大学/国立天文台), Zheng Cai (Tsinghua Univ.), 吉岡岳洋, 武田佳大 (東京大学), 大越克也 (東京理科大学), 三澤透 (信州大学), 尾上匡房 (北京大学), 内山久和 (愛媛大学)

高赤方偏移のキューサーで測定される視線上の銀河間物質のライマン α の光学的厚み (τ_{eff}) は、 $z > 5.5$ で分散が大きくなるのが観測されており、宇宙再電離が非一様に進行していったことを示している。この τ_{eff} の分散はガス密度のゆらぎのみでは説明できないことがわかっており、光学的厚みの空間揺らぎを増幅する要因として、UV 背景光のゆらぎ、あるいは銀河間物質のガス温度のゆらぎが挙げられている。UV 背景光が原因の場合は中性度と銀河密度は負の相関を、ガス温度が原因の場合は正の相関をとるため、極端な τ_{eff} が観測された場所での銀河密度を調べることで、この2つの原因のどちらが支配的であるかを区別することができる。しかしながら、このような観測は過去に高 τ_{eff} のキューサー視線2領域についてしか行われていない (Becker et al. 2018, Kashino et al. 2020, Christenson et al., 2021)。本研究では、 $z \sim 5.7$ において $\tau_{\text{eff}} \sim 5.5$ の高 τ_{eff} をもつ1領域と $\tau_{\text{eff}} \sim 3$ の低 τ_{eff} をもつ2領域において、同時代のライマン α 輝線銀河 (LAE) の探査を行った。このような広範囲の τ_{eff} にわたって τ_{eff} -銀河密度関係を求めたのは本研究が初めてのものである。観測の結果、低 τ_{eff} の2領域のキューサー視線周囲では LAE が高密度に分布し、高 τ_{eff} 領域ではキューサー視線周囲で LAE が低密度であることがわかった。 τ_{eff} 測定やモデルの不定性を考慮する必要はあるものの、これらの結果から得られる τ_{eff} -銀河密度関係は、先行研究と同様に UV 背景光に原因のあるモデルを支持する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

X28a 深層学習を用いた HSC-SSP 測光観測データからの原始銀河団検出

武田佳大, 柏川伸成, 伊藤慧 (東京大学), 藤原研人 (LINE 株式会社), 利川潤 (Bath Univ.), Yongming Liang (総研大), 石本梨花子, 吉岡岳洋, 有田淳也 (東京大学), 久保真理子, 内山久和 (愛媛大学), HSC project 96

原始銀河団は、将来銀河団となる高赤方偏移にある高密度領域である。この領域では頻繁な銀河合体やガスの流入などによる銀河進化の促進が期待されており、銀河進化の環境依存性を理解する上で格好のターゲットである。しかし、これまでに発見されている原始銀河団の数は十分ではない。特に測光データのみから検出する場合は奥行き方向の距離推定に大きな誤差が伴うため、比較的低質量の原始銀河団の検出が難しいのが現状である。

本研究では、 N 次元点群を扱えるニューラルネットワークである PointNet (Qi et al. 2017) を用いて、 g -ドロップアウト銀河 ($z \sim 4$) の空間分布から原始銀河団候補を見つける新しい手法を紹介する。これまでは銀河の天球上の2次元表面密度のみから原始銀河団の検出を行っていたのに対し、本研究では各銀河の測光値から推定される点群の3次元分布とその推定誤差を使用した。本手法を PCcone (Araya-Araya et al. 2021) という準解析的モデルによるシミュレーションデータを用いて評価したところ、同じ純度で比較した場合、先行研究に比べて約15倍の原始銀河団のメンバ銀河候補を検出できることがわかった。これは比較的低質量な原始銀河団も検出できるようになり、原始銀河団の検出数が増加したと考えられる。近い将来、本手法を HSC-SSP DUD/Wide などの観測データに適用し、新たな原始銀河団サンプルを構築する予定である。また本研究は g -ドロップアウト銀河に限らず他のドロップアウト銀河にも応用可能であるため、広範な赤方偏移に渡る原始銀河団探査を進展させると期待される。これによってもたらされる原始銀河団銀河の性質や銀河進化の研究の展望についても議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

X29a 赤方偏移 4 における遠方電波銀河の探査と性質調査

山本 優太, 長尾 透, 久保 真理子, 内山 久和 (愛媛大学), 山下 拓時, 鳥羽 儀樹 (国立天文台), 登口 暁 (信州大学), 播金 優一, 小野 宜昭 (東京大学)

銀河中心部に存在する超巨大ブラックホールの質量と母銀河のバルジ質量との間に正の相関が見られることから、銀河と超巨大ブラックホールは共に進化した (共進化) と考えられている。特に、活動銀河核の中で電波を強く放射している電波銀河は共進化の最終段階であると考えられており、遠方電波銀河探査によって宇宙初期の共進化シナリオの理解が深まると期待されている。しかし、これまでの研究では赤方偏移 $z = 4$ を超す遠方電波銀河は十数天体しか見つかっていない。また、これまで行われてきた遠方電波銀河探査では、電波スペクトルの傾きを用いた方法が一般的であるが、この手法では特定の電波スペクトルにバイアスされた電波銀河しか選出できない。そこで我々は、電波のスペクトルにバイアスされない遠方電波銀河サンプルの構築、および遠方電波銀河の性質の解明を目的とした探査を行った。

本研究では、すばる望遠鏡の可視光広視野カメラ HSC による超広域深撮像観測プログラムである HSC-SSP サーベイのデータから得られた *g*-dropout ライマンブレイク銀河サンプルを使用した。この遠方銀河サンプルと VLA FIRST 電波広域サーベイのデータとマッチングさせることで、赤方偏移 4 程度の遠方電波銀河を探査した。その結果、遠方電波銀河の候補が 144 天体得られた。これらの遠方電波銀河候補の性質を調査するため、近赤外線データとして VIKING と UKIDSS 画像を参照し、中間赤外線データとして *un*WISE のカタログで検出された 26 天体に対し、X-CIGALE を用いた SED フィットを行った。その結果、8 天体については赤方偏移 4 程度の天体と整合的な SED と合致し、それらの天体は星質量が $10^{11} M_{\odot}$ を越す大質量の銀河であることが分かった。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

X30a A Possible Cluster of Massive Quiescent Galaxies at $z \sim 4$

田中賢幸, 小野寺仁人, 嶋川里澄 (国立天文台), Francesco Valentino, Sune Toft (DAWN)

大質量銀河の中には星形成活動を長期に渡って行っていないものがあり、その形成と進化は一つの大きな謎になっている。その謎に迫る一つの方法は、形成初期の大質量銀河を調べることで、我々の研究でも赤方偏移 4 を超える宇宙で星形成活動が抑制された銀河がすでにいることがわかってきた。

この謎にさらに挑むため、Keck/MOSFIRE による近赤外分光フォローアップ観測を SXDS 領域で行い、 $z = 3.99$ の銀河を分光確認した。この銀河は星形成率が低い典型的な post-starburst 銀河のスペクトルをしていて、推定された星形成史も 0.5Gyr 前にピークを持ち、その後急速に減衰している。興味深いことに、この銀河の周囲には複数の quiescent 銀河の候補があり、それらも同時に分光観測した。これらの銀河は非常に暗く、スペクトルから直接赤方偏移を測定することはできなかったが、スペクトルと測光データを組み合わせて高精度の測光的赤方偏移を測ると、ほとんどが $z \sim 4.0$ にあることがわかった。この赤方偏移で狭い領域に複数の大質量 quiescent 銀河がみられたことは今まで報告がない。個々の銀河の性質も含め、講演ではこの銀河団候補を議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

X31a The eROSITA Final Equatorial-Depth Survey (eFEDS): A multiwavelength view of WISE mid-infrared galaxies/active galactic nuclei

Yoshiki Toba (NAOJ), Teng Liu (MPE), Tanya Urrutia (AIP), Mara Salvato (MPE), Junyao Li (USTC), Yoshihiro Ueda (Kyoto Univ.), and eROSITA-HSC AGN collaboration

We present the physical properties of mid-IR galaxies/AGN at $z < 4$ in the 140 deg² fields observed by SRG/eROSITA using the PV phase program (eFEDS). By cross-matching the WISE 22 μm (W4)-detected sample and the eFEDS X-ray point-source catalog, we find that 693 objects are detected by eROSITA. We have compiled a multi-wavelength dataset extending from X-ray to far-IR wavelengths. We have also performed (i) an X-ray spectral analysis, (ii) SED fitting using X-CIGALE, (iii) 2D image-decomposition analysis using Subaru HSC images, and (iv) optical spectral fitting with QSFIT to investigate the AGN and host galaxy properties. For 7,707 WISE 22 μm objects that are undetected by eROSITA, we have performed an X-ray stacking analysis to examine the typical physical properties of these X-ray faint and probably obscured objects. We find that (i) 82% of the eFEDS-W4 sources are classified as X-ray AGN with $\log L_X > 42 \text{ erg s}^{-1}$; (ii) 67% and 24% of the objects have $\log(L_{\text{IR}}/L_{\odot}) > 12$ and 13, respectively; and (iii) the relationship between the Eddington ratio and N_{H} for the eFEDS-W4 sample and a comparison with a model prediction from a galaxy-merger simulation indicates that approximately 5.0% of the eFEDS-W4 sources in our sample are likely to be in an AGN-feedback phase, in which strong radiation pressure from the AGN blows out the surrounding material from the nuclear region (Toba et al. 2022, A&A, 661, A15).

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

X32a ALMA Lensing Cluster Survey: Deep 1.2 mm Number Counts and Infrared Luminosity Function at $z \simeq 1 - 8$

S. Fujimoto (DAWN), K. Kohno, M. Ouchi, B. Hatsukade, Y. Yoshimura (U. Tokyo), R. Uematsu, Y. Ueda (U. Kyoto), H. Umehata (U. Nagoya), and ALCS collaboration

We present a large statistics of 180 dust continuum sources blindly identified in ALMA Lensing Cluster Survey (ALCS). ALCS is a homogeneous 1.2-mm survey over a total of 133 arcmin² area from 33 lensing cluster fields, which enables us to identify rare objects including a faint dust emission from strongly ($\mu = 160$) and multiply lensed galaxy at $z = 6.07$. We derive 1.2-mm number counts down to $\simeq 7 \mu\text{Jy}$ with the assistance of gravitational lensing, and find that the total integrated 1.2mm flux of the securely identified sources is $21.2_{-1.5}^{+0.7} \text{ Jy deg}^{-2}$ which corresponds to $\sim 80\%$ of the cosmic infrared background light. However, we also find that the resolved fraction of the CIB can be changed by factors of $\sim \pm 2$, because the faint-end slope of the number counts depends on the intrinsic size distribution of the dust emission. In conjunction with recent identifications of serendipitous mm sources even at $z > 7$ in the literature, we also derive infrared (IR) luminosity functions (LFs) at $z = 0.6-7.5$ with the direct ($1/V_{\text{max}}$) method. We confirm recent reports of the redshift evolution of IR LFs characterized by the positive luminosity evolution coupled with negative density evolution. The total (=UV+IR) cosmic star-formation rate density (SFRD) at $z > 4$ is estimated to be $180_{-80}^{+50}\%$ of the previous results obtained with the optical-NIR galaxies, suggesting that our general understanding of the cosmic SFRD is unchanged by more than $\sim 2\text{x}$ even with the faint mm sources.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

X33a ALMA Lensing Cluster Survey: Nature of a lensed H-dropout galaxy at $z = 3.65$

辻田旭慶, 河野孝太郎, 廿日出文洋, 江草実美 (東京大学), Wei-Hao Wang (ASIAA), ALCS collaboration

ALMA の登場以降、宇宙初期の極端な (HyLIRG 級の) 爆発的星形成銀河種族だけでなく、より暗く ($S_{1.2\text{mm}} < 1\text{mJy}$)、すなわちより普遍的な星形成銀河の調査が進んでいる。近年、こういった暗い ALMA 天体の一部は強いダスト減光により HST による深い近赤外線撮像でも検出できず (H-dropout)、これまでの遠方銀河探査で見逃されてきた可能性が示唆されている。この種族は大質量銀河の形成初期の段階であると考えられておりその詳細な調査が重要であるが、観測の難しさ故、分光赤方偏移とそれに基づく物理量が測定できた天体はごく限られている。我々は、重力レンズ銀河団 33 領域での波長 1.2mm 帯探査 ALMA Lensing Cluster Survey (ALCS) のうち、MACS J0417.5-1154 領域で検出された H-dropout 天体の解析を行った。この天体は重力レンズ効果により 3 重像となっており、HST/WFC3 の近赤外線 F160W バンドでは未検出であった。ALMA cycle-8 での line scan 観測で CO(6-5) および (4-3) 回転輝線が検出され、分光赤方偏移は $z_{\text{CO}} = 3.652$ と確定した。glafic および lenstruction を使った重力レンズ解析によって、増光率は $\mu \sim 6$ 、また静止系遠赤外線 ($260\mu\text{m}$) の dust 放射領域はコンパクトである ($\sim 200\text{pc}$) ことがわかった。これは静止系可視域での減光量が星形成領域サイズのコンパクトさと相関するという、近年の示唆 (Smail et al. 2021) に整合する。また、Magellan/FourStar を用いた Ks-band 撮像観測を行い、波長 $2\mu\text{m}$ 帯での対応天体の検出に成功した。IRAC や Herschel/SPIRE、新たに観測した JCMT/SCUBA2 による $450\mu\text{m}$ と $850\mu\text{m}$ 帯、ALMA Band-3 (3.2mm 帯) も加え、近赤外線からミリ波までの多波長観測データと CIGALE を用いた SED フィッティングを行った。この結果、星質量 ($M_* \sim 10^{11} M_{\odot}$) および星形成率 ($\text{SFR} \sim 300 M_{\odot}\text{yr}^{-1}$) を求め、この H-dropout 銀河が、この時代の主系列銀河であることがわかった。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

X34a Molecular gas reservoirs within the cosmic web filaments at $z=3$

Hideki Umehata, Yoichi Tamura (Nagoya Univ.), Kotaro Kohno (Univ. of Tokyo), Kouichiro Nakanishi (NAOJ/SOKENDAI), Mariko Kubo (Ehime Univ.), and ADF22 team

Streams of cool gas along the intergalactic medium (IGM) filaments, dragged by gravity, are predicted to provide most of the gas required for the growth of galaxies and supermassive black holes (SMBHs). Molecular hydrogen is the fuel of star formation and hence observations of the molecular gas reservoir along the gas filaments is of huge importance to unveil how galaxies were formed and evolved in early cosmic times. ALMA Deep Field in SSA22 (ADF22), a $2' \times 3'$ region located in the core of the $z = 3.1$ SSA22 protocluster, hosts Ly α filaments on Mpc scales revealed by VLT/MUSE, and therefore provides an invaluable laboratory in the context. On top of the initial Band6 mosaic observations, co-spatial Band3 mosaic mapped CO(3-2) emission in the proto-cluster core. All of the sixteen brightest (1mm-selected) dusty star-forming galaxies (DSFGs) at $z = 3.09$ were detected in CO(3-2) with $L'_{\text{CO}(3-2)} = 0.7 - 7.5 [10^{10} \text{K km s}^{-1} \text{pc}^2]$, which have confirmed the existence of rich molecular gas reservoirs within the cosmic web filaments. While the luminosity ratios between IR and CO(3-2) are broadly consistent with DSFGs in general fields, some proto-cluster galaxies have relatively larger CO luminosity compared to IR luminosity, which may be attributed by the plentiful gas supply from the cosmic web.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

X35a Cosmological-Scale HI Distribution Around Galaxies and AGN Probed with Massive Spectroscopic Data

Dongsheng Sun(U. Tokyo), Masami Ouchi(NAOJ/U. Tokyo), Ken Mawatari(NAOJ), Yoshiaki Ono(U. Tokyo), Yechi Zhang(U. Tokyo), and HETDEX collaboration

We present 3-dimensional (3D) neutral hydrogen (HI) tomographic maps of cosmological-scale HI distributions at $z = 2 - 3$ over a total of 838 deg^2 in two blank fields that are traced by $\text{Ly}\alpha$ forest absorptions of 12,000 background SDSS quasars at $z = 2.08 - 3.68$. Using the 3D HI tomographic maps, we investigate the average cosmological-scale ($\gtrsim 10 \text{ cMpc}$) HI radial profiles and two-direction profiles of the line-of-sight (LoS) and transverse (TS) directions around galaxies and AGN at $z = 2 - 3$ identified by the Hobby Eberly Telescope Dark Energy eXperiment (HETDEX) and SDSS surveys, respectively. We find that the peak of the HI radial profile around the galaxies is lower than the one around AGN, suggesting that the dark-matter halo of AGN is more massive on average than the one of galaxies. We also find that the LoS profile of AGN is comparable with the theoretical prediction, and that the LoS profile is narrower than the TS profile, indicating the Kaiser effect. Moreover, there exists a weak HI absorption region in the LoS-profile at $\gtrsim 20 \text{ cMpc}$, which can be explained by the theoretical model with the combination of the radiation effect and the velocity gradient due to the matter infall. Although there is no significant dependence of AGN types (type 1 vs. type 2) on the HI profiles beyond the errors, we find that the peaks of the radial profiles anti-correlate with AGN luminosities, which suggest that quasars' ionization effects are stronger than the HI mass differences.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

X36a Black Hole - Galaxy Coevolution at Cosmic Noon Probed by HETDEX

Yechi Zhang, Masami Ouchi (UTokyo), Karl Gebhardt, Chenxu Liu (UT Austin), and HETDEX Collaboration

We investigate the coevolution of supermassive black holes (SMBHs) and their host galaxies with 43 type 1 AGN at $z=2-2.5$ that are spectroscopically confirmed by the un-targeted optical spectroscopic survey of Hobby-Eberly Telescope Dark Energy Experiment (HETDEX) via multiple broad ($\text{FWHM} > 1000 \text{ km s}^{-1}$) emission lines in conjunction with deep Subaru imaging data. Selected from a parent sample of 2126 HETDEX type 1 AGN that cover a wide range of absolute UV magnitude of $-27 \lesssim M_{\text{UV}} \lesssim -20$, our sources have black hole masses that are as small as $M_{\text{BH}} \sim 10^7 M_{\odot}$, which is 1 dex smaller than previous results at the similar redshift, allowing us to explore the stellar mass (M^*)- M_{BH} relations down to the low-mass end. Utilizing the archival UV to IR photometric data, we perform the host-nuclear decomposition and estimate M^* by SED fitting. Our results show a positive offset of M_{BH} above the local $M^* - M_{\text{BH}}$ relation, indicating SMBHs grow more efficiently at higher redshift. Comparing our results with different models from hydrodynamic simulations, we will discuss the impacts of feedback and seeding mechanisms on the growth of SMBHs and host galaxies during the early stage of their formation.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

X37a Properties of low-mass starburst H α emitters (Flash-HAEs) at $z \sim 2.3$ from broad-band selection

Nuo Chen (University of Tokyo), Kentaro Motohara (NAOJ, University of Tokyo), Lee Spitler (Macquarie University), Kimihiko Nakajima (NAOJ), Rieko Momose (Carnegie Observatories), Masahiro Konishi (University of Tokyo)

Recent studies reveal that low-mass galaxies at $z > 6$ are expected to be major contributors to cosmic reionization. Because of the observational limitation, a practical route to grasp the physical properties of these early galaxies is to undertake a detailed study on their lower-redshift analogs. We investigate the properties of ~ 1800 H α emitters (HAEs) at $z \sim 2.3$, selected from the flux excess in the ZFOURGE Ks broad-band data to the best-fit stellar continuum. A new population called low-mass starburst H α emitters (Flash-HAEs) is identified from their elevated SFR(H α) above the star formation main sequence (SFMS) in low-mass regime below $10^9 M_{\odot}$. The 306 Flash-HAEs in our work may be an analog population of the low-mass galaxies at the epoch of reionization. The hydrogen ionizing photon production efficiencies, ξ_{ion} , of the Flash-HAEs have a median value of $\log(\xi_{ion}/erg^{-1} Hz) = 25.18 \pm 0.16$, higher than that of the main sequence galaxies by ~ 0.2 dex at similar redshift. This indicates that the Flash-HAEs are more efficient in producing ionizing photons. We will further discuss physical properties of the Flash-HAEs with multiple rest-frame optical emission lines obtained from medium band filters. These new findings would provide implication to the low-mass galaxies at the epoch of reionization.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

X38a Search for extended Lyman- α nebulae around $>10k$ quasars at $z > 2$

Rhythm Shimakawa, Yongming Liang, Satoshi Kikuta (NAOJ), Rieko Momose (Carnegie Observatory), Haruka Kusakabe (University of Geneva), Tadayuki Kodama (Tohoku University)

Enormous Ly α nebulae (ELANe) around quasars have provided unique insights into the formation of massive galaxies and their associations with super-massive black holes since their discovery. However, their detection remains highly limited. We introduce a systematic search for extended Ly α emission around $>10k$ quasars at $z > 2$ using a simple but very effective broad-band selection (Shimakawa 2022) based on the data from the Hyper Suprime-Cam Subaru Strategic Program. Although the broad-band selection detects only bright Ly α emission ($> 1 \times 10^{-17} \text{ erg s}^{-1} \text{ cm}^{-2} \text{ arcsec}^{-2}$) compared with narrow-band imaging and integral field spectroscopy, we can apply this method to far more sources than such common approaches. As a result, we discovered extended Ly α emission for > 50 quasars in the Deep and Ultra-deep (35 deg^2) and Wide (890 deg^2) layers, some of which may be potential candidates of ELANe. We detected higher fractions of quasars with large nebulae around more luminous or radio-loud quasars, supporting results from previous observations for quasars at similar redshifts. Also we seemingly obtained more asymmetric nebulae from the lower redshift sample ($z \sim 2$).

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

X39a Field Variation in LAE-IGM HI Correlation at $z \approx 2$ Mapped by Subaru/HSC

Yongming Liang (SOKENDAI/NAOJ), Nobunari Kashikawa (Tokyo), Zheng Cai (Tsinghua), Xiaohui Fan (Steward), J. Xavier Prochaska (UCO/Lick), Kazuhiro Shimasaku (Tokyo), Masayuki Tanaka (NAOJ), other collaborators in HSC Project 399.

The correlation between neutral hydrogen (HI) in the intergalactic medium (IGM) and galaxies now attracts great interest. We have found a positive Ly α emitter (LAE) - IGM HI correlation based on a 5.4 deg² narrowband survey targeting IGM HI overdense regions (Liang et al., 2021). Compared with simulations, this relation provides us with an instructive probe to unveil pristine HI gas assembly and galaxy formation. Meanwhile, a specific field with significant SDSS/BOSS quasar overdensity also addresses the possible existence of field variation. Therefore, we extend the study to the latest $z = 2.2$ LAE catalog surveyed over the areas of ~ 20 deg² from the Subaru HSC-SSP (Ono et al., 2021) and additional HSC fields with the grouping quasars. With the larger sample, we derive the relations of the Ly α forest fluctuation as a function of LAE overdensity in various environments and find the slope of the relation is flatter in both general fields and quasar fields, being consistent with model predictions. However, the clustering strengths in the power-law fit for cross-correlation functions between LAEs and LoSs with high effective optical depth are comparable in all environments. The results suggest the LAE overdensity-IGM HI relation is steeper in regions with denser HI. Nevertheless, the gravitational potential of underlying halos still plays the dominant role in regulating the LAE-IGM HI correlation, while AGN feedback or exceeding HI may have secondary effects.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

X40a 原始銀河団領域での星形成・化学組成比進化

福島啓太, 長峯健太郎 (大阪大学), 清水一紘 (四国学院大学)

高赤方偏移 ($z \geq 2$) にて銀河団の前駆体と考えられている原始銀河団領域が見つかってきている。これらは特に高密度な領域であるため、周囲に比べ活発な星形成が起こると考えられており、宇宙の星形成率密度の 20% 以上を占めると示唆されている。活発な星形成により生まれた星々は、超新星爆発や Asymptotic Giant Branch (AGB) 星による重元素放出により重元素汚染を引き起こす。そのため原始銀河団領域では周囲に比べ金属量が高く、化学組成比の進化も早く進み、現在の銀河団ガスの重元素の 7 割程度が $z \gtrsim 1$ にて生成されると考えられている。

我々は、運動量フィードバックを考慮した超新星爆発モデルを取り入れた宇宙論的流体シミュレーションコード GADGET3-Osaka により、zoom-in 手法を用いて $10^{14-15} h^{-1} M_{\odot}$ の質量範囲の 4 つの原始銀河団形成の計算を $z = 0$ まで行った。これにより $z = 10$ の原始銀河団から現在の銀河団までの進化を継続的に議論出来るようになった。この際、化学進化ライブラリ CELib を用いて、II 型、Ia 型超新星爆発と AGB 星による重元素生成を流体計算と同時に解いた。原始銀河団領域の全星形成率は $z \sim 3$ で観測と同程度の $> 10^4 M_{\odot} \text{ yr}^{-1}$ に達し、金属量は $z \sim 2$ 以降でほとんど一定となり、銀河団ガスの重元素が高赤方偏移にて生成されたとするシナリオと整合的な結果が得られた。また、化学組成比進化を調べ、 $z \geq 2$ では II 型超新星爆発の影響が支配的であり、 $z \sim 2$ では Ia 型超新星爆発と AGB 星の効果により $d[\alpha/\text{Fe}]/d[\text{Fe}/\text{H}]$ が大きく変化することが分かった。本講演では、銀河団質量による星形成・化学組成比進化の違いについても議論を行う。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

X41a Bright Extragalactic ALMA Redshift Survey (BEARS) : Emission line properties of the bright *Herschel*-selected galaxies in South Galactic Pole

Masato Hagimoto, Tom J. L. C. Bakx, Yoichi Tamura (Nagoya University), George J. Bendo (University of Manchester), Stephen Serjeant, and Sheona A. Urquhart (Open University)

We present Atacama Large Millimeter/submillimeter Array (ALMA) Band 3 and 4 observations of 85 high-redshift 500 μm sources selected from the *Herschel* Astrophysical Terahertz Large Area Survey with the primary goal of identifying their spectroscopic redshifts. Through the use of CO, [C I], and/or H₂O (2₁₁ - 2₀₂) emission lines, we have determined reliable redshifts for 71 ALMA continuum sources out of a total of 142. Alternately, we measured spectroscopic redshifts of at least one source within 62 of the 85 targeted fields in our survey. Most of our targets exhibit the typical CO line ratios for submillimeter galaxies shown by Harrington et al. (2021). Interestingly, some multiple sources exhibit unusual line ratios, which is a potential indication of a rare galaxy phase. Using [C I] (³P₁ - ³P₀) as a tracer of molecular gas, we find that the Schmidt-Kennicutt law holds over five orders of magnitude in infrared luminosity. We also investigated the H₂O line to infrared luminosities ratio over three orders of magnitude in infrared luminosity and find that it does not favor the flat ratio indicated by previous works, suggesting that the H₂O line may be not a good tracer of star formation. Finally, we created a deep composite spectrum spanning 200 to 900 GHz at rest-frame frequencies.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

X42a Gemini/GNIRS を用いた blue-excess dust-obscured galaxies の近赤外線分光観測

登口暁 (信州大学), 長尾透, 久保真理子, 寺島雄一, 山本優太 (愛媛大学), 鳥羽儀樹, 寺尾航暉, 山下拓時 (国立天文台), 秋山正幸, 市川幸平 (東北大学), 藤本征史 (Cosmic Dawn Center), 泉琢磨 (東京都立大学), 小山舜平, 本原顕太郎 (東京大学), 大西響子 (チャルマース工科大学), 尾上匡房 (IPMU), Malte Schramm (千葉工業大学), 山中郷史 (鳥羽商船高等専門学校)

クエーサーの形成と進化についてはいまだに理解されていないが、一つのシナリオとして gas-rich major merger scenario がある。塵やガスを豊富に含んだ銀河同士が衝突合体を起こすことで、塵に覆われた活動銀河核の段階を経て塵が晴れることで、クエーサーになるとされている。これまで、塵が晴れるタイミングに相当するとされる blue-excess dust-obscured galaxies (BluDOGs) を発見し、可視光の分光観測結果は (1) C IV 輝線に blue tail が見られることから中心核に近いところにおいてアウトフローが見られる、(2) C IV 輝線から求められた超巨大ブラックホール質量 (M_{BH}) は $1.1 \times 10^8 M_{\odot}$ でありエディントン比が 1 以上であった。この結果は、BluDOGs が塵を晴らすタイミングであるというシナリオに矛盾しないが、(1) アウトフローに影響されやすい C IV 輝線を用いた M_{BH} の正確さ、(2) 母銀河スケールにアウトフローが到達しているかは不明であった。本研究では BluDOG 1 天体を Gemini/GNIRS を用いて分光し H β や [O III] のプロファイルを取得することで、 M_{BH} の再推定と母銀河スケールまで広がるアウトフローの有無について調査した。結果として、H β から推定された M_{BH} は $1.4 \times 10^8 M_{\odot}$ であり、C IV 輝線からの推定値よりわずかに大きいほぼ一致する結果であった。また、[O III] のプロファイルは blue tail を示し、母銀河スケールまでアウトフローが到達していることが確認できた。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

X43a Origin and evolution of dust-obscured galaxies in galaxy mergers

油谷直道 (鹿児島大学), 鳥羽儀樹 (国立天文台), 馬場俊介 (鹿児島大学), 和田桂一 (鹿児島大学)

銀河衝突後期において、可視で暗く赤外で明るい天体 dust-obscured galaxies (DOGs) が形成されると考えられている。DOGs は、赤方偏移 1~2 を中心に分布し、submillimeter galaxy (SMG) やクエーサーと深く関わっていると考えられており、銀河や AGN の進化において重要な天体である。DOGs は、星形成領域からの放射が支配的な Bump DOGs と、AGN からの放射が支配的な Power-law (PL) DOGs の 2 種族に大別でき、Bump DOGs から PL DOGs、そしてクエーサーへ遷移するという進化シナリオが提案されている (Dey et. al 2009)。

我々は N-body/SPH コード ASURA (Saitoh et. al 2008, 2009) による銀河衝突計算を基に、輻射輸送コード RADMC-3D (Dullemond et. al 2012) による赤外擬似観測を行い、Bump DOGs から PL DOGs への進化シナリオの検証を試みた。その結果、銀河衝突後期において Bump DOGs から PL DOGs への進化を確認し、DOGs の進化シナリオと整合的な結果を得た。しかし、ある視線方向で PL DOGs と観測される状態でも、円盤面に近い視線から観測すると、AGN からの放射が手前のより冷たいダストによって減衰されることで、Bump DOGs として観測されることも見出された。この結果は、Bump DOGs と PL DOGs の相互関係が進化段階の違いだけでは説明できないことを示唆する。(Yutani et. al 2022, submitted to ApJ)

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

X44a 時系列データで探る $z < 2$ のクエーサー進化と光度変動の関係

古澤 順子, 高田 唯史, 古澤 久徳 (国立天文台), 榎 基宏 (東京経済大学), 諸隈 智貴 (千葉工業大学)

我々は SDSS Stripe82 の各観測エポックの撮像天体カタログから生成した時系列カタログと同クエーサーカタログを用いてクエーサーの光度変動と進化の関係性について調査を行っている。準解析的銀河形成モデルが予想するクエーサーの物理量の分布と比較すると、ブラックホール質量の大きいクエーサーのうち変動値が比較的大きいグループは銀河相互作用が起因するブラックホール成長シナリオに、逆に変動値が小さいグループは銀河のディスク不安定性が起因するシナリオに近い傾向が見られることを、これまでに報告した。

今回、観測期間の条件を中心にデータをより厳密に見直すことでサンプル数を拡充した。この拡充したデータをもとにこれまでより詳細な調査を行うため、分光観測から得られている輝線の半値幅と変動値を入力としたクラスタリング手法を用いてサンプルのグルーピングを行った。その結果、変動値に対するエディントン比の分布に現れる 2 つのサンプル群をうまく分離でき、変動値の大小で分けただけでは追うことが難しかったより低赤方偏移側までのクエーサー進化の議論を可能とした。

分離したグループごとにブラックホール質量の増加に対する光度変動の変化の違いを追ったところ、異なる傾向が認められた。さらにブラックホール質量と bolometric luminosity の関係性を調べたところ、準解析的モデルの異なる成長シナリオが示唆する分布傾向の違いがグループ分けした両者にも現れることを $z < 2$ で確認できた。以上のことからクエーサーの光度変動性は、他の物理量と密接にかかわっており、クエーサーの物理的な成長過程を探る協力的なツールとなり得ることが示唆される。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

X45a ALMA observations of CO(6-5) emissions from a hyper-luminous infrared galaxy

Yuxing Zhong, Akio Inoue (Waseda University), Kana Morokuma (University of Tokyo), Yuma Sugahara (Waseda University), Kaneko Hiroyuki (Joetsu University of Education) et al.

As predicted by the hierarchical galaxy formation model, mergers represent an important phase through which massive galaxies gain their shapes and masses as seen in the nearby universe. To obtain clues to the connections between the star formation, AGN activities, and the merging galaxies, we have studied MRC 0152-209, a hyper-luminous infrared galaxy (HyLIRG) at $z = 1.92$, using archival ALMA Cycle 4 and 6 data on the CO(6-5) line and continuum emissions. This merger has a star formation rate (SFR) of $\sim 3000 M_{\odot} \text{ yr}^{-1}$ and total infrared luminosity of $2 \times 10^{13} L_{\odot}$. We find a high-excitation and high-velocity component west to the CO(6-5) line emission region of the north-west (NW) component that hosts a radio-loud AGN, indicating an AGN-driven outflow. The estimated molecular gas mass for the south-east (SE) component is $M_{\text{H}_2} \sim 9 \times 10^9 M_{\odot}$, which agrees with previous studies well but is concentrated in a bar-like structure elongated from SE to NW. Through the continuum emission, the high resolution (0.025") observation uncovers a radio source $\sim 0.1''$ west to the centroid of the SE component. This source coincides with the center of the radio emission observed in VLA 4, 8, and 45 GHz, suggesting an interaction between the AGN jet and the interstellar medium of the SE component. Considering the extremely high SFR, the expected gas depletion timescale is only of $\sim \text{tens} \times \text{Myr}$ for each component. These results suggest that this galaxy is transitioning from a starburst HyLIRG into a massive quiescent galaxy after exhausting its molecular gas reservoirs.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

X46a Detection of the anisotropic satellite galaxy quenching in clusters up to $z \sim 1$

Makoto Ando, Kazuhiro Shimasaku, Kei Ito, Takumi Tanaka, John D. Silverman, Suin Matsui (U.Tokyo), HSC Project 439 member

Satellite galaxies in the cluster environment are more likely to be quenched than galaxies in the general field through various physical mechanisms, e.g. ram pressure stripping, interaction and preprocessing. Recently, it has been reported that at $z < 0.1$, satellite galaxy quenching depends on the orientation relative to their central galaxies: satellites along the major axis of centrals are more likely to be quenched than those along the minor axis. This phenomenon, called “anisotropic quenching”, may provide clues to understanding how the cluster environment quenches satellites. However, there are too few studies to conclude its physical origins, and there are no conclusive detections of anisotropy at $z > 0.1$. This study aims to reveal whether anisotropic quenching is universal in the higher- z universe up to $z \sim 1$ and tackle its physical origins.

We use the latest version of the CAMIRA cluster catalog (Oguri et al. 2018), a large optically-selected cluster catalog derived from the Hyper Suprime-Cam Subaru Strategic Program. We calculate the quiescent satellite galaxy fraction as a function of orientation angle measured from the major axis of the central galaxies and find that the derived quiescent fraction at $0.25 < z < 1$ is reasonably fitted by the sinusoidal function, suggesting the existence of anisotropic quenching up to $z \sim 1$. We also find that the satellites are preferentially distributed along the major axis, implying the connection to the large-scale structure. Based on these results, we will discuss the physical origins of the detected anisotropy.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

X47a 光電離モデルを用いた強輝線銀河の電離光子脱出率の推定

藤谷愛美 (名古屋大学), 柏野大地 (名古屋大学), 竹内努 (名古屋大学, 統数研)

宇宙再電離とは、宇宙を満たしていた中性水素ガスが宇宙初期に形成された天体によって電離された現象である。再電離に必要な電離光子は銀河や活動銀河核 (AGN) といった天体から放射されたと考えられているため、初期の銀河がどの程度の電離光子を放出したのかを理解することは、宇宙再電離の過程を理解する上で重要である。しかし、再電離期の銀河が放射する電離光子の直接観測は銀河間ガスの高い中性度によって妨げられている。

そこで、本研究では Subaru/HSC-SSP 探査で発見された、極めて強い輝線を示す $z \sim 0.8$ の銀河を調査する。これらの銀河は宇宙再電離を引き起こした銀河と類似していると考えられ、再電離期の銀河の性質を調べるサンプルとして適している。我々は HSC z バンドで極端に明るい天体を 6 個選び、VLT/X-shooter を用いて深い分光観測を行い、静止系紫外線から近赤外線までの多数の輝線フラックスを測定した。6 天体のうち、5 天体は星形成銀河であり、1 天体は AGN の兆候が見られた。

我々は 5 つの星形成銀河に対して、光電離モデル Cloudy を用いて観測された輝線フラックス比の再現を行った。特にこれらの天体が示す高い $[\text{OIII}]\lambda 5007/[\text{OII}]\lambda 3727$ や MgII 二重輝線比は 10% 程度、あるいはそれ以上の高い電離光子脱出率を示唆する。このため本研究では有限の電離光子脱出率や電離領域の形状などもパラメータとして光電離モデルの計算を行った。本講演では、Cloudy による数値計算と観測との比較に基づいたガスの物理状態および電離スペクトルの強度・形状、電離光子脱出率の制限について報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

X48a 母銀河の広がった輝線領域からのミリ波熱制動放射観測を通じた AGN-銀河相互作用の研究

小麦真也 (工学院大学), 鳥羽儀樹 (国立天文台), 松岡良樹 (愛媛大学), 斉藤俊貴, 山下拓時 (国立天文台)

$z \sim 2$ における宇宙の活発な星形成活動からは、 $z \sim 0$ で多くの銀河のガスが枯渇し red and dead になっていることが予測されるが、これは近傍宇宙の観測と矛盾している。銀河進化の途上で効率的に星形成活動を止めるプロセスとして AGN からの hot/cold なアウトフロー以外に、AGN の輻射によって銀河のガスを直接、広範に電離するプロセスがある。Extended Emission Line Region (EELR) と呼ばれる、QSO によって直接的に電離された $[\text{OIII}]$ ガスが 10kpc 以上にも分布しているものが多く見つかっているが、可視分光観測では励起状態やダスト減光の影響によって電離ガスを形成する入射光子について定量的な議論が難しい。我々は超近傍 QSO の 3C273 を ALMA の Band3/6/7 で観測し、EELR に対応する領域でミリ波の連続波を検出した。他波長との比較からこれは熱制動放射であると判断された。熱制動放射はダストによる減光を受けず、放射プロセスが比較的単純であるため、EELR のエナジェティックスの推定が容易である。3C273 においては QSO の bolometric flux の 7% 以上が母銀河の ISM 電離に使われていることがわかった。今後、他の QSO に同様の手法を適用して EELR の電波対応天体探査を行う可能性についても議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

X49a The Missing Satellite Problem Outside of the Local Group: Statistical Properties of Satellites of Milky Way-like Galaxies

梨本真志 (東京大学), 田中賢幸 (国立天文台), 千葉柁司 (東北大学), 林航平 (一関工業高等専門学校/東北大学), 小宮山裕 (法政大学), 岡本崇 (北海道大学)

現代宇宙論の標準である Λ CDM モデルは宇宙の大局的な現象をよく説明する一方、小スケールでは観測と理論に不整合な点がある。その一つが Missing Satellite 問題であり、観測される天の川銀河の衛星銀河数が理論予想よりも桁で少ないことが指摘されている。そこで本研究では、観測的な検証が進む天の川銀河やアンドロメダ銀河以外の銀河を多数観測することで、Missing Satellite 問題を統計的に検証する。

局所銀河群外にある 7 つの天の川銀河に似た銀河に対して、Subaru/Hyper Suprime-Cam の画像データを用いて付随する衛星銀河の検出を行った。衛星銀河候補の選別には等級、表面輝度、セルシック指数、軸比、FWHM、表面輝度揺らぎを使用し、最終的に目視で擬検出天体を除去した。その結果、pilot 観測の結果を含め、9 個の銀河のビリアル半径内に 51 個の衛星銀河を検出した。これらの衛星銀河に対する平均光度関数は天の川銀河と整合する一方で、それぞれのホスト銀河の光度関数にはバラツキが大きく、ホスト銀河のハロー質量が大きいほど衛星銀河が多い傾向があることがわかった。衛星銀河のサイズと明るさの関係などの物理的な性質についても天の川銀河と同様である。一方で、衛星銀河の空間分布については天の川銀河と傾向が異なっており、局所銀河群の外にある銀河ではその分布に中心集中や整列の兆候は見られなかったが、天の川衛星銀河は中心により集中し著しい整列を示すことがわかった。このような傾向は天の川衛星銀河の特異性を表している可能性がある。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

X50a 宇宙論的 N 体シミュレーションデータから探るサブハローの分布と角運動量ベクトルの方向について

長船大樹, 和田桂一 (鹿児島大学), 石山智明 (千葉大学)

現在の標準的な構造形成モデルではダークマターハローの内部で銀河形成・進化が行われると考えられている。矮小銀河を覆う小さなハロー (サブハロー) は別の大きなハロー (ホストハロー) の内部に存在しており、サブハローの進化を調べる事は矮小銀河を理解することに繋がる。そこで我々はホストハローが与えるサブハローへの影響を調べる為、サブハローとホストハローの角運動量ベクトルのなす角 (Spin-Alignment) に着目した。本研究では、二つの宇宙論的 N 体シミュレーション Phi-4096 (Ishiyama et al. 2021) と ν^2 GC-S (Ishiyama et al. 2015) のデータを用いてホストハロー内部のサブハローの分布と Spin-Alignment の解析を行なった。Phi-4096 は $5 \times 10^3 h^{-1} M_{\odot}$ という高い質量分解能であり、 ν^2 GC-S はボックスサイズ $280 h^{-1} \text{Mpc}$ の広い領域に大量のハローが存在している。その為、二つのデータを用いて議論することで高分解能かつ統計的な議論をすることが可能となる。解析の結果として、サブハローの分布は先行研究 (Libeskind et al. 2013) などから示唆されるようにサブハローが降着する方向に偏りが見られた。また、Spin-Alignment はホストハローの中心部では一致、外縁部ではランダムに分布する傾向が見られた。本講演では、サブハローがホストハローに降着し中心へ落ちる過程と Spin-Alignment の関係性について議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

X51a 大質量銀河に付随するダークマターサブハロー同士の衝突頻度の解析

大滝恒輝, 数野優大, 森正夫 (筑波大学)

現在の標準的な銀河形成モデルである Cold Dark Matter に基づいた階層的構造形成論は、宇宙の大規模構造のような大スケールの観測的性質を再現できているが、銀河スケール以下の構造ではいくつかの矛盾が指摘されている。特に、天の川銀河サイズのダークマターハローに付随するサブハローの個数に関する理論的な予測と、天の川銀河内で観測された矮小銀河の個数が大きく異なることは、missing satellite 問題と呼ばれている。この問題に対し、ダークマターサブハローと銀河の衝突過程を観測することで、ダークマターサブハローの存在を見出す可能性がある。そのため、ダークマターサブハローと銀河の衝突頻度の定量的な解析が重要となる。さらに Otaki & Mori (2022) では、ダークマター欠乏銀河やダークマターを多く含む矮小銀河が、ダークマターサブハロー同士の衝突によって形成される条件を見出し、シミュレーションでそれらが形成されることを示した。したがって、ダークマターサブハロー同士の衝突頻度も missing satellite 問題を考えるためには非常に重要である。

本研究では、天の川銀河サイズの宿主ハロー内を運動するサブハロー同士の衝突頻度を、解析的手法と数値シミュレーションを用いて調査した。解析モデルでは、Navarro-Frenk-White プロファイル (Navarro, Frenk & White 1996) の密度分布を持つ宿主銀河の分布関数から、サブハロー間の相対運動の確率分布と衝突頻度を推定した。その結果、1 Gyr あたり数回程度の衝突現象が発生していることを示した。さらに、Ishiyama et al. (2021) の宇宙論的 N 体シミュレーションの結果をもとにサブハローの軌道をシミュレーションした。それらの衝突回数を測定することで、ダークマターサブハロー同士、銀河同士、ダークマターサブハロー・銀河の衝突回数を定量的に解析した。本発表では、解析モデルの詳細とシミュレーション結果との比較について詳しく報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

X52a 深層学習による超新星シェル膨張予測を用いた高解像度銀河形成シミュレーションの高速化

平島敬也, 森脇可奈, 藤井通子 (東京大学), 平居悠 (ノートルダム大学, 東北大学), 斎藤貴之, 牧野淳一郎 (神戸大学)

高分解能な銀河形成シミュレーションでは、 N 体/Smoothed particle hydrodynamics (SPH) 法や moving mesh 法/adaptive mesh refinement を用いて計算するが、現状のアルゴリズムでは、十分な並列化効率が達成できる並列度に限界がある。例えば、重力だけで相互作用する粒子 (ダークマター粒子と恒星粒子) と、流体力学相互作用する粒子 (SPH 粒子) の 3 種類の粒子を用いる N 体/SPH 法による Zoom-in シミュレーションでも 10^9 個程度の粒子で銀河を表しており、質量分解能は $10^3 M_{\odot}$ 程度に止まっている (Applebaum et al. 2021)。

我々は、 N 体/SPH 法を用いて、スーパーコンピュータ「富岳」上で銀河の個々の星まで分解した star-by-star シミュレーション・コードの開発を進めている。本コードは、階層化独立時間刻み幅法を採用するため、ごく一部のタイムスケールの短い現象 (超新星爆発など) の時間刻み幅だけ短くなり、粒子の演算・通信回数が数百倍に増大しボトルネックとなっている。本研究では、演算・通信回数を減らすため、銀河内の超新星爆発などの領域だけを短い時間刻みで計算する手法を試みる。その実現には、超新星爆発に加熱され時間刻みが短くなるシェル領域 (粒子) を事前に同定する必要がある。解析的手法は等方的な現象しか扱えないため、非等方的なシェル膨張を高速に予測するために、将来の映像を予測する深層学習モデル Memory-In-Memory Network (Wang et al. 2018) と画像処理を用いた粒子同定アルゴリズムを開発した。本講演では、開発した深層学習モデル・粒子同定アルゴリズムの様々な密度分布に対するロバスト性の分析結果と並列化実装の状況について報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

X53a 厳密なエネルギーの制限を課した超新星フィードバックの実装とその効果

岡本 崇 (北海道大学)

銀河の進化においては、超新星爆発による星間ガスの加熱（以下フィードバック）が重要な役割を果たすことが知られている。典型的な銀河形成シミュレーションや銀河スケールのシミュレーションにおいては、超新星残骸の断熱膨張期を分解できないため、超新星爆発のエネルギーを周囲のガスに熱として与えた場合、すぐに放射冷却でエネルギーが失われてしまい、ガスに十分に運動量を与えることができないことが知られている。そこで、1次元の点源爆発のシミュレーション結果などを利用して、周囲のガスに熱ではなく直接運動量を与えるような実装がとられることが多い。

しかし、超新星爆発を起こす星粒子周囲のガスの運動を考慮せずに運動量を与えた場合、与えたつもりの運動エネルギーよりもずっと大きな運動エネルギーを与えてしまうことがある。また、周囲のガスの運動を考慮した場合でも、1つのガス要素が複数の星から運動量を与えられた場合、そのガス要素が獲得する運動エネルギーは個々の星から与えられたものの和よりもはるかに大きなものになり得る。

そこで、今回、星粒子の周囲のガスの運動を考慮し、1つのフィードバックイベントが周囲のガスに与える運動エネルギーをコントロールする方法と、1つのガス要素が個々のフィードバックイベントから受け取った運動エネルギーの和と運動量の和をそれぞれ記録することで、最終的に増加する運動エネルギーが受け取った運動エネルギーの和と等しくなるように運動量の増分を補正する方法を実装した。この補正を行わないシミュレーションと比較した結果、補正を行わないとフィードバックの効果を過大評価すること、また、その影響は数値分解能に強く依存することが分かった。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

X54a Exploring the onset conditions of galactic winds in dwarf galaxies of the Local Group

松井瀬奈 (名古屋大学), 竹内努 (名古屋大学, 統数研)

The Local Group is a group of galaxies including the Milky Way. Most of the members are dwarf galaxies. Dwarf galaxies are considered to have evolved through a number of internal mechanisms and external processes. For example, internal mechanisms include star formation, stellar feedback from supernova explosions, and galactic winds. External processes include tidal effects and the influence of star formation by nearby massive galaxies. Dwarf spheroidal galaxies (dSphs), which are the main target of this study, are a class of galaxies with the lowest luminosities completely devoid of interstellar gas. Previous studies have suggested that the lack of interstellar gas is due in particular to the fact that some or most of the interstellar gas has been blown away by galactic winds in the past. Galactic winds are phenomena in which gas is partially or entirely blown away/out of a galaxy when a large number of supernova explosions occur in a short period of time. In this study, the timing of the onset of the galactic wind is calculated from multiple approaches using observed data, compared with the star formation history, and discussed. The results show that galactic winds blew away/out in many dwarf galaxies, and that star formation was temporarily or almost completely stopped. However, there were some dwarf galaxies for which no galactic wind was supposed to have blown, depending on the assumed conditions. In addition, a comparison with several galactic wind models and the relationship with the tidal effects due to the Milky Way gravitational potential will be discussed.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

X55a 機械学習で探る極金属欠乏銀河

西垣萌香 (総合研究大学院大学), 大内正己 (国立天文台/東京大学), 中島王彦 (国立天文台), 磯部優樹 (東京大学), Michael Rauch, Fakhri Zahedy (カーネギー天文台), HSC Project 251 Team

現在の宇宙において銀河がどこまで低い金属量を持ちうるかを明らかにすることは、銀河形成の初期段階を理解するのに重要である。これまでに観測された近傍銀河の金属量には、 $Z \simeq 2\%Z_{\odot}$ に付近に下限値があるが、これが観測の等級限界によるものなのか、本当に下限値が存在するのかはわかっていない。そこで我々は、金属量が太陽金属量の 10%未満の銀河 (極金属欠乏銀河) を見つけるために、機械学習を用いた選択手法を開発し、SDSS DR17 の撮像データのおよそ 570,000 天体から、極金属欠乏銀河の候補をおよそ 700 天体選択した。この手法では、極金属欠乏銀河の特徴である、非常に強い $H\alpha$ 、 $[O III]5007$ などの輝線が広帯域バンドの測光値を押し上げることを利用し、他種族の天体の測光値から分類するような決定木を学習させている。日本天文学会 2021 年秋季年会 X18a 講演では、候補天体の一部をせいめい望遠鏡やなゆた望遠鏡で分光追観測したことを報告した。今回は、これらの分光された候補天体の中から有望な候補を 10 天体選び出し、Magellan 望遠鏡の可視分光器 MagE による追観測を行った。 $[O III]4363$ 輝線を用いた直接温度法に基づいて金属量を算出した結果、金属量が 10% Z_{\odot} 未満の銀河を 4 つ見つけることができた。本講演では、候補天体 10 天体の特徴や、過去の研究で選ばれた極金属欠乏銀河との違い、将来の極金属欠乏銀河の探査に向けた改善策などを議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

X56a すばるによる極金属欠乏銀河観測:原始 He 量測定と系統誤差の評価

松本明訓 (東京大学), 大内正己, 中島王彦, 本原顕太郎, (国立天文台/東京大学), 播金優一, 川崎雅裕, 村井開, 小西真広, 小山舜平, 高橋英則 (東京大学), EMPRESS 3D Team

ビッグバン元素合成 (BBN) で作られる He の質量分率 Y_P は初期宇宙の歴史を探る上で重要な観測量である。 Y_P は多数の低金属銀河の He 量を観測により求め、BBN 時と同じゼロ金属量ガスでの He 量を推定する事で決定される。しかし極金属欠乏銀河 (EMPG) の希少さにより統計誤差が大きという課題があった。そこで我々は EMPG 探査プロジェクト EMPRESS 3D を開始し、これまでに 10 個の EMPG に対し MOIRCS, IRCs, SWIMS による近赤外線分光観測を行った。これにより我々はサンプルに含まれる EMPG の数を従来の 4 倍以上とし、 $Y_P = 0.2379^{+0.0031}_{-0.0030}$ の結果を得た。この Y_P は過去の研究で得られた Y_P より $\sim 1\sigma$ 程度小さく、さらに $\sim 2\sigma$ の精度でレプトン非対称性を示唆する事が判明した。

一方でこのような低金属銀河を用いた Y_P 決定では、いくつかの系統誤差の要因となり得る要素がある。例えば He 量や星吸収量 ($a_{H,He}$), 光学的厚さ (τ) などの銀河のパラメータの決定では、マルコフ連鎖モンテカルロ法による 8 次元空間でのサンプリングを行う。この際に適切な事前分布を選ばないと、得られるパラメータの値にバイアスがかかってしまい Y_P 決定に系統誤差を生む事になる。本研究では過去の研究で用いられていた $a_{H,He} > 0, \tau > 0$ といった事前分布に対し、銀河観測の不定性を考慮して $a_{H,He}$ や τ が負もとり得るような事前分布を提案する。シミュレーションによって生成した模擬観測データを用いそれぞれの事前分布を用いた場合の結果を比較したところ、後者の事前分布の方がより正確な Y_P 決定が行える事が判明した。本講演ではこれらの結果に加え、銀河の輝線フラックスの測定方法の違いにより生じ得る系統誤差の評価についても紹介・議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

X57a 高い鉄酸素比を持つ極金属欠乏銀河の元素組成比とその起源

渡辺くりあ (総合研究大学院大学), 大内正己, 中島王彦, 富永望, 小野寺仁人 (国立天文台), 鈴木昭宏, 野本憲一, 磯部優樹, 小野宜昭, 播金優一 (東京大学)

宇宙の化学進化において、銀河の星や超新星爆発などが重元素をもたらした。そのため、銀河の元素組成比には過去の星形成史の情報が隠されている。特に、金属量が低く、若い極金属欠乏銀河 (EMPG) の元素組成比は銀河形成初期段階の星形成に知見を与える。最近、Kojima et al. (2021) により、金属量が $0.016Z_{\odot}$ と低いにも関わらず、非常に高い鉄酸素組成比 $[\text{Fe}/\text{O}] \sim -0.02$ を持つ EMPG が報告された。このような EMPG は、星年齢が若く、窒素酸素組成比 $[\text{N}/\text{O}]$ が低いいため、Ia 型超新星による鉄生成では高い $[\text{Fe}/\text{O}]$ は説明できない。Isobe et al. (2022) は、対不安定型超新星 (PISN) や爆発エネルギーが大きい極超新星爆発 (HN) が豊富な鉄を生成した可能性を指摘した。PISN が存在する場合は、Fe だけでなく S や Ar が豊富に存在するはずだが、これらの元素組成比は調べられていなかった。本研究では、O に対する S や Ar の組成比、それぞれ $[\text{S}/\text{O}]$ と $[\text{Ar}/\text{O}]$ について新たに化学進化モデルを作り、観測結果と比較して、PISN の存在を検証した。モデルは、初期質量関数 (IMF) として Kroupa IMF を仮定し、理論的に得られた超新星爆発の Yield を用いた。比較する銀河は、最近観測され、鉄が多い EMPG のうち $[\text{S}/\text{O}]$ と $[\text{Ar}/\text{O}]$ が求められた 4 つの EMPG である。4 つのうち 1 つの EMPG (J0811) は特に鉄が多く $[\text{Fe}/\text{O}] \sim 0.2$ で、他の EMPG は $[\text{Fe}/\text{O}] \sim -0.4$ だった。モデルと観測結果の $[\text{Fe}/\text{O}]$ と $[\text{S}/\text{O}]$ 、 $[\text{Ar}/\text{O}]$ を比較したところ、J0811 を除く 3 つの EMPG は HN で元素組成比を説明できた。一方で、J0811 は PISN と同程度の $[\text{Fe}/\text{O}]$ を持つが、S と Ar が PISN の予想値より 0.8 dex 少なく、PISN はもとより典型的な HN や重力崩壊型超新星でも説明できない。本講演では J0811 の特異な元素組成比を示すと共に、その起源について議論したい。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

X58a すばる望遠鏡 FOCAS IFU が明かす近傍の極金属欠乏銀河の金属量分布

柏木ゆり (早稲田大学/東京大学), 井上昭雄 (早稲田大学), 磯部優樹 (東京大学), 中島王彦 (国立天文台), 大内正己 (国立天文台/東京大学), 尾崎忍夫 (国立天文台), 藤本征史 (コペンハーゲン大学), 小野宜昭, 小島崇史 (東京大学)

銀河の中心部と外側の金属量の傾きを表す金属量勾配は、星間物質中のガスの流れや混ざり具合を示す重要な指標だ。近傍の円盤銀河や局所銀河群の矮小銀河は負の金属量勾配を持つことが観測的に知られている (Belfiore et al. 2017, Mercado et al. 2020)。例えば、星形成が銀河の中心から外側に広がるとする inside-out 説では、初めは負で急な金属量勾配が銀河の成長に伴い緩やかとなる。一方、正の金属量勾配を持つ銀河も $z \sim 0$ や $z \geq 2$ で見つかっている (Cresci et al. 2010, Carton et al. 2018, Wang et al. 2019)。これらの研究の多くは太陽と同程度以上の金属量を持つ銀河が対象で、遠方宇宙に多い低金属量銀河の金属量勾配はあまり調べられていない。

近年、金属量が太陽の 1 割以下である極金属欠乏銀河 (EMPG) が発見されている (Sánchez Almeida et al. 2013)。Sánchez Almeida et al. 2016 によれば、EMPG の半数以上は金属量が低い小さな星形成領域の周りに広がったガス構造を持ち、銀河全体では正の金属量勾配を持つと考えられてきた。私たちは、Kojima et al. 2020 により金属量が太陽の約 2% と報告された EMPG である HSC J1631+4426 を、すばる望遠鏡の面分光装置 FOCAS IFU で観測することにより、EMPG の金属量空間分布を初めて詳細に調べた。本講演では、この銀河の金属量分布から推定される化学進化や、他の近傍銀河との比較について述べる。この銀河の金属量勾配の測定値は負で、 -0.36 ± 0.04 dex kpc^{-1} であった。HSC J1631+4426 も小さな星形成領域の周りに広がった構造を持つが、Sánchez Almeida et al. 2016 の示唆する EMPG 形成過程とは異なり、inside-out な星形成を辿ったことが示唆される。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

X59a 小質量・低金属量銀河の空間分解した金属量分布

中島王彦 (NAOJ), 大内正己 (NAOJ/Univ. Tokyo), 磯部優樹, Yi Xu (Univ. Tokyo), 尾崎忍夫 (NAOJ), and EMPRESS 3D collaboration

星形成銀河全体の星質量と星間物質中の金属量の間には良い相関関係が知られており、これを (グローバルな) 星質量-金属量関係と呼ぶ。より大質量の銀河ほど、また近傍の銀河ほど、化学進化が進んでいる傾向が遠方から現在の宇宙まで観測的に知られている。このような銀河全体の化学進化は、銀河内の局所的な (ローカルな) 星形成活動に加え、ガスの流出や原始ガスの流入、さらには銀河内で起こる mixing によって進むと考えられる。したがって、銀河内で金属量がどのように分布し、ローカルな星質量や星形成活動、ガスの運動とどのような関係性があるのかを観測的に理解することは、銀河進化に働くバリオン物理を知る上で重要となる。とりわけ、成長の早い段階にある小質量・低金属量銀河をこの文脈で理解することは、銀河進化の初期段階を明らかにする上で鍵となる。

そこで私たちは、Subaru/FOCAS-IFU を用いて近傍の極金属欠乏銀河を対象に大規模な面分光観測サーベイ (EMPRESS 3D) を行っている。本研究では、その初期観測として得られた 25 天体の銀河を対象としたローカルな星質量-金属量関係を調べる。これらの極金属欠乏銀河は、平均的な金属量が太陽金属量の 10% 以下、ローカルな星質量が 10^5 – $10^7 M_{\odot}/\text{kpc}^2$ であり、既存の MaNGA 等の面分光サーベイでは調べることができない。FOCAS-IFU の spaxel ごとの輝線診断の結果、ローカルな星質量-金属量関係は小質量域で大きなばらつきを示すものの、ローカルな星形成活動の違いがこのばらつきを生む要因となっていることがわかった。また、多くの極金属欠乏銀河において、銀河中心の星質量密度の高い領域ほど高い星形成率密度を持ち、ローカルな星質量-金属量関係において下側に外れる傾向が明らかとなった。本講演では、これらの結果に動力学の結果も組み合わせることで、ガスの流出や流入が成長の早い段階にある小質量・低金属量銀河の進化に与える影響について議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

X60a 近傍観測と遠方シミュレーションが示唆する遠方初期銀河の分散運動優位性

磯部優樹 (東京大学), 大内正己 (国立天文台/東京大学), 中島王彦, 尾崎忍夫 (国立天文台), Bouché, Nicolas (リヨン天文台), Wise, John (ジョージア工科大学), 他 47 名 (EMPRESS 3D)

近年星形成銀河の大部分は円盤銀河であることが理解されてきたが、それらの円盤銀河が形成初期から回転していたのかどうかはまだ観測的に不明である。そこで我々は EMPRESS 3D (PI: 大内正己) というプロジェクトを立ち上げ、近傍の形成初期銀河に対しすばる/FOCAS-IFU を用いて波長分解能の高い ($R \sim 7500$) 深面分光観測を実施した。日本天文学会 2022 年春季年会 X50a 講演では、これまでに観測を終えた 6 天体の $H\alpha$ 強度、速度、速度分散マップを示し、不規則な形態や複数の力学的小構造が見られることを報告した。より定量的には、銀河の回転速度 (v) が $11^{+9}_{-5} \text{ km s}^{-1}$ と小さい一方で速度分散 (σ) は $26^{+3}_{-5} \text{ km s}^{-1}$ と大きいことを突き止めた。その比 v/σ が 1 より小さいことから、近傍形成初期銀河は回転運動より分散運動が優位であると示唆される。

本講演では、Wise et al. (2014) の宇宙論的流体シミュレーション中で形成した遠方 ($z = 7.3$) 形成初期銀河の動力学的特徴を近傍形成初期銀河の観測結果と比較する。この模擬銀河は金属量、星質量、半径ともに近傍形成初期銀河のものと似ているため、比較対象として適切である。光電離モデルを用いて場所ごとの $H\alpha$ 強度を計算し、その視線方向速度と速度分散のマップを作成したところ、この模擬銀河も不規則な形態と力学的小構造をもつことが分かった。さらに、回転速度を見積もると 8.5 km s^{-1} となり、速度分散 (18.2 km s^{-1}) より小さいことも判明した (i.e., $v/\sigma < 1$)。これらの特徴は近傍形成初期銀河の観測結果ともよく類似するため、遠方の形成初期銀河においても分散運動が優位であるという推測が成り立つ。ジェイムズ・ウェッブ宇宙望遠鏡を用いれば $z \sim 7$ における形成初期銀河を直接観測できるため、分散運動優位な遠方銀河が今後多数同定されてくる可能性がある。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

X61a Spatially resolved early star formation in local extremely metal-poor galaxies

Yi Xu (U. Tokyo), Masami Ouchi (NAOJ/U. Tokyo), Kimihiko Nakajima (NAOJ), Yuki Isobe (U. Tokyo), Shinobu Ozaki (NAOJ), and the EMPRESS 3D collaboration

Formation of the first galaxies is one of the most important topics in galaxy evolution. Due to observational limitations, the physical mechanism that cools the gas and triggers early star formation at high z still remains an open question. We investigate extremely metal poor galaxies (EMPGs) in the local universe that are analogs of the first galaxies. In the EMPRESS 3D project (PI: M. Ouchi), we have carried out deep optical spectroscopy so far for 25 EMPGs with Subaru/FOCAS-IFU to spatially resolve the star formation and the ionized gas.

In this presentation, we show the spatial distribution of the star formation rate (SFR), stellar age, and metallicity of EMPGs. We identify star formation clumps with high equivalent widths of $H\alpha > 1000 \text{ \AA}$ that are well explained by young stellar population ($\lesssim 100 \text{ Myr}$) with low metallicity. The locations of the star formation clumps are consistent with those of low metallicity and high SFR, which suggests the star formation may be a result of pristine gas inflow. We also investigate the dynamical relation between multiple star formation clumps, exploiting the high resolution data for 6 out of the 25 EMPGs. We measure the kinematic asymmetry of the ionized gas (K_{asym}) by the harmonic expansion of velocity and velocity dispersion, which is called Kinometry. We find high asymmetry of $K_{\text{asym}} > 0.5$ that does not agree with the disk rotation, but can be explained by merger or fragmentation. The explanation of fragmentation agrees well with the inflow scenario and the numerical simulations of the first galaxies.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

X62a 可視光輝線と光電離モデルで探る極金属欠乏銀河の隠れた非熱的放射源の正体

波多野駿 (総合研究大学院大学), 大内正己, 梅田滉也 (東京大学), 中島王彦 (国立天文台), 川口俊宏 (尾道市立大学), 野田博文 (大阪大学), 矢島秀伸 (筑波大学), 町田真美 (国立天文台), 青山尚平 (千葉大学), Yechi Zhang, 磯部優樹, 小野宜昭, 播金優一, 松本明訓 (東京大学), 守屋堯, 小山佑世 (国立天文台)

極金属欠乏銀河 (EMPG) には、非常に強い高階電離輝線 ($\text{HeII}4686$ など) が見つかっているが、星の種族合成モデルではその光度を説明できていない。Umeda et al. (2022; 以下 U22) は光電離モデル CLOUDY と MCMC 法を用いて、EMPG で観測された HeII を含む 10 本以上の可視光輝線の光度を再現する電離スペクトルを探った。その結果、EMPG には正体不明の隠れた非熱的放射源が存在することが示された。この非熱的放射源の正体を探るため、本研究では、電離エネルギーが HeII (54.4 eV) より高い $[\text{NeV}]3426$ 輝線 (97.1 eV) を U22 の解析手法に新たに加えることで、非熱的放射のスペクトルの冪と光度を求めた。この解析を $[\text{NeV}]$ が検出された 5 つの近傍 EMPG に適用したところ、軟 X 線にあたる 54.4 – 97.1 eV のエネルギー帯で、冪と光度の推定値がそれぞれ $-1.5 < \alpha < 0.5$, $10^{39} < L < 10^{42} \text{ egr/s}$ の範囲に分布する事が分かった。これらの冪と光度を超大光度 X 線源 (ULX) と活動銀河核 (AGN) のモデルスペクトルと比較したところ、5 つの EMPG のうち 1 天体ずつがそれぞれ ULX と AGN の電離スペクトルと同程度の冪と光度を持つことが分かった。残りの 3 天体のうち 2 天体は AGN と同程度の冪を持つ一方で光度が 1/10 以下だったため、ULX と AGN の中間の性質を持つ中間質量ブラックホール (IMBH) の存在が示唆される。さらに残りの 1 天体は ULX と同程度の冪を持つ一方で光度は 10 倍程度と大きいので、これまで見つからないほど多数の ULX を持つ銀河か、IMBH の可能性がある。以上を踏まえ、本講演では $10^{2-5} M_{\odot}$ の亜-超臨界降着円盤の放射スペクトルモデルを用いて、これらの EMPG の電離源を議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

X63a Resolved stellar populations of nearby galaxies

Sakurako Okamoto (NAOJ), Annette Ferguson, Rokas Zemaitis (University of Edinburgh), Mike Irwin (University of Cambridge)

Over the last decade, wide-field resolved star studies have led to the discovery of the vast number of stellar over-densities and faint satellites around the Milky Way and M31. Pushing these studies to galaxy systems beyond the Local Group is crucial to increasing sample size and deriving representative trends.

We present the photometric properties of early-type dwarf galaxies, stellar streams, and young stellar systems at the centre of the M81 group. The resolved stellar photometry covering a projected radius of 120 kpc from M81 with Subaru/HSC enables us to conduct a homogeneous analysis of dwarf satellite galaxies. One of the famous triplets, NGC3077, shows the stellar halo extending towards north and south in an S-shape. In contrast, other early-type dwarfs show no apparent features of the tidal effect from the recent interactions among M81, M82, and NGC3077. We discovered the giant tidal stream associated with one of the M81 satellites, pointing in the direction of M81. The spatial and colour variations along the stream show no evidence of a significant metallicity gradient. We also introduce the Subaru Near-field Cosmology survey, targeting several late-type galaxies located at 3-5 Mpc from the Milky Way to elucidate the dependence of stellar halo properties.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

X64a すばる HSC データを用いた Sextans 矮小楕円体銀河の固有運動測定

常盤晟, Tian Qiu (東京大学), 高田昌広, 安田直樹 (カブリ数物連携宇宙研究機構), 小宮山裕 (法政大学), 千葉柁司 (東北大学)

天の川銀河 (MW) に付随する矮小銀河は MW の形成や進化を知る上でも重要な天体である。矮小銀河の軌道計算に必要な接線方向の速度は、天体までの距離と見かけの角速度である固有運動で構成される。矮小銀河の固有運動は多くの観測で測定されているが、いずれの研究でも青色分枝星、赤色巨星など明るい星に限られている。本研究はすばる HSC データを用いることで上述の種類星以外の暗い星を測定に含めることが可能になり、世界で初めて Sextans の固有運動分布を測定できた。

本研究はすばる HSC において異なる時期に撮像されたデータを用いて、天の川銀河の衛星銀河の一つ、Sextans 矮小楕円体銀河の系統的固有運動を測定した。具体的には、星の色と等級から選定した主系列星を含む 21296 個の Sextans メンバー候補星を用いて、Sextans 中心からの距離に応じた個数密度分布と固有運動分布を測定した後、最尤法に基づいて Sextans の系統的な固有運動を測定した。固有運動分布のモデルとして、Sextans と MW はそれぞれ異なる固有運動を持ち、距離に応じた個数密度と MW 前景の個数密度に比によって固有運動が混合するモデルを考案した。考案した測定手法は Sextans 以外の矮小銀河にも適用可能であり、現在行っている HSC 全領域での固有運動測定に並行して観測領域内の矮小銀河の固有運動を測定することを予定している。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

X65a HSC-SSP データを用いた天の川銀河トモグラフィー 1

鈴木善久, 千葉柁司 (東北大学), 林航平 (一関高専), 小宮山裕 (法政大学), 田中賢幸 (国立天文台), Scott G. Carlsten (プリンストン大学), 高田昌広, 常盤晟, Tian Qiu (東京大学)

現在の標準シナリオでは、天の川銀河 (MW) のような銀河は小銀河が重力相互作用による合体・降着を繰り返すことで形成されてきたと考えられている。この痕跡の位相空間上の緩和時間は 100 億年以上と長いため、銀河全体を覆う希薄な球状の領域であるハローに今なお存在しているのではないかとということが理論上示唆されてきた。大規模観測の進展により、このような痕跡を観測的に調査可能な時代が到来している。特に私たちの属する天の川銀河 (MW) が注目されている。何故ならば、小さな銀河が母銀河に合体・降着する際に潮汐力で破壊されていく現場を恒星ストリームやサブ構造として直接観測可能だからである。現状 MW 中心から 20-30kpc 以内のハローの構造およびサブ構造については化学動力学的観点から理解が進みつつある一方で、MW 外縁部のハロー構造については未解明の部分が多い。

今回私たちは広視野かつ深い測光が特徴的な HSC-SSP の全データを用いて、MW 外縁部のハローの構造に関する調査を行った。恒星までの距離推定には恒星までの測光距離を用いた。その結果 70kpc の距離にある天体を誤差約 20% 以内で決定可能となった。ここで得られた MW 内の恒星の 3 次元の位置情報に基づいて、この全観測領域における MW のトモグラフィー (断面図) を初めて作成した。本講演ではこの結果をもとに、ハローの大局的な構造やサブ構造の 3 次元構造について議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

X66a 矮小銀河を含む銀河系衛星銀河の平面状の空間分布の進化

佐藤元太

天の川銀河 (MW) の近傍 (~200kpc 以内) には、衛星銀河と呼ばれる、MW の周囲を軌道運動する銀河が複数存在し、大マゼラン雲 (LMC) など古典的に知られている明るいものが 10 個程度、非常に暗い矮小銀河 (UFD) と呼ばれるものが 60 個以上発見されている。観測データを基にこの衛星銀河の位置を MW 近傍の 3 次元空間上にプロットすると、特定の平面上に集中することが知られている。この大規模な平面構造は Vast Polar Structure (VPOS) と呼ばれ、標準的なコールドダークマター (CDM) モデルに反する構造として、未解決問題の 1 つとされている。特に古典銀河に関しては、その軌道極もほぼ同一の方向を指している、すなわち軌道も VPOS 平面付近に収まるものが多いため、VPOS は一過的なものではない、長期に渡って存在し続ける構造である可能性も指摘されている。一方で UFD については、最近まで 3 次元運動情報が不明瞭であったため、VPOS との関係も不明であった。しかしながら、Gaia サーベイにより、多くの UFD の正確な固有運動が得られつつある。そこで私の研究では、VPOS 問題を UFD に拡張し、この平面構造の遍歴や起源に纏わる新たな知見を得られないかを調査した。その結果、UFD の現在の位置分布も特定の平面に集中しているが、軌道はランダム性が大きく、動力学的な VPOS を形成しているとは言い難かった。こうした結果を踏まえて、局所銀河群 (LG) のスケールに拡張して衛星銀河の起源を考慮し、古典衛星銀河と UFD で振る舞いが異なる原因を考察した。また、VPOS の起源を、一般の銀河にも適用できる銀河物理学的なメカニズムに絡めて考察し、VPOS が MW に存在することは、銀河物理学的にどれほど妥当性があることなのかを検証した。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

X67a Andromeda Giant Southern Stream の形成過程と progenitor の起源

堀田彩水, 森正夫 (筑波大学)

近年の観測によりアンドロメダ銀河 (M31) やその周辺には過去の銀河衝突の痕跡が多数発見されており、その一つであるハローの Andromeda Giant Southern Stream (AGSS) は中心から 100 kpc 以上にも渡って恒星が細長く分布する巨大な構造である。AGSS の形成過程については数 Gyr 前に大質量銀河が衝突したとする major merger 説 (Hammer et al. 2018) と、約 0.6 Gyr 前に小質量銀河が衝突したとする minor merger 説 (Fardal et al. 2007; Mori & Rich 2008) の二つの仮説が議論されている。major merger 説では M31 ディスクの 10kpc ring 形成も同時に議論した。minor merger 説を支持する Miki et al. (2014) は、progenitor の軌道運動を体系的に調査した結果、5,699,760 軌道モデルのうち観測を再現できるものは 138 軌道モデルにとどまる事を示した。そして、その全てが M31 に束縛された軌道運動をしている事から、progenitor が 0.6 Gyr 前より以前に何度も M31 に衝突した事が示唆される。本研究では minor merger 説に着目し、力学的摩擦を受けながら運動する progenitor を過去数 Gyr に渡って調べる事で、その progenitor がもともと M31 に束縛されたものであったか、系外から降着したものを議論した。第一段階として、progenitor をテスト粒子とし、Chandrasekhar の力学的摩擦項を取り入れて軌道を現在から過去に向かって積分を行う事で progenitor の過去の軌道を調べた。その結果、Miki et al. (2014) で求められた軌道は全て 1 - 1.5 Gyr 前にも M31 との衝突が起きており、軌道モデルの 85% は系外から降着したものである事が示された。したがって progenitor が常に束縛された軌道運動をしていた可能性は低いと考えられる。さらに第二段階として N 体シミュレーションを実行し、その衝突を経験した上でも AGSS やその他の特徴の再現が可能である事も明らかにした。本講演ではこれらの解析内容と結果の詳細について報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

X68a 銀河系衛星銀河の軌道運動と潮汐効果

田中駿次, 森正夫 (筑波大学)

近年、位置天文衛星 Gaia による観測結果が Gaia Data Release (GDR) として公開されたことで、銀河系衛星銀河の 6 次元位相空間の情報が得られた。それにより銀河系及び近傍天体の構造や力学進化の理解が大幅に進んでいる。Miki, Mori & Kawaguchi (2021) では、GDR2 (Helmi et al. 2018; Fritz et al. 2018) を用いた銀河系衛星銀河の高精度軌道積分シミュレーションが行われた。その結果、銀河系衛星銀河の近点距離と軌道周期の間に強い相関が見られ、近点距離が 10kpc 以下になる衛星銀河がほとんど存在していないことが明らかになった。このような衛星銀河の近点分布は銀河系との潮汐相互作用によるものであると考えられる。

本研究では、Gaia EDR3 (Li et al. 2021) に基づく銀河系パラメータのもとで、解析モデルと N 体シミュレーションによって衛星銀河の潮汐破壊過程について調べた。まず、Gaia EDR3 を用いて軌道積分シミュレーションを行い、Miki, Mori & Kawaguchi (2021) と比較して、同様の結果が得られることを確認した。解析モデルでは、連続的な質量分布の銀河系と衛星銀河の重力場において、衛星銀河の重力が優勢となる半径を示す拡張した Jacobi 半径を導出し、一度の近点通過で衛星銀河から削り取られる質量と潮汐破壊が起こる近点距離を見積もった。 N 体シミュレーションでは、Plummer model の衛星銀河に、ダークマターハロー、バルジ、thin disc、thick disc から成る銀河系ポテンシャルを外場として与え、軌道離心率の異なる衛星銀河質量の時間変化を調べた。その結果、衛星銀河の近点距離と質量損失の間には強い相関が見られ、1,2 回の近点通過であれば解析モデルでシミュレーション結果を再現することができることを確認した。本発表では、衛星銀河の進化と銀河系からの潮汐相互作用の関係について詳細な報告を行う。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

X69a ダークマターハローの c - M relation と観測との比較

金田 優香, 数野 優大, 大滝 恒輝, 森 正夫 (筑波大学)

Λ CDM モデルに基づくボトムアップ型の階層的構造形成において、低質量ダークマターハローはビルディングブロックであり、その形成過程を調査することは宇宙の天体形成史を知る鍵となる。加えて、多くの矮小銀河においてダークマターが支配的構成要素であるため、矮小銀河を内包する低質量ハローの進化史を調べることは、ダークマターの性質を知るためにも重要である。そこで、最新の超高分解能宇宙論的 N 体シミュレーションである Phi-4096 (Ishiyama et al. 2021) のデータを用いて、天の川銀河サイズのダークマターハローに付随する、矮小銀河を内包するような質量 ($10^6 \sim 10^{10} M_{\odot}$) のダークマターサブハローの力学進化を調査した。

まず、シミュレーションにおいて形成されたサブハローの、質量密度分布の中心集中度を表すパラメータであるコンセントレーション c_{200} とビリアル質量 M_{200} の関係である c - M relation の新しい近似式を提案する。ここで、ハローの質量密度分布のフィッティングには、Navarro-Frenk-White profile (Navarro, Frenk & White 1997) を用いた値を使用している。さらに、このシミュレーションによって得られた理論予想を、矮小銀河から銀河団までの分光・X線・重力レンズ効果の観測結果と比較する。この解析は、 c_{200} - M_{200} 平面、 ρ_s - r_s 平面、 r_{\max} - V_{\max} 平面などにおいて行った。この結果、幅広い質量範囲において理論予想が観測を再現したことを報告する。加えて、観測で経験的に得られているハローの特徴量同士の関係である「スケーリング則」において、代表的な Burkert relation (Burkert 1995)、Strigari relation (Strigari et al. 2008)、 μ_{0D} relation (Kormendy & Freeman 2016) を理論予想と比較し、矛盾が無いことを示す。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

X70a Density-Independent SPH 法及び Godunov SPH 法への Integral Approach の適用とその性能

湯浅拓宏, 森正夫 (筑波大学)

Smoothed Particle Hydrodynamics (SPH) 法はその利便性やロバストネスゆえ銀河形成や宇宙論シミュレーションで幅広く用いられているが、いくつかの問題が存在する。例えば、衝撃波を扱うために人口粘性と呼ばれる人工的な散逸項が必要なこと、接触不連続面で非物理的な圧力勾配が表面張力の様に発生してしまうこと、離散化の際に粒子分布の非等方性からくる空間ゼロ次の誤差が発生することである。

Saitoh & Makino (2013) によって開発された Density-Independent SPH (DISPH) 法では、接触不連続面で不連続な密度ではなく、連続な圧力をカーネル推定し、SPH 法の方程式が密度に陽に依存しないように書き表すことで接触不連続面での非物理的な圧力勾配の問題を解決した。実際に、DISPH 法によって静水圧平衡やケルビンヘルムホルツ不安定性といった流体の特徴的な現象を通常の SPH 法よりも正確に再現することに成功している。

一方、García-Senz et al. (2012) では熱拡散項等に現れる 2 階微分項の計算に使用されていた方法 (Brookshaw 1985) を一階微分に応用する Integral Approach (IA) と呼ばれる手法を提案した。IA では物理量の一階微分をより精度良く計算でき、SPH 法が苦手とする流体不安定性の成長をより正確に捉えられ、離散化による数値誤差を減らせることが報告されている。(García-Senz et al. 2012; Rosswog 2015; Valdarnini 2016; Cabezon et al. 2017)

本発表では、IA を適用させた DISPH 法と Cha & Whitworth (2003) によって提案された、Riemann Solver を SPH に組み込むことで人口粘性がなくても衝撃波を扱うことができる Case 3 の Godunov SPH 法の性能を評価するために 1 次元衝撃波管問題、2 次元ケルビンヘルムホルツ不安定性などのテストの結果について報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

X71a Top-heavy IMF を取り入れたダスト進化モデルと遠方銀河への応用

河本慧理奈 (1), 竹内努 (1,2), 西田和樹 (1), 浅野良輔 (1), Suchetha Cooray (1)
(1) 名古屋大学; (2) 統数研

銀河にはダストが存在する。ダストは分子形成の触媒であり、星形成の要となる。またダストが星の紫外線や可視光を吸収し赤外線を再放射する性質（減光）によって、スペクトルエネルギー分布（SED）に影響を与える。したがって、ダストの量やサイズが時間変化することは、銀河進化に影響を及ぼす。本研究では化学進化を基礎としてダストの SED 進化をモデル化し、銀河、特に遠方のダスティ銀河の SED と比較、検証を行う。本研究の基礎となる先行研究 (Asano et al. 2013a,b,2014) は化学進化に基づいたダストモデルであり、銀河が進化すると共にダストの量、サイズ、そして減光曲線の時間進化を追うことを可能にした。これに基づき、Nishida et al. (2022) は SED の進化モデルを構築し、銀河系の SED を再現した。これらの先行研究は初期質量関数 (IMF) として、Salpeter IMF (Salpeter, 1955) あるいは Scalo IMF (Scalo, 1986) を採用しているが、遠方銀河に適用するにはよりトップヘビーな IMF への変更が有用であると考えられている。本講演では、高赤方偏移に存在する大量のダストを持つ銀河を適用対象とするため、SED モデルに一般的なトップヘビー IMF を導入する。理論研究からは初代星の IMF が非常にトップヘビーであったことが示唆されており、形成直後の銀河への応用も議論できる。トップヘビー IMF による効果と、現時点での問題点について議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

X72a A Machine-Learning Based Approach for Merger Identification in Subaru HSC

Kiyoaki Christopher Omori (Nagoya University), Tsutomu T. Takeuchi (Nagoya University, Institute of Statistical Mathematics), Connor Bottrell (Kavli IPMU), John Silverman (Kavli IPMU), Andy Goulding (Princeton University), Xuheng Ding (Kavli IPMU)

Galaxy interactions and mergers are widely accepted as a key to be the pathway for galaxy evolution in the current framework for structure formation and evolution, and are associated with various processes pertaining to galaxy evolution. For example, galaxy interactions and mergers have shown to accelerate the accretion of gas onto supermassive black holes and the subsequent ignition of active galactic nuclei (AGN). However, the relative role of galaxy interactions as a driver of AGN activity is not yet well-constrained, due to the lack of a sufficiently large data sample. To tackle this issue, we have developed a random forest classifier to classify galaxies according to merger status, which we have used to create a merging and control sample of robustly classified AGN/non-AGN hosts in the Subaru-HSC catalogue. The random forest is trained using galaxy morphological parameters such as the CAS parameters (Conselice 2003), which we generated through the use of GaLight (Ding et al. 2021), a pipeline to produce high-quality quantitative morphologies. We will compare the performance of our classifier with other machine-learning based methods. We will also discuss future prospects, where we anticipate the expansion of our classifier to all of HSC, and further investigations, such as the investigation of the role that mergers play in driving AGN activity.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

X73a 深層学習を用いた Photo-z 推定におけるデータインバランス改善手法の検討

津田和輝, 飯田佑輔 (新潟大学), 大井渚 (北海道情報大学)

赤方偏移 z は対象の銀河が存在する時代を表すパラメータであり、系外銀河研究における基本的な重要情報である。分光赤方偏移は高精度だが、必要観測時間は長く、ごく一部の銀河でしか取得できない。そのため、要する時間が少ない画像データから高精度な測光赤方偏移 (Photo-z) を推定することは非常に有用である。Photo-z 推定に従来のスペクトルエネルギー分布 (SED) フィットティングではなく、深層学習を使用する利点としては、困難な遠方銀河の SED テンプレート構築が必要ないことが挙げられる。Schuldt+(2021) は、畳み込みニューラルネットワークを用いて銀河画像から Photo-z 推定を行うモデルを構築したが、遠方銀河の z を低く予測してしまう問題があった。そこで、本研究では遠方銀河に対しても高精度な Photo-z 推定モデルの構築を目指す。先行研究では、近傍に比べて遠方銀河の数が極端に少ないデータインバランスを抑えるため、画像の回転・反転によるデータ拡張を行ったが、データインバランスが解消しきれていないこと及び、質の悪いデータの増加による悪影響が見られた。そこで我々は、先行研究から (A)「遠方銀河のデータ拡張+近傍銀河のアンダーサンプリング」と (B)「データ拡張の代わりに損失関数の重み付け」の2つの改善案を提案し、その検証を行った。その結果、(A) の案では先行研究の手法と比べて、 $0 \leq z < 4$ の各区間 ($\Delta z = 0.1$) における RMSE の平均が 0.4492 から 0.4167 となり z 全体での改善ができたが、近傍銀河に対する性能は悪化してしまった。一方で (B) は (A) と比べると、遠方銀河に対する性能はあまり向上しなかったが、近傍銀河に対する性能悪化が少ないという利点が明らかになった。本研究の結果を踏まえ、将来的には両手法を組み合わせることで、両方の利点を持つより良い Photo-z 推定モデルが構築できないかと考えている。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)[スケジュール \(全体\) に戻る](#)[講演者索引 TOP に戻る](#)

X74a Estimation of the Star Formation Rate of Galaxies with Radio Continuum Obtained with Murchison Widefield Array: Final Result

竹内 努 (名古屋大, 統数研), Suchetha COORAY, 岩崎 大希, 吉田 俊太郎 (名古屋大), Luca CORTESE (ICRAR), O. Ivy WONG (CSIRO), Barbara CATINELLA (ICRAR)

We investigate the correlation between the integrated low-frequency and infrared (IR) emissions of star-forming galaxies extracted from the *Herschel* Reference Survey. By taking advantage of the GaLactic Extragalactic All-sky MWA (GLEAM) survey operated by the Murchison Widefield Array (MWA) we examine how this correlation varies as a function of frequency across the 20 GLEAM narrow bands at 72–231 [MHz]. These examinations are important for ensuring the reliability of the radio luminosity as a SFR indicator. In this study, we focus on 18 star-forming galaxies whose radio emission is detected by the GLEAM survey. These galaxies show that a single power-law is sufficient to characterise the far-infrared-to-radio correlation across the GLEAM frequency bands and up to 1.5 [GHz]. Thus, the radio continuum in this wavelength range can serve as a good dust extinction-free SFR estimator. Though this radio SFR estimator is constructed at $z = 0$ with Milky Way-like galaxies, it is a good starting point to extend it to higher- z . We will show the complete result of this analysis.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)[スケジュール \(全体\) に戻る](#)[講演者索引 TOP に戻る](#)

X75a Disentangling the connection between present-day galaxies and their star formation histories

Suchetha Cooray (1), Tsutomu T. Takeuchi (1 and 2) ((1) Nagoya Univ., (2) ISM)

A key ingredient that needs to be considered when modeling a galaxy's spectral energy distribution (SED) to derive galaxy properties is its star formation history (SFH). It is common to model SFHs with parametric models (e.g., exponential, delayed exponential, lognormal) that impose strong priors on their shape. Consequently, it is known that parametric models can strongly bias measurements such as the star formation rate (Carnall et al. 2019). A solution to the above can be using non-parametric models for SFHs. However, non-parametric SFHs cannot be fully constrained even with high-quality observations because of their flexibility (e.g., Leja et al. 2019). Thus, there is a need to derive physically-motivated prior SFH models. SFHs are also likely to be connected to the galaxy's current properties, such as where quiescent galaxies tend to have previously undergone bursty star formation. In this work, we extract characteristic modes of SFHs with a machine learning technique that reduces the dimensions of the complex SFHs seen in simulated galaxies (IllustrisTNG; Nelson et al. 2019a) into a few parameters. We find that even two parameters of the reduced latent space can successfully reproduce SFHs over any commonly used parametric model. These encoding parameters even relate to their current galaxy properties, such as their star formation rate and stellar mass. The understanding can help break the degeneracy between physical properties and SFHs in SED fitting, enriching our knowledge of galaxy evolution.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

X76a Application of machine learning methods to analyze the spatially resolved SFR–stellar mass relation

Wen E. SHI, Tsutomu T. TAKEUCHI, Suchetha COORAY, Kai T. KONO, Kiyooki Christopher OMORI (Nagoya University)

Recent studies have shown that the star formation rate (SFR) surface density traces the stellar mass surface density in kpc scales, giving the Kennicutt-Schmidt (K-S) law (Kennicutt Jr, 1989). This resolved relation indicates the connection between the global star formation main sequence (SFMS) and the local star formation process. However, a united explanation combining both theory and observation is still waiting to be established.

We made an extensive analysis of the SFMS based the DustPedia database (Davies et al., 2017). We provide a new division method to define the “spaxels” (meaning space-pixel) in the 2D galaxy band maps, each with 1kpc interval, to represent the relative position of the spaxel inside the galaxy. We study the SFR, mass and band data variance in every spaxel with respect to their galactocentric radius. This agrees with the “inside-out quenching” scenario for galaxy formation and evolution.

We identify the star forming regions with various algorithms. (K-means, affinity propagation and Gaussian Mixture). We use manifold learning to parameterize the star formation status for different areas inside galaxies. Based on the results, we will discuss the quenching process and star formation mechanism for these galaxies.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Y01a 東京学芸大学新 40 cm 鏡の開発・整備と教育研究利用

土橋一仁、西浦慎悟、富田飛翔、大房優莉香、下村和、堀口智史、土田悠人、饗場智、村松沙紀、大井彩香、原郁也、佐藤滯央 (東京学芸大学)

本講演では、2020年3月に東京学芸大学に導入した口径40cmの光学望遠鏡(以後、新40cm鏡)の開発・整備の現状と、それを利用した教育研究活動について報告する。まず、ハードウェアについては、手動式だった6mドームを改修して自動回転させることに成功したことを春の年会で報告したが(富田ほか2022年春季年会)、その後、さらに若干の改良を加えてより安定的に運用できるようにした。また、新40cm鏡の未解決問題の一つに、トラッキング精度の問題がある。30秒程度連続露光すると星像が流れてしまいがちだが、これは赤経軸周りのワームギアの僅かな歪みが原因である可能性が高いことがわかった。新40cm鏡の納入元のメーカー(田中光科学工業)と相談し、これを修正するために、ワームギアの回転周期に合わせたソフト的な補正(Periodic Error Correction、PEC)を施すことにした。これにより、数分間の連続露光が可能になることが期待される。

教育研究のための利用としては、令和3年度中に新40cm鏡に関連する卒業研究を6件行なった。これらの研究では、小学校から高等学校の理科授業で使える教材開発のための素材収集(アルゴルの光度曲線の測定、月や木星の教育用データの取得、散開星団のHR図)や、望遠鏡のハードウェアの性能測定(CCDの評価、光学フィルターの評価)の他に、学術研究(メタノールレーザーの光学カウンターパートの探査)にもチャレンジした。さらに最近では、月面の酸化物の分布測定も試みつつある(大房ほか 本年会)。また、令和4年度は、減光フィルターを装着した新40cm鏡をインターネットに接続し、小学校~高等学校の昼間の授業で月や金星のライブ観測を行うことを計画している(富田ほか 本年会)。本講演では、これら一連の活動について報告する。

[スケジュール\(セッション毎\)に戻る](#)

[スケジュール\(全体\)に戻る](#)

[講演者索引 TOPに戻る](#)

Y02a 東京学芸大学の新しい 40 cm 鏡を用いた月面分光観測

大房優莉香、土橋一仁、西浦慎悟、富田飛翔、ほか 東京学芸大学天文学グループ (東京学芸大学)

現在、東京学芸大学天文学研究室では、一昨年前に導入した40cm光学望遠鏡を用いていくつかの教育研究活動を進めている。その一環としてLuceyら(1998)の方法を参考に月面の分光観測を行い、月面のFeOとTiO₂の組成分布図の作成とその教材化に着手した。月については、学校教育の義務教育段階では小学校第4学年「月と星」、第6学年「月と太陽」、中学校第3学年「太陽系と恒星」で扱われるが、月の満ち欠けや動きに着目した内容となっており、月表面の岩石については言及されていない(小学校学習指導要領[平成29年告示]解説 理科編、中学校学習指導要領[平成29年告示]解説 理科編)。しかしながら、月は地球から最も近い天体であり、肉眼による観察でも高地と海の違いは確認できる。高地と海の違いについて手軽に理解できる教材があれば、月の形成や太陽系の形成に興味を持つきっかけづくりとなり得るのではないかと考えた。

この講演では、月面のFeO、TiO₂分布図作成の進捗状況と、教育場面での活用法についてのアイデア、今後の展望について発表する。学習指導要領上のどの場面でもどのように活用できるか、現場の学校教員の意見も取り入れながら教材化を図りたい。なお、組成分布図の作成と教材化は、Luceyら(1998)に倣って、基本的に415nm、750nm、及び950nm付近の3バンドの撮像データを基に行うことを検討しているが、東京学芸大学40cm望遠鏡に搭載されているCCDカメラの感度は950nmでは低いので、別の波長域のバンドパスフィルターを利用する必要がある。現在、そのためのフィルターの手配やテスト観測を行なっている。本講演では、そのテスト観測の結果についても報告する。

[スケジュール\(セッション毎\)に戻る](#)

[スケジュール\(全体\)に戻る](#)

[講演者索引 TOPに戻る](#)

Y03a 東京学芸大学の new 40cm 鏡を用いた遠隔授業の実施

富田飛翔, 土橋一仁, 西浦慎悟, 大房優莉香, 堀口智史, ほか 東京学芸大学天文学グループ (東京学芸大学)

東京学芸大学の天文学研究室では、新しく導入した 40cm 光学望遠鏡 (以後、新 40cm 鏡) を本格的に運用するための各種開発・整備を行った (富田他、2022 年春季年会)。これにより、天体の導入、CCD カメラによる撮影、ドームの回転などについて PC から制御することが可能となった。また、ND フィルターを用いることで、昼間に月のクレーターを観察や金星の満ち欠けの観察を行うことができるようになった。これらの観測システムは、望遠鏡を制御している PC を google が提供する chrome remote desktop を用いて遠隔制御することで、どこでも望遠鏡を操作することが可能である。本発表では、開発した新 40cm 鏡を用いて実施する桐朋中学・高等学校での課外授業 (6 月中旬実施予定) について報告する。授業は望遠鏡の基本的な仕組みの説明を行い、その上で新 40cm 鏡のシステム開発についての説明を行う予定である。現在、学校教育では小学校でプログラミングが必修となるなど、ICT 教育の重要性が増している。新 40cm 鏡のシステム開発について学ぶことで、プログラミングをどのように活用するかや、理科・数学の知識をどのように応用していくのかを学ぶことができると考えられる。望遠鏡のシステム開発について学習した後は、地球・太陽・金星の位置関係と金星の満ち欠けについて図を用いて説明する。そして、新 40cm 鏡を用いて金星の観察を行い、金星の満ち欠け具合から授業当日の地球・太陽・金星の位置関係について考察をする。授業で実際に天体の観察を行うことで、生徒たちの天文分野についての興味関心が向上することや、学習内容の理解が深まることが期待できる。今後、他の学校の協力も得て、正規の授業の中で月や金星の観察を実施し、より良い授業の実施形態について研究を進める予定である。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Y04a 分光観測の直感的理解に向けた中小望遠鏡向け接眼分光器

橋本修, 田口光 (ぐんま天文台)

分光画像と直接像の色を同時に観察できる接眼分光器を開発し、それを用いた天体物理学の教育プログラムの研究を進めてきた。天体のスペクトルや色は視覚的に極めて印象的であるため、これらを自らの視覚として経験することができれば、初学者にとってやや難解である天体物理学における分光的研究の本質的な意味をより直観的に理解することが可能になる。当初は強大な集光力を持つ 150cm 級の望遠鏡を対象としてきたが、より小型の望遠鏡でも同種の教育手法が可能であることが実践から明らかになってきた。そこで、口径 50cm から 1m 程度の望遠鏡でも効果を発揮できる新たな装置の開発を行い、天体分光の経験的学習の機会をより多くの望遠鏡で実現できるような可能性を追求してみた。

小型軽量で可能な限り安価に製作された新しい接眼分光器は、適当な天体を選定すれば小型の 30cm 級の望遠鏡でも十分利用が可能であり、150cm を越える大型望遠鏡でもそれに特化して製作された以前の装置と比較しても遜色のない特性を発揮できることが確認され、当初の想定を遥かに超えた非常に汎用なものとなっていることが判明した。これを用いることで分光観測を学べる機会は格段に拡大されたことになる。

多くの大型望遠鏡では観望用の接眼部がナスミス焦点などの安定した場所に位置するのに対して、カセグレン焦点やニュートン焦点などから観望する小型望遠鏡では不自然な観察姿勢をとらざるをえない場合が少なくない。そこで、光路を曲げて延長する補助的な追加光学系を新規に開発した。これにより、多くの望遠鏡で比較的楽な姿勢で観察することが可能になっている。この光学系は個々の望遠鏡の焦点距離や合焦範囲の違いも幅広く吸収できるものとなっており、接眼分光器をより多種多様な望遠鏡で利用できるようにする効果も兼ね備えている。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Y05a 教育用簡易電波干渉計プロトコル ” j-VLBI” 構想 Vol.2.0

木村正樹(株式会社リバネス)

2022 年度春の年会において、教育用簡易電波干渉計プロトコル”j-VLBI” 構想について立案した。VLBI(超長基線干渉計)とは複数の離れた位置に置いた電波望遠鏡を用いた高解像度の観測方法の事であり、2019 年に行われた世界初のブラックホールの撮像において用いられた技術である。本研究である”j-VLBI” 構想は、中高生が簡易的・低価格に VLBI の実験を行うことができ、また電波望遠鏡の作成を中高生が市販されている商品を使い、一から VLBI を製作できるプロトコルを作成することで、高度な計測やものづくり、プログラミングの学習や、学校間での連携研究を行うことが期待できる構想である。前年会では j-VLBI の構想を説明し、経緯台など全体のおおまかな仕様に関してを紹介した。現在は経緯台の簡略化、AD 変換器、クロックの作成を行っている。経緯台はイレクタパイプ(加工が簡単な、ラックや棚を構成する軽量な鉄パイプ)によって簡易化を試み、AD 変換器はマイクロコンピュータによる高速 AD 変換により信号処理を行う、クロックは現在複数の発振器によって精度の検証を行っている。9 月の本学会においてはそれらの試作機の作成・試験に関して、進捗に伴った続報を予定している。

[スケジュール\(セッション毎\)に戻る](#)[スケジュール\(全体\)に戻る](#)[講演者索引 TOP に戻る](#)

Y06a OAO/IAU celebrate 10th anniversary -Review of the past 10 years and discussion of future plans-

縣秀彦,Lina Canas,Kelly Blumenthal,Suzana Filipecki Martins(IAU OAO/NAOJ)

すべての人の天文学を標語に開設された IAU OAO が 10 周年を迎えた。2009 年に世界各地で行われた IYA2009 の成功を受け IAU 内で検討され、国際誘致を行った結果、2012 年 2 月に IAU と NAOJ 間の最初の協定書(MOU)が交わされた。2016 年と 2020 年に国際評価が実施され、その評価に基づき第 2 期 MOU(2017 年 2 月)、第 3 期 MOU(2021 年 2 月)が締結され、当初は IAU と NAOJ が共同で雇用する専任職員が 1 名だったのが、現在では 3 名に増員している。

この間の OAO 活動詳細と成果および評価に関しては当日の発表にて詳しく報告する予定であるが、特筆すべきは IAU 執行部や他委員会と共同で取り組んだ IAU100 周年諸事業(2019)、120 か国まで広がった National Outreach Coordinators(NOCs)との諸共同事業実施や協力関係の構築、SNS とニューズレターでの情報発信、CAP ジャーナルの編集・発行、CC2 と共同での CAP 国際会議の共催などである。多様な国際イベントを主催・共催し、系外惑星命名キャンペーンも 2015 年、2019 年と 2 回実施した。

IAU OAO は次の 10 年に向けてその活動を再構築中である。OAO の将来計画として、国籍・年齢・性別・貧富の差、障がいの有無等を問わない万人を対象に、世界中の誰もが天文学とつながることを目指して、IAU 戦略計画 2020-2030 に基づき、国際協力・アクセス・コミュニケーションを中核に具体的な活動を発展させていく予定である。OAO への提案や協力をお願いしたい。

参照 URL : <https://www.iau.org/public/oao/>[スケジュール\(セッション毎\)に戻る](#)[スケジュール\(全体\)に戻る](#)[講演者索引 TOP に戻る](#)

Y07a 宇宙天気に関する報告書のパブリックコメントに対応したワークショップの実施

玉澤春史（京都大学/京都市立芸術大学）、大庭弘継、高木裕貴（京都大学）、一方井祐子（金沢大学）、菊地乃依瑠

天文宇宙分野を含めた科学技術の政策について一般市民の関心をどのように引き付けるかは常に課題であるが、数少ない市民の意見表明の場が政策や法律を決定する際に行われるパブリックコメント（パブコメ）である。パブコメには科学への市民の関心という意味で科学コミュニケーションの観点も含まれる。宇宙分野のパブコメに関する先行事例としては、2012年の宇宙基本計画（案）に対してのパブコメにおいてワークショップを実施し、振り返りを行った伊藤他（2014）がある。2022年1月より総務省において「宇宙天気予報の高度化の在り方に関する検討会」が設置され、「報告書『文明進化型の災害』に対応した安全・安心な社会経済の実現に向けて（案）」に対するパブコメが5月から6月にかけて実施されている。100年に1度かそれ以上の低頻度大規模災害としての宇宙天気災害に対してどのように対応するかという観点も含めた報告書案はさまざまな分野での対応すべき内容について言及されている。これにあわせて報告書案を読んでパブコメを検討するワークショップを企画、6月3日にオンラインで実施した。ワークショップでは気象や防災との比較でどのように制度設計をすることになるのか、また報告書案で言及されている人材育成・教育についての意見がだされた。本報告ではワークショップの内容を中心に、パブコメを利用した教育普及の可能性について議論する。

[スケジュール\(セッション毎\)に戻る](#)

[スケジュール\(全体\)に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Y08a 長野県における近代天文史の調査と展示～資料から探る宇宙県のルーツ～

陶山徹（長野市立博物館）、渡辺真由子（茅野市八ヶ岳総合博物館）、大西浩次（国立長野高専）、大西拓一郎（国立国語研究所）、長野県天文文化研究会メンバー

長野県内では、「長野県は宇宙県」をキーワードに、宇宙を教育や観光へ活かす活動を進めてきた。この宇宙県のワーキンググループの一つである天文文化研究会では、日本で最初期につくられた地方天文同好会である、諏訪天文同好会について調査研究を進めている。本年2022年は、諏訪天文同好会設立百周年にあたるため、長野県内で巡回展の開催を予定している。展示の中心となるのは、茅野市八ヶ岳総合博物館所蔵の近代天文史に関する資料である。諏訪天文同好会会長を務めた五味一明氏関連資料と、変光星観測者である佐久間精一氏関連資料である。どちらも大正から昭和にかけて長期間における日本天文史の資料を多く含んでいる。具体的には、五味氏によるとかげ座新星発見に関する資料、変光星観測に用いられた様々な星図、そして、各地の天文家を指導した神田茂氏関連の資料などが挙げられる。これらの資料の整理と調査を進めることで、「長野県は宇宙県」のルーツをさぐるとともに、アマチュア天文家と研究者の交流をはじめとする知のネットワークを明らかにしたいと考えている。現在の資料調査の現状と巡回展について報告する。

[スケジュール\(セッション毎\)に戻る](#)

[スケジュール\(全体\)に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Y09a 市民科学で読み解く諏訪天文同好会の100年

大西浩次(国立長野高専), 渡辺真由子(茅野市八ヶ岳総合博物館), 陶山徹(長野市立博物館), 大西拓一郎(国立国語研究所), 早川尚志(名古屋大学), 野澤聡(獨協大学), 衣笠健三(国立天文台野辺山), 長野県天文文化研究会, 「長野県は宇宙県」連絡協議会, 「長野県は宇宙県」関係者ほか

「市民科学によって天文文化はいかに誕生し、何を生み出してきたか」という問いを出発点として、「長野県は宇宙県」に関わる100年間の天文学や天文に関わる文化的な活動、すなわち、天文文化の解明を目指す市民科学プロジェクトを進めている。この研究対象の一つとして、今年で設立100年となる諏訪天文同好会の設立時の観測的研究や星空環境保護活動などの調査を進めている。この過程で、市民天文同好会でありながら、観測的研究などを通じて研究者との多彩な交流が明らかになっている。これらの調査研究から、今後、日本の天文学の黎明期のプロアマ交流などが、市民科学の誕生と発展にどのように寄与したのかを解明できると期待している。

そこで、これまでの調査研究をまとめると共に、1920年代から現在までの市民科学的な研究やプロアマ交流などをテーマにした2つの企画を実施する。その一つは、2022年11月18-19日の2日間で開催する「諏訪天文同好会設立100周年記念シンポジウム」である。1日目は「市民科学で読み解く天文史」として、太陽黒点観測、変光星観測、長野県の天文史の3つのテーマについて、長野県における過去百年の太陽観測データの活用、諏訪天文同好会の変光星観測、日本の変光星観測の歴史、諏訪天文同好会の発足経緯と活動、日本の近現代天文史との関わりなどについて議論する。2日目には、市民向けの「諏訪天文同好会設立百周年記念講演会」を開催する。もう一つの企画は、「長野県の天文文化の100年(仮)」と題する巡回展である。2022年秋から、茅野市、長野市、伊那市など長野県各地で行う予定である。これらの活動をスタートに、3年計画で市民科学の黎明期の解明を試みる。

[スケジュール\(セッション毎\)に戻る](#)

[スケジュール\(全体\)に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Y10b 10年目のSaCRA望遠鏡：埼玉大学におけるさまざまな形態での教育利用や星空観望会

大朝由美子, 金井昂大, 奥田大翔, 小柳香, 佐藤陸人, 中田伊織(埼玉大学), 大島吾一, 高原佑典, 星久樹, 佐藤太基, 石橋遥子, 潮田和俊, 柴田吉輝, 小田達功, 平塚雄一郎, 石岡千寛, 大出康平ほか埼玉大学教育学部/大学院教育学研究科・理工学研究科天文学研究室 OB・OG

SaCRA望遠鏡は、さいたま市内のキャンパスの建物(高度約25m)に、2012年に設置された口径55cmの反射望遠鏡である。カセグレン焦点と主焦点の二つの焦点を持ち、SaCRA望遠鏡用に開発・製作した三波長同時偏光撮像装置”MuSaSHI”(潮田2016, Oasa et al. 2020)や中分散分光装置”SuSAnoO”と組み合わせて、系外惑星のトランジット、前主系列星などの変光探査等の学部・修士研究や、光・赤外大学間連携共同研究(OISTER)の拠点の一つとして、様々な観測にも貢献している。一方、観測的研究に加えて理科教員養成系の必修科目(地学実験)における観測研究体験、小中高生や教員を対象とした実習や、地域市民への星空観望会にも活用されている。

埼玉大学教育学部/大学院理工学研究科天文学研究室では、SaCRA望遠鏡や小型望遠鏡を用いて、毎月1-2回定期的に星空観望会を開催している。コロナ禍で実施できない時期もあったが、学外における出張観望会(星空宅急便)やリモート観望会を含め、2022年6月時点での実施回数は171回に及ぶ。これは、一研究室の定期観望会としては特筆すべき特徴である。この観望会は学内外への教育やアウトリーチ活動という位置付けだけでなく、教員養成系学部としての学生教育という側面もあり、主に学部生が企画の中心となって、大学院生/学部生らで運営・広報・観察指導が行なわれ、広く一般市民への教育普及活動について実践的に学ぶ機会としている。本講演では、観望会を含めたSaCRA望遠鏡の教育利用の実施状況や、今後の展望について報告を行なう。

[スケジュール\(セッション毎\)に戻る](#)

[スケジュール\(全体\)に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Y11b 小中学校理科におけるプラネタリウムの学習投影に関する現状と課題

二瓶美生, 濤崎智佳, 金子紘之 (上越教育大学)

2017 年告示の小・中学校学習指導要領理科の「内容の取扱い」においては、「博物館や科学学習センターなどと積極的に連携、協力を図るようにすること」すなわち「博学連携」について記述されている。一方、小中学校理科では、博物館利用は進んでおらず、これは、教師自身が指導を受けた時点の学習指導要領における博学連携の推進状況が要因という指摘がある (平山 2009)。プラネタリウムの利用に関しては、小学校学習指導要領解説理科編 (2017) の 4 年生「月と星」、6 年生「月と太陽」の単元において、活用が記述されており、学習内容に合わせた「学習投影」を行っている施設もある。石井 (2021) によるプラネタリウムと学校の連携協働に対する調査が行われているが、プラネタリウムに焦点を当てて博学連携を論じた先行研究はほとんどない。本研究では、学校側が抱えるプラネタリウム学習利用の現状と課題を把握するために、柏崎市、刈羽村、上越市の小中学校 (107 校) 理科主任を対象としたアンケートを実施し、83 校から回答を得た。アンケートの内容は、利用状況とその理由、年代等を選択式で、利用について感じていることに対する自由記述欄も設けた。

アンケートの結果を分析したところ、教師の年代別の利用状況には有意差が見られ、35~44 歳の年代の利用が有意に多いことが示された。この年代は、自らが指導を受けた時には博学連携が推進されていないが、採用時には再開された年代である。利用しない理由では、移動手段や時間の確保の問題が多かったものの、「利用の必要性を感じられない」という回答もあり、学習投影の有用性を利用経験のない教師に伝えていくことが必要であると考えられる。そこで、利用経験のない教師が学習投影のイメージをできるように、プラネタリウム学習投影 360 度動画を作成した。本講演では、アンケートの結果と作成した動画について紹介する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Y12c 岡山クーデ分光乾板デジタルアーカイブの予備調査 II

柳澤顕史 (国立天文台), 古荘玲子 (都留文科大学), 根本しおみ, 土屋智恵, 春日敏測, 渡部潤一 (国立天文台)

我々、国立天文台・写真乾板ワーキンググループは、岡山天体物理観測所・クーデ分光乾板デジタルアーカイブを構築する目的で予備調査を続けている。春季年会では、クーデ分光乾板から復元したスペクトルを CCD で得た同一天体のスペクトルと比較したところ、両者が 2-4% の高い精度で一致することを確認し、分光写真乾板が再現不可能な研究資源として保全・活用する価値が十分にある、と報告した。本講演では岡山クーデ分光乾板ライブラリの特徴を評価する目的で、観測メタ情報を主要な観点から整理した結果を報告する。

我々は観測メタ情報をデータベースに整理した。本データベースに登録されているのは、野帳に記述された観測情報、三鷹・貴重書庫に保管されている乾板の在庫調査結果、観測天体の SIMBAD への照会結果、観測波長範囲の推定結果、などである。主要な特徴は次のとおりである。岡山クーデ分光器は 1962 年-1989 年の 28 年間にわたって使用され、合計 11,131 枚の乾板が取得された。その 89.9% に相当する 9,942 枚が三鷹貴重書庫に保管されている。観測された天体は主として $V < 7^m$ の恒星、1,250 天体余りで、天体タイプは SIMBAD 分類で 55 種と多岐にわたる。多い天体タイプは高速度星、(食・分光) 連星、Be 星、炭素星、 $\alpha^2 CVn$ 星、などであった。さらに、次に示すように岡山クーデ分光乾板は殆ど同じ条件で取得されていることも明らかになった。ロングスリット分光モード使用率が 99%、観測所が用意・提供した 3 種類の回折格子の利用率が 96%、乾板乳剤は殆どコダック分光乾板で上位 6 種類の使用率が 92%、現像液は Pandol, D19 が殆どを占めており利用割合は 92%。岡山クーデ分光乾板ライブラリは、1 万枚の均質な学術資料である。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Y13c 天文学・宇宙物理学のリベラルアーツ教育の疑似科学に対する知見獲得効果について

山崎大 (茨城大学)

発表者は、茨城大学におけるリベラルアーツ科目(自然・環境と人間科目)の一つとして「宇宙論史 I,II」を毎年開講している。これらの2つの天文学・宇宙物理学の発展史に関するリベラルアーツ科目は、宇宙に対する人類の捉え方、関連する自然科学がどのように発展し、利用・応用されてきたかを理解することや、宇宙論と周辺の学問の発展を学び、多角的に宇宙に係わる自然科学への幅広い視野を養うことを目的とし、自然科学に関連する科目が苦手でもやってみたいと思う学生も対象としている。これらの2つの授業の内、「宇宙論史 II」の最終回では、疑似科学について解説したのち、それまで学んできた宇宙論の発展史の知見をもとに、宇宙や天文に関する疑似科学について紹介している。この最終回の開始時と終了時に疑似科学の知見に関するアンケートを実施し、科学的情報やその情報源への正しい接し方や、疑似的な科学情報の見分け方について、どのように遷移したか調査している。今回は、そのアンケート結果をもとに、リベラルアーツ科目、特に天文学・宇宙物理学に関する教養科目の受講が、疑似科学に対する知見獲得にどのような効果があるか考察した結果を発表する。

[スケジュール\(セッション毎\)に戻る](#)

[スケジュール\(全体\)に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

【2022年 春季年会講演取消一覧】

P206a Early Planet Formation in Embedded Disks (eDisk): First-look results
Nagayoshi Ohashi (ASIAA)

V301a 超小型衛星による、宇宙空間からの太陽中性子の観測 (V)
山岡和貴 (名古屋大学)

講演者索引
(50音順)

【A】 - 【Z】

Burns, Ross.....	P103a
Cabezas, Denis Pavel.....	M36a
CHEN, XIAOYANG.....	S36a
Cooray, Suchetha.....	V117b
Cooray, Suchetha.....	X75a
Egusa, Fumi.....	R06a
Gonzalez, Alvaro.....	V119a
Huang, Yuwei.....	M16c
LAISHRAM, RONALDO.....	R02a
Liang, Yongming.....	X39a
Liang, Zhuoxi.....	R04a
Liu, Zhaoran.....	T01a
Ma, Hai-Xia.....	T10c
Machado, Lucas N.....	Z124c
Morishita, Takahiro.....	X07a
Nugroho, Stevanus Kristianto.....	P315a
Omori, Kiyooki.....	X72a
Ren, Yi W.....	X08b
Shan, Wenlei.....	V125a
SHI, Wen E.....	X76a
Sun, Dongsheng.....	X35a
Suphapolthaworn, Suphakorn.....	P319c
Suphapolthaworn, Suphakorn.....	R05a
Tsuboi, Masato.....	Z324a
Umehata, Hideki.....	X34a
WANG, SILI.....	W25a
Wong, Kenneth.....	R18a
Xhemollari, Oerd.....	X04a
Xu, Yi.....	X61a
Yang, Yao-Lun.....	P109a
YOON, Seongwhan.....	U04a
Zhang, Rui Lan.....	U10b
Zhang, Tianfang.....	S21a
Zhang, Yechi.....	X36a
Zhang, Ziwei E.....	P117a
Zhong, Yuxing.....	X45a
Zhou, Xinyu.....	M27a
Zhou, Yu.....	M02a

【あ】

青木大輝 (あおき だいき).....	V305a
青木悠馬 (あおき ゆうま).....	V308a
青木和光 (あおき わこう).....	N28a
青柳美緒 (あおやぎ みお).....	V306a
縣秀彦 (あがた ひでひこ).....	Y06a
赤穂龍一郎 (あかほ りゅういちろう).....	W01a
秋葉健志 (あきば たけし).....	X01a
阿久津智忠 (あくつ ともただ).....	V217a
浅川直道 (あさかわ なおみち).....	W62a
浅野勝晃 (あさの かつあき).....	Q25a
浅野光祐 (あさの こうすけ).....	P325a
朝野哲郎 (あさの てつろう).....	Z214a
浅野瑞基 (あさの みずき).....	V237a
朝比奈雄太 (あさひな ゆうた).....	W28a
麻生有佑 (あそう ゆうすけ).....	P202a
阿部克哉 (あべ かつや).....	U13a
安部大晟 (あべ だいせい).....	P143a
天崎賢至 (あまざき けんじ).....	Q13a
荒川一樹 (あらかわ かずき).....	T07a
有田淳也 (ありた じゅんや).....	X26a
有松亘 (ありまつ こう).....	P328a
有賀麻貴 (あるが まき).....	Q28a
安藤秀一 (あんどう しゅういち).....	M35a
安藤誠 (あんどう まこと).....	X46a
安藤美唯 (あんどう みい).....	V343a
安福千貴 (あんぶく かずき).....	N34a

【い】

李尚姫 (い さんひ).....	N26a
飯田熙一 (いいだ ひろかず).....	V226b
家城斉 (いえき せい).....	Z110a
伊王野大介 (いおの だいすけ).....	V129a
伊形尚久 (いがた たかひさ).....	Z314a
五十嵐太一 (いがらし たいち).....	S25a
幾田佳 (いくた かい).....	P313a
井口聖 (いぐち さとる).....	V133a
池田思朗 (いけだ しろう).....	V128a

池邊蒼太(いけべ そうた)..... W12a
 生駒大洋(いこま まさひろ)..... Z220a
 石井彩子(いしい あやこ)..... N11a
 石神瞬(いしがみ しゅん)..... M20a
 石川久美(いしかわ くみ)..... V312b
 石崎渉(いしざき わたる)..... W44a
 石徹白晃治(いしどしろ こうじ)..... Z117b
 石本梨花子(いしもと りかこ)..... X27a
 伊集朝哉(いじゅ ともや)..... M09b
 石渡幸太(いしわた こうた)..... Z335a
 泉拓磨(いずみ たくま)..... S33a
 泉奈都子(いずみ なつこ)..... P104a
 磯貝桂介(いそがい けいすけ)..... W18a
 磯部直樹(いそべ なおき)..... Z210c
 磯部優樹(いそべ ゆうき)..... X60a
 一戸悠人(いちのへ ゆうと)..... V344a
 市橋正裕(いちはし まさひろ)..... V345a
 一本潔(いちもと きよし)..... M34a
 井出善心(いで よしと)..... V214b
 井手亮太(いで りょうた)..... X13b
 伊藤哲司(いとう さとし)..... V235a
 伊藤哲司(いとう さとし)..... V243b
 伊藤尚泰(いとう なおひろ)..... V208a
 伊藤洋一(いとう よういち)..... P123b
 稲熊穂乃里(いなぐま ほのり)..... P310a
 井上昭雄(いのうえ あきお)..... X05a
 井上壮大(いのうえ あきひろ)..... W03a
 井上修平(いのうえ しゅうへい)..... V140a
 井上峻(いのうえ しゅん)..... M31a
 井上一(いのうえ はじめ)..... T04a
 今井裕(いまい ひろし)..... V112b
 今井裕(いまい ひろし)..... Z213a
 今田大皓(いまだ ひろあき)..... V123a
 今村千博(いまむら ちひろ)..... V137a
 岩井一正(いわい かずまさ)..... M03a
 岩切卯月(いわきり うづき)..... V336a
 岩崎雅大(いわさき まさひろ)..... V323b
 岩下稜司(いわした りょうじ)..... Q15a
 岩田悠平(いわた ゆうへい)..... Z301r

【う】

上田将暉(うえだ まさき)..... Q16a
 植松亮祐(うえまつ りょうすけ)..... X10b
 氏原秀樹(うじはら ひでき)..... V103a
 臼田知史(うすだ ともり)..... V201a
 内田和海(うちだ なごみ)..... W05a
 内海碧人(うつみ あおと)..... W33b
 宇野慎介(うの しんすけ)..... V139a
 梅田滉也(うめだ ひろや)..... X24a
 鵜山太智(うやま たいち)..... P311a
 鵜山太智(うやま たいち)..... P318c
 浦遼太(うら りょうた)..... R08a
 浦川聖太郎(うらかわ せいтарろう)..... V206a

【え】

永塚穂里(えいづか みのり)..... Z113a
 榎木谷海(えのきだに うみ)..... V240a
 榎谷玲依(えのきや れい)..... Z326b
 柄本耀介(えのもと ようすけ)..... U12a
 遠藤いずみ(えんどう いずみ)..... N36a

【お】

大朝由美子(おおあさ ゆみこ)..... Y10b
 大木平(おおぎ たいら)..... X25a
 大熊佳吾(おおくま けいご)..... V342a
 大小田結貴(おおこだ ゆき)..... P119a
 大島誠人(おおしま ともひと)..... W20a
 太田峻介(おおた しゅんすけ)..... V236a
 大田 尚享(おおた なおゆき)..... V327a
 大滝恒輝(おおたき こうき)..... X51a
 大津天斗(おおつ たかと)..... M13b
 大塚芳徳(おおつか よしのり)..... V307a
 大坪貴文(おおつぼ たかふみ)..... P327a
 大坪貴文(おおつぼ たかふみ)..... P329b
 大出優一(おおで ゆういち)..... V309a
 大西浩次(おおにし こうじ)..... Y09a
 大西宗博(おおにし むねひろ)..... V350a

大野翔大(おおの しょうだい).....	W32b	加藤勢(かとう せい).....	Q20a
大橋聡史(おおはし さとし).....	P204a	加藤ちなみ(かとう ちなみ).....	Z116b
大林花織(おおばやし かおり).....	W47a	金井昂大(かない たかひろ).....	P112b
大平泰広(おおひら やすひろ).....	V234a	金子慶子(かねこ けいこ).....	V120a
大房優莉香(おおふさ ゆりか).....	Y02a	金子美由起(かねこ みゆき).....	Z330b
大間々知輝(おおまま ともき).....	W26a	金田優香(かねだ ゆうか).....	X69a
大家寛(おおや ひろし).....	W56a	鹿野良平(かの りょうへい).....	Z208c
大家寛(おおや ひろし).....	Z311b	上塚貴史(かみづか たかふみ).....	V223a
大屋瑤子(おおや ようこ).....	P110a	亀山晃(かめやま あきら).....	V110b
岡朋治(おか ともはる).....	Z323r	鴨川航(かもがわ わたる).....	V320a
岡崎敦男(おかざき あつお).....	W09a	榎木大修(かやのき たいしゅう).....	S10b
尾形絵梨花(おがた えりか).....	W30a	佳山一帆(かやま かずほ).....	Q30a
岡田寛子(おかだ ひろこ).....	N29a	河合誠之(かわい のぶゆき).....	Z224a
小形美沙(おがた みさ).....	N30a	川勝望(かわかつ のぞむ).....	S22a
岡本桜子(おかもと さくらこ).....	X63a	川崎良寛(かわさき よしひろ).....	P134b
岡本崇(おかもと たかし).....	X53a	川崎渉(かわさき わたる).....	V126a
岡本珠実(おかもと たまみ).....	P209a	川下紗奈(かわした さな).....	V104a
小川翔司(おがわ しょうじ).....	S14b	川下紗奈(かわした さな).....	V114b
小川翔平(おがわ しょうへい).....	Z123c	川島朋尚(かわしま ともひさ).....	W43b
小川拓未(おがわ たくみ).....	W35b	川島朋尚(かわしま ともひさ).....	Z307a
荻野直樹(おぎの なおき).....	W48a	川島由依(かわしま ゆい).....	Z225b
奥住聡(おくずみ さとし).....	P206a	川田和正(かわた かずまさ).....	Q21a
奥平匠海(おくだいら たくみ).....	S05a	河田大介(かわた だいすけ).....	Z204a
奥谷彩香(おくや あやか).....	P211a	川中宣太(かわなか のりた).....	S09a
小栗秀悟(おぐり しゅうご).....	V142a	川端美穂(かわばた みほ).....	N06a
尾崎忍夫(おざき しのぶ).....	V202a	河原昌平(かわはら しょうへい).....	P212b
長船大樹(おさふね だいき).....	X50a	河原創(かわはら はじめ).....	P317b
押切翔(おしきり かける).....	W23a	河原創(かわはら はじめ).....	Z206a
押野翔一(おしの しょういち).....	Z103a	川室太希(かわむろ たいき).....	S08a
小沼将天(おぬま まさたか).....	Q37a	河本慧理奈(かわもと えりな).....	X71a
小野智弘(おの ともひろ).....	P223a	神原永昌(かんばら ながあき).....	M21a
小山貴裕(おやま たかひろ).....	Q01a		

【き】

		木内等(きうち ひとし).....	V130a
		菊田智史(きくた さとし).....	X14b
		北口貴雄(きたぐち たかお).....	V328a
		北島歎大(きたじま かんた).....	Q14a
		北島慎之典(きたじま しんのすけ).....	M17c
		北野尚弥(きたの なおや).....	Q08a
柿内健佑(かきうち けんすけ).....	Z331b		
鹿島伸悟(かしま しんご).....	Z209c		
柏木ゆり(かしわぎ ゆり).....	X58a		
柏木頼我(かしわぎ らいが).....	P144a		
片坐宏一(かたざ ひろかず).....	Z202a		

北本俊二(きたもと しゅんじ).....	W21a
城戸未宇(きど みゆう).....	P201a
衣川智弥(きぬがわ ともや).....	W57a
紀基樹(きの もとき).....	Z309b
木下真一(きのした しんいち).....	P136b
木原孝輔(きはら こうすけ).....	M06a
木村和貴(きむら かずたか).....	P127a
木村成生(きむら しげお).....	Z302a
木村真博(きむら ただひろ).....	Z219a
木村正樹(きむら まさき).....	Y05a
木邑真理子(きむら まりこ).....	W15a
喜友名正樹(きゆな まさき).....	P128a

【く】

草深陽(くさふか よう).....	W49a
櫛引洗佑(くしびき こうすけ).....	V222a
具島侑也(ぐしま ゆうや).....	U19a
葛原昌幸(くずはら まさゆき).....	P312a
久世陸(くぜ りく).....	S27a
工藤智幸(くどう ともゆき).....	V232a
工藤祐己(くどう ゆうき).....	S31a
國友正信(くにとも まさのぶ).....	Z112b
国吉秀鷹(くによし ひでたか).....	M33a
久保雅仁(くぼ まさひと).....	M39a
栗原明稀(くりはら みき).....	V317a
黒崎健二(くろさき けんじ).....	P304a
桑田敦基(くわた あつき).....	P316a

【こ】

小出眞路(こいで しんじ).....	S23a
黄天鋭(こう たかとし).....	N12a
郷田直輝(ごうだ なおてる).....	Z201r
河野孝太郎(こうの こうたろう).....	V136a
河野樹人(こうの みきと).....	Q10b
古賀柚希(こが ゆずき).....	W42b
國生拓摩(こくしょう たくま).....	P140a
小久保英一郎(こくぼ えいいちろう).....	P301a
越諒太郎(こし りょうたろう).....	N08a

小汐由介(こしお ゆうすけ).....	Z125c
小嶋康史(こじま やすふみ).....	W02a
児島友里(こじま ゆり).....	Z327b
越本直季(こしもと なおき).....	Z215r
越本直季(こしもと なおき).....	Z321b
小関知宏(こせき ともひろ).....	V141a
小谷隆行(こたに たかゆき).....	Z218r
小玉貴則(こだま たかのり).....	P306a
後藤初音(ごとう はつね).....	V333a
小西垂侑(こにし あゆ).....	Q05a
小林浩平(こばやし こうへい).....	W41b
小林翔悟(こばやし しょうご).....	V303a
小林秀行(こばやし ひでゆき).....	V134a
小林浩(こばやし ひろし).....	P220a
小林将人(こばやし まさと).....	P139a
小林雄大(こばやし ゆうだい).....	P213b
小林洋祐(こばやし ようすけ).....	U06a
小藤由太郎(こふじ ゆうたろう).....	Z306a
小道具雄斗(こみち ゆうと).....	P120a
小麦真也(こむぎ しんや).....	X48a
近藤麻里恵(こんどう まりえ).....	T05a

【さ】

斉田浩見(さいだ ひろみ).....	Z312r
斎藤智樹(さいとう ともき).....	V215b
坂井了(さかい りょう).....	V121a
阪本菜月(さかもと なつき).....	V321a
佐久間昂太(さくま こうた).....	X16b
酒見はる香(さけみ はるか).....	W52a
佐崎凌佑(さざき りょうすけ).....	W16a
笹田真人(ささだ まひと).....	Z308b
定成 健児エリック(さだなり けんじえりっく).....	P125a
佐藤亜紗子(さとう あさこ).....	P107a
佐藤和樹(さとう かずき).....	Q19a
佐藤元太(さとう げんた).....	X66a
佐藤浩介(さとう こうすけ).....	V315a
佐藤寿紀(さとう としき).....	N19a
佐藤幹哉(さとう みきや).....	P321a
佐藤優理(さとう ゆり).....	W46a

佐藤慶暉(さとう よしあき).....	V339a
佐野栄俊(さの ひでとし).....	Q26a
澤田崇広(さわだ たかひろ).....	Z102r
澤田真理(さわだ まこと).....	V316a
澤田涼(さわだ りょう).....	N09a
澤田 - 佐藤 聡子(さわださとう さとこ).....	S35a

【し】

鹿内みのり(しかうちみのり).....	Z216a
志達めぐみ(しだつめぐみ).....	W08a
芝池諭人(しばいけ ゆひと).....	P224a
柴崎清登(しばさき きよと).....	M47a
柴田航平(しばた こうへい).....	X15b
柴田翔(しばた しょう).....	P221a
嶋川里澄(しまかわ りずむ).....	X38a
島田悠愛(しまだ ゆうま).....	W40b
嶋田理央(しまだ りお).....	R14a
鳶田遼太(しまだ りょうた).....	M42a
清水格(しみず いたる).....	Z109r
清水敏文(しみず としふみ).....	M38a
清水里香(しみず りこ).....	V340a
下井倉ともみ(しもいくら ともみ).....	P101a
霜田治朗(しもだ じろう).....	Q39a
庄田宗人(しょうだ むねひと).....	M01a
白戸春日(しらと はるひ).....	M46a

【す】

末松芳法(すえまつ よしのり).....	V231b
菅原悠馬(すがはら ゆうま).....	X06a
杉村和幸(すぎむら かずゆき).....	P126a
杉山素直(すぎやま すなお).....	U15a
鈴木昭宏(すずき あきひろ).....	W45a
鈴木大介(すずき だいすけ).....	V213b
鈴木大介(すずき だいすけ).....	Z322b
鈴木大誠(すずき たいせい).....	P102a
鈴木大晴(すずき たいせい).....	V325a
鈴木建(すずき たける).....	M05a
鈴木那梨(すずき なり).....	Q36a

鈴木寛大(すずき ひろまさ).....	Q38a
鈴木善久(すずき よしひさ).....	X65a
鈴木竜二(すずき りゅうじ).....	Z318a
鈴木智也(すずぐち ともや).....	X17b
須田祐介(すだ ゆうすけ).....	V347a
砂田裕志(すなだ ゆうじ).....	S04a
陶山徹(すやま とおる).....	Y08a
諏訪雄大(すわ ゆうだい).....	Z101r

【せ】

関口るな(せきぐち るな).....	Q40a
芹野素子(せりの もとこ).....	W11a

【そ】

孫赫陽(そん かくよう).....	V108b
-------------------	-------

【た】

高岡航輔(たかおか こうすけ).....	P302a
高倉隼人(たかくら はやと).....	V144a
高田剣(たかた つるぎ).....	N17c
高橋葵(たかはし あおい).....	V212a
高橋亘(たかはし こう).....	N32a
高橋広治(たかはし こうじ).....	R13c
高橋実道(たかはし さねみち).....	P219a
高橋弘毅(たかはし ひろたか).....	Z107b
高橋弘充(たかはし ひろみつ).....	V319a
高橋真聡(たかはし まさあき).....	S26a
高橋労太(たかはし ろうた).....	S24a
高松裕(たかまつ ゆたか).....	W24a
瀧哲朗(たき てつお).....	P215a
抱江柊利(だきえ しゅうと).....	V107b
滝沢風佳(たきさわ ふうか).....	S12b
瀧本幸司(たきもと こうじ).....	P323a
匠あさみ(たくみ あさみ).....	P331c
竹内努(たけうち つとむ).....	X74a
武尾舞(たけお まい).....	W19a
竹川俊也(たけかわ しゅんや).....	Z325a

竹川俊也(たけかわ しゅんや).....Z328b
 武田芽依(たけだ めい).....Z106a
 武田佳大(たけだ よしひろ).....X28a
 竹田麟太郎(たけだ りんたろう).....W37b
 竹葉理史(たけば のりみ).....Q06a
 竹林晃大(たけばやし こうだい).....W39b
 竹村英晃(たけむら ひであき).....P145a
 田崎文得(たぎき ふみえ).....S02a
 多田将太郎(ただ しょうたろう).....Z222a
 立原研悟(たちはら けんご).....P141a
 辰馬未沙子(たつうま みさこ).....P210a
 立石大(たていし だい).....Q27a
 田所拓馬(たどころ たくま).....M24a
 田中邦彦(たなか くにひこ).....Z332b
 田中賢(たなか さとし).....U01a
 田中周太(たなか しゅうた).....N21a
 田中駿次(たなか しゅんじ).....X68a
 田中孝明(たなか たかあき).....Q31a
 田中賢幸(たなか まさゆき).....X30a
 田中 佑希(たなか ゆうき).....P222a
 田中優貴子(たなか ゆきこ).....Z334a
 田辺 義浩(たなべ よしひろ).....P111b
 谷川衝(たにかわ あたる).....Z108a
 谷口琴美(たにくち ことみ).....P121a
 谷口琴美(たにくち ことみ).....P122b
 谷口大輔(たにくち だいすけ).....N16c
 玉川徹(たまがわ とおる).....V318a
 玉澤春史(たまざわ はるふみ).....Y07a
 田村直之(たむら なおゆき).....V203a
 田村陽一(たむら よういち).....V135a
 丹波翼(たんば つばさ).....W10a
 反保雄介(たんぼ ゆうすけ).....W17a

【ち】

千秋元(ちあき げん).....P129a
 知念翼(ちねん つばさ).....V106a
 茅根裕司(ちのね ゆうじ).....U03a
 趙彪(ちよう ひょう).....V242b
 鄭昇明(ちよん すんみよん).....P130a

陳諾(ちん だく).....X37a

【つ】

津久井遼(つくい りょう).....V229b
 辻田旭慶(つじた あきよし).....X33a
 辻村穂高(つじむら ほたか).....M04a
 津田和輝(つだ かずき).....X73a
 土屋采那(つちや ことな).....T08a
 土屋智恵(つちや ちえ).....P322a
 恒次翔一(つねつぐ しょういち).....S17a
 恒任優(つねとう ゆう).....Z303a
 鶴剛(つる たけし).....V337a

【て】

出町史夏(でまち ふみか).....P132a
 寺島雄一(てらしま ゆういち).....S11b
 寺田幸功(てらだ ゆきかつ).....Q18a
 照井勇登(てるい ゆうと).....U11b

【と】

東谷千比呂(とうこく ちひろ).....V204a
 堂谷忠靖(どうたに ただやす).....W07a
 常盤晟(ときわ あきら).....X64a
 徳田一起(とくだ かずき).....P138a
 徳地研人(とくち けんと).....V209a
 徳野鷹人(とくの たかと).....N20a
 鳥羽儀樹(とば よしき).....X31a
 土橋一仁(どばし かずひと).....Y01a
 富田沙羅(とみた さら).....W50a
 富田飛翔(とみた つばさ).....Y03a
 富永愛侑(とみなが まゆ).....V146a
 土本菜々恵(どもと ななえ).....W59a
 豊内大輔(とようち だいすけ).....P131a
 鳥海森(とりうみ しん).....M07a

【な】

永井洋(ながい ひろし).....	S34a
中岡竜也(なかおか たつや).....	N04a
中川亜紀治(なかがわ あきはる).....	N15b
中里健一郎(なかざと けんいちろう).....	Z118a
中里剛(なかざと たけし).....	V127a
中里剛(なかざと たけし).....	V131b
中澤知洋(なかざわ かずひろ).....	V341a
長澤俊作(ながさわ しゅんさく).....	P326a
中沢准昭(なかさわ のりあき).....	U16a
中島王彦(なかじま きみひこ).....	X59a
中島光一朗(なかしま こういちろう).....	U18a
中島拓(なかじま たく).....	V102a
中嶋大(なかじま ひろし).....	V301a
永田和也(ながた かずや).....	V230b
中西史美(なかにし ふみ).....	Z115b
長沼桐葉(ながぬま とうよう).....	V138a
中野佑樹(なかの ゆうき).....	Z111a
中野遼(なかの りょう).....	V145a
中村謙吾(なかむら けんご).....	V219a
中村航(なかむら こう).....	N01a
中村太一(なかむら たいち).....	Z329b
中村文隆(なかむら ふみたか).....	P116a
中村文隆(なかむら ふみたか).....	Q11b
中村稜(なかむら りょう).....	Z119b
中山陽史(なかやま あきふみ).....	P305a
梨本真志(なしもと まさし).....	X49a
浪崎桂一(なみざき けいいち).....	M30a
行方宏介(なめかた こうすけ).....	M08a
行方宏介(なめかた こうすけ).....	M14b
成田佳奈香(なりた かなこ).....	Q03a
成影典之(なるかげ のりゆき).....	M40a
成瀬日月(なるせ あきら).....	V224a
那波咲良(なわ さくら).....	M29a

【に】

新納悠(にいのう ゆう).....	W13a
西亮一(にし りょういち).....	Z212a

西垣萌香(にしがき もか).....	X55a
西川淳(にしかわ じゅん).....	V227b
西川淳(にしかわ じゅん).....	V233a
西澤淳(にしざわ あつし).....	U17a
西田來樹(にしだ らいき).....	V245c
西野耀平(にしの ようへい).....	V218a
西道啓博(にしみち たかひろ).....	U05a
西村実(にしむら みのる).....	R17a
西山正吾(にしやま しょうご).....	Z211r
西山正吾(にしやま しょうご).....	Z319b
西脇公祐(にしわき こうすけ).....	T09a
新田伸也(にした しんや).....	M22a
二瓶美生(にへい みお).....	Y11b
丹羽怜太(にわ りょうた).....	V331a

【ね】

根來均(ねごろ ひとし).....	W31a
-------------------	------

【の】

野上大作(のがみ だいさく).....	Z105a
野崎信吾(のざき しんご).....	P146a
野澤恵(のざわ さとし).....	M11b
野曾原千晟(のそはら ちあき).....	V111b
野田浩司(のだ こうじ).....	V348a
野津翔太(のつ しょうた).....	P118a
野津湧太(のつ ゆうた).....	M32a
野津湧太(のつ ゆうた).....	Z227b
信川久実子(のぶかわ くみこ).....	Q33a
信川正順(のぶかわ まさよし).....	Z333r
登口暁(のぼりぐち あかとき).....	X42a

【は】

萩野浩一(はぎの こういち).....	V302a
萩本将都(はぎもと まさと).....	X41a
橋ヶ谷武志(はしがや たけし).....	V210a
橋爪大樹(はしづめ まさき).....	V335a
橋本修(はしもと おさむ).....	Y04a

橋本拓也(はしもと たくや).....X22a
 橋本裕希(はしもと ゆうき).....M15c
 橋山和明(はしやま かずあき).....V349a
 長谷川樹(はせがわ たつき).....W60a
 長谷川幸彦(はせがわ ゆきひこ).....P208a
 秦和弘(はだ かずひろ).....Z305a
 波多野駿(はたの しゅん).....X62a
 八田良樹(はった よしき).....N23a
 花輪知幸(はなわ ともゆき).....P205a
 馬場淳一(ばば じゅんいち).....Z315r
 馬場俊介(ばば しゅんすけ).....S32a
 浜名崇(はまな たかし).....U14a
 林航大(はやし こうた).....W55a
 林昇輝(はやし しょうき).....V329a
 林多佳由(はやし たかゆき).....V313a
 林利憲(はやし としのり).....P309a
 原田了(はらだ あきら).....N10a
 原田直人(はらだ なおと).....P137a
 原田ななせ(はらだ ななせ).....R07a
 播金優一(はりかね ゆういち).....X23a

【ひ】

彦坂拓海(ひこさか たくみ).....V115b
 内山久和(ひさかず うちやま).....X12b
 聖川昂太郎(ひじかわ こうたろう).....W58a
 人見拓也(ひとみ たくや).....W38b
 平尾優樹(ひらお ゆうき).....V216c
 平島敬也(ひらしま けいや).....X52a
 平野信吾(ひらの しんご).....P114a
 平野照幸(ひらの てるゆき).....Z221a
 平松大地(ひらまつ だいち).....N07a
 平松裕貴(ひらまつ ひろき).....W53a
 廣瀬重信(ひろせ しげのぶ).....Z121a

【ふ】

深沢泰司(ふかざわ やすし).....V346a
 深谷直史(ふかや なおふみ).....P147a

吹原瑠(ふきはら はるか).....P142a
 福井康雄(ふくい やすお).....Q12a
 福島啓太(ふくしま けいた).....X40a
 福島光太郎(ふくしま こうたろう).....Q22b
 福島光太郎(ふくしま こうたろう).....T06a
 福島肇(ふくしま はじめ).....X03a
 福地輝(ふくち ひかる).....S19a
 福原優弥(ふくはら ゆうや).....P207a
 福満翔(ふくみつ かける).....M44a
 藤井通子(ふじい みちこ).....P133a
 藤井隆登(ふじい りゅうと).....V338a
 藤沢健太(ふじさわ けんた).....W22c
 藤澤幸太郎(ふじさわ こうたろう).....W54a
 藤重朝妃(ふじしげ あさひ).....Q35a
 藤田大輔(ふじた だいすけ).....S13b
 藤田裕(ふじた ゆたか).....Q32a
 藤谷愛美(ふじたに えみ).....X47a
 藤本信一郎(ふじもと しんいちろう).....N03a
 藤本征史(ふじもと せいじ).....X32a
 札本佳伸(ふだもと よしのぶ).....X09b
 札本佳伸(ふだもと よしのぶ).....X21a
 船越菜月(ふなこし なつき).....R16a
 船渡陽子(ふなと ようこ).....Z317a
 古澤順子(ふるさわ じゅんこ).....X44a
 古塚来未(ふるつか くるみ).....N14b
 古野雅之(ふるの まさゆき).....W34b
 古家健次(ふるや けんじ).....P216a
 古屋玲(ふるや れい).....P105a

【へ】

紅山仁(べにやま じん).....P324a

【ほ】

星篤志(ほし あつし).....S20a
 星岡駿志(ほしおか しゅんし).....R10b
 細川晃(ほそかわ こう).....V228b
 堀田彩水(ほった あやみ).....X67a
 堀田英之(ほった ひでゆき).....N24a

穂積俊輔(ほづみ しゅんすけ).....	R15a
穂満星冴(ほまん しょうご).....	V221a
堀内貴史(ほりうち たかし).....	S16c
堀江秀(ほりえ しゅう).....	R11b
堀口直人(ほりぐち なおと).....	Z320b
本田敏志(ほんだ さとし).....	N31a
本間卓磨(ほんま たくま).....	Z122c

【ま】

前岡光明(まえおか みつあき).....	X19b
前澤裕之(まえざわ ひろゆき).....	V118c
前田龍之介(まえだ りゅうのすけ).....	P149a
前原裕之(まえはら ひろゆき).....	M12b
牧島一夫(まきしま かずお).....	W04a
政井崇帆(まさい たかほ).....	V124a
正木寛之(まさき ひろゆき).....	M43a
増田賢人(ますだ けん).....	N25a
増田賢人(ますだ けん).....	Z226b
増田智(ますだ さとし).....	M23a
町田真美(まちだ まみ).....	W29a
松井瀬奈(まつい せな).....	X54a
松井秀徳(まつい ひでのり).....	Z316a
松井理輝(まつい りき).....	W61a
松浦周二(まつうら しゅうじ).....	V238a
松岡知紀(まつおか ともき).....	Q24a
松木場亮喜(まつこば りょうき).....	P115a
松坂怜(まつさか れん).....	R01a
松田フレドリック(まつだ ふれどりっく).....	V143a
松田有輝(まつだ ゆうき).....	M45a
松永典之(まつなが のりゆき).....	N13b
松永典之(まつなが のりゆき).....	Z205a
松原英雄(まつはら ひでお).....	Q23a
松本明訓(まつもと あきのり).....	X56a
松本岳人(まつもと がくと).....	V314a
松本圭太郎(まつもと けいたろう).....	M25a
松本光生(まつもと こうせい).....	R12b
松本光生(まつもと こうせい).....	S29a
松本仁(まつもと じん).....	N02a
松本拓也(まつもと たくや).....	V311b

松本健(まつもと たける).....	Q09a
松本倫明(まつもと ともあき).....	P106a

【み】

三木洋平(みき ようへい).....	X20c
三杉佳明(みすぎ よしあき).....	P135b
水越翔一郎(みずこし しょういちろう).....	S18a
水野陽介(みずの ようすけ).....	Z313a
水本岬希(みずもと みさき).....	V322b
三谷啓人(みたに ひろと).....	P308a
道山知成(みちやま ともなり).....	S03a
三石郁之(みついし いくゆき).....	N27a
御堂岡拓哉(みどおか たくや).....	S06a
三原建弘(みはら たてひろ).....	V324a
宮川浩平(みやかわ こうへい).....	Z223a
宮崎啓太郎(みやざき けいたろう).....	V304a
宮崎翔太(みやざき しょうた).....	P314a
宮崎翔太(みやざき しょうた).....	Z228b
宮田隆志(みやた たかし).....	V220a
宮本明日香(みやもと あすか).....	N35a
宮本祐介(みやもと ゆうすけ).....	Q04a
宮山隆志(みややま りゅうし).....	P303a
宮脇亮介(みやわき りょうすけ).....	P113a
三好隆博(みよし たかひろ).....	M28a
三好真(みよし まこと).....	S01a

【む】

武者野拓也(むしゃの たくや).....	W36b
武藤恭之(むとう たかゆき).....	P217a
村井結太(むらい ゆうた).....	N18a
村上広椰(むらかみ こうや).....	U07a
村瀬建(むらせ たける).....	Q07a
村田一心(むらた かずみ).....	V207a
村田勝寛(むらた かつひろ).....	Z104a

【も】

望月雄友(もちづき ゆうと).....	S07a
---------------------	------

森敬都(もり けいと).....	M41a
森浩二(もり こうじ).....	V334a
森昇志(もり しょうじ).....	P214a
森正光(もり まさみつ).....	Z114b
森井嘉穂(もりい かほ).....	P148a
森川莞地(もりかわ かんじ).....	W51a
森川朋美(もりかわ ともみ).....	Q34a
森下皓暁(もりした てるあき).....	V332a
森鼻久美子(もりはな くみこ).....	Z217a
守屋堯(もりや たかし).....	V205a
森山小太郎(もりやま ことろう).....	Z304r
諸隈智貴(もろくま ともき).....	S15c

【や】

矢倉昌也(やくら まさや).....	M26a
矢島秀伸(やじま ひでのぶ).....	X02a
保田悠紀(やすだ ゆうき).....	N22a
柳川晏里(やながわ あんり).....	T02a
柳澤顕史(やなぎさわ けんし).....	Y12c
柳原一輝(やなぎはら かずき).....	Z310b
矢野太平(やの たいへい).....	Z207c
矢野孝臣(やの たかとみ).....	Z120a
山響(やま ひびき).....	V211a
山内大介(やまうち だいすけ).....	U09a
山内良斗(やまうち りょうと).....	P330b
山岡和貴(やまおか かずたか).....	V330a
山岸光義(やまぎし みつよし).....	Q29a
山口遼大(やまぐち りょうだい).....	W14a
山崎壮一郎(やまざき そういちろう).....	X18b
山崎大(やまざき だい).....	Y13c
山崎大輝(やまさき だいき).....	M10b
山崎大輝(やまさき だいき).....	M37a
山崎駿(やまさき はやお).....	P108a
山崎康正(やまさき やすまさ).....	V113b
山崎康正(やまさき やすまさ).....	V122a
山敷庸亮(やましき ようすけ).....	P307a
山下拓時(やました たくじ).....	X11b
山下真依(やました まい).....	P124b
山田恭平(やまだ きょうへい).....	U02a

山田智史(やまだ さとし).....	S37a
山田亨(やまだ とおる).....	V132a
山田亨(やまだ とおる).....	V244b
山田知也(やまだ ともや).....	S28a
山田良透(やまだ よしゆき).....	Z203a
山田麟(やまだ りん).....	R03a
大和義英(やまと よしひで).....	P203a
山中雅之(やまなか まさゆき).....	N05a
山村一誠(やまむら いっせい).....	N33a
山本久美子(やまもと くみこ).....	Q17a
山本優太(やまもと ゆうた).....	X29a

【ゆ】

湯浅拓宏(ゆあさ たくひろ).....	X70a
油谷直道(ゆたに なおみち).....	X43a
湯山義崇(ゆやま よしたか).....	V101a

【よ】

吉浦伸太郎(よしうら しんたろう).....	U08a
芳岡尚悟(よしおか しょうご).....	W27a
吉田翼(よしだ つばさ).....	V326a
吉田有宏(よしだ ともひろ).....	P218a
吉田南(よしだ みなみ).....	V239a
吉村勇紀(よしむら ゆうき).....	Q02a
吉本愛使(よしもと あんじえ).....	T03a
米倉覚則(よねくら よしのり).....	V109b
米田謙太(よねた けんた).....	V225a
米津鉄平(よねつ てっぺい).....	V116b
米山翔(よねやま しょう).....	V105a
米山友景(よねやま ともかげ).....	V310b
米山友景(よねやま ともかげ).....	W06a

【り】

李源(り げん).....	V241b
---------------	-------

【わ】

鷺ノ上遥香（わしのうえ はるか）.....	M18a
和田桂一（わだ けいいち）.....	S30a
渡辺くりあ（わたなべ くりあ）.....	X57a
渡邊健斗（わたなべ けんと）.....	M19a
渡部潤一（わたなべ じゅんいち）.....	P320a
渡邊友海（わたなべ ゆみ）.....	R09a

2022年8月20日発行

年会実行委員会

委員長	古澤久徳	(国立天文台)	
委員	和泉 究	(宇宙航空研究開発機構)	
	岩切 渉	(中央大学)	
	大宮 正士	(アストロバイオロジーセンター)	
	大屋 瑤子	(東京大学)	
	鈴木 知治	(中部大学)	
	廿日出 文洋	(東京大学)	
	堀田 英之	(千葉大学)	
	松岡 良樹	(愛媛大学)	
	浅井 歩	(京都大学)	保育室担当
	市来 浄與	(名古屋大学)	保育室担当

年会開催地理事

西 亮一	(新潟大学)
------	--------