

2022年 春季年会

講演予稿集

電子版

於 広島大学(オンライン開催)

2022年3月2日(水)～3月5日(土)

日本天文学会

日本天文学会 2022年 春季年会プログラム

期 日 2022年3月2日(水)～3月5日(土)
 場 所 オンライン開催
 電 話 090-4387-6893(学会事務局) <使用期間 2022年3月2日(水)～3月5日(土)>
 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	
3月1日 (火)							記者会見						
3月2日 (水)	A	W. コンパクト天体			昼 休 み 11:40-13:00	W. コンパクト天体			ポスター	理事会			
	B	V1. 観測機器(電波)				V1. 観測機器(電波)							
	C	R. 銀河				R. 銀河							
	D	M. 太陽				M. 太陽							
	E	Q. 星間現象				Q. 星間現象							
	F	P2. 原始惑星系円盤				P2. 原始惑星系円盤							
	G	X. 銀河形成・進化				X. 銀河形成・進化							
	H	T. 銀河団/U. 宇宙論				U. 宇宙論							
3月3日 (木)	A	W. コンパクト天体			昼 休 み 11:40-13:00 (代議員総会)	W. コンパクト天体			ポスター	天文教育 フォーラム			
	B	V1. 観測機器(電波)				V1. 観測機器(電波)							
	C	P1. 星形成				P1. 星形成							
	D	M. 太陽				M. 太陽							
	E	Q. 星間現象				Q. 星間現象							
	F	P2. 原始惑星系円盤				V2. 観測機器(光赤・重)							
	G	X. 銀河形成・進化				X. 銀河形成・進化							
	H	Y. 教育・広報・他				Y. 教育・広報・他							
3月4日 (金)	A	S. 活動銀河核			昼 休 み 11:40-13:00	S. 活動銀河核			ポスター	会員全体集会			
	B	V3. 観測機器(X線・γ線)				V3. 観測機器(X線・γ線)							
	C	P1. 星形成				P1. 星形成							
	D												
	E	P3. 惑星系				P3. 惑星系							
	F	V2. 観測機器(光赤・重)				V2. 観測機器(光赤・重)							
	G	X. 銀河形成・進化											
	H	N. 恒星・恒星進化				N. 恒星・恒星進化							
3月5日 (土)	A	S. 活動銀河核			昼 休 み 11:40-13:00	受賞記念講演 (第一部)			受賞記念 講演 (第二部)				
	B	V3. 観測機器(X線・γ線)											
	C	P1. 星形成											
	D												
	E	P3. 惑星系											
	F												
	G												
	H	N. 恒星・恒星進化											
3月6日 (日)							公開講演会						
3月19日 (土)		ジュニアセッション											
		9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	

※セッション(午前) 09:30～11:40

※セッション(午後) 13:00～15:10

※ポスターセッション 15:30～16:30

◎講演数

講演数：合計 534

(口頭講演 (a)：461、ポスター講演 (b)：59、ポスター講演 (c)：14)

◎参加登録について (参加希望者は、必ず事前に参加登録をしてください)

2016年秋秋季年会より、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	無 料	無 料
講演登録費	3,000円(不課税)(1講演につき) (但し事前支払がない場合は、会員 4,000円)	
年会予稿集	2,000円(消費税込み) (購入希望者のみ)	2,000円(消費税込み)

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

○参加登録受付期間：2022年1月中旬～2月中旬 (事前登録が必要。但し講演者は不要です)

※参加費については今回は無料です。

※講演登録者は、講演申し込み後にキャンセル等しても、講演登録費の返金はいたしません。

◎講演に関する注意

- 口頭発表は8会場で行います。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。

- PC及び通信環境はご自身でご用意をお願いいたします。発表に要する通信料等は、発表者の自己負担です。Zoomを利用しますので、学会ホームページをご覧になり、事前にダウンロードや動作確認をしてください。また、発表者自身のインターネット接続、映像・音声等のトラブルの対応はできません。基本的にはご自身での解決をお願いいたします。

- 講演者は、セッション開始時刻の20分前から10分前までにご入室ください。

※開始20分前から10分前まで、希望者は画面共有のテストができます。

※開始10分前からは、担当者が講演方法の説明をいたします。

視聴者は、セッション開始時刻の5分前からご入室ください。

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
講演者	「*(アスタリスク)」+「講演番号」+「氏名」+「(所属)」	*Z141a 天文花子(天文大学)
視聴者	「氏名」+「(所属)」	天文花子(天文大学)

- ポスターセッション(添字 b, c)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 チャンネルはご用意いたします)
- 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。事前に説明をよく読んで、Zoom の操作手順に関する理解を深めておい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
3月1日(火)	13:00～15:00	オンライン	記者会見
3月3日(木)	16:30～18:00	オンライン	天文教育フォーラム
3月4日(金)	16:30～18:30	オンライン	会員全体集会
3月5日(土)	13:30～16:30	オンライン	受賞記念講演 ・第一部(林忠四郎賞/研究奨励賞) ・第二部(欧文研究報告論文賞)
3月6日(日)	13:30～16:00	オンライン	公開講演会

◎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 [※]
3月2日(水)	16:30～17:30	オンライン	理事会	D
3月3日(木)	11:40～13:00	オンライン	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：「天文教育普及における評価研究手法」

日 時：2022年3月3日（木）16：30～18：00

場 所：オンライン会場（学会ホームページにて事前登録が必要）

概 要： 天文学に関わる研究者や教職員、科学コミュニケータにとって教育普及の効果を測定・評価し、報告すべき場面は多く存在する。しかし、教育普及の実践をどのように評価するかは簡単ではない。学習者の意見を集め、統計を駆使して教育評価を測るアンケート調査は比較的簡便であり、最もよく採られる方略の一つであろう。しかし、単純なアンケート調査などだけに頼っているのは、肝心の学習者の理解や学習過程の内面に迫ることは難しい場合もある。多くの意見を集めた計量的評価・研究と並んで、少ないサンプルを深く掘り下げる質的な評価・研究手法が役に立つ場面もあるだろう。

今回の天文教育フォーラムでは、教育普及現場での教育効果を評価し研究する手法を考え、特に科学者にとって馴染みの薄い質的研究についても、専門家からのお話を伺いつつその可能性を検討し、議論していきたい。

話題提供：(1) 縣秀彦氏（国立天文台） 「天文教育研究の現状」
(2) 香月裕介氏（神戸学院大学） 「教育研究における質的研究の活用」

実行委員：鴈野重之（九州産業大学）、玉澤春史（京都大学/京都市立芸術大学）、富田晃彦（和歌山大学）

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3月6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】広島大学 東広島キャンパス内 理学部 E 棟 002 室

【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：「広島で育まれた天文学」

広島では、各大学に天文・宇宙関連の研究者が在籍し、研究・教育に勤しむ傍らで、公共施設による天文関連の講座やアマチュア天文家有志による星空観望イベントなどが開かれ、一般の方々が天文学に触れる機会も多く、広島为天文学のルーツを探ると興味深い事実がいくつも見つかります。今回の公開講演会では、そのような広島为天文学界の歴史を振り返りつつ、広島在住の研究者が取り組んでいる近年のブラックホール関連の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】70名(先着順・自由参加)、【オンライン】1000名(先着順・事前登録制)

<講演内容の紹介>

講演1：「広島と天文の関わり」

講師：加藤一孝(比治山大学 講師/元広島市こども文化科学館長)

広島で育った私は、1970年代に天文サークルを作り、さらに大きなサークルへと合流し参加しました。その後のいろいろな経緯から、1980年に広島にオープンした科学館・プラネタリウムの運営にも加わりました。この間に育まれた多くの地元の方々との関係から、様々な親交が生まれ、多くの示唆をいただきました。また、県外の方からも、沢山の示唆をいただき、それが元となって、県内の天文関係の出来事を調査したこともあります。県内の郷土史を研究されている方から依頼を受け、調査する中で、天文界の先輩の知恵をお借りしたところ、とても興味深い結果を得たこともありました。これら、今まで私が経験した少しばかりの出来事ではありますが、その中から特に興味深い出来事を選んでお話しします。広島为天文学界の出来事的一端でも知っていただければ幸いです。

講演2：「数値シミュレーションで迫る超巨大ブラックホールの姿」

講師：野村真理子(呉工業高等専門学校 助教)

近年の観測天文学の発展により、ほとんどの銀河の中心には太陽の100万倍から10億倍もの質量をもつ超巨大ブラックホールが存在することがわかってきました。ブラックホールは物質を吸い込むだけでなく、その重力エネルギーを解放することで、強い光やガスを噴出し、ダイナミックな天体現象を引き起こします。本講演では、最新の数値シミュレーションに焦点を当て、超巨大ブラックホールが引き起こす天体現象や、超巨大ブラックホールの形成過程に迫る研究成果を解説します。

講演3：「人工衛星で探るブラックホール」

講師：水野恒史(広島大学 准教授)

ブラックホールはその重さに比べ極めて小さいため、重力が強く、光すら抜け出せない天体です。しかし、ブラックホールができる時、またはブラックホールに物が落ちる時にその周りが「光る」ため、ブラックホールがどこでできたか・どこにあるのかを知ることができます。特にX線ガンマ線は、ブラックホールが誕生する瞬間や、ブラックホールのすぐ近くを調べるのに適した光です。X線ガンマ線は大気吸収されるため、人工衛星を用いて、特殊な装置で観測します。最近では超小型衛星や偏光観測衛星などが登場し、盛り上がっています。この講演では、どのような装置を用い、人工衛星でどうやってブラックホールを観測し、何が分かるのかを解説します。

主 催：公益社団法人 日本天文学会

後 援：広島大学、広島大学先進理工系科学研究科、広島大学宇宙科学センター

※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。

座 長 一 覧 表

2022年春季年会

日時 会場	3月2日(水)		3月3日(木)		3月4日(金)		3月5日(土)
	09:30 - 11:40	13:00 - 15:10	09:30 - 11:40	13:00 - 15:10	09:30 - 11:40	13:00 - 15:10	09:30 - 11:40
A	W.コンパクト天体 海老沢研 (宇宙航空研究開発機構)	W.コンパクト天体 木坂 将大 (広島大学)	W.コンパクト天体 坂本貴紀 (青山学院大学)	W.コンパクト天体 仏坂健太 (東京大学)	S.活動銀河核 紀基樹 (工学院大学)	S.活動銀河核 笹田真人 (広島大学)	S.活動銀河核 泉拓磨 (国立天文台)
B	V1.観測機器(電波) 亀谷收 (国立天文台)	V1.観測機器(電波) 西村淳 (国立天文台)	V1.観測機器(電波) 岩井一正 (名古屋大学)	V1.観測機器(電波) 赤堀卓也 (国立天文台)	V3.観測機器(X・γ線) 米田浩基 (理化学研究所)	V3.観測機器(X・γ線) 山岡 和貴 (名古屋大学)	V3.観測機器(X・γ線) 玉川 徹 (理化学研究所)
C	R.銀河 村岡和幸 (大阪府立大学)	R.銀河 今西昌俊 (国立天文台)	P1.星形成 安井千香子 (国立天文台)	P1.星形成 大朝由美子 (埼玉大学)	P1.星形成 下西隆 (新潟大学)	P1.星形成 岩崎一成 (国立天文台)	P1.星形成 高棹真介 (大阪大学)
D	M.太陽 鳥海森 (宇宙航空研究開発機構)	M.太陽 久保 雅仁 (国立天文台)	M.太陽 飯島陽久 (名古屋大学)	M.太陽 西塚直人 (情報通信研究機構)			
E	Q.星間現象 元木業人 (山口大学)	Q.星間現象 阪本成一 (国立天文台)	Q.星間現象 林克洋 (宇宙航空研究開発機構)	Q.星間現象 信川久実子 (近畿大学)	P3.惑星系 荻原正博 (李政道研究所)	P3.惑星系 國友正信 (久留米大学)	P3.惑星系 福井暁彦 (東京大学)
F	P2.原始惑星系円盤 片岡章雅 (国立天文台)	P2.原始惑星系円盤 藤井悠里 (京都大学)	P2.原始惑星系円盤 古家健次 (国立天文台)	V2.観測機器(可視・赤外線) 渡邊誠 (岡山理科大学)	V2.観測機器(可視・赤外線) 土居守 (東京大学)	V2.観測機器(可視・赤外線) 大藪進喜 (徳島大学)	
G	X.銀河形成 井上昭雄 (早稲田大学)	X.銀河形成 嶋作一大 (東京大学)	X.銀河形成 松田有一 (国立天文台)	X.銀河形成 児玉忠恭 (東北大学)	X.銀河形成 田中賢幸 (国立天文台)		
H	T.銀河団 / U.宇宙論 三石郁之 (名古屋大学)	U.宇宙論 西澤淳 (名古屋大学)	Y.教育・広報・他 生田ちさと (宇宙航空研究開発機構)	Y.教育・広報・他 内山秀樹 (静岡大学)	N.恒星進化 山村一誠 (宇宙航空研究開発機構)	N.恒星進化 前原裕之 (国立天文台)	N.恒星進化 諏訪雄大 (東京大学)

口頭セッション 3月2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
開始時刻	コンパクト 天体	観測機器 (電波)	銀河	太陽	星間現象	原始惑星系 円盤	銀河形成	銀河団/ 宇宙論
09:30	W01a	V101a	R01a	M01a	Q01a	P201a	X01a	T01a
09:42	W02a	V102a	R02a	M02a	Q02a	P202a	X02a	T02a
09:54	W03a	V103a	R03a	M03a	Q03a	P203a	X03a	T03a
10:06	W04a	V104a	R04a	M04a	Q04a	P204a	X04a	T04a
10:18	W05a	V105a	R05a	M05a	Q05a	P205a	X05a	T05a
10:30	W06a	V106a	R06a	M06a	Q06a	P206a	X06a	U01a
10:42	W07a	V107a	R07a	M07a	Q07a	P207a	X07a	U02a
10:54	W08a	V108a	R08a	M08a	Q08a	P208a	X08a	U03a
11:06	W09a	V109b V110b V111b	R09b R10b	M09a	Q09a	P209a	X09a	U04a
11:18	W10a	-	-	M10a	Q10b Q11b	P210a	X10a	U05b
11:30	W11b W12b W13b	-	-	M11a	-	P211b P212b P213b	X11a	-
11:40	昼休み							
開始時刻	コンパクト 天体	観測機器 (電波)	銀河	太陽	星間現象	原始惑星系 円盤	銀河形成	宇宙論
13:00	W15a	V114a	R11a	M12a	Q12a	P215a	X12a	U06a
13:12	W16a	V115a	R12a	M13a	Q13a	P216a	X13a	U07a
13:24	W17a	V116a	R13a	M14a	Q14a	P217a	X14a	U08a
13:36	W18a	V117a	R14a	M15a	Q15a	P218a	X15a	U09a
13:48	W19a	V118a	R15a	M16a	Q16a	P219a	X16a	U10a
14:00	W20a	V119a	R17a	M17a	Q17a	P220a	X17a	U11a
14:12	W21a	V120a	R18a	M18a	Q18a	P221a	X18a	U12a
14:24	W22a	V121a	R19b	M19a	Q19a	P222a	X19a	U13a
14:36	W23a	V122a	-	M20a	Q20a	P223a	X20b X21b X22b	U14a
14:48	W24a	V123a	-	M21a	Q21a	-	X23b X24b X25b	U15a
15:00	W25a	-	-	M22b M23b M24b	-	-	X26b X27b	-
15:12	W26b W27b W28b	-	-	M25b	-	-	-	-
15:30	ポスター							
16:30	理事会							

口頭セッション 3月3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
開始時刻	コンパクト 天体	観測機器 (電波)	星形成	太 陽	星間現象	原始惑星系 円盤	銀河形成	教育・他
09:30	W29a	V124a	P101a	M28a	Q22a	P225a	X29a	Y01a
09:42	W30a	V125a	P102a	M29a	Q23a	P226a	X30a	Y02a
09:54	W31a	V126a	P103a	M30a	Q24a	P227a	X31a	Y03a
10:06	W32a	V127a	P104a	M31a	Q25a	P228a	X32a	Y04a
10:18	W33a	V128a	P105a	M32a	Q26a	P229a	X33a	Y05a
10:30	W34a	V129a	P106a	M33a	Q27a	P230a	X34a	Y06a
10:42	W35a	V130a	P107a	M34a	Q28a	P231a	X35a	Y07b Y08b
10:54	W36a	V131a	P108a	M35a	Q29a	P232a	X36a	-
11:06	W37a	V132a	P109a	M36a	Q30a	P233b P234b	X37a	-
11:18	W38a	V133a	P110b P111b P112b	M37a	Q31a	-	X38a	-
11:40	昼休み(代議員総会)							
開始時刻	コンパクト 天体	観測機器 (電波)	星形成	太 陽	星間現象	観測機器 (光赤・重)	銀河形成	教育・他
13:00	W39a	V134a	P113a	M38a	Q32a	V201a	X39a	Y09a
13:12	W40a	V135a	P114a	M39a	Q33a	V202a	X40a	Y10a
13:24	W41a	V136a	P115a	M40a	Q34a	V203a	X41a	Y11a
13:36	W42a	V137a	P116a	M41a	Q35a	V204a	X42a	Y12a
13:48	W43a	V138a	P117a	M42a	Q36a	V205a	X43a	Y13a
14:00	W44a	V139b	P118a	M43a	-	V206a	X44a	Y14a
14:12	W45a	-	P119a	M44a	-	V207a	X45a	Y15a
14:24	W46a	-	P120a	M45a	-	V208a	X46a	Y16a
14:36	-	-	P121a	M46a	-	V209a	X47a	Y17b Y18b
14:48	-	-	P122b P123b	M47a	-	V210a	X48a	-
15:00	-	-	-	M48a	-	V211b V212b V213b	X49a	-
15:12	-	-	-	-	-	-	X50a	-
15:30	ポスター							
16:30	天文教育フォーラム							

口頭セッション 3月4日(金)

	A会場	B会場	C会場	D会場	E会場	F会場	G会場	H会場
開始時刻	活動銀河核	観測機器 (X線・γ線)	星形成		惑星系	観測機器 (光赤・重)	銀河形成	恒星進化
09:30	S01a	V301a	P125a	-	P301a	V214a	X51a	N01a
09:42	S02a	V302a	P126a	-	P302a	V215a	X52a	N02a
09:54	S03a	V303a	P127a	-	P303a	V216a	X53a	N03a
10:06	S04a	V304a	P128a	-	P304a	V217a	X54a	N04a
10:18	S05a	V305a	P129a	-	P305a	V218a	X55a	N05a
10:30	S06a	V306a	P130a	-	P306a	V219a	X56a	N06a
10:42	S07a	V307a	P131a	-	P307a	V220a	X57a	N07a
10:54	S08a	V308a	P132a	-	P308a	V221a	X58a	N08a
11:06	S09a	V309b V310b	P133a	-	P309a	V222a	X59a	N09a
11:18	S10b S11b	-	P134a	-	P310a	V223a	X60a	N10a
11:30	-	-	P135b P136b	-	P311b P312b P313b	V224b V225b	X61a	N11b N12b
11:40	昼休み							
開始時刻	活動銀河核	観測機器 (X線・γ線)	星形成		惑星系	観測機器 (光赤・重)		恒星進化
13:00	S12a	V311a	P137a	-	P315a	V226a	-	N15a
13:12	S13a	V312a	P138a	-	P316a	V227a	-	N16a
13:24	S14a	V313a	P139a	-	P317a	V228a	-	N17a
13:36	S15a	V314a	P140a	-	P318a	V229a	-	N18a
13:48	S16a	V315a	P141a	-	P319a	V230a	-	N19a
14:00	S17a	V316a	P142a	-	P320a	V231a	-	N20a
14:12	S18a	V317a	P143a	-	P321a	V232a	-	N21a
14:24	S19a	V318a	P144a	-	P322a	V233a	-	N22a
14:36	S20a	V319a	P145a	-	P323b	V234a	-	N23a
14:48	S21a	V320a	P146a	-	-	V235a	-	N24a
15:00	-	-	-	-	-	V236a	-	N25a
15:30	ポスター							
16:30	会員全体集会							

口頭セッション 3月5日(土)

	A会場	B会場	C会場	D会場	E会場	F会場	G会場	H会場
開始時刻	活動銀河核	観測機器 (X線・γ線)	星形成		惑星系			恒星進化
09:30	S22a	V321a	P147a	-	P325a	-	-	N26a
09:42	S23a	V322a	P148a	-	P326a	-	-	N27a
09:54	S24a	V323a	P149a	-	P327a	-	-	N28a
10:06	S25a	V324a	P150a	-	P328a	-	-	N29a
10:18	S26a	V325a	P151a	-	P329a	-	-	N30a
10:30	S27a	V326a	P152a	-	-	-	-	N31a
10:42	S28a	V327a	P153a	-	-	-	-	N32a
10:54	-	V328a	P154a	-	-	-	-	N33a
11:06	-	V329a	-	-	-	-	-	N34a
11:18	-	V330a	-	-	-	-	-	N35a
11:30	-	-	-	-	-	-	-	N36a
11:40	昼休み							
13:30	受賞記念講演(林忠四郎賞・研究奨励賞)							
15:30	受賞記念講演(欧文研究報告論文賞)							

※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 3月2日(水)・3月3日(木)・3月4日(金)

<p>【M. 太陽】(6)</p> <p>M22b M23b M24b M25b M26c</p> <p>M27c</p>	<p>【V1. 観測機器(電波)】(6)</p> <p>V109b V110b V111b V112c V113c</p> <p>V139b</p>
<p>【N. 恒星・恒星進化】(4)</p> <p>N11b N12b N13c N14c</p>	<p>【V2. 観測機器(光赤外・重力波・その他)】(5)</p> <p>V211b V212b V213b V224b V225b</p>
<p>【P1. 星・惑星形成(星形成)】(8)</p> <p>P110b P111b P112b P122b P123b</p> <p>P124c P135b P136b</p>	<p>【V3. 観測機器(X線・γ線)】(2)</p> <p>V309b V310b</p>
<p>【P2. 星・惑星形成(原始惑星系円盤)】(7)</p> <p>P211b P212b P213b P214c P224c</p> <p>P233b P234b</p>	<p>【W. コンパクト天体】(7)</p> <p>W11b W12b W13b W14c W26b</p> <p>W27b W28b</p>
<p>【P3. 星・惑星形成(惑星系)】(6)</p> <p>P311b P312b P313b P314c P323b</p> <p>P324c</p>	<p>【X. 銀河形成・進化】(9)</p> <p>X20b X21b X22b X23b X24b</p> <p>X25b X26b X27b X28c</p>
<p>【Q. 星間現象】(2)</p> <p>Q10b Q11b</p>	<p>【Y. 天文教育・広報普及・その他】(4)</p> <p>Y07b Y08b Y17b Y18b</p>
<p>【R. 銀河】(4)</p> <p>R09b R10b R16c R19b</p>	
<p>【S. 活動銀河核】(2)</p> <p>S10b S11b</p>	
<p>【U. 宇宙論】(1)</p> <p>U05b</p>	

M. 太陽

3月2日(水) 午前・D会場		3月2日(水) 午後・D会場	
09:30	M01a Solar-C(EUVST) Mission の進捗状況 および今後の科学戦略 今田晋亮(東京大学)	13:00	M12a 粒状斑消滅過程におけるMHD計算と 観測の比較 石川遼太郎(総合研究大学院大学/国立 天文台)
09:42	M02a SUNRISE-3 大気球太陽観測実験: 偏光 分光装置 SCIP のフライト観測を模擬した 太陽光試験 久保雅仁(国立天文台)	13:12	M13a 粒状斑反転構造の生成に関する観測的 研究 大場崇義(国立天文台)
09:54	M03a 国立天文台太陽フレア望遠鏡赤外偏光 分光観測装置データ評価と機器校正改修 森田諭(国立天文台)	13:24	M14a 波動による太陽彩層加熱における磁場 の角度依存性について 児山真夕(東京大学)
10:06	M04a 深層学習を用いた太陽高解像度画像の シーイング除去 福満翔(東京大学/国立天文台)	13:36	M15a 対流層からコロナ・太陽風までの包括的 3次元輻射磁気流体シミュレーション 飯島陽久(名古屋大学)
10:18	M05a 近赤外狭帯域チューナブルフィルターの 開発による彩層ダイナミクスの研究 末松芳法(国立天文台)	13:48	M16a Ca II 8542Å synthetic Stokes profile on chromospheric reconnection events in 2D RMHD simulation of solar active region ZHOU Xinyu (The University of Tokyo)
10:30	M06a 赤道加速・表面勾配層・極向き子午面還 流を再現した大規模数値シミュレーション 堀田英之(千葉大学)	14:00	M17a 飛騨天文台ドームレス太陽望遠鏡を用 いた分光観測によるプロミネンスの物理 量診断と加熱率の評価 橋本裕希(京都大学)
10:42	M07a 惑星形成が太陽ニュートリノフラックスに 及ぼす影響について 國友正信(久留米大学)	14:12	M18a Demonstration of the mapping of chromospheric magnetic fields by CLASP2.1 石川遼子(国立天文台)
10:54	M08a 太陽黒点群の出現頻度分布、面積分布、 及び総面積分布 桜井隆(国立天文台)	14:24	M19a SMART/SDDI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)
11:06	M09a 過去の観測記録から復元する1940年3月 の激甚宇宙天気現象 早川尚志(名古屋大学)	14:36	M20a Hinode/EISを使った100-200万度コロナ ループの加熱分布測定 石神瞬(総合研究大学院大学)
11:18	M10a 南極ドームふじアイスコアを用いた10年 スケール太陽周期の同時検出 望月優子(理化学研究所)	14:48	M21a 密度非対称条件におけるプラズモイド型 磁気リコネクションのMHDシミュレーション 山本百華(神戸大学)
11:30	M11a 人工衛星の軌道変化の解析による太陽 活動診断の試み 野澤恵(茨城大学)	15:00	M22b 高磁気レイノルズ数での大規模磁場誘導 と極性反転に関する解析 鳶田遼太(東京大学)
11:42	質疑応答(10分)		

15:00	M23b 黒点相対数計測のための汎用黒点自動 検出手法の開発 花岡庸一郎(国立天文台)	3月3日(木) 午前・D会場
15:00	M24b ガイド磁場条件での磁気リコネクション の衝撃波構造分析 渡邊悠太郎(神戸大学)	
15:12	M25b 2021年10月末-11月初頭の一連の フレア・CMEの宇宙天気への影響 塩田大幸(情報通信研究機構)	
	M26c 活動領域 NOAA12882 における小規模 活動現象の時間変動 當村一朗(大阪府立大学工業高等専門 学校)	
	M27c 超並列磁気流体シミュレーションコード OpenMHD-GPU の開発 銭谷誠司(神戸大学)	
15:24	質疑応答(10分)	
09:30	M28a 太陽フレア4クラス確率予報の信頼度 の向上 西塚直人(情報通信研究機構)	
09:42	M29a 活動領域 NOAA12871 の M2.8 フレアと Sympathetic CME に関わる三次元磁場 構造の解析 木田祐希(京都大学)	
09:54	M30a 局所的線形フォースフリー磁場近似に 基づく新たな太陽フレア予測の試み 近藤芳穂(名古屋大学)	
10:06	M31a 三次元磁気流体シミュレーションを用いた フレアループトップにおける乱流の調査 柴田健吾(大阪大学)	
10:18	M32a 活動領域 12887 で発生した X クラスフ レアの観測データ駆動型磁気流体シ ミュレーション 金子岳史(名古屋大学)	
10:30	M33a Data-driven MHD Simulation of Long- term Temporal Evolution of AR 11283 Yeongmin Kang (Nagoya University)	
10:42	M34a 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)	
10:54	M35a 数値モデルを用いた太陽フレア放射ス ペクトルによる電離圏変動の統計解析 西本将平(防衛大学校)	
11:06	M36a 太陽電波放射の太陽周期活動変動と EUV 放射スペクトルの関係 渡邊恭子(防衛大学校)	
11:18	M37a 太陽フレア EUV 放射によるデリンジャー 現象への影響 北島慎之典(防衛大学校)	
11:30	質疑応答(10分)	

N. 恒星・恒星進化

3月3日(木) 午後・D会場		3月4日(金) 午前・H会場	
13:00	M38a 多波長同時観測で迫るおひつじ座 UX 星で生じた巨大フレアの特徴(2) 北古賀智紀(中央大学)	09:30	N01a K型主系列星 V833 Tau 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)
13:12	M39a 太陽・恒星における低温プラズマ噴出の質量とフレアエネルギーについての普遍的な相関関係とスケール則 古谷侑士(京都大学)	09:42	N02a Tomo-e Gozen を用いた M dwarf からの超高速フレアの探索 逢澤正嵩(李政道研究所)
13:24	M40a 太陽型星スーパーフレアに伴うフィラメント噴出モデル 幾田佳(東京大学)	09:54	N03a OH/IR 星 RAFGL5201 の VLBI 位置天文観測と波長 11.6 μm の赤外線帯域での新たな周期光度関係の示唆 中川亜紀治(鹿児島大学)
13:36	M41a 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 II 大津天斗(京都大学)	10:06	N04a K型主系列星 PW And における H α 線分光モニタ観測 村瀬洸太郎(兵庫県立大学)
13:48	M42a 可視光測光・分光同時観測で迫る恒星スーパーフレアの彩層放射メカニズム 浪崎桂一(京都大学)	10:18	N05a 近赤外線 K バンドにおける Line depth ratio 法を用いた星の温度測定 西山正吾(宮城教育大学)
14:00	M43a 太陽型星スーパーフレアに伴う H α 線スペクトル変化の多様性の調査 行方宏介(国立天文台)	10:30	N06a 射影自転速度と半径を用いた恒星の自転周期分布の推定:磁気制動則への示唆 増田賢人(大阪大学)
14:12	M44a M型星フレア中における、彩層線輝線輪郭の青方偏移現象の分光・測光観測 野津湧太(コロラド大学/東京工業大学)	10:42	N07a Universal Atmospheric Heating Mechanisms of the Sun and Sun-like Stars 鳥海森(宇宙航空研究開発機構)
14:24	M45a PFSS モデルを用いたオープンフラックス問題の研究 吉田南(東京大学)	10:54	N08a 小マゼラン雲の星団で探るレッドクランプ星の近赤外線の色指数の年齢・金属量依存性 小野里宏樹(国立天文台)
14:36	M46a IPS 観測を用いた太陽風モデルの検証 庄田宗人(国立天文台)	11:06	N09a α Ori の低温彩層と低速風 保田悠紀(北海道大学)
14:48	M47a Intensity Ratios of Fe xxv Lines in Solar Flares Observed by <i>Hinotori</i> /SOX 渡邊鉄哉(国立天文台)	11:18	N10a LAMOST/すばる望遠鏡による金属欠乏星組成調査 III. α 元素と鉄族元素 青木和光(国立天文台)
15:00	M48a 太陽大気中の沿磁力線プラズマ運動 柴崎清登(太陽物理学研究所)	11:30	N11b 太陽型の零歳主系列星における活動性と黒点による光度変化 山下真依(兵庫県立大学)
15:12	質疑応答(10分)	11:30	N12b 食連星における質量移動と角運動量損失の連星パラメータへの依存性(I): W UMa 型連星 A タイプ 高妻真次郎(中京大学)

11:42	<p>N13c Multiple giant eruptions and X-ray emission in the pre-SN LBV candidate SDSS1133 小久保充 (プリンストン大学)</p>	<p>3月4日(金) 午後・H会場</p>
	<p>N14c 多次元対流効果を取り入れた超新星爆発の1次元シミュレーションによる特性量の相関調査と観測へのフィードバック 佐々木俊輔 (総合研究大学院大学/国立天文台)</p> <p>質疑応答(10分)</p>	

P1. 星・惑星形成(星形成)

3月5日(土) 午前・H会場		3月3日(木) 午前・C会場	
09:30	N26a 磁場を考慮した3次元超新星モデルの初期流体進化 中村航(福岡大学)	09:30	P101a 初代星原始星連星の合体機構 桐原崇亘(甲南大学)
09:42	N27a 無回転大質量星コアの3次元重力崩壊シミュレーションにおける磁場強度依存性 松本仁(慶應義塾大学)	09:42	P102a 収縮する始原ガスコアで増幅された乱流の飽和と散逸 東翔(甲南大学)
09:54	N28a 爆発初期スペクトルの系統的な調査でせまるIa型超新星の親星と爆発機構 小川真央(京都大学)	09:54	P103a 乱流磁場が初代星形成に与える影響 定成健児エリック(東北大学)
10:06	N29a 超新星爆発に対するアクション加熱の影響 森寛治(福岡大学)	10:06	P104a 低金属量環境下における星の質量分布に対する輻射フィードバックの影響 鄭昇明(東北大学)
10:18	N30a Ia型超新星の二重爆轟波モデルにおけるヘリウム表層の着火過程の球対称1次元シミュレーション 岩田和也(京都大学)	10:18	P105a 自己輻射と金属汚染を考慮した超大質量ブラックホール形成 千秋元(東北大学)
10:30	N31a 元素合成計算における核物理の不定性の影響:sプロセス 西村信哉(理化学研究所)	10:30	P106a 分子雲形成時の乱流星形成描像とその金属量依存性 小林将人(国立天文台)
10:42	N32a Discovering Supernovae at Epoch of Reionization with Nancy Grace Roman Space Telescope 守屋堯(国立天文台)	10:42	P107a 分子雲形成・進化シミュレーション:高密度クランプの重力不安定条件 岩崎一成(国立天文台)
10:54	N33a フォールバック降着による低エジェクタ質量トランジェントの光度曲線 澤田涼(東京大学)	10:54	P108a 星形成領域 NGC 1333 の磁場構造 III 土井靖生(東京大学)
11:06	N34a VLAで探る超高光度超新星からの後期電波放射および母銀河の星形成活動 廿日出文洋(東京大学)	11:06	P109a BISTRO Project Status (10) Tetsuo Hasegawa (NAOJ)
11:18	N35a Early Report on the OISTER Follow-Up Observations of a Super-Chandrasekhar Supernova Candidate SN 2021zny 山中雅之(京都大学)	11:18	P110b Stream Velocityによる超音速駆動ガス天体の統計的性質 仲里佑利奈(東京大学)
11:30	N36a Super-Linear II型超高輝度超新星におけるIa-CSM型由来の可能性 平松大地(Center for Astrophysics Harvard & Smithsonian)	11:18	P111b 初代星形成における大質量原始星近傍での輻射流体計算 木村和貴(京都大学)
11:42	質疑応答(10分)	11:18	P112b フィラメント分子雲の自己重力分裂による分子雲コアと原始星の形成 吹原瑤(鹿児島大学)
		11:30	質疑応答(10分)

3月3日(木) 午後・C会場		3月4日(金) 午前・C会場	
13:00	P113a ALMA ACAによる大マゼラン雲超広域CO探査(1): Molecular ridge領域における大質量原始星に付随するフィラメント状分子雲普遍性の検証 徳田一起(大阪府立大学/国立天文台)	09:30	P125a 野辺山 45m 鏡によるオリオン座分子雲コアの収縮運動サーベイ 立松健一(国立天文台)
13:12	P114a ALMA ACAによる大マゼラン雲超広域CO探査(2):Molecular ridge領域における高密度分子雲クラumpの分布 南大晴(大阪府立大学)	09:42	P126a GMCの進化と星形成; 銀河面におけるO-starless GMCの性質 山田麟(名古屋大学)
13:24	P115a 大質量星形成領域の遠赤外線[CII]輝線広域観測を進める日印共同気球実験 大藪進喜(徳島大学)	09:54	P127a 低金属量環境下における星生成クラスターの初期質量関数導出 I: Sh 2-209 安井千香子(国立天文台)
13:36	P116a 大質量星団形成時の観測的徴候 猪口睦子(京都大学)	10:06	P128a ALMA ACA サーベイで探る Corona Australis 領域の星形成(4) 西岡丈翔(名古屋大学)
13:48	P117a Dense cores at the early phase of high-mass star formation 森井嘉穂(東京大学/国立天文台)	10:18	P129a ALMA 高分解能データで探る星団形成領域 Corona Australis IRS7 における分子雲コアの分裂 深谷直史(名古屋大学)
14:00	P118a Cloud-in-cloud simulations of star cluster formation 福島肇(筑波大学)	10:30	P130a JCMT 2 波長偏波観測で見えてきた分子雲コア L1521F の星形成の現場 深谷紗希子(鹿児島大学)
14:12	P119a MHD シミュレーションで探る分子雲コア衝突 木下真一(東京大学)	10:42	P131a マルチスケール観測から探る原始星エンベロープ/コアの力学 崔仁士(台湾中央研究院)
14:24	P120a 衝撃波圧縮の継続時間を考慮した分子雲における誘発的星形成シミュレーション 安部大晟(名古屋大学)	10:54	P132a 原始星天体 BHB07-10 のエンベロープに形成された衝撃波の波紋構造 西合一矢(東京大学)
14:36	P121a 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)	11:06	P133a すばるHSCによる新たな褐色矮星の探査と銀河系構造の推定 坂本茉莉江(愛媛大学)
14:48	P122b 分子雲衝突によって誘発された W49N のスターバースト 宮脇亮介(桜美林大学)	11:18	P134a Orion Nebula の形成と大質量星の運動について 藤井通子(東京大学)
14:48	P123b コア合体による原始星への降着率の時間変動 矢野雄大(東京大学)	11:30	P135b 高銀緯分子雲 MBM16,24 における深い可視分光探査観測 大朝由美子(埼玉大学)
	P124c 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)	11:30	P136b 不規則に変光する YSO 候補天体の分光観測 八木恵(兵庫県立大学)
15:00	質疑応答(10分)	11:42	質疑応答(10分)

3月4日(金) 午後・C会場		3月5日(土) 午前・C会場	
13:00	P137a 磁気流体シミュレーションによる原始星周囲の磁場構造の解明 井上慎一郎(九州大学)	09:30	P147a The Detection of a Hot Molecular Core in the Extreme Outer Galaxy 下西隆(新潟大学)
13:12	P138a 原始星の境界層降着に関する磁気流体計算 高棹真介(大阪大学)	09:42	P148a The inventory of Nitrogen-bearing organics towards G+0.693-0.027 Shaoshan Zeng (RIKEN)
13:24	P139a 成長する連星周囲の降着流の構造 森井健翔(茨城大学)	09:54	P149a Vibrationally-excited Lines of HC ₃ N Tracing the Disk Structure around the G 24.78+0.08 A1 Hyper-compact HII Region 谷口琴美(国立天文台)
13:36	P140a 回転降着エンベロープの模擬観測: L1527 観測の再解析 森昇志(東北大学)	10:06	P150a Hot Corino Activity in IRAS 15398-3359 at a 50 au Scale 大小田結貴(東京大学)
13:48	P141a W49N MCN-a: 自己重力円盤による大質量原始星への降着 宮脇亮介(桜美林大学)	10:18	P151a IRAS 16293-2422 Source A の星周円盤における複雑な飽和有機分子の分布 大屋瑤子(東京大学)
14:00	P142a 大質量原始星候補天体 Orion Source I における ALMA バンド 10 連続波観測 廣田朋也(国立天文台)	10:30	P152a High NH ₂ D/NH ₃ ratios around the low-mass protobinary NGC1333 IRAS4A 大和義英(東京大学)
14:12	P143a 磁化した乱流分子雲コア中における単極アウトフローの形成 高石大輔(鹿児島大学)	10:42	P153a PEACHES IV: Sulfur-bearing Molecules in Protostars in the Perseus Molecular Cloud Ziwei E. Zhang (RIKEN)
14:24	P144a 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(3): 中間質量原始星 DK Cha のケーススタディ(II) 原田直人(九州大学)	10:54	P154a Temperature structure of the Class I protostar Elias 29 and its environment 雑賀恵理(東京大学)
14:36	P145a 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(4): 小質量原始星 Ser-emb 15 のケーススタディ(I) 佐藤亜紗子(九州大学)	11:06	質疑応答(10分)
14:48	P146a MAGellanic Outflow and chemistry Survey (MAGOS): the Power of LMC Protostellar Outflows 田中圭(コロラド大学ボルダー校/国立天文台)		
15:00	質疑応答(10分)		

P2. 星・惑星形成(原始惑星系円盤)

3月2日(水) 午前・F会場			P214c パブリックコードを用いた理想気体の状態方程式とオパシティのテーブル構築 廣瀬重信(海洋研究開発機構)
09:30	P201a 原始惑星系円盤の温度進化計算のための大局2層モデルの開発 奥住聡(東京工業大学)	11:42	質疑応答(10分)
09:42 P202a 鉛直シア不安定性乱流に対する原始惑星系円盤の熱緩和構造の影響 福原優弥(東京工業大学)		3月2日(水) 午後・F会場	
09:54	P203a 原始惑星系円盤の磁束輸送: 電離度と降着流の鉛直構造を考慮したモデル化 榎本晴日(東京工業大学)	13:00	P215a 低温かつ任意のダストサイズ分布で正確な磁気抵抗値の解析モデルの開発 塚本裕介(鹿児島大学)
10:06	P204a 磁場に沿った宇宙線の伝播と原始惑星系円盤の電離率分布 藤井悠里(京都大学)	13:12	P216a ダスト成長・破壊を伴う原始惑星系円盤の不安定性によるダスト濃集 富永遼佑(理化学研究所)
10:18	P205a 磁気流体シミュレーションを用いた遷移円盤周りの星風構造の調査 海野真輝(大阪大学)	13:24	P217a 大質量原始星円盤におけるダスト成長: 岩石ダストは付着しやすいか? 山室良太(東京工業大学)
10:30	P206a Early Planet Formation in Embedded Disks (eDisk): First-look results Nagayoshi Ohashi (ASIAA)	13:36	P218a 分子動力学で探るモノマー間相互作用 吉田雄城(東京大学)
10:42	P207a 低質量天体 ZZ Tau IRS 周囲の原始惑星系円盤における非軸対称リング構造 武藤恭之(工学院大学)	13:48	P219a 可視光・近赤外線散乱偏光で探るダストアグリゲイトのモノマー半径 田崎亮(アムステルダム大学)
10:54	P208a ALMA 多波長観測で明らかにした CW Tau 周りの大質量コンパクト円盤 植田高啓(国立天文台)	14:00	P220a 磁気駆動円盤風で進化する原始惑星系円盤における結晶質ケイ酸塩ダスト粒子の動径分布 荒川創太(国立天文台)
11:06	P209a Taurus Class II 原始惑星系円盤のALMA超解像サーベイ. I. 円盤の下部構造 山口正行(東京大学/国立天文台)	14:12	P221a 原始惑星系円盤 HD 163296 のダストリング形成機構の推定 土井聖明(総合研究大学院大学/国立天文台)
11:18	P210a Subaru/VAMPIRES を用いた H α 高コントラスト撮像: 原始惑星系円盤内における惑星形成とジェットの見出し 鶴山太智(NAOJ/Caltech-IPAC/NEExSci)	14:24	P222a ALMA 観測を用いた原始惑星系円盤のダスト組成への制限 片岡章雅(国立天文台)
11:30	P211b thin-disk 近似を用いた1次元自己重力磁気流体力学コードの開発 小林雄大(鹿児島大学)	14:36	P223a 高分散分光観測によるdipper天体の特徴づけと減光原因の推定 笠木結(総合研究大学院大学)
11:30	P212b 原始惑星系円盤における磁束輸送過程 岩崎一成(国立天文台)		P224c ダストアグリゲイト間の衝突破壊に関する破片と質量比の関係性 長谷川幸彦(東京大学)
11:30	P213b 磁場を考慮した鉛直シア不安定性由来の乱流 小野智弘(東京工業大学)	14:48	質疑応答(10分)

P3. 星・惑星形成(惑星系)

3月3日(木) 午前・F会場	3月4日(金) 午前・E会場
09:30 P225a ALMAによる原始惑星系円盤の [C]($3P_1-3P_0$) 観測 II 塚越崇(国立天文台)	09:30 P301a 夜空のフラウンホーファー線観測による 黄道光の絶対輝度測定 繁澤政樹(関西学院大学)
09:42 P226a 原始惑星系円盤における分子ガス同位 体比の新しい測定手法とその TW Hya 円盤の $^{12}\text{CO}/^{13}\text{CO}$ 比への応用 吉田有宏(総合研究大学院大学/国立 天文台)	09:42 P302a はやぶさ2サンプルリターンカプセル再 突入における ELF/VLF 電波観測 渡邊堯(情報通信研究機構)
09:54 P227a 大気から探る惑星形成: 円盤影領域に よる木星大気の揮発性元素超過の説明 大野和正(University of California, Santa Cruz)	09:54 P303a アウトバースト直後の 29P/ Schwassmann-Wachmann 1 のジェット 構造の発生メカニズム解析 中澤淳一郎(総合研究大学院大学)
10:06 P228a H_2O スノーライン以遠に影構造を持つ原始 惑星系円盤の詳細化学構造 II. 有機分子 組成&電離度・初期化学組成依存性 野津翔太(理化学研究所)	10:06 P304a アルマによる海王星上部成層圏東西風 の緯度・高度構造の直接観測 飯野孝浩(東京大学)
10:18 P229a 半揮発性物質の輸送に伴う原始惑星系 円盤および巨大ガス惑星の元素濃縮 中澤風音(東京工業大学)	10:18 P305a Eccentric von Zeipel-Lidov-Kozai Mechanism in the Solar System 船渡陽子(東京大学)
10:30 P230a 超木星質量惑星による原始惑星系円盤 へのギャップ形成と惑星への質量降着率 田中佑希(東北大学)	10:30 P306a 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 小久保英一郎(国立天文台)
10:42 P231a Planetesimal Dynamics in the Presence of a Giant Planet Kangrou Guo (The University of Tokyo/ NAOJ)	10:42 P307a 巨大衝突の数値計算結果に原始地球 の自転が与える影響 細野七月(神戸大学)
10:54 P232a 現実的な合体条件を考慮した岩石微惑星 の集積過程の研究 柴田雄(国立天文台)	10:54 P308a 巨大衝突後における惑星内部構造の 推定と残留大気の長期安定性の検討 黒崎健二(名古屋大学)
11:06 P233b 巨大惑星を持つ原始惑星系円盤の3次元 流体シミュレーション 金川和弘(茨城大学)	11:06 P309a ホットジュピターの大気散逸における FUV 加熱の役割 三谷啓人(東京大学)
11:06 P234b 巨大衝突起源のデブリ円盤の特徴解明 に向けた巨大衝突シミュレーション 小林浩(名古屋大学)	11:18 P310a 恒星高エネルギー粒子のフルエンスを 考慮した惑星への影響評価(その2) 山敷庸亮(京都大学)
11:18 質疑応答(10分)	11:30 P311b 火星の可視光偏光観測 川上碧(兵庫県立大学)
	11:30 P312b Investigating the existence of a new planet in the outer solar system Patrik Sofia Lykawka (Kindai University)

11:30	P313b Eccentric Kozai-Lidov 機構による Octupole 振動 稲熊穂乃里 (東京大学)	14:36	P323b 太陽系外惑星 Qatar1 b の近赤外トランジット測光観測 平野佑弥 (兵庫県立大学)
	P314c 地球型惑星における光合成由来の酸素の双安定性 小松勇 (アストロバイオロジーセンター/国立天文台)		P324c 埼玉大学 SaCRA 望遠鏡 / MuSaSHI と 36cm 望遠鏡を用いた、系外惑星の多波長トランジット測光観測 大朝由美子 (埼玉大学)
11:42	質疑応答 (10 分)	14:48	質疑応答 (10 分)
3 月 4 日 (金) 午後・E 会場		3 月 5 日 (土) 午前・E 会場	
13:00	P315a Regular Radial velocity variations in Nine G- and K-type Giant Stars: Eight Planets and One Planet Candidate Huan-Yu Teng (Tokyo Institute of Technology)	09:30	P325a 系外惑星大気赤外分光観測衛星計画 ESA-M4 Ariel への参入に向けて 生駒大洋 (国立天文台)
13:12	P316a IRD 戦略枠観測による惑星の発見: 低温 M 型星のハビタブルゾーン内側境界近傍を公転するスーパーアース 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)	09:42	P326a 太陽系外地球型惑星大気観測に向けた国際紫外線天文衛星 WSO-UV 計画 亀田真吾 (立教大学)
13:24	P317a IRD-SSP による M 型星周りの惑星サーベイ: 3年目の観測状況 大宮正士 (アストロバイオロジーセンター)	09:54	P327a JASMINE 衛星による精密測光観測 平野照幸 (アストロバイオロジーセンター)
13:36	P318a 近赤外スペクトルにおける視線速度測定精度の向上 池田圭吾 (東京工業大学)	10:06	P328a 中程度のスペクトル帯域幅を備えた超解像コロナグラフ 伊藤哲司 (名古屋大学)
13:48	P319a 惑星運動と恒星活動の判別: 機械学習による視線速度データへのアプローチ 中西亮介 (東京工業大学)	10:18	P329a Gaia 天体を基にしたデブリ円盤検出頻度の算出 水木敏幸 (茨城大学)
14:00	P320a MuSCAT シリーズとすばる望遠鏡 IRD インテンシブ観測による TESS トランジット惑星候補のフォローアップ観測 II 成田憲保 (東京大学)	10:30	質疑応答 (10 分)
14:12	P321a 明るい M 型星をまわる低日射の小型トランジット惑星 TOI-2285b の発見 福井暁彦 (東京大学)		
14:24	P322a 高金属量 mid-M 型星をトランジットする巨大惑星 TOI-519b の質量決定 蔭谷泰希 (東京大学)		

Q. 星間現象

3月2日(水) 午前・E会場		3月2日(水) 午後・E会場	
09:30	Q01a 銀河面上における星形成前段階の星間ガスの探索 本多優一(東京大学)	13:00	Q12a The Long Tails of the Pegasus-Pisces Arch Intermediate Velocity Cloud 立原研悟(名古屋大学)
09:42	Q02a 輝線強度の頻度分布(BDF)による銀河系内分子ガスの分類と占有率の定量化 阪本成一(国立天文台)	13:12	Q13a 中高銀緯広域における中間速度雲の重元素量空間分布(3) 早川貴敬(名古屋大学)
09:54	Q03a 星間媒質中を高速移動する強重力源の軌跡:長大直線状構造の起源の理論的研究 北島敏大(名古屋大学)	13:24	Q14a 銀河面に降り注ぐ中間速度中性水素雲 福井康雄(名古屋大学)
10:06	Q04a 機械学習アルゴリズムを用いた分子輝線データからの H ₂ 柱密度の予測 島尻芳人(国立天文台)	13:36	Q15a Laboratory Measurement of Millimeter-wave Transitions of ¹³ CH ₂ DOH for Astronomical Use 小山貴裕(理化学研究所)
10:18	Q05a 機械学習アルゴリズムを用いた Near-Far 問題の解法(3) 藤田真司(大阪府立大学)	13:48	Q16a 電波星雲 W50 東端領域と分子雲との相互作用 酒見はる香(鹿児島大学)
10:30	Q06a The NANTEN Galactic Plane Survey II : (分子雲同定と距離決定) 西川薫(名古屋大学)	14:00	Q17a JVN 高感度少数基線を用いた銀河面上の未分解コンパクト電波源に対する種族推定 元木業人(山口大学)
10:42	Q07a 深層学習を用いた Cygnus X 領域の赤外線リング構造の同定 西本晋平(大阪府立大学)	14:12	Q18a 3次元輻射流体力学計算で探るブラックホール降着円盤への Bondi-Hoyle-Lyttleton 過程 尾形絵梨花(筑波大学)
10:54	Q08a 野辺山 45m 望遠鏡を用いた IC1396N のアンモニア分子輝線観測 竹葉理史(鹿児島大学)	14:24	Q19a 宇宙線が誘起する Biermann battery 効果による磁場生成 横山将汰(東京大学)
11:06	Q09a 大マゼラン雲における銀河間潮汐相互作用による大質量星形成 柘植紀節(Dr. Karl Remeis-Sternwarte, Friedrich-Alexander University)	14:36	Q20a 宇宙線によって引き起こされる宇宙での放電現象 大平豊(東京大学)
11:18	Q10b 野辺山 45 m Local Spur CO サーベイ: こぎつね座 OB アソシエーションにおける巨大フィラメント状分子雲と星団形成 II 河野樹人(名古屋市科学館)	14:48	Q21a COMPTELによる MeV 拡散銀河ガンマ線の起源の検証 辻直美(理化学研究所)
11:18	Q11b アンモニアマッピングサーベイプロジェクト(KAGONMA): 星形成活動が周辺分子ガスへ及ぼす影響 村瀬建(鹿児島大学)	15:00	質疑応答(10分)
11:30	質疑応答(10分)		

3月3日(木) 午前・E会場		3月3日(木) 午後・E会場	
09:30	Q22a 星風中を伝播する超新星残骸における宇宙線の逃走過程と最高エネルギー 上島翔真(東京大学)	13:00	Q32a X線で探るカシオペア座A南東領域の爆発噴出物逆転層の起源 土岡智也(立教大学)
09:42	Q23a 様々な環境における超新星残骸の非熱的放射の長時間にわたる計算 小橋亮介(京都大学)	13:12	Q33a ChandraによるSN1006北西部衝撃波の空間分解解析:重元素分布と電子温度 市橋正裕(東京大学)
09:54	Q24a パルサー星雲広帯域放射の乱流加速モデル 田中周太(青山学院大学)	13:24	Q34a 超新星残骸W28の過電離プラズマにおける初期状態の観測的研究 火物瑠偉(奈良教育大学)
10:06	Q25a X線帯におけるカニ星雲南側ジェットの長期間変動 金丸善朗(宮崎大学)	13:36	Q35a 実験室に超新星残骸をつくる—LHDプラズマ分光実験による鉄族元素のL殻輝線測定と電離非平衡プラズマモデルの検証— 大城勇憲(東京大学/宇宙航空研究開発機構)
10:18	Q26a 再結合優勢プラズマを持つ超新星残骸G346.6-0.2に付随する星間雲 佐野栄俊(国立天文台)	13:48	Q36a 天文学への応用を目指した小型電子ビームイオントラップ(EBIT)の開発 天野雄輝(京都大学)
10:30	Q27a 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 有賀麻貴(名古屋大学)	14:00	質疑応答(10分)
10:42	Q28a Chandra衛星による超新星残骸カシオペア座Aの北東領域のX線時間変動解析 小湊菜央(立教大学)		
10:54	Q29a Suzaku衛星による超新星残骸RX J0852.0-4622の衝撃波全縁の空間分離スペクトル解析 佐々木寅旭(埼玉大学)		
11:06	Q30a 超新星残骸RCW 86南西部での衝撃波加速効率の環境依存性の調査 鈴木寛大(甲南大学)		
11:18	Q31a 特性X線のドップラー解析によるTychoの超新星残骸における噴出物の膨張構造の解明 春日知明(東京大学)		
11:30	質疑応答(10分)		

R. 銀河

3月2日(水) 午前・C会場		3月2日(水) 午後・C会場	
09:30	R01a NRO レガシープロジェクト COMING (31): 近傍銀河における星形成活動に対する渦巻腕の影響に関する観測的研究 保田敦司(筑波大学)	13:00	R11a The Cold AGN Outflow in NGC 1068 Characterized by Dissociation Sensitive Molecules using Two-dimensional PCA 斉藤俊貴(日本大学/国立天文台)
09:42	R02a 棒渦巻銀河の棒部における星形成効率の統計的調査 前田郁弥(東京大学)	13:12	R12a Astrometry of Sagittarius A* using ALMA Masato Tsuboi (ISAS/JAXA)
09:54	R03a CO($J=1-0$) mapping survey of 64 Fornax galaxies with the ALMA Morita array Kana Morokuma (The University of Tokyo)	13:24	R13a NGC 253 中心部における非回転ガス軌道の同定 榎谷玲依(慶應義塾大学)
10:06	R04a 近傍渦巻銀河における巨大分子雲の星形成活動度 出町史夏(名古屋大学)	13:36	R14a 天の川銀河 N 体シミュレーションにおける速度空間分布の時間変動と共鳴軌道 朝野哲郎(東京大学)
10:18	R05a 巨大分子雲における星形成と銀河進化: M33 (2) 小西垂侑(大阪府立大学)	13:48	R15a すばる望遠鏡/Hyper Suprime-Cam 用 狭帯域フィルター NB515 で探るアンドロメダ銀河恒星ハローの構造 II 小上樹(法政大学)
10:30	R06a 分子雲衝突による星形成と銀河シミュレーション 堀江秀(北海道大学)	R16c On the dynamical mass of galaxies 小平桂一(MPIfR/国立天文台/総合研究大学院大学)	
10:42	R07a ALMA による超高光度赤外線銀河の水分子、及び、高密度分子ガスの観測 今西昌俊(国立天文台)	14:00	R17a 重力レンズ効果を用いた銀河磁場観測のシミュレーション 大前陸人(総合研究大学院大学)
10:54	R08a 水素輝線強度比異常が示唆する ULIRG の高密度星形成と JWST 観測の展望 馬場俊介(鹿児島大学)	14:12	R18a 銀河面からの軟 X 線背景放射 (8) 安福千貴(名古屋大学)
11:06	R09b 銀河系の渦状構造と分子雲の BDI の関係 権代大河(筑波大学)	14:24	R19b 偏波解消の周波数依存性から探る渦状銀河の磁場分散推定 田嶋裕太(総合研究大学院大学/国立天文台)
11:06	R10b スターバースト銀河 NGC 1808 における巨大分子雲の性質 II. Atacama Compact Array による広がった分子ガスの有無の影響 矢島義之(北海道大学)	14:36	質疑応答(10分)
11:18	質疑応答(10分)		

S. 活動銀河核

3月4日(金) 午前・A会場		3月4日(金) 午後・A会場	
09:30	S01a 相対論的流体中での因果律を保った光子多重散乱効果 高橋 芳太 (苫小牧工業高等専門学校)	13:00	S12a eROSITA view of an extremely infrared-luminous AGN at $z = 1.87$ 鳥羽 儀樹 (京都大学)
09:42	S02a 逆コンプトン散乱による冷却を考慮したセイファート銀河における軟X線放射領域の輻射磁気流体シミュレーション 五十嵐 太一 (千葉大学)	13:12	S13a 多波長 SED 解析で解明する合体銀河中の活動銀河核とポーラーダストの構造 山田 智史 (京都大学)
09:54	S03a Constructing synthetic images of GRMHD models for AGN jets by applying the general relativistic radiative transfer code RAIKOU 荻原 大樹 (筑波大学)	13:24	S14a 合体銀河 Mrk 739 が持つ二重 AGN の広帯域 X 線スペクトル解析 稲葉 昂希 (京都大学)
10:06	S04a 宇宙ジェットのインフロー領域 高橋 真聡 (愛知教育大学)	13:36	S15a ALMA Lensing Cluster Survey: 多波長観測による遠方 AGN の探査 植松 亮祐 (京都大学)
10:18	S05a Blandford-Znajek 過程による時空の時間変化 當真 賢二 (東北大学)	13:48	S16a 電波観測による超高光度赤外線銀河中の埋もれた活動銀河核の探索 林隆之 (麻布中学校・高等学校 / 国立天文台)
10:30	S06a 強磁場降着流ガンマ線放射モデル: 近傍電波銀河の観測データとの比較 久世 陸 (東北大学)	14:00	S17a Chandra と ALMA CO($J=2-1$) データを用いた AGN の X 線放射が周辺ガスに与える影響の研究 川室 太希 (Universidad Diego Portales)
10:42	S07a A robust lower bound on intergalactic magnetic fields from Fermi/LAT and MAGIC observations of 1ES 0229+200 Ievgen Vovk (The University of Tokyo)	14:12	S18a パーセク解像度の分子・原子ガス観測で調べる AGN トーラスの動的構造 泉 拓磨 (国立天文台)
10:54	S08a 活動銀河核ウィンド・トーラス起源のニュートリノ・ガンマ線・電波放射 井上 進 (文教大学 / 理化学研究所)	14:24	S19a 低質量 AGN 輻射駆動噴水モデルにおける Warm Absorber 小川 翔司 (京都大学)
11:06	S09a 3次元一般相対論的磁気流体降着流における高エネルギー・ニュートリノ放射 川島 朋尚 (東京大学)	14:36	S20a ALMA による近傍活動銀河核の水メーザーの連続観測 萩原 喜昭 (東洋大学)
11:18	S10b 歳差運動するブラックホール降着流と相対論的ジェットの放射特性 川島 朋尚 (東京大学)	14:48	S21a CO 振動回転遷移吸収線を用いた分子トーラス内部構造進化の研究 大西 崇介 (東京大学)
11:18	S11b 数値モデルと X 線模擬観測で探る活動銀河核ジェット前進衝撃波の特性 大村 匠 (東京大学)	15:00	質疑応答 (10分)
11:30	質疑応答 (10分)		

T. 銀河団

3月5日(土) 午前・A会場		3月2日(水) 午前・H会場	
09:30	S22a AGN ダスト減光量から得られる AGN フィードバックへの示唆 水越翔一郎(東京大学)	09:30	T01a Faraday Tomographyを用いた銀河団電波ハロー数値モデルの二次元的解析 菅原充祥(山形大学)
09:42	S23a 冷たいガスを軸とした銀河団中心銀河での AGN feedback 藤田裕(東京都立大学)	09:42	T02a すばる望遠鏡を用いた銀河団中の AGN fraction 分布の調査 橋口葵(奈良女子大学)
09:54	S24a 活動銀河核における質量降着環境 井上一(宇宙航空研究開発機構)	09:54	T03a ひとみ衛星とすざく衛星を統合したペルセウス銀河団からの暗黒物質由来の輝線探索 III 福一誠(立教大学)
10:06	S25a 東アジア VLBI 観測網で探るいて座 A* の電波放射領域 紀基樹(工学院大学)	10:06	T04a 初期の衝突銀河団 CIZA J1358.9-4750 における衝突構造の 3次元モデル化と高分解能分光観測で期待される観測量 大宮悠希(名古屋大学)
10:18	S26a スパースモデリングによる VLBA の超解像画像におけるブレーザー 3C 454.3 ジェットの螺旋運動の発見 笹田真人(広島大学)	10:18	T05a NuSTAR 衛星による RX J1347.5-1145 銀河団の硬 X 線観測 柴田実桜(奈良女子大学)
10:30	S27a BL Lacertae 2020-2021 年フレア時の可視光・近赤外線同時連続偏光観測によるジェット中磁場構造および放射領域の研究 今澤遼(広島大学)		
10:42	S28a 直線偏光・円偏光画像から探る、活動銀河核 M87 のジェット-円盤構造 恒任優(京都大学)		
10:54	質疑応答(10分)		

U. 宇宙論

3月2日(水) 午前・H会場		3月2日(水) 午後・H会場	
10:30	U01a 超軽量 axion が CMB 偏光モードに作る宇宙複屈折効果 並河俊弥 (Kavli IPMU)	13:00	U06a Dark Quest II : Super-Resolution Emulation による宇宙大規模構造エミュレータ 田中賢 (京都大学)
10:42	U02a DES Y3 と Fermi LAT によるダークマター 対消滅に関する制限 西澤淳 (名古屋大学)	13:12	U07a Dark Quest II: 宇宙の大規模構造高精度 解析コードの整備状況 西道啓博 (京都大学)
10:54	U03a 活動銀河核ダストトラスを用いた原始 ブラックホール存在量への新たな制限 柳澤馨 (大阪大学)	13:24	U08a 曲率を持つ宇宙の質量密度揺らぎの非 線形パワースペクトルの計算法の開発 寺澤凌 (東京大学 /Kavli IPMU)
11:06	U04a Discriminating Gravitational Potential Models on Galactic Scales Haixia Ma (Nagoya University)	13:36	U09a Lyman α サーベイによる RSD 効果の検出 可能性 中島光一郎 (名古屋大学)
11:18	U05b Fuzzy Dark Matter ハローの大域的密度 プロファイルの理論モデル 河合宏紀 (東京大学)	13:48	U10a ガウス過程回帰を用いた前景放射除去 伊東拓実 (熊本大学)
11:30	質疑応答 (10 分)	14:00	U11a 初代星が宇宙論的 21-cm 線シグナルに 及ぼす影響 伊元聖也 (名古屋大学)
		14:12	U12a Upper limits on Einstein's weak equivalence principle placed by uncertainties of dispersion measures of fast radio bursts 橋本哲也 (National Chung Hsing University)
		14:24	U13a すばる望遠鏡の原始 He 量測定で検証 する宇宙論モデルと反レプトン存在比 松本明訓 (東京大学)
		14:36	U14a 新光子モデルと現行光子モデル 及び それぞれからの宇宙像等 藤原ケイ
		14:48	U15a U1.27 による、宇宙の質量と泡構造と銀 河と恒星の生成 (中心が太陽質量のブ ラックホールに成るために必要な質量) 小堀しづ
		15:00	質疑応答 (10 分)

V1. 観測機器 (電波)

3月2日(水) 午前・B会場		3月2日(水) 午後・B会場	
09:30	V101a FITSWEBQLSE とその周辺 (C/C++, FORTRAN, Rust, Julia, Python 等) Christopher Zapart (国立天文台)	13:00	V114a SKA プロジェクトへの参加計画 5 小林秀行 (国立天文台)
09:42	V102a 茨城観測局電波望遠鏡搭載広帯域 CX 帯円偏波分離器の開発 2 知念翼 (大阪府立大学)	13:12	V115a SKA プロジェクトに向けた科学検討 5 赤堀卓也 (国立天文台/SKA天文台)
09:54	V103a VERA広帯域両偏波観測の性能評価報告 秦和弘 (国立天文台)	13:24	V116a 水沢 10m 電波望遠鏡の低周波帯受信システムの開発と教育への使用 亀谷收 (国立天文台)
10:06	V104a 広帯域受信機のための高温超伝導クワッドバンド帯域通過フィルタの開発 良知颯太 (山梨大学)	13:36	V117a 電波望遠鏡受信機の高感度化に向けた低損失導波管回路の基礎開発 中島拓 (名古屋大学)
10:18	V105a 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 (II) 氏原秀樹 (京都大学)	13:48	V118a 局部発振器信号の高純度化による受信機雑音の低減 堀裕一 (名古屋大学)
10:30	V106a 野辺山 45m 鏡 7 ビーム 3 帯域両偏波受信機の開発 XI: 進捗概要報告 III 長谷川豊 (大阪府立大学)	14:00	V119a DESHIMA 2.0: Development overview of the 220–440 GHz integrated superconducting spectrometer and the planned scientific observation campaign on ASTE 谷口暁星 (名古屋大学)
10:42	V107a 野辺山 45m 鏡 7 ビーム 3 帯域両偏波受信機の開発 XII: 誘電体レンズの表面に最適な反射防止構造の検討 山崎康正 (大阪府立大学)	14:12	V120a 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 II. デジタルサイドバンド分離広帯域分光計の性能評価 萩本将都 (名古屋大学)
10:54	V108a 野辺山 45m 鏡に搭載された eQ 受信機計画の概要と現状 中村文隆 (国立天文台)	14:24	V121a 次世代太陽風観測装置に向けたデジタルアレイの開発検討 岩井一正 (名古屋大学)
11:06	V109b 野辺山 45m 鏡 eQ 受信機の搭載及び光学系の評価 山崎康正 (大阪府立大学)	14:36	V122a ミリ波補償光学の開発 VI. 20 GHz 波面センサの複素帯域透過特性の較正方法とその時間安定性の検証 中村友子 (日本女子大学)
11:06	V110b 電波点回折干渉計のための超伝導回路を用いた相関型偏波計の試作に向けた設計 永井誠 (国立天文台)	14:48	V123a ミリ波補償光学の開発VII. アンテナ鏡面-受信機間の超過経路長の測定による鏡面変形の評価 中野覚矢 (名古屋大学)
11:06	V111b Wavelets and sparsity for solving the inverse problem in Faraday tomography Suchetha Cooray (Nagoya University)	15:00	質疑応答 (10 分)
	V112c 高萩/日立 32 m 電波望遠鏡の整備状況 2022A 米倉覚則 (茨城大学)		
	V113c VERA-upgrade for EAVN and GVLBI 計画の進捗 V 小山友明 (国立天文台)		
11:18	質疑応答 (10 分)		

3月3日(木) 午前・B会場		3月3日(木) 午後・B会場	
09:30	V124a テラヘルツ強度干渉計のための1.5 THz 光子計数型検出器の設計 丹羽綾子(筑波大学)	13:00	V134a Update on ALMA Operations and Development Program – Spring 2022 Alvaro Gonzalez (NAOJ)
09:42	V125a 光子計数型テラヘルツ強度干渉計のための極低温読み出し回路の開発 小関知宏(筑波大学)	13:12	V135a Measurement of Transmission Loss of a Superconducting Transmission Line with On-chip Resonators at 2mm Wavelength Wenlei Shan (NAOJ)
09:54	V126a CMB 偏光観測衛星 LiteBIRD 計画の開発と進展 松田フレドリック(宇宙航空研究開発機構)	13:24	V136a 集中定数素子を用いた4-12GHz帯90度ハイブリッドカプラの設計 増井翔(大阪府立大学/国立天文台)
10:06	V127a LiteBIRD 低周波望遠鏡スケールモデルの広視野偏光角測定の高精度化 高倉隼人(東京大学/宇宙航空研究開発機構)	13:36	V137a 広帯域平面統合型 SIS 受信機の LO 系開発に向けたテストモジュールの設計 増倉明寛(名古屋大学/国立天文台)
10:18	V128a Development of a design optimization method for hybrid-type MKIDs Hiroki Kutsuma (RIKEN)	13:48	V138a The Next Generation Very Large Array – Spring 2022 伊王野大介(国立天文台)
10:30	V129a Simons Array 望遠鏡の検出器の偏光特性評価のための狭帯域 RF 発振器を用いた光学試験装置の開発 廣瀬開陽(横浜国立大学)	14:00	V139b 野辺山45m/ASTE 観測データアーカイブと野辺山パイプラインの開発・公開 吉野彰(国立天文台)
10:42	V130a 野辺山45 m 電波望遠鏡搭載用100-GHz帯109素子電波カメラの開発: 実験室における雑音評価 村山洋佑(筑波大学)	14:12	質疑応答(10分)
10:54	V131a Al-NbTiN ハイブリッド型 MKID アレイを用いた100-GHz帯連続波カメラの野辺山45 m 電波望遠鏡搭載試験 宮澤啓(筑波大学)		
11:06	V132a 144素子 LeKIDアレイを用いた野辺山45 m 鏡用ミリ波カメラの光学性能評価 野地涼平(筑波大学)		
11:18	V133a 工学インダクタンス検出器アレイの多素子同時読み出しにおける雑音低減に関する研究 青木美和(筑波大学)		
11:30	質疑応答(10分)		

V2. 観測機器(光赤外・重力波・その他)

3月3日(木) 午後・F会場		3月4日(金) 午前・F会場	
13:00	V201a TMT 計画 - 進捗報告 臼田知史(国立天文台)	09:30	V214a SuMIRe-PFS[29]: プロジェクト概要と 装置開発進捗状況まとめ 2022年春季 田村直之(東京大学カブリ数物連携宇宙 研究機構)
13:12	V202a 東京大学アタカマ天文台TAO 6.5m 望遠鏡 計画 進捗報告 宮田隆志(東京大学)	09:42	V215a SuMIRe-PFS[30]: 初回望遠鏡搭載試験・ 試験観測の報告 森谷友由希(国立天文台)
13:24	V203a 近赤外線面分光ユニット SWIMS-IFU の 組み上げと実験室での性能評価 櫛引洸佑(東京大学)	09:54	V216a SuMIRe-PFS[31]: Development of the PFS target database and the connection to the fiber allocation process 小野寺仁人(国立天文台)
13:36	V204a 共同利用観測を開始した可視 3 色高速 撮像分光装置 TriCCS 松林和也(京都大学)	10:06	V217a 恒星フレア自動観測のための中央大学 40cm 可視光望遠鏡 甲原潤也(中央大学)
13:48	V205a 可視 3 色同時広視野カメラの性能評価 橋ヶ谷武志(京都大学)	10:18	V218a 全天赤外線雲モニタの開発 津々木里咲(東京大学)
14:00	V206a せいめい望遠鏡に搭載する系外惑星探 索専用高分散分光器 GAOES-RV 佐藤文衛(東京工業大学)	10:30	V219a 仮想敵対的学習による Tomo-e Gozen サーベイにおけるReal/Bogus分類の改善 高橋一郎(東北大学)
14:12	V207a 連星系における系外惑星探索のための ダークホール技術の開発 2 米田謙太(北海道大学)	10:42	V220a ロバスト主成分分析に基づく劣化 CCD カメラ画像のノイズ除去 江良真結子(東京工業大学)
14:24	V208a 可視シングルモードファイバー高分散分 光器に向けた高効率ファイバー入射光 学系の開発 多田将太郎(総合研究大学院大学)	10:54	V221a 大型低温重力波望遠鏡 KAGRA の現状 伊藤洋介(大阪市立大学)
14:36	V209a レーザーガイド星波面センサーにおける ローリングシャッター読み出しの影響 大金原(東北大学)	11:06	V222a 突発天体探査衛星うみつばめ搭載の紫 外線望遠鏡の熱設計 原拓輝(東京工業大学)
14:48	V210a 単光子計数法による高速可視撮像シス テムの開発と改良 中森健之(山形大学)	11:18	V223a CMOS イメージングセンサにおける発光 現象の解明 尾形舜(東京工業大学)
15:00	V211b 引き摺り 3 点計測法による 1.8m 軸外し 望遠鏡 PLANETS 主鏡の形状計測 鍵谷将人(東北大学)	11:30	V224b SuMIRe-PFS[32]: Selection of spectrophotometric and chemical abundance calibration stars for the PFS observations 石垣美歩(国立天文台)
15:00	V212b 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)	11:30	V225b ぐんま天文台 150cm 望遠鏡への三波長 同時撮像装置 MuSaSHI の搭載と観測 金井昂大(埼玉大学)
15:00	V213b 能動支持機構などによる 1.8m 軸外し望 遠鏡 PLANETS 主鏡の最終研磨量削減 永田和也(東北大学)		
15:12	質疑応答(10分)	11:42	質疑応答(10分)

V3. 観測機器 (X線・ γ 線)

3月4日(金) 午後・F会場		3月4日(金) 午前・B会場	
13:00	V226a 高感度太陽紫外線分光観測衛星 Solar-C(EUVST)の最新状況 清水敏文(宇宙航空研究開発機構)	09:30	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)
13:12	V227a Solar-C(EUVST)衛星:観測装置 EUVST 設計検討の進捗報告 原弘久(国立天文台)	09:42	V302a 超小型X線衛星NinjaSatに搭載するガスX線検出器の開発(3) 林昇輝(東京理科大学/理化学研究所)
13:24	V228a LOPYUTA(Life-environmentology, Astronomy, and Planetary Ultraviolet Telescope Assembly)計画の検討状況 土屋史紀(東北大学)	09:54	V303a 超小型X線衛星NinjaSatに搭載するガス検出器用の電子回路基板の開発 大田尚享(東京理科大学/理化学研究所)
13:36	V229a JASMINE 計画の全体的概要と進捗 郷田直輝(国立天文台)	10:06	V304a 超小型X線衛星NinjaSatに搭載する放射線帯モニターの開発 加藤陽(理化学研究所)
13:48	V230a 国産 InGaAs 近赤外イメージセンサーの宇宙用化に向けた陽子線照射試験 鹿野良平(国立天文台)	10:18	V305a CMOS イメージセンサを用いた硬X線撮像偏光計の開発 V 小高裕和(東京大学)
14:00	V231a JASMINE 望遠鏡光学系:3枚鏡と2枚鏡のトレードオフ検討 鹿島伸悟(国立天文台)	10:30	V306a CMOSイメージセンサ IU233N5-ZのX線性能評価と偏光検出の可能性 榎木大修(広島大学)
14:12	V232a JASMINE の検出器変更可能性と、観測データの再検討 矢野太平(国立天文台)	10:42	V307a 機械学習を用いたX線判別法 盛顯捷(青山学院大学)
14:24	V233a JASMINE end-to-end シミュレーション計画の進捗 大澤亮(東京大学)	10:54	V308a グラフェン超薄膜を用いた高機能汎用型光学素子の開発(3) 三石郁之(名古屋大学)
14:36	V234a CIB 観測ロケット実験 CIBER-2:観測データ解析の現状と今後の開発課題 松浦周二(関西学院大学)	11:06	V309b 湾曲 Si 結晶を用いたブラッグ反射型偏光計の分光性能評価(2) 井上諒大(中央大学)
14:48	V235a 接合型 Ge 検出器の平面展開構造による未開拓な赤外線波長帯の高感度化 鈴木仁研(宇宙航空研究開発機構)	11:06	V310b X線反射率向上を目指した原子層堆積法による軽元素膜付け 石川久美(東京都立大学)
15:00	V236a 次期ひまわり搭載用静止軌道高エネルギー陽子線計測装置開発 大辻賢一(情報通信研究機構)	11:18	質疑応答(10分)
15:12	質疑応答(10分)		

3月4日(金) 午後・B会場		3月5日(土) 午前・B会場	
13:00	V311a Cherenkov Telescope Array (CTA) 計画: 全体報告 (21) 山本常夏 (甲南大学)	09:30	V321a X線分光撮像衛星 XRISM 搭載 X線望遠鏡 (XMA) 開発の現状 (6) 林多佳由 (NASA's GSFC, UMBC)
13:12	V312a CTA 大口径望遠鏡 2-4号機カメラ製作の現状 岩崎啓 (京都大学)	09:42	V322a 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 (7) 萩野浩一 (東京理科大学)
13:24	V313a CTA大口径望遠鏡の高画素化に向けた SiPM モジュールの開発 齋藤隆之 (東京大学)	09:54	V323a X線分光撮像衛星 XRISM 搭載 Resolve の開発の現状 VIII 石崎欣尚 (東京都立大学)
13:36	V314a 硬X線偏光検出気球実験 XL-Calibur 用 X線望遠鏡の開発 (3) 鴨川航 (大阪大学)	10:06	V324a XRISM 衛星搭載極低温検出器における機械式冷凍機による微小擾乱の影響評価 今村竜太 (愛媛大学)
13:48	V315a 硬X線偏光検出気球実験 XL-Calibur の現状と噛み合わせ試験の報告 峯田大靖 (大阪大学)	10:18	V325a XRISM 搭載 Resolve のエネルギー値較正用 ^{55}Mn 線源の絶対強度測定 松本岳人 (東京都立大学)
14:00	V316a GRAMS 計画 4: MeV ガンマ線観測・ダークマター探索気球実験 米田浩基 (理化学研究所)	10:30	V326a X線分光撮像衛星 XRISM の科学運用準備の現状 林克洋 (宇宙航空研究開発機構)
14:12	V317a 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 成影典之 (国立天文台)	10:42	V327a X線分光撮像衛星 XRISM の観測データ処理とその準備状況 高橋弘充 (広島大学)
14:24	V318a 太陽観測ロケット実験 FOXSI-4に向けたワイドギャップ CdTe ストリップ検出器の開発と性能評価 II 長澤俊作 (東京大学 Kavli IPMU)	10:54	V328a X線分光撮像衛星 XRISM 時刻システムの地上評価検証 寺田幸功 (埼玉大学)
14:36	V319a 電鍍技術を用いた飛翔体搭載用高角度分解能多重薄板型X線望遠鏡の開発 (6) 作田皓基 (名古屋大学)	11:06	V329a ダークバリオン探査ミッション Super DIOS の開発へ向けた検討 IX 佐藤浩介 (埼玉大学)
14:48	V320a X線偏光観測衛星 IXPE の現状 (1) 玉川徹 (理化学研究所)	11:18	V330a 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 (13) 森浩二 (宮崎大学)
15:00	質疑応答 (10分)	11:30	質疑応答 (10分)

W. コンパクト天体

3月2日(水) 午前・A会場		11:30	W13b	降着円盤最外縁の降着リングの特性とそこからの2層降着流と2層排出流 井上一(宇宙航空研究開発機構)
09:30	W01a	はくちょう座 X-1 の Dip の観測 II 八木駿介(立教大学)		
09:42	W02a	ブラックホール連星 MAXI J1820+070 におけるX線光度短時間変動のエネルギー依存性 河村天陽(東京大学)		W14c Boltzmann 輻射輸送による Compton 冷却を考慮した RIAF 円盤の電子温度計算 小川拓未(筑波大学)
09:54	W03a	銀河系内ブラックホール候補天体 MAXI J1803-298 の発見と X 線長期モニタ観測 志達めぐみ(愛媛大学)	11:42	質疑応答(10分)
10:06	W04a	Transition Luminosities of Galactic Black Hole Binaries with Swift/XRT and NICER/XTI observations Sili Wang (Tokyo Institute of Technology)	3月2日(水) 午後・A会場	
10:18	W05a	self-consistent な放射モデルによるブラックホール連星 XTE J1550-564 の降着流の幾何学的配置の定量的推定 久保田あや(芝浦工業大学)	13:00	W15a 多重極磁場を伴った中性子星の磁場埋め込みと磁気山の構造 藤澤幸太郎(東京大学)
10:30	W06a	RXTE によるブラックホール連星 XTE J1550-564 の全アウトバーストの時間変動解析による低周波 QPO の特性と円盤パラメータの比較 鶴見一輝(芝浦工業大学)	13:12	W16a 中性子星の表層クラストの弾性力で支えられた磁場 小嶋康史(広島大学)
10:42	W07a	突発天体 AT2018lqh のブラックホール形成モデル 津名大地(東京大学)	13:24	W17a X線観測から探るマグネターのトロイダル磁場の長期変化 牧島一夫(東京大学)
10:54	W08a	孤立ブラックホール周囲の強磁場降着流からの多波長放射とその観測可能性 木村成生(東北大学)	13:36	W18a Swift とすざくによる MAXI J1421-613 のダスト散乱エコーの観測 信川久実子(近畿大学)
11:06	W09a	Slim 円盤における磁束輸送の理論研究 山本凌也(大阪大学)	13:48	W19a X線バースト天体 1RXS J180408.9-342058 による中性子星の状態方程式の制限 土肥明(九州大学 / 理化学研究所)
11:18	W10a	一般化 GRMHD 計算コード開発: ホール効果の磁気リコネクションへの影響 小出眞路(熊本大学)	14:00	W20a 「すざく」による低質量 X 線連星の光電離プラズマの解析 中間洋子(東京工業大学)
11:30	W11b	一般相対論的輻射磁気流体計算で探る、カー・ブラックホール周りの超臨界降着円盤 内海碧人(筑波大学)	14:12	W21a 準再帰型ニューラルネットワークを用いた X 線強度変動解析の高速化 牧田佳大(立教大学)
11:30	W12b	超臨界降着流からのアウトフローの特性 芳岡尚悟(京都大学)	14:24	W22a MAXI/GSC が検出した 2021 年度後半の突発現象 根来均(日本大学)
			14:36	W23a V455 And の分光観測: 円盤風が矮新星アウトバーストに付随する可能性 反保雄介(京都大学)
			14:48	W24a 矮新星 V1504 Cyg における、連星の公転軌道面から傾いた降着円盤による可視光変動の解析 関亮輔(芝浦工業大学)

15:00	W25a 特異な superhump excess を持つ矮新星 LL Andromedae の進化経路 伊藤潤平 (京都大学)	10:54	W36a ジェット伝搬シミュレーションによるガンマ線バーストが付随する超新星の高速エジェクタ成分の研究 鈴木昭宏 (国立天文台)
15:12	W26b 回転しながら中心天体から放出される流体の自己相似解と連星合体時の放出物質への応用 黄天鋭 (東京大学)	11:06	W37a ガンマ線バーストの即時放射休止中の放射の起源 李晋 (青山学院大学)
15:12	W27b パルサー Polar Cap からの非熱的X線放射の起源 柴田晋平 (山形大学)	11:18	W38a 電子分布非等方性とガンマ線バーストの即時放射 後藤瞭太 (東京大学)
15:12	W28b 高速イメージフィットと機械学習を取り入れた MAXI アラートシステムの改良 朝倉敬介 (日本大学)	11:30	質疑応答 (10分)
15:24	質疑応答 (10分)	3月3日 (木) 午後・A会場	
3月3日 (木) 午前・A会場		13:00	W39a ショートガンマ線バーストで探る中性子星合体からの放出物質の性質 野際洸希 (東北大学)
09:30	W29a Be 型ドナーを持つ大質量 X 線連星系の進化段階としての ULX 鷹野重之 (九州産業大学)	13:12	W40a 連星中性子星合体における質量放出・元素組成の連星質量比依存性 藤林翔 (Max Planck Institute for Gravitational Physics)
09:42	W30a MAXI と TESS で見る X 線連星の可視光と X 線の変動の相関 細川稜平 (東京工業大学)	13:24	W41a Very-high-energy gamma-rays from binary neutron star mergers 林浩翔 (東京大学)
09:54	W31a 大質量 X 線連星 : IGR J00370+6122 における中性子星への降着幾何と磁場強度の推定 内田和海 (宇宙航空研究開発機構)	13:36	W42a 連星中性子星 川口恭平 (東京大学)
10:06	W32a 那須電波干渉計によって観測された Cygnus X-3 の巨大フレア (3) 坪野公夫 ((一社)電波天文学研究会)	13:48	W43a 放射輸送磁気流体数値相対論シミュレーションによるブラックホール・中性子星連星合体の長時間発展 林航大 (京都大学)
10:18	W33a 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)	14:00	W44a 重力波観測を用いた Population III の初期質量観測への制限 聖川昂太郎 (東京大学)
10:30	W34a ガンマ線バースト残光の偏光から探る相対論的衝撃波の磁場構造 桑田明日香 (東北大学)	14:12	W45a スカラーテンソル理論における球対称重力崩壊に対するコード作成 浅川直道 (東邦大学)
10:42	W35a Monte Carlo simulations of fast Newtonian and mildly relativistic shock breakout from a stellar wind 伊藤裕貴 (理化学研究所)	14:24	W46a 一般相対論的光行差方程式を用いた Kerr 時空における光の曲がりについて 荒木田英禎 (日本大学)
		14:36	質疑応答 (10分)

X. 銀河形成・進化

3月2日(水) 午前・G会場		3月2日(水) 午後・G会場	
09:30	X01a 小スケール天体現象の理解に基づく初代銀河形成シミュレーション 杉村和幸(東北大学)	13:00	X12a A clear picture of dust-obscured star-formation in the Early Universe Tom Johannes Lucinde Cyrillus Bakx (Nagoya University)
09:42	X02a 形成初期銀河での化学組成比進化 福島啓太(大阪大学)	13:12	X13a すばる望遠鏡/Hyper Suprime-Camによる $z \sim 6.8$ Ly α 輝線銀河の探査 室伏海南江(東京大学)
09:54	X03a 宇宙再電離期における原始銀河団領域の21cm線シグナル 秋葉健志(筑波大学)	13:24	X14a すばる望遠鏡 Hyper Suprime-Camが捉えた最遠方低光度クエーサー周辺の電離領域と宇宙再電離 大栗鷹也(愛媛大学)
10:06	X04a ALMAによる $z = 8.31$ のライマンブレイク銀河の300 pc分解能撮像 田村陽一(名古屋大学)	13:36	X15a 遠方クエーサー形成に向けた近赤外線変光調査 関根章太(早稲田大学)
10:18	X05a A study of the [O III]88 μ m and [C II]158 μ m emission in a $z = 7.2$ galaxy Yi Ren (Waseda University)	13:48	X16a Uchuu simulationと準解析的モデルで探るAGN光度関数のfield variance 大木平(千葉大学)
10:30	X06a ALMA reveals extended cool gas and hot ionized outflows in a typical star-forming galaxy at $z = 7.13$ 藤本征史 (Cosmic Dawn Center, Niels Bohr Institute)	14:00	X17a 近傍から $z > 6$ の銀河を繋ぐ可視・遠赤外の輝線図モデリング 菅原悠馬(国立天文台/早稲田大学)
10:42	X07a 赤方偏移7から4における[CII]158 μ m輝線で見た星形成銀河の形態と進化 札本佳伸(早稲田大学/国立天文台)	14:12	X18a $0 < z < 5$ における銀河のcomposite SEDsから探る星形成史 杉森加奈子(総合研究大学院大学)
10:54	X08a スパースモデリングによる $z = 7$ のLyman break 銀河 A1689-zD1のALMA超解像イメージング 今村千博(名古屋大学)	14:24	X19a X線・電波スタッキング解析から探る星形成が静かな大質量銀河の $0 < z < 5$ におけるAGN活動 伊藤慧(総合研究大学院大学/国立天文台)
11:06	X09a Deep CO Observations for Luminous Lyman-break Galaxies at $z = 6.0293-6.2037$ 小野宜昭(東京大学)	14:36	X20b 宇宙最初のcold accretionの発現 喜友名正樹(京都大学)
11:18	X10a ALMA observations of a submillimeter galaxy at $z = 6$ I: Detection of nitrogen 但木謙一(国立天文台)	14:36	X21b SDSS Stripe82時系列カタログを用いたクエーサーの光度変動と進化の関係 古澤順子(国立天文台)
11:30	X11a ALMA observations of a submillimeter galaxy at $z = 6$ II: Lens modeling, gas kinematics and CO excitation Akiyoshi Tsujita (The University of Tokyo)	14:36	X22b 深層学習を用いた銀河の形態分類 中小路佑介(芝浦工業大学)
11:42	質疑応答(10分)	14:48	X23b 化学進化を考慮したSEDモデルの遠方銀河への適用 河本慧理奈(名古屋大学)

14:48	X24b	Star formation of major mergers 藤谷愛美(名古屋大学)	3月3日(木) 午前・G会場
14:48	X25b	Galactic formation and chemical evolution of dwarf galaxies in local groups explored by mass-metallicity relations 松井瀬奈(名古屋大学)	09:30 X29a ALMAの[CII]ガスカ学によって明らかになった爆発的星形成銀河 BRI1335-0417の内部構造 津久井崇史(総合研究大学院大学)
15:00	X26b	銀河衝突によるアンドロメダ銀河の力学進化 堀田彩水(筑波大学)	09:42 X30a The general presence of a Ly α halo around high-z galaxies and its high incidence rate 日下部晴香(University of Geneva)
15:00	X27b	銀河系衛星銀河の潮汐破壊による質量損失と近点距離の関係 田中駿次(筑波大学)	09:54 X31a Widely distributed cold gas and dust within a $z=3$ giant Lyman- α blob Hideki Umehata(The University of Tokyo)
	X28c	分子雲の進化論 前岡光明	10:06 X32a Ionized gas outflows from an AGN in a massive quiescent galaxy in a protocluster at $z=3.09$ 久保真理子(愛媛大学)
15:12		質疑応答(10分)	10:18 X33a Morphological Analysis of Nine Submillimeter Galaxies Shuo Huang(The University of Tokyo)
			10:30 X34a COSMOS領域における $z=0.7-0.9$ の銀河の星形成活動の急激な変化の起源 樋本一晴(愛媛大学)
			10:42 X35a Test for a Quenching Mechanism of Cosmic Web Detachment 井上真(京都大学)
			10:54 X36a Analysis of the spatially resolved SFR - stellar mass relation for DustPedia galaxies Wen E. SHI(Nagoya University)
			11:06 X37a 色等級図を用いた星形成史復元における、金属量の仮定の違いによる系統的誤差の推定 森林太郎(法政大学)
			11:18 X38a Reconstructing Galaxy Star Formation History with Present-day Galaxy Manifold Suchetha Cooray(Nagoya University)
			11:30 質疑応答(10分)

3月3日(木) 午後・G会場		3月4日(金) 午前・G会場	
13:00	X39a Effect of heat conduction onto cold streams accretion inside circum-galactic-medium of massive high redshift galaxies Nicolas Ledos (Osaka University)	09:30	X51a 深層学習を用いた輝線強度マッピング観測データからの三次元銀河分布の再構築 森脇可奈(東京大学)
13:12	X40a 赤方偏移5の原始銀河団における星形成活動 利川潤(University of Bath)	09:42	X52a Passive spiral galaxies deeply captured by Subaru/HSC 嶋川里澄(国立天文台)
13:24	X41a HSC+CFHTサーベイデータで探る $z \sim 3$ でのクエーサー周辺の銀河環境 鈴木悠太(愛媛大学)	09:54	X53a スーパーボイドにおける銀河形成 井上開輝(近畿大学)
13:36	X42a 深狭帯域撮像観測で探る $z \sim 2$ における小質量銀河の星形成活動 大工原一貴(東北大学)	10:06	X54a PHANGS-ALMA アーカイブデータを用いた近傍銀河のCO(2-1)分子ガス分布の定量的・統計的解析 山本卓(放送大学)
13:48	X43a ALMA high-resolution study of CO(2-1) line and dust continuum emissions from cluster galaxies at $z = 1.46$ 池田遼太(総合研究大学院大学/国立天文台)	10:18	X55a Outflows of Low-Mass Galaxies with $M_* = 10^4 - 10^7 M_\odot$ Yi Xu (The University of Tokyo)
14:00	X44a A Wide and Deep Exploration of Radio Galaxies with Subaru HSC (WERGS): $z = 0.3-1.4$ の電波銀河周辺環境の統計的理解 内山久和(愛媛大学)	10:30	X56a 銀河系矮小銀河の化学動力学進化と星形成史 林航平(一関工業高等専門学校)
14:12	X45a The ISM properties and evidence of AGN in extreme emission-line galaxies at $z \sim 0.8$ 柏野大地(名古屋大学)	10:42	X57a ダークマターサブハローの力学進化過程 数野優大(筑波大学)
14:24	X46a The Most Extreme Line Emitters at $z \sim 0.8$ 播金優一(東京大学)	10:54	X58a ダークマターサブハローの力学進化と近傍銀河・銀河団観測との比較 金田優香(筑波大学)
14:36	X47a 周辺環境から探る極金属欠乏銀河の形成メカニズム 西垣萌香(総合研究大学院大学)	11:06	X59a 銀河衝突とガスの熱力学進化 大滝恒輝(筑波大学)
14:48	X48a IllustrisTNG における極金属欠乏銀河の存在環境と形成メカニズム 井上茂樹(北海道大学)	11:18	X60a 高分解能シミュレーションに基づいた超新星フィードバックモデルの構築 奥裕理(大阪大学)
15:00	X49a 極低金属量範囲における金属量指標 中島王彦(国立天文台)	11:30	X61a 銀河形成シミュレーション高解像度化に向けた深層学習・CVによる超新星爆発のシェル膨張予測 平島敬也(東京大学)
15:12	X50a 形成初期銀河における分散運動の優位性が示す超新星爆発や銀河合体の兆候 磯部優樹(東京大学)	11:42	質疑応答(10分)
15:24	質疑応答(10分)		

Y. 天文教育・広報普及・その他

3月3日(木) 午前・H会場		3月3日(木) 午後・H会場	
09:30	Y01a 高等学校で総合的・基礎的な必修理科科目は必要か？ 縣秀彦(国立天文台)	13:00	Y09a オンライン講演会の参加者層と事後アンケート分析 生田ちさと(宇宙航空研究開発機構/総合研究大学院大学)
09:42	Y02a 高校生向け天文学実習「銀河学校2021」オンライン実施報告 大島由佳(東京大学)	13:12	Y10a 東北に飛来した球状浮遊物体騒動で再認識した天文教育・広報普及活動の重要性 服部誠(東北大学)
09:54	Y03a 東京学芸大学の新しい40cm鏡を活用した教育研究活動 土橋一仁(東京学芸大学)	13:24	Y11a 「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)
10:06	Y04a 東京学芸大学の新しい40cm鏡と制御システムの開発4 富田飛翔(東京学芸大学)	13:36	Y12a デジタル一眼レフカメラを用いた夜空の明るさ観測システムの長期運用 小野間史樹(星空公園)
10:18	Y05a 分光観測を直感的に理解するための中小望遠鏡向け接眼分光器の開発 橋本修(ぐんま天文台)	13:48	Y13a すばる望遠鏡に設置されたライブカメラによる星空配信:経緯及び教育研究素材としての可能性 田中壺(国立天文台)
10:30	Y06a 岡山クーデ分光乾板デジタルアーカイブの予備調査 柳澤顕史(国立天文台)	14:00	Y14a 長浜城歴史博物館の国友一貫斎作天体望遠鏡の光学特性調査 萩野正興(国立天文台/日本スペースガード協会)
10:42	Y07b 中高生に向けた宇宙線探究活動「探Q」の現況報告 榎本晴日(東京工業大学)	14:12	Y15a 近代初期の学術書による地球惑星科学用語の翻訳語の混在 玉澤春史(京都大学/京都市立芸術大学)
10:42	Y08b 教育用簡易電波干渉計プロトコル「j-VLBI」構想 木村正樹(株式会社リバネス)	14:24	Y16a 緯度観測所第3代所長・池田徹郎が提案した新しい女性所員の働き方 馬場幸栄(一橋大学)
10:54	質疑応答(10分)	14:36	Y17b 「長野県は宇宙県」全市町村で天の川が見られる県～長野県内の系統的な夜空の明るさ測定～ 衣笠健三(国立天文台)
		14:36	Y18b すばる望遠鏡に設置されたライブカメラによる星空配信:2.さいだん座新流星群の出現確認 田中壺(国立天文台)
		14:48	質疑応答(10分)

予稿ページ

M01a Solar-C(EUVST) Mission の進捗状況および今後の科学戦略

今田晋亮(東大), 清水敏文, 鳥海森, 鄭祥子(宇宙研), 原弘久, 勝川行雄, 末松芳法, 岡本文典, 石川遼子, 大場崇義, 久保雅仁, 渡邊鉄哉(国立天文台), 川手朋子(核融合研), 渡邊恭子(防衛大), 飯田祐輔(新潟大), 横山央明, 一本潔, 永田伸一, 浅井歩(京都大), 草野完也(名古屋大), ほか Solar-C international team

Solar-C(EUVST) は高空間分解能 (0.4 秒角)、高時間分解能 (1 秒程度)、広い温度範囲 ($10^4 - 10^7$ K) で観測する極端紫外・紫外域の分光撮像観測装置で、日本が中心となって推進する 2020 年代に最優先で実現を目指した日本主導の国際協力ミッションである。2020 年 5 月に宇宙科学研究所により小型 4 号機として選定され、2021 年 12 月に Mission Definition Review (MDR) が開始された。本講演ではミッション概要及び全体進捗状況について報告する。

Solar-C(EUVST) の科学目標として、I) 彩層・コロナと太陽風の形成に必要なエネルギー・質量輸送機構および散逸機構の究明、II) 太陽面爆発現象の物理過程の解明を掲げている。これら 2 つの課題はさらに (I-1) コロナ加熱問題におけるナノフレア加熱の寄与の定量化, (I-2) コロナ加熱問題における波動加熱の寄与の定量化, (I-3) スピキュール形成とそのコロナ加熱への寄与の理解, (I-4) 太陽風の起源と加速メカニズムの理解, (II-1) 高速磁気リコネクション過程の理解, (II-2) フレア・CME のエネルギー蓄積過程とトリガー過程の理解の 6 つのサブ課題に細分化される。これらの科学課題にどのように Solar-C(EUVST) として取り組んでいくかの科学戦略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](#)

M02a SUNRISE-3 大気球太陽観測実験:偏光分光装置 SCIP のフライト観測を模擬した太陽光試験

久保雅仁, 勝川 行雄, 川畑佑典, 大場崇義, 原弘久(国立天文台), 清水敏文 (ISAS/JAXA), 都築俊宏, 浦口史寛, 松本琢磨, 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, H. N. Smitha(MPS)

国際大気球実験 SUNRISE-3 に搭載する近赤外線偏光分光装置 Sunrise Chromospheric Infrared spectroPolarimeter (SCIP) は、0.03 % (1σ) という非常に高い偏光精度で、太陽光球・彩層の 3 次元磁場測定を実現する。SCIP を口径 1m の望遠鏡に搭載し、35km 以上の高度に飛翔させることで、0.2 秒角という空間解像度で、シーイングの影響を受けずに約 5 日間に渡り 24 時間連続で観測することができる。2022 年 6 月のフライトに向け、国内での SCIP 光学ユニットの性能実証を完了させ、2021 年 8 月にドイツへ出荷した (2021 年秋季年会 V201a)。ドイツ到着後は、SCIP を SUNRISE-3 の焦点面装置箱の中に組み込み、上流光学系と結合した状態で光学性能や偏光特性を確認した。その後、焦点面装置箱は望遠鏡とともに gondola に組み込まれ、gondola をクレーンで吊った状態で太陽光を望遠鏡に入れて太陽を追尾するという、フライト観測を模擬する試験を実施した。この試験は、地上系 PC から gondola を経由してコマンド・テレメトリを送受信する形で行い、フライト観測をほぼ再現している。幸いにも、静穏領域に加えて黒点での偏光分光データを取得することに成功した。本講演では、光量・光学性能・偏光性能等のを評価結果を報告する。また、これらの試験と並行して、SUNRISE-3 サイエンスワーキングが募集した観測アイデアを基に、フライト観測の計画立案の検討を始めており、その活動も報告する。

[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](#)

M03a 国立天文台太陽フレア望遠鏡赤外偏光分光観測装置データ評価と機器校正改修

森田 諭, 桜井 隆, 花岡庸一郎, 勝川行雄 (国立天文台)

国立天文台太陽フレア望遠鏡赤外偏光分光観測装置は、口径 15cm の対物レンズ、回転波長板 (4.1 rps) を持つポラリメーター、エシエル型分光器、InGaAs 素子近赤外カメラ (Xenics Xeva 640CL: 1.7 μm カットオフ) 2 台からなり、He I 1083.0 nm、Fe I 1564.8 nm、及び、Si I 1082.7 nm 吸収線付近での太陽全面フルストークススペクトルのモニター観測を行っている。偏光クロストークの影響を受けにくい様、波長方向での積算を工夫した、太陽全面 Stokes マップを公開してきたが、現在、太陽全面ベクトル磁場マップ及び Stokes スペクトルデータの公開準備を、担当者間で頻繁に会議を持ち、データベースと連動した pipeline を整備しつつ、急ピッチで進めている。

上記にあたり、特に偏光ノイズと偏光クロストークの評価及び除去を検討してきた。いくつか問題点が出てきたので、解決法と共にこれを報告する。使用のカメラはピクセル毎に異なる非線形応答を持つが、室内実験により求めた応答カーブにより補正している。ところが、実験データの平滑化処理では除きなかった応答カーブのわずかな振動様ノイズが、偏光復調の際に偽偏光を付与し、 10^{-3} オーダーの偏光ノイズを作っていたことがわかった。我々はこれを、冪乗と線形をブレンドした数学的に滑らかなカーブを複数区間で傾きが繋がる様に実験データにフィッティングすることにより除去した。結果は良好で、感度補正起因の偏光ノイズを付与することなく偏光感度を上げることが出来た。これによりフラット補正が効く様になり、更なる偏光クロストーク除去が可能となる。また、回転波長板の作る beam wobble の軌道半径が、焦点面にて、スリットに沿う方向に ~ 0.6 pix (横切る方向で ~ 0.63 slits) と、小さくないことがわかった。これに関しては、ソフトウェア的に影響を低減する方法が検討されているが、ハードウェア的に低減する作業も現在行われている。年度内のデータ公開を目指す。

[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](#)

M04a 深層学習を用いた太陽高解像度画像のシーイング除去

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)

太陽の地上観測にとって地球大気の揺らぎ (シーイング) は大きな障害となり観測画像の解像度を劣化させる。劣化画像を復元する方法の一つに Multi-frame Blind Deconvolution (MFBD) がある。これは太陽の真の像が変化しないごく短時間に取得された複数枚画像を用いて、シーイングを除去した劣化前の真の像を最尤推定する手法である。MFBD は有効な手法である一方で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、これまでに深層学習を用いた画像復元が提案されてきた。Asensio Ramos et al. (2018) では Encoder-Decoder と Recurrent Neural Network で構成される画像復元プログラムを作成した。データは SST/CRISP で得られた光球や彩層の観測画像を用い、MFBD の復元画像を正解データとして教師あり学習を行なった。復元画像には時折人工的な構造が現れ、復元の精度については改善点が残った。そこで我々は新たに、画像処理の分野で力を発揮する U-net で構成される画像復元プログラムを作成した。データは DST/IBIS で得られた光球の観測画像を用い、同様に MFBD の復元画像を正解データとして教師あり学習を行なった。相関係数と平均二乗誤差を用いて復元精度の評価を行なった結果、MFBD と同等の高い精度で画像復元が可能であることを確認した。さらに、真の画像に対してのシーイング除去の精度を評価するため、MURaM code による輻射磁気流体シミュレーションの強度分布画像を用いて解析を行なった。シーイングを想定した Point spread function (PSF) から人工的に劣化させた画像を生成して入力データとし、大気揺らぎのない理想的な PSF が作用する画像を正解データとして教師あり学習を行なった。本講演では深層学習を用いた画像復元の提案とその性能について議論する。

[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](#)

M05a 近赤外狭帯域チューナブルフィルターの開発による彩層ダイナミクスの研究

末松芳法, 伊集朝哉, 篠田一也 (国立天文台), 上野悟 (京大), 萩野正興 (日本スペースガード)

電圧で波長チューニングが可能なニオブ酸リチウム・エタロンにより近赤外に特化したファブリ・ペローフィルターの研究開発を行っている。近赤外には磁場観測に有用なスペクトル線 He I 1083 nm が、また光球精細磁場観測に有用な Fe I 15649 nm があり、これらの撮像偏光観測により、光球・彩層の 3 次元磁場構造の情報を得ることができる。これらのスペクトル線の分光偏光観測は通常、分光器スリットスキャンにより行われるが、短時間で変化する彩層・光球の偏光分光情報を短時間で取得できない難点がある。ニオブ酸リチウムは屈折率が 2 を超える複屈折性の人工結晶で、電圧をかけることで、屈折率、エタロンの厚さが変化することで波長変位が生じる。屈折率が大きいと、小さな口径で広い視野の観測が可能となる利点がある。必要な狭い透過波長幅で手に入る波長選択の狭帯域ブロッキング・フィルターが使えるフリースペクトルレンジを実現するため、厚さの異なるニオブ酸リチウム・エタロンを直列に並べる必要がある。京都大学・飛騨天文台の DST 望遠鏡・水平分光器により、試作したエタロンの厚さ 0.9mm 及び 1.2mm のニオブ酸リチウム・エタロンの特性、He I 1083 nm 及び Fe I 15649 nm 用のブロッキング・フィルターの特性を得、500V 程度の電圧で波長チューニングできることを確認した。また 2 つのエタロンの直列配置、ブロッキング・フィルター、直線偏光板による He I 1083 nm 付近の撮像観測を実施したので結果を報告する。

[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](#)

M06a 赤道加速・表面勾配層・極向き子午面還流を再現した大規模数値シミュレーション

堀田英之 (千葉大学), 草野完也 (名古屋大学)

世界最大の太陽対流層数値シミュレーションを実行し、赤道加速・表面勾配層・表面付近での極向き子午面還流の全てを同時に達成し、それらの維持のための物理機構を解明した。太陽内部は熱対流に埋め尽くされており、この熱対流が角運動量を運ぶことにより、差動回転・子午面還流が生成・維持されている。これまで、高解像度計算では赤道加速を維持できないことが問題であった。しかし、我々は 54 億の格子点を費やした高解像度太陽対流層計算により問題を解決し (2021 年春季年会 Z323r; Hotta & Kusano, 2021), 赤道加速の物理メカニズムを解明した (2021 年秋季年会 M01a)。しかしこのモデルでは、上部の境界が太陽半径の 96% の位置にあり、表面付近で観測される角速度勾配層や、特徴的な極向き子午面還流を再現することはできていなかった。太陽表面付近では、時間スケールの短い熱対流が支配的となるので、赤道加速を実現する上では不利となるためにこれらの領域を含めてもなお、赤道加速が達成できるのかは不透明であった。そこで我々は、新規に上部境界を太陽半径に対して 99% の位置にとった上で、128 億の格子点を用いた超高解像度計算を実行した。その計算では、観測と調和的な表面勾配層・子午面還流を再現した上で赤道加速も達成した。詳しい解析を行ったところ、子午面還流は乱流によって維持されている一方で、表面勾配層は磁場によって維持され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](#)

M07a 惑星形成が太陽ニュートリノフラックスに及ぼす影響について

國友 正信 (久留米大学), Tristan Guillot (コート・ダジュール天文台)

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。これまで我々は惑星形成が太陽内部構造へ及ぼす影響について理論研究を行ってきた。2021 年秋季年会において、惑星形成過程を考慮すると、音速分布への影響は限定的であるものの、太陽中心部の金属量が高くなることを報告した (講演番号 M20a; Kunitomo & Guillot 2021, A&A)。原始惑星系円盤内の難揮発性成分 (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。また音速分布についてはオパシティの不定性が大きく影響することも報告した。本講演ではニュートリノフラックスに注目する。これまで、Asplund et al. (2009) の組成を用いた標準太陽モデルでは、観測されたフラックスを再現できないことが問題となっていた (e.g., Orebi-Gann et al., 2021)。本研究では、混合距離、対流過貫入、初期組成に加え、降着物質の組成進化も変化させ、原始星段階から太陽年齢までの進化を追う計算を多数行った。太陽年齢での計算結果と観測データからカイ二乗値を計算し、Simplex 法によりこれを最小にするインプットパラメータを探索した。その結果、惑星形成を考慮した太陽モデルでは標準太陽モデルに比べ、中心金属量が高いために中心温度が高くなり、ニュートリノフラックスにも影響することがわかった。温度依存性の高い ${}^7\text{Be}$, ${}^8\text{B}$, CNO の反応による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。つまり、惑星形成およびオパシティの増大を考慮した太陽内部構造モデルは、表面組成、音速分布、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。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

M08a 太陽黒点群の出現頻度分布、面積分布、及び総面積分布

桜井 隆 (国立天文台)、鳥海 森 (宇宙航空研究開発機構)

2021 年春季年会において、最発達時 (maximum development) の面積が S_{md} であるような黒点群の出現頻度分布は、 $S_{\text{md}} \geq 500$ MSH (MSH は太陽半球面積の百万分の一) の大きな黒点群については、べき乗則に S_{md} の大きい側で抑制がかかったような、tapered-power-law ないしはガンマ関数分布で良く表されることを示した。用いたのはグリニッジ天文台および米国 NOAA の 147 年分のデータである。同じデータから、日々の黒点群面積の頻度分布 (瞬時分布) も得られるが、これは黒点群の時間発展のモデル (特にその寿命 t_{life}) が与えられれば、出現頻度分布から導出することができる。一般に大きな黒点群ほど長寿命なので、黒点群面積の瞬時分布は出現頻度分布よりもべき乗分布の勾配がなだらかになるはずである。

黒点群の面積の時間発展については Kopecký (1956) の簡単な解析的モデルを用い、面積と寿命 (t_{life}) の関係は Gnevyshev (1938) による $t_{\text{life}}[\text{days}] \simeq 0.1 S_{\text{md}}[\text{MSH}]$ を用いて面積の瞬時分布を求めると、明らかに過大評価 (黒点数が多すぎる) となった。 $S_{\text{md}} \geq 500$ MSH については寿命を 1/5 位に抑制すると結果が一致する。また、黒点群の太陽半球にわたる総面積 (太陽総放射の指標ともなる) の頻度分布を、同じようにモデルと観測データから求め比較した。観測される頻度分布は活動極大期、極小期で非常に異なるので、モデルにおいても人為的に出現頻度の多い時期と少ない時期を導入して総合すると、観測結果と合わせるができる。

[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](#)

M09a 過去の観測記録から復元する 1940 年 3 月の激甚宇宙天気現象

早川尚志 (名古屋大学), 服部健太郎 (京都大学), 海老原祐輔 (京都大学)

1940 年 3 月下旬、太陽活動は特に活発であった。一連の巨大フレアに伴い、ICME (Interplanetary coronal mass ejection) が発生し、そのうち一つは 1868 年以来最大級の SSC (storm sudden commencement) を発生させた。この宇宙天気現象は、宇宙天気災害の存在を同時代の科学者に強く印象付けさせた宇宙天気現象となった点でも宇宙天気の歴史に残る特異な現象であると言える。一方、この宇宙天気現象については定性的にその規模の大きさが強調されこそすれ、その実際の時系列や定量的規模については不明なところが少なくなかった。そこで本研究では、[1] に基づき、過去の観測記録を検討、照合し、1940 年 3 月下旬の太陽活動を、太陽黒点、太陽面爆発、地磁気変動、オーロラ観測などの観点から多角的に復元する。その結果、3 月 23 日の SFE (solar flare effect) の振幅から $X35 \pm 1$ 以上の巨大フレアが発生しており、磁気嵐も Dst 指数相当値で -389 nT、オーロラオーバルも少なくとも 46.3° ILAT まで拡大していたことが明らかになった。また、同時代の宇宙線観測などから、この一連の太陽面爆発は太陽プロトン現象や 3% 程度のフォーブッシュ減少を起こしていたことも明らかになった。この研究は近年でも観測の難しい宇宙天気現象について、過去の事例から将来的な定量分析の基礎を提示する成果となると見込まれる。

[1] Hayakawa et al. 2022, MNRAS, in press.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

M10a 南極ドームふじアイスコアを用いた 10 年スケール太陽周期の同時検出

望月優子、中井陽一、高橋和也、今村隆史、本山秀明

アイスコアは、過去の気候変動のみならず、宇宙からの情報をも含んでいると考えられている。特に、南極大陸で掘削されるアイスコアには、その傾向が顕著である。我々は、東南極内陸に位置する日本の基地「ドームふじ」で掘削された、西暦 1600 年から 1900 年に相当するアイスコア中の硝酸イオン濃度を約 1 年弱の時間分解能で微量定量分析し、その濃度変動の時系列解析を行った。対象とした 300 年は、産業革命による人為的影響はなく、アイスコアの深度と年代との関係もほぼ確立している期間である。解析の結果、約 11 年、約 22 年、約 90 年の周期が同時に検出された。これらは、それぞれよく知られている太陽活動周期である。南極大陸のタロスドームのアイスコアからは、太陽活動の中長期的な 100-1000 年スケールの周期は検出されたが、コアに含まれる気象学的ノイズのため、10 年スケールの周期振動は検出できなかったことが報告されている。従って、ドームふじアイスコアによって初めて、太陽活動において最も顕著な 11 年周期活動を含む、10 年スケールの 3 つの周期が同時に検出され、アイスコア中の硝酸イオン濃度変動が過去の太陽活動のプロキシとなることが確立できた。我々は、さらに、黒点活動 (従って可視光域での変動) がほとんど観測されなかったマウンダー極小期 (西暦 1645 年~1715 年) の期間においても、強度は弱いものの、アイスコア中の硝酸イオン濃度変動に 11 年周期が保たれていることを発見した。ドームふじアイスコアは、過去 72 万年分が既に掘削され、さらに過去 80 年以上を目指して掘削計画が進行中である。今回の 11 年周期の発見は、詳細な年代決定が不確かとなる深層コアの深度において、硝酸イオン濃度変動が「ものさし」の役割を果たすことも示しており、今後の応用的な観点からも意義深い。

[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](#)

M11a 人工衛星の軌道変化の解析による太陽活動診断の試み

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について解析を行った。50 年以上周回している高度約 600km の二つの宇宙物体の軌道の解析により、太陽活動の指標となる相対黒点数と軌道低下には相関があることがわかった。この場合、極小となる前後三年間では 3m/日以下の低下であったが、極大となる 5 年間では、その 10 倍となる 30m/日程度の低下を示した。宇宙物体の面積や質量により低下率は異なるが、極大期では極小期に比べ 10 倍程度の高度変化を起すことは他の物体で確認している。

次に 1989 年 3 月に発生した太陽フレア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調べた。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。このことは、地上局の衛星捕捉と地球観測をミッションとしている人工衛星の軌道保持運用にとって大きな問題となることを示唆している。

また他の宇宙天気現象が衛星軌道に与える影響から、逆に地球に与える太陽活動の診断が可能なることを議論する。

[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](#)

M12a 粒状斑消滅過程における MHD 計算と観測の比較

石川遼太郎, 勝川行雄 (総研大/国立天文台), Tino L. Riethmüller (マックス・プランク太陽系研究所)

これまでの我々の研究で、粒状斑が消滅する時にスペクトル線幅が大きく広がることを発見した (Ishikawa et al. 2020a)。このような広いスペクトル線幅を解釈するために輻射輸送計算を行なったところ、1 km/s 程度の微小乱流項により広い線幅を説明する解と、微小乱流項を用いずに大きな速度勾配や温度勾配で説明する解があることが分かった (2020 年秋年会 M11a)。Hinode-SOT/SP が観測している 2 本のスペクトル線 Fe I 6301.5 Å と 6302.5 Å だけでは両者のシナリオを区別できない。本研究では粒状斑消滅に伴う乱流発達の可能性を議論するために、MURaM コードによる数値計算データの解析を行なった。数値計算は水平方向のグリッドサイズが 10.4km と高解像度の設定で行われ、各グリッド各時刻におけるスペクトル線を SIR コードで計算した。求めたスペクトル線形状について、粒状斑消滅過程における大気構造の変化とスペクトル線形状の変化の対応関係を調べた。光球の乱流速度は、観測装置の点広がり関数よりも小さいスケールの水平方向の速度分散と、スペクトル線の response function よりも小さいスケールの鉛直方向の速度分散の合計で定義した。結果として粒状斑の消滅に伴う線幅の増大を再現すると共に、乱流速度が 1km/s 程度上昇することを確認した。またこの乱流運動は粒状斑境界から発達していることが分かった。本講演では粒状斑境界における乱流発達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](#)

M13a 粒状斑反転構造の生成に関する観測的研究

大場崇義 (国立天文台), Mark Cheung (LM Solar & Astrophysics Laboratory), 飯田佑輔 (新潟大学), 清水敏文 (ISAS/JAXA)

光球表面から上空に向かって「粒状斑反転」と呼ばれる現象が観測されている。これは、通常の熱対流が形成する粒状斑構造 (明るい粒と暗い溝) が、上空においてその明暗関係が反転する (暗い粒と明るい溝) というものである。ガス運動のシーケンスを考えると、ガス塊が粒状斑上空において一度温度低下したにも関わらず、その後に関隙上空側に移動した際に高温化している。この過程において、何らかの温度上昇機構やエネルギー注入機構が必要である。その候補として断熱ガス圧縮や輻射加熱が考えられており、内部重力波・音波・衝撃波といった様々な起源が提案されている。先行研究において、上述した機構に密接に関連するであろう速度場との関係についてはほとんど示されておらず、特に水平ガス運動との関連については報告例が無い。そこで本研究では、太陽縁観測 ($\mu = 0.60$) におけるドップラー速度場から水平ガス運動の空間構造を解析することで、ガス圧縮/膨張による粒状斑反転への影響を評価した。ドップラー速度場の空間構造からガス圧縮・膨張の指標 (速度発散) を導入して解析した結果、粒状斑反転 (放射強度) と本指標との間に有意な相関が見られた (相関係数:0.64)。これは、粒状斑においては断熱膨張による温度低下が効き、関隙においては断熱圧縮による温度上昇が効くことにより、粒状斑反転を形成していることを示唆している。過去の研究では、光球表面・上空における放射強度の空間関係は、粒状斑スケール以下 ($<1.5''$) の相関は失われるのに対し、本研究では微細スケール ($0.3''$) までの空間構造を断熱ガス圧縮・膨張によって説明できている。一方、ガス膨張/圧縮に対する温度変動量は粒状斑・関隙によって異なっており、領域によって別のエネルギー注入機構が効いている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](#)

M14a 波動による太陽彩層加熱における磁場の角度依存性について

児山真夕 (東京大学/宇宙航空研究開発機構), 清水敏文 (宇宙航空研究開発機構)

彩層やコロナといった太陽上層大気を加熱するメカニズムの1つとして、磁力線を伝播する磁気流体波によりエネルギーを運ぶ「波動加熱説」が提案されている。本研究では、磁気流体波のうち、彩層の加熱に寄与すると考えられている磁気音波に注目した。磁気音波は、カットオフ周波数 (5.2MHz) 以下の成分は彩層に伝播しないと言われているが、Bel & Leroy (1977) の理論計算によれば、光球面に対する磁力線の傾きによってカットオフ周波数が変化するという結果が得られている。さらに、McIntosh & Jefferies (2006) によって、プラズマ β が小さく ($\beta \leq 1$)、磁力線が光球面の法線方向に対して 30 度以上傾いている黒点半暗部で、 5.2MHz 以下の波動が彩層に伝播していることが観測的に明らかになった。

本研究の目的は、この結果をより詳細な磁場データを用いて検証することである。そこで、光球での磁場強度と磁力線の傾きを測定し、彩層に伝播する波動が散逸するエネルギー量を定量的に見積もった。解析には、2018年2月8-12日にひので衛星とIRIS衛星が行ったプラージュ領域の同時観測データを用いた。はじめに、ひので衛星可視光・磁場望遠鏡 (SOT) スペクトロポラリメーター (SP) による視野 $3'' \times 82''$ 、時間分解能 21s の偏光分光データと、IRIS衛星のSPと同じ視野内の分光データで位置合わせを行った。次にMg II k線のドップラー速度を測定することで彩層に伝播する波動の周波数成分を調べ、SPデータから求めた背景磁場構造の特徴ごとにそれらを分類した。その結果、光球で磁力線の傾きが 40 度以上の領域では、 $3\text{-}6\text{MHz}$ の低周波成分が彩層で加熱に十分な 10^4W/m^2 以上のエネルギーを散逸していることがわかった。これは磁力線の傾きにより、実効的な重力が小さくなりカットオフ周波数が減少したことで、低周波成分が彩層に伝播したと考えられる。

[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](#)

M15a 対流層からコロナ・太陽風までの包括的3次元輻射磁気流体シミュレーション

飯島陽久 (名古屋大学, 国立天文台), 松本琢磨 (国立天文台), 堀田英之 (千葉大学), 今田晋亮 (東京大学)

近年、Parker Solar Probe や Solar Orbiter などの太陽・太陽風観測衛星に代表されるように、太陽近傍から太陽風までのエネルギー・質量の流れを包括的に理解しようとする機運が高まっている。従来からコロナホールにおけるジェット構造や Doppler シフト、活動領域付近の上昇流などが太陽風と関連付けて議論されてきたが、光球・彩層・コロナと太陽風の同時観測に基づいてより直接的にコロナ加熱と太陽風加速の関係を明らかにする段階に移行しつつある。

このような太陽近傍から太陽風までのエネルギー輸送を理解するため、様々な理論的、数値的研究が行われてきた。特に数値モデリングの面では、太陽風中のアルフベン乱流を解像しつつ散逸・加速までを一貫して扱う3次元磁気流体 (MHD) 計算が可能になってきたことは大きい。(Shoda et al., 2019; Matsumoto, 2021; Magyar et al., 2021)。一方で、これらのモデルは単純な磁場構造に基づいており、太陽の複雑な3次元磁場構造に由来する磁気リコネクションなどの物理過程を考慮することが出来ない。観測装置の能力を最大限活かすには、太陽近傍の複雑さを残したまま太陽風領域へのエネルギー・質量輸送を一貫して扱うことが出来る数値モデルが要請される。

我々は、対流層から光球、彩層、コロナ、太陽風加速領域までを包含した3次元輻射磁気流体シミュレーションを実施することに世界で初めて成功した。対流層を計算領域に含めることにより、局所ダイナモ作用によって複雑な磁場構造が計算領域内に自発的に発生し、熱対流運動による磁気流体波動の励起過程を高い定量性をもって模擬することが可能になった。その結果として、100 万度を超えるコロナと観測される平均的な質量損失率と同程度の太陽風が形成された。発表ではこの初期成果を報告する。

[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](#)

M16a Ca II 8542Å synthetic Stokes profile on chromospheric reconnection events in 2D RMHD simulation of solar active region

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

Magnetic reconnection is responsible for many chromospheric phenomena, such as anemone jets and UV bursts. Polarization behavior of chromospheric reconnection events is indispensable for modeling the magnetic field geometry, but has not been well investigated yet so far. We studied the full synthetic Stokes profile of Ca II 8542Å IR line from 2D realistic radiative MHD simulation of chromospheric reconnection events. Emerging magnetic flux is imposed at the bottom boundary (2Mm below the photosphere) of well-developed atmosphere, leading to chromospheric reconnection events with 30km/s outflow speed. We performed Stokes synthesis by RH code around 8542Å, Gaussian sampled with 50mÅ spacing to compare with future observation of DKIST ViSP. Brightening and outflow Doppler shift on Stokes I profile has been reproduced, which is consistent with previous works. We found direction switch on Stokes V and amplitude reduction on linear polarization at reconnection sites. Also, we report strong linear and circular polarization signals corresponding to huge and tiny plasmoids, respectively, which might help track their motions in observation. In addition, we suggest linear polarization reduction, as the information of magnetic field geometry, could be an indicator to discriminate reconnections from shocks.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

M17a 飛騨天文台ドームレス太陽望遠鏡を用いた分光観測によるプロミネンスの物理量診断と加熱率の評価

橋本裕希, 黄于蔚, 一本潔 (京都大学)

プロミネンスは太陽コロナ中に浮かぶ低温高密度のプラズマであり、長いものでは数か月に渡り安定して存在する。このことはプロミネンスのエネルギー収支、つまり加熱と冷却がバランスしていることを示しているが、詳しい加熱メカニズムは十分に理解されていない。この理解のためには、プロミネンスの加熱率についての定量的な議論が必要である。

そこで、本研究では分光観測によりプロミネンスの物理量診断を行い、加熱率の空間分布の推定を行った。そのために京都大学飛騨天文台ドームレス太陽望遠鏡を用い、プロミネンスから放射される $H\alpha$ 6563 Å, $H\beta$ 4861 Å, $Ca II$ 8542 Å の 3 本の輝線を同時観測した。そして、観測した輝線プロファイルを single-slab モデルでフィッティングすることで温度と非熱速度の空間分布を求め、non-LTE コードを用いてインバージョンを行うことで密度、厚み、フィリングファクターの空間分布を求めた (2021 年秋季年会 M35a)。そして、求めた温度、非熱速度、密度を用いて冷却率を算出し、冷却率=加熱率として加熱率を求めた。

以上の方法により求めたプロミネンスの温度は 8000-14000 K であり、これは輻射平衡温度 4430-8280 K (Heinzel et al. 2014, A&A) より高い。このことは、プロミネンスが輻射以外にも加熱されていることを示唆する。また、加熱率は 10^{-5} - 10^{-2} erg/s/cm³ であった。本講演では、まずプロミネンスの温度、非熱速度、密度、そして加熱率の空間分布について報告する。そして、プロミネンスの加熱率とコロナの加熱率との比較、加熱率と温度や非熱速度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](#)

M18a Demonstration of the mapping of chromospheric magnetic fields by CLASP2.1

R. Ishikawa, T. J. Okamoto, R. Kano, T. Tsuzuki, F. Uraguchi (NAOJ), D. Song (KASI), D. E. McKenzie, K. Kobayashi, G. Vigil (NASA), F. Auchère (IAS), J. Trujillo Bueno (IAC), L. Rachmeler (NOAA), C. Bethge (Univ. of Colorado), T. Sakao (ISAS/JAXA) and CLASP2.1 team

The magnetic field measurement throughout the solar atmosphere is crucial to understand the energy transfer from the photosphere to the corona, as well as for its dissipation. However, there is an overwhelming lack of information on the magnetic field in upper chromosphere and the above where the magnetic pressure dominates the gas pressure ($\beta < 1$).

The sounding rocket experiment CLASP2 conducted the high-precision spectropolarimetric observation in near UV around 280 nm including the Mg II *h* & *k* and Mn I lines, and revealed the expanding flux tube in the plage region combined with the photospheric magnetic field measurement by Hinode (Ishikawa et al. 2021). In order to further demonstrate the diagnostic capability by the UV spectropolarimetry, our international CLASP2 team planned the re-flight of the CLASP2 with a modified observing program.

The CLASP2 payload, which had been recovered after the launch, was brought to the White Sands Missile Range (WSMR) and was re-flown on October 8 2021 after the 1.5-month test. During the 6 minute observing time, the spectrograph slit with the length of 200" scanned across an active region plage at 16 locations with the interval of 1.8", to enable us to get a two-dimensional map of the Stokes profiles. In this presentation, we will present the pre-flight test results at the WSMR and preliminary results from the CLASP2.1 flight.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

M19a SMART/SDDI 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)

太陽大気は光球から彩層・コロナにかけて温度が急上昇していることが観測から知られている。しかしそのメカニズムは未だ解明されておらず、彩層・コロナ加熱問題と呼ばれている。これまでの研究から、有力な説が2つ考えられている。小規模のフレアが沢山起こって大気を加熱するというナノフレア説と、光球で励起された波動が上層に伝播してエネルギーを散逸するという波動説である。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 で得られた太陽全面撮像データである。解析領域は、disc center および赤道上的の東西リム寄りの領域の3つである。用いた波長は $H\alpha$ 線で、強度やドップラーシフト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 で強かった。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。そしてその違いは、NR の方が大きかった。

[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](#)

M20a Hinode/EIS を使った 100–200 万度コロナループの加熱分布測定

石神 瞬, 原 弘久, 大場 崇義 (国立天文台/総合研究大学院大学)

コロナを高温状態に保つ加熱機構を知るためには、構成要素であるコロナループ (以下ループと呼ぶ) の加熱機構を調べる必要がある。ループ加熱機構の理論モデルは、全体を一様に加熱するもの、ループの足元や頂点を強く加熱するものなどが考えられており、その加熱の空間分布は、加熱モデルの制限に重要なパラメータといえる。加熱分布として、ループに沿って指数的に加熱率が変化するもの考えた場合、その加熱領域の長さは加熱のスケールハイト (以下加熱スケールと呼ぶ) によって特徴づけられている。ループに沿って足元から上方に向かって指数的に加熱率が減少することを仮定する (Serio et al. 1981) と、加熱スケールは、ループに沿った電子温度や電子密度から求められる。フィルター観測から電子温度を求める場合、複数の輝線を同時に含んでしまうため、値を一意に決められない場合がある。また、電子密度 n_e については、エミッションメジャー $n_e^2 l$ から求められるが、ループの厚さ l を仮定している。そこで本研究では、100–200 万度ループについて Hinode/EIS の分光データを解析し、得られた輝線比から電子温度・電子密度を一意に決定することで、加熱スケールを求めた。今回、2 輝線の波長間隔が 1 \AA 程度と近いものを使用することで、その輝線比への機器感度の波長依存性の影響を小さくした。このような方法で、ある活動領域のループについて解析した結果、ループに沿った温度分布が平坦であり、加熱スケールがループ長の 20% 程度であることを確認した。この結果は、加熱がループ中で一様ではなく、Aschwanden ら (2000) が 41 本のループで示したように足元を強く加熱していることを示唆する。本講演では、現在解析を進めている複数のループについて加熱スケールを求めた結果を報告し、この結果とフィルター観測を使った先行研究を比較し議論する。

[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](#)

M21a 密度非対称条件におけるプラズモイド型磁気リコネクションのMHDシミュレーション

山本百華 (神戸大学), 銭谷誠司 (神戸大学)

太陽コロナなどのプラズマ中では磁力線が繋ぎ変わる磁気リコネクション現象が起きていると考えられている。この現象は太陽フレアやオーロラなどの原因となり、人類の宇宙利用や地上の電力系などに影響を及ぼしうる。これまでの磁気流体 (MHD) シミュレーション研究の結果、磁気リコネクション領域の中で多数のプラズモイドが生成され、乱流的に発展することが知られている。従来の研究では流入領域の密度・磁場が対称な初期条件を用いていたが、現実の太陽コロナ環境ではプラズマの密度や磁場が異なる境界で磁気リコネクションが発生する可能性が高い。そこで、このような非対称条件下でのプラズモイド型の磁気リコネクションの基礎研究が必要となる。本研究では密度の非対称条件に着目し、流入領域の密度比を変えた大規模数値シミュレーションを多数実行することでプラズモイド型磁気リコネクションのふるまいに与える影響を調査した。Cassak & Shay(2007)の理論を応用して密度比によるリコネクションレート及びプラズマ流出速度の推移を予測し、シミュレーションによってその理論予測を検証した。また、密度差がある条件でのみプラズモイドが渦状になるという新しい性質が確認でき、このような渦構造の成因及び密度差への依存性を調査した。今回はこれらの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](#)

M22b 高磁気レイノルズ数での大規模磁場誘導と極性反転に関する解析

畠田遼太 (東京大学), 堀田英之 (千葉大学), 横山央明 (京都大学)

太陽対流層の全球計算の結果を用いて、高磁気レイノルズ数での大規模磁場誘導とその極性反転に寄与する効果について調査した。太陽では時空間的にコヒーレントな大規模磁場の存在が示唆されており、大規模磁場は極性反転も含めて22年の周期を持っている。しかし、その誘導と反転のメカニズムは明らかとなっておらず、太陽ダイナモで解決すべき課題となっている。Hotta et al. (2016) は高解像度での計算を行い、より高い磁気レイノルズ数で極性反転を示す大規模磁場の生成に成功している。本講演では、これとほぼ同じシミュレーションのデータを用いて、大規模磁場の誘導および極性反転について解析を行った結果を報告する。本研究は平均場ダイナモ理論に基づいた解析を行なった。特にダイナモ起電力の展開係数の、 α 効果や乱流拡散を、データからのフィッティングで求めた。その結果、磁気レイノルズ数が大きくなるにつれて、乱流拡散係数が抑制されることがわかり (2021 年秋季年会 M02a で報告) 大規模磁場維持生成に役割をはたすことがわかった。さらに解析を進め、極性反転を示さない期間における磁場の誘導に寄与する効果を特定した。また、大規模磁場の強度に対する乱流による磁場誘導の変化を解析し、磁場の極小期において深部へ磁束を輸送する乱流ポンプ効果が増幅されることが確認された。この結果は、極性反転についてこれまでの平均場ダイナモ理論で着目されていなかった乱流ポンプ効果による磁束輸送がポロイダル磁場の極性反転の引き金となる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](#)

M23b 黒点相対数計測のための汎用黒点自動検出手法の開発

花岡庸一郎 (国立天文台)

黒点相対数は、太陽活動変動を示す指標の中で、太陽の直接観測で得られるものとして最も長期の蓄積があるという点で重要であるが、その算出のもとになる黒点検出は、今でも人の手によるスケッチが基準となっている。しかし、現代の太陽全面モニター観測を運用する中で、スケッチに労力を投入するのは現実的ではない。また科学館・アマチュアによるスケッチも相対数計測に貢献してきたが、今後、太陽面モニターとして白色光の撮像は行われるにしても、スケッチが継続して行われるのを期待するのは難しい。

国立天文台では、旧来のスケッチに代わり、1998 年以来 CCD カメラで撮影した白色光画像から黒点の検出を行ってきた。しかし、誤検出や検出漏れも少なくなく、また白色光撮像を行っている科学館・アマチュアが黒点検出に活用するといった展開はできていない。そこで今回、スケッチ観測の置き換えが可能となるような、より高精度に黒点を検出でき、かつ装置や画質が異なるデータにも対応できる黒点検出手法の開発を行った。単一画像ではシーイングの状況によって偽黒点が生じることがあるため、連続して撮影された複数画像から黒点を検出して信頼性を上げることも可能とした。

この手法により複数の装置による太陽極大・極小期の白色光画像を実際に処理し、ロカルノ Specola Solare (黒点相対数算出の基準観測所) のスケッチと比較した結果、口径 10cm 程度の望遠鏡による撮像でも、Specola Solare と比べてさほど遜色のない検出が可能であることがわかった。科学館・アマチュアなどでも白色光画像データを取得していれば、本手法によりスケッチの代替としての黒点検出を行うことができ、長期にわたって観測を持続すれば黒点相対数算出に貢献することができる。

[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](#)

M24b ガイド磁場条件での磁気リコネクションの衝撃波構造分析

渡邊悠太郎 (神戸大学), 銭谷誠司 (神戸大学)

宇宙空間において、プラズマ中の磁力線が繋ぎ変わる「磁気リコネクション」現象は色々な場所で発生する。特に、太陽表面でのこれが引き起こす爆発現象＝太陽フレアは、宇宙空間に磁気嵐を発生させ、地球磁気圏に通信障害や電子精密機器故障、オーロラ現象発生等の多くの影響を与える。

太陽表面での磁気リコネクションの基礎的な性質を知るために、MHD (磁気流体) シミュレーションを用いた研究を行っている。磁気リコネクションでは、接近する磁場反転構造に蓄えられた磁力のエネルギーによって、プラズマがジェットとして吹き出し、熱や運動エネルギーに変換される。ジェットは周囲のプラズマに衝突するが、流れは Alfvén 速度程度の高速であるため、衝撃波や不連続面といった特徴的な構造が発生する。これについて既に様々な研究がなされているが、太陽表面におけるガイド磁場 (磁場反転構造の存在する面を x-y 平面としたときの z 軸方向磁場成分) を考慮した構造は現在自明ではない。

本研究では、太陽表面により近い初期条件の一例として、x-y 平面に一樣なガイド磁場を設定した磁気リコネクションシミュレーションとその解析を行った。ガイド磁場無しの結果と比較すると (1) リバースショックが消失し、(2) プラズモイドの周囲に z 軸方向の速度場・発達磁場が発生したうえで、(3) 一部のスローショックが折れ曲がる、といったガイド磁場条件特有とみられる構造変化が複数確認できた。今回、これらのシミュレーション結果とそれに関する考察を報告する。

[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](#)

M25b 2021 年 10 月末 - 11 月初頭の一連のフレア・CME の宇宙天気への影響

塩田大幸, 坂口歌織, 西岡未知, 中山健司, 久保勇樹, 西塚直人, 大辻賢一, 田光江, 亘慎一, 津川卓也 (情報通信研究機構)

本講演では、2021 年 10 月末～11 月初頭の一連の宇宙天気イベントについて報告を行い、全体像の考察を行う。2021 年 10 月 28 日 15 時 35 分 UT に、サイクル 25 が始まって以来 2 回目の X クラスフレア (X1.0) が発生した。このイベントは中央子午線に位置した活動領域 NOAA 12887 (南緯 28° 西経 1°) で発生し、伝搬速度が 1300km/s のハロー CME が観測された。また GOES 衛星のプロトンフラックスが増加し、地上の中性子モニター観測網でもフラックスの増加が観測され、サイクル 25 の最初の GLE (Ground Level Enhancement) となった。このイベントでは発生当初から高速の CME が地球に到来し宇宙天気への大きな影響が懸念されたため、情報通信研究機構 (NICT) のホームページ上のお知らせにより周知を行った。実際には、CME の地球に到来した部分は伝搬中に大きく減速され、31 日に地球へ到来し、地球磁気圏および電離圏への大きな影響は発生しなかった。

続く 11 月 1 日および 2 日に複数回の LDE フレアが発生し、CME が発生した。2 日 3 時 1 分 UT に発生した M1.7LDE フレアも、中央子午線に近い活動領域 NOAA12891 (北緯 16° 東経 3°) で発生し、1000km/s のハロー CME が観測された。3 日 19 時 29 分 UT に DSCOVR により CME に伴う太陽風の衝撃波が観測された。太陽風のパターンから複数の CME が惑星間空間を伝搬中に一体化して到来した可能性が示唆される。この現象の到来に伴って、気象庁地磁気観測所 (柿岡) では、3 日 19 時 41 分 UT～5 日 19 時 UT 頃に急始型地磁気嵐が観測された。11 月 4 日と 5 日の日中に電離圏正相嵐、11 月 4 日の夜間に電離圏負相嵐が国内で観測された。これらの電離圏嵐は、11 月 3 日から 5 日にかけての地磁気嵐の影響を受け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](#)

M26c 活動領域 NOAA12882 における小規模活動現象の時間変動

當村 一朗 (大阪府大高専), 川上 新吾 (文科省), 上野 悟, 一本 潔 (京都大学飛騨天文台)

我々は京都大学飛騨天文台ドームレス太陽望遠鏡と高速 2 次元分光観測システムを用いて多波長同時観測を行うことにより、太陽彩層～光球のダイナミクスの時間変動を調べている。2021 年 10 月の共同利用観測においては、彩層で形成される H α 線と、temperature minimum 付近で形成される MgI 457.1 nm 線による 2 波長同時観測を行い、以下に述べる複数の小規模活動現象の時間変動を約 20 分間連続して捉えることに成功したので報告する。

観測日時は 2021 年 10 月 9 日 (JST) の 23:15-23:34UT、視野はスリット方向・スキャン方向共に約 120 秒角、空間サンプリングはスリット方向に 0.16 秒角、スキャン方向に 0.64 秒角、ケーデンスは片道 1.5 秒 (往復 3 秒)、カメラのフレームレートは 160fps、スペクトルの次数は H α 線が 1 次、MgI 457.1 nm 線が 2 次である。得られたスペクトルから H α 線、MgI 457.1 nm 線の両方について積分強度 (H α 線についてはコアのみ、コア+ウィング、ウィングのみの 3 通り)、ドップラーシフト、ドップラー幅等を求め、それらの時系列マップを 2 つの波長で比較したところ、MgI 457.1 nm 線では顕著な変化は見られなかったが、H α 線では黒点暗部におけるドップラーシフトとドップラー幅の振動 (時間周期約 3 分から 4 分程度)、暗部内の輝点の時間変動、エラーマンボムやマイクロフレア的な現象と思われる黒点周辺の複数の輝点、黒点周辺の活動領域フィラメントの運動を見出した。年会ではそれぞれの現象に対するさらに詳しい時間変動の解析結果や、それらの間の関係の有無について報告する。

[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](#)

M27c 超並列磁気流体シミュレーションコード OpenMHD-GPU の開発

銭谷誠司 (神戸大学)

太陽コロナや宇宙空間の複雑なプラズマ現象を理解するために、磁気流体 (MHD) シミュレーションは重要な役割を果たす。しかし、最新の数値解法を取り入れながら、現代の複雑な計算機環境で動作するコードを研究者個人が開発するのは困難になってきている。このような状況では、コミュニティ内で共通のコード、あるいは公開されたシミュレーションコードが研究の基盤・起点として重要な意味を持つ。

我々は、磁気リコネクションのシミュレーション研究のために開発した並列 MHD コードを「OpenMHD」と命名して公開し、継続的にコードの改良を続けている。OpenMHD は modern fortran で書かれた時間・空間 2 次精度の有限体積型コードで、HLLD タイプの数値流束解法を採用しており、MPI および OpenMP による超並列計算に対応している。これまで OpenMHD は、筆者や第三者によって、単発リコネクションの構造やプラズモイド型の乱流リコネクション、非等方プラズマ中のミラーモード揺らぎ構造などの研究に活用されてきた。

最近、我々は、OpenMHD のコアコードを CUDA Fortran で再実装して NVIDIA 社の GPU 環境で動作させることに成功した。OpenMHD-GPU は、近年のマルチコア CPU と比べてノードあたり (\approx 電力あたり) 数倍 \sim 10 倍の性能を発揮するなど、良好な結果を得ている。さらに超並列 GPU 計算に向けてコードの MPI+GPU 並列化作業を行い、テストを進めているところである。

本発表では、OpenMHD の技術要素および得られたサイエンス成果を概観したうえで、OpenMHD-GPU のベンチマーク結果と新しい利用例を紹介する。

[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](#)

M28a 太陽フレア 4 クラス確率予報の信頼度の向上

西塚直人, 久保勇樹 (情報通信研究機構), 杉浦孔明 (慶應義塾大学)

太陽観測画像と深層学習を用いた太陽フレア AI 予報モデル Deep Flare Net は、情報通信研究機構にて 2019 年から運用している。本モデルでは SDO 衛星の光球ベクトル磁場、及び紫外線コロナ撮像観測データをもとに学習を行い、今後 24 時間以内に発生する最大クラスのフレアを予報することができる。実運用でも人手予測精度以上を達成していることが確認され、毎日、宇宙天気予報会議でも参考に活用されている。今年度発生した M クラス以上フレア 14 回に対しても 13 回予測適中に成功した。一方で従来はフレアが起こる起こらないの 2 クラス予報モデルだったものを、X,M,C クラスフレア及び B クラス以下のような多クラス発生予測モデルへと拡張に成功した (日本天文学会 2021 年春季年会 M26a 西塚ら)。

本研究では DeFN4 クラス予報について、予報運用でも利用できるよう信頼度向上を図った。本モデルでは 24 時間以内に発生する 4 クラスフレアの確率予報を行う。SDO 衛星 HMI, AIA による 2010-2017 年観測データを用い、黒点領域から物理特徴量を抽出して深層学習に入力した。時系列分割したデータベースを運用形式の評価に用いた。また多クラス確率予報に用いる評価尺度として Ranked Probability Score (RPS) 及び信頼度ダイアグラムを計算した。本解析では深層学習のロス関数の重みを変えながら信頼度を向上し、その結果、M,C,B クラスでは信頼度プロットで斜め線上に乗せることができた一方、X クラスではサンプル数が少なく直線上に乗りにくいことが示された。さらに太陽フレアの 4 値確率予報の物理解釈について、また X 線回帰予報との比較、予測に有効な物理特徴量についても追加の考察を行う。

[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](#)

M29a 活動領域 NOAA12871 の M2.8 フレアと Sympathetic CME に関わる三次元磁場構造の解析

木田祐希, 山崎大輝, 永田伸一 (京都大学), 井上諭 (New Jersey Institute of Technology), 林啓志 (George Mason University)

比較的短時間に二つの場所で発生する CME は Sympathetic CME と呼ばれているが、これらの間にどのような因果関係があるのかはよくわかっていない。2021 年 9 月に現れた活動領域 NOAA12871 では、9 月 23 日 04:35–04:50 UT にかけてフィラメント噴出を伴う GOES M2.8 クラスフレアが発生した。SOHO/LASCO C2 では 06:00UT 頃 AR12871 から南に噴出する CME が、さらに東の limb でも CME が発生し、これらは Sympathetic CME と考えられる。SDO/AIA EUV 観測データを用いて、フィラメントの噴出および増光箇所の時間発展を解析した。04:23 UT に AIA 94 Å の画像に現れた磁気中性線にあるフィラメントは、04:36 UT までは約 20km/s、その後 04:36–04:39 UT には約 200km/s まで加速し噴出する様子が確認された。加えて、04:36 UT に活動領域中心部から西に約 50Mm と約 150Mm 離れた領域で半円弧型のリボンと点状のリモトリボンの増光が観測された。04:42 UT ごろには、上記の磁気中性線を跨ぐように、AIA の全波長でアーケードが、そしてその足元では AIA 1600 Å のリボンが現れた。また、SDO/HMI で観測した、フレア発生前 (04:00 UT) での光球ベクトル磁場の境界条件にして非線形フォースフリー磁場の外挿を行い、活動領域上空の磁場構造の解析も行った。その結果、この活動領域は Fan-spine 構造を有し、Fan dome 内に噴出したフィラメントに対応する Flux rope が再現された。Fan dome の外縁は半円弧型リボンに、spine 構造の足元はリモトリボンに対応することがわかった。本講演では、三次元的なフレア標準モデルでの解釈について述べると同時に、二つの CME 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](#)

M30a 局所的線形フォースフリー磁場近似に基づく新たな太陽フレア予測の試み

近藤芳穂¹, 草野完也¹ (1. 名古屋大学宇宙地球環境研究所)

太陽フレアの発生予測は社会に対する宇宙天気の影響を軽減すると共に、フレア発生機構を解明するためにも重要である。太陽フレアを予測するために、これまで様々な経験的手法が開発されてきたが、最近、Kusano et al. (2020) によって、不安定性理論に基づき巨大太陽フレアを発生位置まで正確に予測する κ -scheme と呼ばれる手法が開発された。しかし、 κ -scheme では 3次元コロナ磁場が必要である為、非線形フォースフリー磁場 (NLFFF) を大規模な計算によって求める必要がある。本研究では、 κ -scheme で開発した物理的予測手法を基に、観測データから直接太陽フレアの予測を効率的に行う新たな手法を開発することを目的とする。そのため、不安定性の臨界パラメータ κ の分子である「捻じれ磁束」を SDO/HMI-SHARP データから近似的に求める方法について報告する。捻じれ磁束は、磁気中性線 (PIL) 近傍の磁束と「磁気捻じれ (T_w)」の積から計算される。我々は PIL 近傍の水平磁場のシア角から局所的な線形フォースフリー磁場を用いて T_w を近似的に求める方法を開発した。さらに、第 24 太陽周期に現れた大型黒点を持つ 198 個の活動領域について、近似的に求めた T_w と NLFFF で求めた T_w の相関を調べた結果、両者に良い相関があることを確認した。そこで、PIL 上の各点より 2Mm 以内の領域において、近似的な T_w と磁束密度の積を面積分することで各点における捻じれ磁束を計算し、その値と非ポテンシャル磁場強度が 1000G 以上の領域に蓄積されている自由エネルギーの近似値を利用した新しいフレア予測スキームを構築した。X2 クラス以上の大型フレアに対するこのスキームの予測能力を精度 (precision) と再現性 (recall) について評価した結果、新たな方法は κ -scheme よりも予測能力が低いものの、磁束密度のみを使った従来の方法より予測能力が高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](#)

M31a 三次元磁気流体シミュレーションを用いたフレアループトップにおける乱流の調査

柴田健吾, 高棹真介 (大阪大学)

ひので衛星の極端紫外線撮像分光観測により、太陽フレアのループトップ領域には乱流を示唆するライン幅の増加が見られることが明らかになった (Hara et al. 2008)。ループトップ領域に形成される乱流は電子加速の観点から注目されている。なぜならば、乱流は磁場をかき乱すことで磁力線に垂直な方向の拡散を促進させたり (Kong et al. 2019)、また電子の閉じ込めに関わるミラー反射を弱めたりするはたらきがあるため、乱流の強度によっては電子の加速機構に影響を及ぼし得るからである。したがって電子加速を理解するためにもループトップ領域における乱流の振る舞いを理解することは必須である。ループトップ領域はフレアループ全体の大きさと比較しておよそ 10 から 100 分の 1 以下と小さいことが予想されており、十分に空間分解した観測が困難であるため、数値シミュレーションを用いたモデリングが必要になる。

我々は三次元の磁気流体シミュレーションを実施し、ループトップ領域に形成される乱流の起源および成長の仕方について調べた。その結果、フレアループの形成に伴ってループトップ領域に高圧のプラズマを囲う曲がった磁力線構造 (bad curvature) が形成され、そこから ballooning 不安定性が生じ、乱流が生まれることが分かった。また、この乱流はループトップの振動 (Takasao & Shibata 2016) によって増幅されながら非一様な構造に成長することを発見した。さらに乱流の Mach 数は典型的に 0.1 から 0.3 程度と、Kontar et al. (2017) による観測結果よりもやや小さいものの、ほぼ同程度のオーダーになり得ることも分かった。

[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](#)

M32a 活動領域 12887 で発生した X クラスフレアの観測データ駆動型磁気流体シミュレーション

金子岳史, 草野完也 (名古屋大学)

2021 年 10 月 28 日 15:17UT に、活動領域 12887 で X クラスフレアと大規模な CME が発生した。この活動領域内には、北西から南東へ伸びる磁気中性線の北側と南側の 2 箇所、磁場の自由エネルギーが大きい領域 (high free-energy region, HiFER) が存在した。X クラスフレアの起点となったのは北側の HiFER であると推測されるが、磁場構造が複雑な上、フレアリボンが活動領域全域に広がったため、定かではない。本研究では、X クラスフレアと CME のメカニズムを解明するため、観測データ駆動型磁気流体シミュレーションを実施した。本シミュレーションでは、観測された光球面磁場時系列データから速度場を導出し、磁気流体シミュレーションの下部境界へ導入することで、光球からコロナまでの 3 次元磁場構造の時間発展を再現する。今回は、SDO/HMI により観測された 10 月 28 日 11:00UT から 18:00UT までの光球面磁場データを用いた。シミュレーションの結果、北側の HiFER ではシア運動によって、南側の HiFER では収束運動によってリコネクションが発生し、磁束管が形成された。北側の HiFER は周囲を四重極の磁場で囲まれており、上空に磁場強度がほぼ 0 になる点が存在した。そのため、トーラス不安定の臨界高度が低く、磁束管は形成後すぐに臨界高度に到達し、噴出した。磁束管が噴出した時刻は、観測で X クラスフレアが発生した時刻と整合的であった。一方、南側の HiFER は、蓄積されているエネルギー量は北側の HiFER より大きかったが、幅の広い双極磁場の影響でトーラス不安定の臨界高度が高く、磁束管は臨界高度に達しなかった。本研究結果は、フレアの規模と CME への発展条件は、蓄積された磁場の自由エネルギーのみならず、活動領域の 3 次元磁場構造が決める MHD 不安定性に依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](#)

M33a Data-driven MHD Simulation of Long-term Temporal Evolution of AR 11283

Yeongmin Kang, Takafumi Kaneko, Kanya Kusano (ISEE, Nagoya University)

Solar eruptive events such as flares are caused by the release of magnetic energy accumulated in the solar atmosphere. They occur in solar active regions (ARs) where strong magnetic field is present. It is empirically known that huge flares are more likely to occur in the delta-type ARs. However, the physical mechanism of energy build-up and release in the delta-type ARs have not been understood completely. The data-driven MHD simulation method introduced in Kaneko et al. (2021) used the time series photospheric magnetic field data as the bottom boundary condition, which can follow more realistic temporal evolution of coronal magnetic field in response to the temporal change of observational magnetic field. In this study, we investigated a long-term temporal evolution of magnetic fields in AR 11283 which produced multiple M and X class flares. We conducted a data-driven MHD simulation using times series HMI vector magnetic field data from 2011 Sep. 4 19:48 UT to 2011 Sep. 6 05:48 UT which include the M5.3 flaring phase. As a result, we reproduced the flux rope formation and the growth of an MHD instability near the flaring region. The onset time of the instability in the simulation was close to the onset time of the M5.3 flare in the observation (2011 Sep. 6 01:48 UT). We also investigated the accumulation and release rates of magnetic energy and the structure of magnetic twist flux density over the flaring region.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

M34a 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) による衝撃波で粒子が加速され、地球へと到達するものが知られている。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。

我々は、SEP がどのように加速され、どのように地球へと到達するかを理解するため、CME と SEP の関係についての統計解析を行ってきた (Kihara et al., 2020、日本天文学会 2020 年秋季年会 M07a、など)。その結果、CME が発生してから粒子が地球軌道まで到達するまでの粒子到達時間 (onset time; TO) は、観測機器に接続する磁力線の足元付近で CME が発生すると短くなり、さらに CME 速度と負の相関を持つことなどが分かった。

一方で、同じような太陽面経度、CME 速度のイベントでも、TO はある程度の幅をもって分布していた。そこで我々は現在、これらの中で比較的長い TO を持つ 2017 年 7 月 14 日に発生した SEP イベントに着目し、詳細な解析を行っている。解析対象として、同じようなパラメータを持つ CME を由来とする、TO が長いイベントと短いイベントを本イベントを含め計 4 例抽出した。各イベントに対して、付随するフレア、太陽面の観測、電波放射の観測など複数のデータを用いて解析した結果、TO が長いイベントと短いイベントでは付随するフレアの特徴が大きく異なることが判明した。さらに、粒子加速の指標とされる電波放射の時刻と粒子の放出時刻を比較したところ、本イベントではこれらの間隔が他のイベントと比較して長いことが判明した。本講演では、一連の解析結果を紹介し、本イベントにおける、CME 発生から SEP が観測されるまでの一連のシナリオについて議論する。

[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](#)

M35a 数値モデルを用いた太陽フレア放射スペクトルによる電離圏変動の統計解析

西本将平, 渡邊恭子 (防衛大学校), 陣英克 (情報通信研究機構), 河合敏輝 (名古屋大学), 今田晋亮 (東京大学), 川手朋子 (核融合科学研究所), 大塚雄一, 新堀淳樹 (名古屋大学), 津川卓也, 西岡未知 (情報通信研究機構)

太陽フレアに伴う X 線と極端紫外線 (EUV) 放射は、地球電離圏の物理組成を急激に変化させ、突発的電離圏擾乱などの宇宙天気現象を引き起こす。電離圏擾乱の規模はフレア放射の総エネルギーとほぼ比例することが報告されている (Qian et al., 2011; Pawlowski & Ridley, 2011)。フレア放射が電離圏変動へ与える影響を正確に見積もるためには、その時間発展を正確に把握することが重要である。

我々は、CANS1D フレアパッケージと CHIANTI 原子データベース (Dere et al., 1997, 2019) を用いて、フレアの X 線・EUV 放射スペクトルを導出する手法を構築した (Kawai et al., 2020)。この手法によるフレア放射スペクトルの計算値と観測値を比較した結果、フレア発生時に支配的な 5.5 – 35.5 nm 帯の Fe ラインのフレア時間積分強度 (放射エネルギー) と立ち上がり時間を再現できることを確認した (Nishimoto et al., 2021)。

上記手法によって再現されたフレア放射スペクトルを大気圏-電離圏結合モデル GAIA (Jin et al., 2011) に入力し、電離圏の全電子数 (TEC) 変動の計算値と観測値を統計的に比較した。この結果、本手法でフレアによる TEC 変動を相関係数 0.9 以上の精度で再現することができた。また、フレアによる TEC 変動は Fe XV 28.4 nm および Fe XVI 33.5 nm ライン放射の影響を大きく受けることを確認した。さらに、軟 X 線放射 (< 0.1 nm) と Fe XX 13.3 nm ライン放射がフレアによる TEC 変動のよい指標になることが明らかになった。

本講演では、数値モデルで再現したフレア放射スペクトルに対する電離圏変動の解析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](#)

M36a 太陽電波放射の太陽周期活動変動と EUV 放射スペクトルの関係

渡邊恭子, 河埜光貴, 城戸雄太郎, 伊野蒼汰, 北島慎之典, 西本将平 (防衛大学校), 下条圭美 (国立天文台), 増田智 (名古屋大学)

太陽からの極端紫外線 (EUV) 放射は地球の熱圏で吸収され、電離圏の形成や熱圏の加熱・密度上昇に影響している。このため、地球上層大気の状態は太陽の 11 年周期やフレアによる EUV 放射の変動に伴って変動しているが、EUV 放射は地上までは届かず、観測データも限られているため、これまで地球圏環境への太陽放射の影響を見積もる時には F10.7 という 2.8 GHz のマイクロ波観測が EUV 放射のプロキシとして伝統的に用いられてきた。しかし、近年の EUV 放射の衛星観測などにより、F10.7 と実際に地球圏環境に影響している放射とは強度変動にズレがあることが分かってきた。

そこで本研究では、太陽周期変動によるマイクロ波放射と EUV 放射スペクトルの関係の変動について、野辺山強度偏波計 (NoRP) と TIMED/SEE のデータを用いて調べた。野辺山強度偏波計 (NoRP) は太陽全体からの電波強度を多周波 (1, 2, 3.75, 9.4 GHz) で測定しており、TIMED/SEE は 0.5 – 190 nm の範囲の EUV 放射スペクトルを 1 nm の分解能で 1 日に 15 回測定している。これらのマイクロ波放射と EUV 放射の関係を調べたところ、どの周波数のマイクロ波放射においても、短波長の EUV 放射との相関がよく、長波長 (> 130 nm) になるほど相関が悪くなった。また、特に彩層からのライン放射を多く含む EUV 放射の波長バンドで相関が悪くなる様相が見られた。

今回は、マイクロ波放射と EUV 放射の関係と、これらの放射と地球上層大気の様相との関係について報告し、NoRP の多周波データを用いて EUV 放射スペクトルを推測するアルゴリズムについて議論する。

[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](#)

M37a 太陽フレア EUV 放射によるデリンジャー現象への影響

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

太陽フレアからの X 線放射の急増は電離圏 D 層の電子密度を増大させ、短波を電離圏 D 層で減衰させる通信障害 (デリンジャー現象: Dellinger 1937) を発生することが知られている。デリンジャー現象発生の有無は、イオノゾンデ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統計研究より報告されている (Tao et al., 2020 など)。しかし、 f_{min} 値と X 線の最大放射強度が比例していない観測例も多数あることから、電離圏 D 層の電子密度変動に起因するフレア放射は X 線だけではなく、その他の波長のフレア放射が影響している可能性が考えられる。

そこでデリンジャー現象の主要因を明確にするために、GOES/XRS, EUVS-E, 及び SDO/EVE で観測された太陽フレア放射強度と情報通信研究機構が運用しているイオノゾンデ (稚内・国分寺・山川・沖縄) で観測された f_{min} 値を比較した。本研究の解析対象は、2010 年 5 月から 2014 年 5 月の日本の昼間 (9:00-18:00) に発生した M3 クラス以上のフレア (38 イベント) とした。

f_{min} と高い相関を示した太陽フレア放射は、1-8 Å の X 線放射 (相関係数 = 0.74) と 11-14 nm の EUV 放射 (相関係数 = 0.76) であった。このうちどちらの放射がどの程度デリンジャー現象に影響しているかについて調査するため、2013 年 5 月 13 日のイベントにおいて観測された各放射の時間発展を詳細に解析した結果、デリンジャー現象の継続時間には、11-14 nm の放射がより影響している可能性が示唆された。今回は、地球電離圏の数値計算モデル (GAIA) を使用して太陽フレア放射の波長毎による電子密度変動量の高度プロファイルを再現し、 f_{min} 値などの地球電離圏の観測値と比較・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](#)

M38a 多波長同時観測で迫るおひつじ座 UX 星で生じた巨大フレアの特徴 (2)

北古賀智紀, 坪井陽子, 岩切渉, 河合広樹, 佐々木亮 (中央大学), 米倉覚則 (茨城大学), 岳藤一宏 (JAXA), 新沼浩太郎, 元木業人, 藤沢健太, 青木貴弘 (山口大学), 下条圭美, 梅本智文 (NAOJ)

りょうけん座 RS 型連星は、最大級の太陽フレアのエネルギー (10^{32} erg) を上回る 10^{36-39} erg の巨大フレアを起こすが、X 線での最大光度と継続時間や、温度とエミッションメジャーの相関が太陽と矛盾しないことから、プラズマの冷却過程や発生原理において、太陽フレアと共通の性質を持つことが示唆されている (Tsuboi et al. 2016)。しかし、画像分解ができない恒星フレアは、その詳細な放射領域の特徴について、観測的な理解が不十分である。前回 (2020 年春季年会 M35a) は、茨城-山口電波干渉計 (6.7 GHz, 8.3 GHz) が観測した、継続時間が ~20 日にも及ぶおひつじ座 UX 星で生じた巨大フレア 2 発について報告し、その継続時間が一度の粒子加速によるエネルギー注入では説明できないことを示した。また、光度曲線が自転周期 (6.4 日) に対応した周期変動をすることから、電波の放射領域は自転によって見え隠れするコンパクトな領域にあると解釈した。この長時間続く電波フレアと同時に我々は X 線望遠鏡 NICER (0.2-12 keV) でも観測しており、統計の良いスペクトルを得ている。今回は、その解析から得たプラズマの温度、エミッションメジャー、元素組成の時間発展について述べる。スペクトルは、Ne, O, S, Si, Fe の元素組成をフリーにした 2 温度の光学的に薄い熱制動放射モデルでよく再現された。高 FIP 元素 (Ne, O, S > 10 eV) に対する低 FIP 元素 (Si, Fe < 10 eV) の対数比 (= FIP bias) は、-0.5 ~ -0.8 に分布する。これは、活動星のコロナで一般的に見られる「逆 FIP 効果」を意味する。今回特に注目すべきは、FIP bias が自転周期に対応した時間変動をしており、電波の放射領域と高 FIP 元素の過剰な領域が一致している可能性が高いことである。本講演では、上記の解析成果およびそれらの解釈について議論する。

[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](#)

M39a 太陽・恒星における低温プラズマ噴出の質量とフレアエネルギーについての普遍的な相関関係とスケール則

古谷侑士、石井貴子、山崎大輝、一本潔、浅井歩（京都大学）、柴田一成（同志社大学）、大辻賢一（情報通信研究機構）

太陽・恒星では、フレアに伴う低温プラズマの噴出の兆候が 10 桁以上のエネルギー幅に渡って発見されている。これらの現象の間にはエネルギーに依らずに多くの共通の性質が発見されている。しかし、10 桁以上のエネルギー幅に渡って質量などの物理量が推定され、相関関係が調べられたことは現在までない。これは特に、太陽のフィラメント噴出・ミニフィラメント噴出についてのサンプル数が少ないことが原因である。そこで、本研究では飛騨天文台 SMART/SDDI による太陽全面の H α 線撮像分光観測を用いて、様々なスケールのフレアに伴う低温プラズマの噴出について統計的に質量とフレアエネルギーを推定した。噴出物の質量の推定にはクラウドモデルを使用した。フレアエネルギーの推定には、X 線で A クラス未満の静穏領域で起きたイベントに対しては SDO/AIA による DEM 解析を用いた。また A クラス以上のものは X 線のピーク強度と bolometric energy についての半経験則 (Kretzschmar et al. 2010; Emslie et al. 2012) を用いた。さらに、フレアエネルギーと噴出した低温プラズマの質量についてのスケール則を新たに構築し、観測結果との比較を実施した。結果として、静穏領域で起きた小規模なイベントはコロナ磁場が 5 G の場合のスケール則と、A クラス以上のものは 5-50 G の場合のスケール則とよく一致した。さらに、恒星フィラメント噴出を伴うと解釈される恒星フレアの観測結果についても、今回構築したスケール則とおおよそ一致していることがわかった。これらの結果は、様々なスケールのフレアに伴う低温プラズマの噴出が共通の物理機構で発生していることを定量的に示唆している。

[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](#)

M40a 太陽型星スーパーフレアに伴うフィラメント噴出モデル

幾田 佳（東京大学）、柴田 一成（同志社大学/京都大学）

フレアとは太陽や恒星表面における突発的な爆発増光現象であり、太陽型星 (G 型主系列星) において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持つスーパーフレアが多数報告されている (e.g., Okamoto et al. 2021). 太陽フレア同様にスーパーフレアに伴うプラズマ噴出の性質を調べるため、京都大学せいめい望遠鏡を中心とした光赤外大学間連携 OISTER によってフレアの分光モニタ観測が行われており、若い太陽型星 EK Dra において世界で初めて太陽型星スーパーフレアの H α 線スペクトルの吸収成分 (500km/s の青方偏移) の変化に見られるフィラメント噴出が捉えられた (Namekata et al. 2021, Nature Astronomy). この観測ではフィラメント噴出の速度 (≤ 500 km/s) が太陽重力の脱出速度 (~ 620 km/s) を超えていないため、コロナ質量放出が起きているかどうか不明であるという指摘がされてきた。そこで本研究では、フィラメント噴出の運動についてモデルと観測を比較することでその検証を試みた。具体的なモデルとして、フィラメント噴出を含めた膨張する磁気ループを仮定し、ループ頂上の膨張速度とループの長さをパラメータとして、ループに沿った方向の一次元の流体計算 (cf. Shibata 1980) により重力で落下するフィラメントの運動を解いた。そこで求めた密度と速度から光学的に薄い仮定 (運動が H α 線スペクトルの変化に対応) の下にスペクトルの変化を求め、観測結果と比較して解釈を試みた。その結果、(1) 観測ではフレア開始約 20 分後から H α 線スペクトルの吸収成分が見られるが、これらはこの時点で太陽半径の半分程度に到達したループが膨張速度 500km/s で噴出し、そのループに沿った低温高密度プラズマの落下によって解釈可能であり、(2) ループ上には高温低密度のコロナが存在して 500km/s で噴出し続けているため、脱出速度を超えて飛んでいくことが分かった (Ikuta & Shibata 2022, in preparation).

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

M41a 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 II

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

現在の観測技術では、表面を空間分解可能な恒星は太陽のみである。そのため、近年では、太陽の詳細なデータを恒星の観測データの解析に活用するという研究が進められている (Toriumi et al. 2020 他)。京都大学を中心とするグループでは、太陽の H α 線観測データを空間積分して恒星の H α 線観測と比較を行った。その結果、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を恒星でも確認した (Namekata et al. 2021)。一方で、太陽ではフレアに限らず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、多様な太陽活動現象が空間積分した H α 線スペクトルにどのように現れるか、解析を行ってきた。その結果、フレア、フィラメント噴出、太陽面外へのプラズマ噴出現象について、それらの違いを空間積分した H α 線スペクトルでも確認した (大津ら、日本天文学会 2021 秋季年会 M45a)。

本研究では、空間積分した H α 線スペクトルのラインの広がりや吸収の有無など、より細かな特徴に着目した。その結果、同じタイプのイベントであっても、空間積分したスペクトルにイベントごとの個性が現れることが分かった。例えば、噴出を伴うフレアでは、強くシフトした吸収が現れるイベントだけでなく、噴出が撮像画像では観測されているが、吸収がスペクトルでは不明瞭なイベントも確認された。吸収が不明瞭なイベントでは、フレアによるラインの広がりや噴出による吸収が打ち消し合うことで、シグナルが弱まったと考えられる。本講演では、これらの細かな特徴について詳細を報告し、太陽表面の様子との対応について議論する。また、イベントごとの H α 線等価幅の時間変化に着目し、恒星活動現象の研究における分光観測の重要性についても述べる。

[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](#)

M42a 可視光測光・分光同時観測で迫る恒星スーパーフレアの彩層放射メカニズム

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), 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、磁気エネルギーが熱エネルギーおよび運動エネルギーに変換されることで発生する爆発現象であると知られている。太陽で見られる一般的なフレアのエネルギーは $10^{29} \sim 10^{32}$ erg 程度である。一方、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近傍の恒星において確認されている (e.g. Maehara et al. 2021)。太陽フレアの発生時にはコロナで加速された粒子が彩層上部に流れ込み、彩層大気を加熱し下方に圧縮することで赤方偏移する H α 輝線が観測される (Ichimoto & Kurokawa 1984)。故に恒星フレアにおいても H α 線の分光観測から彩層の加熱機構を推定できると期待される。ところが、小規模な恒星フレアにおける赤方偏移した H α 線の観測は数例報告されているものの (Houdebine et al. 1993)、スーパーフレアにおける H α 線輪郭の詳細な性質や彩層の加熱機構は未だ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 (年齢 5 Gyr, 自転周期 2.8 日) を対象として、TESS 衛星による可視光測光観測とせいめい望遠鏡を用いた高精度・高時間分解能での H α 線分光観測を同時に行った。その結果、2021 年 1 月 24 日には 10^{34} erg 程度のスーパーフレアの観測に成功した。同フレアにおいて可視連続光の増光に伴い、数 100 km/s で赤方偏移する H α 線の非対称性成分が見られた。H α 線の赤方偏移成分から彩層の凝縮速度を算出し、白色光の時間変動との対応関係を調査したところ、凝縮の減速と白色光の減光のタイムスケールに相似性が見られた。太陽フレアでは白色光増光が加速された高エネルギー電子の挙動を反映すると考えられていることから、今回のスーパーフレアにおいて非熱的な加速粒子が彩層凝縮に影響を及ぼす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](#)

M43a 太陽型星スーパーフレアに伴う H α 線スペクトル変化の多様性の調査

行方宏介, 前原裕之 (NAOJ), 本田敏志 (兵庫県立大), 野津湧太 (コロラド大/NSO/東工大), 岡本壮師 (気象庁), 野上大作, 柴田一成 (京大), 他 OISTER & SMART team collaborations

近年、太陽型星 (G 型主系列星) では年齢問わずスーパーフレア (史上最大級の太陽フレアの 10 倍以上の規模) が発生していることが発見された (例 Okamoto et al. 2021)。その研究を通し、若い太陽はスーパーフレアを頻発していた可能性や、現在の太陽でもスーパーフレアが発生する可能性が示唆されてきた。スーパーフレアの強い放射や大質量放出は周囲の惑星環境に大きく影響しうるため、地球・惑星分野からも注目されている。それらの性質を解き明かす上で可視分光観測は有力な手段である。しかし、これまでその成功例は無く、太陽型星でのスーパーフレア放射機構、及び噴出現象の有無はほとんど未知であった。我々は、京大 3.8m せいめい望遠鏡の潤沢な観測時間と高い集光力を活かし、太陽型星スーパーフレアの分光データ (H α 線) の検出に挑んできた。その結果、2020~2021 年に、若い太陽型星 EK Dra (年齢 ~100 Myr) で 4 件、V889 Her (年齢 ~25 Myr) で 1 件、 10^{33-34} erg 級のスーパーフレアに伴う H α 線変化の分光観測に成功し、その多様性が初めて明らかになってきた。2020 年 4 月 5 日のフレアでは、500 km/s で青方偏移する H α 線の吸収成分が発見され、スーパーフレアに伴って巨大・高速のフィラメント噴出が発生したことがわかった (Namekata et al. 2021, Nature Astronomy)。一方他 4 件では、フィラメント噴出は検出されず、現状の噴出現象の検出率は 1/5 となっている。噴出現象が無い 4 件の内、3 件ではフレアに伴い H α 線輪郭が $\sim \pm 400$ km/s に広がる様子が見られたが、1 件では見られなかった (Namekata et al. in prep.)。本結果は、フレア毎に噴出現象の有無、そして彩層加熱・放射機構に多様性があることを示唆している。本講演では、これらの観測成果をレビューし、統計的な研究に向けた今後の計画を紹介する。

[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](#)

M44a M 型星フレア中における、彩層線輝線輪郭の青方偏移現象の分光・測光観測

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), 本田敏志 (兵庫県立大), 幾田佳 (東大), 岡本壮師, 野上大作, 柴田一成 (京大), 榎戸輝揚 (理研), 濱口健二 (NASA/GSFC, UMBC) James Davenport, Suzanne Hawley (ワシントン大)

多くの太陽フレアを彩層線 (H α 線等) で観測すると、彩層下降流に伴う赤方偏移が見られる。近年、M 型星フレア中の H α 線で、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 (Honda et al. 2018, Maehara et al. 2021)。これらは、フレアに伴う質量放出を反映する可能性もあり、惑星への影響を推定する上でも重要である。しかし、青方偏移の生成過程や本当に質量放出を反映するのか、理解は進んでおらず、可視連続光や X 線の時間発展との関係や、H α 以外の彩層線でも青方偏移は同様に観測されるか、に迫る同時観測が重要である。

そこで私達は、米国 APO3.5m 及びチリ SMARTS1.5m 望遠鏡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、3つの M 型フレア星 (YZ CMi, EV Lac, AD Leo) を対象に計 31 晩実施した (うち 3 晩は X 線分光装置 NICER でも観測)。その結果、42 例のフレアを検出し、少なくとも 7 例で H α 線の青方偏移した超過成分 (最大 $-100 \sim 200$ km s $^{-1}$ 程度) が確認された。H α 線のみの先行研究 (上記論文や、行方他 2021 年秋季年会 M28a) と同様に、継続時間や可視光増光の対応関係には多様性が見られた。7 例中 1 例だが青方偏移と X 線増光の同時観測に成功したこと、7 例全てで H α 線以外の彩層線 (H β 線や Ca II K 線) での青方偏移の有無や時間発展を観測したことが、特に本研究の新規性である。例えば、7 例全てで、H β 線でも顕著に青方偏移が観測された一方、H γ 線以降の高次のバルマー線や Ca II K/8542Å 線等その他の彩層線では、青方偏移は顕著には確認できない例が大半だった。本発表では、これらの結果を踏まえ、青方偏移成分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](#)

M45a PFSS モデルを用いたオープンフラックス問題の研究

吉田南 (東京大学, ISAS/JAXA), 清水敏文, 鳥海森 (ISAS/JAXA)

太陽から延びる開いた磁力線のうち、惑星間空間磁場となった部分をオープンフラックスと呼んでいる。WIND 衛星では、太陽から 1 AU 地点の動径方向磁場強度 $B_{r1 \text{ AU}}$ を測定しているが、太陽面磁場から外挿するモデルで予測すると、30% 程度に過小評価される (オープンフラックス問題; Linker et al., 2017)。主に太陽両極域にあるコロナホールから延びる磁束は、太陽圏磁場の基本的な構造を決定する。したがって、宇宙天気現象の理解と予測のためにオープンフラックスの大きさや振る舞いを正確に予測することが重要である。

本研究では、予測値と実測値の乖離の原因を探るために、PFSS モデルと SDO/HMI のデータを用いて 2010 年 6 月から 2020 年 11 月の 10 年間にわたって $|B_{r1 \text{ AU}}|$ の予測値を計算した。PFSS モデルは、境界面 (Source surface) の磁場が全て動径方向を向くという仮定をおき、太陽光球面の磁場マップを利用してコロナ磁場を外挿するモデルである。地球付近の磁場強度に緯度依存性がない (Smith & Balogh, 1995, 2008) ことから、 $|B_{r1 \text{ AU}}|$ は Source surface 面における平均磁束量を用いて算出できる。実測値と比較すると、実際に実測値の約 10% ~ 50% の値をとっていることが確認できたが、年スケールの変動は追えていることがわかった。Source surface における $|B_{r \text{ ss}}|$ を緯度の関数で考えると、極大期では低緯度付近が大きく、極小期に近づくにつれて両極域が大きくなっていた。 $|B_{r \text{ ss}}|$ の最大値を用いて $|B_{r1 \text{ AU}}|$ を改めて求めると、極小期には値が改善されたが、極大期付近では値がほとんど改善されなかった。これらのことから、太陽磁場構造の特徴によって、オープンフラックス問題の原因が異なってい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](#)

M46a IPS 観測を用いた太陽風モデルの検証

庄田宗人 (国立天文台), 岩井一正 (名古屋大学), 塩田大幸 (情報通信研究機構)

太陽風は太陽から恒常的に吹き出す超音速の放出流であり、プラズマ科学、地球科学、天文学と広い分野において重要な意味を持つ。さまざまなシステムの中で太陽風の役割を定量的に評価するには太陽風の加速メカニズムを理解する必要がある。太陽風の加速メカニズムは「波動・乱流モデル」および「リコネクション・ループ開放モデル」の二種類に分類されるが、どちらが支配的な加速メカニズムかは未だにわかっていない。特にコロナホールから吹き出す太陽風は古くから「波動・乱流モデル」でよく説明されてきたが、近年の磁気スイッチバックの観測からその考えも見直されつつある。

私たちは「波動・乱流モデル」がどの程度現実の太陽風を再現するか定量的に検証すべく、太陽風の大局速度構造を第一原理的に計算し、観測と比較することでモデルの評価を行なった。具体的には、1. 太陽の大局磁場構造を PFSS 法で計算し、2. 各磁力線に沿って波動モデルに基づく太陽風加速シミュレーションを行い、3. 得られた太陽風速度を IPS 観測データと比較することでシミュレーションの性能の評価を行なった。シミュレーションの結果、物理モデルは高緯度の太陽風について既存の経験則に比べて遥かに高精度で速度を再現可能であることがわかった。一方中低緯度では経験則と同程度の性能しか得られなかったが、中低緯度は磁場の外挿法に大きな誤差が生じやすいため一概に物理モデルが適用できないとは言えない。私たちの計算結果は特に高緯度の太陽風が「波動・乱流モデル」で定性的、定量的に説明できることを意味する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

M47a Intensity Ratios of FeXXV Lines in Solar Flares Observed by *Hinotori*/SOX

渡邊鉄哉 (国立天文台)

第7号科学衛星「ひのとり」(飛翔1981年)には軟X線高分散ブラッグ分光器(SOX)が搭載され、衛星スピンを利用して、太陽フレアに伴う1.85Å (6.7keV) 境界の鉄高階電離イオン輝線の高分散観測が行われている。今般、*Hinotori*/SOXの全データをFITSファイルに変換し、主要なフレアの軟X線スペクトルをIDL-saveファイルとするデータベースを構築した(Watanabe, Tonooka, Ebisawa, & Suematsu: 2019, poster paper for Hinode-13)。

このデータベースを用いて、田中(捷)の解析(*)を復元し、CHIANTI ver.9 (2019) と Bely-Dubau et al. (1982) の原子データによる、鉄H様イオンとHe様イオンのそれぞれ単温度解析を実施した。鉄He様イオン共鳴線(w)とLi様イオン二電子再結合線(j)との強度比からHe様イオンの電子温度を求め、波長域1.85~1.88Åの鉄輝線スペクトルを合成すると、Li様・Be様イオンの輝線強度は、ほゞ良い一致を示すが、He様イオン輝線(x, y, z)とLi様イオン内殻励起線(q)の強度には、電子温度にほとんど依存しない超過が見られる。

今解析では、フレアにおける軟X線強度の最大期以降減衰期にかけてのスペクトルを選別していることにより、この輝線強度超過が電離平衡係数に帰着されるのではなく、各輝線の原子パラメータに帰着されるべきであるとの結論に到った。

(*) K. Tanaka: 1986, PASJ, **38**, 225-249.

[スケジュール\(セッション毎\)に戻る](#)

[スケジュール\(全体\)に戻る](#)

[講演者索引TOPに戻る](#)

M48a 太陽大気中の沿磁力線プラズマ運動

柴崎清登 (太陽物理研)

太陽大気中の磁力線に沿った熱的プラズマの運動について検討する。既存のMHD運動方程式では磁力線方向に働く力は圧力勾配力と重力のみであるが、荷電粒子の磁気モーメントを考慮するとケルビン力が加わる。太陽大気中では上方に向かって磁場は弱くなるので、反磁性流体であるプラズマに働くケルビン力は上方に向かう。これに対して重力は下方に向かうので、これらの力の大小によってプラズマが上昇流となるか下降流となるかが決まる。また、磁気モーメントは温度に比例するので、プラズマの温度に依存した上昇/下降流が期待され、臨界温度 T_c 以上では上昇、以下では下降となる。 T_c は物理定数(陽子質量 m 、ボルツマン定数 k)、重力加速度 g と磁場強度変化のスケール長 L によって決まる $T_c = (mg/2k)L$ 。 L として太陽の活動領域サイズを用いると、 T_c はコロナ温度程度である。閉じた磁力線中の臨界温度以上のプラズマは上方に力を受け、プラズマはループの頂上付近に溜まって高密度となる。このプラズマが放射冷却によって温度が低下するとコロナルレインとして落下することになる。これが活動領域における質量サイクルの原因となる。また太陽フレア中・後半におけるループ頂上付近の高圧プラズマの生成原因と考えられる。開いた磁力線の場合、高温のプラズマは温度に比例した速度の上昇流となる。温度に依存したプラズマの上昇流は、静かな太陽、活動領域周辺、フレア時に観測されており、低速太陽風の加速にも寄与していると考えられる。この機構は、太陽上層大気がなぜ下層より高温なのか(コロナ加熱問題)を説明することができる。

[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](#)

N01a K 型主系列星 V833 Tau 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、こうしたスーパーフレアのごく初期の高時間分解能の分光観測はまだ少なく、フレアのエネルギーとタイムスケールの間の関係や、連続光と $H\alpha$ 線の放射エネルギーの比率が、スーパーフレアと太陽で起こる程度のフレアでどのように違うのかなど、未解明の点も多い。

我々は若い K 型主系列星 V833 Tau の TESS による観測期間に合わせて、3.8m せいめい望遠鏡を用いた連続分光観測を行い、可視連続光の放射エネルギーが 10^{34} erg 程度と推測される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。このスーパーフレアでは $H\alpha$ 線の強度は 1 分程度のごく短いタイムスケールで増加し、 $H\alpha$ 線のフレアの継続時間は 1 時間以上に及んだ。また、フレアの立ち上がりにおいて $H\alpha$ 線の線幅 (FWHM) が $\sim 9 \text{ \AA}$ まで増大し、その後 $H\alpha$ 線の強度よりも短いタイムスケール (~ 30 分) で減少する様子が観測された。同様の現象は M 型星 AD Leo や K 型星 LQ Hya 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。その他、これら 3 つのスーパーフレアの可視連続光と $H\alpha$ 線の強度や線幅時間変化の違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](#)

N02a Tomo-e Gozen を用いた M dwarf からの超高速フレアの探索

逢澤正嵩 (李政道研究所/上海交通大学), 檜山和己, 川名好史朗, 河原創, 田尻智之, 大澤亮, 有馬宣明, 酒向重行 (東京大学), Tomo-e Gozen collaboration

近年、Kepler や TESS をはじめとする衛星の測光観測、および地上からの測光、分光観測によって恒星のフレアへの理解が劇的に進展している。恒星フレアが主に磁気リコネクションによる極短時間のエネルギー放出を起点に発生することを考慮すると、従来の数十秒-数分積分の測光観測では捉えることが難しい、サブ分スケールの変動を系統的に調査することは重要である。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 カメラを用いて、M dwarf フレアの 1 秒積分測光探査を行った。我々はこれまでに約 40 時間分の観測データを解析し、およそ 6000 個の M dwarf から総計約 300 [M dwarf 日] の測光ライトカーブを取得、その中から立ち上がり時間が 2 分以内の超高速フレアを 23 個検出した。これらのフレアの多くは、従来の可視域で報告されているフレアと比べ、より短時間でより大きな増減光を示している。23 のフレア母天体のうち 12 天体において LAMOST の分光データが存在し、うち 11 天体で強い $H\alpha$ 輝線が観測されていることから、超高速フレアが従来のフレア同様に活動的な星で起きやすい可能性が高い。本講演では、Tomo-e Gozen で同定した超高速フレアの観測的特徴、そこから得られるフレア機構への理論的示唆について述べる。

[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](#)

N03a OH/IR 星 RAFGL5201 の VLBI 位置天文観測と波長 $11.6\mu\text{m}$ の赤外線帯域での新たな周期光度関係の示唆

中川亜紀治, 橋本真雄, 守田篤史, 池田奈央, 坂本直也, 清水涼馬, 前田幸俊, 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

初期質量が $0.8\text{--}10M_{\odot}$ の星は、その進化末期に Asymptotic Giant Branch (AGB) 段階に至り、内部で合成した様々な元素を外層からの星風により星間空間に還元し (質量放出現象)、銀河の化学組成に大きく寄与する。質量放出率は $10^{-7}\text{--}10^{-4}M_{\odot}\text{yr}^{-1}$ の幅を持ち、大質量の星が示す特に激しい質量放出は Super wind と呼ばれる。AGB 星は脈動変光を示す事でも知られ、Mira 型変光星などの比較的小質量の星での周期光度関係はよく知られている。これは距離尺度として有用であると同時に、複数系列の関係の存在は星の進化段階とも関連付けられる。AGB 星はまた、質量に応じてその進化も多彩であり、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。

このように、AGB 星の多彩さは質量とも大きく関連しており、様々な質量の AGB 星の星周のガス分布や運動、構造やそのサイズを解明することは AGB 星の総合的な理解につながる。質量はまた、変光周期と関連することが知られている。そこで我々は周期を手がかりにして、様々な質量を持つと見込まれる AGB 星を選出し、VERA による位置天文 VLBI 観測を行うことで、その高い空間/時間分解能観測を活かした星周構造の解明を目指している。本講演では、我々が新たに観測した OH/IR 星 RAFGL5201 の年周視差 $0.61\pm 0.03\text{ mas}$ を報告すると共に、複数の OH/IR 星の距離計測から示唆される、波長 $11.6\mu\text{m}$ の中間赤外における新しい周期光度関係 $M_{11.6\mu\text{m}} = (-6.28 \pm 0.49) \log P + (6.19 \pm 1.30)$ 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](#)

N04a K 型主系列星 PW And における $\text{H}\alpha$ 線分光モニタ観測

村瀬光太郎, 本田敏志 (兵庫県立大学)

太陽・恒星において対流層で生じる磁気をエネルギー源として黒点付近で熱/運動エネルギーを放出するフレア現象などを磁気活動という。PW And は K2V 型の若く ($\approx 20\text{Myr}$) 比較的自転周期の短い ($\approx 1.76\text{day}$) 活動性の高い天体であることが知られており、これまでにフレアが多数観測されている。ドップラーイメージングを用いた研究から、星の半径が $1.16R_{\odot}$ でありながら太陽黒点の $10\sim 100$ 倍の黒点を持つことが報告されている (Strassmeier & Rice 2006)。Santiago et al. (2013) は測光観測と分光観測から、明るさと $\text{H}\alpha$ 線強度に相関関係があることを示唆したが、観測が十分ではないため結論や詳細な関係性を議論するには至っていない。我々は 2019 年 10 月の TESS による測光データより 10% の明るさの変化を確認し、同期間に行った $\text{H}\alpha$ 線の分光観測から、暗くなる自転のフェーズで輝線が強くなっていることを報告した (2020 年秋季年会 N17a 参照)。本研究では黒点の生成消滅の時間スケールである数ヶ月以上での変化を確認するために、自転周期全体をカバーした観測を長期間にわたり実施した。活動領域を反映する $\text{H}\alpha$ 線に注目することで活動領域の変動や自転周期と相関した強度の変動が見られるかについて確認することを目的とした。観測は、西はりま天文台 2.0m なゆた望遠鏡/低中分散分光器 (MALLS) を使用し、分光モニタ観測 ($R\sim 10,000$) を 2020 年 12 月から 2021 年 12 月にかけて行った。その結果、 $\text{H}\alpha$ 線の等価幅に、自転周期と対応した変動を確認することができた。また、等価幅が大きくなる自転のフェーズで、フレアによると考えられる数時間スケールの急激な強度変化も確認された。加えて数ヶ月スケールでの強度変化も確認され、2020 年は 2021 年と比較して輝線強度が全体的に強く、自転に伴う変動も大きなものであった。これは、活動領域も黒点と同様に数か月以上のタイムスケールで生成消滅が起きてい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](#)

N05a 近赤外線 K バンドにおける Line depth ratio 法を用いた星の温度測定

西山正吾, 吉原実祈 (宮城教育大), 齊田浩見, 齋藤亮 (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)

星の有効温度は、HR 図上の位置を決めたり、質量や半径などを決めたりする上で本質的なパラメータである。有効温度を正確に決めるために、Line depth ratio (LDR) 法と呼ばれる測定手法が提案されている (Gray 1989)。LDR 法は、ふたつの吸収線 (主に中性金属) の比を用いて星の有効温度を決定する。たくさんの吸収線ペアを使うことができれば、温度測定の統計誤差を小さくすることができる、という利点がある。

可視光での研究が主であったが、近年、近赤外線波長域での検証がさかんに行われるようになった (Fukue et al. 2015, Taniguchi et al. 2018, 2021, Jian et al. 2019, 2020)。本研究ではまだ研究が実施されていない、近赤外線 K バンド波長帯の $2.09\ \mu\text{m} - 2.30\ \mu\text{m}$ での LDR 法の検証を行った。すばる望遠鏡と赤外線カメラ IRCS を用いて、 $3500\ \text{K} - 5400\ \text{K}$ の 7 つの星を観測した。

データ解析の結果、LDR 法に適すると思われる 5 組のラインペアを見つけた。Al、Si、Fe、Ti、Na の吸収線を用いたラインペアが、星の有効温度と良い相関関係を示した。星の数が限られているため、相関関係の決定精度はあまり高くない。しかし 5 つの相関関係を用いて星の温度を再測定すると、数 10 K の精度で再現することができた。また比較的金属量の低い ($[\text{Fe}/\text{H}] \sim -0.5$) 星は、太陽程度の金属量の星を用いて求めた相関関係から外れた。現段階では、星の数が限られているため、誤差を過小評価していると考えられる。今後は観測数を増やし、さらなる吸収線ペアの探査、より正確な相関関係の導出、金属量依存性の検証などを進めたい。

[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](#)

N06a 射影自転速度と半径を用いた恒星の自転周期分布の推定：磁気制動則への示唆

増田賢人 (大阪大学), Erik A. Petigura (UCLA), Oliver J. Hall (ESTEC)

恒星の自転周期測定はケプラー探査機等による測光観測で飛躍的に進展した。しかし、自転に起因する準周期的な変光が検出されているのはケプラーが観測した太陽型星でも 3 割程度であり、自転周期が長く活動度の低い恒星は見落とされている可能性がある。このようなバイアスを受けずに自転周期分布を推定する一つの方法は、高分散分光と Gaia 衛星の視差観測を組み合わせて得られる恒星の射影自転速度 $v \sin i$ と半径 R から、自転軸の等方性を用いて自転周期 $P_{\text{rot}} = 2\pi R \sin i / v \sin i$ の分布を確率的に推定することである。本研究では階層ベイズ法を用いてこの推論問題を解決した。この手法の特徴は、恒星ごとに異なる精度で測定された $v \sin i$ と R のデータ (例えば $v \sin i$ が大きいと高精度だが、小さいと上限値のみが得られているなど) に適用可能であり、かつ自転周期分布のノンパラメトリックな (分布関数の形状を仮定しない) 推定が可能な点である。シミュレーションデータを用いた検証の結果、自転周期分布に鋭い不連続性がない限り、100 程度の恒星に対し現在達成可能な精度で $v \sin i$ と R が得られれば、この手法で真の周期分布を復元できることが示された。我々はこの手法を Keck/HIRES で高分散分光観測がなされた 144 個の後期 F/早期 G 型のケプラー星に適用し、これらの恒星の典型的な自転周期がケプラーの光度曲線から測定された周期と類似しており、したがって測光サンプルは自転周期の長い恒星を見落としていないことを示した (ただし、測光サンプルには若い高速自転星が過剰に含まれている証拠も得られた)。我々の結果はまた、同様な有効温度・年齢をもつ恒星に対して星震学を用いて得られた自転周期の測定結果とも一致していた。これらの結果は、主系列寿命の半ばを過ぎた太陽型星が、標準的な磁気制動則で予測されるよりも速く自転しているという仮説 (いわゆる weakened magnetic braking 仮説) 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](#)

N07a Universal Atmospheric Heating Mechanisms of the Sun and Sun-like Stars

Shin Toriumi (JAXA), Vladimir S. Airapetian (NASA, American University)

Understanding the mechanisms responsible for heating the chromospheres and coronae of the Sun and late-type stars is one of the most fundamental problems in solar and stellar physics. Although it is thought that the magnetic field plays a key role in driving and transporting the energy from the stellar surface upwards, the current observations are unable to spatially resolve stellar atmospheres to investigate if magnetically driven heating is at work on the stars. Here, we present the results of the solar and stellar data analysis providing critical clues to the common nature of the heating mechanisms of coronae, transition regions, and chromospheres of the Sun and sun-like stars. We systematically studied the variations of total unsigned magnetic flux and spectral irradiances of X-ray, ultraviolet, optical and radio bands of the Sun from May 2010 to February 2020, i.e., spanning almost one solar activity cycle. We found that the variation amplitudes of solar irradiance and magnetic flux show power-law relations with an exponent decreasing from ~ 1.3 to ~ 0.8 as the temperature decreases from a few million K in the corona to 10,000 K in the chromosphere. We also complemented the solar data with the available stellar data in the literature, mainly of the G-type dwarfs with ages spanning from 50 Myr to 4.5 Gyr, and compared the solar trends with the stellar data. As a result, we found that the stellar data points are located on the extensions of the power-law relations derived from the solar data. This suggests that the atmospheric responses to the underlying magnetic flux are universal for the Sun and sun-like stars, regardless of age or 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](#)

N08a 小マゼラン雲の星団で探るレッドクランプ星の近赤外線の色指数の年齢・金属量依存性

小野里宏樹 (国立天文台), 板由房 (東北大学), 中田好一 (東京大学)

レッドクランプ (RC) 星は光度がほぼ一定であり、数が多いために広く標準光源として用いられている。RC 星の標準光源としての精度を上げるためには、絶対等級や色指数の年齢・金属量依存性 (種族効果) を知ることが重要である。種族効果について、理論からは恒星の進化モデルにより予想がされている一方、観測からは RC 星の年齢を知ることが難しいこともあり検証が追いついていない。この状況を打破するために、大マゼラン雲の星団を用いて RC 星の絶対等級や色指数の種族効果を調べ、若い RC 星について理論から予想される傾向を示すことを確認し、年齢・金属量に応じて絶対等級や色指数を補正する経験式を導出した (Onozato et al. 2019, MNRAS, 486, 5600, 2017 年秋季年会 N04a, 2018 年春季年会 N19a)。しかし、大マゼラン雲に存在する星団は 3 Gyr よりも若いものがほとんどであり、検証できるパラメーター範囲が限られていた。

そこで我々は、VMC survey DR5 で小マゼラン雲全域の近赤外線測光データが公開されたことに目をつけ、小マゼラン雲の星団を用いてより広いパラメーター範囲の RC 星について種族効果を調べることにした。小マゼラン雲には古い星団や低金属量の星団など天の川銀河や大マゼラン雲と異なる年齢・金属量を持つ星団が多数存在している。小マゼラン雲は奥行方向に広がっていて個々の星団までの距離が様々であるため、絶対等級の調査には適さないものの、距離に影響されない色指数の調査には用いることができる。その結果、サンプル数を約 3 倍まで増やしより広い範囲で RC 星の色指数の種族効果を検証することが可能となった。本講演では、VMC survey のデータから得られた結果、およびその結果と理論予想との比較について報告する。

[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](#)

N09a α Ori の低温彩層と低速風

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 α Ori の彩層は昔は最大温度 ($T_{\text{ch,max}}$) で 8000- 10000K 程の温暖な領域であると考えられていた (e.g., Hartmann and Avrett 1984)。しかし VLA 電波観測に基いて 2 星半径 (R_*) 付近で温度は $3450 \pm 850\text{K}$ に過ぎず外に向って減少することが示された (Lim et al. 1998)。その後 Harper et al. 2001 (Lobel and Dupree 2000) は主に電波での可視度 (近紫外、可視、近赤外スペクトル) に基く準経験モデルにて $T_{\text{ch,max}}=3811(5043-5444)\text{K}$ と見積もった。現在では同じ動径位置にて面積占有度が小さい温暖領域と物質量の多い低温領域が混在すると考えられている。近年 ALMA の観測から $1.3R_*$ 付近で 2760K まで低下することも判明した (O’Gorman et al. 2017)。

我々は 2019 年秋期年会で MHD 星風モデルを α Ori に適用したが、(ほぼ) 安定風が生成する場合、時間平均の動径分布にて上述の低温彩層構造は見られなかった。輻射冷却・加熱率を 1 桁下げた ($b=0.1$) テスト計算の中で 2 例のみ確認された。一方、前回の 2021 年秋期年会では M 型巨星 μ Gem の場合、輻射冷却・加熱率を変更せず ($b=1.0$)、乱流圧を考慮することで低温彩層構造が生成された。そこで今回は前回の MHD モデルを α Ori に適用し星風構造と低温彩層の再現性を検証する。計算の結果、質量放出率 \dot{M} の観測値 ($>1.3 \times 10^{-7} M_{\odot} \text{ yr}^{-1}$; Sanner 1976) を再現する上で (1) 磁束管の急激な拡張の抑止のための大きい圧力スケールハイト ($0.1R_*$ 程度) と (2) 管内の星表面での音速程度の大きい擾乱速度 δv が必要となった。質量が $10M_{\odot}$ で表面磁場を 2.5G 、星表面の特徴的巨視乱流速度 v_{turb} を 13km s^{-1} 、そして δv を 6km s^{-1} とした場合、星風は安定であり \dot{M} は $1.6 \times 10^{-6} M_{\odot} \text{ yr}^{-1}$ 、ガス速度は 17km s^{-1} となった。その場合、 $1.10R_*$ で 2800K の極小値をとり、 $1.42R_*$ にて $T_{\text{ch,max}}=3320\text{K}$ をもつ低温彩層構造が生成される。本講演では計算結果を示し、低温彩層の形成条件を議論する。

[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 LAMOST/すばる望遠鏡による金属欠乏星組成調査 III. α 元素と鉄族元素

青木和光 (国立天文台)、Li Haining (NAOC)、松野允郁 (グローニンゲン大学)、Xing Qianfan (NAOC)

初代星の質量と元素合成、銀河系ハローの形成過程と初期化学進化の解明を目的として、分光探査望遠鏡 LAMOST で検出された金属欠乏星候補をすばる望遠鏡高分散分光器 HDS で追跡観測し、 $[\text{Fe}/\text{H}] \lesssim -2$ で約 400 天体の組成を測定した。今回は α 元素と鉄族元素の組成について得られた以下の結果を報告し、化学進化モデルでどこまで説明できるか議論する。(1) α 元素 (Mg, Si, Ca, Ti) はいずれも鉄との組成比が太陽の値より高く ($[\alpha/\text{Fe}] > 0$)、よく知られているように化学進化初期では大質量星の重力崩壊型超新星の寄与が卓越していることを示している。ただし、 $[\text{Fe}/\text{H}] \sim -2$ においても金属量の増加とともに組成比が減少する傾向が見られ、進化のタイムスケールが相対的に長い矮小銀河規模のシステムが降着してきた影響が現れている可能性がある。(2) Ti および Sc も鉄との組成比が太陽値を上回っているが、現在の化学進化モデルはこれを再現できておらず、超新星におけるこれらの元素の合成過程が十分解明されていないと考えられる。(3) 鉄族元素の Cr については、低金属量の赤色巨星で低い組成比が得られているが、これは解析上の問題 (non-LTE 効果) と考えられ、実際には金属量によらず $[\text{Cr}/\text{Fe}] \sim 0$ であるとみられる。Cr と Ni の鉄との組成比がほぼ太陽値であるのに対し、Mn は多くの星で欠乏している。これらの結果は化学進化モデルでよく再現されている。これに対し、Co の組成比は太陽値よりやや高く、Zn は特に低金属で組成比が高いという結果が確認された。これは標準的な化学進化モデルでは十分説明されず、非球対称な爆発を起こす超新星の元素合成の影響などを考慮する必要がある。(4) α 元素の組成比の間には相関がみられ、軽い α 元素 (Mg と Si) どうし、あるいは重い α 元素 (Ca と Ti) どうしには特に強い相関がある。一方 α 元素のなかでは Ti の組成比のみが Zn の組成比との間に相関を示し、2 つの元素の起源の関連を示唆している。

[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](#)

N11b 太陽型の零歳主系列星における活動性と黒点による光度変化

山下 真依, 伊藤 洋一 (兵庫県立大学), 大朝 由美子 (埼玉大学)

前主系列星や零歳主系列星は強い磁場を持つことが知られている (Folsom et al. 2016). そして強い磁場により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. 零歳主系列星では, ロスビー数 N_R (=自転周期/対流の周期) が小さいほど明るい近赤外 Ca II 三重輝線 ($\lambda 8498, 8542, 8662 \text{ \AA}$) を示すが, $N_R < 10^{-0.8}$ では輝線強度は一定である (saturation; Marsden et al. 2009).

本研究では, 光度の変動から F, G, K 型の零歳主系列星 46 天体の黒点占有率と, 光度曲線の形状およびフレアとの関係を調査した. 散開星団 IC 2391(50 Myr) と IC 2602(30 Myr) の TESS データを解析した. TESS データは約 27 日間にわたり 30 分間隔でとらえることができ, 13 等で 0.1% 程度の測光精度を持つ. 零歳主系列星の黒点の面積は $\sim 10^{20} - 10^{22} \text{ cm}^2$ で, 大きめの黒点を持つスーパーフレア星 (Notsu et al. 2013) と同等程度であることが判明した. 単一の sin カーブが dominant な零歳主系列星 20 天体は, 黒点占有率の平均値が 4–8% で光度の振幅も大きく, Ca II 輝線は saturation を示しやすい. 不規則変光を示す零歳主系列星 5 天体は, 太陽並みの黒点占有率 ($\lesssim 1\%$) とロスビー数を持ち, 光度の振幅と Ca II 輝線の強度が小さく, 太陽の特徴と一致する. また一部の零歳主系列星ではフレアが発生した. フレアの温度を 10000 K と仮定すると, そのエネルギーは $\sim 10^{33} - 10^{35} \text{ erg}$ と算出され, スーパーフレア星と同等程度である. 講演ではフレアの発生頻度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](#)

N12b 食連星における質量移動と角運動量損失の連星パラメータへの依存性 (I) : W UMa 型連星 A タイプ

高妻 真次郎 (中京大学)

近接連星における質量移動や角運動量損失は, 成分星の質量や化学組成, 軌道半径などを変化させ, 連星の進化に大きな影響を与える. しかし, それらが連星系のどのようなパラメータに依存し, 系の進化とともにどう変化するかといったことは, 観測的には明らかにはなっていない.

本研究では, 質量移動や角運動量損失が, 系のどのような物理量に依存するかを調べた. 連星で定常的な質量移動や角運動量損失が起きていれば, 公転周期は一定の割合で変化する. 食連星は位相ごとの公転周期が容易に得られるため, 長期にわたる周期変動も調べられる. そこで, 食連星のうち, 公転周期が一定の割合で変化する W UMa 型 A タイプの連星を過去文献から収集した. それらの周期変動が, 両星間での質量移動, 質量損失, 角運動量損失のいずれかに起因すると仮定し, それぞれの移動率と損失率を求めた. 得られた移動率と損失率の連星パラメータに対する相関を調べたところ, 各率において複数のパラメータとの間に相関がみられた. しかし, W UMa 型は連星パラメータ間で強い相関をもつことがあり, 擬似相関の可能性も高い. そこで, 偏回帰プロットを用いた解析により, 得られた移動率や損失率がどのパラメータと本質的な相関をもつのかを調べた.

その結果, 質量移動が主星から伴星へと起きていた場合は移動率が主星の半径と負の相関をもち, 逆に伴星から主星への場合には光度比および質量比に対して正の相関を示した. また, 質量損失率は伴星の温度に対して負の相関, 角運動量損失率は充填率に正の相関をもつという関係が得られた. 講演では, 解析で利用した統計手法を紹介し, 得られた相関関係の物理的な解釈について議論する.

[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](#)

N13c Multiple giant eruptions and X-ray emission in the pre-SN LBV candidate SDSS1133

小久保充 (プリンストン大学)

We present a comprehensive analysis of 20 years worth of multi-color photometric light curves, multi-epoch optical spectra, and X-ray data of an off-nuclear variable object SDSS1133 in Mrk 177 at $z = 0.0079$. The UV-optical light curves reveal that SDSS1133 experienced three outbursts in 2001, 2014, and 2019. The persistent UV-optical luminosity in the non-outbursting state is $\sim 10^{41}$ erg/s with small-scale flux variations, and peak luminosities during the outbursts reach $\sim 10^{42}$ erg/s. The optical spectra exhibit enduring broad hydrogen Balmer P-Cygni profiles with the absorption minimum at $\sim -2,000$ km/s, indicating the presence of fast moving ejecta. *Chandra* detected weak X-ray emission at a 0.3 – 10 keV luminosity of $L_X = 4 \times 10^{38}$ erg/s after the 2019 outburst. These lines of evidence strongly suggests that SDSS1133 is an extremely luminous blue variable (LBV) star experiencing multiple giant eruptions with interactions of the ejected shell with different shells and/or circumstellar medium (CSM), and strongly disfavors the recoiling Active Galactic Nuclei (AGN) scenario suggested in the literature (e.g., Koss et al. 2014, MNRAS, 445, 515). We suggest that pulsational pair-instability may provide a viable explanation for the multiple energetic eruptions in SDSS1133. If the current activity of SDSS1133 is a precursor of a supernova explosion, we may be able to observe a few additional giant eruptions and then the terminal supernova explosion or collapse to a massive black hole in future 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](#)

N14c 多次元対流効果を取り入れた超新星爆発の1次元シミュレーションによる特性量の相関調査と観測へのフィードバック

佐々木俊輔

大質量星は進化の最終段階に、超新星爆発を引き起こす。その爆発のエネルギー源は自らの重力で爆縮し解放される莫大な重力エネルギーである。この10年で非常に研究が進んでいるが、これらの現象の機構はまだ完全に解明されていない。ニュートリノの輻射輸送や対流などの複雑な流体現象が爆発に本質的な役割を果たしていると考えられ、研究の技術的難易度が非常に高いことが理由である。標準的な重力崩壊型の超新星爆発はニュートリノ加熱により起こると考えられている。この機構の解明を目指して詳細なシミュレーションを行う時、ニュートリノと物質の相互作用を三次元の多くの計算グリッドで計算するため、計算コストは莫大なものとなる。最近の研究では1モデルあたりの計算資源を減らすため球対称近似を取り入れ、3次元的な対流の効果を取り入れた1次元シミュレーションが開発されている。本研究では、多次元対流効果を取り入れ計算コストを抑えた超新星爆発の1次元シミュレーションにおける超新星爆発の特性量(爆発エネルギーや中性子星の質量など)の相関関係や親星依存性について調査を行なった。その結果について紹介し、先行研究との比較、議論を行う。また、特性量の相関関係から、観測量と特性量の関係についても議論していく。

[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](#)

N15a 複数の近赤外高分散分光器を用いた M 型矮星の組成決定: 連星観測に基づく検証温度範囲の拡張

石川裕之 (ABC/国立天文台), 葛原昌幸 (ABC/国立天文台), 青木和光 (国立天文台/総研大), 小谷隆行 (ABC/国立天文台/総研大), 大宮正士 (ABC/国立天文台)

すばる望遠鏡の近赤外分光装置 IRD を用いた視線速度観測により、M 型矮星周りの惑星の発見や質量決定がなされてきている。こうした惑星の形成過程や内部組成を制約するためには主星の元素組成が必要であるが、M 型矮星は暗くスペクトルが複雑なために、元素組成の理解が不十分である。この状況を打破するべく我々は、IRD 等の高分散分光器で得られた近赤外スペクトルから Na, Mg, K, Ca, Ti, Cr, Mn, Fe, Sr といった元素組成比を測定してきた (Ishikawa et al. 2021)。ただしその手法の妥当性については、太陽型星と連星をなす M 型矮星 5 天体 (約 3700 K の 2 天体と約 3200 K の 3 天体) に対してこの手法を適用し、主星の組成との整合性を確認したこと (Ishikawa et al. 2020) にとどまっておき、より多くのターゲットを用いた検証が必要であった。

我々はすばる望遠鏡/IRD と Calar Alto 天文台の分光装置 CARMENES を用いて、太陽型星と連星をなす M 型矮星を新しく 9 天体 (約 3200–3800 K) 観測し、組成解析を行い、おおよそ主星と整合的な組成を得た。ただし、M 型矮星の有効温度によって使用する吸収線を取捨選択した方がいいことがはっきりしてきた。温度によって組成解析に適切な強度の吸収線が異なることによる自然な結果である。また、ターゲットの内 2 天体は G 型星を含む三重連星に含まれる 2 つの M 型矮星であり、この M 型矮星同士の組成解析結果もエラーの範囲内で合致することを示した。今後この手法を、IRD-SSP 等の近赤外高分散分光を用いた惑星探索のターゲット星に適用することで、多くの M 型矮星の元素組成について理解が見込める。

[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](#)

N16a 赤色超巨星の分光モニタリング — I. サーベイ計画と試験観測結果

谷口大輔 (東京大学), 谷口康一 (谷口天文台)

大質量星の進化末期の姿である赤色超巨星は、超新星爆発の親星の一種としても知られる。赤色超巨星段階での脈動や質量放出は、大質量星の進化経路、赤色超巨星の初期質量や半径の制限、超新星爆発の光度曲線、といった様々な研究と関連する (Moriya ら 2018, Joyce ら 2020, Beasor ら 2021 等)。このため、赤色超巨星大気の時間変動を詳細に理解することが大質量星進化の理解のために重要である。しかし、可視光等級以外の時間変動の様子が詳細に観測されている赤色超巨星は、いまだベテルギウスなどの一部の天体のみである (谷口ら 2021 年秋季年会 N26a 等)。

そこで我々は、私設天文台の豊富な観測時間を活かした赤色超巨星の可視光低分散分光モニタリングを計画している。LLP 京都虹光房によって製作された分光器「光藝」($R > 1,000$, 460–840 nm) を谷口天文台のカセグレレン式反射望遠鏡 (口径 30 cm) に搭載し、数個の赤色超巨星を週 1 回程度の頻度で 3 年以上にわたり分光観測する。この分光データセットのモデルスペクトルとの比較によって、赤色超巨星の主要な大気パラメーター (有効温度・半径・星周減光など) の時間変動を測定し、脈動と質量放出の描像を統計的に得ることが本計画の目的である。試験観測の結果、代表的な赤色超巨星であるベテルギウスのフラックス較正済観測スペクトルを得ることができた。また、その観測スペクトルは先行研究と同様なモデルスペクトルで再現できることが分かった。本講演ではこれらのモニタリング計画と試験観測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](#)

N17a Seimei KOOLS-IFU Mapping of the Gas and Dust distributions in the PN IC2165

大塚雅昭 (京大岡山天文台)

I investigated physical and chemical properties of the gas and dust components in the C-rich planetary nebula (PN) IC2165 using the superior resolution 2-D emission-line maps. The extinction map is generated in a self-consistent and assumption-free manner. The circumstellar gas-to-dust mass ratio (GDR) map ranges radially from 1210 in the central nebula filled with hot gas plasma to 120 near the ionisation front. The obtained GDR is comparable to ~ 400 , which is commonly assumed for C-rich AGB stars, and ~ 100 for ISM. Except for the inner regions, GDR in IC2165 is almost the same as that in such AGB stars, indicating that most of the dust grains endure under the harsh radiation field without being destroyed. The gas and dust mass distributions concentrated in the equatorial plane could relate the non-isotropic mass-loss during the AGB phase and subsequent elliptical nebula formation. I investigated the spatial-distributions of electron densities/temperatures and ionic/elemental abundances. I determined 13 elemental abundances by using PSF-matched spatially-integrated multiwavelength spectra extracted from the same aperture. Their values are consistent with the predicted values by the theoretical model for stars of initially $1.75 M_{\odot}$ and $Z = 0.003$. Finally, I constructed the photoionisation model using my distance measurement to ensure that it corresponded to all of the derived quantities and the post-AGB evolution. The model perfectly reproduced the observed/derived quantities, including the GDR and gas/dust masses. Through the present work, I demonstrated the capability of KOOLS-IFU and how IFU observations can shed light on the spatial variation of the gas and dust components in PNe.

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

N18a 金属欠乏星における i-process 中性子捕獲の特性

山田志真子 (北海道大学), 須田拓馬 (東京工科大学), 藤本正行 (北海道大学)

銀河系ハローにおける炭素過剰超金属欠乏星は中性子捕獲元素の組成に大きな変動を示す。特に、CEMP-r/s 星からは、Eu と Ba の組成比について r-process と s-process の中間の値を持つものが観測され、それらの生成に対応するものとして、r- と s-process の中間の中性子密度をもつ i-process が提唱されている。しかしながら、中性子捕獲過程は、Burbidge et al. (1957) が示したように s-process と r-process に分類され、その中間は存在しない。ただし、中性子捕獲元素には複数の安定な同重核を持つ場合があり、そのうち、中性子の多いものは、生成された親核の不安定同重核からの β 崩壊の流れを遮断する shielding isotopes として区別される。Burbidge et al. は、shielding isotopes を r-process で形成されとしたが、超金属欠乏星では、これらの中性子過多の元素を生成できる高い中性子密度が可能であることが示されている。中性子密度の高い i-process を調べることによって、shielding isotopes の存在がもたらす元素合成過程の特性を明らかにすることは、重要である。

前回の報告では、CEMP-r/s 星を特徴づける Eu/Ba の組成比に注目して、観測される 1.5 dex にわたる変動のメカニズムを解明し、その中性子密度依存性を明らかにした。その結果は、中性子捕獲元素合成過程への影響として、1) 中性子密度による合成経路の移動に伴う同重核に限った場合の中性子捕獲断面積の変動に加えて、shielding isotope の遮断効果による最終生成元素の変動、2) 特に、偶数核の元素の場合は、複数の質量数の親核を持つので、親核の中性子捕獲断面積の変動は、ベータ崩壊後の生成元素の量の変動に加えて、生成の時間的なずれをもたらすことを示唆している。本報告では、これに基づき、中性子密度による親核の中性子捕獲断面積の変動を考慮し、i-process の全体的な特性、shielding isotopes の振舞いを含めた、s-process との違いについて議論する。

[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](#)

N19a Luminous red novae の光度曲線について

松本達矢, コロンビア大学

Luminous red novae(LRN) とは近年発見され始めた新しいタイプの突発天体である。観測的特徴として、典型的な光度 $\sim 10^{40} \text{ erg s}^{-1}$ とタイムスケール $\sim 30 - 100 \text{ day}$ を持ち、これまでにおよそ 10 天体ほどが系内や近傍銀河で発見されている。一部の RLN について、発生前に行われた観測から連星が合体している可能性が指摘されており、連星の合体過程や共通外層状態 (common envelope) と関連して注目が集まっている。しかし、連星の合体に際してどのように LRN 自体が駆動されるのかよくわかっていない。LRN で放出される物質の質量やエネルギーなどを見積もる手段として、IIP 型 超新星の解析に用いられる Popov の手法がよく用いられている。これは IIP 型 超新星と RLN の観測的特徴の類似性 (長いタイムスケールにわたって光度が時間変化しない、低音で赤い) に着目して、LRN でも熱い物質が放出された後に放射を行いながら水素の再結合まで冷えていくという状況が実現されていると期待されるからである。我々は Popov の手法が LRN での文脈では必ずしも適用できないことを指摘し、より現実的な光度曲線モデルの構築を行うことを目指す。講演では Popov の手法が使えない理由について説明し、我々の光度曲線モデルの概要と、そこから期待される LRN の描像について解説する。

[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](#)

N20a 突発的質量放出天体 WISE J180956.27–330500.2 のダストシェル構造

山村 一誠 (JAXA 宇宙科学研究所), 小笹 隆司 (北海道大学), Poshak Gandhi (サウサンプトン大学), 植田稔也 (デンバー大学), 泉浦秀行 (国立天文台), 瀧田 怜 (東京大学)

WISE J180956.27–330500.2 (以後 WISE J1810) は、2012 年にわれわれのグループが「発見」した天体である。WISE, AKARI, 2MASS の赤外線測光データが示す特異な SED (Spectral Energy Distribution) と、IRAS で未検出であったということから、われわれはこの天体が、1990 年代後半に突発的に質量放出を行い、急速に膨張・冷却したダストシェルを持つ天体であるとした (Gandhi et al. 2012, ApJ 751, L1)。発見以来、われわれは Herschel, SIRIUS/IRTS, すばる, ALMA 等によるフォローアップ観測を行ってきた。それらのデータから、この天体のダストシェルは、酸素過多の状態であること、等方的であること、SED が黒体放射的であること、などが分かってきている (天文学会講演 2012 年秋 N19a, 2013 年春 N20a, 2014 年春 N04a, 2015 年春 N14a)。

この天体の素性を明らかにするためには、この SED からダストシェルの構造を推定し、質量放出量や大きさなどを定量化することが必要である。この天体のダストシェルは極めて光学的に厚いと考えられ、SED を再現するモデルの構築は容易ではなかったが、試行錯誤の結果、ようやく最近になって、観測をよく再現するシェル構造の候補を見つけることが出来た。それによれば、この天体は比較的密度の低い外側のシェルと、非常に高い内側のシェルの 2 重構造からなるが、これは ALMA による CO 輝線の観測結果とも整合している。

講演では、WISE J1810 のダストシェルの構造と質量放出の履歴、またそれから推測されるこの星の素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](#)

N21a マグネター 1E2259+586 観測時に NuSTAR 衛星で観測された X 線突発天体

袴田知宏, 松本浩典, 野田博文, 常深博, 岡崎貴樹, 朝倉一統, 澤上拳明, 峯田大靖, 善本真梨那, 大出優一, 鴨川航, 佐藤淳矢 (大阪大学)

2013 年 4 月 25 日の NuSTAR 衛星によるマグネター 1E2259+586 観測時、視野内 (RA, Dec) = (23:00:59.7, +58:57:28.5) の位置に ~ 100 s の時間で増光した X 線突発天体が観測された。本天体については 2016 年秋季年会 (W210a) でも言及されており、3.0–80.0 keV の範囲で吸収のかかった power-law と輝線モデルによるフィッティングが行われ、 $N_{\text{H}} = 15_{-10}^{+13} \times 10^{22} \text{ cm}^{-2}$, $\Gamma = 2.5_{-0.6}^{+0.7}$, 輝線中心エネルギー $6.75_{-0.19}^{+0.53} \text{ keV}$ という結果が得られている。この時得られたフラックスはピーク時で $7.6_{-1.1}^{+1.1} \times 10^{-11} \text{ erg cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ であった。また、XMM-Newton 衛星で合計 282.1 ks 観測された 2XMM J230059.9+585730 と突発天体の位置が一致していることも報告された。

本研究では、これが恒星のフレアを捉えた可能性があると考えた。Swift 衛星によって同日に観測された X 線データを解析したところ、この天体が 3.0–10.0 keV で ~ 800 s のタイムスケールで、フルエンスが $2.7 \times 10^{-9} \text{ erg cm}^{-2}$ 程度増光したことを確認した。さらに NuSTAR 衛星による 2013 年 5 月 17 日の 3–79 keV の観測によって、フルエンスが $2.4 \times 10^{-9} \text{ erg cm}^{-2}$ 程度の、小規模だが同じ天体と思われる別の増光を新たに発見した。2000 年 1 月 12 日及び 2006 年 5 月 9 日の Chandra 衛星による 0.2–10.0 keV の観測では同位置に ~ 1 keV でピークを持つスペクトルの天体を確認した。また、突発天体のソースについての情報を得るため、X 線以外の波長観測のデータも解析した。その結果、波長 354–913 nm の可視光 (SDSS) と波長 3.4–12 μm の赤外線 (WISE 衛星) の観測により、突発天体と同位置に ~ 3000 K の黒体放射を持つ天体を確認した。これはフレアを起こした恒星と考えて矛盾はない。本講演では、突発天体位置の X 線観測を中心に、多波長観測も踏まえたデータの解析結果を報告する。

[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](#)

N22a 大質量星の大規模質量放出現象の輻射流体シミュレーション：親星外層へのエネルギー注入の依存性

黄 天銳 (東京大学), 津名 大地 (東京大学), 武井 勇樹 (東京大学, 理化学研究所), 茂山 俊和 (東京大学)

大質量星の中には進化の晩期の超新星爆発を引き起こす前に大規模な質量放出を起こし、周囲に高密度な星周物質を形成するものが存在する。そのような高密度な星周物質に囲まれている中で超新星爆発が生じると、超新星によって飛ばされた物質と高密度の星周物質が衝突し、一般的な超新星に比べて非常に明るく光ることが観測的に知られている (II_n 型超新星)。

このような大規模な質量放出を引き起こすシナリオについては様々なものが提案されており、今現在も議論が続けられているが、星の外層の底にエネルギーが注入されることによる質量放出が有力な可能性として考えられている。しかしこれまでの研究 (e.g. Kuriyama & Shigeyama 2020, Linial et.al. 2021) では、エネルギーがほぼ瞬間的に注入されるという理想的な条件で議論されてきた。実際のところ外層の底へのエネルギー注入が瞬間的である保証はないため、本研究では外層の底へのエネルギー注入のタイムスケールと質量放出の様子の関係性を調べた。本講演ではその計算結果を示し、II_n 型超新星を引き起こすために必要な注入エネルギー及び注入のタイムスケールへの制限について説明をする。加えて、これらの関係から、大規模な質量放出を引き起こす様々なシナリオにおいて実際に質量放出し得るかの評価を行い、その結果も説明する。

[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](#)

N23a 超新星直後の中性子星と伴星との衝突現象

平井遼介 (モナッシュ大), Philipp Podsiadlowski (オックスフォード大)

重力崩壊型超新星を起こすような大質量星の大半は連星系を組んでいる。超新星直後の連星の状態は大きく、連星が解体する場合、連星として生き残る場合、そして中性子星が伴星に突っ込んで合体してしまう場合の3つに分類することができる。どの状態に遷移するかは爆発直前の連星系パラメータと超新星の際の質量損失及び中性子星キックの強さと方向さえわかれば二体問題を解くことで簡単に見積もることができる。しかし星同士の相対速度によっては中性子星が外層を通過する場合も考えられ、その際にはガスと中性子星との摩擦等によって軌道が変えられる可能性がある。一度通過できても束縛軌道に乗っていれば何度も外層と相互作用し、長い時間をかけて合体するケースも考えられる。この場合には中性子星への降着等により特異な活動を観測できる可能性もある。本研究では、連星系内の超新星直後にできた中性子星が伴星と直接相互作用する軌道に乗った場合に起こり得る様々な現象を3次元流体シミュレーションを用いて探った。

シミュレーションの結果、主に以下の成果が得られた。まず、中性子星が伴星の外層をそのまま通過する場合、中性子星の運動量の一部が伴星に渡され従来の上限を超える非常に高速な逃亡星ができることがわかった。二点目は周パルサー惑星形成の可能性を示したことである。中性子星が伴星の外層や周辺を通過してから連星が解体する場合、伴星ガスの一部が角運動量を持って持ち去られ周パルサー円盤を作るかもしれない。三点目は Thorne-Zytkow object (TZO) の形成条件を示したことである。TZO とは中性子星をコアとして持つ赤色超巨星のような仮想の天体であるが、具体的にどのような速度や角度で中性子星がキックを受ければ形成しうるか、そしてどの程度の数存在するかをシミュレーションと準解析的なモデルから見積もった。

[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](#)

N24a HSC transients survey における機械学習を用いた特異天体探査

敏蔭星治, 田中雅臣, 高橋一郎 (東北大学), 安田直樹, 鈴木尚孝 (東京大学), 富永望, 守屋堯 (国立天文台), 他 HSC Transient WG

近年、観測技術の進歩に伴い超新星などの突発天体発見数は急速に増加している。将来的にも、Rubin Observatory/LSST (Legacy Survey of Space and Time) によって1年あたり数十万天体以上の超新星発見が見込まれるなど、次世代の大型望遠鏡によってさらなる発見数の増加が予測される。これらの中から分光追観測や詳細な解析の対象となる突発天体を測光データをもとに分類することは重要な課題の一つとなっている。

そこで本研究では、観測により得られた光度曲線から導き出した特徴量をもとに特異な天体を選び出す2種の機械学習モデルを開発した。一つ目は、特徴量をもとにアノマリーや特異な光度曲線を持つ天体の選別を行う教師なし学習モデルである。このモデルを用いて、すばる望遠鏡/Hyper Suprime-Cam (HSC) による COSMOS 領域での超新星サーベイで得られた測光データを解析し、既知の特異天体と照合することで性能を評価した。

二つ目は、シミュレーションで得られた Ia 型, Ibc 型, II 型超新星の光度曲線、そして特異天体として rapid transients の光度曲線をもとに学習し、観測で得られた超新星を4つのクラスに分類する教師あり学習モデルである。このモデルを用いて、シミュレーションデータにおいて分類精度を確かめた後、上述の測光データをもとに実際の超新星を分類した。その結果、過去に特定された rapid transients (Tampo et al. 2020) とともに、新たな rapid transients 候補を選び出すことができた。

本講演では、解析に用いた機械学習手法と分類結果について紹介するとともに、今回新たに rapid transients 候補として分類された天体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](#)

N25a Ia-CSM 型超新星 2020uem の光度曲線から見積もる星周物質質量とその影響

宇野 孔起, 前田 啓一, 川端 美穂, 山中 雅之, 磯貝 桂介, 田口 健太 (京都大学), 中岡 竜也, 川端 弘治 (広島大学), 長尾 崇史 (University of Turku), 田中 雅臣 (東北大学)

近年、Ia 型超新星 (以下、Ia) と大量の星周物質 (以下、CSM) の相互作用により輝く Ia-CSM 型超新星 (以下、Ia-CSM) が報告されている。Ia へ至る経路としては、白色矮星 (以下、WD) 同士の合体による Double Degenerate scenario と、非縮退の伴星から WD への質量降着による Single Degenerate scenario の二つが主に議論されてきた。しかし、これらの爆発シナリオでは大量の CSM の存在を説明できず、Ia-CSM の親星は未解明である。

我々は 2020 年 9 月 22.6 日 (UT) に ATLAS サーベイにより発見された Ia-CSM 型超新星 2020uem について、京都大学せいめい望遠鏡・広島大学かなた望遠鏡・国立天文台すばる望遠鏡を用いた 1 年以上にわたる継続的な追観測を行った。我々の行った 2020uem の光度曲線のモデル計算から、質量放出率 $\dot{M} = 0.01 M_{\odot}/\text{yr}$ 、開き角 $\theta = 60^{\circ}$ の円盤状の CSM 形成が爆発前数百年の間に起きていたと推察される。想定される CSM の全質量は $1 - 4M_{\odot}$ である。また、この数 M_{\odot} の CSM の存在はスペクトルからも示唆される。Ia-CSM の $4500 - 4800 \text{ \AA}$ と $5700 - 6100 \text{ \AA}$ のフィーチャーは典型的な Ia に比べ弱い。前者は Fe や Mg、後者は Co や Na の輝線に対応する。我々は上述した数 M_{\odot} の CSM による reverse shock により、これらの輝線が Ia に比べ抑制された可能性を検討している。

以上より、Ia-CSM の親星としては、水素外層を持たない WD 同士の Double Degenerate scenario は棄却され、Single Degenerate scenario のような水素外層を持つ星と WD の連星系である必要がある。さらには、従来 Ia の親星としてあまり検討されていなかった、WD と AGB 星のような数 M_{\odot} の水素外層を持つ星の合体 (Core Degenerate scenario) の可能性も示唆される。

[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](#)

N26a 磁場を考慮した 3 次元超新星モデルの初期流体進化

中村 航 (福岡大学), 滝脇 知也 (国立天文台), 固武 慶 (福岡大学)

重力崩壊型超新星の数値モデルを用いた系統的な研究として、磁場なし空間 2 次元の約 400 モデルを網羅する計算を実行し (Nakamura et al. 2015)、得られた数値データをもとに超新星マルチメッセンジャー天文学 (Nakamura et al. 2016) や元素合成 (Eichler et al. 2018)、超新星背景ニュートリノ (Horiuchi et al. 2018)、超新星残骸中の特定の元素と中性子星キックの関係 (Katsuda et al. 2018) といった多様な研究に応用して来た。

しかし、軸対称を仮定した空間 2 次元のモデルでは停滞衝撃波不安定性の特定のモードが発展しやすく、爆発のしやすさを過大評価する傾向にあるという問題があった。そこで今回、空間 3 次元の数値シミュレーションを 9-20 太陽質量の 10 通りの親星に対して実行し、さらに磁場の効果を考慮した。同じ親星モデルを使用し、磁場を考慮していない他グループの計算 (Burrows et al. 2020) ではいくつかのモデルが衝撃波の復活に失敗したのに対し、我々の計算では全てのモデルがバウンス後 200 ミリ秒前後で爆発に転じた。初期の流体運動の時間発展に注目し、磁場の効果を考察する。

[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](#)

N27a 無回転大質量星コアの3次元重力崩壊シミュレーションにおける磁場強度依存性

松本仁 (慶應義塾大学), 滝脇知也 (国立天文台), 固武慶 (福岡大学), 朝比奈雄太 (筑波大学), 高橋博之 (駒澤大学)

大質量星は進化の最終段階で重力崩壊を起こし、その重力エネルギーを解放し爆発する。この重力崩壊型超新星における有力な爆発メカニズムはニュートリノ加熱だと考えられているが、完全解明には至っていない。古くから超新星爆発における磁場の効果を調べる研究が行われているが (e.g., Bisnovatyi-Kogan 1970; LeBlanc & Wilson 1970)、極超新星や超高輝度超新星といった特異な天体の発見により、その巨大な爆発エネルギーや明るさといった特殊性の起源として磁場への注目が高まって来ている (e.g., Wheeler, Meier & Wilson 2002; Chen, Woosley & Sukhbold 2016)。

我々の研究グループでは、磁場が超新星の爆発メカニズムにおいてどのような役割を担うかをニュートリノ輻射輸送込みの電磁流体シミュレーションを用いて調べている。本研究では、無回転の 20 および 27 太陽質量の親星コアが重力崩壊する際の初期磁場強度依存性 (初期に大局的なポロイダル磁場のみ) を 3 次元シミュレーションを用いて調べた。その結果、弱磁場モデル ($B_{\text{ini}} = 10^{10}\text{G}$) および強磁場モデル ($B_{\text{ini}} = 10^{12}\text{G}$) のいずれの場合においてもニュートリノ加熱駆動による爆発が生じたが、強磁場モデルの方がわずかに爆発をサポートすることがわかった。本講演では、この爆発に対する初期磁場強度依存性の物理メカニズムの詳細を報告するとともに、大質量星コア中心部に形成される原始中性子星の磁場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](#)

N28a 爆発初期スペクトルの系統的な調査でせまる Ia 型超新星の親星と爆発機構

小川真央, 前田啓一, 川端美穂 (京都大学)

Ia 型超新星は、近接連星系をなす白色矮星 (WD) の熱核暴走反応による爆発であると考えられているが、その爆発メカニズムは分かっていない。代表的な爆発モデルとして、チャンドラセカール限界質量 (以下 M_{ch}) に達した WD が熱核反応を起こし、その燃焼波が亜音速の deflagration 波から超音速の detonation 波に遷移する “delayed detonation model” や、 M_{ch} に達していなくとも WD 表面の He envelope で detonation が起き、それが引き金となって WD 中心の炭素コアで detonation が起きる “double detonation model” などがある。

近年のサーバイ観測技術の発展により、爆発初期の超新星が多く発見され、follow up 分光観測も行われている。爆発初期のスペクトルから最外層の構造が分かるが、爆発モデルの違いによってこの最外層の密度や組成が異なるのではないかと考えられている。

本研究では、爆発後推定 1 週間以内の超新星 14 天体について、1 次元 Monte Carlo 輻射輸送計算コード “Tardis” を用いてスペクトルのモデル計算を行い、超新星の最外層の密度と元素組成を調べた。その結果、密度分布や化学組成の異なる二系列のグループに分かれることが分かった。このような系列はこれまで行われてきた最大光度時 (爆発後 20 日程度) のスペクトルでは区別できていなかった特徴であり、(通常の) Ia 型超新星に複数の異なる種族が混在する可能性を示唆する。本講演では、スペクトルのモデル計算の結果および様々な爆発モデルとの比較について議論する。

[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](#)

N29a 超新星爆発に対するアクシオン加熱の影響

森寛治 (福岡大学), 滝脇知也 (国立天文台), 固武慶 (福岡大学), 堀内俊作 (バージニア工科大学)

重力崩壊型超新星爆発は大質量星が一生の最後に起こす大爆発であるが、その爆発メカニズムはいまだ研究途上にある。特に、超新星爆発の1次元モデルでは、星内部で発生した衝撃波が失速し、爆発が失敗してしまうことが広く知られている。一方、アクシオンは量子色力学の強い CP 問題と呼ばれる問題を解決するために導入された未発見の素粒子である。近年では弦理論など他の理論からも似た性質をもつ粒子が提唱されているため、それらを総称してアクシオン様粒子 (axion-like particle) と呼ぶ。もしアクシオン様粒子が実在し、原始中性子星内部で生成されれば、衝撃波を加熱し超新星爆発を成功させる可能性がある。ところが、先行研究ではアクシオン様粒子と超新星モデルを切り離して扱っていたため、アクシオン加熱の効果を詳細に議論することができなかった。そこで本研究では、アクシオン様粒子と光子の相互作用を組み込んだ超新星爆発モデルを開発し、爆発可能性に対するアクシオン加熱の影響を調査した。その結果、アクシオンの質量が 100 MeV 前後の場合、生成されたアクシオンが衝撃波を効率的に加熱し、爆発を成功させうることを明らかにした。本講演では、超新星内部で起こりうるアクシオン生成・崩壊の過程を紹介し、アクシオンのパラメータの違いによる爆発ダイナミクスの変化を議論する。

[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](#)

N30a Ia 型超新星の二重爆轟波モデルにおけるヘリウム表層の着火過程の球対称 1 次元シミュレーション

岩田和也, 前田啓一 (京都大学)

Ia 型超新星爆発を引き起こす親星は、連星系をなす白色矮星が質量降着を通してチャンドラセカール限界質量に達し爆発に至るという描像で一様に記述されるとされてきた。しかし伴星の存在が検出されないなど観測的証拠が少なく、従来のモデルに代わり、チャンドラセカール限界質量以下での爆発で説明するモデルが研究されるようになった。このモデルでは、白色矮星表面のヘリウム表層で着火する超音速の爆轟波によってコアの爆轟波が誘起されるという、二重爆轟波 (double-detonation) によって爆発が引き起こされる。特に二重白色矮星系の合体過程において二重爆轟波が生じるというモデルが近年注目されており、このモデルでは伴星の非検出を説明できるだけでなく、ヘリウム爆轟生成物が観測結果に与えてしまう影響を、少ない表層質量で回避可能である。

先行研究では、ヘリウム表層に高温点を置き人工的に爆轟波を開始させるシミュレーションが大半を占め、爆轟波がそもそも低い表層質量において着火するかどうかについての議論が不足していた。そのためヘリウム表層の着火条件 (主星質量、ヘリウム表層質量、質量降着率など) について理解が不足しているのが現状である。

そこで本研究では、その着火条件をパラメトリックに調べるため、球対称 1 次元モデルに簡略化したシミュレーションを行い、特に着火可能なヘリウム表層質量の下限に着目しその着火過程を調べた。その結果、純粋なヘリウム表層の場合では爆轟波としての着火は難しく、むしろ亜音速の爆燃波としての着火がロバストである一方、表層の組成をコア物質との混合を想定して修正した場合には爆轟波が開始しやすくなることが確かめられた。

本講演では上記の結果について詳しく議論し、今後のより詳しいモデルを用いた研究の展望についても概説する。

[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](#)

N31a 元素合成計算における核物理の不定性の影響：s プロセス

西村 信哉 (理研), G. Cescutti (INAF, OATs), R. Hirschi (Keele U.), T. Rauscher (U. of Basel), A. St. J. Murphy (Edinburgh U.)

鉄よりも重元素の起源の一つとして、星の進化の過程で起こる s プロセス元素合成がある。s プロセスは、低質量から大質量の星の進化の途中で、軽い原子核でのいくつかの核反応を中性子源 (主にヘリウムが燃える時の (α, n) 反応) として、ベータ崩壊よりも長い (遅い) タイムスケールで中性子捕獲していく過程である。できた元素は、星の進化の最終段階において恒星風や超新星爆発により宇宙空間に放出され、次世代の星の組成に影響を与える。また、s プロセスの元素合成計算は、他の重元素合成過程、r プロセスや p プロセスよりも高い精度でなされており、鉄よりも重い元素の合成プロセスを定量的に分類する上で鍵となる。隕石やプレソーラーグレインなどを対象とした太陽系近辺の元素の同位体比の議論の中核を担う。

これまで我々は、核物理に起因する核反応・崩壊率の不定性を考慮して元素合成計算を行う枠組みを構築してきた (Nishimura et al., 2017, MNRAS 463 など)。これにより、元素合成の理論計算で得られる結果の不定性を定量化でき、それらがどの反応率に起因するかを特定できる。本研究では、s プロセスを対象に原子核の不定性の影響を調べる。対象は、低質量星での main s プロセスから大質量星の weak s プロセス、さらに、低金属星の特別な星の環境で起こる特異な s プロセスである。中性子源や中性子毒に関係する応率の影響とともに、s プロセス経路上の中性子捕獲や弱反応の不定性の影響を評価する。さらに、元素組成の観測量との比較により、今後より詳細に調べるべき反応率 (中性子捕獲とベータ崩壊) の選別を行う。また、本研究の結果に基づいて、CERN n_TOF など既存の原子核実験で測定可能な中性子捕獲断面積測定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](#)

N32a Discovering Supernovae at Epoch of Reionization with Nancy Grace Roman Space Telescope

守屋 亮 (国立天文台), Robert Quimby (サンディエゴ州立大学), Brant Robertson (カリフォルニア大学サンタクルス校)

Some massive stars explode as superluminous supernovae (SLSNe) or pair-instability supernovae (PISNe) that are luminous enough to observe even at $z > 6$ and allow for the direct characterization of massive star properties at the reionization epoch. In addition, theorized long-sought-after PISNe are expected to be present preferentially at high redshifts, and their discovery will have a tremendous impact on our understanding of massive star evolution and the formation of stellar mass black holes. The near-infrared Wide Field Instrument on Nancy Grace Roman Space Telescope will excel at discovering such rare high-redshift supernovae. In this work, we investigate the best survey strategy to discover and identify SLSNe and PISNe at $z > 6$ with Roman. We show that the combination of the F158 and F213 filters can clearly separate both SLSNe and PISNe at $z > 6$ from nearby supernovae through their colors and magnitudes. The limiting magnitudes are required to be at least 27.0 mag and 26.5 mag in the F158 and F213 filters, respectively, to identify supernovae at $z > 6$. If we conduct a 10 deg² transient survey with these limiting magnitudes for 5 years with a cadence of one year, we expect to discover around 20 PISNe and around 3 SLSNe at $z > 6$, depending on the cosmic star-formation history. Such a supernova survey requires the total observational time of approximately 525 hours in 5 years.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

N33a フォールバック降着による低エジェクタ質量トランジェントの光度曲線

澤田 涼 (東京大学)

全天サーベイと即時観測の発達により、従来の超新星と比べて急激な増光や減光を示し、数日程度で暗くなる Rapid Transient が複数観測されてきた。従来の超新星は ^{56}Ni の崩壊熱により半年程度輝くのに対し、Rapid Transient では中心へ強い fallback が起こり、 ^{56}Ni を放出せず急速に減光する天体と考えられている。ただし、この描像は、今のところまだ観測からの示唆にすぎない。さらにこれらの観測例には、エジェクタ質量エジェクタ質量が $\sim 0.1M_{\odot}$ 程度と非常に小さい特異な超新星が含まれていることが分かってきた (e.g., iPTF14gqr; De et al. 2018)。こういった超低質量エジェクタの超新星は Ultra-Stripped Supernovae (USSNe) と呼ばれている (Tauris et al. 2013)。

Sawada, Kashiyama & Suwa (2021) は、標準的な fallback 降着量を仮定してもエジェクタ質量が少ない USSNe では光度曲線へ強い影響を与えることが示された。そこで本研究ではより一般に、fallback 降着量を幅広いパラメータとして扱うことで、エジェクタ質量が少ない天体の光度曲線にどのように応答するかを調べた。具体的には、 ^{56}Ni 量、fallback 降着量と爆発エネルギーをパラメータに、解析解を用いて光度曲線モデルを構築する。本講演では、この結果をもとに、Rapid Transient 全般を対象として、その光度曲線の特徴から残された中心天体の情報を得る方法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](#)

N34a VLA で探る超高光度超新星からの後期電波放射および母銀河の星形成活動

廿日出文洋 (東京大学), 富永望, 松田有一 (国立天文台), 諸隈智貴, 諸隈佳菜 (東京大学), 田村陽一 (名古屋大), 新沼浩太郎, 元木業人 (山口大)

近年、超新星の大規模探査が行われるようになり、通常の超新星と比較して 10–100 倍もの明るさの超新星が発見された。このような超新星は「超高輝度超新星 (Superluminous Supernova; SLSN)」と呼ばれ、これまで知られていなかった新たな種族として注目されている。その発生メカニズムやエネルギー源、起源天体についてはよくわかっておらず、多くのモデルが提唱されている状況である。超新星 ejecta/jet と星周物質との相互作用によってシンクロトロン放射が生じる場合、電波観測からモデルやパラメータに制限を加えることが可能である。また、電波放射はダスト減光の影響を受けない星形成の指標となるため、母銀河における星形成の理解にもつながる。

我々は VLA 電波干渉計を用い、23 の SLSN (15 Type I & Type II SLSNe at $z < 0.3$) およびその母銀河の 3 GHz 帯観測を行った (SLSN 発生から 5–21 年後)。これは、SLSN の後期電波放射観測として最大のサンプル数となる。観測の結果、電波放射は PTF10hgi および 5 つの母銀河から検出され ($>5\sigma$)、PTF10hgi を除いて年スケールでの有意な時間変動は観測されなかった。電波強度から求めた星形成率と UV–NIR SED 解析から求めた星形成率との比較では、4 つの母銀河で電波星形成率の超過が見られ、ダストに隠された星形成活動を示唆している一方、大部分の母銀河では隠された星形成は確認されなかった。SLSN の理論モデルとの比較では、off-axis jet と星周物質との相互作用で生じる残光モデルのうち、高エネルギー ($E_{\text{iso}} \gtrsim \text{several} \times 10^{53} \text{ erg}$) および高密度 ($n \gtrsim 0.01 \text{ cm}^{-3}$) のパラメータ範囲が棄却できることが分かった。さらに、マグネターに起因するパルサー星雲からの電波放射モデルに対しては、5 つの SLSN に対するモデルが棄却できることも分かった。

[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](#)

N35a Early Report on the OISTER Follow-Up Observations of a Super-Chandrasekhar Supernova Candidate SN 2021zny

M. Yamanaka, K. Maeda, M. Kawabata, K. Taguchi, K. Uno (Kyoto U.), T. Nakaoka, K. Kawabata, A. Singh, A. Gangopadhyay, T. Hamada (Hiroshima U.), T. Horiuchi, H. Maehara (NAOJ), J. Takahashi (U. of Hyogo), M. Schramm (Saitama Univ.), S. Takagi (Hokkaido U.), and on behalf of OISTER

We present the early report on the optical and near-infrared follow-up observations of super-Chandrasekhar supernova (SC SN) candidate SN 2021zny in the framework of Target-of-Opportunity (ToO) observations of Optical and Infrared Synergetic Telescopes for Education and Research (OISTER). This SN was discovered at the rising phase on Sep 22. Thereafter, we performed the optical spectroscopic observations using the 3.8-m Seimei telescope (Kyoto/Okayama) on Sep 27 and immediately reduced the data. The spectrum exhibits silicon absorption lines with strong carbon features. We found that the overall features were very similar to well-observed SC SN 2009dc at around a week before the maximum light. We triggered ToO observations since Oct 2. We obtained *UBVRIGrizJHK*s-band photometric, spectral, and imaging polarimetric data using Seimei, 1.5-m Kanata (Hiroshima), 1.05-m Murikabushi (NAOJ/Ishigaki-jima), 2.0-m Nayuta (Hyogo), and 1.6-m Pirka (Hokkaido/Nayoro) telescopes. Additional to the OISTER data, we also got optical photometric data using Skynet Robotic Telescope Network. The optical light curves are well similar to those of SC SN 2009dc. We will report on the detailed analysis of the ejecta properties of SN 2021zny using our data.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

N36a Super-Linear II 型超高輝度超新星における Ia-CSM 型由来の可能性

平松大地 (CfA/LCO/UCSB), 守屋堯 (国立天文台), D. Andrew Howell (LCO/UCSB), 他 Global Supernova Project

超高輝度超新星は通常の超新星よりも十倍から百倍程度明るく、新たな光度源を必要とする爆発現象である。その中で細い水素輝線 ($\sim 1,000 \text{ km s}^{-1}$) を見せるものは II 型と分類され、その光度源は主に超新星放出物質の運動エネルギーが星周物質との衝突により変換されたものだと考えられている。しかし、主な超新星放出物質は観測可能な衝突域よりも中心部に埋もれ、親星や爆発機構そのものの特定は困難である。そのため、予想される超新星は大質量星 (> 40 太陽質量) の重力崩壊型や対不安定型 (Smith et al. 2007, 2010) から、共通外層内での白色矮星の核暴走爆発である Ia-CSM 型 (Jerkstrand et al. 2020) までと多岐にわたる。

本講演において、我々は II 型超高輝度超新星 2017fck と 2019cmv の観測データと理論モデルを通して、Ia-CSM 型由来の可能性について議論する (Hiramatsu et al. in prep)。我々は超新星 2017fck と 2019cmv の特徴でもある光度曲線の直線的減光は Ia-CSM 型超新星にもよく見られ、最大光度と減光率等の相関関係やスペクトルの類似性もあることを発見した。それらの点から、我々は Ia-CSM 型超新星の光度曲線モデルを様々な爆発エネルギー、放射性ニッケル質量、星周物質分布を用いて計算し、超新星 2017fck と 2019cmv や Ia-CSM 型超新星に観測される光度曲線の相関関係の再現には大きな星周物質質量 ($\sim 1\text{--}12$ 太陽質量) が必要であることを示した。白色矮星と巨星 ($\lesssim 8$ 太陽質量) 又は超巨星 ($\gtrsim 8$ 太陽質量) の共通外層進化はそれらの大きな星周物質質量を生成する可能性があり (Ablimit et al. 2021)、超新星 2017fck と 2019cmv は他の直線的減光を見せる II 型超高輝度超新星における Ia-CSM 型由来の可能性についても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](#)

P101a 初代星原始星連星の合体機構

桐原崇亘 (甲南大学), 須佐元 (甲南大学), 細川隆史 (京都大学)

近年の重力波観測により、大質量連星ブラックホール (BH) 合体を起源とする重力波が検出されている。そのような大質量 BH 連星を形成するシナリオとして、初代星形成環境での multiple な大質量星形成との関連が期待されている。一方で、初代星が主系列星に進化する段階での連星の軌道長半径が $200 R_{\odot}$ を超える Wide binary では $z \sim 0$ までに BH 合体をほとんど起こせず、この段階で $10 R_{\odot}$ 程度まで近づける必要があることが指摘されている。しかしながら、どの程度小さな軌道長半径が許されるかは、初代星原始星の合体判定を正確に取り扱った初代星形成シミュレーションを行う必要があり、現時点で明らかではない。本研究ではまず、Hosokawa et al. 2010 に基づく降着過程入りの星の進化計算により得られた星質量 $7.75 M_{\odot}$ 、星半径 $61.1 R_{\odot}$ の原始星構造から 3 次元原始星モデルを構築し、インパクトパラメータを系統的に変更した連星進化の SPH 計算を実施した。原始星外縁部のガスにはたらく重力トルクにより、軌道角運動量を外縁部のガスに輸送することで連星の軌道長半径が小さくなった。そして、インパクトパラメータが原始星半径の和の 80% 程度より小さい場合には、原始星進化のタイムスケールに比べ非常に短いタイムスケールで合体に至った。また、合体に至るまでの質量損失は 1% 未満であり、合体後の星の構造はインパクトパラメータに大きく依存しないことが明らかとなった。

[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](#)

P102a 収縮する始原ガスコアで増幅された乱流の飽和と散逸

東 翔 (甲南大学), 須佐 元 (甲南大学), 千秋 元 (東北大学)

ダークマターミニハロー内のガスの乱流は、初代星形成において重要な役割を果たしており、例えば、ガスの分裂を促進する、もしくは磁場の増幅に寄与することで間接的に分裂を抑制することが知られており、結果として形成される星の数を左右する。そのため、その効果の強弱を決める乱流の強度は非常に重要である。これまでの研究で我々は乱流の初期 Mach 数とポリトロップ係数を変えてガス雲の収縮期を追う数値シミュレーションを行い、重力収縮による乱流増幅の解析的な推定と比較することで収縮する始原ガスにおける乱流の増幅メカニズムを明らかにした (Higashi, Susa, & Chiaki 2021)。その中で重力収縮によって増幅された乱流には Mach 数の飽和レベルが存在し、またそれが温度進化を決める有効断熱係数に依存することが示された。

本研究ではその飽和レベルを決める物理の詳細を明らかにするため、一様グリッドでの乱流の散逸シミュレーションと収縮シミュレーションの結果を組み合わせることで増幅された乱流の散逸、飽和を調べる。また収縮によって増幅された乱流の飽和マッハ数を理論的に推定し、収縮シミュレーションの結果と比較した。その結果、乱流の駆動スケールがジーンズ長の $1/3$ 倍程度のとき、数値計算の結果と理論推定がよく一致した。これらの結果は、収縮するガス雲で増幅された乱流の最終的な強度が初期条件のみによって推定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](#)

P103a 乱流磁場が初代星形成に与える影響

定成健児エリック (東北大学), 富田賢吾 (東北大学), 杉村和幸 (東北大学), 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。そのような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、初代星形成領域内の磁場は、乱流ダイナモによって増幅されることが考えられるため、一様磁場よりもランダムに乱れた磁場が卓越する。しかしながら、このような乱流磁場が、ガス雲内の角運動量をどれほど効率的に輸送し、初代星形成に影響を及ぼす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から原始星が形成されるまでの収縮期について調べた。特に、一様磁場の場合と乱流磁場の場合の異なる初期条件のもと計算を実施し、初期の磁場構造がガス雲収縮のダイナミクスに与える影響を調べる。そして、実際の初代星形成領域で想定される乱流磁場が、初代星の性質にどのような影響を与えるかを議論する。

[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](#)

P104a 低金属量環境下における星の質量分布に対する輻射フィードバックの影響

鄭昇明, 大向一行 (東北大学), 細川隆史 (京都大学), Raffaella Schneider (Sapienza Universita di Roma)

宇宙初期の星質量は近傍に比べ非常に大きいことがわかってきた。一方で、星質量の遷移がどのように引き起こされるかはわかっていない。星質量を決める大きな要因はガス雲の熱進化にある。高温のガス雲では典型的な圧力が大きく重力的に安定な構造を保ちやすい。結果、ガス雲の分裂が抑制され星質量も大きくなると考えられる。我々は金属量や宇宙マイクロ波背景放射による加熱が星質量分布に与える大きな要因であることを示してきた。特に $Z/Z_{\odot} \lesssim 10^{-2}$ では、近傍に比べて top-heavy な質量分布が実現することを示した。しかしこれらの計算では星からの輻射の影響は考慮されていない。星からの輻射はガス雲の熱進化を大きく変化させる。輻射によるダスト加熱で、ガスの温度も輻射の温度まで上昇する。電離輻射により周囲のガスは 10^4 K まで加熱される。また星への質量降着は電離された高温ガスにより堰き止められ、最終的な質量分布が決まると考えられている。

我々は星からの輻射フィードバックが星質量分布に与える影響を見るため、異なる金属量のもとで実現する星の質量分布を調べた。乱流的な初期条件から始まり、非平衡化学反応を解くとともに輻射によるダストの加熱や周囲のガスの電離過程を考える。また密度が 10^{15} cm^{-3} に達すると原始星が形成されると仮定し、sink 粒子を導入する。計算により、輻射によるダスト加熱の効果で $1 M_{\odot}$ 以下の質量を持つ低質量星の数が大きく減少することがわかった。特に $Z/Z_{\odot} \lesssim 10^{-3}$ では低質量星の数は 10 個程度と、輻射がない場合に比べて 1 桁程度少なくなる。また $Z/Z_{\odot} \gtrsim 10^{-2}$ では $0.1-1 M_{\odot}$ にピークを持つ、近傍で見られる星質量分布に近づくことがわかった。本講演では輻射フィードバックが質量分布に与える影響を詳細に議論するとともに、この結果が与える星形成史への影響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](#)

P105a 自己輻射と金属汚染を考慮した超大質量ブラックホール形成

千秋元, 鄭昇明, 大向一行 (東北大学)

質量 $> 10^5 M_{\odot}$ のブラックホール (超大質量ブラックホール) は、星質量 $\gtrsim 10^9 M_{\odot}$ のほぼすべての銀河に存在しているが、その起源は未解明である。水素分子解離放射を受けたハローでは、冷却率の減少によりガス雲分裂が抑制され、大質量 ($\sim 10^5 M_{\odot}$) の種ブラックホールへ直接崩壊すると考えられている。本研究では、直接崩壊が起きるハローの頻度分布を調べるため、宇宙論的な N 体シミュレーションで暗黒物質ハローの合体成長を追い、準解析的計算によってガス、星、金属質量を計算することで、各ハローにおける紫外線強度を見積もった。先行研究では金属汚染を受けていないハローのみを考慮していたが、金属量 $\lesssim 10^{-3} Z_{\odot}$ では金属の微細構造遷移線冷却が支配的ではなくなるため、分裂が抑制される可能性がある。そこで本研究では金属量 $10^{-3} Z_{\odot}$ 以下であれば直接崩壊ブラックホールが形成されるとした。また、先行研究では高い密度超過を持つ領域のみ考慮していたが、本研究ではさまざまな密度超過 $\delta = 1-2$ を持つ領域に対して計算を行った。さらに、銀河が紫外線放射によって自身のハローの星形成を抑制する内部放射を初めて考慮した。赤方偏移 $z = 10$ まで計算を行った結果、内部放射を考慮した場合は直接崩壊が起きるハローの数密度は $33.7 (h^{-1}\text{Mpc})^3$ であった。これは内部放射を考慮しない場合の 12.5 倍であり、内部放射により各ハローにおける紫外線強度が増加したことがわかる。また、赤方偏移 $z = 10$ において質量 $> 2.02 \times 10^7 M_{\odot}$ のハロー (原子冷却ハロー) のうち 79.3% で直接崩壊ブラックホールが形成すると見積もられ、より低赤方偏移でのハローの合体成長を考慮すると、観測と整合する可能性があることが示唆された。

[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](#)

P106a 分子雲形成時の乱流星形成描像とその金属量依存性

小林将人, 岩崎一成 (国立天文台), 富田賢吾 (東北大学)

シミュレーション研究の高分解能化に伴い、sub-pc スケールの星形成効率を pc スケールの統計量から正しく予言することが、銀河シミュレーションの星形成モデル化や銀河進化の理解に非常に重要となってきた。また大規模干渉計の観測から、天の川銀河外縁部やマゼラン雲でも、星形成領域におけるフィラメント状構造の普遍性や、原子ガスから分子雲への遷移効率と星形成効率との相関が示唆され始めている。フィラメント状構造は原子ガスの密度・速度揺らぎに起源があると考えられるため、低金属量環境の分子雲形成過程を原子ガスから一貫して理解することが重要である。

そこで天の川銀河からマゼラン雲に渡る金属量範囲の分子雲形成過程を、0.02pc の高解像度で均質に比較する 3次元流体シミュレーションを実施した。その結果、10pc スケールで大極的には圧縮流が卓越している領域でも、分子雲内部へは強いシア流が常に生成され、分子雲内部で非圧縮流が卓越することがわかった。これは観測的に知られている分子雲星形成効率の非効率性の重要な一起源と考えられる。また CO 輝線で観測される高密度領域の密度頻度分布は、HI ガスも含む分子雲全体の乱流ではなく個々の高密度クランプ内の乱流に強く依存するとわかり、観測から星形成効率を予言するためにはクランプの空間的分離が重要だと明らかになった。さらに低金属量環境では冷却効率低下に伴い分子雲の平均密度は下がるが、フィラメント構造の起源となる高密度クランプの内部密度は高くなる傾向にあり、大質量フィラメント・大質量星形成へ有利な条件にあることがわかったので、本発表でこれらの結果を報告する。

[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](#)

P107a 分子雲形成・進化シミュレーション：高密度クランプの重力不安定条件

岩崎一成 (国立天文台), 富田賢吾 (東北大学)

中性水素原子ガスから分子雲への進化過程を理解することは、その後の星形成の初期条件を決定するうえで不可欠である。我々は、高密度な中性水素原子ガスから分子雲への進化過程を、詳細な素過程 (熱過程, 化学反応, 光子追跡) を考慮した 3次元磁気流体シミュレーションにより調べ、形成される分子雲の性質が圧縮方向と磁場の方向の成す角 θ に強く依存することを明らかにした (Iwasaki et al. 2019)。磁場と圧縮方向がほぼ平行な場合は、非等方な超 Alfvén 乱流が発達する。磁場と圧縮方向に少しでも角度がつくと (パラメータによるが典型的には $\theta > 10^\circ$)、衝撃波圧縮で増幅された磁場により乱流が抑制される。

クランプの重力不安定性がどのように決まるのかを明らかにするため、クランプに対してビリアル定理を適用した。原子ガスの密度と衝突速度で決まる臨界密度より高いときに、プラズマ β 値が θ の値によらずオーダー 1 となるという計算結果から、ビリアル・パラメータを平均密度と質量の関数として解析的に導き、同定したクランプの性質をよく説明することがわかった。さらにビリアル定理の表面項の影響を調査し、特に乱流圧による表面項が、クランプの内部運動エネルギーと同程度の大きさを持ち、クランプの安定性に強く影響することがわかった。表面項の影響を含めたクランプの安定性条件について議論する。

[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](#)

P108a 星形成領域 NGC 1333 の磁場構造 III

土井靖生, Jungmi Kwon (東京大), 富阪幸治, 長谷川哲夫, Doris Arzoumanian, 島尻芳人, 田村元秀 (国立天文台), 松村雅文 (香川大), 古屋玲 (徳島大), 犬塚修一郎 (名古屋大), 他 BISTRO チーム

JCMT で観測した $850\mu\text{m}$ の偏光データの示す、星形成領域 NGC 1333 中の大質量星間フィラメントの内部の 3次元磁場構造について報告する。フィラメント中の磁場は、ガスの自己重力により、フィラメントの中心軸に向かって引き込まれた構造を示すと考えられる。我々は、局所的な星形成の影響を受けず、従って原始的な磁場構造を保っていると考えられる 4ヶ所のフィラメントについて、ダスト熱輻射の全強度 (I) と偏光強度 (PI) の断面プロファイルを調べ、2ヶ所で PI のフィラメント幅が I よりも有意に狭い (幅比 0.7-0.8) ことを見出した。ダスト粒子の整列度や輻射能率の変化では、この狭い幅比を自然に説明することは困難である。我々はこの幅比が、フィラメント内部の引きずり込まれた磁場構造で説明可能であることを示した (2019 年秋季年会)。本講演では、この観測結果を Tomisaka (2014) の磁気静水圧平衡状態にあるフィラメントの数値モデルと定量的に比較することにより、フィラメントが磁気臨界に近い、若しくは磁氣的超臨界状態にあると考えられることを示す。

[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](#)

P109a BISTRO Project Status (10)

Tetsuo Hasegawa¹, Ray Furuya², Doris Arzoumanian^{1,16}, Yasuo Doi⁴, Saeko Hayashi¹, Charles Hull¹, Tsuyoshi Inoue³, Shu-ichiro Inutsuka³, Kazunari Iwasaki¹, Akimasa Kataoka¹, Koji Kawabata⁶, Gwanjeong Kim¹, Masato Kobayashi³, Takayoshi Kusune¹, Jungmi Kwon⁸, Masafumi Matsumura⁹, Xing Lu¹, Tetsuya Nagata¹⁰, Fumitaka Nakamura¹, Hiroyuki Nakanishi¹¹, Takashi Onaka⁴, Tae-Soo Pyo¹, Hiro Saito¹², Masumichi Seta¹³, Yoshito Shimajiri¹, Hiroko Shinnaga¹¹, Motohide Tamura^{4,14}, Kohji Tomisaka¹, Yusuke Tsukamoto¹¹, Tetsuya Zenko¹⁰, Derek Ward-Thompson¹⁵ and the BISTRO Consortium (¹NAOJ, ²Tokushima U., ³Nagoya U., ⁴U. Tokyo, ⁵Osaka U., ⁶Hiroshima U., ⁸ISAS, ⁹Kagawa U., ¹⁰Kyoto U., ¹¹Kagoshima U., ¹²U. Tsukuba, ¹³Kwansai Gakuin U., ¹⁴Astrobiology Center, ¹⁵U. of Central Lancashire, ¹⁶IACE, U. of Porto)

BISTRO (B-field In STar forming Region Observations) is an international research project to make submillimeter linear polarization images of nearby star forming regions as a series of 3 consecutive EAO/JCMT Large Programs, and it involves 156 researchers in Canada, China, Japan, Korea, Taiwan, UK, Ireland, Vietnam and the East Asian Observatory. This paper reports an update of the research program including; a) progress of the data taking (BISTRO-1/2 complete, BISTRO-3 ongoing), b) progress of publication (20 papers including 13 1st-generation, 5 2nd-generation, and 2 review papers), and c) an emerging picture of the evolution of magnetized ISM towards star formation in Orion and other 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](#)

P110b Stream Velocity による超音速駆動ガス天体の統計的性質

仲里佑利奈 (東京大学), 千秋元 (東北大学), 吉田直紀 (東京大学)

宇宙の再結合期において、バリオンとダークマター (DM) の相対速度 (Stream velocity; SV) が存在する。この SV が、初期宇宙におけるガス雲進化に大きな影響を及ぼすことが指摘された (Tselikhovich & Hirata 2010)。近年、SV によってガスが流され、DM ハローのビリアル半径外でガスの割合が非常に高い天体 (Supersonically Induced Gas Objects; SIGO) が形成しうると示唆された。これは球状星団の前駆体とも考えられている (Naoz & Narayan 2014)。SV と初期宇宙で最重要な冷却剤である水素分子 (H_2) の生成反応を導入した 3 次元流体シミュレーションを実行することで、始原ガスが効率的に収縮してジーンズ不安定に達した SIGO (star-forming SIGO) の存在を初めて確認した (2021 年秋季年会 P113b)。

前研究 (2021 年秋季年会 P113b) では 1 つの SIGO の進化に着目したのに対し、本研究では、前研究で同定された SIGO 50 個に対して解像度を上げたシミュレーションを実行し、その進化を追った。結果として star-forming SIGO へ進化した際、(収縮時間) \sim (H_2 冷却時間) \sim (free-fall time) となり、かつジーンズ質量が $\sim 10^5 M_\odot$ と、DM ハローにホストされた始原ガスのジーンズ質量の 100 倍大きいことを明らかにした。これは、SIGO の形成時にガスは H_2 冷却時間のスケールでゆっくりと収縮するため、低密度 ($\sim 100 \text{cm}^{-3}$) でジーンズ不安定に達した為だといえる。さらに、50 個の SIGO において star-forming SIGO へ進化するものだけでなく、収縮が進まずジーンズ不安定に達しないもの、近傍の DM ハローに最終的にホストされるものと多様な進化経路が存在することを確認した。本講演では、star-forming SIGO の質量、速度分散、熱進化の様子を統計的に議論する。また、SIGO の最終的な進化経路への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](#)

P111b 初代星形成における大質量原始星近傍での輻射流体計算

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)

初代星の質量は宇宙初期における初代星の役割を考える上で重要な物理量であり、その質量を明らかにするにはガス雲の長時間進化を数値計算で追う必要がある。これまでは計算コストを下げ長時間計算を実現するために、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。また本研究は初代星形成に注目しているが、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。

本講演ではまず計算コードの開発状況を紹介する。本研究では Sugimura et al. (2020) で開発された輻射流体計算コード SFUMATO-RT に M1 closure による光速制限法を用いた輻射輸送スキームを実装した。特に大質量原始星近傍のような非常に光学的に厚い領域での計算を可能にするために、Rosdahl & Teyssier (2015) で提案されている輻射を 2成分に分ける手法を実装し既にテスト計算もクリアしている。また、光学的に厚い領域では原始星から出た輻射が周りのガスと相互作用することによってそのスペクトルは変化していく。そこで本研究では輻射の個数密度とエネルギー密度を同時に解くことで輻射の平均エネルギーを計算し、スペクトルの変化を近似的に考慮する手法を採用した。計算コードの開発状況を紹介した後、大質量原始星近傍でのテスト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](#)

P112b フィラメント分子雲の自己重力分裂による分子雲コアと原始星の形成

吹原瑠、塚本祐介、高石大輔、小林雄大、佐々木恵(鹿児島大学)

近年、Herschel 宇宙望遠鏡により分子雲に普遍的にフィラメント構造(以下フィラメント)が存在することが確認された。これまで星形成過程の初期段階と考えられていた球状分子雲は、このフィラメントが自己重力的に分裂し形成されたものだと考えられている(ref. Shimajiri et al. 2019)。したがって星形成過程をより深く理解するために、観測・理論両面でフィラメントの進化に注目が集まっている。Matsumoto et al. 2005 においてフィラメントスケールから原始星に至るまでの進化を調べるシミュレーション研究が行われ、フィラメントから 1000au 規模の円弧構造が形成するなど近年なされた観測的特徴(ref. Tokuda et al. 2014) が再現された。一方、Matsumoto et al. 2015 では磁場は無視されてきた。フィラメントから原始星に至るまでの進化において磁場は重要な役割を果たすと考えられている(e.g. Hennebelle & Inutsuka 2019)。また、SMA や ALMA 望遠鏡によりあらゆるスケールにおいてダスト熱輻射の偏波観測が行われ、フィラメントから原始星までの磁場構造も明らかになってきた。以上のことから磁場を考慮したフィラメント進化のシミュレーションを行う重要性が高まっている。

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、磁場強度に応じてコア内での磁場構造やガスの運動は異なっていることがわかった。またコア質量に対する角運動量の進化を解析したところ、観測と同様の傾向が適度な磁場強度のときのみ見られた。本講演では、さらに輻射輸送計算コード RADMC-3D を用いたダスト偏波の観測的可視化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](#)

P113a ALMA ACA による大マゼラン雲超広域 CO 探査 (1): Molecular ridge 領域における大質量原始星に付随するフィラメント状分子雲普遍性の検証

徳田一起, (大阪府大/国立天文台), 南大晴, 北野尚弥, 鈴木大誠, 小西亜侑, 大西利和 (大阪府大) 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 (国立天文台), 竹腰達哉 (北見工業大)

大マゼラン雲南東部に存在する Molecular ridge は同銀河の中でも一際目だった分子雲複合体であり、長さ ~ 1 kpc、総分子ガス質量が $\sim 10^7 M_{\odot}$ に及ぶ。小マゼラン雲との近接相互作用に起因する $50\text{--}100 \text{ km s}^{-1}$ の原子ガス衝突流の存在が示唆されていること、最もガスが集中している N159E/W 分子雲において大質量原始星が付随する指向性の強く幅が 0.1 pc 程度のハブフィラメント状構造が同定されていることなどから、銀河規模から個別原始星まで、星形成に関連する現象/構造をマルチスケールで探求する上で重要な領域である。

本講演では N158, N159, N160 H II 領域を含む星形成が活発な Molecular ridge 北部領域の Atacama Compact Array (ACA) により得られたアーカイブデータ (2016.1.00782.S, 2018.A.00061.S) の解析を紹介する。観測周波数は ^{12}CO , ^{13}CO , C^{18}O ($J=2\text{--}1$) 輝線であり、 $0.18^{\circ} \times 0.4^{\circ}$ ($160 \text{ pc} \times 350 \text{ pc}$) の領域を空間分解能 $\sim 7''$ (1.6 pc) の高解像度で網羅する。観測領域に 20 個程度存在する大質量原始星候補方向でほぼ全て ^{12}CO , ^{13}CO が検出され、星形成の初期段階であることが伺える。このうち、N158 領域においては南北方向に伸びた長さ 10 pc 程度の構造の南端に原始星が位置している分子雲が 2 つ存在し、同じ分解能で比較した N159E/W 領域のフィラメント状分子雲の特徴と酷似している。少なくとも上記の天体群において、 $\sim 200 \text{ pc}$ に渡った階層的な同時多発の大質量星形成の兆候を示唆するものであり、その形成の誘発要因は共通の衝突流である可能性を提案する。

[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](#)

P114a ALMA ACA による大マゼラン雲超広域 CO 探査 (2): Molecular ridge 領域における高密度分子雲クランプの分布

南大晴, 北野尚弥, 鈴木大誠, 小西亜侑, 大西利和 (大阪府大), 徳田一起 (大阪府大/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 (国立天文台), 竹腰達哉 (北見工業大)

大マゼラン雲 (LMC) では Populous Cluster が現在も形成されており、我々の銀河では見られない大規模な星団形成メカニズムを明らかにする上で重要な実験場である。我々は、LMC の南東の巨大分子雲集合体である Molecular ridge の中でも特に分子ガスが集中している N159W 領域において、巨大星団の前駆体となりうるサイズ $\sim 1 \text{ pc}$ 、ガス質量 $10^4 M_{\odot}$ 程度の大質量高密度クランプの性質などを明らかにしてきた (南ほか 2021 年秋季年会)。我々は同様な高密度領域の有無を明らかにし、星団形成初期段階の理解を深めるため、Molecular Ridge 北部領域の Atacama Compact Array (ACA) を用いた 1.3 mm 帯広域観測データ (徳田ほか 本年会) の解析を推進している。 C^{18}O ($2\text{--}1$) 輝線の検出に基づいて、観測領域内には H_2 個数密度 10^5 cm^{-3} 程度、サイズ数 pc 程度の高密度クランプが領域内に 10 個程度存在することが明らかになった。それらのピリアル質量は $(0.1\text{--}1) \times 10^4 M_{\odot}$ であり、合計質量は領域内の総分子ガス量に対して 1% 程度である。最も $\text{H}\alpha$ 光度の大きい N160 領域でクランプ周囲の 1.3 mm 及び 3 mm 連続波 (2017.1.00093.S) の比較からも電離領域からの放射が卓越しているため、領域全体としては進化しているが、N159W 領域のクランプと同程度の高密度クランプも存在していることから今後より大規模な星形成に至る可能性を秘めている。一方で、観測領域最南端に位置する N159S 領域では赤外線/可視光がともに検出されていない C^{18}O クランプが存在し、星団形成直前の状態を探る上で重要な領域である。

[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](#)

P115a 大質量星形成領域の遠赤外線 [CII] 輝線広域観測を進める日印共同気球実験

大藪進喜 (徳島大学), 鈴木仁研, 和田武彦 (JAXA), 金田英宏, 下村太誉, 小田切萌絵 (名古屋大学), D. K. Ojha, S. L. A. D'Costa, S. Ghosh, P.R. Sandimani (TIFR)

日印共同気球実験は、遠赤外線 [CII] 輝線 (波長 $158 \mu\text{m}$) で大質量星形成領域の観測を行うため、インド・タタ基礎科学研究所が所有するハイデラバード気球基地から、口径 1 m の気球望遠鏡を打ち上げているプロジェクトである。[CII] 輝線を用いると、大質量星形成に付随する光解離領域を直接観測でき、星形成の材料をトレースする CO 観測とは相補的な情報を得ることができる。観測装置には、日本で開発された $R=1800$ の Fabry-Pérot 分光器と加圧型ゲルマニウムの遠赤外線単素子検出器 (直径 $90''$ /pix) が搭載されており、気球望遠鏡と組み合わせることで、広域 (例えば $30' \times 30'$) をマッピング観測できる。この観測を 1990 年代後半から行ってきたが、一度中断して 2017 年から再開した。再開後に 4 回のフライトを実施し、12 の大質量星形成領域の観測に成功している。特に RCW36 (Suzuki et al. 2021) の観測では、[CII] と $160 \mu\text{m}$ 放射の強度比から RCW38 とのガス雲の構造の違いを議論し、付随するガス雲が光解離領域で支配されていることを示した。

近年の大質量星形成の研究によると、如何に付随するガスを効率よく集積するかが本質であり、ガス雲のフィラメント構造や衝突と言った力学環境が重要である。その為に付随するガス雲の構造と運動を観測する必要があると考えた。そこで我々は、気球望遠鏡に搭載する新しい観測装置の開発を進めている。これは、 5×5 画素の遠赤外線アレイ検出器 ($13''$ /pix) で星形成に付随する光解離ガスの分布を回折限界で決まる空間分解能 ($40''$) で得るとともに、高波長分解能 (当初は $R=7000$ 、最終的には $R=10000$ を目指す) の Fabry-Pérot 分光器を搭載することでガスの速度情報も得ようというものである。2022 年度の打ち上げを目指し、観測装置の準備を行っている。

[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](#)

P116a 大質量星団形成時の観測的徴候

猪口睦子、細川隆史、嶺重慎 (京都大学)、福島肇 (筑波大学)

球状星団に匹敵する若い大質量星団 (YMC: Young Massive Cluster) は近傍銀河で観測されているが、何がその形成条件となっているかは不明である。最近、Fukushima & Yajima (2021) の星団形成シミュレーションは、面密度が $\sim 300 M_{\odot}/\text{pc}^2$ を上回る巨大分子雲 (GMC) では電離ガスをも重力的に束縛できるため高効率で星形成が進み YMC 誕生に繋がる可能性を示した。今回我々は、特に YMC 形成途上の GMC がどのような観測的特徴を示すかの研究を進めたので報告する。

本研究では雲質量 $10^6 M_{\odot}$ の分子雲から YMC が形成される場合 (面密度 $400 M_{\odot}/\text{pc}^2$, 自由落下時間 $t_{\text{ff}} \sim 2.5 \text{ Myr}$) とされない場合 (面密度 $100 M_{\odot}/\text{pc}^2$, $t_{\text{ff}} \sim 7 \text{ Myr}$) の 2 例のシミュレーション結果を用いて [CII] や [OI] などの輝線強度分布や星団前方にある分子ガスの視線方向の運動を計算し比較した。両モデルでは、活発な星形成が $1.5 t_{\text{ff}}$ を過ぎた後も持続するか否かが進化の顕著な違いになっている。まずガス速度構造を見てみると、YMC が形成される場合では進化全体を通じて、視線方向平均 $2 - 3 \text{ km/s}$ ほどで中心部の光電離領域へ向けて infall する兆候が持続する。一方 YMC が形成されない場合では、最初の $\lesssim 1.5 t_{\text{ff}}$ 間のみ同様の infall 兆候が見られるが、星形成の止むその後は電離領域膨張による 5 km/s ほどの outflow 運動が卓越する。さらに、infall 兆候のある時期で、両モデルの観測的特徴の差をみるため [CII][OI] 輝線強度分布 (radial profile) や peak の輝線強度も比較した。星団中心部の輝線強度は、YMC が形成される場合の方が分布は中心集中しており、かつ peak 強度が 1-2 桁ほど大きい。結果として、電離領域へ向かう分子ガスの infall motion と、非常に強い中心集中した [CII] 等の輝線放射が YMC 形成時の観測的特徴であると分かった。

[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](#)

P117a Dense cores at the early phase of high-mass star formation

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

How high-mass stars form is under debate. An Infrared dark cloud, seen in silhouette against the bright galactic plane emission, is a cold, dense region of a molecular cloud, and is thought to be prior to high-mass star formation (HMSF). Toward an understanding of how high-mass stars form, we observed such regions mosaicked with ALMA at an angular resolution of $1''.2$, corresponding to ~ 0.02 pc at 4 kpc with the ASHES program. Our targets are thirty-nine $70 \mu\text{m}$ -dark massive ($220\text{--}4500 M_{\odot}$, dense ($>10^4 \text{ cm}^{-3}$), and cold ($T \sim 10\text{--}20$ K) clumps at distances of 2–6 kpc. The ALMA 1.3 mm dust continuum emission revealed clumpy and filamentary structures with some presenting massive hub-filament systems.

We identified 911 dense cores in total from 1.3 mm continuum emission. The core mass ranges from 0.06 to $77 M_{\odot}$. About 60% of the cores are low-mass ($M_{\text{core}} < 1 M_{\odot}$), whereas $\sim 3\%$ have $M_{\text{core}} > 10 M_{\odot}$. There is no strong correlation between the core mass and clump mass. We investigated the core distribution using the minimum spanning tree (MST) method. The projected minimum core separations are found to be comparable to the thermal Jeans length of the parent clumps. We found a widespread core distribution rather than a centrally concentrated distribution and confirmed no mass segregation.

In this talk, we will focus on the 1.3 mm dust continuum emission analysis such as the core mass and its spatial distribution in the parent clumps.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P118a Cloud-in-cloud simulations of star cluster formation

福島肇, 矢島秀伸 (筑波大学)

巨大分子雲 (GMC) での星団形成について、大質量星からの輻射や星風といったフィードバックにより雲が破壊され星形成が制御される。近年の研究では、輻射流体シミュレーションが行われており、紫外線の電離加熱等により、銀河系内での典型的な GMC では星形成効率が 10% 以下となることが示されている (e.g., Kim et al. 2018, Fukushima et al. 2020)。一方、これまでの多くの計算では、GMC の初期条件として密度一様球を仮定した計算が行われてきた。しかし、実際に観測された星団の年齢の拡がりから、星団形成途中にガス流入を伴いながら自由落下時間より長く星形成が持続したことが示唆されている (~ 10 Myr, e.g., Longmore et al. 2014, Krumholz & McKee 2020)。これを説明するために、雲の密度分布に階層構造があるモデル (GHC model, Vázquez-Semadeni et al. 2019) やフィラメント間の衝突による星形成 (Hub-Filament model, Kumar et al. 2020) が提唱されている。

そこで、本研究では、紫外線光によるフィードバックを考慮しつつ、初期条件として密度分布に階層構造がある場合について計算を行った。これまでは、密度一様球を初期条件としていたが、より内部に面密度の大きい雲を設置することで、先行して形成される星団がどのような影響を与えるかを計算する。ここでは、適合格子細分法を用いた流体シミュレーションコードである 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、外側の雲の面密度が低い場合 ($\sim 25 M_{\odot} \text{pc}^{-2}$) には、先行して形成した星団から電離領域が拡大する過程において、連鎖的星形成が起き OB アソシエーションが形成されることがわかった。講演では更に、外部・内部雲の面密度の変化が星団形成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](#)

P119a MHD シミュレーションで探る分子雲コア衝突

木下真一 東京大学

星は低温な星間物質中に含まれる分子雲コアが自己重力によって収縮することで形成される。近年 ALMA などによる高分解能観測によって、いくつかの分子雲コア内部にコアの衝突によって形成された可能性のある substructure が存在することが明らかになっている (e.g., Tokuda et al. 2020)。特にフィラメント内部などコアが密集した領域では、コアの寿命以内に数回程度の衝突が起こると見積もられ、衝突はコアの内部構造や誘発される星形成に大きな影響を及ぼす事が予想される。

本研究では 3 次元理想 MHD シミュレーションを用いて、分子雲コア同士の衝突過程、それに伴う星形成について探った。設定としては温度 10K のボナー・エバート球を初期条件として用意して、磁場強度 $B = 1, 10, 40\mu G$ の場合について調べた。その結果、正面衝突のケースでは圧縮層内部で単一の星が形成され、2つのコアの衝突軸がずれている場合には磁場強度、衝突速度に応じて異なる構造が形成される事が明らかになった。特に衝突軸がずれており $B = 1, 10\mu G$ の場合、形成された星の周囲に spiral な回転構造が形成されることがわかった。Sanhueza et al. (2021) では spiral 状の回転する分子雲コアが観測されており、コア同士の衝突はこうした回転運動の起源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](#)

P120a 衝撃波圧縮の継続時間を考慮した分子雲における誘発的星形成シミュレーション

安部大晟 (名古屋大学), 井上剛志 (甲南大学)

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た (e.g., Inoue & Fukui 2013; Abe et al. 2021)。Abe et al. (2021) でのシミュレーションでは、衝撃波-分子雲相互作用が長時間継続する問題設定となっていたが、現実はある大きさの分子雲へ衝撃波が通過するため、衝撃波圧縮の継続時間に限りがある。よって、現実的な分子雲の進化と星形成過程を解明するには、衝撃波の継続時間をパラメータとしたシミュレーションをすることで、衝撃波継続時間と星形成の規模の関係を調べる必要がある。さらに、多くの観測事実が、大質量星形成を引き起こすには 10^{23} cm^{-2} 以上の柱密度が必要であることを示唆しているが (e.g., Fukui et al. 2021)、その物理的意味はよくわかっていない。Enokiya et al. (2019) では、分子雲衝突が観測されている領域の柱密度と OB 型星の数の間に冪乗則の相関があることを発見した (以下、この相関を示した図を榎谷ダイアグラムと呼ぶ)。大質量星形成の初期条件を知るためには、この結果を理論的に解釈する必要がある。本研究では SFUMATO コード (Matsumoto 2007) を用いた三次元磁気流体シミュレーションにおいて、計算領域の端からのガス流入を途中で止めることによって、衝撃波継続時間ひいては柱密度を制御し、榎谷ダイアグラムと比較した。結果として榎谷ダイアグラムの傾向の再現に成功し、現実的なパラメータ範囲で 10^{23} cm^{-2} 以上の柱密度が実現するときに圧縮層の重力崩壊が起こり、大質量星形成が誘発されるという示唆を得た。

[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](#)

P121a 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, 古賀駿大, 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していくことで形成される。この星形成過程において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ので、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ので、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は重要である。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解き、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、ダスト間の主な相対速度は乱流起因とした。ダストのサイズ分布の進化において衝突合体のみの場合と衝突破壊も考慮した場合を計算し、非理想磁気流体効果への影響を比較した。その結果、衝突破壊を含めた場合の方が高密度領域で磁気拡散係数が大きくなった。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には、ダストの衝突破壊も考える必要が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](#)

P122b 分子雲衝突によって誘発された W49N のスターバースト

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

W49N は, W49A で星形成活動の最も活発な領域である。野辺山ミリ波干渉計を用いて得られた、この領域の CS ($J = 1 - 0$), $H^{13}CO^+$ ($J = 1 - 0$), SiO ($v = 0 : J = 1 - 0$) 輝線と、49GHz と 86GHz の連続波の高解像度データを解析した。その結果、UCHII リングを中心とした半径 2.7 pc の範囲内に、11 個の CS, 8 個の $H^{13}CO^+$, 6 個の SiO のクランプを発見した。CS と $H^{13}CO^+$ クランプは、主に 4 km^{-1} と 12 km^{-1} の 2 つの速度成分に分かれ、SiO クランプはこの 2 つの成分の中間的な速度を持つ。SiO のクランプは、ほぼ UCHII リング内に分布しており、そこには CS と $H^{13}CO^+$ の 4 km^{-1} 成分のクランプも存在している。一方、CS の 12 km^{-1} 成分のクランプは、UCHII リングの東と西に分かれて分布し、リング方向は空洞となっている。クランプの質量は $4.4 \times 10^2 M_{\odot}$ から $4.9 \times 10^4 M_{\odot}$ で、CS, $H^{13}CO^+$, SiO クランプの質量の平均値は、それぞれ $0.94 \times 10^4 M_{\odot}$, $0.88 \times 10^4 M_{\odot}$, $2.2 \times 10^4 M_{\odot}$ であった。また、CS, $H^{13}CO^+$, SiO クランプの総質量は、それぞれ $1.0 \times 10^5 M_{\odot}$, $0.70 \times 10^5 M_{\odot}$, $1.3 \times 10^5 M_{\odot}$ であり、速度幅から求めたビリアル質量とよく一致する。水素分子密度は、CS, $H^{13}CO^+$, SiO の各クランプで、それぞれ $0.90 \times 10^6 \text{ cm}^{-3}$, $1.4 \times 10^6 \text{ cm}^{-3}$, $7.6 \times 10^6 \text{ cm}^{-3}$ であった。SiO 輝線から求めた密度が高いのは、この輝線が高密度の衝撃波領域をサンプルしているためだと考えられる。クランプの自由落下時間は約 3×10^4 年と推定され、これから各クランプの中心部への降着率は $3 \times 10^{-3} - 1 M_{\odot} \text{ yr}^{-1}$ と見積もられる。これらの結果から、我々はもともとあった 4 km s^{-1} と 12 km s^{-1} の速度を持つ 2 つの雲がほぼ正面衝突して、中間の速度を持ったクランプが生成され、W49N での爆発的な大質量星形成の引き金になったと考えている。

[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](#)

P123b コア合体による原始星への降着率の時間変動

矢野雄大 (東京大学), 中村文隆 (国立天文台)

星形成の標準理論によると、星は分子雲内の高密度コアから形成される。また、コアが形成されると内部で起こる原始星の進化・形成はコアの物理状態で決まるとされてきた。しかし最近の観測的および理論的研究から、高密度コアはコア外部のガスをフィラメントを通して取り込んだり、別のコアの合体などの周囲の影響 (e.g., Shimajiri et al. 2019; Takemura et al. 2021) を強く受けて物理状態が変わる可能性がある。

本研究では、数値シミュレーションにより、そのような周りの影響が中心の原始星形成に与える影響を調べる。予備的計算では、すでに重力収縮を開始した高密度コアに別の重力的に安定なコアを合体させ、sink particle を用いて sink particle への降着率の変化を調べた。初期の高密度コアの中心密度は、約 $4 \times 10^5 \text{ cm}^{-3}$ で、密度分布は Bonner-Ebert 球に相似になるように置いた。また sink particle は密度が $5 \times 10^7 \text{ cm}^{-3}$ 程度で作られるようにし、温度は等温で 10 K、コア外部は密度の薄いガスで満ちているように置いた。計算では、主に sink particle への降着率、中心の sink particle の質量の時間進化を追跡した。その結果、コアの合体により、原始星への降着率が単一のコアの重力収縮の場合に比べて 1 桁程度増加することがわかった。さらに降着率が単調に変化するのではなく、時間変動が生じることもわかった。

本講演では、コアの合体による内部構造の変化、物理状態の変化を調べた結果を紹介し、原始星形成への影響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](#)

P124c 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 $M > 10^4 M_{\odot}$, $R \sim 1 \text{ pc}$ 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 $M \sim 4 \times 10^4 M_{\odot}$, $L \sim 4 \text{ pc}$ 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が集積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、星形成フィードバックを導入したシミュレーション結果について報告を行う。特に YMC の前駆体となる高密度ガスクランプが形成可能かどうかには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](#)

P125a 野辺山 45m 鏡によるオリオン座分子雲コアの収縮運動サーベイ

立松 健一 (国立天文台), You-Ting Yeh, 平野 尚美, Sheng-Yuan Liu, Somnath Dutta, Dipen Sahu (台湾 ASIAA), Tie Liu (上海天文台), Neal J. Evans II (テキサス大学), ほか

オリオン座にある 36 個の分子雲コア (SCUBA-2 で同定された星なしコア 30 個と星ありコア 6 個) に対して、収縮運動のサーベイを行った。観測には野辺山 45m 電波望遠鏡を用い、 HCO^+ , H^{13}CO^+ , N_2H^+ , HNC , HN^{13}C の $J=1-0$ 輝線においてマッピング観測した。光学的に厚い HCO^+ ラインは光学的に薄い H^{13}CO^+ ラインよりも低速度側にピークを持つ傾向が見られ、膨張運動に比べ収縮運動が卓越していることが分かった。 HCO^+ の blue-skew プロファイルを示す星なしコアが 3 個、blue-skew プロファイル候補の星なしコアが 3 個同定された。 HCO^+ と H^{13}CO^+ の速度差は 0.9 km/s に達し、収縮運動の運動の少なくとも一部は超音速であることが分かった。我々が提唱している化学進化指標 (CEF2.0, Kim+20) を用いて、収縮運動のみられる星なしコアの進化段階を調べた。その結果、収縮運動が星なしコアの後期に集中しているという傾向は見られなかった。6 個のうちの 1 個では、ACA により DCO^+ $J=3-2$ において blue-skew プロファイルが観測されていた (Tatematsu+20)。 DCO^+ $J=3-2$ でのオフセット (0.5 km/s) は、今回観測された HCO^+ $J=1-0$ でのオフセット (0.2 km/s) より大きく、重力による加速運動を示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](#)

P126a GMC の進化と星形成; 銀河面における O-starless GMC の性質

山田麟¹、立原研悟¹、徳田一起^{2,3}、藤田真司²、佐野栄俊³、村岡和幸²、出町史夏¹、小西亜侑²、福井康雄¹(1: 名古屋大学, 2: 大阪府立大学, 3: 国立天文台)

巨大分子雲 (GMC) は銀河における主要な星形成の現場であり、その進化は銀河の星形成を司る。NANTEN 望遠鏡を用いた大マゼラン雲 (LMC) の一酸化炭素分子輝線によるサーベイ観測から、GMC は HII 領域が付随しない Type I から、 HII 領域のみが付随する Type II を経由して大規模な HII 領域と星団が付随する Type III へ進化すると提案されている (Fukui et al. 1999; Kawamura et al. 2009)。近年 ALMA による近傍銀河の観測が進み、Type 分類は M33 (小西他、年会講演 2021 秋)、M100 (出町他、年会講演 2021 秋) をはじめとし、複数の銀河でその普遍性が検証されつつある (出町他、本年会講演)。これらの結果は系外においては Type I GMC が全 GMC のうち 10% 以上を占めることを示唆している。一方、系内の Type I GMC は、Maddaleana's cloud など数例しか知られておらず、矛盾していた。そこで我々は系内の Type I GMC の個数、分布、物理的性質を再検討するため、 $\text{CO}(J=1-0)$ 銀河面サーベイのデータ (Dame et al. 2001) を用いて GMC を同定し、 $\text{H}\alpha$ との比較を行った。前景成分の影響と距離の不定性を最小限に抑えるため、太陽円よりも外側の銀経 90° から 170° および 190° から 270° に解析範囲を限定した。また、系外銀河と同一の条件で比較するため、分解能と感度を NANTEN による LMC の観測 (HPBW: 40 pc, RMS: 0.07 K) および ALMA による M100 の観測 (HPBW: 100 pc, RMS: 0.09 K) に揃えた。その結果、40 pc の分解能で約 300 個、100 pc の分解能で約 50 個の GMC を特定した。このうち 10% 以上が HII 領域が付随しない O-starless GMC であった。典型的な質量は $10^4 M_\odot$ - $10^5 M_\odot$ であり、M100 と矛盾しない。講演ではさらに HI との比較結果も紹介し、銀河面における GMC 進化について議論する。

[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](#)

P127a 低金属量環境下における星生成クラスターの初期質量関数導出 I: Sh 2-209

安井千香子 (国立天文台), 小林尚人 (東京大学), 泉奈都子 (ASIAA), 齋藤正雄 (国立天文台), 池田優二 (Photocoding)

われわれは、星・惑星形成過程における金属量依存性の観測的研究を進めている。我々の銀河系のような渦巻銀河の外縁部や矮小不規則銀河は金属量が低く (~ -1 dex)、太陽近傍とは異なる環境にあることが知られている。その中でも銀河系外縁部は最も距離が近いため、太陽近傍と同様に個々の星を空間分解した観測的研究に適した唯一の環境となっている。われわれはこれまでに、銀河系外縁部に存在するおよそ 10 個の若い星形成クラスターについて、すばる望遠鏡を用いた近赤外線撮像観測を進めてきた。しかしながら、これまでのターゲットは星の数が十分でなく ($N_{\text{stars}} \sim 100$)、高い精度での初期質量関数の導出ができていなかった。

本研究では、銀河系低金属量環境下 ($[O/H] \simeq -0.5$ dex) に存在する $N_{\text{stars}} \simeq 1500$ を持つ星生成クラスター Sh 2-209 について、初めて高い精度で初期質量関数を導出した。達成した限界等級は星の質量にしておよそ $0.1 M_{\odot}$ まで届き、太陽近傍の初期質量関数がピークを持つ $0.5 M_{\odot}$ より十分小さな質量までカバーした。領域の初期質量関数と年齢・距離をパラメータとするモデル光度関数作成のためのコードを独自に開発し、これを観測から同定されたメンバーの光度関数にフィットした。その結果、得られた距離は Gaia EDR3 で得られた年周視差によるものと矛盾がないことが確認され、初期質量関数は高質量側のスロープが一般に太陽近傍で得られる Salpeter の傾き ($\Gamma \simeq -1.35$) と比較してやや flat な傾き ($\Gamma \simeq -1.0$) が得られた。その一方で、初期質量関数のピーク質量について、通常太陽近傍で見られる質量 ($\sim 0.5 M_{\odot}$) と比較して、やや小さい可能性 ($\simeq 0.1 M_{\odot}$) が示唆された。本講演では、得られた初期質量関数の金属量依存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](#)

P128a ALMA ACA サーベイで探る Corona Australis 領域の星形成 (4)

西岡丈翔¹, 立原研悟¹, 山崎康正², 徳田一起^{2,3}, 深谷直史¹, 大西利和², 金井昂大⁴, 大朝由美子⁴, 松下祐子³, 西合一矢³, 深川美里³, 原田直人⁵, 佐伯優⁵, 柳玉華⁵, 山崎駿⁵, 町田正博⁵, 深谷紗希子⁶
(1: 名古屋大, 2: 大阪府立大, 3: 国立天文台, 4: 埼玉大, 5: 九州大, 6: 鹿児島大)

小質量星形成には孤立した星形成と星団形成の 2 つのモードが存在しており、フィラメント状分子雲の分裂による高密度コア形成や星形成のモデルが提案されている (André et al. 2014)。Herschel 望遠鏡等を代表とする多くの観測により、フィラメント状分子雲が至る所で発見された。しかしフィラメント状分子雲の形成や分裂過程、物理状態の違いは未解明な部分が多く、星形成の初期条件を理解する上で非常に重要な課題である。我々は集団的星形成の初期条件の理解を目指して、最も近傍 ($d = 149$ pc) の活発な星団形成領域である Corona Australis 分子雲の高密度部分を観測対象とし、230 GHz 帯 (Band 6) で ALMA ACA によるモザイクサーベイ観測を行った (立原他 2020 年秋季年会、山崎他 2021 年春季年会、西岡他 2021 年秋季学会)。本講演では $C^{18}O(J=2-1)$ と $SO(3\Sigma v=0, J=6(5)-5(4))$ 輝線に関して、データが全て配布されている 7m array のみの解析結果を報告する。

両輝線共に活発な星団形成が見られる分子雲の中心部 4.5 pc^2 において幅約 0.03 pc 程度のフィラメント状分子雲が合計 70 本程度存在しており、Herschel で得られたフィラメント状の構造が、より小さなサブフィラメントの集合に分解された。Herschel のダストの柱密度と温度マップを比較したところ、 $C^{18}O$ は $5.0 \times 10^{21} \text{ cm}^{-2}$ 以上、 SO は更に高い $2.0 \times 10^{22} \text{ cm}^{-2}$ 以上の領域に分布を示す。一方柱密度が高い領域においても、温度が 14 K 以下の領域では $C^{18}O$ フィラメントの数が減少しており、高密度低温環境下では CO 同位体は星形成に直結しうる比較的コンパクトな構造を必ずしも反映しない可能性がある。

[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](#)

P129a ALMA 高分解能データで探る星団形成領域 Corona Australis IRS7 における分子雲コアの分裂

深谷直史¹, 立原研悟¹, 西岡丈翔¹, 徳田一起^{2,3}, 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: 大阪府立大, 3: 国立天文台, 4: 九州大)

小質量星形成には孤立した星形成と星団形成の2つの異なるモードが存在しており、それぞれの初期条件の違いは明らかになっておらず、星形成の理解を深める上で非常に重要な課題である。そこで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 IRS7 領域を対象とした ALMA 12 m array によるアーカイブデータ (2019.1.01792.S, 分解能 $\sim 0''.68$) の解析を進めている。Corona Australis 分子雲の高密度領域に対する ALMA ACA を用いたモザイクサーベイ観測では、多くのフィラメント状構造が確認されている (西岡他 2021 年秋季年会)。今回使用したデータは中でも特に高密度な領域 (7600 AU \times 5300 AU) をさらに高空間分解能 (130 AU) で観測したものである。

今回は 1.3 mm 連続波と $C^{18}O$ ($J=2-1$) について解析を行った。まず5つの連続波点源が同定された。これらのうち1つは対応する赤外線源がない若い class 0 原始星、3つは冷たい SED を持つ class 0/I 天体と考えられ、残り1つは対応天体がなく新検出である。また PSF より有意に広がったダストクランプが10数個、それらを繋ぐ広がった放射も検出された。一方 $C^{18}O$ の強度分布から、連続波放射に沿ってフィラメント状に広がった構造と、その中に埋もれた数 100 AU 程度の $C^{18}O$ クランプが10個程度検出された。これらのクランプおよび連続波点源は 1000 AU ほどの間隔でフィラメント内部に分布していた。連続波点源が付随しないクランプは、星なし (prestellar) コア段階にあると考えられる。これらは様々な進化段階にあるフィラメントの分裂構造と解釈できる。

[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](#)

P130a JCMT 2 波長偏波観測で見えてきた分子雲コア L1521F の星形成の現場

深谷紗希子, 新永浩子 (鹿児島大学), 古屋玲 (徳島大学), 町田正博, 原田直人 (九州大学), 富阪幸治 (国立天文台)

星形成において磁場は乱流と同様に、分子雲コアの重力収縮に抗うように作用するため、タイムスケールの決定や進化における物理状態を知る上で重要な役割を担う。本研究では、距離 140 pc の小質量星形成領域 おうし座分子雲にある分子雲コア L1521 F に着目し、東アジア天文台の James Clerk Maxwell Telescope に搭載されているサブミリ波カメラ SCUBA-2 と偏波計 POL-2 を用いたダスト連続波の偏波観測を 850 μ m と 450 μ m で行った。その結果、同天体の磁場構造を、高感度で検出し、 850 μ m では大局的に磁場は南北方向であるが、 450 μ m ではこれに直交な東西方向の磁場が中心部に見える事を明らかにした。L1521 F は若い星形成段階にある VeLLO (Very Low Luminosity Object) 天体とされ、その特異な性質から、多数の望遠鏡で観測されてきた。ALMA による観測ではガスの相互作用により原始星近傍で非常に複雑な温度・速度構造を示すこと (Tokuda et al. 2018)、Spitzer 望遠鏡による近赤外線観測ではコンパクトな bipolar cavity (Bourke et al. 2006) の存在が明らかにされている。また、CSO 望遠鏡では 30 K から 70 K の CO $J=6-5$, $J=7-6$ 輝線で検出される温かいガス成分が確認されており (Shinnaga et al. 2009)、BIMA 干渉計による CCS , N_2H^+ 分子輝線の観測により、コアの中心領域と外縁部で、回転の向きが大きく異なることがわかっている (Shinnaga et al. 2004)。本講演では、上記の結果に加え、多波長のデータを用いた同天体の SED fitting の結果、そして理論モデル (Hirano et al. 2020) との比較から、観測で明らかになった分子雲コア内の構造について発表する。

[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](#)

P131a マルチスケール観測から探る原始星エンベロープ/コアの力学

崔仁士 (東京大学/ASIAA), 大橋永芳 (ASIAA), Hsi-Wei Yen (ASIAA), Anaëlle Maury (CEA), Sébastien Maret (IPAG)

惑星形成の現場となる原始惑星系円盤 (~ 100 au) は、母体である分子雲コア ($\sim 10,000$ au) の重力崩壊の過程で角運動量が輸送されることで形成される。角運動量輸送の詳細なメカニズムを知るには、質量降着過程にある原始星周囲 100 au から 10,000 au に渡る広い空間スケールでガスの力学を明らかにすることが重要である。

本研究では、ALMA, ACA 7 m アレイ, 単一鏡を用いて 3 つの原始星 IRAS 15398-3559, L1527 IRS, TMC-1A の周囲 $2' \times 2'$ の領域をカバーする $C^{18}O$ 2-1 輝線のマッピング観測を行い、 ~ 100 –10,000 au に渡る原始星周囲のガスの力学を調べた。全体的な傾向として、原始星周囲半径 $\sim 1,000$ au より内側では、 $C^{18}O$ ガスは回転運動を示唆するコヒーレントな速度勾配を示す一方で、半径 $\sim 1,000$ au より外側では速度構造はより複雑でコヒーレントでなくなるという特徴が見られた。ピーク速度の半径依存性を調べたところ、IRAS 15398-3559, L1527 IRS の 2 天体周囲で、半径 1,400–1,800 au より内側でピーク速度は半径のおよそ -1 乗に比例するという、比角運動量が一定の降着エンベロープの回転運動を示唆する結果が得られた。一方で、半径 1,400–1,800 au より外側ではピーク速度は半径とともに増加する ($v_{\text{peak}} \propto r^{-0.6}$) ことが明らかとなった。回転運動では説明できない複雑な速度構造とその速度成分に対して計算された二次の構造関数から、半径 1400–1800 au より外側の速度構造は乱流運動に由来す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](#)

P132a 原始星天体 BHB07-10 のエンベロープに形成された衝撃波の波紋構造

西合一矢、山本智、大屋瑤子、大小田結貴、雑賀恵理 (東京大学)、大西利和 (大阪府大)、徳田一起 (大阪府大/国立天文台)、河村晶子 (国立天文台)、松本倫明 (法政大学)、高桑繁久 (鹿児島大学)、川邊良平 (国立天文台)、原千穂美 (NEC)、立原研悟 (名古屋大学)

我々は、原始星天体 BHB07-10 の力学構造を ALMA データ (2013.1.00291.S) の 1.3 mm 連続波、CO(2-1)、 $C^{18}O$ (2-1)、 H_2CO (3_{0,3}-2_{0,2}) を元にして明らかにし、さらにエンベロープに外部からの高密度ガス塊が衝突落下している証拠を見つけたので報告する。BHB07-10 は、距離 ~ 130 pc の Barnard 59 Main Clump (質量 20 太陽質量) 中心部にある $L_{\text{bol}} \sim 0.6 L_{\odot}$ の Class 0/1 原始星である (Brooke et al. 2007)。Herschel SPIRE の赤外マップやサブミリ波マップは BHB07-10 が 10000 天文単位長の高密度フィラメント ($\Sigma = \text{several} \times 10^{22} \text{ cm}^{-2}$) の分裂を経て形成されたことを示唆しており集団的星形成に近い環境の星形成を探るのに適した天体である。我々の解析により明らかにされた BHB07-10 の力学構造は、1. 中心のダスト円盤は半径 ~ 20 au、質量 $\sim 0.1 M_{\odot}$ ($T_{\text{dust}} = 30 K$ を仮定)。2. エンベロープの回転運動は極めて小さく未検出 ($< 0.4 \text{ km/s}$)。3. $C^{18}O$ (2-1) や H_2CO の Inverse P-Cygni プロファイルは $\sim 1 \text{ km/s}$ のガス降着運動を示す。4. ダスト円盤と垂直な南東–北西方向の広角 CO(2-1) アウトフロー (opening angle ~ 120 度) が付随。というものであり、BHB07-10 が予想に反し比較的静かな環境で形成されたことを示唆している。その一方で我々は CO(2-1) マップの南西側エンベロープ ($r \sim 1200 \text{ au}$) に 600 au サイズの特異な波紋状構造の存在を見出した。講演では、この特異な波紋状構造が高密度ガス塊が数 km/s を超える速度で原始星エンベロープに落下衝突し形成された衝撃波加熱層として説明できることを示す。原始星天体に対し異なる速度を持つガスが衝突することは原始星天体の進化に大きな影響を与える可能性があり重要である。

[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](#)

P133a すばる HSC による新たな褐色矮星の探査と銀河系構造の推定

坂本茉莉江 (愛媛大学), 松岡良樹 (愛媛大学), 小山舜平 (国立天文台)

褐色矮星は恒星と惑星の間に位置づけられる天体であり、通常の恒星とは異なり中心で核融合を起こせるほどの質量を持たないため、低温度且つ暗い。銀河系において褐色矮星も恒星と同様に thick disk、thin disk と呼ばれる分布構造を持つと考えられており、色と光度の関係が比較的単純で正確な距離が測定しやすい褐色矮星の分布構造を知ることは、銀河系構造のより正確な推定につながる。

褐色矮星は暗いため発見することが難しいが、広視野かつ高感度の観測を行うすばる望遠鏡 Hyper Surime-Cam Subaru Strategic Program (HSC-SSP) カタログを使用した先行研究では、L5 型褐色矮星の限界距離は 350pc にまで達しており、これは他のサーベイと比較すると抜きん出ている。本研究ではさらに一歩進み、HSC-SSP survey Deep + UltraDeep カタログを使用することで、広域でかつ遠い距離にある褐色矮星の発見を試み、発見天体の分布から銀河系構造を推定する。

まず HSC-SSP survey Deep + UltraDeep カタログから、i、z、y バンドの PSF フラックス、カラー制限、限界距離を通じて褐色矮星候補天体を抽出した。褐色矮星との区別が非常に困難である赤方偏移 $z=1-2$ のコンパクトな楕円銀河は、表面輝度プロファイルフィッティングツール GALFIT を使用して求めた有効半径にもとづき、除去した。こうして得られた褐色矮星サンプルに対し、SED フィッティングを行ってサブタイプを決定後、観測等級と各サブタイプの絶対等級の関係から、天体までの距離を計算した。さらにこれら天体の数密度が銀河面の高さの関数としてどのように変化するかを探査領域ごとに調査し、銀河系の thin disk モデルとの比較からスケール高を求めた。

[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](#)

P134a Orion Nebula の形成と大質量星の運動について

藤井通子 (東京大学), Long Wang (中山大學), 斎藤貴之 (神戸大学), 服部公平 (統数研), 平居悠 (ノートルダム大学, 東北大学, 理化学研究所)

Orion Nebula Cluster (ONC) は比較的大質量の散開星団の中で、最も近く (~ 400 pc) にあり、よく観測されている星団である。年齢が約 1 Myr と非常に若く、巨大分子雲に付随している。そのため、星団形成過程を調べる上で、非常に良いサンプルである。我々は、新規開発の N 体/流体コード「ASURA+BRIDGE」を用いて、ONC をモデル化した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では、乱流速度を与えられた分子雲が収縮し、星を形成し、大質量星からのフィードバックによって星団からガスがなくなるまでを計算している (2021 年秋季年会 P117a)。ASURA+BRIDGE では、星粒子は星一つ一つの質量を再現し、さらに星同士の重力相互作用をソフトニングを仮定せずに計算できるため、連星形成や近接遭遇や星団の力学的進化を正確に計算することができる。シミュレーションの結果、ガスが集まる星団中心部で大質量星が形成され、重力相互作用の結果、一部の大質量星が中心から弾き出されることによって、星団中心の高密度ガス分布に穴を開け、星団中心から外れた場所で電離領域を作ることがわかった。一方、星形成を続ける星団中心領域はガス密度が高いため、電離領域が 0.1 pc 程度しか広がらない。これは、ONC で観測されている星団中心から、星団後方の電離面までの距離 (0.2–0.3 pc) と同じスケールである。ONC では、一番重い星 θ^1 Ori C がこの電離領域を作っていると考えられる。ONC で 2 番目に重い星は θ^2 Ori A であり、固有運動から、この星は過去に ONC 中心から弾き出されたものの、再び星団中心に戻っていく途中であると考えられる。また、Gaia のデータから求めた ONC から 5 pc 以内の OB 型星の速度分布は、シミュレーションで得られた OB 型星の運動と一致していた。

[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](#)

P135b 高銀緯分子雲 MBM16,24 における深い可視分光探査観測

大朝由美子, 佐々木優 (埼玉大学)

星形成は、分子雲環境によってどのように変わるだろうか。特に、低密度環境下で、どの程度、どのように星形成が起きているかについてはまだ理解が乏しい。この間に答えるべく、銀河面付近に位置する高密度分子雲や、低密度分子雲など多様な環境を持つ星形成領域において、前主系列星や若い褐色矮星・惑星質量天体の可視近赤外測光・分光探査観測プロジェクトを進めている。低密度分子雲については銀河面付近だけでなく、高銀緯分子雲 (銀緯 $> \pm 30\text{deg}$) にも着目して進めており、これまで複数の領域 (~ 2 平方度) の可視分光観測から、TTS 候補天体や若い褐色矮星候補が同定され、各分子雲で数%の星形成が起きていることが示唆された (平塚ほか 2018)。

本研究では、低質量星や褐色矮星などの形成が起こっているかどうか、どのような特徴を持つかを調べることを目的として、MBM16 と MBM24 についてそれぞれ、約 480、1090 平方分について、 $H\alpha$ 輝線分光探査を行った結果を報告する。これらの領域は、電波観測による分子雲の特徴は調べられているが、T タウリ型星など星形成の徴候は確認されておらず、星なし分子雲ともよばれている。しかし、軽い T タウリ型星や褐色矮星などを対象とした深い探査観測はなく、明らかでない部分も多い。そこで我々は、ハワイ大学の 2.2m 望遠鏡と WFGS2 を用いたスリットレス可視分光観測を実施した。分光観測の結果、各分子雲共に、弱い $H\alpha$ 輝線を示す T タウリ型星候補天体が複数検出された。さらに、Gaia 位置天文衛星のデータによる年周視差値や、SDSS、PanSTARRS、2MASS、WISE などの多波長測光値を用いて、これら候補天体について、光度と SED による赤外超過の有無を調べ、HR 図と進化トラックから質量と年齢の導出を行なった。本講演では、これら T タウリ型星候補の特徴や、Herschel などによる分子ガス・ダストとの空間分布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](#)

P136b 不規則に変光する YSO 候補天体の分光観測

八木 恵, 伊藤 洋一 (兵庫県立大学)

Young Stellar Object (YSO) には 3 つの特徴がある。1 つ目は中心星や星周円盤に由来する不規則な変光が見られること、2 つ目は円盤から中心星へ向かって水素ガスが落ち込むことにより $H\alpha$ 輝線が出ること、そして、3 つ目は円盤中の塵によって赤外域でスペクトル強度が強くなること (赤外超過) である。従来、YSO の探査は主に $H\alpha$ 輝線や赤外超過を確認するという方法で行われてきた。しかし、不規則変光も YSO の重要な特徴の 1 つである。

そこで本研究では、カシオペア座とこぎつね座の銀河面に沿ったそれぞれ約 28 平方度、約 16 平方度を調査した。14 等級より明るい恒星のうち、2MASS で赤外超過が見られ、KISOGP の観測により不規則な変光が見られる天体を YSO 候補とした。西はりま天文台の 2 m なゆた望遠鏡に搭載された可視光中低散分光器 MALLS で分光観測を行った。36 天体のうち 4 天体からは等価幅が 10 \AA 以上の、6 天体からは 10 \AA 以下の $H\alpha$ 輝線を確認した。そのうち 2 天体の半径 5 分以内には、赤外超過が見られ、同程度の年周視差や固有運動を持つ天体が存在しない。このことから、2 天体は孤立して形成した天体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](#)

P137a 磁気流体シミュレーションによる原始星周囲の磁場構造の解明

井上慎一郎, 町田正博 (九州大学)

惑星形成の母体となる原始惑星系円盤の形成過程には磁場が重要な役割を果たしていると考えられている。星は分子雲コアという低温のガスが重力収縮することによって生まれる。分子雲コアから原始星を形成するまでの段階で、磁場が星形成過程にどのように影響を与えるのかは星の誕生を理解する上で非常に重要である。

この研究では 3次元磁気流体シミュレーションを用いて分子雲コアから星と円盤ができる過程を計算した。その後、1500 au と 400 au での磁場構造の観測的可視化を実行し、近年の星形成コアの偏波観測と比較した。観測からは、(1) 砂時計型の構造が見られることと、(2) アウトフローが伝播する方向と磁場の方向が必ずしも揃わないということがわかっている。また星形成中のコアの中心領域の磁場構造は、近年 ALMA 等による偏波観測で理解されつつある。しかし、天体によっては中心領域の明確な磁場構造が見られないものも存在する。これらの異なる特徴をコンピュータシミュレーションを用いて調べた。

その結果、観測で得られた (1) の特徴は 1500 au スケールで確認できたが、400 au スケールではあまり顕著に確認できなかった。(2) の特徴は 1500 au スケール、400 au スケールの両方で確認することができた。

これらを踏まえて本講演では、星形成のシミュレーションから得られた異なるスケールでの磁場の観測的可視化の結果と偏波観測との比較、またその解釈について発表する。

[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](#)

P138a 原始星の境界層降着に関する磁気流体計算

高棹真介 (大阪大学), 細川隆史 (京都大学), 富田賢吾 (東北大学)

生まれたての星である原始星は周囲に形成された円盤からガス降着を受けて成長する。したがって原始星進化を理解するには質量降着の最終過程を明らかにする必要がある。原始星は主にガス圧で支えられているため、ケプラー回転している円盤よりも遅く回転している。その結果、原始星と円盤が接続する領域は両者の速度差を埋めるように回転速度が急激に遷移する領域 (境界層) ができる。この境界層では大きな速度差に働く粘性により回転運動エネルギーの熱化が起き、強い放射を出す高温領域の形成が期待されている。これまでの境界層降着に関する理論研究は、円盤や星の高さ構造を平均化したような半径方向 1次元モデル (Popham et al. 1993) や 2次元軸対称輻射流体モデル (Kley & Lin 1996)、さらに星・円盤境界の局所領域に注目した流体モデル (Belyaev et al. 2012) によってなされてきた。しかし原始星近傍には降着により磁場が蓄積しており、そのうえ境界層では速度シアにより増幅した磁場が降着構造に影響を及ぼす可能性があるため、磁場も含めたモデル化が重要となる。そこで我々は原始星進化モデルから得られた原始星に対し、磁化した降着円盤からガスがどのように降着するかを 3次元磁気流体シミュレーションによって考察している。本モデルにおいて原始星は磁気回転不安定性により乱流化した円盤から降着を受けており、境界層では磁場の増幅や磁場の揺らぎ成分の減少がみられる等、ある程度予想した振る舞いを確認することができた。これに加え、円盤から原始星への磁場の輸送や、過去の 1次元モデルや流体モデルでは見られなかった極に向かう複雑な降着流も見られた。本講演ではモデル計算の現状と初期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](#)

P139a 成長する連星周囲の降着流の構造

森井健翔 (茨城大学)、釣部通 (茨城大学)

連星の形成シナリオの一つとして、連星の種へのガスエンベロープの降着によるものがある。分子雲コアの重力収縮の結果、高密度領域において断熱コアが連星の種として形成され、残されたガスエンベロープが降着し、連星の種が質量を増やしていく。周囲のガスの質量は、形成時の連星の種の質量よりも非常に大きい。そのため、連星の種に降着するガスが、最終的に形成される連星の質量比や連星間距離などを決めていると考えられる。連星の形成過程を理解するためには、連星の種にガスが降着する段階を物理的に理解する必要がある。本研究では、ガス雲の降着段階における連星の種の成長を調べるためにガスの自己重力を考慮に入れた 3 次元流体計算を行った。ガスの自己重力を考慮することで連星の種の質量成長や軌道進化、ガス円盤の分裂を扱えるようにした。

計算の結果、連星の周りにはスパイラルなどの特徴的な構造が見られた。スパイラルは、L2, L3 半径を内側として、外側は降着衝撃波半径まで存在していた。スパイラル上の大部分では、遠心力優勢となっていることがわかった。ただし、L2, L3 点を含む 2 つの星を結ぶ軸上付近では重力優勢となっていた。実際に、降着ガスの一部を Lagrange 的に追跡したところ、降着ガスはスパイラルに降着後、スパイラルに沿ってスパイラルの根元から遠ざかる向きに移動していた。やがて 2 つの星を結ぶ軸上に差し掛かったところで重力が優勢となり動径方向にも落下し、L2, L3 点付近を通り連星に降着することがわかった。発表では、上記の結果を紹介し、更に、数値計算で得られたスパイラル構造を物理的に理解するために連星が作る重力の非軸対称性を考慮した遠心力バリアについて半解析的に考察し、スパイラル構造の形状が上手く理解できること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](#)

P140a 回転降着エンベロープの模擬観測：L1527 観測の再解析

森昇志 (東北大学)、相川祐理、大屋瑠子、山本智 (東京大学)、坂井南美 (理化学研究所)

現在 ALMA において質量降着期の低質量原始星の観測が盛んに行われている。原始星の質量は星・円盤の進化を特徴づける物理量であり、観測から精度良く見積もることが求められている。空間分解可能な大きさの円盤が観測されている天体では、ケプラー回転を用いて中心星質量を推定できる。一方、円盤が分解できないほど小さな系では降着エンベロープの速度分布から原始星質量を推定する必要がある。先行研究では、ガス降着を赤道面付近を流れる弾道軌道とし、輝度を半径のべき乗とするなど単純化されたモデルが採用されてきた。そこで本研究では、流体力学に基づいた古典的な回転降着エンベロープモデルを採用し、輻射輸送計算で温度構造も計算することで、より現実的な物理モデルを構築した。このモデルに対し模擬観測を行い、原始星コア L1527 の位置速度図との相関係数を計算し、モデルと観測結果の整合性を定量的に調べた。その結果、観測を良く再現するベストフィットモデルから中心星質量 $0.15 M_{\odot}$ を得た。この値はケプラー回転から得られた質量の $1/3$ 倍であることから、なんらかの原因によって降着が遅くなっている可能性が考えられる。また先行研究のモデルと今回のモデルに大きな違いは見られないことから、データ同士の相関係数を見る上では、先行研究のモデルでも同じ結果が得られるということが分かった。講演では相関係数以外を用いた質量推定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](#)

P141a W49N MCN-a: 自己重力円盤による大質量原始星への降着

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

ALMA のアーカイブデータを用いて、ホットコアである W49N MCN-a の 219-235GHz の連続波および分子線の解析を行った。角度分解能は約 $0.''3$ (3,300au) である。ダストからの連続波では $1.''40 \times 0.''95$ (FWHM) の細長い構造 (PA=43.5°) が見られ、これは傾斜角が 47.5° 以上で半径が 7,800 au の円盤 (またはトーラス) と解釈できる。CH₃CN, HNC, HCN, SO₂, DCN, H₂CO, OCS, CH₃OH, C¹⁸O の分子輝線では、連続波で見られる構造の長軸に沿って一貫した速度勾配があり、円盤の回転を示している。また SiO, SO ではアウトフローが見られ、円盤の北西側が手前だと分かる。円盤の長軸に沿った位置速度図では、速度勾配の大きさは分子輝線によって異なる。これは各分子線が回転円盤の異なる半径領域をサンプリングしていることを反映している。 $V_{\text{rot}} \propto R^b$ を仮定した円盤の回転曲線は、 $3,000 \text{ au} \leq R \leq 17,400 \text{ au}$ で $b = 0.32 \pm 0.11$ であり、最遠方の C¹⁸O のデータを除くと $R \leq 10,000 \text{ au}$ で $b = 0.49 \pm 0.14$ となる。これから力学的質量を求めると、 $M_{\text{dyn}} [M_{\odot}] = 95.4^{+39.1}_{-27.7} (R [\text{au}]/3,000)^{1.65}$ 、または、 $M_{\text{dyn}} [M_{\odot}] = 83.4^{+30.9}_{-22.6} (R [\text{au}]/3,000)^{1.98}$ となる。ダスト放射から求めた円盤質量は、 $R \leq 7,800 \text{ au}$ で $470\text{--}710 M_{\odot}$ ($T_{\text{dust}}=230\text{--}350 \text{ K}$ を仮定)、 $R \leq 1,700 \text{ au}$ で $16\text{--}24 M_{\odot}$ ($T_{\text{dust}}=390\text{--}580 \text{ K}$ を仮定) となり、いずれも上述の力学的質量公式とよく一致する。この力学的質量公式を円盤の内側に外挿すると、円盤は $R \leq 1,000 \text{ au}$ でケプラー的になると推測される。また外側に外挿した場合、半径 0.15 pc (31,000 au) の HMC 全体の総質量 $10^4 M_{\odot}$ とも一致する。これらの結果は、14–15 M_{\odot} の大質量原始星周囲に存在する重力的に不安定な円盤構造のなかで、内部に向かってガスが降着していく様子を示している。W49N MCN-a は、まだ超コンパクト HII 領域が十分に形成されていない段階にあり、原始星が形成された直後で、大質量星形成の極めて初期の段階にあると考えられる。

[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](#)

P142a 大質量原始星候補天体 Orion Source I における ALMA バンド 10 連続波観測

廣田朋也, 松下祐子, 本間希樹, Burns, Ross A. (国立天文台), 町田正博 (九州大学), 元木業人 (山口大学), 金美京 (大妻女子大学)

我々は、アタカマ大型ミリ波サブミリ波干渉計 ALMA での最高周波数バンド 10 において、太陽系から最も近い大質量原始星候補天体である Orion KL 領域の電波源 I (Orion Source I) の連続波観測を行なった。観測はサイクル 4 の期間中 2016 年 10 月とサイクル 5 の 2018 年 9 月にそれぞれ最大基線長 1.8 km と 1.2 km の配列で行われた。2 回の観測データを合成し、セルフキャリブレーションを含めてデータ較正をした後、従来のクリーンを用いた像合成法でイメージングを行なった。達成された空間分解能は 0.07 秒角 (約 30 au に相当) となっている。Source I でのバンド 10 における連続波放射は、低周波観測で以前から報告されているように北西-南東方向に沿ったエッジオン円盤の構造を示している。また、より高い空間分解能で円盤構造を捉えるためにスパースモデリングでの像合成も試みたところ、クリーンによる結果と比べて 2 倍ほど高い空間分解能により円盤短軸方向も構造が分解されたものの、過去の ALMA バンド 3 からバンド 7 での観測によって得られたワープ状構造やホットスポットのような顕著な内部構造は見出されなかった。Source I のバンド 10 における連続波放射のピーク輝度温度は 550 K であり、ミリ波・サブミリ波帯の連続波スペクトルは周波数の 2.06 ± 0.07 乗に比例するべき関数でよくフィットできる。晩期型星大気のような H⁻ 自由-自由放射で予想されるよりも輝度温度が低いこと、高周波数帯で光学的に薄くなるスペクトルのターンオーバーが見られないことから、Source I のバンド 10 での連続波放射は光学的に厚いダストの黒体放射で説明できる。そのために、低周波数帯で見られる内部構造がバンド 10 では検出できなかったものと考えられる。

[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](#)

P143a 磁化した乱流分子雲コア中における単極アウトフローの形成

高石大輔、塚本裕介、高桑繁久(鹿児島大学)、須藤靖(東京大学)

これまでの星形成領域の観測から、形成途上の若い星の周囲で駆動されるアウトフローには様々な形状のものが存在することが報告されている。たとえば、ハッブル宇宙望遠鏡を用いたオリオン座分子雲内の原始星の近赤外線観測によると、双極アウトフローを持つ原始星だけでなく不規則な形状のアウトフローや片側のみ駆動している単極アウトフローを持つ原始星も複数存在することが報告されている (Habel et al. 2021)。

原始星近傍から駆動するアウトフローのこのような形状の違いは、原始星やその周囲に形成される原始惑星系円盤への質量降着や角運動量輸送へ大きな違いをもたらす。そのため、駆動するアウトフローの形状の違いを理解することは原始星や原始惑星系円盤の形成進化過程を理解する上で非常に重要である。

そこで本研究では、非理想磁気流体 3 次元シミュレーションを行い、より現実的な星形成環境である磁化した乱流分子雲コア中で形成した原始星近傍から駆動するアウトフローの形状について調べた。

その結果、初期分子雲コアの磁気エネルギー E_{mag} が乱流エネルギー E_{turb} より小さい場合 ($E_{\text{mag}}/E_{\text{turb}} = 0.3$)、単極アウトフローが駆動することを発見した。これは、乱流による非軸対称な降着が卓越することによってプラズマベータの値が片側のみ減少することに起因する。また、この結果は観測されている単極アウトフローの駆動を説明する可能性がある。一方で、 E_{mag} と E_{turb} の大きさが同じ場合 ($E_{\text{mag}}/E_{\text{turb}} = 1.0$)、双極アウトフローが駆動することも分かった。これらの結果は、様々な形状のアウトフローの駆動を理解する上で、母体となる分子雲コアの持つ乱流エネルギーと磁気エネルギーの大きさの違いが重要であることを示している。

本発表では、アウトフロー周囲の磁場構造や角運動量輸送について比較した詳細な解析結果を報告する。

[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](#)

P144a 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 (3) : 中間質量原始星 DK Cha のケーススタディ (II)

原田直人, 山崎駿, 佐伯優, 柳玉華, 町田正博(九州大), 徳田一起, 山崎康正(大阪府大/国立天文台), 立原研悟, 西岡丈翔, 深谷直史(名古屋大), 松下祐子(国立天文台), 深谷紗希子(鹿児島大), 大西利和(大阪府大), 平野信吾(東京大)

星形成過程が小質量星から大質量星にかけて変化するのかわかると明らかにするために、中間質量の原始星およびその周辺構造を観測することは重要である。Chamaeleon II 領域に存在する DK Cha(距離 ~ 240 pc) は赤外線観測で質量 $2-3 M_{\odot}$ 程度と見積もられた中間質量の原始星である (Spezzi+2008)。我々は太陽系近傍星形成領域の原始星に付随するアウトフローをターゲットとした ALMA アーカイブデータ (2019.1.01792.S) の解析を推進しており、アウトフローの統計的性質や特徴的なアウトフローを駆動する DK Cha の ^{12}CO の解析結果を報告してきた (山崎 他, 原田 他 2021 秋季年会)。本講演では引き続き DK Cha について他の輝線 (^{13}CO , C^{18}O) の解析結果を主に報告する。今回使用した解像度 $\sim 0.9''$ の CO 同位体の輝線データでは、どちらも北東から南西にかけて速度勾配の存在が明らかとなった。これは ^{12}CO のアウトフローの駆動方向と一致するが、この方向に対して位置速度図を作成したところスピニングアップした構造が見られたため、原始星周囲のガスの回転をトレースしていると考えられる。また、この図をケプラー回転でフィットしたところ、質量は赤外線観測の結果と矛盾せず、また van Kempen+2009 や我々のアウトフローの解析から示唆された通り、円盤を face-on に近い方向から見ていたことがわかった ($i \sim 30^\circ$)。さらに、両同位体で回転を示す成分とは異なるアーク状の青方偏移成分 (相対速度 $\sim 2 \text{ km s}^{-1}$) も検出された。この構造は ^{12}CO でも確認されており、本講演ではその形成要因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](#)

P145a 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(4): 小質量原始星 Ser-emb 15 のケーススタディ (I)

佐藤亜紗子, 山崎駿, 原田直人, 佐伯優, 柳玉華, 町田正博 (九州大), 山崎康正, 徳田一起 (大阪府大/国立天文台), 西岡丈翔, 立原研悟 (名古屋大), 松下祐子 (国立天文台), 深谷紗希子 (鹿児島大), 大西利和 (大阪府大), 平野信吾 (東京大)

近年の数値計算により、分子雲コアを貫く磁場構造などの初期条件次第では原始星からのアウトフローの向きが時間依存性を持つ場合があることが示されている (e.g., Machida et al. 2020)。また観測では、単一原始星から異なる方向に伸びた 2 組のアウトフローが発見された (Okoda et al. 2021)。このようなアウトフローの向きが動的に変化する現象が星形成初期段階における角運動量輸送の複雑な様相を明らかにする上で注目されつつある。我々は太陽系近傍星形成領域の原始星をターゲットとした角度分解能 $\sim 0.''68$ の ALMA アーカイブデータ (2019.1.01792.S) の解析を推進しており、アウトフローの形態学的な分類結果等を報告してきた (山崎 他 2021 秋季年会)。本講演では、Ser-emb 15 (Class I, 距離 429 pc, $L_{\text{bol}} \sim 1.7 L_{\odot}$; Hatchell et al. 2012, Francis et al. 2019) についての解析結果を報告する。 $^{12}\text{CO}(2-1)$ 輝線の解析より、Ser-emb 15 に相当する 1.3 mm 連続波源に付随する 2 組のアウトフロー候補が見つかった。1 つ目は観測視野外 (直径 $36''$) まで広がっていると思われる南北方向に伸びた双極構造であり、相対速度 $\sim 40 \text{ km s}^{-1}$ の高速度ジェット成分が中心に存在する。一方で 2 つ目は東方向に $\sim 8.''5$ 伸びた楕円状構造 (最大相対速度 $\sim 10 \text{ km s}^{-1}$) が確認でき、西方向にも数秒程度広がった構造が見られた。これは我々の解析データのうち 2 組のアウトフロー候補が確認された唯一の天体であり、それらを踏まえて形成要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](#)

P146a MAGellanic Outflow and chemistry Survey (MAGOS): the Power of LMC Protostellar Outflows

Kei E. I. Tanaka (CU Boulder, NAOJ), Yichen Zhang (RIKEN), Takashi Shimonishi (Niigata Univ.), Kengo Tomida (Tohoku Univ.), Jonathan C. Tan (Chalmers Univ., Univ. of Virginia), Hideko Nomura (NAOJ), John Bally (CU Boulder)

Star-forming environments have changed dramatically throughout cosmic history, and it is a fundamental question to understand whether or not star formation processes are universal or diverse in such varied environments. In particular, metallicity is an essential environmental difference between the early universe and the present-day Milky Way. However, so far, observational studies of individual star formation in sub-pc scales are primarily limited in the solar-metallicity Milky Way's disk. In order to investigate the dynamics and chemistry in low-metallicity star formation, we started a new project called "MAGellanic Outflow and chemistry Survey (MAGOS)." In this talk, we will present the scope of the MAGOS project and the first science results on LMC protostellar outflows. We target 40 massive protostars ($> 10^4 L_{\odot}$) in the low-metallicity nearby dwarf galaxies, the Large and Small Magellanic Clouds (LMC and SMC), with the 0.1-pc resolution observations by ALMA Band 7. We analyze the outflow properties (mass, momentum, and energy) of the first obtained 30 LMC protostars using the CO (3-2) line. The LMC outflow properties are statistically consistent with the Milky Way ones, suggesting the universality of star-formation dynamics in those two metallicity environments with $\sim 0.5 Z_{\odot}$ and $\sim 1 Z_{\odot}$.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P147a The Detection of a Hot Molecular Core in the Extreme Outer Galaxy

Takashi Shimonishi (Niigata University), Natsuko Izumi (ASIAA), Kenji Furuya (NAOJ), Chikako Yasui (NAOJ)

Interstellar chemistry in low-metallicity environments is crucial to understand chemical processes in the past metal-poor universe. Recent studies of interstellar molecules in nearby low-metallicity galaxies have suggested that metallicity has a significant effect on the chemistry of star-forming cores. We here report the first detection of a hot molecular core in the extreme outer Galaxy, which is an excellent laboratory to study star formation and the interstellar medium in a Galactic low-metallicity environment. The target star-forming region, WB 89-789, is located at a galactocentric distance of 19 kpc. Our ALMA observations in 241-246, 256-261, 337-341, and 349-353 GHz have detected a variety of carbon-, oxygen-, nitrogen-, sulfur-, and silicon-bearing species, including complex organic molecules (COMs) containing up to nine atoms, toward a warm (>100 K) and compact (<0.03 pc) region associated with a protostar. Deuterated species such as HDO, HDCO, D₂CO, and CH₂DOH are also detected. A comparison of fractional abundances of COMs relative to CH₃OH between this outer Galactic hot core and an inner Galactic counterpart shows a remarkable similarity. The results suggest that great molecular complexity exists even in the primordial environment of the extreme outer Galaxy. We also report the detection of another embedded protostar associated with high-velocity SiO outflows in the WB 89-789 region.

[スケジュール \(セッション毎\) 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 inventory of Nitrogen-bearing organics towards G+0.693-0.027

Shaoshan Zeng (RIKEN), Izaskun Jiménez-Serra (CSIC-INTA), Victor M. Rivilla (CSIC-INTA), Lucas Rodríguez-Almeida (CSIC-INTA) et al.

Among over 250 molecules discovered in the ISM, nitrogen-bearing (N-bearing) species, in particular N-bearing complex organic molecules (COMs), are of interest as many likely play a crucial role in prebiotic chemistry and thus are essential ingredients for the emergence of life. With the most recent unbiased spectral survey towards the Galactic Centre molecular cloud G+0.693-0.027 using the Yebes 40m and the IRAM 30m telescopes, I will present the census of N-bearing COMs detected towards this source, including the first detection of vinylamine (C₂H₃NH₂) and tentative detection of ethylamine (C₂H₅NH₂) in the ISM. As increasing evidences have suggested that G+0.693-0.027 might be the pre-stellar precursor of a massive star-forming cluster in the Sgr B2 region, our results show that extremely rich and amazing chemical complexity can be triggered in early evolutionary stages of molecule clouds.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P149a Vibrationally-excited Lines of HC₃N Tracing the Disk Structure around the G 24.78+0.08 A1 Hyper-compact H_{II} Region

谷口琴美 (NAOJ), 田中圭 (CU Boulder/NAOJ), Yichen Zhang (RIKEN), Rubén Fedriani (Chalmers Univ. of Tech.), Jonathan C. Tan (Chalmers Univ. of Tech./Univ. of Virginia), 高桑繁久 (Kagoshima Univ./ASIAA), 中村文隆, 齋藤正雄 (NAOJ), Liton Majumdar (NISER), Eric Herbst (Univ. of Virginia)

We have analyzed ALMA Band 6 data toward the G 24.78+0.08 A1 hyper-compact H_{II} region (hereafter G 24), and report detection of vibrationally-excited lines of HC₃N ($v_7 = 2$, $J = 24 - 23$) that trace the disk structure around this massive protostar. The spatial distribution and kinematics of the HC₃N ($v_7 = 2$, $J = 24 - 23$, $l = 2e$) line are found to be similar to those of the CH₃CN vibrationally-excited lines ($v_8 = 1$). We derived the ¹³CH₃CH/HC¹³CCN abundance ratios in this source and compared them to the CH₃CN/HC₃N abundance ratios in Herbig Ae and T Tauri stars. The ¹³CH₃CH/HC¹³CCN ratios in G 24 are higher than the CH₃CN/HC₃N ratios in the other disks by more than one order of magnitude. The high CH₃CN/HC₃N ratios in G 24 suggest thermal desorption of CH₃CN in hot dense gas and efficient destruction of HC₃N in the region irradiated by the strong UV radiation. These results indicate that the HC₃N lines can be used as a disk tracer of massive protostars, and these nitrile species will be a good indicator for physical conditions of the disk structures. Finally, based on the two peaks seen in the free-free emission and the H30 α recombination line, we briefly discussed the possibility that the central ionizing source of G 24 is composed of a binary.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P150a Hot Corino Activity in IRAS 15398–3359 at a 50 au Scale

Yuki Okoda, Yoko Oya (U. Tokyo), Doug Johnstone, Logan Francis (NRC-Herzberg/U. Victoria), Cecilia Ceccarelli (IPAG), Claire Chandler (NRAO), Claudio Codella (Arcetri), Nami Sakai (RIKEN), Satoshi Yamamoto (U. Tokyo), and FAUST Team

IRAS 15398–3359 is a low-mass Class 0 protostellar source in the Lupus 1 molecular cloud ($T_{\text{bol}}=44$ K, $d=155$ pc). This source is known to be rich in carbon-chain species such as C₄H, C₄H₂, CH₃CCH, and HC₅N (Sakai et al. 2009). The infalling-rotating envelope and the Keplerian disk are identified by using the CCH and SO line emission, respectively (Okoda et al. 2018). Complex organic molecules including high excitation CH₃OH lines were not detected in the previous observations, and hence, it was recognized as a WCCC source.

We have conducted observations toward this source at a resolution of ~ 50 au as part of the ALMA large project FAUST (Fifty AU STudy of the chemistry in the disk/envelope system of Solar-like protostars). We detect a few high excitation lines of CH₃OH toward the continuum peak position, among which the highest one is 20_{3,17} – 20_{2,18}, A ($E_u=373$ K). This is the first detection of such a high excitation CH₃OH line in this source. The distribution is compact and slightly elongated along the north and south direction around the protostar (<80 au). Furthermore, the faint emission of HCOOCH₃ can be seen toward the continuum peak. Recent ALMA observations reveal some ‘hybrid chemistry’ sources where WCCC and hot corino chemistry coexist on different scales (e.g., B335; Imai et al. 2016 and L483; Oya et al. 2017). Our observational results suggest a hybrid chemical nature of IRAS 15398–3359.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P151a IRAS 16293–2422 Source A の星周円盤における複雑な飽和有機分子の分布

大屋瑠子, 矢口公貴, 李維遠, 山本智 (東京大学)

へびつかい座にある Class 0 低質量原始星連星 IRAS 16293–2422 ($d \sim 140$ pc) は、連星系を成す Source A と Source B のいずれもが複雑な飽和有機分子に富む代表的な hot corino 天体として知られる。Source A 自体も連星系または多重星系であり、原始星 A1, A2 の天球面上での距離は 50 au と非常に近接している (2020 年春季年会他)。我々は、このような連星系 (多重星系) 形成における分子分布の特徴を明らかにするために、ALMA を用いて波長 3 mm 帯で 30 au を切る高解像度観測を行った。

その結果、メタノール (CH_3OH , CH_2DOH), エタノール ($\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$), エチレングリコール ($(\text{CH}_2\text{OH})_2$) について、複数の輝線を検出した。4 種の分子種のいずれでも、北東-南西に向けた速度勾配が見られた。これは従来知られていたガスの回転運動の方向と矛盾しない。原始星 A1 の位置と比較して、原始星 A2 の位置ではこれらの有機分子輝線の強度が弱くなる傾向が見られた。有機分子の柱密度と励起状態、また光学的な厚みの影響が、2 つの原始星に付随するガスの間で異なっていることが考えられる。

この天体は、原始星 A1 に付随する星周円盤 (半径 < 50 au) と、その外側で Source A 全体を取り巻く circummultiple 構造の、少なくとも 2 つの回転ガス構造をもつ。これらの物理構造と対応して、有機分子の分布に違いが見られた。 CH_3OH の比較的低励起の輝線 ($E_u = 22$ K) は circumstellar disk よりも広がって分布し、circummultiple 構造の一部とアウトフロー構造の根本にも検出された。 CH_3OH の高励起線 ($E_u = 729$ K) および CH_2DOH は星周円盤で検出され、 $(\text{CH}_2\text{OH})_2$ は A1 から半径 $\lesssim 40$ au のコンパクトな領域に集中する傾向が見られた。反対に、 $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ の一部の輝線は星周円盤の外縁で検出され、この位置での物理構造の遷移との関連が示唆される。

[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](#)P152a High $\text{NH}_2\text{D}/\text{NH}_3$ ratios around the low-mass protobinary NGC1333 IRAS4A

Yoshihide Yamato (U. Tokyo), Kenji Furuya (NAOJ), Yuri Aikawa (U. Tokyo), Magnus V. Persson (Chalmers University of Technology), John J. Tobin (NRAO), Vianny Taquet (INAF), Jes K. Jørgensen (University of Copenhagen), Mihkel Kama (University of Cambridge)

Investigating molecular isotopic ratios such as D/H ratios around low-mass protostars is essential to understand the chemical origin of our Solar system. In the hot ($\gtrsim 100$ K) region around protostars, major volatiles such as H_2O , CH_3OH , and NH_3 have sublimated from the dust grain surface to the gas phase, allowing us to constrain its abundance or isotopic ratio with radio molecular line observations. We observed multiple NH_3 and NH_2D transitions toward the protobinary system NGC1333 IRAS4A (4A1 and 4A2) with Karl G. Jansky Very Large Array (VLA) at a high angular resolution ($\sim 1''$ or ~ 300 au). We detected NH_3 high excitation lines toward both of the binary, indicating the hot NH_3 gas in the vicinity of the protostars. Two NH_2D high excitation lines are also tentatively detected. Employing the local thermodynamical equilibrium (LTE) analysis, we found remarkably high $\text{NH}_2\text{D}/\text{NH}_3$ ratios of ~ 0.9 and ~ 0.5 with excitation temperatures of ~ 90 K and ~ 150 K for 4A1 and 4A2, respectively. Such high $\text{NH}_2\text{D}/\text{NH}_3$ ratios may indicate relatively late formation of NH_3 ices in the parental molecular cloud, or spatially unresolved physical and/or chemical structures as also hinted by the narrower line widths of NH_2D lines. The higher $\text{NH}_2\text{D}/\text{NH}_3$ ratio and lower excitation temperature in 4A1 may be explained as follows; only the outer surface of layered ices, which has a higher molecular D/H ratio, have sublimated in 4A1 due to its lower temperature, while ices have fully sublimated in 4A2.

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

P153a PEACHES IV: Sulfur-bearing Molecules in Protostars in the Perseus Molecular Cloud

Ziwei E. Zhang ¹, Yichen Zhang ¹, Yao-lun Yang ², Nami Sakai ¹ and the PEACHES team,

¹ The Institute of Physical and Chemical Research (RIKEN).

² Department of Astronomy, University of Virginia.

In low-mass protostars, sulfur-bearing molecules (e.g., SO and SO₂) are effective probes for the heated regions, such as shocked gas around the accretion disks and along the outflow cavity walls. The unbiased Perseus ALMA Chemical Survey (PEACHES) covers ~ 50 protostars in Perseus, ~ 20 of which are abundant with sulfur-bearing molecules (SO, ³⁴SO, SO₂, and CS are detected around the central sources). Here we present the distributions and analyses of sulfur-bearing molecules in the sulfur-rich protostars from PEACHES survey. The molecular abundances and physical properties are estimated with NLTE calculations. Overall, SO/SO₂ emission concentrate at shocked-regions while CS emission is more extended. For Class I sources, sulfur-species are often enhanced around the disks due to the accretion shocks. While for the younger Class 0 sources, SO/SO₂ emission are often associated with outflows and dynamic interactions.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P154a Temperature structure of the Class I protostar Elias 29 and its environment

Eri Saiga, Yoko Oya (U. Tokyo), Anna Miotello (ESO), Cecilia Ceccarelli (IPAG), Claudio Codella (Arcetri), Claire Chandler (NRAO), Nami Sakai (RIKEN), Satoshi Yamamoto (U. Tokyo), and FAUST Team Members

Elias 29 is a low-mass Class I protostar in the Ophiuchus molecular cloud complex. With ALMA, Oya et al. (2018) revealed that this source consists of a compact component (~ 50 au) associated to the protostar and a southern ridge component apart from the protostar by 500 au. In the ALMA FAUST program, we identified a parabolic outflow cavity feature in the C¹⁸O and SO emission and revealed that it interacts with the southern ridge. In addition, we found a bow shock on the 500 au eastern side of the protostar in the SO emission, which would be an evidence of a protostellar jet. (ASJ meeting in September 2021)

To further characterize the complex structures of this source, we here explore its temperature structure. We prepare the 2D intensity ratio map of SO($J_N = 6_6 - 5_5$)/SO($J_N = 6_5 - 5_4$) and find the relatively high temperature at the interaction region of the outflow cavity and the bow shock point. We investigate the gas kinetic temperature and the SO column density of this source with LVG model at several points by using the two SO line data as well as the ³⁴SO($J_N = 5_6 - 4_5$) line data. As a result, we find high temperatures (~ 50 K) of the outflow interaction region and the bow shock point, which clearly indicates the shock heating. Furthermore, a relatively warm region is found to be extended in the southern ridge, which would be related to the peculiar chemical composition in this source, i.e., absence of complex organic molecules and low deuterium fractionation.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P201a 原始惑星系円盤の温度進化計算のための大局 2 層モデルの開発

奥住聡 (東京工業大学), 植田高啓 (国立天文台), Neal J. Turner (NASA/JPL)

原始惑星系円盤の温度構造の正確な理解は、惑星形成の解明や円盤観測の解釈のために必須である。惑星形成の理論研究では、中心星の放射を主な加熱源とする円盤の温度構造の計算に対して、「2 層モデル」と呼ばれる簡便な輻射輸送モデル (e.g., Chiang & Goldreich 1997) がしばしば用いられてきた。これは、まず円盤表面が中心星の放射光を吸収し、次に円盤表面の熱放射 (赤外再放射) が直下の円盤内部を加熱すると仮定して、円盤内部温度を求めるものである。この 2 層モデルは簡便であるという利点を持つ一方、中心星の光が当たらない表面領域 (いわゆる影領域) の直下の温度を計算することができないという欠点を持つ。影領域は円盤中でダストの成長や移動によって容易に形成されるため (e.g., Ueda, Okuzumi, & Flock 2019)、2 層モデルは円盤ダスト進化に応じた円盤温度分布の進化を求めるには不向きである。さらに、熱波不安定性と呼ばれる、影領域の形成を伴う円盤不安定性 (Watanabe & Lin 2008) を取り扱うことも不可能である。

本研究は、従来の 2 層モデルを修正した新しい円盤輻射輸送モデル「大局 2 層モデル」を提案する。このモデルは、円盤の軸対称性を仮定する代わりに、赤外再放射光が鉛直方向・動径方向の両方に輸送される過程を解析的に計算するものである。この手法のもとでは、影領域の直下の円盤内部温度を計算することが可能である。我々は、この大局 2 層モデルと非定常エネルギー方程式を用いて、円盤温度分布の非定常な進化を追跡するシミュレーションコードを開発した。このコードは、オパシティ源であるダストの成長や動径輸送も実装しており、円盤のダストと温度構造の同時進化を追跡することも可能である。本発表では、モンテカルロ輻射輸送計算との比較による大局 2 層モデルの検証と、大局 2 層モデルを用いた熱波不安定性のシミュレーションの結果を紹介する。

[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](#)

P202a 鉛直シア不安定性乱流に対する原始惑星系円盤の熱緩和構造の影響

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ダスト進化は、円盤のガス乱流の影響を受ける。近年、円盤乱流の生成機構として、純粋な流体不安定性である鉛直シア不安定性 (Vertical Shear Instability: VSI) が注目されている。VSI は円盤ガスの回転速度の鉛直勾配 (Urpin & Brandenburg 1998) と、円盤の素早い熱緩和 (Nelson et al. 2013) によって駆動する。これらの熱緩和はダストに依存し、現実的なダスト構造を考えると、VSI の駆動領域は円盤の一部に限られる (Fukuhara et al. 2021)。しかし、円盤ダストと整合的な熱緩和時間構造下で駆動する VSI 乱流の詳細な性質については未解明である。VSI はダストを強く巻き上げるような乱流を駆動する (Flock et al. 2017, 2020) ことから、駆動領域制限下での VSI 乱流の詳細理解は、円盤内ダスト進化を理解する上で必須である。

本研究の目的は、駆動領域が制限される円盤熱緩和構造下での VSI 乱流の詳細な性質を数値流体シミュレーションによって解明することである。我々の計算では、円盤ダストの空間分布と整合的になるよう熱緩和時間を空間変化させた。このときの熱緩和構造として、VSI の安定層が赤道面付近に存在し、その安定層を熱緩和が効率的に起こる不安定層が挟んでいる状態を仮定した。これらの不安定層と安定層の厚さをパラメータにし複数通り計算することで、VSI 乱流の熱緩和時間の空間分布依存性を調べた。その結果、不安定層の厚さがガスのスケールハイトより大きく、安定層の厚みがガスのスケールハイトより小さい場合のみ VSI 乱流が駆動することがわかった。また VSI 乱流は、赤道面にある安定層を貫通する場合と、不安定層のみで乱流が駆動し安定層では駆動しない場合があることがわかった。さらに、VSI 乱流の鉛直拡散係数を計算し、不安定層と安定層の厚さ依存性を解明した。これは、円盤の熱緩和構造から VSI 乱流の鉛直拡散係数が推定することが可能であることを意味する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P203a 原始惑星系円盤の磁束輸送: 電離度と降着流の鉛直構造を考慮したモデル化

榎本晴日, 奥住聡 (東工大)

円盤を貫く大局的な磁場によって駆動される乱流や円盤風は、円盤降着を引き起こす主要な機構である。これらの過程における降着輸送の効率は、大局的な鉛直磁場の強さで決まる。従って、円盤内の物質の降着プロセスを考えるためには、円盤の大局鉛直磁場の分布がどのように進化するかを理解することが必要である。これまで、大局鉛直磁場の時間発展は平均場モデル (e.g., Lubow et al. 1994; Okuzumi et al. 2014) によって調べられてきた。しかし過去の平均場モデルでは、円盤ガスの電気伝導度と降着速度をフリーパラメータとして扱っていたため、現実的な原始惑星系円盤で大局鉛直磁場が具体的にどのように進化するかは明らかでなかった。

本研究の目的は、原始惑星系円盤の現実的な電離モデルと磁気降着モデルを磁場輸送の平均場モデルに組み込み、大局鉛直磁場の動径方向の輸送を定式化することである。電離度分布については、ダストを含む解析的な電離平衡モデル (Okuzumi 2009) を用いて磁気拡散率の動径・鉛直分布を求めた。円盤降着については、円盤表面付近の薄い層に降着が集中するという近年の非理想磁気流体シミュレーションの結果 (Bai 2013) に基づき、降着流の高度と流速を電離度鉛直分布と鉛直磁束強度から決定する解析モデルを構築して適用した。

上記のモデルを用いて、原始惑星系円盤において大局鉛直磁場の内側方向への移流と外側方向への拡散のいずれかが優勢になるかを調べた。その結果、内側移流と外側拡散の効率の比は、降着層におけるプラズマベータ (ガス圧と磁気圧の比) により決まることがわかった。ただし、このプラズマベータ依存性は弱く、円盤の動径位置に強く依らずに外側拡散がやや優勢になることもわかった。

[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](#)

P204a 磁場に沿った宇宙線の伝播と原始惑星系円盤の電離率分布

藤井悠里 (京都大学), 木村成生 (東北大学)

原始惑星系円盤は銀河宇宙線、星からの X 線・紫外線、放射性核種の崩壊などの電離源によって弱く電離されている。円盤の電離度は、磁場とガスとの相互作用の強さを決めるため、磁気流体力学的な円盤進化を議論する上で不可欠な情報である。また、化学進化においても、水素などのガスの電離が様々な化学反応を誘発することが知られている。X 線や紫外線は減衰長が短いため、面密度が高い領域の赤道面付近では、宇宙線が原始惑星系円盤の力学的・化学進化な進化に重要な役割を担う電離源であると考えられている。従来の円盤内部における宇宙線電離率の見積もりでは、その場所から鉛直方向に円盤表面までの柱密度を使用して衝突による減衰を計算していた。しかし、荷電粒子である宇宙線は磁場に沿って円盤内部を伝播すると考えられる。

本研究では、速度シアによって生成されるトロイダル磁場に沿った宇宙線の伝播を考慮し、円盤各点における電離率を見積もった。その結果、従来の見積もりと比べ、円盤内側では赤道面付近の電離率が著しく減少する一方、円盤上空や半径が大きい領域では電離率が高くなるという結果が得られた。これは、円盤内側では宇宙線がトロイダル磁場に沿って迂回してくるため、赤道面に到達する前にエネルギーを失うからである。円盤外側では迂回を考慮しても宇宙線が赤道面へと到達するため、迂回する分だけ宇宙線密度が上昇して電離率が上昇する。本研究の結果は、近年のアルマ望遠鏡による観測結果とも整合的である。

[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](#)

P205a 磁気流体シミュレーションを用いた遷移円盤周りの星風構造の調査

海野真輝, 高棹真介 (大阪大学)

原始惑星系円盤の進化において中心星は重要なエネルギー源であるため、星が円盤に与える影響を包括的に理解することが重要である。これまでの円盤研究では中心星の重力や輻射のみが主に考慮されていたが、星風の影響は無視されてきた。一般に若い星からは超音速のプラズマが星風として放出されている。例えば T Tauri 型星の星風による質量放出率は $10^{-13} \sim 10^{-10} M_{\odot}/\text{yr}$ と予想されている (Cranmer et al. 2017)。対応する運動エネルギー放出率は $10^{28} \sim 10^{31} \text{ erg/s}$ で、これは星の X 線や円盤に届く EUV 光度に匹敵する (Alexander et al. 2014)。また星風が円盤表面に届くと動圧などを通じて円盤構造にも影響を与える可能性がある。しかし円盤に対する星風の影響の定量評価は未だ十分でない。おそらくその背景には星風の質量放出率が観測で十分に制約されていないことにある。そのため円盤進化の理解には星風が円盤にもたらす影響の評価と星風質量放出率の観測可能性の調査の両方が必要である。我々はこれらの点を定量的に調べるため、星風が円盤に衝突する様子が考察しやすい遷移円盤を例にとり、遷移円盤が星風にさらされている状況を二次元軸対称磁気流体シミュレーションによるパラメータ調査を実行した。星風が円盤内縁に衝突すると円盤内縁から上空へ弓形状の衝撃波が形成し、その後面のプラズマの温度は EUV を放射できる 10^5 K 程度かそれ以上になった。しかし衝撃波後面から放射される EUV 光度を見積もったところ、EUV 光蒸発モデルでよく仮定される T Tauri 型星の EUV 光度 $\sim 10^{31} \text{ erg/s}$ (e.g., Alexander et al. 2014) よりは十分低い結果となった。また、円盤磁場は高温な衝撃波後面と円盤を絶縁しかつ星風の向きを変えることで、円盤構造を星風から守る役割を果たすことがわかった。さらに観測から星風質量放出率を制限できるか検討するため、衝撃波後面の熱構造についても調査した。

[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](#)

P206a Early Planet Formation in Embedded Disks (eDisk): First-look results

Nagayoshi Ohashi (ASIAA, Taiwan) and the eDisk collaboration

Exoplanets are now ubiquitous, and a question of when and how these exoplanets are formed becomes one of hot topics in the modern astrophysics. Planets are considered to be formed in circumstellar disks, often called “protoplanetary disks” around new-born stars. Recent high angular resolution and high sensitivity observations have allowed us to witness signs of planet formation in protoplanetary disks around optically visible pre-main-sequence (PMS) stars, which are not embedded in their parental dense molecular clouds any more. This raises an obvious question whether planet formation might begin even when star-disk systems are still embedded in their parental dense molecular clouds. This question is important for us to correctly understand the initial condition of planet formation.

In order to explore this question, we have started an ALMA large program “Early Planet Formation in Embedded Disks (eDisk)” (PI: N. Ohashi). We aim to observe 17 embedded young stellar objects (YSOs) in nearby ($< 200 \text{ pc}$) star forming regions in 1.3 mm continuum emission and various molecular lines, including $\text{C}^{18}\text{O} (2-1)$, at an angular resolution of $\sim 0.04''$ corresponding to $\sim 5 \text{ au}$. Although the program was approved in 2019, the observations have started only recently because of the pandemic. The observations are still on-going as of December 2021, while some of data sets have been delivered. In my presentation, I will make a progress report of the program, including the first-look 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](#)

P207a 低質量天体 ZZ Tau IRS 周囲の原始惑星系円盤における非軸対称リング構造

橋本淳 (アストロバイオロジーセンター), Ruobing Dong (ビクトリア大学), 武藤恭之 (工学院大学)

近年、ALMA 望遠鏡による原始惑星系円盤の高解像度観測によって、円盤内に様々な構造が見出されている。高解像度観測のターゲットとしては明るい天体である必要があり、そのため、質量の比較的大きな天体が選択的に観測される傾向がある。そこで、様々な天体に見出されているようなギャップ構造やリング構造が、低質量の天体にも存在するかどうか問題となる。

本発表では、超低質量天体 ZZ Tau IRS 周囲に存在する原始惑星系円盤の構造の、ALMA 望遠鏡による観測結果を報告する。ZZ Tau IRS は、質量が 0.1-0.3 太陽質量程度の低質量天体だが、339 GHz における円盤の明るさが 274 mJy と明るく、空間分解した観測が可能である。本天体を Band 7 において 0.25 秒程度の空間分解能で Band 7 の観測を行ったデータを ALMA アーカイブから見出し、その再解析を行った。その結果、本天体の周囲には、ダスト連続波で半径 60 天文単位程度のリング構造を持った原始惑星系円盤が存在していることが分かった。このリングは非軸対称な構造をしており、その非軸対称性を特徴づけるパラメータ (非軸対称構造のコントラストや幅など) は、質量の大きな天体の周囲の円盤に見られる非軸対称構造とよく似ていた。このことから、低質量天体周囲の原始惑星系円盤においても、太陽質量かそれ以上の質量の星の周囲の原始惑星系円盤と似たような現象が起こることが示唆される。本講演では、この結果が惑星形成に与える示唆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](#)

P208a ALMA 多波長観測で明らかにした CW Tau 周りの大質量コンパクト円盤

植田高啓, 片岡章雅, 塚越崇 (国立天文台)

近年の ALMA 観測によって 100 au を超えるような大きなダスト円盤の詳細構造が明らかとなってきた。その一方で、ダスト円盤のサーベイにより、多くの天体は半径 50 au を切るようなコンパクトな円盤であることが明らかとなっており、コンパクト円盤に注目が集まっている。本発表では、T-Tauri 型星 CW Tau 周りのコンパクト円盤の角度分解能 0.1 arcsec を切る高解像度 ALMA 多波長観測 (Band 4, 6, 7, 8) の結果を報告する。まず、今回得られた 4 波長および先行研究で得られた波長 3.6 mm のフラックスをもとに SED を作成した。その結果、ALMA Band 8 (波長 0.75 mm) から 6 (1.34 mm) にかけてはスペクトルインデックス α が 2 程度、Band 4 (2.2 mm) から 3.6 mm にかけては ~ 3.7 となった。これは、短波長側では光学的に厚く、長波長側では光学的に薄くなかつダストが小さいことを示唆している。さらに、ダスト温度・面密度・最大ダストサイズをパラメータとして、4 波長の ALMA データのフィッティングを行なった。その結果、(1) ダスト面密度は半径の -1 乗のべき乗分布によく一致し 50 au で急激に減少する、(2) ダストサイズは $\sim 100\text{--}300 \mu\text{m}$ 程度が望ましい、(3) ダスト総質量は 250 地球質量にも上る、(4) ダスト面密度を 100 倍して予想されるガス円盤質量が重力不安定条件 (Toomre の $Q = 1$) に非常に近い、(5) 20 au 付近にギャップ構造をもつことがわかった。このように、CW Tau 周りのダスト円盤は、比較的小さいにも関わらず非常に重く、ガス惑星のコアを作るのに十分な質量をもつ。本発表では、これらの結果について述べた上で、コンパクト円盤での惑星形成の可能性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](#)

P209a Taurus Class II 原始惑星系円盤の ALMA 超解像サーベイ: I. 円盤の下部構造

山口正行 (東京大学, 国立天文台), 川邊良平, 塚越崇, 野村英子, 中里剛 (国立天文台), 武藤恭之 (工学院大学), 池田思朗 (統計数理研究所)

スパースモデリング (SpM) を応用した電波干渉計の超解像画像復元法は、ALMA 観測データの原始惑星系円盤に有効であることが実証されつつある (Yamaguchi et al. 2020, 2021). 本研究は、この既存手法を適用することで、従来法 (CLEAN) の空間分解能を超える超解像度領域から、ダスト円盤内に潜むギャップ (円環状の空隙) やリングなど、惑星形成の間接的証拠となりうる下部構造を探索した. 対象天体は、Spitzer/ALMA 望遠鏡で確認された M3-A1 型星周囲の Taurus Class II 円盤の計 40 個 ($d \simeq 140$ pc) である. 我々は ALMA Band 6 (1.3 mm) のアーカイブデータから、従来法の空間分解能 $0''.05 - 0''.20$ 、かつ画像上の信号雑音比 $\text{SNR} > 30$ を満たす高品質の観測データを取得・解析を行った. その結果、SpM は従来法と比べ、約 2-3 倍の空間分解能 ($0''.02 - 0''.1$) を達成した. 空間分解されたダスト円盤の外縁半径 r_d は、8 - 214 au (中央値は 45 au) に渡る. 円盤の下部構造は、その外縁半径に関係なく検出され、ギャップ構造 (16 天体)、単一リング構造 (4 天体) が確認された. 下部構造は十分に空間分解されていないが、ギャップ候補を示唆する円盤は 8 個まで確認された. 円盤のギャップ位置 r_{gap} は、 $r_{\text{gap}} = 6 - 131$ au まで広範囲に分布し、ギャップ位置を円盤外縁半径で規格化した数値 r_{gap}/r_d は、0.1 または 0.4 - 0.7 に集中する. さらに、DSHARP のギャップ円盤 8 個を含めてサンプル数を拡張すると、円盤のギャップサイズ (幅と深さの積) は、主星のスペクトル型 (質量) に依存する傾向が見られた. G-F-A 型星 ($1.5 - 2.5 M_{\odot}$) は、M-K 型星 ($0.3 - 1.5 M_{\odot}$) よりもギャップサイズが約 1 桁まで高い数値を示した. 本講演は、これらの結果を報告するとともに、ALMA 実観測データを用いた SpM の性能評価から、その画像再構成の信頼性を議論する.

[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](#)

P210a Subaru/VAMPIRES を用いた $H\alpha$ 高コントラスト撮像: 原始惑星系円盤内における惑星形成とジェットの検出

鶴山太智 (国立天文台/Caltech-IPAC/NExSCI), Currie Thayne (NAOJ/NASA-AMES), 高見道弘 (ASIAA), 田村元秀 (東京大学/ABC/国立天文台), SCEXAO/VAMPIRES team

近年の補償光学装置の発展により従来の近赤外線だけでなく可視光において高コントラスト撮像を行うことが可能となり、惑星形成や原始惑星系円盤進化のメカニズムに対して重要な情報を持つ $H\alpha$ 輝線 (656.3 nm) を用いた新たな観測的アプローチを進められるようになった. すばる望遠鏡の超補償光学装置 SCEXAO に取り付けられている VAMPIRES は偏光観測/aperture masking/ $H\alpha$ 観測等の複数の機能を備えているが、特に補償光学+ $H\alpha$ 観測を北天で唯一行うことができるユニークな装置 (Uyama et al. 2020) であり、現在は主に原始惑星系円盤をターゲットとした $H\alpha$ 探査を進めている. 本講演では現在までの観測成果、1) 新たに発見された原始惑星への質量降着、2) ジェット構造の $H\alpha$ モニタリング観測について紹介すると共に、今後の補償光学+ $H\alpha$ 観測における展望を議論する.

[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](#)

P211b thin-disk 近似を用いた 1 次元自己重力磁気流体力学コードの開発

小林雄大、塚本裕介 (鹿児島大学)

近年の精力的な研究により原始惑星系円盤の形成シナリオは明らかになってきている。たとえば、観測的な研究では、分子雲コアや原始惑星系円盤をもつ若い天体 (Young Stellar Objects, YSOs) などが観測されている。特に回転円盤を持つ若い天体としては、ALMA によって観測された HL tau が代表的である。

一方で理論的には原始惑星系円盤の進化には磁場の効果が重要であり、主に 3D 磁気流体力学シミュレーションによって研究がなされてきた。例えば Machida et al 2011 では、オーム散逸を考慮した 3D 非理想 MHD シミュレーションにより、原始惑星系円盤がケプラー回転をしながら成長するという結果が得られている。また、Tsukamoto et al 2017 では、オーム散逸、ambipolar diffusion、ホール効果の 3 つの非理想 MHD 効果を考慮した 3D シミュレーションを行い、初期の分子雲コアの角運動量ベクトルと磁場ベクトルが平行の場合に比べ、逆平行の場合に円盤のサイズが大きくなることがわかっている。他にも私が 2021 年秋季年会でポスター発表した研究では、円盤のサイズは分子雲コアの初期磁場の強さに相関があることがわかっており、これは Wurster et al 2019 でも同じような結果が得られている。

一方で、ここで紹介したような 3D シミュレーションでは、second core 形成後に計算内の時間ステップの制約により進化が停止してしまうため、円盤の 1000 万年にわたる長時間進化をトレースすることが困難である。そこで本研究では thin-disk 近似を用いた 1 次元自己重力磁気流体力学コードを開発し、それを用いて分子雲コアから Class II/III 天体までの一貫したシミュレーションを行うことを目的としている。本発表では現在の開発状況の報告と今後の展望について議論していきたい。

[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](#)

P212b 原始惑星系円盤における磁束輸送過程

岩崎一成 (国立天文台), 富田賢吾 (東北大学), 高棹真介 (大阪大学), 奥住聡 (東京工業大学), 鈴木建 (東京大学)

原始惑星系円盤の構造決定にはガスの角運動量輸送過程が重要な役割を果たしている。我々は原始惑星系円盤の構造を総合的に明らかにするために、磁気回転不安定性 (Balbus & Hawley 1991) が働く内側と、外側に存在するデッドゾーンを計算領域 ($0.1 \text{ au} \leq r \leq 10 \text{ au}$) に含む広いダイナミックレンジをもつ大域的な非理想磁気流体シミュレーションを Athena++ を用いておこなっている。

角運動量輸送メカニズムは垂直磁場強度に依存するため、円盤における磁束輸送が円盤の長時間進化を解明する上で重要である。アクティブゾーン内側では、円盤上空のガス降着に引きずられ磁束は内側に輸送されることがわかった。一方、デッドゾーンでは、垂直磁場は外側に輸送される。輸送速度は、垂直磁場の表面ガス降着流による引きずりと、両極性拡散による外側への拡散の差し引きで決まる。したがって、円盤表面での拡散係数の空間分布が輸送速度を決める。我々の採用した円盤モデルと磁気拡散係数 (Okuzumi 2009) では、デッドゾーンでの磁束の輸送速度 v_B は、1 au において $v_B \sim 10^{-2} \text{ au yr}^{-1}$ となり、極めて大きい。また、デッドゾーンの内縁領域には、垂直磁場がほぼゼロとなる散逸領域が形成され、それが時間とともに広がることがわかった。

[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](#)

P213b 磁場を考慮した鉛直シア不安定性由来の乱流

小野智弘 (東京工業大学), 福原優弥 (東京工業大学), 奥住聡 (東京工業大学)

惑星形成を理解する上で、惑星形成の現場である原始惑星系円盤の中に存在する乱流は重要だ。乱流は円盤中で角運動量の輸送機構となるだけでなく、ダストの空間分布にも影響を与える。円盤乱流の発生機構として、従来から磁気回転不安定性 (MRI) が主要であると考えられてきた。しかし、近年の研究から原始惑星系円盤の広い領域で電離度が低いことが明らかになっている。そのような領域では非理想 MHD 効果によって MRI 乱流の発生が抑制される。低電離度領域における乱流の発生機構として、MRI に代わって注目を集めているのが鉛直シア不安定性 (VSI) だ。これまで多くの数値シミュレーションで VSI 乱流の性質が調べられてきたが、それらのほとんどで磁場の影響が無視されてきた。これは、グローバル計算において磁場を考慮すると数値計算コストが高くなるのが要因だと考えられる。しかし、現実的な乱流を調べるためには磁場がある環境で数値シミュレーションを行い VSI 乱流を調べる必要がある。

我々は数値流体コード Athena++ を使用して MHD シミュレーションを行い、発生した円盤乱流の性質を調べた。その際、局所系でも VSI が起こるように設定を工夫することで大幅な数値計算コストの削減に成功した。角運動量輸送効率に関しては MRI 乱流と VSI 乱流どちらの場合でもほとんど変わらないが、乱流構造は大きく異なる。MRI 乱流中では小スケール渦が多く発生し、強い非軸対称性を持つ。一方で、VSI 乱流中では鉛直方向に伸びた大スケール渦が発生し、非軸対称性も弱い。シミュレーションの結果、VSI と MRI がどちらも起こるような環境では乱流構造は VSI 乱流に近いことが分かった。また、非理想 MHD 効果であるオーム抵抗や両極性拡散が乱流に与える影響についても本公演で紹介する。

[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](#)

P214c パブリックコードを用いた理想気体の状態方程式とオパシティのテーブル構築

廣瀬重信 (海洋研究開発機構)

輻射流体力学シミュレーションを行う場合、状態方程式とオパシティの両方が必要となる。シミュレーション結果は両者に依存するため、相互比較のためにも業界で同じ数値データが用いられることが望ましい。しかし現状は、ユーザが個々に自身の目的に応じて数値データを用意するのが普通である。また、本来、状態方程式とオパシティは同じ化学平衡組成をもとに計算されるものであるが、実際にはそうっていないケースがしばしば見られる。これらの問題の要因は、ガスのオパシティ計算を行う整備されたパブリックコードがなく、既存のパブリックテーブルを使わざるを得なかったことにある。そこで我々は、ユーザが用意した化学平衡組成をもとにガスオパシティを計算するパブリックコード Optab の開発を行った (Hirose et al. 2021)。一方で、天体物理学をターゲットとした化学平衡計算を行うパブリックコードは近年整備されている。つまり、これらを用いれば、パブリックコード (およびパブリックデータ) だけで、同じ化学平衡組成をもとにした状態方程式とオパシティを計算することができる。本講演では、具体的に、化学平衡計算のパブリックコードとして FastChem (Stock et al. 2018)、オパシティ計算のパブリックコードとして Optab (ガス) と DSHARP (ダスト; Birnstiel et al. 2018) あるいは DIANA (ダスト; Woitke et al. 2016) を用いて、整合性のある状態方程式とオパシティテーブルを構築する方法について議論する。

[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](#)

P215a 低温かつ任意のダストサイズ分布で正確な磁気抵抗値の解析モデルの開発

塚本裕介 (鹿児島大学), 奥住聡 (東京工業大学)

円盤の形成や進化において非理想磁気流体力学過程 (non-ideal MHD) は重要な役割を果たす。この non-ideal MHD の強さをきめるのが磁気抵抗値である。この磁気抵抗値は多くのシミュレーション研究においてイオン化学反応ネットワークをあらかじめ解いて、テーブル化したものが用いられてきた。

しかしながら、あらかじめテーブル化するためには、テーブルの次元を小さく保つためにパラメータ数を (密度と磁場強度のように) 少なくする必要がある。また、円盤内部などの高温領域では、ダストが数 10 から数 100 荷まで帯電するため、通常の化学反応で考慮すべきダスト種が膨大になるという困難があった。

このような困難は、解析的な磁気抵抗値モデルを構築し、毎ステップごとに磁気抵抗値を計算することで解決できる。しかし、既存の解析モデル (例えば Okuzumi+09) は、円盤内部の高温領域やダストサイズが 0.1 ミクロン以下の場合に適用できないという困難があった。

そこで我々は、任意の温度とダスト分布において正確な解析的な磁気抵抗値モデルを構築した。我々のモデルは既存の既存の化学反応ネットワーク計算から得られた磁気抵抗値をよく再現することがわかっている。本発表では、その定式化と既存の化学反応ネットワーク計算から得られた磁気抵抗値との比較について論じる。

[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](#)

P216a ダスト成長・破壊を伴う原始惑星系円盤の不安定性によるダスト濃集

富永遼佑 (理化学研究所), 田中秀和 (東北大学), 小林浩 (名古屋大学), 犬塚修一郎 (名古屋大学)

原始惑星系円盤におけるダスト成長と微惑星形成は惑星形成過程の第一歩であり、その解明に向けた議論が盛んに行われている。円盤の不安定性に伴うトップダウン的な微惑星形成シナリオは広く研究されている過程のひとつである (e.g., Youdin & Goodman; Johansen & Youdin 2007; Youdin 2011; Takahashi & Inutsuka 2014)。従来の不安定性に伴う微惑星形成が起こるには、ミリメートル程度のダストを濃集する必要があることがわかっていた (e.g., Carrera et al. 2015)。我々はその集積機構としてダスト成長が駆動する円盤の不安定性 (coagulation instability, CI) を提唱した (Tominaga et al. 2021; 2021 春季年会)。これは初期のダスト成長から複数の不安定性を経由することで微惑星形成が起こる可能性を示唆している。上記の成果はダストの完全合体という仮定に基づくが、実際には衝突速度がある臨界値を超えるとダストの破壊が起こることがわかっている (e.g., Dominik & Tielens 1997; Wada et al. 2009, 2013)。衝突破壊は CI によるダスト集積を非効率化するため、その影響を考慮した進化を議論することが必須である。そこで本研究では臨界衝突速度に達するサイズまでしか成長できないとする破壊モデル (Okuzumi & Hirose 2012; Okuzumi et al. 2016) を取り入れ、破壊を伴う CI の非線形発展をシミュレーションで調べた。その結果、臨界衝突速度が 10 m/s 以上の場合には CI による再集積がやはり起こることがわかった。不安定性の成長に伴いダストが破壊で律速されるサイズまで大きくなると CI の非線形発展が飽和することもわかった。一方、臨界衝突速度が 3 m/s の場合には破壊の影響がより顕著になり、およそ乱流強度が 1×10^{-4} 以下であれば CI の非線形発展とダスト再集積が可能であるとわかった。また濃集に伴う反作用により衝突速度が下がる効果を考慮すると、濃集領域では破壊限界を回避したダスト成長も可能になることがわかった。

[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](#)

P217a 大質量原始星円盤におけるダスト成長: 岩石ダストは付着しやすいか?

山室良太 (東京工業大学), 田中圭 (コロラド大学ボルダー校/国立天文台), 奥住聡 (東京工業大学)

原始惑星系円盤における岩石ダストの合体成長を理解することは、地球をはじめとする岩石惑星の形成を解明するための重要な課題である。岩石ダストが付着合体できる限界の速度には大きな不定性があり、理論モデルや実験によって1桁程度異なる値が示されている (e.g., Dominik & Tielens 1997; Blum & Wurm 2000; Kimura et al. 2015; Steinpilz et al. 2019)。この不定性は、岩石微惑星形成のメカニズム特定の大きな妨げとなっている。

我々は、岩石ダストの付着効率を、大質量原始星周囲の円盤の電波観測から制約するという新しいアイデアを提案する。低質量星まわりの原始惑星系円盤では、既存の電波干渉計で撮像できる領域はほとんどの場合スノーラインの外側に限られるため、氷に覆われていない岩石ダストの成長過程を電波観測から探ることは困難である。これに対し、光度が約 10^3 – $10^5 L_{\odot}$ にも及ぶ大質量星の周囲の円盤であれば、岩石ダストが支配する領域は中心星から ~ 100 – 1000 au の距離にまで広がりがうため、岩石ダストの熱放射を撮像観測することが可能である。

本研究では、降着円盤を持つ大質量原始星の1つである GGD 27-MM1 を例に取り、円盤のミリ波観測とダスト進化計算の比較から岩石ダストの限界付着速度の制約を試みた。この円盤のミリ波放射は円盤短軸に沿った偏光成分を持ち (Girart et al. 2018)、放射を担うダストの最大サイズが $\sim 100 \mu\text{m}$ 程度である (Kataoka et al. 2015) ことを示唆する。我々は、エンベロープから円盤に定期的に入流する岩石ダストの合体・破壊・落下を考慮し、岩石ダストの最大サイズの動径分布をダスト限界付着速度の関数として計算した。その結果、限界付着速度が 1 m s^{-1} 程度のとき、偏光観測から示唆されるダストの最大サイズが再現されることを明らかにした。我々の結果は、岩石ダストが比較的低い付着力を持つ (Dominik & Tielens 1997; Blum & Wurm 2000) ことを支持する。

[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](#)

P218a 分子動力学で探るモノマー間相互作用

吉田雄城 (東京大学/国立天文台), 小久保英一郎 (国立天文台/東京大学), 田中秀和 (東北大学)

原始惑星系円盤中のダストは惑星の材料であり、cm 以下のダストは分子間力などによって直接合体成長し、km より大きな物体は重力集積によって成長すると考えられている。しかし中間サイズの成長過程は未解明であり、直接合体成長による成長や何らかの不安定性による成長の可能性が研究されている。これらの研究には、サイズや密度などのダスト性質の進化を知ることは重要である。ダストは、モノマーと呼ばれる $0.1 \mu\text{m}$ サイズの球の集合体 (アグリゲイト) であると考えられている。数値シミュレーション研究では、モノマーの運動を JKR 理論と呼ばれる接触理論に基づいたモデルを用いて計算を行っている。しかしシミュレーション結果と実験結果の違いが指摘されている。モノマーやアグリゲイトの衝突実験は、跳ね返り限界速度が理論値より大きいことを指摘している (Poppe et al. 2020, Gundluch & Blum, 2015)。この差異は分子運動へのエネルギー散逸がモノマーの粘性として働くことにより生じることが指摘されている (Krijt et al. 2013; Tanaka et al. 2015)。しかし、JKR 理論では分子運動による効果を取り入れていないため、JKR 理論の拡張が必要である。

本研究は分子動力学シミュレーションを用いてモノマー衝突を再現することにより、モノマー間相互作用を明らかにする。まず我々は、モノマーのサイズや衝突速度、温度といった衝突条件や環境を変えて正面衝突させ、モノマーに働く力を調べた。すると、大きいモノマーほど跳ね返りの限界速度が小さくなることが示唆された。また、低温における力の大きさの温度依存性は小さいことが分かった。しかし、本研究ではモノマーは結晶構造を持っており、これによる特有の振動の影響も見られた。そして、高速度衝突においてモノマーの変形圧縮が大きく生じることが分かった。この変形圧縮によって JKR 理論では起きない合体现象が生じると考えられる。

[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](#)

P219a 可視光・近赤外線散乱偏光で探るダストアグリゲイトのモノマー半径

田崎亮, Carsten Dominik (アムステルダム大学), Christian Ginski (ライデン大学)

惑星形成の第一歩は原始惑星系円盤において、ダストからダストアグリゲイトを形成することである。アグリゲイトの衝突成長過程は、アグリゲイトの内部構造やその構成微粒子であるモノマーの性質に強く依存する。特に、モノマー半径はアグリゲイトの臨界破壊速度を介して円盤内でのダスト進化に多大な影響を及ぼすため重要である。しかし、原始惑星系円盤の観測量の観点から、モノマー半径を推定する研究は未開拓であった。

モノマーのようなアグリゲイトの微視的性質の究明には、比較的波長の短い可視光・近赤外線が適している。そこで本研究では、アグリゲイトの可視光・近赤外線域での光学特性を厳密な数値解法として知られる T -Matrix 法を用いて計算した。計算には公開コードである MSTM (Version 3.0) を使用した。特に、モノマー特性 (半径, 組成) やアグリゲイト構造 (アグリゲイト半径, 空隙率, フラクタル次元) が光学特性に与える影響を網羅的に調査した。

その結果、モノマー特性 (半径, 組成) は可視光・近赤外線域でのアグリゲイトの散乱偏光特性に大きな影響を及ぼすことが明らかになった。まず、散乱偏光度の波長依存性は、主にアグリゲイトの空隙率とモノマー特性 (半径, 組成) を反映し、アグリゲイト半径の依存性は比較的弱いことがわかった。また、アグリゲイトの空隙率が高いほど、散乱偏光度は高くなる傾向があることもわかった。つまり円盤観測から、可視光・近赤外線での散乱偏光度の波長依存性と絶対値が求まれば、アグリゲイトの空隙率とモノマー特性をそれぞれ推定できる可能性がある。本講演ではさらに、得られた数値計算結果と円盤の可視光・近赤外線偏光観測結果との比較を行い、円盤内のアグリゲイトのモノマー半径や空隙率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](#)

P220a 磁気駆動円盤風で進化する原始惑星系円盤における結晶質ケイ酸塩ダスト粒子の動径分布

荒川創太 (国立天文台), 松本侑士 (国立天文台), 本田充彦 (岡山理科大学)

原始惑星系円盤におけるダスト粒子の動径方向の混合過程を理解することは星・惑星形成の研究において重要である。特に、原始惑星系円盤における結晶質ケイ酸塩ダスト粒子の動径分布は、赤外線による天文観測から物質混合過程を明らかにする上で鍵となる情報である。原始惑星系円盤では、移流、拡散、ドリフト運動という3つのプロセスによって、ダスト粒子が動径方向に輸送される。これまでもいくつかの研究によって、単調な圧力勾配構造を持つ粘性降着円盤におけるダスト粒子の動径分布の計算が行われてきた (e.g., Gail 2001; Pavlyuchenkov & Dullemond 2007)。一方で、近年のアルマ望遠鏡による原始惑星系円盤の観測から、円盤進化初期に動径方向の構造 (リング, ギャップなど) が存在することが明らかになった。磁気駆動円盤風 (e.g., Suzuki et al. 2010) は観測されている構造を生み出すメカニズムの候補のひとつであり、円盤風がダスト粒子やガスの動径分布の進化にどのような影響を与えるのか、いくつかの先行研究によって調べられてきた (e.g., Takahashi & Muto 2018)。

本発表では、ダスト粒子の「外向き」ドリフト運動によって結晶質ケイ酸塩ダスト粒子が効率的に輸送されるという新しいシナリオを提示する (Arakawa et al. 2021)。磁気駆動円盤風による質量損失によって原始惑星系円盤が進化するとき、原始惑星系円盤中に圧力極大が形成される。このとき、圧力極大よりも内側の領域においてはダスト粒子が外向きにドリフト運動するため、原始惑星系円盤の内側の高温領域から圧力極大まで結晶質ダスト粒子を輸送することが可能である。我々は動径方向1次元の円盤進化計算から、円盤風によってダストリングが形成される場合にはリングの位置より内側では100%に近い非常に高い結晶化度を達成可能であることを示す。

[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](#)

P221a 原始惑星系円盤 HD 163296 のダストリング形成機構の推定

土井聖明 (総合研究大学院大学国立天文台), 片岡章雅 (国立天文台), Pablo Benítez-Llambay (Niels Bohr Institute), 植田高啓 (国立天文台)

近年の ALMA 望遠鏡による高分解能観測により、多くの原始惑星系円盤がダストリング-ギャップ構造を持つことが明らかとなった。これらのリングギャップ構造の成因として理論的に複数のリング形成機構が提案されてきた。シミュレーションの側面からもダストリングの形成を目標とした様々な研究が行われてきたが、それらはどれも提案されている機構のうち1つのみを考慮したものである。

Doi & Kataoka 2021 では原始惑星系円盤 HD 163296 のダスト鉛直分布の推定を行なった。この天体は2つの明瞭なリング構造を持つことが知られており、そのうち内側リングではダストが巻き上がっているのに対し、外側リングではダストが沈殿していることが明らかとなった。このようなダスト鉛直分布の動径方向の変動は、1つではなく複数のリング形成機構が駆動している可能性を示唆している。

そこで、本研究では惑星によるダストトラップと焼結によるダスト破壊の促進の2つのリング形成機構の両方を取り入れたシミュレーションを行い、この円盤のダストリング形成機構の制限を行なった。シミュレーションの結果、惑星によるダストトラップのみではダストの動径分布を再現することは可能であるが、観測から制限されたダストの鉛直分布を再現することはできないことが判明した。ダストの動径・鉛直分布の両方を再現するためには、惑星によるダストトラップに加えて、内側リング周辺に焼結によるダスト破壊の促進が必要であることが明らかとなった。

[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](#)

P222a ALMA 観測を用いた原始惑星系円盤のダスト組成への制限

片岡章雅, 植田高啓 (国立天文台), 田崎亮 (アムステルダム大学), 塚越崇, 古家健次 (国立天文台), Paola Caselli (MPE)

原始惑星系円盤のダストは惑星の構成物質であると考えられており、その性質の観測的制限は惑星形成にとって重要である。ALMA 観測によって赤道面ダストの分布は明らかとなってきたが、ダストの組成は制限されてこなかった。これは、固体特有の分光的フィーチャーは主に赤外線領域に存在し、ミリ波帯には存在しないためである。そこで我々は、近年 ALMA 観測によって明らかとなったミリ波におけるダスト散乱による効果に着目し、赤道面のダストの組成の制限を試みた。複数の円盤において、ダスト散乱に起因する連続波の減光や偏光が確認されており、特にアルベドの最大値は波長 1 mm において 0.94 にも及ぶ。本研究ではまず、Mie 計算を用いて、現在広く使われているダスト組成の仮定ではこのような高いアルベドが実現できないことを示した。次に、どのような複素屈折率であれば高いアルベドを再現できるか検討し、その条件を求めることに成功した。この条件に該当する物質を検討した結果、トロイライトのような金属は従来考えられていた分量より少ない必要があることがわかった。更に、より高いアルベドを実現するためには、従来考えられてきた有機物的なダストに代え、水素付加したアモルファス炭素を考慮するのがより適切である事がわかった。

[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](#)

P223a 高分散分光観測による dipper 天体の特徴づけと減光原因の推定

笠木結 (総研大), 小谷隆行 (アストロバイオロジーセンター/総研大), 河原創, 田尻智之, 藤井通子, 大澤亮, 瀧田怜 (東京大学), 武藤恭之 (工学院大学), 逢沢正嵩 (上海交通大学), 服部公平 (国立天文台/統数研), 増田賢人 (大阪大学), 百瀬宗武 (茨城大学)

近年、TESS 衛星などによる宇宙空間での測光観測データから、非周期的な減光を示す若い天体である“dipper”が多く見つかっている。この減光は、他の変光星と比べて減光期間が数日程度と短く、原始惑星系円盤内の、中心星に近い領域のダストが星の光を隠すことで生じていると考えられている。しかし、詳細なメカニズムは未解明であり、より詳しい観測から惑星が形成される領域の性質を明らかにすることが期待されている。

今回我々は、1年間の TESS Full Frame Image (FFI) のデータから発見した dipper (Tajiri et al. 2020) のうち 4 天体の特徴づけを行った。本講演では、これらの天体の可視高分散分光観測から得られたスペクトルの様子や、そこから推測した非周期的な減光の原因について報告する。スペクトルからは、若い天体に特徴的な Li 吸収線の確認や視線速度などの情報が得られる。特に、今回の観測では、全ての天体で星への質量降着を示唆する H α 輝線が確認された。輝線の形状やその変動からは星周円盤の様子を推定することができ、それぞれの天体の減光メカニズムとして、降着流や円盤風内のダストに起因していると考えられることが明らかになった。また、今回の視線速度測定の結果から連星であると新たに判明した dipper は、連星の軌道周期と、光度曲線に見られる特徴的な変光周期とがほぼ同じであるという特徴を持つことも分かった。よって、この天体の減光は星への降着流内のダストによって生じており、降着流が連星の軌道運動と関連して変動していると考えられる。このような連星系の dipper は報告例が少なく、星周円盤の進化過程を解明する新たな手がかりを得られる可能性がある。

[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](#)

P224c ダストアグリゲイト間の衝突破壊に関する破片と質量比の関係性

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成長できずに破壊される。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、この二体の衝突破壊に対する臨界衝突破壊速度が標的から衝突体への質量輸送のせいで臨界速度が小さくなる場合がある事を発表した。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。その質量比の値と標的から衝突体への質量輸送の間には関係があるかもしれない。一方、三番目よりも小さい破片の質量累積分布は質量比にあまり依存しない事が示唆された。

[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](#)

P225a ALMA による原始惑星系円盤の [CI]($^3P_1-^3P_0$) 観測 II

塚越崇 (国立天文台), 野村英子, 島尻芳人, 齋藤正雄, 川邊良平 (国立天文台), 百瀬宗武 (茨城大)

原始惑星系円盤中の炭素原子は円盤上層の PDR 領域に多く存在すると考えられており、光解離による円盤散逸の重要なトレーサーとして考えられている。また、円盤ガスにおける炭素のリザーバーの一つでもあり、円盤内における炭素原子の分布や構造を明らかにすることは、円盤進化を調べる上で重要な情報をもたらす。しかしながら、原始惑星系円盤に対するサブミリ波帯炭素原子放射 [CI](1-0) の検出例は少なく、単一鏡観測による 4 例のみに留まっており、空間分解能やサンプル数の不足から、その空間分布や系統的性質に対する理解は未だ乏しい。

この背景のもと、原始惑星系円盤における [CI] 輝線放射の探査とその依存性を調査する目的で、原始惑星系円盤 9 天体に対し ALMA を用いた [CI](1-0) 輝線によるサーベイ観測を行った。初期成果については、2017 年秋季年会において報告したが、新規データやアーカイブデータの追加で得られた、新しい結果について報告する。

新規解析の結果、6 天体で円盤に起因する [CI] 放射の検出に成功しており、同時取得した連続波放射は全ての天体で検出できた。達成した空間分解能は、連続波では 5-70 au、[CI] 放射に対しては 50-160 au ほどであった。[CI] 放射は典型的に連続波放射より広がっており、CO で見られる円盤とほぼ同程度の広がりを示していた。光学的に薄い仮定のもと炭素原子質量 $M(C)$ を見積ると、およそ $2 \times 10^{-6} - 9 \times 10^{-5} M_J$ であった。ダスト質量に対する質量比 $M(C)/M(\text{dust})$ を求めたところ、中心星光度に対して正の相関を示していた。また、円盤鉛直方向の構造を示唆する中間赤外線とミリ波放射のカラーとの相関を調べたところ、フレアアップした円盤に対して質量比も大きくなる傾向が見られた。これらの結果から、強い中心星放射もしくは円盤表層が効率的に照らされることで、表層 PDR の拡充が促され炭素原子量が増加している様子が示唆される。

[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](#)P226a 原始惑星系円盤における分子ガス同位体比の新しい測定手法とその TW Hya 円盤の $^{12}\text{CO}/^{13}\text{CO}$ 比への応用

吉田 有宏 (総合研究大学院大学/国立天文台), 野村 英子, 古家 健次, 塚越 崇 (国立天文台), Seokho Lee (KASI)

惑星系物質の起源と進化をたどる上で、同位体組成は重要な鍵を握る。特に、原始惑星系円盤に多量に存在する一酸化炭素 (CO) ガスの同位体組成を測定することには意義がある。しかし、CO 回転輝線の線中心は一般に光学的に厚く、柱密度の導出が困難である。一方で、輝線は熱運動により拡がりを持つため、その部分は光学的に薄くなりうる。従って、複数の同位体種について輝線のすそを観測することで同位体比を導出できる。我々はこの考えを定式化し、原始惑星系円盤における分子ガス同位体比をモデル非依存に測定できる手法を開発した。

さらに、その手法を ALMA 望遠鏡による TW Hya まわりの原始惑星系円盤の $^{12}\text{CO} 3-2$, $^{13}\text{CO} 3-2$ 輝線の観測アーカイブデータに適用し、 $^{12}\text{CO}/^{13}\text{CO}$ 比を測定した。その結果、中心星から 100 au 以内の領域では $^{12}\text{CO}/^{13}\text{CO}$ 比が星間空間の平均値の ~ 0.3 倍に減少していることがわかった。これはダストとガスの相互作用の結果、ガス中の炭素-酸素 (C/O) 比が 1 よりも大きくなることで、炭素原子と CO の間で同位体交換反応が進んだことを示唆している。実際、TW Hya 円盤では C/O 比が 1 以上であることが先行研究で示されている。また、さらに外側の領域では $^{12}\text{CO}/^{13}\text{CO}$ 比が星間空間の平均値の ~ 1.6 倍かそれ以上に増大していることもわかった。この同位体分別には、CO ガスの大域的な凍結と、氷からの脱離エネルギーが ^{12}CO と ^{13}CO で微小に違うことが影響を及ぼした可能性がある。単一の円盤において 5 倍以上に及ぶ同位体組成の変化がみられたことは、そこで形成される惑星の組成を考える上でも興味深い。

[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](#)

P227a 大気から探る惑星形成：円盤影領域による木星大気の揮発性元素超過の説明

大野 和正 (University of California, Santa Cruz), 植田高啓 (国立天文台)

木星は現在までに最も詳細に大気が調べられてきた巨大惑星である。ガリレオ探査機および JUNO による大気深部の観測によって、大気中の O, C, N, S, P, Ar, Kr, Xe の元素量が制約されている。興味深いことに、これらの重元素はいずれも太陽組成から約 3 倍高い存在量となっている。重元素超過はコアの溶解や微惑星・小石による大気の汚染に由来すると考えられるが、原始惑星系円盤内で N と希ガスは通常固相から分離しており、何故これらの揮発性元素が同様に超過を示すのかは明らかではない。この揮発性元素超過を説明するため、 N_2 及び希ガスが凍結可能な円盤遠方 (30 AU) で木星コアが形成されたという説が近年提案された (Oberg & Wordsworth 2019)。しかし、この木星コア遠方形成説には、近年のガス惑星形成の理論研究 (Bitsch et al. 2019, Kobayashi & Tanaka 2021) および隕石同位体比が示唆する形成年代 (Kruijer et al. 2019) と矛盾するという問題点が存在する。

そこで我々は「木星コアは円盤の影領域で形成された」という新シナリオを提案する (Ohno & Ueda 2021)。過去の円盤内のダスト成長計算から、ダストの臨界付着速度の変化によって H_2O スノーライン前後では固体面密度が急激に変化することが示唆されている。我々はそのような円盤構造を仮定し、輻射輸送計算コード RADMC-3D を用いて円盤の温度構造を計算した。その結果、固体面密度の急激な変化はスノーライン背後に影領域を形成し、2-7 AU は 30K を下回りうることが分かった。得られた温度構造を用いて円盤ガスの凝縮・脱離計算および形成されうる大気組成の見積もりを行った結果、スノーライン前後で固体面密度が約 30 倍以上変化すれば、現在の木星軌道付近でも N や希ガスが凍結し、木星の均質に重元素に富んだ大気を説明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](#)P228a H_2O スノーライン以遠に影構造を持つ原始惑星系円盤の詳細化学構造 II. 有機分子組成 & 電離度・初期化学組成依存性

野津翔太 (理化学研究所), 大野和正 (University of California, Santa Cruz), 植田高啓, 野村英子 (国立天文台), Catherine Walsh (University of Leeds), Christian Eistrup (MPIA)

原始惑星系円盤の化学構造の理解は、円盤観測及び惑星大気観測を解釈する上でも重要である。Ohno & Ueda (2021) は、T Tauri 円盤において H_2O スノーライン (= 1.3 au) 前後で 30 倍程度以上のダスト面密度差があれば、その外側では影になる事で温度が 30K を下回り、 N_2 や希ガスなどがダスト上に凍結可能である事を示した。発表者らは同じ円盤物理構造モデルの下で詳細なガス・ダスト化学反応ネットワーク計算を実施し、主要分子の組成や元素組成比の分布を調べている。2021 年秋季年会発表 (P219b) では初期計算の結果として、影構造を持つ円盤では HCN, CH_4 , H_2CO など先行研究では考慮されていない分子も豊富に存在する事、2 au 以遠で CH_4 や C_2H_6 がダスト上に凍結する事、円盤ガス C/O 比が広範囲で均質になる一方 N/O 比が影領域で著しく増加する事などを報告した。その後有機分子に着目して計算を進めると、影領域では H_2CO や CH_3OH など飽和有機分子の存在量が増加する一方、不飽和有機分子 (C_2H_2 , C_3H_2 , $HCOOCH_3$ など) の存在量が減少する事などが分かった。これは前者の生成には冷たいダスト上の水素付加反応が重要である一方、後者の生成にはガス中での反応や暖かいダスト上でのラジカル同士の衝突反応が重要である点が関わっていると考えられる。また、発表者らは化学進化にとって重要なパラメータである初期化学組成や電離度 (e.g., Notsu et al. 2020) を変えた円盤での計算も進めている。本発表ではこれら有機分子組成の詳細や電離度・初期化学組成依存性などの結果を紹介した上で、ALMA などを用いた円盤分子輝線観測への示唆や、彗星の組成との関係などについて議論を行う予定である。

[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](#)

P229a 半揮発性物質の輸送に伴う原始惑星系円盤および巨大ガス惑星の元素濃縮

中澤 風音, 奥住 聡 (東京工業大学)

木星の大気は、太陽に比べて軽元素 (O, C, N など) や希ガスに一樣に富むという著しい特徴を持つ (e.g., Fletcher et al. 2009; Li et al. 2020)。この特徴は、木星がどこで・どのようにできたかを明らかにする重要な鍵として注目されている。木星大気元素濃縮の説明として、揮発性物質を閉じ込めた氷が円盤低温領域から木星形成領域へ移動した可能性 (e.g., Monga & Desch 2015; Mousis et al. 2019) が提案されている。しかしこの説は、 N_2 が氷に閉じ込められにくいこと (Bar-Nun et al. 2007)、彗星の放出ガスが窒素に欠乏していること (Pontoppidan et al. 2014) から、木星大気元素濃縮の説明に難点がある。

本講演では、揮発性物質に加え、揮発性のより低い塩などの物質が木星の窒素濃縮に寄与した可能性を検討する。近年、探査機 Rosetta による彗星 67P の複数の観測から、半揮発性のアンモニウム塩が彗星に豊富に存在していることが示唆された (Altwegg et al. 2020; Poch et al. 2020)。我々は、原始太陽系星雲の氷ダストの主要な窒素キャリアがアンモニウム塩であったと仮定し、円盤内側領域 (数 au) からの窒素供給に伴う円盤組成進化を計算した。得られた組成のもとで惑星へのガス降着を計算し、形成する惑星大気元素存在量を求めた。その結果、アンモニウム塩は現在の木星の窒素存在度に相当する窒素濃縮を引き起こし得ることが明らかになった。この結果は従来考慮されてこなかった塩などの半揮発性物質が、円盤における元素輸送の重要な役割を担ってい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](#)

P230a 超木星質量惑星による原始惑星系円盤へのギャップ形成と惑星への質量降着率

田中 佑希, 中澤 佐穂, 田中 秀和 (東北大学), 金川 和弘 (茨城大学), 谷川 享行 (一関高専)

原始惑星系円盤中に存在する巨大ガス惑星は、その軌道に沿って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。木星質量を大きく超える惑星の場合、ギャップの外縁が非定常となり離心率を持つようになることが知られており、我々はこれまで超木星質量惑星が形成するギャップ構造についての研究を行ってきた。この場合、惑星とガスの相対速度が大きくなり降着には不利に働く可能性がある一方で、ギャップ内のガス面密度は一桁程度大きくなるため降着率を上昇させる効果も働くと考えられる。そのため、超木星質量惑星への質量降着率を正しく評価するためには、円盤の大局的な構造と惑星への質量降着過程を同時に取り扱うことが重要であるが、そのような質量範囲の惑星についてはこれまであまり研究が行われていなかった。

本研究では、数値流体計算コードの FARGO を用いて惑星への質量降着の効果を検討した円盤のギャップ形成の計算を行った。惑星への質量降着のモデル化の妥当性を検証するため、まず惑星への降着半径および降着のタイムスケールを変化させた計算を行った。その結果、降着半径を適切に取った場合、降着タイムスケールに関わらず過去の高解像度局所計算で得られている降着率と整合的な結果が得られることがわかった。

さらに惑星質量を変化させた場合の計算も行い、非定常な離心ギャップが形成されたときの惑星への質量降着率の値とその時間変動性について調査を行った。これらの結果について、過去の数値計算との比較を行いながら、ガス惑星の形成・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](#)

P231a Planetesimal Dynamics in the Presence of a Giant Planet

Kangrou Guo and Eiichiro Kokubo, NAOJ/The University of Tokyo

The early evolution of planetesimals in the formation process of planets could be affected by strong perturbations from massive planets in the system, and thus deviate from the standard scenario. We investigate the dynamics of planetesimals under the perturbation of a giant planet in a gaseous disk. Our aim is to understand the effect of secular perturbation on the formation of planetary cores outside the orbit of the perturber. Using numerical simulation, we calculate the orbital evolution of planetesimals ranging from 10^{13} to 10^{20} g, with a Jupiter-mass planet located at 5.2 au. We find orbital alignment of planetesimals distributed in $\simeq 9$ -15 au, except for the mean motion resonance (MMR) locations. The degree of alignment increases with increasing distance from the planet and decreasing particle mass. The relative velocity decreases with increasing distance from the planet and decreasing planetesimal mass ratio. Our results show that with a giant planet embedded in the disk, the growth of another planetary core outside the orbit of the existing planet might be accelerated via the alignment of orbits. We also try to generalize our results by varying the mass and eccentricity of the perturbing planet and investigate its impact on the random encounter velocity of planetesimals. Generally speaking, the perturbation from a more massive planet leads to higher random encounter velocity of planetesimals in the disk. A more eccentric planet also leads to higher random encounter velocity, unless the timescale of gas damping becomes shorter than that of secular perturbation. These results of dependence study might help us understand the orbital architecture of some extrasolar planet 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](#)

P232a 現実的な合体条件を考慮した岩石微惑星の集積過程の研究

柴田雄(国立天文台), 小久保英一郎(国立天文台/東京大学), 牧野淳一郎(神戸大学), 石城陽太(東京大学)

惑星形成の一過程である微惑星の集積は、統計的手法や N 体計算により調べられてきた。微惑星は暴走的成長と寡占的成長を経て原始惑星へと進化したと考えられているが、第一原理計算である N 体計算を用いた集積過程の研究では、微惑星の跳ね返りなど現実的な挙動を考慮したものは少ない。また、跳ね返りや破片を考慮した研究も、原始惑星の合体条件を用いるなど、必ずしも現実的な条件下で計算を行ってはいない。Smoothed Particle Hydrodynamics (SPH) を用いた微惑星の数値衝突実験により、跳ね返りを起こす速度の閾値である臨界衝突速度が、衝突微惑星の質量比と衝突角度に依存することが明らかとなっている。質量比がつく、または衝突角度が浅くなると、跳ね返りやすくなる。また、臨界衝突速度は衝突微惑星の総質量には依存しない。臨界衝突速度を超える衝突速度の微惑星は跳ね返りと判定し、本研究ではこれを合体条件と呼ぶ。合体条件を岩石微惑星の集積過程を計算する N 体計算に適用し、太陽周りの微惑星の軌道を計算することで、より現実的な岩石微惑星の集積過程を明らかにする。一般的な微惑星は跳ね返りにより成長が阻害される一方で、暴走的に成長した微惑星は重力により周囲の微惑星を取り込むため、成長が進む。これにより、跳ね返りを考慮しない従来の微惑星集積過程の研究に比べて、より二分化された微惑星の質量分布がみられた。跳ね返りという現実的な衝突時の挙動を考慮することで、暴走的成長や寡占的成長がより顕著になったことで、微惑星衝突時の挙動を正しく扱うことは、現実的な集積過程を知るうえで重要であると理解できる。本講演では、合体条件に基づく跳ね返りを考慮した岩石微惑星の集積過程を、 N 体計算により調べた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](#)

P233b 巨大惑星を持つ原始惑星系円盤の 3 次元流体シミュレーション

小川和弘 (茨城大学), 小野智弘 (東京工業大学)

原始惑星系円盤で形成した巨大惑星は周囲の円盤ガスとの相互作用によって惑星軌道に沿った低ガス密度領域 (ギャップ) を作る。惑星が作るギャップ構造は近年 ALMA で観測されている原始惑星系円盤のリング/ギャップ構造の有力な形成メカニズムである。さらに、ALMA による分子輝線観測によって惑星が原因であると思われるチャンネルマップ上でのケプラー回転パターンからのずれ (kink) が検出されている (例えば, Pinte et al. 2020, ApJL, 890, L9)。ギャップ構造と惑星質量の関係については先行研究によって良く調べられている (例えば Kanagawa et al. 2015, ApJL, 806, L15; Zhang et al. 2018, ApJL, 869, L47) が、上記の kink 構造と惑星質量、円盤粘性や温度といったパラメータとの定量的な関係はまだそれほど調べられてはいない。円盤ギャップ構造に加え、kink 構造からも惑星質量を独立に求めることができれば円盤内で形成中の惑星の質量により強い制限を与えることができるだろう。

そこで、我々はチャンネルマップ上の kink 構造と惑星質量の関係を調べる目的で、Athena++ による 3 次元流体シミュレーション、および RADMC-3D を用いた輻射輸送計算を行った。本発表では、惑星質量を木星質量と 5 木星質量とした場合の計算結果を紹介したい。チャンネルマップ上の構造は観測する分子によっても異なり、光学的に厚く円盤上層の構造を反映している ^{12}CO J=2-1 輝線では先行研究 (Perez et al. 2015, ApJL, 811, L5) と同様の kink 構造が見られた。一方で、より円盤中央平面の状況を反映している CS J=6-5 輝線では ^{12}CO で kink 構造が見られた位置にギャップ構造が見られることが分かった。輝線分子や惑星質量を変えた時のチャンネルマップ上で見られる構造の変化を示し、どのように惑星質量の推定が可能であるのかを議論したい。

[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](#)

P234b 巨大衝突起源のデブリ円盤の特徴解明に向けた巨大衝突シミュレーション

小林浩 (名古屋大学)

太陽系の地球型惑星形成の最終ステージでは、原始惑星同士が衝突をくりかえし、地球や金星が作られる。太陽系以外の惑星系でも、どのような巨大衝突が起こると、原始惑星に比べ少量だが破片が放出される。この破片はデブリ円盤として観測され、1au 付近のデブリ円盤と調和的である。しかし、巨大衝突起源のデブリ円盤の明るさや寿命は、巨大衝突により放出される破片の総質量や最大破片のサイズに依存する。本研究では、衝突シミュレーションにより、巨大衝突破片について調べる。原始惑星同士の衝突では、低速の場合は衝突合体が起こるが、高速になると合体せずに「すれ違い衝突」が起こる。さらに、高速になると、原始惑星自体が破壊される。衝突に伴う「合体」、「すれ違い」、「破壊」のレジームの切り替えが起こる衝突速度は、衝突角度にも依存する。そして、破片の特徴の衝突パラメータの依存性もこのレジーム毎に変わっているようである。「合体」の場合は、2 回の衝突が起きて、原始惑星が合体する。その間に多くの破片が最集積するため、破片の総量も小さく、最大破片も小さくなる。一方、巨大衝突ステージで最も起こる「すれ違い」衝突の破片は、衝突角に依存する。衝突角が小さく正面衝突に近いと、破片の総量は衝突速度が大きいほど多くなる。一方、衝突角度が大きい時は、衝突速度の依存性が小さくなる。この衝突結果が、デブリ円盤にもたらす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](#)

P301a 夜空のフラウンホーファー線観測による黄道光の絶対輝度測定

繁澤政樹, 松浦周二, 久保志織 (関西学院大学), 高橋葵 (ABC/NAOJ), 佐野圭, 當銘優斗 (九州工業大学), Ranga Ram Chary (Caltech)

黄道光は惑星間塵が太陽光を散乱した拡散光であり、その輝度から惑星間塵の空間分布やサイズを推定することができる。これまでの黄道光観測の多くは広帯域測光により行われてきたが、黄道光の絶対的な輝度の測定精度は10%程度にとどまっている。黄道光の測定精度が格段に向上すれば、銀河系外背景光の輝度推定を通して宇宙の星形成史に観測的な制限をつけることもできる。

そこで我々は黄道光の輝度を高い精度で測定する手法として、夜空に見られるフラウンホーファー線の観測を実施した。これは、夜空の明るさを構成する拡散光成分のうち、太陽のフラウンホーファー線に由来する黄道光の吸収スペクトル線に着目し、その等価幅から黄道光の連続成分を求めるものである。

今回は Palomar 天文台の 200 インチ望遠鏡を使用して Ca+H, K 線など、強いフラウンホーファー線のある可視光の波長 (400nm ~ 900nm) で高分散のスリット分光を実施した。観測天域は、我々が Spitzer 宇宙望遠鏡による近赤外線銀河系外背景光観測のために選定した領域としている。

これまでに実施した解析で、2次元の分散画像から1次元のスペクトルを抽出し、その結果から Ca+H や Ca+K, H γ といった複数のフラウンホーファー線を S/N ~ 10 程度で検出することができた。本講演ではデータ解析の詳細と観測精度の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](#)

P302a はやぶさ 2 サンプルリターンカプセル再突入における ELF/VLF 電波観測

渡邊 堯 (情報通信研究機構), 加藤泰男, 塩川和夫 (名古屋大学宇宙地球環境研究所), 大矢浩代 (千葉大学大学院工学研究院), 小林美樹, 鈴木和博 (日本流星研究会), JAXA はやぶさ 2 カプセル回収チーム

宇宙機の地球大気再突入に伴う ELF/VLF 電波放射は、流星に伴う異常聴音との関連で示唆されている。過去の宇宙機再突入において試行された電波観測では、そのような電波放射の存在は報告はいない。はやぶさ 2 サンプルリターンカプセル再突入時に ELF/VLF 電波観測を行った。観測周波数域帯の上限は 24kHz である。当日は観測点北部の気圧の谷等に起源を持つ毎秒 100 発以上の雷起源空電が受信されているが、非常に人工雑音レベルが低く、詳細に解析可能であった。その結果、数 10msec の継続性を持ち、比較的平らな周波数特性を持つ微弱ノイズが、カプセル火球フェイズ極大期で有意に多く発生していることが分かった。同様のノイズはカプセル再突入に無関係の時間帯でも検出されたが、雷雲中の非常に弱い放電により発生したものと予想される。カプセル起源である場合は、電波の発生高度が約 60-200km であるのに対して、気象現象の場合は数 km であり、直接波と電離層・地表間の反射波との間の遅延時間に大きな差が発生するため両者の判別は可能である。ノイズ波形の自己相関解析によって得られる遅延時間と、カプセル軌道データによる予想値とを比較したところ、カプセル火球フェイズで検出された事例の多くで良い一致が見られた。電離層・地表間導波管の遮断周波数帯 (約 1.7kHz) に見られる分散の解析から、これらノイズは当該時刻におけるカプセルの距離と矛盾せず、近距離発生の特徴を示している。以上から、カプセル再突入に際して受信可能レベルの ELF/VLF 電波が放射されていた可能性は高いと思われ、電波の発生は、激しいアブレーションを起こしているカプセルとその周辺領域における高電圧場の形成と放電によるもの解され、流星においても同様の現象が起こっていることが推測される。

[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](#)

P303a アウトバースト直後の 29P/Schwassmann-Wachmann 1 のジェット構造の発生メカニズム解析

中澤淳一郎 (総合研究大学院大学)、堀内貴史 (国立天文台)、花山秀和 (国立天文台)、津村光則、有松亘 (京都大学)、渡部潤一 (国立天文台)

29P/Schwassmann-Wachmann 1 は木星-海王星間の軌道をおよそ 15 年周期で公転するケンタウルス族に属する彗星活動を示す氷天体である。29P は頻繁にアウトバースト (急増光) を起こし、その前後で 100 倍以上明るくなることが確認されている。このアウトバーストは 2021 年 8-9 月にも発生し、10 月からは石垣島天文台のむりかぶし望遠鏡に搭載された可視 3 バンド同時撮像カメラ MITSuME を用いて 1 週間以上の観測を行い、また和歌山県西牟婁郡すさみ町にて 30cm 反射望遠鏡を用いて 2 ヶ月以上の経日観測を行った。観測ではアウトバースト後にジェットが拡散していく様子が確認できるが、しかしその構造は、細長い尾のようなジェットの構造が核から 3 方向に向けてそれぞれ直線上に拡散しているように見える。また、ジェットの向きは 29P の自転スケールである 10 日強のオーダーで大きくは変化していない。この構造は、これまでに観測されているような断続的にジェットが出続けている場合に予想される 29P の自転に由来する渦巻構造とは大きく異なっている。こうした現象の発生メカニズムとしては、現時点ではジェットの噴出のパルス性、及び彗星の公転軌道と地球との幾何的な位置関係により説明されることが期待される。本講演では、この現象のメカニズムを画像処理の結果から詳細に分析し、ひいては彗星のアウトバーストの発生要因にも迫る最新の解析結果を発表する。

[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](#)

P304a アルマによる海王星上部成層圏東西風の緯度・高度構造の直接観測

飯野孝浩 (東大・情報基盤センター)、佐川英夫 (京産大・理)、野澤悟徳 (名大・ISEE)

惑星大気におけるダイナミクスの直接観測は、その駆動源である大気環境・大気物理過程の理解において重要である。海王星の対流圏から成層圏下部においては、主に雲頂構造の追跡観測により、赤道で 400 m/s、南半球の高緯度で 150 m/s に達する東西風が観測されている。いっぽう、その上層である成層圏上部については、観測手法が乏しいことから、ダイナミクスの構造はほとんど得られて来なかった。我々はアルマの高空間・高周波数分解能データを用い、シアン化水素 (HCN, $J=4-3$) および一酸化炭素 (CO, $J=3-2$) 輝線のドップラーシフトを計測することで、ダイナミクスの直接導出に成功した。風荷重関数の解析から、HCN および CO 輝線はそれぞれ 0.5 および 1.2-2.5 mbar の成層圏上部に感度のピークを持っていた。計測されたドップラーシフトから自転成分を除去することで、HCN および CO 輝線の視線方向速度について、それぞれ赤道で -100 および -150 m/s、南半球中緯度において 100 m/s と得られた。成層圏下部の東西風構造を模した空間分布モデルに対し、アルマの空間分解能を考慮した畳み込み解析を行うことで、CO 輝線により観測された視線方向速度構造の緯度分布は、成層圏下部の東西風構造を緯度方向に均一にスケールリング ($\times 0.44-0.47$) することで再現されることが分かった。これは、成層圏下部の東西風構造が上方へ伝播するにつれて、中緯度付近で最低となる温度勾配が引き起こす温度風により緯度方向に均一に減衰していることを示唆している。なお、本成果は PSJ に投稿済みである。

[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](#)

P305a Eccentric von Zeipel-Lidov-Kozai Mechanism in the Solar System

船渡陽子 (東京大学)

銀河ポテンシャルの影響によるオールト雲天体の軌道進化を調べたのでその結果を報告する。オールト雲は彗星の起源として最初にオールトによって提唱された仮想的な存在である (Oort, 1950, *The Observatory*, 71, 129)。長周期彗星の軌道の分布から、ほぼ球形の分布をしていること、遠方のオールト雲ほど逆行軌道の割合が大きいことが推測されている。

Vokrouhlický (e.g. Vokrouhlický, et al., 2019, *AJ*, 157, 181) らは巨大惑星との重力相互作用、惑星移動、銀河潮汐力、他の恒星と太陽の近接遭遇、第 9 番惑星などを盛り込んだシミュレーションを行い、オールト雲の等方的な分布を導き出している。彼らの計算は、等方的な分布となるには惑星移動や他恒星との近接遭遇はどのようなものであったか、が論点である。

一方、銀河ポテンシャルは確実に存在してきているものであり、モデル依存性も小さい。したがって、まず銀河ポテンシャルのみでどのような分布となるかを明らかにしておくことは重要である。

今回、我々は、太陽、銀河、オールト雲天体 (質量 0) の制限 3 体問題を直接数値積分した。銀河ポテンシャルには Miyamoto-Nagai potential を用いた。その結果、オールト雲天体の軌道傾斜角の分布がかなり球形に近くなることがわかった。

銀河ポテンシャルの影響は、理論的には古典的な古在メカニズム (e.g. Heisler & Tremaine, 1986, *Icar.*, 65, 13) による見積りが行われている。この見積りではオールト雲天体の軌道傾斜角は鋭い二峰性分布となり我々の得た結果とは異なる。この原因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](#)

P306a 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

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)

太陽系地球型惑星の形成の最終段階は、月から火星サイズの原始惑星の巨大衝突だと考えられている。また、ケプラー宇宙望遠鏡により多数発見された近接スーパーアース系の形成についても、主要なモデルではその最終段階は巨大衝突であると考えられている。巨大衝突過程では、原始惑星系は重力散乱で軌道を乱し合いながら衝突合体して自発的に惑星系へと進化していく。原始惑星系のパラメータを系統的に変えながら、巨大衝突段階の N 体シミュレーションを行い、惑星系の軌道構造がどのように決まるかを調べた。ここでは惑星系の軌道構造として、ヒル半径で規格化した隣接惑星間軌道間隔 \bar{b} と無次元ヒル半径で規格化した惑星の軌道離心率 \bar{e} の系での平均値に注目する。惑星系の軌道構造について以下のことが明らかになった。惑星系の軌道領域を固定した場合、初期軌道離心率と傾斜角が十分小さいときは \bar{b} と \bar{e} はそれぞれ初期条件に依存しない一定値になる。これらの値は原始惑星の初期質量にほとんど依存しない。しかし、惑星系の軌道領域を変化させると、これらの値は変化し、惑星系の平均軌道長半径が大きいほど、 \bar{b} と \bar{e} は大きくなる。この傾向は太陽系地球型惑星系と近接スーパーアース系の特徴と調和的である。発表では、軌道構造の観点から原始惑星系がどのように惑星系へ進化していくかを示し、軌道構造の依存性の物理を解説する。

[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](#)

P307a 巨大衝突の数値計算結果に原始地球の自転が与える影響

細野 七月 (神戸大学), 小久保 英一郎 (国立天文台)

巨大衝突仮説は、もともと月形成のシナリオとして提唱された仮説である。これによると、地球の形成後期、原始地球と火星サイズの原始惑星の衝突する。この衝突により、地球の周囲に蒸発した岩石の円盤が形成され、この円盤が冷却し、地球の月になる。

実際にこの仮説が月を形成可能であるかを調べるため、これまでに多数の数値計算が主に Smoothed Particle Hydrodynamics 法 (SPH) と呼ばれる手法を用いて、行われてきた。それらの先行研究により、巨大衝突は月を形成可能であると結論付けられた。

しかしながら、これらの先行研究では、原始地球の自転の効果を無視する事が多かった。近年の研究では、原始地球は早い自転を持つのが一般的であると示唆されている。そこで、本研究では、原始地球が自転を持っている際に巨大衝突の数値計算結果がどの様になるかを調べた。具体的には、3, 6, 9, 12, 24 時間の自転速度を持つ原始地球に対し、火星サイズ程度のインパクトが衝突した場合を想定した。また、衝突の角度も、自転の方向と衝突が順行になる場合、逆行になる場合、垂直になる場合などを考えた。1つの run に対しては 100 万粒子を用い、スーパーコンピューター富岳を用いて計算を行った。本公演では、その結果に関して、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](#)

P308a 巨大衝突後における惑星内部構造の推定と残留大気の長期安定性の検討

黒崎健二, 犬塚修一郎 (名古屋大学)

原始惑星系円盤内で形成された惑星は円盤ガスを獲得し、水素を主体とした一次大気を持つことが期待される。その後天体同士が衝突合体による成長を経験すると、惑星大気を失うだけでなく衝突によって惑星に大量の熱が供給される。天体衝突直後において、惑星大気には衝突エネルギーによって膨張することが期待され、そのような天体が主星から 0.01-0.1 AU のような近傍にあるとき、主星からの X 線や紫外線照射による光蒸発による大気を失うと考えられる。しかし、惑星大気が長期間安定して維持されるかを正しく評価するためには、巨大衝突後における惑星内部構造や大気構造の推定をする必要がある。

本講演では巨大衝突後の惑星大気の安定性について議論するために、巨大衝突直後の惑星内部構造がどのようになるかを検討した。水素大気を 10-30 % 保持し、岩石コアを持つ天体に対して巨大衝突の数値流体シミュレーションから解析し、衝突後に形成される惑星の内部構造を推定する。衝突後に惑星は振動するが、およそ 30 free fall time 程度で惑星の構造は安定することがわかり、その時の数値シミュレーション結果を一次元球対称構造に変換し、内部の密度構造・内部エネルギー・組成分布を決定した。計算の結果、大気が大規模に流出した場合においては惑星大気部分にまで蒸発した岩石成分が巻きあがり混合することが示唆された。その一方で、惑星大気流出量が少ない場合は大気と岩石コアは混合せず層構造が維持されることもわかった。このようにして得られた惑星の内部構造プロファイルを初期条件とし、惑星の長期進化計算をおこなって、惑星大気の主星からの XUV 照射に対する長期間安定性を検討する。

[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](#)

P309a ホットジュピターの大気散逸における FUV 加熱の役割

三谷啓人 (東京大学), 仲谷峻平 (理研), 吉田直紀 (東京大学)

ホットジュピターは主星からの紫外線放射によって加熱された大気が散逸することが知られている。大気散逸過程は惑星進化を左右する重要な過程である。特に主星からの Extreme-Ultraviolet (EUV; $> 13.6\text{ eV}$) による水素原子の光電離を通じた加熱によって大気散逸が駆動されると考えられており、これまでに EUV の輻射輸送を取り入れた流体シミュレーションが多く行われてきた。近年の観測によって主星が太陽型星だけでなく高温の A 型星のホットジュピターも発見されている。A 型星は Far-Ultraviolet (FUV; $< 13.6\text{ eV}$) の光度が大きい。例えば 10000 K の恒星は太陽と比べて光球からの放射によって 5 桁程度大きくなる。しかし、EUV 光度は表面が放射層になるために太陽と比べてあまり変わらない。FUV による加熱がどのように大気散逸に寄与し得るのかは解明されてこなかったが一般のホットジュピターの進化を知る上で重要である。FUV による加熱過程は ISM の文脈で研究がされており、ダスト光電加熱や水素分子励起を通じた加熱があげられる。

本研究では非平衡化学反応を含む 2 次元輻射流体シミュレーションを行い高温の恒星周りでの惑星大気散逸過程を調べた。 $> 6000\text{ K}$ の主星のホットジュピターでは水素分子励起を通じた加熱が惑星大気散逸を駆動する一方で表面温度が低い場合は EUV による光電離加熱が駆動することがわかった。また、近年では Balmer absorption による加熱も高温の主星がもつホットジュピターの大気散逸を駆動し得ることが提案されている。KELT-9 b のような高温な主星 $\sim 10000\text{ K}$ の場合は Balmer absorption による加熱が卓越する一方で $\sim 7500\text{ K}$ 程度の主星の場合は EUV 加熱が重要となる部分よりも内側の $P > 0.01\ \mu\text{bar}$ で水素分子励起加熱が重要となるもわかった。本講演では様々な FUV による加熱過程のホットジュピターの大気散逸における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](#)

P310a 恒星高エネルギー粒子のフルエンスを考慮した惑星への影響評価 (その 2)

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), 野津翔太 (理化学研究所), 佐々木貴教, 佐藤啓明, 木村なみ, 清水里香, 大山航, 清水海羽, 白樫聖夢, 高木風香, 坂東日菜, 野上大作, 柴田一成 (京都大学), 他 ExoKyoto 開発チーム

M 型星周りのハビタブルゾーン (CHZ) の再定義について、異なる定義のハビタブルゾーンを比較する ExoKyoto 太陽系外惑星データベース (2017 年春季年会 P245a) に、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た (2021 年秋季大会 P329a)。

本研究では、これらの系外惑星系に対して、想定されるフレアの最大エネルギーから当てはまる恒星高エネルギー粒子のフルエンスを適用した再評価を行った。具体的には前回報告 (P329a) した手法により大気散逸レートの顕著な系外惑星に焦点を当て、過去研究 (Yamashiki et al. 2019 ApJ) によるモンテカルロ計算コード PHITS を用いて、3 つの異なる大気 (N_2+O_2 , CO_2 , H_2) の場合の大気シャワーを計算し高度毎の被曝量の推定を行なったが、今回はその上限値についての評価により用いるフルエンスの限界値をより詳細に考慮した。また、本フルエンスを地球における今後起こりうるフレアにも適用し、航空機の被ばくリスクにも応用した。結果前回報告のとおり活動性の高い M 型星周りのハビタブル惑星においては、標準地球大気圧においても大きな被ばく量が推定された。同時に、太陽における CME にも本スペクトルを適用すると航空機被ばく量のリスクについても議論した。

[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](#)

P311b 火星の可視光偏光観測

川上碧, 伊藤洋一 (兵庫県立大学)

火星の大気は希薄だが、白雲やダストストーム(砂嵐)などの大気の活動が見られる。このような大気現象に対しては、いくつかの偏光観測が行われてきた。白雲とは氷の結晶からなる雲であり、白雲の見られる地域の偏光度は極端に小さい (Santer et al., 1985)。また、惑星全球規模のダストストームが発生すると、火星全体の偏光度が減少するという結果が地上観測から得られた (Dollfus et al., 1984)。一方で、探査機 MARS-5 の観測からは、ダストの雲で覆われた地域では偏光度が大きいということが言われている (Santer et al., 1985)。

我々は、西はりま天文台 2 m なゆた望遠鏡と可視分光撮像装置 WFGS2 の偏光観測モードを用いて、火星の偏光観測を行った。2020 年 10 月から 2021 年 5 月までの 17 晩、B バンドで観測した。観測ではダストストーム発生時の火星を 3 晩観測することができた。

ダストストーム発生時の火星のディスクの偏光度は 1-2% 程度であった。また、ダストストーム発生時の火星のリムの偏光度は最大で 16% 程度で、通常時に比べ 10% 以上大きい。本講演では、火星の通常時とダストストーム発生時の偏光を比較するとともに、地球-火星-太陽のつくる位相角に伴った偏光度の時間変化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](#)

P312b Investigating the existence of a new planet in the outer solar system

Patryk Sofia Lykawka (Kindai University), Takashi Ito (NAOJ)

Do the orbits of trans-Neptunian objects (TNOs) indicate the existence of a new planet in the outer solar system today or in the past? Previous research without considering such hypothetical Kuiper Belt planets (KBP) cannot explain three important properties: 1) TNOs with very high orbital inclinations ($i > 45\text{-}50$ deg); 2) A large population of TNOs with orbits too distant from Neptune's gravitational influence, the so-called detached TNOs with perihelia $q > 40$ au; 3) TNOs on peculiar orbits, such as Sedna and other extreme objects in the outer solar system. Here, we performed N-body computer simulations to investigate the effects of a new planet on the orbital structure beyond Neptune. First, we considered the currently known orbital structure of distant TNOs beyond 50 au. We also identified the stable distant resonant TNOs based on up-to-date observations. Finally, we tested several combinations of masses (Mars to Earth-like) and orbits of potential KBPs that could satisfy the aforementioned constraints. First, we identified the best KBP candidates in terms of orbits and masses that would preserve the stable resonant TNOs. Overall, KBPs should be located beyond 100 au (or 200 au) for Mars-like masses (or Earth-like masses). In addition, detached TNOs were formed thanks to the gravitational perturbations of a KBP. In particular, Earth-like KBPs can create a substantial detached population and objects with $i > 50$ deg. We provide observationally testable predictions for distributions of distant TNOs that indicate specific orbits and masses of a KBP. Overall, these results will guide future astronomical surveys in the search of new planets located beyond Neptune and new populations of TNOs.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P313b Eccentric Kozai-Lidov 機構による Octupole 振動

稲熊穂乃里 (東京大学)

連星が少し遠方にある天体 (3 体目とよぶ) に束縛されており、階層的 3 体系となっている場合を考える。このとき、Kozai-Lidov 機構により連星の離心率や連星の軌道平面と 3 体目の軌道平面のなす角 (Inclination) などが振動的に変化することが知られている。この振動の時間スケールを Kozai-Lidov (KL) 時間とよぶ。3 体目の影響はハミルトニアンにおける連星の軌道と 3 体目の軌道の相互作用項として表され、この相互作用項は連星の軌道と 3 体目の軌道の長軸半径比 a_1/a_2 で展開され、最低次の項を Quadrupole 項、その次の項を Octupole 項とよぶ。

近年の研究で、3 体目の軌道が円であり Octupole 項が 0 の場合について、KL 時間は初期 Inclination の値の関数であり、さらに連星の軌道角運動量と 3 体目の軌道角運動量の比 $\gamma = (1/2)L_1/G_2$ の値によってその関数が変化するということが明らかとなった (Adrian. S. Hamers., 2021)。

本研究では、Quadrupole 項と Octupole 項を取り入れた Secular コードを用いて、初期 Inclination の値や γ の値を様々に変化させ、それぞれの系の軌道要素の時間進化を計算、比較した。Octupole 項は 3 体目の軌道離心率が大きい場合や連星の質量差が大きい場合に大きくなり、このとき KL 時間や連星の離心率の極大値の値は時間変化する。この大局的な振動を Octupole 振動とよぶ。本研究では各系の離心率の時間変化を追うことで、初期 Inclination や γ の値を変化させると、Octupole 振動は、完全に周期的な振動、カオスな振動、明らかな振動が見えない、の 3 つの状態を遷移するということを明らかにした。

本講演では、3 体目の軌道が円ではない場合について、初期 Inclination や γ の値を様々に変化させた場合の Octupole 振動の状態変化や、その状態遷移の条件について議論する。

[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](#)

P314c 地球型惑星における光合成由来の酸素の双安定性

小松 勇 (アストロバイオロジーセンター, 国立天文台), 藤井 友香 (国立天文台)

今後の M 型矮星・太陽型星周りのハビタブル惑星の観測では生物起源の酸素、メタンなどの大気分子の同定が期待されている。原始地球の還元的な大気は、シアノバクテリアの光合成によって生成された O_2 が蓄積して急激に酸化的環境になったと考えられている。近年の研究では地表の O_2 フラックスと CH_4 フラックスの比に応じて、大気中の O_2 量として取り得る値は変わり、 O_2 フラックスを大きくすると急激に O_2 量が増大して双安定性が見られることが示唆された (Gregory *et al.* 2021)。地球のように酸素に富んだ大気が観測されない場合でも、生物圏において酸素発生源型光合成を行っている可能性があり、 O_2 の双安定性が光合成生物を育む地球型惑星でどのような条件によって見られ、どのような大気構造が実現されるかを調べることは、今後の観測でどういった分光学的特徴を持つ惑星をターゲットとすべきか検討する点でも重要である。

本研究では M 型星・太陽型星周りの地球型惑星の大気において、地表から放出された生物由来の O_2 が還元分子の CH_4 の地表フラックスに応じてどのように蓄積されるかを放射対流・光化学モデル atmos (Kasting *et al.* 1984, Pavlov *et al.* 2001) を用いて調べた。光合成による純一次生産 (NPP) に応じて生物圏から O_2 が大気中に放出する効果のモデルを取り入れて (Goldblatt *et al.* 2006) 放射対流・光化学モデルに接続し、大気中での O_2 や CH_4 の蓄積のされやすさを評価した。その結果、生物圏の NPP が同程度であっても地表の CH_4 と O_2 フラックスの比によって、複数の O_2 量を取り得ることを確認した。また、M 型矮星周りでは近紫外線が弱く大気中の光化学反応が抑制され、少ない地表フラックスで酸素が貯まりやすくなる一方、地球と同じ植生を仮定すると光合成有効放射が小さく (Kiang *et al.* 2007b)、NPP が小さくなる可能性があり、これらの影響を複合的に議論する。

[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](#)

P315a Regular Radial velocity variations in Nine G- and K-type Giant Stars: Eight Planets and One Planet Candidate

Huan-Yu TENG*, Bun'ei SATO, Takuya TAKARADA, Masashi OMIYA, Hiroki HIRAKAWA, Hideyuki IZUMIURA, Eiji KAMBE, Yoichi TAKEDA, Michitoshi YOSHIDA, Yoichi ITOH, Hiroyasu ANDO, and Eiichiro KOKUBO. *Department of Earth and Planetary Sciences, School of Science, Tokyo Institute of Technology, 2-12-1 Ookayama, Meguro-ku, Tokyo 152-8551, Japan.

We report the detection of radial velocity variations in nine evolved G- and K-type giant stars. The observations were conducted at Okayama Astrophysical Observatory. Planets or planet candidates can best explain these regular variations. However, a coincidence of near 280-day variability among five of them prevents us from fully ruling out stellar origins for some of the variations, since all nine stars behave similarly in stellar properties. In the planet hypotheses for the RV variations, the planets (including one candidate) may survive close to the boundary of the so-called “planet desert” around evolved stars, having orbital periods between 255 and 555 days. Besides, they are the least-massive giant planets detected around G- and K-type giant stars, with minimum masses between $0.45M_J$ and $1.34M_J$. We further investigated other hypotheses for our detection, yet none of them can better explain regular RV variation. With our detection, it is convinced that year-long regular variation with amplitude down to 15 m/s for G- and K-type giant stars is detectable. Moreover, we performed simulations to further confirm the detectability of planets around these stars. Finally, we explored giant planets around intermediate-mass stars, and likewise found a 4 Jupiter mass gap (e.g. Santos et al. 2017, A&A, 603, A30), which is probably a boundary of the giant planet population.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P316a IRD 戦略枠観測による惑星の発見: 低温 M 型星のハビタブルゾーン内側境界近傍を公転するスーパーアース

原川紘季 (ハワイ観測所), 平野照幸, 寶田拓也 (ABC/NAOJ), 笠木結 (総研大), 小谷隆行 (ABC/NAOJ/総研大), 福井暁彦 (東大), 葛原昌幸, 堀安範, 大宮正士, 石川裕之 (ABC/NAOJ), 工藤智幸 (ハワイ観測所), Sébastien Vievard (ハワイ観測所), 芹澤琢磨, 黒川隆志 (農工大), 西川淳 (NAOJ/ABC/総研大), 上田暁俊 (NAOJ/総研大), 田村元秀 (東大/ABC/NAOJ), 佐藤文衛 (東工大), IRD-SSP チーム

これまで 5000 個に迫る系外惑星が発見されてきたが、その中で有効温度が 3200K より低温の M 型星を公転する惑星の発見は未だ限られている。そのような低温の恒星の放射は赤外域に集中するため、可視光を利用した観測では惑星の探査が困難であった。そこで我々は、赤外線高精度視線速度測定が可能な高分散分光器 IRD とその波長較正のための光周波数コムを開発し、それらを利用した低温 M 型星の惑星探査を進めている。その探査は、すばる望遠鏡を 175 夜利用する戦略枠観測として 2019 年の 2 月に実際に開始された。

IRD 戦略枠観測では、まずはスクリーニング観測に基づき、高精度視線速度モニターに適した太陽近傍のターゲットを選定した。本講演では、その後の集中モニター観測により惑星の存在兆候を示すもののうち、M4.5 型星のハビタブルゾーンの内側境界近傍を公転するスーパーアースを発見したことを報告する。軌道解析により惑星の公転周期は約 10.8 日、質量は地球の約 4 倍であることが示された。また、軌道離心率は 0.3 に及ぶ可能性がある。さらに、吸収線輪郭の変動や既存の測光ライトカーブの調査により、検出された周期性が中心星の活動性による疑似的な信号である可能性は低いことを確かめた。高離心率を持つハビタブルゾーン近傍の惑星として注目に値し、M 型星における惑星形成への制限や、今後の赤外線によるバイオシグナチャー探査が期待される。

[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](#)

P317a IRD-SSP による M 型星周りの惑星サーベイ：3 年目の観測状況

大宮正士 (ABC/NAOJ), 原川紘季, 工藤智幸, Sebastien Vievard (NAOJ), 葛原昌幸, 平野照幸, 宝田拓也, 日下部展彦, 高橋葵 (ABC/NAOJ), 笠木結 (総研大), 三井康裕 (東大), 小谷隆行 (ABC/NAOJ/総研大), 田村元秀 (東大/ABC/NAOJ), 佐藤文衛 (東工大), IRD-SSP チーム, IRD 装置チーム

IRD-SSP (InfraRed Doppler - Subaru Strategic Program, 2019 年春季年会 P318a) では、晩期 M 型矮星周りのハビタブルゾーンに地球型惑星を発見し、低質量星周りの惑星系の特徴を理解することを目的として、これまでに 3 年間に及ぶ赤外ドップラー法での惑星サーベイを進めてきた。3 年目の観測では、IRD とすばる望遠鏡を用いて、主に、IRD-SSP1~2 年目に行ったスクリーニング観測 (e.g.2020 年春季年会 P320a) によって選ばれた天体に対して重点的に多数回の観測を行う視線速度 (RV) モニターを行い、惑星による RV 変化の候補を検出するに至っている。本講演では、IRD-SSP による惑星サーベイ観測の 3 年目の進捗状況を報告する。

IRD-SSP でのスクリーニング観測では、複数回の RV 観測を行うことによって、事前観測 (e.g.2016 年秋季年会 P207a) や文献値をもとに事前に選んだ約 150 星のターゲット星候補から、実視連星、高速自転星、分光連星を除外し、視線速度の比較的大きな時間変化を持つ天体の調査を行った。重点的な RV モニターでは、自転速度が遅く高精度の RV 観測が実現可能で、星固有の RV 変化が小さく低質量の惑星まで検出可能である星を優先して観測ターゲットとし、できるだけ高頻度で、80 回を目標に RV 観測を行う。これまでに、75 星に対して 4 回以上の RV 観測を行い、複数の星でモニター観測の目標である 80 回の観測が完了しており、それらの視線速度の変化が分かってきた。その中には、惑星を持つと思われる天体や惑星の可能性のある比較的大きな RV 変化を持つ天体も複数検出している。

[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](#)

P318a 近赤外スペクトルにおける視線速度測定精度の向上

池田 圭吾 (東京工業大学), 佐藤 文衛 (東京工業大学), 平野 照幸 (ABC)

太陽系外惑星の探査において、スペクトル線のドップラーシフトから視線速度の周期的変化を測定する視線速度法は現在主流の探査法である。近年では低温の M 型星の観測を主目的として近赤外波長を観測領域に持つ分光器が開発され、Calar Alto Observatory の 3.5m 望遠鏡に搭載された CARMENES もそのような可視、近赤外の波長帯で M 型星周りの惑星探査を行う分光器の一つである。視線速度測定精度改良の取り組みは、惑星物理量の測定精度向上、更に形成論や大気組成の議論につながるため、重要な取り組みである。

現在、CARMENES には近赤外での視線速度測定精度が想定より劣り、惑星探査の研究に十分生かされていないという課題がある。本研究では、すばる望遠鏡に搭載された近赤外分光器 IRD の視線速度解析パイプラインにおける視線速度解析法を応用した CARMENES の近赤外データ再解析を行なった。CARMENES は天体用と波長校正用の 2 種類のファイバーを持ち、波長校正には Fabry-Pérot を利用したスペクトルが用いられている。再解析においてはこの波長校正用のスペクトルを用い、分光器内部で生じる視線速度変化 (Instrumental drift) の解析を行なった。その結果、CARMENES で生じる Instrumental drift は時間的に変化し波長依存性も存在するが、オーダー内で Instrumental drift 変化は規則正しいことが確認された。更に、IRD の解析パイプラインによる CARMENES データの視線速度解析を行い、解析方法が測定精度に与える影響を議論した。本公演では解析の概要、並びに、本研究で得た視線速度の再解析値と過去に報告されている視線速度値との比較結果を報告する。

[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](#)

P319a 惑星運動と恒星活動の判別：機械学習による視線速度データへのアプローチ

中西亮介, 佐藤文衛 (東京工業大学), 平野照幸 (自然科学研究機構アストロバイオロジーセンター)

観測機器の性能の向上と観測対象の拡大に伴い、太陽系外惑星の分野ではより大規模なデータを高速かつ精密・正確に処理する必要性が高まっている。この問題へのアプローチとして、本研究では適用対象が急速に拡大している機械学習を用いて、観測で得られた視線速度データをもとに惑星と恒星の活動を判別するプログラムの開発を行なった。本研究では、模擬的に埋め込んだ惑星シグナルと恒星活動の視線速度データを用いて、1次元の畳み込みニューラルネットワークを学習させ、検証用の模擬的に埋め込んだ惑星シグナルと恒星活動の視線速度データで判別精度を検証した。理想的なデータから段階的に現実的なデータへと近付け検証を行なった結果、最終的に模擬的に埋め込んだ惑星シグナルと恒星活動の視線速度データを95%の精度で判別することに成功した。更に、実際の観測で得られた2つの惑星シグナルを含む視線速度データと、2つの惑星シグナルを含まない恒星活動であると考えられる視線速度データについても、それぞれを正確に判別することに成功した。本講演では、方法論の概要とシミュレーション及び観測データの解析結果を報告する。

[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](#)

P320a MuSCAT シリーズとすばる望遠鏡 IRD インテンシブ観測による TESS トランジット惑星候補のフォローアップ観測 II

成田憲保, 福井暁彦, 小玉貴則, 渡辺紀治, 木村真博, 森万由子, 蔭谷泰希, 鄒宇傑 (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), 川内紀代恵 (IAC), MuSCAT チーム, IRD インテンシブチーム, IRD 装置チーム

2018年4月に打ち上げられたNASAのトランジット惑星探索衛星TESSは、第1期延長計画に移行し、2021年12月現在、4年目のサーベイを実施している。これまでに行われた3年間あまりのサーベイで、4700個以上のトランジット惑星候補が発見された。しかし、TESSは超広視野であるため、発見された惑星候補の中にはかなりの割合で食連星による偽検出が含まれている。そのため、発見された惑星候補が本物の惑星かどうかを地上の追観測によって確認する「発見確認」のためのフォローアップ観測が世界中で行われている。

我々は世界の3台の望遠鏡に配置した多色同時撮像カメラMuSCATシリーズと、すばる望遠鏡に搭載された赤外線視線速度測定装置IRDのインテンシブ観測により、TESSのトランジット惑星候補の発見確認と、発見された惑星および主星の特徴付けに取り組んでいる。MuSCATシリーズでは、2021年11月までに主星のタイプを問わず250個以上の惑星候補に対して発見確認観測を実施した。IRDインテンシブ観測では、主に有効温度が約3,500K以下の赤色矮星周りのトランジット惑星候補のうち、MuSCATシリーズなどで本物の惑星らしいと確認されたものをターゲットとして、視線速度をモニタリングしている。

本講演では、周期1日未満の小型惑星($2R_{\oplus}$ 以下)、周期数日程度の巨大惑星($4R_{\oplus}$ 以上)、周期数日から数十日のスーパーアース・サブネプチューン($1-4R_{\oplus}$)など、2021年度の観測で得られ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](#)

P321a 明るい M 型星をまわる低日射の小型トランジット惑星 TOI-2285b の発見

福井暁彦, 木村真博, 成田憲保, 小玉貴則 (東京大学), 平野照幸, 堀安範 (アストロバイオロジーセンター), 生駒大洋 (国立天文台), 田村元秀 (東京大学/アストロバイオロジーセンター), MuSCAT2 チーム, IRD インテンシブチーム, IRD 装置チーム, MuSCAT3 装置チーム, TFOP contributors, TESS architects and contributors

ケプラー宇宙望遠鏡のトランジット探索により、半径が海王星より小さい惑星が恒星の近傍に豊富に存在することが明らかとなったが、それらの惑星の内部組成や形成過程については依然議論が続いている。これらを解明するためには、トランジットの観測で測られる惑星の半径に加えて、惑星の質量や大気組成をさまざまな温度（あるいは日射量）の惑星で観測することが重要である。しかし、日射の強い（地球の約 10 倍以上の）惑星では質量や大気の観測が進んでいる一方、日射の弱い惑星については、発見数自体がまだ少ないため、あまり観測が進んでいないのが現状である。

我々は現在、TESS 宇宙望遠鏡のトランジット探索で発見される太陽系近傍の惑星候補天体に対して、地上の望遠鏡に搭載された多色撮像装置 MuSCAT シリーズや赤外ドップラー分光器 IRD などを用いて惑星の発見検証観測を進めている。本講演では、我々の観測により発見が確認された、近傍 (42 pc) の M 型星を公転する惑星 TOI-2285b について報告する。TOI-2285b は半径が地球の約 1.7 倍あり、地球の 19 倍以下 (95%) の質量をもっている。また、地球の約 1.5 倍という比較的弱い日射を主星から受けている。この日射は地球型岩石惑星におけるハビタブル内側境界よりやや強いが、もし惑星の内部に H_2O の層が存在し、かつ惑星が水素を主体とする大気をもっていた場合、 H_2O 層の表面に液体の水が存在する可能性もある。主星は赤外で明るいため ($K_s=9.0$)、今後惑星の正確な質量や大気組成を調べることができると期待される。

[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](#)

P322a 高金属量 mid-M 型星をトランジットする巨大惑星 TOI-519b の質量決定

蔭谷泰希, 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, 石川裕之 (ABC), 小谷隆行 (ABC/国立天文台/総研大), 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

巨大惑星は主星が軽いほど形成されにくいと考えられているが、現在までに 20 個程度の巨大惑星が M 型星周りで発見されている。この巨大惑星の形成過程を明らかにするためには、観測によって M 型星周りの巨大惑星の頻度や質量、半径、そして主星の有効温度や金属量分布などを明らかにする必要がある。しかし、半径と正確な質量を測定できる M 型星周りのトランジット巨大惑星は現在までわずかに 6 つしか発見されていない。

TOI-519b は TESS 衛星の観測と多色同時撮像カメラ MuSCAT シリーズによる地上フォローアップ観測から、M 型星を周期 ~ 1.26 日で公転する半径 $1.06 \pm 0.17 R_{Jup}$ の木星サイズの天体であることが確認されている (Parviainen et al. 2021)。しかし、位相光度変化から導出された質量は $14 M_{Jup}$ の上限値しか課すことができず、巨大惑星か褐色矮星かの判断のためには視線速度法を用いたより厳しい質量の制限が不可欠な状況であった。

我々はすばる望遠鏡に搭載された近赤外高分散分光装置 IRD を用いたインテンシブ観測から視線速度解析を行うことで TOI-519b の質量が $\sim 0.5 M_{Jup}$ であることを発見し、TOI-519b が褐色矮星ではなく巨大惑星であることを確認した。また IRD のスペクトル解析から主星について $T_{eff} \sim 3220K$, $[Fe/H] \sim 0.46$ であることを発見した。この主星は現在までに発見されている短周期のトランジット巨大惑星を持つ M 型星の中で最も温度が低く、最も金属量が高いという特徴を持つ。本講演では質量決定までの解析結果と主星の特徴も考慮した惑星形成のシナリオについて議論する。

[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](#)

P323b 太陽系外惑星 Qatar1 b の近赤外トランジット測光観測

平野佑弥, 伊藤洋一 (兵庫県立大学)

トランジット法とは、惑星が恒星の前を通過する際のわずかな減光を捉え、周期的な明るさの変化により太陽系外惑星を発見する手法である。ケプラーや TESS のトランジット観測などによって太陽系外惑星は 4000 個以上が発見されている。惑星大気の吸収には波長依存性があるので、波長によってわずかにトランジットの深さが変化する。特に近赤外領域では分子の吸収が多く見られるため、惑星大気の特徴を調べやすい。そこで本研究では太陽系外惑星の近赤外トランジット測光観測を行い、惑星大気モデルと観測値を比較することで太陽系外惑星の大気を推定する。西はりま天文台・なゆた望遠鏡に搭載された近赤外撮像装置 NIC を用いて太陽系外惑星 Qatar1 b の近赤外トランジット測光観測を行った。観測日は 2021 年 9 月 15 日でトランジット前後 1 時間を含めた 23:13~27:10 (JST) に積分時間 60 秒のディザリング観測を行い、J,H,K_s バンドそれぞれ 150 枚取得した。EXOFAST を用いて光度曲線のフィッティングを行い、主星と惑星の半径比は J バンド $0.1129^{+0.0071}_{-0.0076}$ 、H バンド $0.1396^{+0.0039}_{-0.0040}$ 、K_s バンド $0.1408^{+0.0082}_{-0.0087}$ と求められた。また Planetary Spectrum Generator を用いて惑星大気モデルを作成し、モデル半径比と観測値を比較した。講演では近赤外トランジット測光観測から得られた結果の詳細を報告し、惑星大気について考察する。

[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](#)

P324c 埼玉大学 SaCRA 望遠鏡/MuSaSHI と 36cm 望遠鏡 を用いた、系外惑星の多波長トランジット測光観測

大朝由美子, 熊澤希珠, 金井昂大 (埼玉大学), 石岡千寛 (狭山市役所)

これまで、系外惑星探査衛星を始めとする様々な観測から、約 4000 の系外惑星が発見されている。その主たる役割を果たすトランジット法では、惑星が恒星の前を通過する際の減光から、惑星半径や軌道長半径などが求められる。トランジットの際は、恒星の光の一部は惑星大気を通過して観測されるため、恒星の光は透過してくる惑星の大気成分や温度、雲の有無などを反映して吸収・散乱を受けるため、観測される減光量が波長によって変わりうる。たとえば、大気中の微小な粒子によりレイリー散乱が起きている場合、短波長ほどトランジット減光率が大きくなる。したがって、多波長トランジット観測により、系外惑星の大気などを推定することができる。

我々は 2018 年から多波長同時トランジット観測を実施し、一部は近赤外同時観測や、スピッツァー望遠鏡アーカイブデータも組み合わせて、減光率の波長依存性と主星の金属量の関係の調査を行ってきた。結果、波長に依存せず、減光率がほぼ一様な天体は、主星の金属量が高いものが多く、惑星の大気構造や気象と金属量に関係がある可能性が示唆された (石岡ほか、2021)。しかし、観測天体の数は統計的に有意ではなく、不定性がある。そこで本研究では、埼玉大学 SaCRA 望遠鏡と三波長同時偏光撮像装置 MuSaSHI、及び、36cm 望遠鏡を用いて、トランジット現象の可視多波長測光観測 (0.5 - 1.0 μm) をさらに進めた。現在までに (上述の天体含め)、FGK 型の 33 天体 (49 イベント) について観測を行ない、EXOFAST と Pytransit を用いて解析し、得られた光度曲線から減光率、つまり、主星と惑星の半径比の波長依存性を調べた。本講演では、減光率の波長依存性と惑星大気モデルから推定した大気組成・構造や、主星の金属量などの関係についての議論を行なう。

[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](#)

P325a 系外惑星大気赤外分光観測衛星計画 ESA-M4 Ariel への参入に向けて

生駒大洋 (国立天文台), 塩谷圭吾 (宇宙科学研究所), 伊藤祐一, 藤井友香 (国立天文台), 亀田真吾 (立教大学), 川島由依 (理化学研究所), 成田憲保, 福井暁彦 (東京大学), 村上豪 (宇宙科学研究所)

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。

2020年11月、系外惑星大気に関する赤外分光観測衛星計画である Atmospheric Remote-sensing Infrared Exoplanet Large-survey mission (Ariel) が欧州宇宙機関 (ESA) の M4 ミッションとして採択された。打ち上げは2029年を予定している。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。得られた統計的情報は、系外惑星の化学的多様性および惑星の形成・進化を理解するために極めて有益な制約を与えると期待される。本講演では、Ariel ミッションの科学的意義および Ariel ミッションコンソーシアムへの Co-PI 国としての参入に向けた活動状況を紹介する。

[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](#)

P326a 太陽系外地球型惑星大気観測に向けた国際紫外線天文衛星 WSO-UV 計画

亀田真吾 (立教大学/宇宙科学研究所), 村上豪 (宇宙科学研究所), 中山陽史 (東京大学大学院), 平林賢人, 桑原正輝 (立教大学), 小玉貴則 (東京大学), 生駒大洋 (国立天文台), 成田憲保 (東京大学), 塩谷圭吾 (宇宙科学研究所), 寺田直樹 (東北大学)

すでに多くの地球程度の大きさの惑星が発見されており、太陽系近傍の低温恒星のハビタブルゾーンにも地球型惑星が複数検出されている。大気観測にはトランジット分光法が有効であるが、小さな地球型惑星の薄い下層大気の観測には非常に高い精度が要求される。一方、地球の外気圏は遠方まで広がっているが、金星の外気圏はあまり広がっていない。膨張した地球型の上層大気は、トランジットの際に紫外線で観測することができ、金星型の大気と区別することができる。

我々は、ロシアが2025年10月の打ち上げを目指して開発中の1.7m紫外宇宙望遠鏡 (WSO-UV) 用の紫外分光器 (UVSPEX) の予備設計を行った。UVSPEXに求められる主な性能は以下の通りである。酸素原子の輝線である O I 線を他の輝線から分離するために、0.5nmより高い波長分解能を持つこと。水素ライマン α 線 (121.6nm) や酸素原子輝線 O I (130nm) を検出できるように、波長範囲が115nm-135nmより広いこと。分光器のスループットが0.003以上であること。我々は、これらの要求を達成するために、スリット、分散素子としてのトロイダル回折格子、および MCP 検出器を含む、シンプルな分光器の設計を行った。この方式は、ひさきなど他の宇宙望遠鏡による紫外分光観測にも採用されている。本発表では、WSO-UV 計画の概要、UVSPEX の装置構成とその科学的目標に加えて、現在の開発状況について紹介する。

[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](#)

P327a JASMINE 衛星による精密測光観測

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, 上塚貴史, 大澤亮 (東京大学), 片
ぎ宏一 (JAXA), Exo-JASMINE チーム

JASMINE は、宇宙からの近赤外線観測により銀河中心方向に存在する多数の恒星のアstrometryを実施する科学衛星であるが、銀河中心方向が観測不可能な期間、系外惑星探査を始めとする位置天文学以外のサイエンスへの活用が検討されている。

我々は JASMINE 衛星を用いた系外惑星探査 “Exo-JASMINE” を推進しており、JASMINE による測光精度の評価や最適な観測対象の選定を含む観測戦略の策定に取り掛かっている。系外惑星のトランジット観測を含む衛星による精密測光観測では、衛星の姿勢制御エラーに起因する星像の重心位置の変動が検出器ピクセルの感度ムラと組み合わさって光度曲線に相関ノイズを生むため、しばしば開口測光による測光精度はこの相関ノイズに支配される。こうした相関ノイズを評価/補正し、トランジット測光観測に特化した JASMINE 画像データの解析パイプラインを構築するため、我々は JASMINE 画像シミュレータ (Image-Sim) によって生成された模擬画像データの解析を通じて各天体ごとに達成可能な測光精度の推定を行っている。我々は簡易的な解析シミュレーションにより検出器のピクセル間感度ムラ (フラット)・ピクセル内感度ムラが測光精度に与える影響を評価し、さらに光度曲線に含まれる相関ノイズを抑制する手法を開発した。本講演では、JASMINE による測光観測精度の向上のための方法論の概要と解析の進捗を報告する。

[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](#)

P328a 中程度のスペクトル帯域幅を備えた超解像コロナグラフ

伊藤 哲司, 松尾太郎 (名古屋大学)

将来の大型セグメント望遠鏡を用いた高コントラスト撮像観測には、G または K 型主系列星の周囲を公転する、地球に似た惑星の大気分子検出の期待が掛けられている。その観測でターゲット個数を増やすには、小さな内側動作角度 (Inner Working Angle: IWA) が必要であり、検出可能な大気分子を多様にするのであれば、広いスペクトルバンド幅が要求される。本研究は、これらの要求を満たすため、中程度 (10%以上) の帯域幅でかつ、 $1 \lambda_0/D$ (ここで、 λ_0 は設計中心波長、 D は望遠鏡の口径) 以下の IWA での観測が可能な「超解像」コロナグラフシステムを提示した。[c.f., 米国の 2020 年代天文学・天体物理学の 10 年毎調査 (decadal survey) に向けて検討された 4 つの旗艦宇宙望遠鏡ミッションコンセプトのうちの一つであった Large UV/Optical/Infrared telescope (LUVOIR) の IWA は、 $3.7 \lambda/D$ (LUVOIR-A) と $2.5 \lambda/D$ (LUVOIR-b) である。] 性能シミュレーションによると、提案されたシステムは、波長 650–750nm に渡って、離角 $1 \lambda_0/D$ 付近で 100 億分の 1 (太陽-地球系に相当) 以下のコントラスト比での観測が可能である。さらに、本方式は、離角 $0.7-1.4 \lambda_0/D$ に渡って 10% を超える軸外惑星光点広がり関数のコアスルーブットを維持する。本方式は、将来の地球に似た惑星大気のキャラクタリゼーションで多数の観測ターゲットを確保するために不可欠な、非常に小さい IWA を実現するコロナグラフシステムの最適化用モデルとして、機能する可能性がある。

[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](#)

P329a Gaia 天体を基にしたデブリ円盤検出頻度の算出

水木敏幸, 百瀬宗武 (茨城大学), 逢澤正嵩 (李政道研究所)

デブリ円盤とは主系列星等の比較的年老いた天体に付随する星周円盤であり、惑星へと成長しきれなかった微惑星 (小天体) 同士の衝突等で二次的に生成されたダストが主成分であると考えられている。赤外線以遠の長波長域での恒星 SED に対する超過: 赤外超過を用いることで数百のデブリ円盤が検出されてきた。先行研究により、デブリ円盤は重く・若い星で検出されやすいことが知られている一方で、近傍星の大半を占める軽く・年老いた星における定量的な理解は乏しい。低質量星に付随するデブリ円盤の検出頻度は 10% を有意に下回ることが、観測的な理解を難しくする主要因である。デブリ円盤の探査は Hipparcos による近傍星カタログを基に行われてきた。しかし、近傍星カタログに記載されている天体数を遥かに超える数を、Spitzer や WISE のような高感度赤外線宇宙望遠鏡は検出しており、この赤外線天体の中にはデブリ円盤を始め多くの希少天体が含まれているはずである。本研究では、Gaia の近傍星カタログを基に Spitzer 及び WISE の中間赤外線アーカイブデータを調査することで、12, 22, 24 μm において赤外超過を示す天体を合計で数千発見した。しかしながら、この赤外超過の多くは背景天体との混同等によるものであり、低質量星では恒星自身の活動性による偽超過も無視できないことがわかった。比較的明るい天体のみを使用することで、この弊害を克服し、A 型星から M 型星にかけて連続的にデブリ円盤の検出頻度を得た。Spitzer/MIPS ch1 (24 μm) を例に挙げると、A-G 型星に関してはおおまかに先行研究と一致し (30-5%)、KM 型星における明るいデブリ円盤の検出頻度は 1% 程度である。本講演では、Gaia により拡張された僅かに遠く・暗い天体を用いることの利点と、これらを用いて得た明るいデブリ円盤の検出頻度に関して述べる。

[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](#)

Q01a 銀河面上における星形成前段階の星間ガスの探索

本多優一(東京大学), 長谷川哲夫(国立天文台), 阪本成一(国立天文台, 東京大学)

星形成に至る前段階の星間ガスは、銀河面上でのガスの質的变化を探る上で重要な要因である。その質的变化を定量化するための一つの手法として Sawada et al.(2012) は、分子ガスを輝度分布に基づいて暗くて希薄な成分(D成分)と明るくコンパクトな成分(B成分)に分離し、D成分に対するB成分の優位性を判断するための指数(Brightness Distribution Index: BDI)を導入した。

高いBDIを持つ領域には、星形成の直接の影響を受けたもの(星形成の結果)と、星形成に至る前段階のもの(星形成の原因)の寄与が混じっていると考えられる。そこで本研究では星形成に至る前段階の成分を抽出することを試みた。使用したデータは野辺山45m電波望遠鏡で観測された銀河面サーベイであるFUGINの $^{13}\text{CO}(J=1-0)$ 、 $^{12}\text{CO}(J=1-0)$ の2種類の分子輝線である。

まず、星形成の直接の影響を受けた領域を除去するため、電波再結合線観測から得られたHII領域のカタログ(Lockman 1989)の位置・速度情報を参照してデータのマスクングを試みたが、HII領域の影響を完全に除去するためにマスクサイズを大きめに設定すると、一部の領域ではマスクの混雑のためにマスクングが過剰となり、渦状腕領域が選択的に除去される結果となった。そこで、先行研究で使用されたBDI(B成分を ^{13}CO では4K以上、 ^{12}CO では10K以上として計算)を改良し、特定の温度までで輝度の積算を打ち切ることで、B成分への感度は保持しつつHII領域に代表される比較的高温度の星形成領域への感度を抑えることのできる新たな指数(BDI special)を導入した。現在、これを用いて星形成の前段階にあると思われる成分を直接特定してカタログ化する作業を進めており、それと分子雲質量、銀河系中心からの距離、渦状腕との関係について考察中である。

[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](#)

Q02a 輝線強度の頻度分布(BDF)による銀河系内分子ガスの分類と占有率の定量化

阪本成一(国立天文台, 東京大学), 本多優一(東京大学), 長谷川哲夫(国立天文台)

分子雲はその一部が密度を高めて構造化し、星形成に至る。Sawada et al. (2012)はその構造化の指標として、輝線強度の頻度分布(Brightness Distribution Function: BDF)を提案した。ある分子雲のBDFが特定の輝度に集中していれば構造化が進んでおらず、幅広い輝度に分布していれば構造化が進んでいることを意味する。

先行研究ではBDFの広がり(\approx 傾き)の指数(Brightness Distribution Index: BDI)を算出することで、銀河系内の分子ガスに対して、構造化の進んだ明るくコンパクトなB成分と、暗くて希薄なD成分の相対的な寄与の比率を評価した。そこで本研究ではその拡張として、 $^{13}\text{CO } J=1-0$ 輝線に対するBDFの形状や絶対値に着目することで、銀河系内の分子ガスを、希薄分子雲、暗黒雲、巨大分子雲(HII領域以外)、HII領域という通常用いられる4成分に分類し、その占有率を定量化することを試みた。使用したのは野辺山45m電波望遠鏡で取得された星形成プロジェクトおよびFUGIN銀河面サーベイのアーカイブデータであり、これを $\Delta l \times \Delta b = 1^\circ \times 0.25^\circ$ (距離5 kpcで 87×22 pcに相当)、 $\Delta V = 1.3 \text{ km s}^{-1}$ の速度チャンネル図に区切ってBDFを評価した。

この解析から、BDFのカットオフが希薄分子雲では2.5 K、暗黒雲では5 K、巨大分子雲(HII領域以外)では7.5 K付近にあること、範囲内に複数の異種の分子雲がある場合のBDFはそれぞれの分子雲のBDFの単純な合成で表され、BDFの解析により4成分の分離が可能であることが明らかになった。7.5 Kを超える輝度温度を持つ成分は既知のHII領域とおおむね対応する。また、 l - V 図上で希薄分子雲が卓越する領域が連続して見出されたが、これは主に渦状腕間に対応すると考えられる。さらに、希薄分子雲は分子ガスの局所的な占有率としては高くなりがちである一方、暗黒雲や巨大分子雲は希薄分子雲を伴わず孤立しがちであることも分かった。

[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](#)

Q03a 星間媒質中を高速移動する強重力源の軌跡：長大直線状構造の起源の理論的研究

北島 歆大, 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、強い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。この新しいフィラメント状構造の形成モデルで予言されるフィラメントを観測によって特定できれば、原因となった重力源の存在頻度についての示唆が得られる。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。本講演では、フィラメントの長さを解析的に見積もり、中間質量ブラックホールが長大フィラメントを形成し得る、ということを紹介する。

[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](#)

Q04a 機械学習アルゴリズムを用いた分子輝線データからの H₂ 柱密度の予測

島尻 芳人, 鳥居 和史, 宮本 祐介, 西村 淳, Doris Arzoumanian (NAOJ), 川西 康友 (理化学研究所), 藤田 真司, 上田 翔汰, 西本 晋平, 米田 龍生, 大西 利和 (大阪府立大学), 伊藤 篤史 (核融合科学研究所), 西川 薫, 吉田 大輔 (名古屋大学), 井上 剛志 (甲南大学), 竹川 俊也 (神奈川大学), 金子 紘之 (上越教育大学/国立天文台)

ハーシェル宇宙赤外線による近傍 ($d < 500$ pc) 星形成領域に対する探査観測により、観測したすべての分子雲でフィラメント構造が検出された。さらに、これらのフィラメントは、0.1 pc という特徴的な幅を持つことが示された。測定に用いるトレーサーが異なると同じフィラメントを測定しても幅が異なることも明らかになっている。例えば、ハーシェルでは 0.1 pc 幅のフィラメントを高密度ガストレーサーである N₂H⁺ 分子輝線で観測すると 0.035 pc 幅と見積もられる。そのため、この幅の普遍性を明らかにするには、大質量星形成領域にあるフィラメントの幅を近傍星形成領域と同様に連続波観測から測定する必要がある。しかし、連続波で、数 kpc にある大質量星形成領域の 0.1 pc 幅のフィラメントを十分に空間分解し、広がった構造も再現できる観測装置がない。

そこで、ALMA などで高空間分解能観測が可能な分子輝線データから、H₂ 柱密度を予測するため、機械学習のテクニックの一つである勾配ブースティングに基づく lightGBM (Light Gradient Boosting Machine) を用いて、オリオン座 A 分子雲の一部に対する ¹²CO (1-0)、¹³CO (1-0)、C¹⁸O (1-0)、H₂ 柱密度のデータを学習し、全体の ¹²CO (1-0)、¹³CO (1-0)、C¹⁸O (1-0) のデータから、全体の H₂ 柱密度を予測した。結果、予測された H₂ 柱密度は、ハーシェルの観測で得られた H₂ 柱密度と数%以内で一致した。同様の結果を、オリオン座 B 分子雲、わし座分子雲、M17 においても得た。本講演では、予測された H₂ 柱密度の構造について詳細に議論する。

[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](#)

Q05a 機械学習アルゴリズムを用いた Near-Far 問題の解法 (3)

藤田真司, 上田翔汰, 西本晋平, 米田龍生, 大西利和 (大阪府立大学), 鳥居和史, 宮本祐介, 鳥尻芳人, 西村淳 (国立天文台), 伊藤篤史 (核融合科学研究所), 川西康友 (理化学研究所), 西川薫, 吉田大輔 (名古屋大学), 井上剛志 (甲南大学), 竹川俊也 (神奈川大学), 金子紘之 (上越教育大学/国立天文台), 徳田一起 (大阪府立大学/国立天文台)

銀河系内において分子雲までの距離情報は、その質量やサイズだけではなく銀河構造を議論する上でも最も重要なパラメータの一つである。視線速度と銀河回転速度から計算される運動学的距離を用いるのが一般的であるが、太陽系軌道より内側の領域のものに関しては Near 解と Far 解という異なる 2 つの解が同時に導出される問題がある (=Near-Far 問題)。我々はこれまで、赤外天文衛星 WISE の HII region カタログ (Anderson et al. 2014) を教師データに用い、機械学習の中でも空間的な特徴を捉えやすい Convolutional Neural Network (CNN) をベースとした Near-Far 推論モデルの構築を行ってきた (藤田他 2021 年秋季年会)。

今回、野辺山 45m 鏡による CO サーベイ FUGIN (Umemoto et al. 2017) とその拡張観測データ (合計: 銀経 62–10 度, 銀緯 ± 1 度) の全数十億 voxel に対し本 CNN モデルを適用し Near-Far の推論を行った。また、 $^{12}\text{CO} (J=1-0)$ データに対し CLUMPFIND (Williams et al. 1994) を適用し、約 10 万個の分子雲を同定した。これら 2 つの結果を組み合わせることにより、各分子雲までの運動学的距離を決定し、質量やサイズを求めた。観測領域全体で、分子雲質量は $10^{-2} - 10^5 M_{\odot}$ 程度 (中央値 $\sim 10^3 M_{\odot}$)、半径は 0.01 – 40 pc 程度 (中央値 3.6 pc) であり、先行研究 (e.g., Rathborne et al. 2009) と比較しより小さな分子雲まで検出できていることがわかった。これらの分子雲のより詳しい物理的性質や銀河系内における領域間での違い等について議論する。

[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](#)

Q06a The NANTEN Galactic Plane Survey II : (分子雲同定と距離決定)

西川薫, 山本宏昭, 早川貴敬, 堤大陸, 立原研悟, 福井康雄 (名古屋大学), 藤田真司, 大西利和 (大阪府立大学), 鳥居和史, 西村淳, 佐野栄俊, 宮本祐介, 鳥尻芳人 (国立天文台), 榎谷玲依 (慶應義塾大学), 伊藤篤史 (核融合科学研究所), 川西康友 (理化学研究所), FUGIN AI チーム

銀河系内の分子雲について分布や物理的性質を調べることは銀河構造や天体の進化を理解するために重要である。これまでに銀河系全体にわたる分子雲の分布を調べるため、電波を用いた広域サーベイが行われた (e.g. Dame et al. 2008, Mizuno et al. 2004)。NANTEN 銀河面サーベイ (NGPS, 立原他 2021 年秋季年会) は $^{12}\text{CO} (J=1-0)$ 輝線による広域サーベイで、 $4'$ グリッドで観測された $|b| < 5^{\circ}$ の領域に加え一部の高銀緯領域の観測も含まれる。

今回、NGPS データから astrodendro を用いて 9487 個の分子雲を同定した。距離決定にはガスの視線速度と銀河の回転速度から導かれる運動学的距離を用いた。太陽円の内側で生じる距離の不確定性 (Near-Far 問題) の解決には NGPS データで学習させた Convolutional Neural Network (CNN) のモデル (藤田他 2021 年秋季年会) を用いた。このモデルは 3 次元の輝度分布を入力とし、教師データには赤外線天文衛星 WISE の HII region カタログ (Anderson+2014) から距離が既知かつ分子雲が付随する天体を選んで採用している。教師データのうち学習に使用していないものをモデルに入力して推論したところ、Near-Far を正しく判定できた割合は 70% 程度であった。また、藤田他で使用されたデータに対して NGPS データは第 4 象限や高銀緯領域を含むが、それらの領域に対しても概ね Near-Far の判定ができていることが確認された。同定された分子雲はサイズが 0.1 – 200 pc 程度、質量は $1 \times 10^0 - 6 \times 10^6 M_{\odot}$ 程度であった。本講演では同定された分子雲について、銀河中心からの距離や Arm, Interarm などの領域間での物理量の比較や銀河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](#)

Q07a 深層学習を用いた Cygnus X 領域の赤外線リング構造の同定

西本晋平、上田翔太、藤田真司、米田龍生、大西利和 (大阪府立大学) 宮本祐介、島尻芳人、西村淳 (国立天文台)、伊藤篤史 (核融合科学研究所)、川西康友 (理化学研究所)、西川薫、吉田大輔 (名古屋大学)、井上剛志 (甲南大学)、竹川俊也 (神奈川大学)、金子紘之 (上越教育大学/国立天文台)、徳田一起 (大阪府立大学/国立天文台)

一般的に、大質量星が形成する若い H II 領域は、 $24\mu\text{m}$ の波長等の連続波でトレースされるホットダストを $8\mu\text{m}$ 等で明るい PAH feature の emission が取り囲むようなリング状構造 (赤外線リング構造) を有している。これらは、大質量星形成時の環境が少なからず残っており、大質量星形成のメカニズムを解明する上で重要である。その同定の大規模な例として Milky Way Project (MWP) があり、銀河面で 2600 個同定されている (Tharindu et al. 2019)。しかしながら、MWP のような従来の同定は人の目によって行われており、多大な労力と時間がかかることに加え、見落としや誤検知といった人的誤差が生じる問題がある。我々は、これらの問題を解決するために、深層学習手法を用いて、赤外線リング構造検出モデルを構築した。今回は、深層学習の中でも、物体検出に長けた手法である Single Shot MultiBox Detector (以後 SSD、Liu W et al. 2016) を用いた。SSD を用いることで、従来の CNN による検出 (上田他 2021 年秋季年会) と比べ、画像一枚に対しても位置を推定でき、より正確な位置を取得可能となった。データには、Spitzer の $8\mu\text{m}$ 、 $24\mu\text{m}$ を使用し、教師データには MWP の天体を用いた。本モデルを太陽系から最も近い活発な大質量形成領域の一つである Cygnus X 領域に適用した結果、MWP によってすでに同定されている 47 天体の約 8 割と一致し、新たに十数天体検出することに成功した。講演では、技術的な有効性と本モデルの正当性や、同定された天体の物理的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](#)

Q08a 野辺山 45m 望遠鏡を用いた IC1396N のアンモニア分子輝線観測

竹葉理史、半田利弘、村瀬建、平田優志、西潤弥 (鹿児島大学)、仲野誠 (大分大学)、砂田和良 (水沢 VLBI 観測所)、島尻芳人 (国立天文台)

星形成には、2つの異なる過程があると考えられている。一つ目は自発的星形成と呼ばれ、外部からの影響を受けにくい比較的静かな環境下に存在する分子ガスの塊が、自己重力で収縮し、星が誕生する過程である。もう一つは誘発的星形成と呼ばれ、超新星爆発や HII 領域の膨張、あるいは分子雲同士の衝突などのきっかけによって分子雲が外部から圧縮され、星が形成される過程である。Elmegreen&Lada(1977) では、膨張する HII 領域と分子雲の境界面で衝撃波が生じる。その境界面では、分子ガスの温度上昇が期待される。そのため、膨張する HII 領域が分子雲に与える影響を調べるためには、HII 領域に隣接する分子雲の温度を調べるのが有効である。分子雲の温度を見積もるには、アンモニア分子輝線が有効であり、我々は野辺山 45m 電波望遠鏡を使用して、分子雲をアンモニア (J,K)=(1,1)(2,2)(3,3) と水メーザーでマッピング観測している。2013-2015 年に観測を行った複数天体のうち、本講演では、HII 領域を伴うケフェウス座 IC1396 の北側に位置するグロービュール IC1396N 領域について報告する。

観測の結果、東北から南西にかけてピーク速度が 0.1 km/s から 0.9 km/s へと赤方偏移し、北から南にかけて (2,2)/(1,1) の強度比から得られる回転温度が 13 K から 18 K へ、速度幅が 1.0 km/s から 2.2 km/s へと増加していることが明らかになった。LTE 質量は、典型的な分子雲と同程度であった。また、この領域では水メーザーも検出された。本講演では、これらの結果を踏まえて、グロービュール IC1396N 領域を対象に、大質量星に起因する HII(電離水素) 領域が星形成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](#)

Q09a 大マゼラン雲における銀河間潮汐相互作用による大質量星形成

栢植紀節¹, 立原研悟², 佐野栄俊³, 福井康雄², 徳田一起^{3,4}, 大西利和⁴, 河村晶子³ (1: Friedrich-Alexander Univ., 2: 名古屋大学, 3: 国立天文台, 4: 大阪府立大学)

大質量星形成過程の理解は、銀河進化や宇宙の構造形成を紐解くうえで不可欠である。我々はこれまで、大マゼラン雲 (LMC) に着目し水素原子ガス (HI) の空間分布と速度構造の詳細解析、ダスト放射と HI 強度の比較を行ってきた。その結果、LMC の円盤成分 (D 成分) に、相対速度 50–100 km s⁻¹ で小マゼラン雲 (SMC) から流入してきた低速度の HI ガス (L 成分) が衝突し、巨大星団 R136 (銀河南東部)、星形成領域 N44 (銀河中心方向) が形成されたというシナリオを提唱してきた (Fukui et al. 2017; Tsuge et al. 2019)。今回新たに、N11 (北西潮汐腕の先)、N79 (北西潮汐腕の根本) 領域の HI データ解析を行い、ガス衝突の衝突を 3 つ示した; (1) 2 つの速度成分の存在、(2) それらをつなぐ中間速度成分の存在、(3) 2 つの速度成分の相補的な空間分布。またガスの運動が大質量星からの星風による運動量では説明できないことを確かめた。観測をもとにした LMC-SMC 相互作用の数値計算からも、銀河南東部だけでなく円盤中心方向、N79、N11 を含む北西潮汐腕方向にも速度 30 km s⁻¹ 以上で衝突しているガスの存在が示されている (Tsuge et al. 2021)。これらの結果から、矮小銀河における大質量星形成において銀河間潮汐相互作用が重要な役割を果たしていることを論じる。また、R136、N44、N11、N79 領域の衝突の物理量 (HI 質量/密度、衝突速度、衝突の向き、空間スケール他) と形成されている大質量星の数を比較し、星形成過程に重要な物理量を探る。さらにこの成果をもとに、ALMA による分子雲サーベイ観測 (2021.1.00490.S) を PI として進めている。今後、分子雲の物理状態 (形態、速度、柱密度など) を HI の物理状態と比較することで、広い空間/密度スケールでのガスの進化と大質量星形成過程の理解を深化させる計画である。

[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](#)

Q10b 野辺山 45 m Local Spur CO サーベイ: こぎつね座 OB アソシエーションにおける巨大フィラメント状分子雲と星団形成 II

河野樹人 (名古屋市科学館), 西村淳 (国立天文台野辺山), 藤田真司, 大西利和, 上田翔汰, 切通僚介 (大阪府立大), 徳田一起 (大阪府立大/国立天文台), 立原研悟, 福井康雄, 堤大陸 (名古屋大), 西合一矢, 宮本祐介, 南谷哲宏, 佐野栄俊 (国立天文台), 半田利弘 (鹿児島大), 鳥居和史

近年、VLBI や Gaia の年周視差観測から、太陽系を含む Local arm と Sagittarius arm をつなぐ腕間領域に相当する、“Local Spur”の存在が示唆されている (Xu et al. 2016)。我々は、天の川銀河の渦状腕間における巨大分子雲の同定とそこでの星形成メカニズムの解明を目指して、野辺山 45 m 鏡を用いて、銀河面 $50^\circ < l < 65^\circ$, $|b| < 1$ の領域に対して ¹²CO, ¹³CO, C¹⁸O $J=1-0$ 輝線の広域サーベイ観測を行った。特に観測領域の中で距離 2.0 kpc にある 3 つの HII 領域 Sh 2-86, Sh 2-87, Sh 2-88 を含むこぎつね座 OB アソシエーションに着目した。解析の結果、長さ ~ 30 pc, 質量 $\sim 4 \times 10^4 M_\odot$ の巨大フィラメント状分子雲が存在し、巨大分子雲全体が Local Spur に付随することを示した (河野他 2021 年春季年会)。今回、新たにフィラメント状分子雲の速度構造の詳細な解析を行った。視線速度の異なる 2 つのフィラメントに沿って、位置速度図を作成したところ、それぞれ“V 字型”と“丸い空洞状”の特徴的な速度構造が見られた。これらの構造は、先行研究や数値シミュレーションとの比較から分子雲同士の衝突による衝撃圧縮と、散開星団 NGC 6823 からの局所的 (<5 pc) なフィードバックによって形成されたと考えられる。さらに Sagittarius arm に付随する巨大分子雲 W51、系外銀河 M33 の GMC-16 で発見された巨大フィラメント状分子雲との物理量の比較を行った。その結果、今回発見したフィラメントは、長さが 30%-50%、分子ガス質量が $\sim 10\%$ であり、渦状腕中の巨大フィラメント状分子雲よりも小さいことがわかった。

[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](#)

Q11b アンモニアマッピングサーベイプロジェクト (KAGONMA): 星形成活動が周辺分子ガスへ及ぼす影響

村瀬 建, 半田利弘, 平田優志, 面高俊宏, 西 潤弥 (鹿児島大学), 仲野 誠 (大分大学), 砂田和良 (水沢 VLBI 観測所), 島尻芳人 (国立天文台)

大質量星由来の HII 領域の拡大、強力な紫外線放射などの現象は周辺の星間物質や次世代の星形成に大きな影響を与えることが知られている。James Clerk Maxwell Telescope (JCMT) Gould Belt survey の一環として行われた最近の研究で、OB 星からの放射 feedback が周辺分子雲に与える影響範囲を評価されている。その結果、OB 星を中心とした数 pc の範囲にあるダストが加熱されていることがわかり、加熱による Jeans mass の増加が分子雲コアの重力収縮を抑制し、大質量星形成の要因となる可能性が示唆された。並行して、我々は様々な進化段階にある大質量星形成活動が周辺分子ガスに与える影響範囲に着目し、大質量星形成領域 W33 に対して周波数 23 GHz 帯で検出される複数の NH₃ 分子輝線のマッピング観測を実施した。今回我々は、異なる星形成段階にある W33 Main, W33 A, W33 A1, W33 Main1 を含む 12 × 12 pc の範囲を観測し、回転温度、柱密度の物理量を見積もった。回転温度の分布を調べたところ、観測領域の大部分では 15 K 程度の温度が得られたが、HII 領域が付随している W33 Main 周辺では 20 K 以上の温度を示し、周辺の分子ガスと比べて加熱されていることがわかった。その影響範囲はおおよそ 1 pc 程度であった。W33 Main の中心では、HII 領域からの連続波を背景とした吸収線の特徴が見られた。興味深いことに、吸収線の特徴は低い励起状態にある NH₃(1,1), (2,2) のみに見られ、(3,3) では輝線のみを検出であった。このような複雑なスペクトルの組み合わせは、単純なモデルでは説明することが難しく、HII 領域周辺のガス分布が複雑であることを示唆し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](#)

Q12a The Long Tails of the Pegasus-Pisces Arch Intermediate Velocity Cloud

K. Tachihara¹, R.L. Shelton², M. Elliott Williams², M.C. Parker², J.E. Galyardt², T. Hayakawa¹ & Y. Fukui¹ (¹Nagoya University, ²University of Georgia)

High and intermediate velocity clouds (HVCs and IVCs) are characterized by their relative velocity of more than 100 km s⁻¹ and 50 km s⁻¹ with respect to the Galactic rotation, respectively. As indicated by the fact that they tend to have negative velocities, HVCs and IVCs are suggested to be falling down to the Galactic disk. The Pegasus-Pisces Arch is an IVC with a cometary shape and unusually long tails. It was identified in HI 21 cm data. Typical neutral hydrogen column densities of $\sim 10^{20}$ cm⁻² were observed by Arecibo, yet only an upper limit on the dust continuum was observed by Planck. Its small dust-to-gas ratio implies that this IVC has a halo or extragalactic origin. We performed numerical simulations using various initial conditions and succeeded in reproducing the IVC's long tails and velocity structure. The simulations start with low-density ($n < 1$ cm⁻³) clouds of $\sim 10^4 M_{\odot}$ located ~ 1000 pc from the midplane. The clouds begin with initial velocities of 70 km s⁻¹ in both the transverse and vertical directions, and fall supersonically through the Galaxy's thick disk. The clouds quickly begin to grow tails. They are protected by the cloud's bowshock and evolve to become somewhat similar to those of the actual IVC. Later, the clouds collide with dense gas in the Galactic midplane. In this talk, we consider the possibility that this IVC is a decelerated HVC that originated in the halo or circumgalactic space. The simulational results are presented in R.L. Shelton, M. Elliott Williams, M.C. Parker, J.E. Galyardt, Y. Fukui, and K. Tachihara in the ApJ (in press).

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Q13a 中高銀緯広域における中間速度雲の重元素量空間分布 (3)

早川貴敬, 福井康雄 (名古屋大学)

中間速度雲 (Intermediate Velocity Clouds; IVCs) は、銀河回転モデルで説明できず、その多くは銀河面から ~ 1 kpc 離れたディスク-ハロー境界に存在し、負の視線速度を持つ=落下するガスである。

我々がこれまでに確立してきた 353 GHz のダスト光学的厚み (τ_{353}) と 21 cm 線積分強度 (W_{HI}) からダスト/ガス比=重元素量を推定する手法 (Fukui et al. 2017; Fukui, Hayakawa et al. 2021, PASJ 73, S117) を、多重線形回帰および地理的加重回帰 (Fotheringham et al. 2002) と併せて適用し、低銀緯領域などを除いた全天の低速度/中間速度/高速度ガスの重元素量の空間分布を明らかにした (早川・福井 2021 年秋季年会)。重元素が太陽系近傍と同程度の、ディスクに由来する (すなわち、Shapiro & Field 1976 が提唱した「噴水」モデル的な) IVCs の存在を確認した一方で、低重元素の IVCs も $10^5 M_{\odot}$ のオーダーで存在する事を示した。

この前回報告した結果を銀河進化の観点から考察し、以下の結論を得た。(1) 降着タイムスケール 10^7 yr (高さ 1 kpc から速度 100 km s^{-1} で落下) を仮定すると、おおよそその中性ガス降着率は $10^{-2} M_{\odot} \text{ yr}^{-1} \text{ kpc}^{-2}$ と推定される。銀河系全体 (10^2 kpc^2) で $1 M_{\odot} \text{ yr}^{-1}$ の降着があるとすれば、同程度の星形成が数十億年にわたって「燃料切れ」にならずに続いている事を説明可能である。(2) いわゆる G 型矮星問題に関して、ハローからディスクへガスの流入が存在すると推測されており、本研究の結果はこの推測と矛盾しない。(3) およそ 10 kpc 以遠では、高速度雲 (HVCs) などの低重元素中性ガスが観測される一方で、1 kpc 程度では見つからないことが問題とされてきた (例えば Richter et al. 2017)。IVCs のうち有意な割合が低重元素ガスであれば、この矛盾は解消される。

[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](#)

Q14a 銀河面に降り注ぐ中間速度中性水素雲

福井康雄, 早川貴敬, 立原研悟 (名古屋大学)

我々は中間速度中性水素雲 (IVCs=intermediate velocity clouds) の一つ、Pegasus-Pisces Arch および IVC86–36 を詳細に解析し、その顕著な head-tail 分布を発見し (Fukui et al. 2021)、流体力学モデルの数値計算を行って同 IVC の形状が、銀河系ハロー中 1.5 kpc 以上にわたる軌道によってよく再現できることを示した (Shelton et al. 2021, ApJ, in press; 立原他本年会)。並行して、銀河面以外の全天の IVC について多重成分解析を行なって IVC 全体の金属量を導き、IVC の 20% が太陽近傍の 0.3 以下の低金属量を持つことを示した (早川他 2021 年秋季年会; 同本年会)。これらの結果は、IVC として銀河面に落下するガスの有意な割合が、低金属量の銀河系外由来であることを示唆する。

これらの成果を受けて今回、高角度分解能 ($4'$) の H I データ (GALFA-DR2, Peek et al. 2018) を用いて (l, b) $\sim (60^{\circ}-180^{\circ}, -20^{\circ}-50^{\circ})$ の範囲について IVC 分布の詳細な解析を試みた。その結果、多数の IVC が落下運動によると見られる周囲との相互作用の兆候を示すことを見出した。主な結果は以下のとおりである。

- i. 顕著な head-tail 分布として新たに IVC106–24、IVC97–30 等を発見した。これらは数値計算の示す 2 本の tail 分布を持ち、前者は IVC86–36 同様に低金属量を示す。
- ii. IVC86–36 周辺には多数の小 IVC が分布し、IVC86–36 とほぼ平行に伸びたフィラメント形状を示し、共通の起源を示唆する。
- iii. H_{α} との比較によると一部の IVC は電離ガスをともっており、衝撃波電離の結果と推測される。

[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](#)

Q15a Laboratory Measurement of Millimeter-wave Transitions of $^{13}\text{CH}_2\text{DOH}$ for Astronomical Use

Takahiro Oyama (RIKEN), Yuki Ohno (RIKEN), Akemi Tamanai (RIKEN), Shaoshan Zeng (RIKEN), Yoshimasa Watanabe (SIT), Ryohei Nakatani (RIKEN), Takeshi Sakai (UEC), Nami Sakai (RIKEN)

Methanol (CH_3OH) is an abundant interstellar species and is known to play an important role in formation of various interstellar complex-organic molecules as a mother species. As a monodeuterated methanol, CH_2DOH is one of the most abundant isotopologues of CH_3OH and it is often used to study the formation process of CH_3OH . However, the abundance of CH_2DOH needs to be carefully evaluated, because its rotational lines are often optically thick. Observations of the ^{13}C substituted species, $^{13}\text{CH}_2\text{DOH}$, are the best way to overcome this situation. In this study, the rotational transitions of $^{13}\text{CH}_2\text{DOH}$ have been measured in the millimeter-wave region from 216 GHz to 264 GHz with an emission-type millimeter and submillimeter-wave spectrometer by using a deuterium and ^{13}C enriched sample for the first time, where the accuracy of the measured frequencies is a few kHz. The relative line intensities of $^{13}\text{CH}_2\text{DOH}$ are also measured within the error of 10% or less in most of the frequency range. In total, 115 lines are assigned for the three torsional sub-states, e_0 , e_1 and o_1 . Effective molecular constants are tentatively derived with the aid of SPFIT program distributed by JPL. These results can be used to detect the $^{13}\text{CH}_2\text{DOH}$ lines in space, and its detection will accelerate the studies of the deuterium fractionation of CH_3OH in various sources through accurate determination of the CH_2DOH abundance.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Q16a 電波星雲 W50 東端領域と分子雲との相互作用

酒見はる香 (鹿児島大学), 町田真美 (国立天文台), 山本宏昭, 立原研悟 (名古屋大学)

電波星雲 W50 は、内部に存在するマイクロエーサー SS433 から噴出するジェットにより東西方向に引き伸ばされた ear 構造を持つ。ear 構造の軸上では多数の分子雲が $42\sim 84\text{ km s}^{-1}$ と幅広い速度帯で観測されており、ジェットや星雲との関係が議論されている (Su et al. 2018; Liu et al. 2020; 山本 2021 年秋季年会 Q11b)。近年、X 線連星ジェットが周辺の星間物質の物理的・化学的進化に及ぼす影響が注目されており (Tetarenko et al. 2017, 2020)、SS433 は理想的なターゲット天体の 1 つと考えられている。また、ジェットや星雲と相互作用する星間物質の同定は、未だ明らかにされていない SS433/W50 系の距離に制限を与える上でも重要となる。

我々は野辺山 45m 電波望遠鏡と ASTE を用いて W50 東側 ear 先端領域の $^{12}\text{CO}(J=1-0)$, $^{13}\text{CO}(J=1-0)$, $^{12}\text{CO}(J=3-2)$ 輝線観測を行い、 $25\sim 43\text{ km s}^{-1}$ の速度帯で分子雲を同定した。特に ear から北方向に突き出した chimney 構造と ear 東端部近傍に分布する分子雲の一部に、 $32\sim 34\text{ km s}^{-1}$ でピークを持ち、スペクトルに $2\sim 4\text{ km s}^{-1}$ 程度の wing 構造の見られるものを確認した。また、これらの分子雲が非対称な放射強度分布を持ち、W50 と重なる方向に向けて急激な密度勾配を持つことが明らかになった。LVG 解析の結果、この密度構造に沿った有意な温度の上昇は確認されなかった。以上のことから、同定した分子雲の一部が過去に W50 と衝突し、その後冷却により温度が低下している可能性を明らかにした。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](#)

Q17a JVN 高感度少数基線を用いた銀河面上の未分解コンパクト電波源に対する種族推定

元木業人, 小倉達也, 新沼浩太郎, 藤沢健太 (山口大学), 米倉覚則 (茨城大学), 関戸衛 (情報通信研究機構), 岳藤一宏 (JAXA)

銀河面に存在する電波源には空間的に未分解であるため、種族推定が困難な天体が多く含まれている。我々は銀河面の未知のセンチ波コンパクト源の天体種族推定を目的としたフリンジ検出探査を 8 GHz で実施した。観測対象は VLA CORNISH catalog から 255 天体の赤外線暗い点源を対象とした。観測は非熱放射のみに感度を持つ長基線 VLBI (山口-日立) と熱放射にも感度を持つ短基線 VLBI (鹿島-日立) の観測を組み合わせて行った。その結果、天体サイズが ~ 10 mas 以下の非熱放射源が 84 天体、 ~ 100 mas 以下の熱放射の候補が 38 天体検出された。統計的検証の結果、84 天体の非熱放射源については全て背景の AGN である可能性が高いことが示唆された。また、熱放射源の候補には過分解された AGN や系内のなんらかの非熱放射源が一部含まれていると考えられる。一方、このうち 22 天体は輝度温度の下限値が 10^5 K 未満の低輝度天体であった。特にこのうち 3 天体は大質量星の表面温度に近い輝度温度を示したほか、明らかにスペクトル指数の下限値が正である天体が 7 天体確認された。これらのことから 100 au 程度の極めてコンパクトな熱的放射源を初めて VLBI 観測によって捉えた可能性がある。例えばそのような天体の候補としては極めて若く重力的に束縛された極小 HII 領域などが考えられるため、今後は多周波イメージング観測を行なってその正体を明らかにする予定である。また本研究により中-短基線を含む少数基線 VLBI によるフリンジ測定が多天体に対する輝度温度測定において非常に有効であるということが改めて示された。

[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](#)

Q18a 3次元輻射流体力学計算で探るブラックホール降着円盤への Bondi-Hoyle-Lyttleton 過程

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) は、銀河中心に普遍的に存在することが観測により知られているが、その形成過程は未解明である。太陽の $10^3 - 10^5$ 倍程度のブラックホールが形成され、それが星間ガス中を浮遊する際に Bondi-Hoyle-Lyttleton 降着によって成長するというのが有力なシナリオのひとつである。ただし、BH 周囲に降着円盤が存在し、且つ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と予測される。そこで Toyouchi et al. (2020) は、dusty-gas 中を浮遊する BH 周囲の Bondi-Hoyle-Lyttleton 降着機構を 3次元輻射流体シミュレーションを用いて調査し、dusty-gas に対する Eddington 降着率を有する (金属量 $0.1Z_{\odot}$) という結果を得た。しかしながら、等方輻射場が仮定されており、円盤が作り出す非等方輻射場の影響についてはまだ調べられていない。

そこで我々は、降着円盤による輻射場の非等方性を考慮した Bondi-Hoyle-Lyttleton 降着機構を 3次元輻射流体シミュレーションを用いて調査した。ここでは、(Adaptive Mesh Refinement) を実装した流体 AMR 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。ガスが降着円盤の円盤面に平行に流入する場合、等方輻射場を仮定したケースの場合よりも質量降着率が数倍程度大きくなることが分かった。円盤放射が弱くなる円盤の赤道面に沿って効率的な降着が生じるためである。講演では、ガスが円盤の回転軸に平行に流入する場合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](#)

Q19a 宇宙線が誘起する Biermann battery 効果による磁場生成

横山将汰 (東京大学), 大平豊 (東京大学)

現在の宇宙において、磁場や宇宙線は幅広い空間・エネルギースケールで存在し、さまざまな天体現象に影響を及ぼしていることがよく知られている。しかし宇宙の歴史の中で、いつ磁場や宇宙線が生成されたのかというのは未解明の問題である。最近の研究では、初代星の爆発によりできた超新星残骸中に生じた衝撃波が、初代宇宙線を加速するという可能性が指摘された。本研究では、初期宇宙の磁場が宇宙線によって生成されるというシナリオに注目し、新たな磁場生成メカニズムを提唱する。

有名な磁場生成過程の一つとして、電子の密度勾配と圧力勾配との向きが異なる時、電子の運動に渦ができて磁場が生成されるという Biermann battery 効果が知られている。本講演では、宇宙線電流が非一様に流れることで、プラズマを非一様に加熱し、Biermann battery 効果を誘起するというメカニズムを紹介する。宇宙線電流による加熱で引き起こされる温度変化と、生成される磁場の強度を評価し、現在の銀河磁場を説明するのに十分な種磁場を生成し得ることを示す。さらに、これまで提唱されてきた宇宙線による磁場生成過程との比較を行い、どのような環境・パラメータでどの過程が有利に働くのかを議論する。

[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](#)

Q20a 宇宙線によって引き起こされる宇宙での放電現象

大平豊 (東京大学)

宇宙線は宇宙空間のガスと相互作用することによって、ガスを電離したり加熱したり、ガンマ線を出したりすることが知られている。また、宇宙線の流れが存在すると、宇宙線電流を打ち消すために熱的電子が帰還電流を流すことがわかっている。この熱的電子の帰還電流によって磁場が 0 から生成されたり、すでにある磁場を増幅したりすることも知られている。

宇宙線と地球大気中の雷雲との相互作用では、宇宙線が作る 2 次電子が雷雲中の電場で加速され電子雪崩が起きる。実際に、この電子雪崩に伴うガンマ線発光現象も観測されている。しかし、宇宙空間での宇宙線とガスの相互作用ではこれまで電場の効果が無視されていた。

本研究では、ガス中の宇宙線の流れが誘導する電場を評価し、その電場によって電子雪崩 (放電) が起きる条件を求めた。熱的電子の帰還電流がクーロン抵抗によって電場を誘導する。宇宙線は衝突電離によって 10 eV 程度の 2 次電子を作る。10 eV 程度の電子の電離によるエネルギー損失と電場による加速を比較することで、宇宙線による放電が起きる条件を求めることができる。また、放電が起きることによって 2 次電子の帰還電流が大きくなり、熱的電子の帰還電流と誘導される電場が減少する振る舞いを明らかにした。この放電現象は、磁場生成や磁場増幅、ガスの電離や加熱に大きな影響を与える可能性がある。

[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](#)

Q21a COMPTEL による MeV 拡散銀河ガンマ線の起源の検証

辻 直美 (理研), 井上 芳幸 (大阪大学), 米田 浩基 (理研), 小高 裕和 (東京大学), Reshmi Mukherjee (Barnard College)

COMPTEL により、銀河系内部の領域 ($|b| \lesssim 10^\circ$; $|l| \lesssim 60^\circ$) から、1–30 MeV の帯域で 10^{-2} MeV/cm²/s/sr 程度の拡散ガンマ線が検出されており、その起源は分かっていない。本研究では、MeV 帯域における天体からの放射、銀河面放射、銀河系外放射を考えることで、この超過ガンマ線成分を精査した。まず、Swift-BAT の硬 X 線カタログと Fermi-LAT の GeV ガンマ線カタログをクロスマッチすることで得られた天体リスト (Tsuji et al. 2021, ApJ, 916:28) から、各天体について硬 X 線と GeV ガンマ線スペクトルを補間し、MeV 帯域のフラックスを推定した。銀河系内部領域に存在する天体からの放射は、およそ 10^{-3} MeV/cm²/s/sr と見積もることができた。次に、GALPROP を用いて銀河面からの放射を計算した。Fermi による GeV ガンマ線の拡散放射と、Voyager と AMS-02 による宇宙線観測との整合性を図ると (Ackermann et al. 2012, ApJ 750:3; Orlando 2018, MNRAS 475, 2724–2742)、 $(2-8) \times 10^{-3}$ MeV/cm²/s/sr の銀河面放射があることが分かった。従って、銀河面放射の不定性が一番大きい、天体や銀河系外放射 ($\sim 2 \times 10^{-3}$ MeV/cm²/s/sr) の寄与も無視できない可能性がある。本講演では、以上の解析の詳細を報告し、MeV ガンマ線の超過成分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](#)

Q22a 星風中を伝播する超新星残骸における宇宙線の逃走過程と最高エネルギー

上島 翔真 (東京大学), 大平 豊 (東京大学)

$10^{15.5}$ eV 以下のエネルギーを持つ宇宙線は、標準的には、銀河系内の超新星残骸において衝撃波統計加速で加速されると考えられている。衝撃波統計加速の加速時間は、磁場と衝撃波法線の角度によって変化し、磁場と衝撃波法線が垂直な垂直衝撃波は、磁場と衝撃波法線が平行な平行衝撃波よりも短時間で粒子を加速することが期待されている (Jokipii 1987)。しかし、平行衝撃波と垂直衝撃波のどちらが $10^{15.5}$ eV の宇宙線を供給するのか不明である。また、どの種類の超新星爆発で生じた超新星残骸が、 $10^{15.5}$ eV の宇宙線を供給するのか不明である。

宇宙線の最高エネルギーの決定には、宇宙線の逃走が重要である (Ohira et al. 2010)。これまでの宇宙線の逃走は、拡散近似下で議論されてきた。しかし、拡散近似では、垂直衝撃波での効率的な加速で重要なジャイロ運動を取り扱うことができないため、垂直衝撃波からの逃走過程は不明である。

Kamijima & Ohira 2021 では、星間空間中を伝播する Ia 型超新星残骸を対象とし、超新星残骸全体の大局的な系で、ジャイロ運動を正確に解きつつ、宇宙線の逃走過程と最高エネルギーをテスト粒子計算によって調べた。これにより、上流の磁場増幅が無視できる場合には、最高エネルギーとして約 10 TeV までしか加速出来ないことを明らかにした。本研究では重力崩壊型超新星爆発による超新星残骸を対象とし、衝撃波面の形状、超新星残骸周辺の磁場構造、電流シートの構造を取り入れ、ジャイロ運動を正確に解きつつ、宇宙線の逃走過程と最高エネルギーを調べた。これにより、逃走で決まる最高エネルギーとして、注入位置から赤道面または極域までのドリフト運動で獲得するエネルギーと、電流シートの構造で決まるエネルギーの 2 種類実現し得ることを明らかにした。本発表では、宇宙線の逃走過程と逃走で決まる最高エネルギーについて議論する。

[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](#)

Q23a 様々な環境における超新星残骸の非熱的放射の長時間にわたる計算

小橋亮介, Shiu-Hang Lee, 安田晴皇 (京都大学)

様々な超新星残骸を γ 線で観測すると、そのスペクトルには年齢に依存した概形の変遷が確認され (Yuan et al. 2012)、またそのピークエネルギーも年齢に応じて変動している。この起源については宇宙線加速機構の不定性も相まって、詳しいことは分かっていないが、様々な環境を用意し超新星残骸の進化を、理論面から調べた先行研究が存在する (Yasuda & Lee 2019)。この研究では、異なる星周環境における超新星残骸の衝撃波での拡散衝撃波加速と、 π^0 崩壊や逆コンプトン散乱などの γ 線放射機構を組み合わせることで、超新星爆発後の年代が初期から Sedov 期 ($\sim 5,000$ yr) までの γ 線スペクトルの計算を可能にした。しかし、彼らは長時間の計算を行っていなかったり、用いた星周環境が簡素なものだったり、改良の余地が残されていた。

そこで本研究では、*CR-hydro* code (Yasuda & Lee 2019, Yasuda et al. 2021) を用いて、異なる型の超新星残骸から放出される電波や γ 線について、より現実的な星周環境下で 50,000 年までの長期間計算を行った。Ia 型超新星の星周環境としては一様な環境 ($n = 10^{-3} \sim 10 \text{ cm}^{-3}$) を仮定し、重力崩壊 (CC) 型に対しては親星の質量放出の歴史を考えて、一様な媒質中に様々な濃さの星風 ($\dot{M} = 10^{-6} \sim 10^{-4} M_{\odot}/\text{yr}$, $v = 20 \text{ km/s}$) が吹いた状況を仮定した。その結果、Ia 型に対してはどの波長に対しても常に明るく、その明るさは媒質の濃さに依存する事が分かり、また観測との比較により、長期に渡り $n \leq 10^{-1} \text{ cm}^{-3}$ 程度の濃さが観測を再現することも確認した。CC 型に対しては、衝撃波が星風を掃いている年齢 ($\leq 1,000$ 年) では、 π^0 崩壊が卓越するので星風の濃さのみが光度の大きさを決める。その後は一様な媒質中に突入することで、星風の情報を失いどのモデルも同じ進化をするという結果を得た。

[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](#)

Q24a パルサー星雲広帯域放射の乱流加速モデル

田中周太 (青山学院大学)

回転駆動型パルサーがパルス放射によって失うエネルギーは回転エネルギーのごく一部で、ほとんどのエネルギーを相対論的なパルサー風として失う。そのパルサー風が周囲の超新星残骸と相互作用することによりパルサー星雲は形成される。パルサー風中には逆行衝撃波が走っており、その下流に形成されるパルサー星雲には相対論的衝撃波で加速された粒子が蓄積される。パルサー風起源の粒子が衝撃波加速されることで X 線や高エネルギーガンマ線が輝くことがエネルギー収支を含めて標準モデルによってよく説明されている。一方で、電波帯域の放射を出す粒子の起源は不明で、特に粒子数の源についてはパルサーからの供給が困難であるという問題が知られている。過去の研究では、この電波帯域の放射を出す粒子を未知の源から注入された冪型の分布で説明しているが、我々は 2017 年の研究でこの電波放射の起源として物理的な乱流加速のモデルを構築した。このモデルでは、パルサー星雲内で乱流加速される粒子は周囲の超新星残骸から注入されるとし、電子の加速が陽子や原子核と同程度かそれ以上であることを仮定し、パルサー風によって駆動される乱流の時間発展を有限の時間で減衰するように減衰時間を導入することでモデル化して扱った。本研究ではこれまでのモデルを、乱流加速によるフィードバックを含めたものに拡張しても、かに星雲の電波放射を含む広帯域スペクトルが説明できるを示した。本発表ではモデルの詳細と得られた結果に関する議論も行う。

[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](#)

Q25a X線帯におけるカニ星雲南側ジェットの長期間変動

金丸善朗, 森浩二 (宮崎大学)

強磁場で高速回転するパルサーは粒子の効率的な加速器であり、相対論的速度の電子・陽電子からなるパルサー風を吹き出すことによって、X線帯においてはシンクロトン放射の支配的なパルサー星雲を形成する。パルサー星雲は一般にジェットとトーラスを有しており、そのなかでも最も研究されているカニ星雲にはダイナミックに形態の変化するジェットが存在する。今回我々は Chandra 衛星によってサブ秒角スケールで空間分解した 15 年を越える X 線観測データを用いて、カニ星雲の南側ジェットを調査した。その結果、ジェットの進行方向が急峻に変わっていく様子と、年単位のスケールで折れ曲がり構造が下流へと移動していく様子が見てとれた。また、約 15 年でジェットの長さは 30 秒角ほど延伸したこと、ジェットの接線速度は上流から下流にかけて光速の数 % から数 % へと変化したことが分かった。本講演では、これらカニ星雲南側ジェットの長期間変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](#)

Q26a 再結合優勢プラズマを持つ超新星残骸 G346.6-0.2 に付随する星間雲

佐野栄俊 (国立天文台), 鈴木寛大 (甲南大学), 信川久実子 (近畿大学), Miroslav D. Filipović (WSU), 福井康雄 (名古屋大学), 守屋堯 (国立天文台/Monash University)

超新星残骸 (SNR) に付随する星間雲の特定は、高エネルギー物理過程を理解するうえで本質的である。例えば星間水素密度の定量は、ガンマ線光度との比較により被加速宇宙線陽子のエネルギー推定を可能にする。また、衝撃波と低温星間雲との接触による熱伝導は、再結合優勢プラズマの発生機構のひとつと考えられている。一方、旧来の電波・X線・ガンマ線域に渡る研究は、高い空間分解能を達成できる太陽系近傍天体 (< 3 kpc) に限られていた。銀河全面に渡って高エネルギー現象を紐解くには、遠方天体への拡張が不可欠である。G346.6-0.2 は距離 ~ 5.5 – 11 kpc に位置する視直径約 8 分角の複合型超新星残骸であり、熱的 X 線は再結合優勢プラズマで説明できる。1720 MHz OH メーザーが検出されているものの、付随星間雲は特定されていなかった。今回我々は、NANTEN2, Mopra, APEX による ^{12}CO および $^{13}\text{CO}(J = 1-0, 2-1)$ と、ATCA & Parkes による H I データ ($\Delta\theta \sim 30''$ – $130''$) を解析したので報告する (Sano et al. 2021d, ApJ in press, arXiv:2108.03392)。結果として、視線速度 -82 – -59 km s $^{-1}$ の CO/H I が、SNR シェルを取り囲むように分布することを見出した。この星間雲は $\Delta V \sim 10$ km s $^{-1}$ の膨張運動を示し、OH メーザーの速度とも一致している。LVG 解析によるとシェル北東の分子雲は $T_{\text{kin}} \sim 60$ K であり衝撃波加熱を示唆する。H I の吸収線測定により、SNR までの距離を $11.1_{-0.3}^{+0.5}$ kpc と更新した。再結合優勢プラズマの電子温度と分子雲強度の間には負の相関は見られず、熱伝導による解釈とは矛盾する。ガンマ線光度の上限値と星間水素密度から、被加速陽子エネルギーの上限値 9×10^{47} erg を導いた。本講演では SNR G346.6-0.2 における再結合優勢プラズマの起源と宇宙線陽子加速について論じる。

[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](#)

Q27a 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

有賀麻貴, 立原研悟, 福井康雄 (名古屋大学), 佐野栄俊 (国立天文台), Estela Reynoso (Instituto de Astronomía y Física del Espacio), Gavin Rowell (The University of Adelaide)

宇宙線の起源解明は重要な課題のひとつである。Puppis A は直径 $\sim 0.8^\circ$ (~ 18 pc, 距離 1.3 kpc) の複合型超新星残骸 (SNR) であり、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注目されている。宇宙線陽子のエネルギー定量には付随する星間ガスの密度情報が必要であるが、Puppis A ではこれまでに CO と H_I 両方を含む SNR 全体での包括的な研究は行われていない。そこで我々は Puppis A に付随する分子ガス・原子ガスを特定し定量することで宇宙線陽子のエネルギーを導出した。SNR に付随する星間ガスの特定には、NANTEN $^{12}\text{CO}(J=1-0)$ ($\Delta\theta = 156''$) と ATCA & Parkes H_I ($\Delta\theta = 118.3'' \times 88.9''$) の公開データに加えて、新たに NANTEN2 で観測した $^{12}\text{CO}(J=2-1)$ ($\Delta\theta = 78''$) を使用した。我々は位置速度図上でのガスの膨張運動、高い $^{12}\text{CO } J=2-1/1-0$ 強度比、CO 輝線の線幅の広がりから、 $V_{\text{LSR}}=8-20 \text{ km s}^{-1}$ の星間ガスが Puppis A に付随していると結論づけた。これは Reynoso et al. (2017) の H_I 吸収線測定から求められた速度と矛盾しない。ここで CO は SNR シェル東側に沿って粒状に分布し、H_I は広がった放射が支配的で特にシェル北東部で明るい。我々はこれら付随する星間ガスの CO と H_I 強度から星間陽子の平均密度を $\sim 260 \text{ cm}^{-3}$ と求め、宇宙線陽子のエネルギーを $\sim 4 \times 10^{47} \text{ erg}$ と見積もった。この値は超新星爆発の運動エネルギー 10^{51} erg の $\sim 0.04\%$ に相当する。以上を踏まえ本講演では、Puppis A における宇宙線陽子加速について議論する。

[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](#)

Q28a Chandra 衛星による超新星残骸カシオペア座 A の北東領域の X 線時間変動解析

小湊菜央, 佐藤寿紀, 日暮凌太, 土岡智也, 山田真也 (立教大学)

数 PeV 以下の宇宙線の起源として、超新星残骸の衝撃波面近傍での粒子加速が有力である。一方で、数 PeV までの粒子加速が超新星残骸で実現可能かは明らかになっていない。通常、宇宙線は磁場によって進行方向が曲げられるため、宇宙線の直接検出から起源に迫ることが難しい。そこで、宇宙線電子が磁場を介して発するシンクロトロン X 線などの電磁波の観測が重要となる。近年、いくつかの若い SNR において、非熱的放射の局所構造の数年スケールでの時間変動が見つかっている (Uchiyama et al. 2007)。この非熱的放射の時間変動は、増幅された磁場環境での急速な粒子加速・シンクロトロン冷却として解釈することができる。そのため、非熱的放射の時間変動解析から、宇宙線加速環境を議論する上で重要な情報を得ることができる。

カシオペア座 A は、約 350 年前に超新星爆発したと考えられている若い残骸である。この天体の北東領域の非熱的なフィラメント構造では、Chandra 衛星の 2000 年から 2007 年の観測で継続的なフラックスの増加が報告されており (Patnaude & Fesen, 2009)、磁場のリアルタイム増幅や加速電子の最大エネルギーの変化などがその原因として考えられる。今回は同じ領域の非熱的なフィラメント構造において、2000 年から 2019 年の約 20 年間の観測結果について、X 線時間変動解析を行った。その結果、この領域において X 線フラックスは 2007 年以降も増加を続け、最初の約 15 年間で $\sim 20\%$ 程度まで増加していることがわかった。そして、その後は増光は頭打ちとなり、減光傾向を示している。このような長期的な変動は他の残骸を含めても報告例はほぼ無く、粒子加速パラメータの時間進化を議論する上で重要なサンプルになるだろう。本講演では、その時間変動の原因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](#)

Q29a Suzaku 衛星による超新星残骸 RX J0852.0–4622 の衝撃波全縁の空間分離スペクトル解析

佐々木寅旭、勝田哲、寺田幸功、砂田裕志、立石大 (埼玉大学)

Knee energy ($10^{15.5}$ eV) 以下のエネルギーを持つ宇宙線は、系内超新星残骸 (SNR) の衝撃波で加速されていると考えられている。SNR での粒子加速については、磁場と衝撃波のなす角 (obliquity) によって加速効率が変化する事が示唆されている。しかし、平行衝撃波と垂直衝撃波どちらの方が加速効率が良いかは未だに決着がつかない。RX J0852.0–4622 (Vela Jr.) は、北西と南東部分において電子シンクロトン放射で明るく輝く Bilaterally symmetric SNRs (BSNRs) であり、obliquity を反映した構造であると言える。SN 1006 や G1.9+0.3 も BSNRs でありシンクロトンカットオフエネルギーが対称軸で最大になり離れるほど低下する方位角依存性を示すことが報告されている。Vela Jr. においてはカットオフエネルギーの方位角依存性はよく調べられていない。

今回、Suzaku 衛星に搭載された X 線 CCD カメラを使用し、Vela Jr. の衝撃波全縁の観測・解析を行った。衝撃波全縁で主に 2–8 keV の帯域で、方位角方向に領域を区切って解析を行い、カットオフエネルギーの変化を調査した。カットオフエネルギーの計測には、シンクロトン冷却が支配的な場合のシンクロトンスペクトルモデル (Zirakashvili & Aharonian (2007)) を使用した。その結果、カットオフエネルギーは 0.20–0.54 keV の間で変化し、対称軸でカットオフエネルギーが高くなる傾向が見られた。また、恒星の可視偏光カタログから銀河磁場の方向を推定したところ、銀河面に対して準平行であることが分かった。Vela Jr. の対称軸は銀河面に平行であることから SNR における粒子加速は、平行衝撃波の方が効率が良いと言える。本講演では、詳細な解析方法や結果を報告するとともに、カットオフエネルギーの方位角依存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](#)

Q30a 超新星残骸 RCW 86 南西部での衝撃波加速効率の環境依存性の調査

鈴木寛大 (甲南大), 勝田哲 (埼玉大), 田中孝明 (甲南大)

銀河宇宙線の加速源として有力なのは超新星残骸の衝撃波面である。電波連続波・X 線・ガンマ線帯域での観測により、衝撃波面で粒子加速が起きていることは認められているものの、その素過程の理解は未だ浅い。特に本研究で着目するのは、最高加速エネルギーや加速された粒子のエネルギー量が衝撃波速度や周辺密度・磁場強度とどのように結びつくかという問題である。素過程の理解に踏み込むには、観測から加速環境の情報が詳細に得られる系が求められる。この点で、超新星残骸 RCW 86 は非常に適したターゲットである。RCW 86 はおよそ 1800 年と若く、明るく衝撃波が速いうえ、直径が約 $40'$ (34 pc at 2.8 kpc) と大きいので空間分解しやすい。さらに X 線スペクトルは場所ごとに強度比が異なる熱的放射・非熱的放射 (加速された電子のシンクロトン放射) を示し、粒子加速の物理量が環境パラメータにどう依存するかを調査しやすい (e.g., Tsubone et al. 2017)。

我々は、X 線衛星 Chandra の観測データを用いた RCW 86 南西部の解析を行なっている。2001 年と 2013 年の観測を用いて 12 箇所の衝撃波速度を測り、それぞれの場所の X 線スペクトルのモデリングから、周辺密度・温度・粒子加速の最高エネルギー・加速された粒子のエネルギー量などを見積もった。非熱的 X 線が主要な領域のうち、X 線強度が時間変化を示した幾つかでは、磁場強度がおおよそ $100 \mu\text{G}$ 以上と推定された。測定したパラメータ間の相関を調べたところ、衝撃波速度 (v_{sh}) と周辺密度 (n_e) は反相関を示し ($v_{\text{sh}} \propto n_e^{-1}$)、加速した粒子のエネルギー量 (E_{tot}) が衝撃波速度と周辺密度の関数として良く説明できることが示唆された ($E_{\text{tot}} \propto v_{\text{sh}}^{1.1} n_e^{2.4} \propto v_{\text{sh}}^{-1.3} \propto n_e^{1.3}$)。したがって、周辺密度が小さい (衝撃波速度が速い) 環境ほど、加速した粒子のエネルギー量は小さい。本講演ではこれらを踏まえ、衝撃波加速の環境依存性を定量議論する。

[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 特性 X 線のドップラー解析による Tycho の超新星残骸における噴出物の膨張構造の解明

春日知明 (東京大), 内田裕之, 前田啓一, Shiu-Hang Lee (京都大), 田中孝明 (甲南大), Gilles Ferrand, 長瀧重博 (理化学研究所), 馬場彩, 小高裕和 (東京大)

超新星残骸の星周環境を正しく理解することは、その爆発起源に迫る上で重要な手がかりとなる。たとえば Tycho の超新星残骸において、Tanaka et al. 2021 は、外縁部の非熱的 X 線の放射位置の角度方向の時間変化を測ることで、ごく最近に高密度の分子雲と衝突したことを示唆した。一方で、超新星残骸中の爆発噴出物の運動状態を測ることも、星周環境へのアプローチとなりうる。Tycho の超新星残骸は爆発から 450 年程度しか経っていない若い天体であり、噴出物が発する特性 X 線が天体全域にわたり非常にはっきりと見えている。また視直径 8 分角であることから、空間分解した X 線スペクトルから輝線解析を行うのに適しており、輝線のドップラー効果を利用して噴出物の視線方向の運動状態を知ることができる。

我々は *XMM-Newton* 衛星による X 線観測データを用い、天体全体を 15 秒角区切りの格子状に分け、領域ごとに X 線帯域全体の系統的な fitting を行った。特に、Si や S といった輝線形状が明瞭な元素の輝線幅を解析したところ、天体中心付近の輝線幅が太く、外に向かって細くなっていく傾向が得られた。これは既に報告されているように、ほぼ一様低密度な星間物質中で作られるシェル状の等速膨張構造で説明でき (e.g., Hayato et al. 2010, Sato & Hughes 2017)、我々は現在の等方的な膨張速度を約 4,000 km/s と見積もった。一方で天体の外縁部では、輝線幅が広範囲にわたり極端に細くなっていることを発見した。我々はこれを、Tanaka et al. 2021 と同様に視線方向でも星周物質との衝突が生じており、その反射衝撃波により減速を受けた影響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](#)

Q32a X 線で探るカシオペア座 A 南東領域の爆発噴出物逆転層の起源

土岡智也, 佐藤寿紀, 山田真也, 内山泰伸 (立教大学)

近年の研究では超新星の非対称性が爆発の駆動に重要な役割を果たすと考えられている (Janka et al. 2016)。そこで、構造を持った超新星残骸の運動学や元素組成を X 線で調査することが非対称性を理解する上で有効である。本研究の対象天体であるカシオペア座 A (Cas A) の南東領域では、Fe の層が Si/O の層より外側にある爆発噴出物逆転層 (以下、「逆転層」という) の構造が示唆されている (Hughes et al. 2000 など)。逆転層については 3 次元シミュレーションでは鉄族の元素が高速で飛び出す描像は支持されているが (Hammer et al. 2010 など)、2 次元に投影されたイメージで Fe が外側に見えるだけで爆発時の逆転層ではないという解釈もあり (Delaney et al. 2010)、現在も議論中である。

本研究では Cas A の南東領域について、Chandra 衛星の観測データのイメージ解析とスペクトル解析を行うことで逆転層の検証を行った。イメージ解析から Fe-rich および Si/O-rich な噴出物それぞれの視線垂直方向の速度を測定した。Rutherford et al. 2013 の HETG を用いた視線方向の速度と組み合わせるとそれぞれ 4500 km/s 以上、2000–3000 km/s の 3 次元速度が得られ、Fe-rich な噴出物の方が速い運動をしていることがわかった。またスペクトル解析から噴出物の Cr/Fe の質量比を測定し、完全 Si 燃焼層 (最高到達温度 $T_{\text{peak}} > 5.5$ GK) での生成噴出物が、不完全 Si 燃焼層 ($4.5 \text{ GK} < T_{\text{peak}} < 5.5 \text{ GK}$) での生成噴出物より外側に存在することを示した。

今回の解析によりその分布だけでなく運動学や爆発時の元素合成の観点から Cas A では Fe-rich な噴出物が爆発直後に Si/O-rich な層の外側にはみ出した逆転層のシナリオを支持する証拠が得られた。本発表では、これらの解析結果の詳細と共に、Cas A で見られた逆転層の起源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](#)

Q33a *Chandra* による SN1006 北西部衝撃波の空間分解解析:重元素分布と電子温度

市橋正裕, 春日知明, 小高裕和, 馬場彩, 加藤佑一 (東京大学), 勝田哲 (埼玉大学), 鈴木寛大 (甲南大学), 中澤知洋 (名古屋大学)

無衝突衝撃波は宇宙の至る所で観測される普遍的な現象でありながら、未だ理解されていない部分も多い。超新星残骸の衝撃波は無衝突衝撃波の研究対象として最適な環境の一つである。特に今回の研究対象とした SN1006 は距離が 2.2 kpc と比較的近傍に位置する若い系であり、衝撃波の詳細構造の研究が可能である。

本研究では空間分解能が 0.5 秒角と非常に優れた X 線衛星 *Chandra* を用い、熱的放射の卓越した SN1006 北西部を短尺状の領域に分割してスペクトルの空間変化について解析した。2020 年秋の年会時点では取得した全領域にて abundance が全て等しいと仮定して解析し、全域にて内側領域ほど電子温度が上昇していること・クーロン散乱による加熱として説明可能であることを示した。

今回は短尺毎に重元素組成比をフリーパラメータとして解析を行なった。その結果、衝撃波から下流 0.5 pc の領域内で、電子温度が 0.61 ± 0.05 keV 程度から $1.38^{+0.37}_{-0.23}$ keV 程度まで徐々に上昇する様子が再び確認された。一方で、Mg/O やは全域で大きな変化は見られなかったが、Ne/O は衝撃波直下から内側に行くにつれて $1.76^{+0.27}_{-0.25}$ から $0.88^{+0.16}_{-0.15}$ へと減少する傾向を発見した。この変化について、ダストから重元素が溶け出す過程として解釈できるかを議論する。

[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](#)

Q34a 超新星残骸 W28 の過電離プラズマにおける初期状態の観測的研究

火物増偉 (奈良教育大学), 信川正順 (奈良教育大学), 山内茂雄 (奈良女子大学), 信川久実子 (近畿大学), 鈴木那梨 (奈良女子大学)

超新星残骸 (SNR) は爆発噴出物と衝撃波によりかき集められた星間物質 (ISM) で構成される温度 $kT \sim \text{keV}$ の高温プラズマを伴う。SNR のプラズマは 2 つの温度、電子温度 (kT_e) と電離温度 (kT_i) で特徴付けられ、多くの SNR は電離が優勢な状態 (IP; $kT_e > kT_i$) である。近年、いくつかの SNR から再結合が優勢な状態 (RP; $kT_e < kT_i$) が発見された (e.g. Kawasaki et al. 2002; Yamaguchi et al. 2008)。この状態は通常のプラズマ進化では説明できずいくつかの説が提案されているが、未だ議論が続いている。その起源に迫るためには、詳細なスペクトル解析が必要である。Hirayama et al. (2019) では元素間で kT_i が異なり、さらにプラズマの時間進化を考慮したモデルを IC443 に適用することで、RP 初期において元素間で電離状態が異なることを明らかにした。我々はこの方法を踏襲し、RP が報告されている W28 を調査することとした (Sawada & Koyama 2012; Okon et al. 2018)。

W28 は大きな視直径を持ち ($\sim 48'$)、北東部に分子雲が位置するなど場所によって環境が異なる。そのため領域を分割して、スペクトルを解析した。その結果、いずれの領域においても RP 初期において元素間で電離状態が異なることを初めて明らかにした。再結合タイムスケールから各領域の RP 遷移後の経過時間を見積もると、内側ほど短く (数 100-1000 年)、外側ほど長くなることが分かった。

本講演では、解析結果の詳細を報告し、得られた新しい結果に基づき RP の起源を議論する。

[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](#)

Q35a 実験室に超新星残骸をつくる—LHD プラズマ分光実験による鉄族元素の L 殻輝線測定と電離非平衡プラズマモデルの検証—

大城勇憲 (東京大学, ISAS/JAXA), 山口弘悦 (ISAS/JAXA), 村上泉 (核融合研), 川手朋子 (核融合研)

超新星残骸のプラズマ状態や元素組成比の測定は、超新星爆発の親星やその爆発メカニズムを明らかにできる強力な手法である (e.g. Yamaguchi et al. 2014, Ohshiro et al. 2021, Sato et al. 2021)。2022 年度に打ち上げ予定の XRISM 衛星に搭載されるマイクロカロリメータ検出器は、従来の CCD 検出器よりも 1 桁高い分解能で X 線を分光できる。この優れたエネルギー分解能によって、超新星残骸の鉄族元素 (Fe, Ni) からの L 殻輝線が分離可能となり、元素組成比の測定精度が飛躍的に上昇することが期待されている。一般に、超新星残骸のプラズマは電離非平衡の状態にあり、鉄族元素は Ar-like から He-like にわたる様々な価数を持つことが知られている (Yamaguchi et al. 2014)。しかし、電離非平衡プラズマにおけるイオンの存在比や X 線スペクトルは近似的な理論計算に依存しており、L 殻輝線の原子データが不十分な現状では元素組成比の測定に大きな系統誤差が生じることが懸念される。そこで、我々は鉄族元素の L 殻輝線の波長測定と電離非平衡プラズマからの X 線放射モデルの検証を目的として、核融合科学研究所の大型ヘリカル装置 (Large Helical Device: LHD) を用いて超新星残骸と同等な電子温度のプラズマを生成し、その振る舞いを調べた。具体的には、LHD に電子温度数 keV のプラズマを閉じ込めて鉄族元素 (Fe, Ni, Mn) を注入し、放射される X 線を分光測定した。その結果、様々な電離状態をもつイオンからの L 殻輝線を検出し、その強度が電子温度や時間の変化とともに変動する様子を捉えることに成功した。本講演ではその詳細と、プラズマからの X 線放射モデルの妥当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](#)

Q36a 天文学への応用を目指した小型電子ビームイオントラップ (EBIT) の開発

天野雄輝 (京都大学), 山口弘悦 (ISAS/JAXA), Steffen Kühn, 戸川基, Jonas Danisch, Joshua Nenninger, José R. Crespo López-Urrutia (Max-Planck-Institut für Kernphysik), 内田裕之, 鶴剛 (京都大学), 田中孝明 (甲南大学)

2022 年度打ち上げの XRISM 衛星により、 ~ 5 eV @ 6 keV のエネルギー分解能による X 線精密分光観測が可能になる。これにより、例えば超新星残骸の観測から鉄族元素や CNO 元素の運動や組成比といった、超新星の爆発機構や親星に関して重要な情報が得られる。しかし、ここで大きな問題となるのが、解析に使用する放射モデルの輝線放射に関する原子データ (反応断面積や遷移確率など) の不定性である。超新星残骸などのプラズマには軌道に電子を複数持つイオンが存在し、輝線放射に関わる原子データが解析的に解けない。現状は近似計算による理論値が大量に使用されているが、観測データとの食い違いが指摘されている (e.g. Bernitt et al. 2012)。そこで我々は、実際にイオンを生成し、これらの原子データを測定可能な電子ビームイオントラップ (EBIT: electron beam ion trap) を立ち上げた。EBIT は、電子ビームによってイオンを生成し、その特性 X 線を検出する装置である。特に今回我々は天文学への応用という観点から (1) 鉄などの主要元素を高階電離させるために電子銃が強力 (最大で 5 keV 程度)、(2) 放射光施設との併用のために小型かつ特殊な電子銃を持つ EBIT (Micke et al. 2018) を立ち上げた。また、この EBIT を用いて、カルボニル鉄やニッケロセンをターゲットとした、Fe と Ni の二電子性再結合輝線の測定実験も行なっている。本講演では、EBIT の概要を説明するとともに、測定結果や解析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](#)

R01a NRO レガシープロジェクト COMING (31): 近傍銀河における星形成活動に対する渦巻腕の影響に関する観測的研究

保田敦司¹, 久野成夫¹, 徂徠和夫^{2,1}, 宮本祐介³, Dragan Salak², 竹内努^{4,5}, 諸隈佳菜⁶, 矢島義之², 他
COMING (1:筑波大学, 2:北海道大学, 3:国立天文台, 4:名古屋大学, 5:統計数理研究所, 6:東京大学)

渦巻腕は渦巻銀河の星形成活動を促進させる機構であるのかという問いに答えるため、渦巻腕を特徴付ける物理量の一つで、渦巻腕の重力ポテンシャルの指標である arm strength と渦巻銀河の星形成活動との関連性が調べられており、global scale では arm strength と gas depletion time 等に相関があることが報告されている (e.g., Yu et al. 2021)。一方、渦巻腕領域 (arm)・渦巻腕間領域 (inter-arm) を空間分解する sub-kpc~kpc scale の観測では、arm・inter-arm 間では分子 (H_2) ガスに関する星形成効率 (SFE) の差は小さいことが報告されているが (e.g., Foyle et al. 2010; Querejeta et al. 2021)、arm strength との関連性は十分に議論されていない。本研究では、sub-kpc~kpc scale でも arm strength が渦巻銀河の星形成促進の要因となり得るのかを明らかにするために、 $^{12}CO(J=1-0)$ 輝線サーベイの COMING (Sorai et al. 2019)、CO Atlas (Kuno et al. 2007)、PAWS (Schinnerer et al. 2013) で観測された 11 個の近傍渦巻銀河を対象に、 $3.4 \mu m$ image から測定された arm strength と星形成に関わる物理量 ($H_2 \cdot HI$ ガス質量面密度 $\Sigma_{H_2} \cdot \Sigma_{HI}$ 、 $f_{mol} (= \Sigma_{H_2} / (\Sigma_{H_2} + \Sigma_{HI}))$)、星形成率面密度 Σ_{SFR} 、 $SFE(H_2) (= \Sigma_{SFR} / \Sigma_{H_2})$) の相関を調べた。Arm・inter-arm における各物理量の中央値の比 (arm/inter-arm 比) と arm strength それぞれの動径分布を比較したところ、 $SFE(H_2)$ と arm strength には相関が見られなかった一方、それ以外では正の相関が見られた。これは、inter-arm と比べた arm におけるガス質量面密度、 f_{mol} 、 Σ_{SFR} の増加に arm strength は影響を与える一方、星形成効率の促進への影響は小さいことを示唆する。本講演では各相関の要因も議論する。

[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](#)

R02a 棒渦巻銀河の棒部における星形成効率の統計的調査

前田郁弥, 江草実美 (東京大学), 太田耕司 (京都大学), 藤本裕輔 (会津大学), 羽部朝男 (北海道大学)

棒構造は、近傍宇宙の円盤銀河によく見られる特徴であり、そこでの星形成の性質を正しく理解することは、銀河の星形成活動メカニズムを理解する上で重要である。これまでの観測及び理論研究によって、bar 領域 (ここでは、center と bar-end の間の領域を指す) では星形成活動が抑制されているという考えが支持されてきた (e.g. Athanassoula+92, Maeda+20)。一方で、最近の統計的研究では、bar 領域の星形成効率 (SFE) が spiral arm 領域よりも系統的に低いということはないと報告されている (e.g. Muraoka+19, Díaz-García+21, Querejeta+21)。しかし、これら統計的研究における bar 領域の定義には center や bar-end も含まれている。さらに、CO(2-1) を用いた研究では CO(2-1)/CO(1-0) を一定と仮定しているため、SFE に系統的な誤差が含まれている可能性がある。

そこで我々は、近傍の棒渦巻銀河について、CO(1-0) を用いて、棒構造を center、bar、bar-end の 3 つに分けて SFE を調査した。CO(1-0) のデータは我々の野辺山 45-m の観測データ (Maeda+18,20)、Nobeyama CO Atlas (Kuno+07)、COMING (Sorai+19)、及び ALMA と IRAM 30-m のアーカイブデータを用いた。SFR は WISE の $22 \mu m$ と GALEX の FUV から導出した。棒構造を 3 領域に分けるために、棒構造がデータの角分解能 (16.8 秒) の 5 倍以上の大きさを持つ棒渦巻銀河 16 個 (約 10-30 Mpc) を対象とした。結果として、bar の SFE は Kennicutt-Schmidt law から予想される値に比べて $0.63^{+0.22}_{-0.37}$ 倍となっており、つまり bar の星形成効率は系統的に抑制されている傾向にあることがわかった。先行研究と異なる結果になったのは、領域を厳密に分け、CO(1-0) を使用したためと考えられる。さらに、抑制の度合いと CO 輝線の速度幅に負の相関関係があることがわかった。この結果は、shear の強さあるいは分子雲の衝突速度の違いが星形成を制御してい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](#)

R03a CO($J=1-0$) mapping survey of 64 Fornax galaxies with the ALMA Morita array

Kana Morokuma¹, Jing Wang², Kenji Bekki³, Yusei Koyama⁴, Minju Lee⁵, Kouichiro Nakanishi⁴, Paolo Serra⁶, Tadayuki Kodama⁷, Tsutomu T. Takeuchi⁸, Baerbel Koribalski⁹, Shuhei Koyama¹, Tomoki Morokuma¹, Takuji Yamashita⁴, Fumi Egusa¹, Bi-Qing For³ (1:The Univ. of Tokyo, 2:KIAA-PKU, 3:UWA, 4:NAOJ, 5:DAWN, 6:INAF, 7:Tohoku Univ., 8:Nagoya Univ., 9:ATNF)

We conduct a CO($J=1-0$) mapping survey of 64 galaxies in the Fornax cluster using the ALMA Morita array. Our sample includes dwarf, spiral and elliptical galaxies with stellar masses spanning $10^{6.3-11.6} M_{\odot}$. CO($J=1-0$) emission is detected from 22 out of the 64 galaxies. The achieved beam size and sensitivity are $15'' \times 8''$ and ~ 12 mJy beam⁻¹ at the velocity resolution of ~ 10 km s⁻¹, respectively. When we limit the sample to the 41 massive galaxies with $> 10^9 M_{\odot}$, we find that (1) the Fornax galaxies show a lower molecular-gas mass fraction (μ_{mol}) than and a comparable star-formation efficiency (SFE_{mol}) to the field galaxies for their masses; (2) the Fornax galaxies below the main-sequence of star-forming galaxies have lower μ_{mol} while higher SFE_{mol} than the field galaxies; (3) μ_{mol} of the Fornax galaxies more strongly correlates to the accretion phase to the cluster that can be defined on the phase-space diagram (lower μ_{mol} for the more ancient infallers) than the local number density of galaxies (lower μ_{mol} for the galaxies in the denser region). Our results suggest that the molecular gas in the massive Fornax galaxies is consumed/removed faster than the depletion timescale of molecular gas in the normal field galaxies and the processes responsible for it are more likely to be the interaction with the cluster potential or intracluster medium rather than the galaxy-galaxy interaction.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

R04a 近傍渦巻銀河における巨大分子雲の星形成活動度

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

巨大分子雲 (GMC) は銀河での星形成の主要な舞台であり、銀河進化に重要な役割を果たす。GMC の進化を理解するためには、銀河全面での空間的に分解された GMC の観測が必要である。このような観測は大マゼラン雲において初めて行われ、HII 領域と星団との付随関係から GMC を分類する Type 分類により、GMC の進化の描像 [Type I \rightarrow Type II \rightarrow Type III] が提案された (Fukui et al. 1999, Kawamura et al. 2009)。同様の結果が銀河系内 (山田他, 本年会講演) や M33 (小西他, 本年会講演) など局所銀河群で確認され、Type 分類による GMC 進化モデルの普遍性が検証されつつある。我々はこの進化モデルの普遍性を確かめるため、10–15 Mpc の距離にある 4 つの銀河: M74, M66, M100, NGC 4535 の ALMA の観測結果 (PHANGS プロジェクト, Leroy et al. 2021) を用いて、GMC の同定を行った。さらに、HII 領域との比較から次のように Type 分類を行った。Type I: HII 領域の付随しない GMC, Type II: 光度 $L_{\text{H}\alpha} = 10^{35.5-10^{37.5}}$ erg/s の HII 領域が付随する GMC, Type III: $L_{\text{H}\alpha} = 10^{37.5-10^{39.5}}$ erg/s の HII 領域が付随する GMC。

その結果、1: GMC の質量の最頻値は $10^{5.25-10^{5.75}} M_{\odot}$, 2: Type I の数は全体の 1–10 % で、Type II と Type III はほぼ同数、3: HII 領域の光度と GMC の質量および柱密度のピークには正の相関がある、4: GMC の質量が Type I \rightarrow Type II \rightarrow Type III と大きくなるのが 4 つの銀河で共通して確認された。本講演では以上の結果を踏まえ、Type 分類の個数比と GMC の進化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](#)

R05a 巨大分子雲における星形成と銀河進化：M33 (2)

小西亜侑, 村岡和幸, 藤田真司, 大西利和 (大阪府立大学), 徳田一起 (大阪府立大学/国立天文台), 小林将人, 河村晶子 (国立天文台), 出町史夏, 山田麟, 立原研悟, 福井康雄 (名古屋大学), 柘植紀節 (フリードリッヒ=アレクサンダー大学)

巨大分子雲 (GMC) は主要な星形成の場であり、GMC の進化過程を理解することは、星形成および銀河進化を明らかにする上で重要である。NANTEN による大マゼラン雲 (LMC) の CO($J=1-0$) 全面観測により、GMC は大質量星形成が見られない Type I、H II 領域が付随する Type II、H II 領域と若い星団が付随する Type III の 3 つに分類され、それらが GMC の進化の系列を表すことが示唆された (Fukui+99, Kawamura+09)。我々は、より多くの銀河における GMC 進化の描像を探るべく、H α 光度のみを用いた新たな Type 分類を提案し、M33 と M100 に適用することで Type 分類の妥当性を確かめた (福井他, 小西他, 出町他 2021 秋季年会)。

現在、ALMA の Atacama Compact Array (ACA) による CO($J=2-1$) 輝線データ (空間分解能 ~ 30 pc) の解析を行っている (村岡他 2021 秋季年会)。ACA 7 m array と IRAM 30 m (Druard+14) の ^{12}CO データを合成したのち、LMC における GMC の Type 分類 (Kawamura+09) と比較するため、空間分解能を ~ 40 pc に揃えて解析を行った。Dendrogram (Rosolowsky+08) により同定された ~ 700 個の分子雲に対し、H α 光度のみを用いた Type 分類を適用し、GMC の基本物理量や ^{13}CO の検出率を Type 毎に比較した。その結果、Type I、II、III の順に質量・サイズ・速度分散が大きくなる傾向が見られた。 ^{13}CO の検出率は Type I < II < III であることから、高密度ガスの形成に伴い星形成活動が活発になることが示唆される。また、近赤外線で定義した渦巻腕と分布を比較すると、Type III GMC の多くが渦巻腕に沿って位置していることが分かった。

[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](#)

R06a 分子雲衝突による星形成と銀河シミュレーション

堀江秀, 岡本崇, 羽部朝男 (北海道大学)

分子雲衝突は大質量星の形成を促進するプロセスとして、近年注目されている。銀河スケールのシミュレーションでは分子雲コアといった分子雲の細かい構造までは解くことができないため、銀河進化と分子雲衝突による星形成について調べるためには、銀河のシミュレーション実行中に分子雲衝突を判定し、分子雲衝突による星形成はモデルを使って取り扱うことが必要である。

本研究では、銀河の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を開発した。このアルゴリズムでは、全てのガス粒子に現在と 1 つ前のタイムステップでの位置、速度、密度の情報を保存させる。現在と 1 つ前のタイムステップでのそれぞれの情報から、高密度ガス粒子を見つけ出し、Friends-of-Friends によって効率的に近傍のガス粒子同士をグループ化することで分子雲を同定する。現在と 1 つ前のタイムステップで同定した分子雲を比較することで、分子雲がどのように進化したかが分かり、分子雲衝突の判定が可能となる。この操作を毎タイムステップで行い、1 つ前のタイムステップでの分子雲同士の重心の相対速度から分子雲の衝突速度を計算する。このアルゴリズムを用いることで、分子雲衝突による星形成モデルを銀河シミュレーションに適用することが可能になる。

Takahira et al. (2018) による分子雲衝突のシミュレーション結果のコア形成効率を使い、分子雲衝突による星形成のモデル化を行った。これは衝突速度が速いほど星が形成されにくいというモデルになっている。このモデルを用いて、銀河のシミュレーションを行ったところ、分子雲衝突を考慮しない星形成モデルを用いた場合と比べて、星形成率が約 40% 上昇した。これは分子雲衝突が銀河進化に大きな役割を果たす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](#)

R07a ALMA による超高光度赤外線銀河の水分子、及び、高密度分子ガスの観測

今西昌俊, 中西康一郎, 泉拓磨, 馬場俊介 (国立天文台), 萩原喜昭 (東洋大学), 堀内真司 (CSIRO)

赤外線光度が $10^{12}L_{\odot}$ を超える近傍 ($z < 0.3$) の超高光度赤外線銀河 (ULIRG) は、ガスに富む銀河同士の衝突合体によって生成されると考えられており、強力なエネルギー源 (星生成活動と活動銀河中心核 [AGN]) が塵に隠されて存在する。両活動の役割を見積もることは、宇宙で頻繁に起こっている銀河合体によってどのように星が生成され、超巨大ブラックホールに物質が落ち込んで質量成長するかを正しく理解するために必要不可欠である。塵吸収の影響が極めて小さな (サブ) ミリ波での観測は、本科学目的を達成するのに強力な手法である。

我々は ALMA を用いて、1 秒角以下の空間分解能で、波長 2mm 帯にある高密度分子ガス輝線 (HCN, HCO⁺, HNC J=2-1)、及び、183 GHz H₂O 輝線で近傍 ULIRG 10 天体を観測し、以下の主要な結果を得た。(1) 他の手法で AGN がエネルギー的に重要だと診断されていた ULIRG の多くにおいて、HCN/HCO⁺ J=2-1 輝線光度比が高くなる傾向が確認された。(2) 高密度分子ガス輝線に対して特に大きな 183 GHz H₂O 輝線光度超過を示す 2 天体は、HCN/HCO⁺ J=2-1 光度比も高かった (AGN 的)。1 天体 (Superantennae) において、理論的に予言されていた、AGN ごく近傍のガス中でのメーザー現象によって 183 GHz H₂O 輝線光度が大きくなっているサインを見つけた。他の 9 天体に関しては、AGN メーザー現象の寄与は限定的で、熱的放射が重要と考えられる。(3) 2mm 帯で 0.8mJy より明るい連続波放射天体が 2 個検出された。以前に取得した ALMA 0.8-1.5mm データと組み合わせ、1 個は $z > 1$ の赤外線で見える銀河、もう 1 個はブレーザーと分類した。ALMA の各視野内でこのような連続波天体が検出される期待値は 0.03 個以下であり、10 個の ULIRG の観測で 2 天体も見つかったのは多いかもしれない (Imanishi et al. 2021a MNRAS 502 L79; Imanishi et al. 2021b ApJ, in press [arXiv:2111.09338])。

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

R08a 水素輝線強度比異常が示唆する ULIRG の高密度星形成と JWST 観測の展望

馬場俊介 (鹿兒島大), 矢野健一, 中川貴雄, 磯部直樹, 白旗麻衣, 松本光生, 大西崇介, 道井亮介 (ISAS/JAXA), Matthew A. Malkan (UCLA), Vanshree Bhalotia (ハワイ大)

我々は、超高光度赤外線銀河 (ULIRG; $L_{\text{IR}} \geq 10^{12} L_{\odot}$) 52 天体の水素再結合輝線 Br α (4.05 μm)、Br β (2.63 μm) を「あかり」によって観測し、それらの輝線強度比 Br β /Br α が、星形成領域に対する従来の理解から外れた、異常な値を示すことを発見した。通常の星形成領域では、水素再結合輝線の強度比はメンツェル・ケース B の理論で予測できると考えられてきた。ダスト減光がある場合、短波長ほど影響を強く受け、Br β /Br α 強度比はケース B の理論値 (0.565) よりも低くなるはずである。しかし、ULIRG の Br β /Br α 比はケース B の値よりも高い傾向にあり、特に 3 天体は有意な乖離を示した (最高で Br β /Br α = 1.09 ± 0.05)。我々は、この異常が他の輝線の混入や衝突励起・共鳴励起の影響では説明できないことを確認し、その原因を光電離コード Cloudy も併用して考察した。結果、ガスが高密度 ($\sim 10^8 \text{ cm}^{-3}$) の場合、再結合効率の上昇に伴って電離領域内の中性水素が増加し、Br α 輝線が光学的に厚くなることで、観測されたような高い強度比が再現されることを見出した。ここまでの結果は、ULIRG の星形成領域が極端に高密度な環境にあること、ULIRG の星形成領域においてはケース B の仮定の 1 つ (バルマー系列以上は光学的に薄い) がもはや成立していないことを示唆している (Yano et al. 2021, ApJ, in press [arXiv:2109.06880])。

我々は、特に顕著な強度比異常を示す ULIRG 5 天体を、JWST/NIRSpec で追観測する予定である (プログラム ID: GO2186)。まずは Br β /Br α 異常を高感度観測で追試し、ULIRG におけるケース B 仮定の妥当性を見直す。また、面分光観測により、異常 (高密度星形成) が銀河内のどの領域で生じているのかを明らかにする。

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

R09b 銀河系の渦状構造と分子雲の BDI の関係

權代 大河, 久野 成夫 (筑波大学), 齋藤 弘雄 (つくばエキスポセンター), 梅本 智文 (国立天文台)

銀河系の CO 観測データから、銀河系の渦状構造に対応して分子ガスの性質が変化している様子を見ることが出来る。すなわち渦状腕には輝度が高くコンパクトな構造が、腕間には輝度が低く広がった構造がよく見られる。こういった分子ガスの構造の変化を客観的、定量的に記述する方法として Brightness Distribution Index (BDI) がある (Sawada et al. 2012)。BDI は輝度分布を一つの数値で表せるようにしたものであり、BDI が高いほど希薄な成分に対する高輝度成分が多くなり、よりクランピーな構造となると考えられる。

本研究では、BDI と分子雲の進化の関係を探るため、FUGIN データから同定した 58 の分子雲について質量、ビリアル比と BDI の関係を調べた。その結果、質量と BDI に相関関係は見られなかったが、ビリアル比と BDI には弱い負の相関が、ビリアル比と質量には負の相関が確認された。また、HII 領域が付随するような星形成が活発であると考えられる分子雲は、ビリアル比が低く BDI が高い傾向が見られた。これらの結果から、ビリアル比が低い分子雲はよりクランピーな構造が形成され星形成の活動性も高くなっていることがわかった。

次に、分子雲の銀河面上の位置と BDI の関係を調べた。その結果、 $l = 20^\circ - 50^\circ$ で太陽系から約 2kpc の位置の Sagittarius 渦状腕付近の領域では、銀河系の回転方向に向かって分子雲の BDI が小さくなっていく傾向にあることがわかった。これは渦状腕から腕間に移っていくにつれて分子雲がクランピーな構造から薄く広がった構造に変化していることを表していると考えられる。また、Poggio et al. (2021) による Gaia データの主系列星分布図に見られる主系列星の密度が高い部分と本研究で BDI が高くなっている領域、すなわち渦状腕と考えられる領域がよく一致する結果が得られた。

[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](#)

R10b スターバースト銀河 NGC 1808 における巨大分子雲の性質 II. Atacama Compact Array による広がった分子ガスの有無の影響

矢島義之 (北海道大学), 徂徠和夫 (北海道大学, 筑波大学), Dragan Salak (北海道大学)

星形成は巨大分子雲 (GMCs) の中で起こるため、その性質を調べることは銀河における星形成を理解する上で重要である。さらに、単位分子ガス質量あたりの星形成率で定義される星形成効率は銀河の構造ごとに異なることが報告されているため (e.g., Yajima et al. 2019), GMC の性質は銀河構造に依存して変化していると予想される。我々は 2020 年春季年会 (R15a) にて、ALMA 望遠鏡で得られたデータを用いてスターバースト銀河 NGC 1808 における GMC の性質を調べ、銀河中心部へ落下するにつれ、GMC はガス降着、合体により成長し、急激に重力的不安定性が増し、スターバーストを引き起こしている可能性を示した。一方、通常の星形成銀河では銀河構造ごとに GMC の性質は異なる傾向があること (e.g., Maeda et al. 2020), さらに ALMA 12 m アレイのみのデータで同定された GMC Associations (GMAs) の性質の銀河構造への依存性は Atacama Compact Array (ACA) とコンバインされたデータのものより弱くなると示されている (Pan & Kuno 2017)。そこで我々は、より激しい環境を持つ銀河においても、GMC スケールで同様の傾向が見られるか調べるため、ALMA 12 m アレイのみのデータで GMC を同定し、既に 12 m アレイと ACA のコンバインデータで同定された GMC の性質と比較した。その結果、ACA を除いたデータで同定した GMC の性質 (質量, 半径, 速度分散, 面密度, ビリアルパラメータ, 自由落下時間) も、コンバインしたデータと同様の銀河構造に対する依存性が見られた。この結果は GMC 外層部の広がった成分の分子ガスを取り除いた、より雲状である度合いが高い分子ガスであっても、NGC 1808 の様な通常の星形成銀河よりも激しい環境 (高面密度, 高圧力) 下の分子雲は銀河構造の影響を受けやすい状態下にあると考えられる。

[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](#)

R11a The Cold AGN Outflow in NGC 1068 Characterized by Dissociation Sensitive Molecules using Two-dimensional PCA

Toshiki Saito (Nihon U./NAOJ), Shuro Takano (Nihon U.), Nanase Harada (NAOJ/SOKENDAI), Taku Nakajima (Nagoya U.), and the NGC 1068-ALMA team

Recent developments in (sub-)millimeter facilities have dramatically changed the amount of information obtained by extragalactic spectral scans. Here we present feature extraction technique using two-dimensional principal component analysis (2DPCA) applied to the high-resolution spectral scan datasets toward the nearby type-2 Seyfert galaxy NGC 1068 using ALMA Band 3. We apply 2DPCA to 16 well-detected molecular line intensity maps convolved to a common 150 pc resolution, as well as [SIII]/[SII] line ratio and [CI] 3P_1 - 3P_0 intensity maps, both of which clearly show a kpc-scale biconical outflow from the central AGN. We identify two prominent features: (1) a central concentration at the circumnuclear disk (CND) and (2) two peaks across the center which coincide with the biconical outflow. Molecular lines concentrated in the CND are mostly higher critical density tracers (e.g., $H^{13}CN$, HC_3N , and HCN). The emission lines from CN, C_2H , HNC, and possibly HCN, show a similar concentration but also with extended components along the bicone, likely implying that dissociative processes are the dominant chemistry in the cold molecular outflow in this galaxy. This is consistent with the faintness or absence of the emission lines from CO isotopologues, CH_3OH and N_2H^+ , in the outflow, that are easily destroyed by dissociating photons and electrons.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

R12a Astrometry of Sagittarius A* using ALMA

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

Sagittarius A* (Sgr A*) is the nucleus of Milky Way or the nearest (barred) spiral galaxy. It harbors a supermassive black hole with $4 \times 10^6 M_{\odot}$, which is called the Galactic Center Black Hole (GCBH). We derived the proper motion of Sgr A* relative to a phase calibrator, J1744-3116 based on the ALMA observations (2015.1.01080.S, 2017.1.00503.S and 2018.1.001124.S). The Galactic longitude component of the proper motion is mainly caused by the Galactic rotation of Sun. On the other hand, the Galactic latitude component is caused by the mass distribution in the vicinity of the GCBH. Therefore, it is important for the study around Sgr A* to derive the proper motion. The proper motion is derived to be $\frac{dl}{dt} = -6.08 \pm 0.01 \text{ mas year}^{-1}$ $\frac{db}{dt} = 0.53 \pm 0.02 \text{ mas year}^{-1}$. The annual parallax of Sgr A* is expected to be up to $\pm 0.125 \text{ mas}$. Because our observations are sparse, the annual parallax cannot be evaluated by them. Nevertheless the proper motion is consistent with those by previous long-term VLBI observations of VLBA and VERA, which are $\frac{dl}{dt} = -6.379 \pm 0.026 \text{ mas year}^{-1}$, $\frac{db}{dt} = -0.202 \pm 0.019 \text{ mas year}^{-1}$ (VLBA, Reid&Brunthaler 2004) and $\frac{dl}{dt} = -6.307 \pm 0.025 \text{ mas year}^{-1}$, $\frac{db}{dt} = -0.214 \pm 0.017 \text{ mas year}^{-1}$ (VERA, Oyama et al. 2021), respectively, although the interval of our observation epochs is as short as 2.8 years. The small Galactic latitude component strictly limits the mass of the second massive object around the GCBH. If the positions will be observed frequently by ALMA in a longer interval, it is promising that the estimation accuracy of the proper motion is improved significantly.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

R13a NGC 253 中心部における非回転ガス軌道の同定

榎谷玲依 (慶應義塾大学), 小西諒太郎 (大阪府立大学), 福井康雄 (名古屋大学)

銀河のガスはおおむね銀河回転に沿った運動をするが、特に銀河中心には非回転ガスが多く存在することが知られている (e.g., Nakanishi & Sofue 2006)。この非回転ガスの起源としてこれまでに、バーポテンシャル、星団からのフィードバック、磁気不安定性などが提案されてきたが (e.g., Binney+91)、空間分解能の制限から銀河系以外では研究が行われていなかった。榎谷他 21 年秋季年会では、最近傍のスターバースト銀河 NGC 253 中心部に着目し、空間分解能約 3 pc の ALMA アーカイブの $^{12}\text{CO}(J=3-2)$ データを用いることで回転/非回転ガスの分離を行った。本年会では、上述の非回転ガスデータを用いてガス軌道 (サブストリーム) の同定を行った結果を報告する。

まず、銀河系の研究と比較するために、上述のデータを銀河中心を原点にポジションアングルを補正し、銀河のシステム速度を差し引いたキューブを作成した。このキューブ (Offset X, Offset Y, V_{sub} 軸を持つ) に対して、Offset Y 最小値から 3 チャンネルずつ積分した Offset X- V_{sub} マップを、Offset Y が最大になるまで順次作成していき、位置-位置-速度空間において連続的につながる構造を目視にて同定した。その結果、NGC253 中心 600 pc の領域には銀河回転を示すメインストリーム以外に五つの非回転運動をするサブストリームがあることがわかった。また、それらとは速度的に孤立したクランプ状の放射領域が複数あることがわかった。各サブストリームは、 $\sim 10^7 M_{\odot}$ の質量を持ち、少なくともその一端はメインストリームに接続する。また、その空間分布は銀河面から浮き上がるループ状構造をしている。クランプ状放射領域は膨張シエルのような位置速度分布を持つものがあることがわかった。講演では、銀河系との比較を行うことでこれらの成分の起源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](#)

R14a 天の川銀河 N 体シミュレーションにおける速度空間分布の時間変動と共鳴軌道

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

ESA の位置天文衛星 Gaia の観測によって、天の川銀河内の星の詳細な位相空間分布が明らかになってきている。我々は、Gaia の観測データと天の川銀河の大規模 N 体シミュレーション (Fujii et al. 2019) データを比較し、星の位相空間分布と共鳴軌道の関係を調べてきた。先行研究においては、シミュレーションの最終スナップショットを詳細に解析することによって、Gaia によって観測されている Hercules stream などの速度空間サブ構造がバーの共鳴軌道によって作られている可能性が高いことを示した (Asano et al. 2020)。本研究においては、速度空間分布の時間変動を調べるために、Kullback-Leibler divergence (KLD) と呼ばれる指標を用いて、実際に観測された太陽系近傍の星の速度空間分布とシミュレーション内での粒子の速度空間分布の類似度を定量的に評価した。シミュレーションにおいては、常に同じ場所で、観測に類似した (KLD が小さい) 分布が見られるわけではなく、速度空間分布は大きな時間変動を示していた。ただし、KLD が小さい分布が見られる場所は完全にランダムではなく、銀河中心からの距離 $R \sim 8.2$ kpc、バーの長軸に対する角度 $\phi \sim 30^\circ$ 付近などの特定の領域では出現確率が高いことがわかった。以上の結果は、実際の天の川銀河においても位相空間分布の大きな時間変動が起こっていること、さらに、時間変動がある場合においてもバーの共鳴軌道が星の位相空間分布に対して大きな影響を与えていることを示唆している。本講演では、特に KLD が小さい時刻・場所における速度空間サブ構造と共鳴軌道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](#)

R15a すばる望遠鏡/Hyper Suprime-Cam 用挟帯域フィルター NB515 で探るアンドロメダ銀河恒星ハローの構造 II

小上樹, 田中幹人 (法政大学), 小宮山裕 (国立天文台), 千葉柁司 (東北大学)

銀河ハローには、降着時に潮汐崩壊した矮小銀河や球状星団の残骸である恒星ストリームが存在する。恒星ストリームは、その力学時間の長さから降着時の化学動力学情報を保持し続けており、銀河形成史を解明する手がかりとなる。近傍にあるアンドロメダ銀河 (M31) ハローには、現在まで 10 個以上のストリームが確認されており、銀河形成を理解する格好の観測対象である。しかし、M31 ハローは低銀緯に位置するため、ストリームが前景星に埋もれてしまい、詳細な構造を明らかにすることは困難であった。これを解消するために、すばる望遠鏡 Hyper Suprime-Cam (HSC) 用挟帯域フィルター (NB515) での観測が行われた。NB515 を用いることで前景にある銀河系主系列星を除去することができ、M31 ハローにあるストリームの空間構造を明瞭に捉えることができる。

前回の講演 (小上ら 2021 年秋季年会 R14a) では、HSC/NB515 を用いた M31 の主要なストリームの距離推定結果を紹介した。本講演では、距離推定時に NB515 の検出効率の組み込み、個々の星が主系列星らしいかの尤度の改善、系統誤差の見積もりを新たに加えたので、その解析結果を報告する。主要な結果は以下となる。

- (1) ハロー東側に位置する 2 つのストリームと南東に位置する巨大なストリームは、ストリームが M31 の手前 ($\sim 750\text{kpc}$, $\sim 770\text{kpc}$) から M31 の後方 ($\sim 800\text{kpc}$, $\sim 850\text{kpc}$) にかけて分布するような空間勾配を示していた。
- (2) ハロー西側にあるシェル構造と南側にあるクランプ構造は、M31 よりも後方 ($\sim 800\text{kpc}$) に分布し、ハロー北西にあるストリームと東側にあるシェル構造は、M31 の手前 ($\sim 750\text{kpc}$) に分布していた。
- (3) M31 サブ構造が未検出である領域の距離推定結果は、M31 の距離 ($\sim 785\text{kpc}$) と概ね一致する結果であった。

[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](#)

R16c On the dynamical mass of galaxies

Veselina Kalinova (MPIfR), Keiichi Kodaira (MPIfR, NAOJ, SOKENDAI)

Applying the circular velocity curve, $V_c(R)$, derived by Kalinova et al. (2017: MNRAS, 469, 2539) for over 200 CALIFA galaxies, which represents the gravitation potential profile at $z = 0$, a proxy of dynamical mass of a galaxy (including all gravity sources: stars, dust, gas, black hole, and dark matter), M_{dyn} , can be defined as $\log M_{\text{dyn}} = 2 \log V_c(R_f) + \log R_f - \log G$, where R_f is $1.5R_e$ and G the gravitation constant. The relation between the stellar mass, M^* , and M_{dyn} of sample galaxies was found to be bi-modal, with the mode transition from the low mass disk-type galaxies to the massive ellipsoidal galaxies around $\log M_{\text{dyn}} \sim 11.0$ in solar mass unit. This $\log M^*$ vs. $\log M_{\text{dyn}}$ diagram has similarity in its form to the stellar-to-halo mass relation (SHMR: L. Posti and S.M. Fall 2021: A&A, 69, A119), $\log M^*$ vs. $\log M_{\text{halo}}$. A well-devised transformation $\log M_{\text{dyn}} = 0.5 \log M_{\text{halo}} + 4.8$ brings both figures to close matching (see figure in poster). This empirical log-linear relation may reflect the presence of some sort of the acting universal physics of the parent dark halo controlling the baryon falling-into or expelled-out of the central gravitation potential vessel to form a galaxy over a wide mass range of $\log M^* = 8.5 \sim 11.5$.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

R17a 重力レンズ効果を用いた銀河磁場観測のシミュレーション

大前陸人 (総研大/国立天文台), 赤堀卓也 (国立天文台)/SKA 天文台, 町田真美 (国立天文台)

電波銀河やクエーサーの多くの視線には暗い銀河が重なっていることが可視光の吸収線観測で知られており、これを介在銀河と呼ぶ。背景の天体が放つ偏波は、介在銀河のファラデー回転量度 (RM) によってファラデー回転し、またビーム内の RM 構造によって一部が解消されていることが報告されている (e.g., Bernet ら 2008)。介在銀河の効果は、無バイアスに高赤方偏移の銀河まで調べることが原理的に可能であることから、電波シンクロトロン放射の観測では難しい銀河磁場の宇宙論的進化を探る将来の有力な方法として期待される。介在銀河の磁場観測を説明するために、磁場モデルを用いた銀河の寄与をあらかじめ理論的に明らかにすることが必要である。我々は銀河磁場モデルを用いて、介在銀河の赤方偏移ごとに見込み角や通過領域などをパラメータとしたモンテカルロシミュレーションを行い、統計的性質を探ってきた (2021 年春季年会 R13b, 2021 年秋季年会 R19a)。

近年、介在銀河の磁場観測として重力レンズの応用も考えられている (Mao ら 2016)。Mao ら (2016) はファラデートモグラフィーを用いて、介在銀河の重力レンズ効果によって背景光源の放射が介在銀河の異なる位置を通過したファラデー深度の差から磁場を求める手法をとっている。そこで、銀河磁場モデルを用いて、介在銀河の重力レンズ効果を受けた背景偏波源がどのように観測されるのか検討する。本講演では大局磁場として簡単なリング磁場、Axi-Symmetric Spiral (ASS) 磁場や Bi-Symmetric Spiral (BSS) 磁場を用いた。背景偏波源が分解できる時は Mao らの結果と同様にファラデートモグラフィーを用いるとファラデー深度の差が現れた。さらに分解できていない場合においても、ピークを複数検出しうることを明らかにした。さらに背景光源が通過する領域に構造がある場合のスペクトル変化や銀河磁場が推定できるのかを議論する。

[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](#)

R18a 銀河面からの軟 X 線背景放射 (8)

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、視野内の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 ± 0.1 keV (1σ) とほぼ様な熱的超過成分が確認され、点源の寄与が明らかになった。さらに近赤外・可視光対応 X 線点源の分光特性を調べたところ、超過成分の大半は晩期型星に由来することが分かった (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、これまでの点源解析とあわせ、超過成分の起源解明を目指している。シンプルなモデルとして近傍 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った結果、熱的放射成分の温度 / flux@0.44-1.1 keV は $0.7-0.9$ keV / $3.4-7.5 \times 10^{-10}$ erg cm⁻² s⁻¹ 程度であった (安福他 2021 年秋季年会)。今回は銀河面吸収を受ける銀河系 X 線ハローの影響も仮定してモデルを追加し、新たに分光解析を行った。結果、熱的放射成分の温度 / flux@0.44-1.1 keV は $0.6-1.4$ keV / $0.4-1.7 \times 10^{-10}$ erg cm⁻² s⁻¹ 程度と、前回よりも flux が小さくなり観測領域ごとのばらつきが大きくなったものの、これまで同様広領域にわたる熱的放射成分の存在を支持することとなった。本講演では視野内の明るい恒星による効果も考慮した詳細な分光解析の結果を報告する。

[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](#)

R19b 偏波解消の周波数依存性から探る渦状銀河の磁場分散推定

田嶋裕太 (総研大/国立天文台), 大村匠 (東京大), 町田真美 (国立天文台)

渦状銀河の磁場は数 μG の平均磁場と、それを上回る強度の乱流磁場を持つことが知られている。この磁気エネルギーは銀河ガスの熱エネルギーと同程度であり、磁場は銀河自身の時間進化や銀河中の星形成などに影響を与える重要な物理量である。銀河磁場の情報は電波連続波の偏波解析によって得られるが、視線方向の積分量である観測量から実空間での構造を得るのは難しい。そこで、我々は銀河ガス円盤の3次元磁気流体計算結果 (町田ら 2013) を用いて、全放射強度や偏波強度などを計算し、物理量分布と観測値の比較研究を行ってきた。特に電波帯で重要となる偏波解消に着目し、その影響の調査を行ってきた。Face-on の場合の3次元磁場構造と観測値の比較を行った結果、円盤とハロー領域で偏波解消の影響が強くなる周波数が異なるために、メートル波帯観測ではハローの磁場構造が反映されることを示した (Tashima, Ohmura, Machida 2022 submitted to PASJ)。このことから、我々は偏波解消の周波数依存性から更なる磁場情報を取り出すことができないかと考えた。

そこで本研究では face-on, edge-on それぞれで各視線での偏波解消効果と周波数の関係を調査を行った。その結果、Face-on の場合の偏波解消の周波数依存性は、自身の放射と放射領域と観測者の間で生じる internal depolarization (Arshakian, Beck 2011) で近似できる事を示した。一方、Edge-on の場合は、放射源の手前にある構造による消偏波を説明する external depolarization と類似の急激な減光を示した。本講演では、依存性の違いの起源を特定し、更に偏波解消モデルから磁場分散を推測する手法に関して考察する。

[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](#)

S01a 相対論的流体中での因果律を保った光子多重散乱効果

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 (筑波大学)

ブラックホール天体中の降着円盤や噴出流、相対論的宇宙ジェット、巨大ブラックホール形成過程など様々な現象を研究する手段として、相対論的輻射輸送計算や輻射流体シミュレーションが用いられている。また、相対論的ボルツマン方程式を直接数値的に解く大規模数値シミュレーションも実行されている。ところが、現時点で相対論的流体中での光子多重散乱の効果因果律を厳密に保った形でシミュレーションに取り入れる手法が確立していない。

本研究では、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が得られたので報告する。過去の学会発表において、一部に数値積分が必要な準解析解について公表したが、今回、解くべき積分を全て解析的に解くことに成功した。これにより、途中に数値計算を含まない解析解を得ることができた。得られた解は完全な解析解であるので、任意の数値精度で光子多重散乱の効果因果律を記述することが可能となる。時空中で得られている解であるので完全に因果律を保存する。また、この解は、相対論的モンテカルロ・シミュレーションの結果を完全に再現するだけでなく、シミュレーションで高精度計算が困難な領域においても誤差ゼロの解を与える。過去の学会発表において、光学的に薄い状況を正確に解く手法である一般相対論的光子ボルツマン方程式ソルバー ARTIST について発表したが、今回得られた解を一般相対論的光子ボルツマン・シミュレーションに組み込むことで、光学的に薄い領域だけでなく、光学的に厚い領域も含む任意の光学的厚みを持つ領域において厳密な光子散乱の効果を取り入れることが可能となる。講演では、今回得られた光子多重散乱の解析解の性質の他、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](#)

S02a 逆コンプトン散乱による冷却を考慮したセイファート銀河における軟 X 線放射領域の輻射磁気流体シミュレーション

五十嵐 太一 (千葉大学), 松元 亮治 (千葉大学), 加藤 成晃 (理化学研究所), 高橋 博之 (駒澤大学), 松本 洋介 (千葉大学), 大須賀 健 (筑波大学)

セイファート銀河では激しく時間変動する軟 X 線超過成分が観測されることがある (e.g., Noda et al. 2018)。軟 X 線放射は $10^6 - 7$ K 程度の暖かい領域からの放射であることが考えられる。しかし巨大ブラックホール周囲に形成される光学的に厚い降着円盤からの放射は可視光・紫外線にピークを持ち、光学的に薄い高温降着流からの放射は硬 X 線が卓越する。そのため、軟 X 線超過成分を説明することができず問題となっている。

Igarashi et al. (2020) は、 $10^7 M_{\odot}$ の質量のブラックホールへの降着流の大局的な輻射磁気流体シミュレーションを実施した。降着率がエディントン降着率の 10% 程度の場合、ブラックホール近傍の光学的に薄い高温降着流の外側に $10^7 - 10^8$ K の領域が形成され、この領域が軟 X 線放射領域である可能性を示した。しかし、このシミュレーションでは逆コンプトン散乱による冷却の効果が含まれていなかったため、この領域の温度が軟 X 線放射領域としては高くなっていた。そこで本研究ではより現実に近いシミュレーションを実施するため、逆コンプトン散乱による冷却 (Takahashi et al. 2018) を考慮した輻射磁気流体シミュレーションを実施した。シミュレーションコードとしては、高次精度磁気流体コード CANS+ に M1 法に基づき輻射場の時間発展を解くモジュールを追加した輻射磁気流体コード CANS+R を用いた。その結果、高温降着流の外側に形成された輻射圧優勢な領域の温度が $10^6 - 10^7$ K 程度まで低下し、より現実的な軟 X 線を放射する温度になった。本講演では、輻射冷却により形成された $10^6 - 10^7$ K の領域の構造や時間変動等について議論する。

[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](#)

S03a Constructing synthetic images of GRMHD models for AGN jets by applying the general relativistic radiative transfer code RAIKOU

荻原大樹 (筑波大学), 川島朋尚 (東京大学), 大須賀健 (筑波大学)

高分解能 VLBI 電波観測は AGN ジェットの詳細な放射構造を明らかにしてきた。AGN ジェットの駆動領域と考えられている超巨大ブラックホール周辺の大局的な描像が一般相対論的理想電磁流体 (GRMHD) 数値計算により多く調べられてきている一方で、ジェットの縁が明るい limb-brightened 構造や縁の間にも明るい構造が見える triple-ridge 構造については準解析的な理論モデルによる説明も提唱されてきた (Takahashi et al. 2018, Ogihara et al. 2019)。しかし、上記のモデルはブラックホールから遠く離れた領域に注目した特殊相対論的なもので流体の速度にドリフト速度が与えられていた。本研究では、Ogihara et al. 2021 で構築された準解析的定常軸対象 GRMHD ジェットモデルに対して一般相対論的放射輸送 (GRRT) 計算を行うことによってブラックホール近傍でのジェットの放射イメージを構築した。GRMHD モデルはベルヌーイ式を解析的に、磁力線間の力の釣り合いを inflow と outflow の境界面に限って数値的に解くことで構築し、GRRT 計算は RAIKOU コード (Kawashima et al. 2021) を用いて行った。本研究は M87 を始めとする近傍ジェットの、Event Horizon Telescope などの高分解能 VLBI 観測に対して観測予測や理論的解釈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](#)

S04a 宇宙ジェットのインフロー領域

高橋真聡 (愛知教育大学)

ブラックホール磁気圏における遷磁気音速インフローについて考察する。ブラックホール磁気圏はプラズマに比して磁場が卓越した領域であり、ブラックホール周りの降着ガス円盤の回転軸付近などに形成される。この領域にはブラックホールから遠方につながる大局的磁力線が分布すると考えられる。ブラックホールや降着ガス円盤の自転に伴い磁気圏プラズマと磁力線も回転する。プラズマには強力な遠心力が作用し、相対論的速度の宇宙ジェットとして遠方に流れ出す。ただし、ブラックホールの重力が卓越する内側の領域ではインフローとなる。インフローとアウトフローの境目には何らかのプラズマ供給が必要となるが、その構造やプラズマ供給機構は未解明である。本講演では、宇宙ジェットのインフロー領域に定常軸対称の一般相対論的理想磁気流体 (GRMHD) 流を適用することで、自転するブラックホールから宇宙ジェットへのエネルギー輸送 (Blandford-Znajek power) を考察する。プラズマ供給源からの降着プラズマ流は、アルフェン面、速い磁気音速面を通過してブラックホール地平面に至るが、定常的な遷磁気音速インフロー解が実現するためには物理パラメーター (磁力線角速度、磁気流体流の角運動量とエネルギー、ブラックホール スピン) に制限 (磁気音速点での臨界条件) が課せられる。これら物理パラメーターについての制限・関係を明らかにすることで、ブラックホールから宇宙ジェットへのエネルギー輸送が実現されるための条件を明らかにする。この条件は、プラズマ供給源のブラックホール側の境界条件を与えることになる。一方で、アウトフロー領域の定常解解析と観測データ (M87: Park et al. 2019) とのフィッティングにより、プラズマ供給源の宇宙ジェット側の条件についての理解が得られている (高橋 et al. 2021 年秋季年会)。これらを繋ぐことでプラズマ供給源に求められる物理状態について議論する。

[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](#)

S05a Blandford-Znajek 過程による時空の時間変化

当真賢二(東北大), 木村匡志, 原田知広(立教大), 成子篤(京大基研)

活動銀河核やガンマ線バースト等に付随する細く絞られた相対論的速度のプラズマ噴流(ジェット)は、Blandford-Znajek 過程 (BZ 過程) と呼ばれる回転ブラックホールからの定常的な電磁エネルギー放出が駆動していると信じられている。この過程には、微小回転速度の Kerr 時空における force-free 電磁場の解析解 (Blandford & Znajek 1977) がある。有限回転速度の場合でも、数々の一般相対論的電磁流体 (MHD) シミュレーションで数値解が示されており、その結果と活動銀河 M87 中心領域の VLBI 観測結果を比較することが試みられている。しかし BZ 過程でどのように電磁エネルギー流が生じ、どのようにブラックホールがエネルギーを失うかの詳細な理解については未だ議論が続いている。最近では、ブラックホール時空の変化も計算するシミュレーションも行われているが、降着流による効果と分離して BZ 過程のみによる時空の変化を調べることは行われていない。本研究で我々は初めて、Einstein 方程式を解析的に解くことにより、BZ 過程による時空の時間変化を求めた。まず Schwarzschild ブラックホールに対する一般的な物質と電磁場の分布による時空揺らぎのモノポール成分とダイポール成分の表式を導出した。それをスプリットモノポール型磁場の BZ 解析解に適用し、微小回転速度かつ微小磁気エネルギーの場合に時空がどう時間変化するかを求めた。その結果、時空の時間変化は Kerr 時空の解の形を維持し、質量と角運動量が BZ 過程のエネルギーフラックスと角運動量フラックスの分だけ減少していくことがわかった。換言すれば、スプリットモノポール型磁場の BZ 過程は $\sin^2 \theta$ の角度分布で角運動量を放出するが、それは時空の形を変えないことが確認された。放物型磁場の場合の解析は今後の課題である。

[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](#)

S06a 強磁場降着流ガンマ線放射モデル:近傍電波銀河の観測データとの比較

久世陸(東北大学), 木村成生(東北大学), 当真賢二(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、降着円盤からのガンマ線放射はあまり考えられていない。ガンマ線放射機構の解明は、ジェットと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。Kimura & Toma (2020) は電波銀河中心部で磁場が強い降着円盤 (Magnetically Arrested Disks: MAD) での粒子加速とそこからの放射モデルを構築した。磁気再結合により加速された相対論的陽子によるシンクロトロン放射で GeV ガンマ線が出ることがモデルの特徴である。このモデルで M87 と NGC315 の観測データは説明されたが、モデルでガンマ線データを説明できる天体の範囲は調べられていない。本研究は、モデルを多くの電波銀河に適用し、ガンマ線データを説明できるかどうかを調べた。GeV ガンマ線のフラックスが大きな電波銀河を Fermi 衛星の観測データから探した。約 20 の電波銀河が候補として挙がり、各天体にモデルを適用し、モデルから得られるスペクトルと観測データを各天体で比較した。その結果、降着率がエディントン降着率の 0.1% 以下の小さいものであればモデルでガンマ線データを説明できることを示す結果を得た。降着率が大きい場合、低エネルギーの光子密度が増大し、光子同士の相互作用により GeV ガンマ線が吸収されるため、ガンマ線データを説明できなくなる。

[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](#)

S07a A robust lower bound on intergalactic magnetic fields from Fermi/LAT and MAGIC observations of 1ES 0229+200

I. Vovk (ICRR, U. Tokyo), A. Stamerra (INAF), P. Da Vela (INFN, Innsbruck U.), A. Neronov (U. Paris, EPFL), D. Semikoz (U. Paris, INR RAS, MPhI), A. Korochkin (U. Paris, INR RAS, Novosibirsk U.), K. Asano, G. Ceribella, D. Hadasch, M. Hütten, T. Inada, Y. Iwamura, Y. Kobayashi, K. Noda, Y. Ohtani, T. Saito, S. Sakurai, J. Sitarek, M. Strzys, M. Takahashi, R. Takeishi (ICRR), D. Mazin, M. Teshima (ICRR, MPI Phys.), Y. Fukazawa, Y. Suda (Hiroshima U.), H. Kubo, S. Nozaki, T. Oka (Kyoto U.), J. Kushida, K. Nishijima (Tokai U.), T. Nakamori (Yamagata U.), T. Yamamoto (Konan U.) on behalf of the MAGIC Collaboration

Secondary γ -ray emission from distant TeV sources induced by the effects of propagation of γ rays through the intergalactic medium could be used to measure the intergalactic magnetic field (IGMF). A proper realization of this opportunity requires a knowledge of the past source TeV luminosity evolution over the relevant period of time. Here we use the sample of MAGIC, H.E.S.S., VERITAS and Fermi/LAT observations to trace evolution of the hard-spectrum blazar 1ES0229+200 in the GeV-TeV band over ~ 15 years. This allows us to make a precise prediction of the timing properties of the time-delayed secondary γ -ray flux. We show that the non-detection of such an emission in GeV energy band yields a robust lower bound on the strength of IGMF.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

S08a 活動銀河核ウィンド・トーラス起源のニュートリノ・ガンマ線・電波放射

井上進 (文教大/理研), Matteo Cerruti (APC Paris), 村瀬孔大 (Penn State U./京大基研), Ruo-Yu Liu (Nanjing U.)

活動銀河核 (AGN) の多くで、AGN ウィンドと呼ばれ、ブラックホール (BH) 降着円盤起源と思われる、高速・高強度・広角度のアウトフローが観測されている。また、AGN の周囲には、BH ヘガスが供給される過程で自然に生じると考えられる、pc スケールのトーラス状のガスが普遍的に存在していることが知られている。AGN ウィンドでは、速度や密度の非一様性に起因した内部衝撃波や、トーラスとの衝突で生じる外部衝撃波などが起きている可能性があるが、そこでは、高エネルギー粒子の加速と非熱的放射が期待される。特に、加速された陽子は、周辺の輻射場もしくはガスとの相互作用で、高エネルギーニュートリノ放射を引き起こすと予想される。

我々は、顕著なウィンドを持つセイファート II 型 AGN の NGC 1068 に着目した。この天体は、起源不明の GeV ガンマ線源であるとともに、IceCube による観測で、高エネルギーニュートリノ源であることも有力視されている。上記物理過程の詳細なモデル計算を行い、観測と比べた結果、比較的 BH に近い領域で、速度が 1000 km/s 程度の衝撃波で陽子が加速されれば、AGN 光子との反応で生じるニュートリノ放射が、IceCube の結果を説明できることがわかった。一方、これに伴う電磁カスケード放射は、GeV-TeV 帯域では、AGN 光子との $\gamma\gamma$ 反応で大幅に吸収される。観測される GeV ガンマ線は、むしろ、トーラス領域の外部衝撃波で加速された陽子と、周囲ガスとの反応でうまく説明できる。また、その際起きる二次電子・陽電子による電波放射は、観測に寄与する可能性がある。この他、今後の検証方法として、MeV 帯域カスケード放射、ニュートリノ放射と偏光光赤外放射・硬 X 線放射との時間相関、他の有力候補天体の観測などについて、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](#)

S09a 3次元一般相対論的磁気流体降着流における高エネルギー・ニュートリノ放射

川島 朋尚, 浅野 勝晃 (東大宇宙線研)

高エネルギー・ニュートリノは宇宙線の加速源を探る上で重要なスモーキングガンである。活動銀河中心核は IceCube で観測される高エネルギー・ニュートリノ放射源の有力候補の一つであるが、降着流やジェットの状態、そこに励起される乱流、ブラックホール・スピンの大きさ、これらが宇宙線の加速とそれに付随するニュートリノ放射光度に与える影響はわかっていない。この問題に定量的にアプローチするためには、従来の 1-zone 近似の枠を超えて磁気流体降着流やジェットの大局的構造を考慮した計算が重要となる。

そこで我々は、一般相対論的重力場における 3次元の粒子加速・ニュートリノ輻射輸送コード ν -RAIKOU を開発し (2021 年秋季年会)、超大質量ブラックホール降着流のニュートリノ・スペクトルを計算した。このコードでは、まず一般相対論的磁気流体に非熱的陽子を注入し、その運動をラグランジュ粒子として追跡しながら、乱流加速や圧縮加熱、断熱冷却等を解く。そしてこの非熱的陽子と背景磁気流体場の熱的陽子との pp 衝突を計算し、 π^\pm 崩壊によるニュートリノ放射を重力赤方偏移を考慮して計算する。磁気流体場については、一般相対論的 (輻射) 磁気流体シミュレーションコード UWABAMI (Takahashi et al. 2016) を用いて得た時系列スナップショット・データを、非熱的陽子の伝搬に伴い因果律を考慮して更新 (すなわち時間発展) させていく。

予備的な計算の結果、ブラックホール遠方/近傍での乱流加速/圧縮の効果でニュートリノ・スペクトルに 2山構造が現れた。これは降着流の大局的構造によるものである。発表では、追跡宇宙線数を増やした計算結果や、IceCube による M77 でのニュートリノ観測に基づく陽子加速のパラメータへの制約や他天体 (M87*, Sgr A*) への適用、プラズマ大局構造がニュートリノ・スペクトルに与える影響の詳細等について議論する。

[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](#)

S10b 歳差運動するブラックホール降着流と相対論的ジェットの放射特性

川島 朋尚 (東大宇宙線研), 大須賀 健 (筑波大), 高橋 博之 (駒澤大), 人見 拓也 (筑波大)

回転軸がブラックホール (BH) のスピン軸からずれている降着流は、時空の引きずり効果により、歳差運動が起こると考えられている。降着流の歳差運動は、近年の東アジア VLBI 観測網による M87 のジェットの観測からも示唆する結果が得られており、今後の EHT による時間変動観測や多波長観測の結果を解釈する上で重要な要素となる可能性がある。しかし、歳差運動する降着流と付随するジェットのブラックホール・シャドウを含む多波長イメージやスペクトル、およびその時間変動は依然としてよくわかっていない。

そこで我々は、一般相対論的多波長輻射輸送コード RAIKOU を用いて歳差運動する降着流と相対論的ジェットの多波長イメージ・スペクトルの時間変動を計算した。磁気流体データを作成するため、無次元スピン・パラメータ $a_* = 0.9375$ および初期傾斜角 (BH スピン軸と降着流回転軸のなす角度) 15 度を仮定し、UWABAMI コードによる一般相対論的磁気流体シミュレーションを実施したところ、約 $10^4 r_g/c$ の時間スケールで降着流は歳差運動することがわかった。また、歳差運動によって BH 近傍の電波イメージにおけるジェットの方向が変動することもわかった。発表では X 線・ガンマ線を含む多波長スペクトルについても報告する。歳差運動する降着流とジェットの多波長輻射スペクトルは世界で初めて得られたものである。

[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](#)

S11b 数値モデルと X 線模擬観測で探る活動銀河核ジェット前進衝撃波の特性

大村匠 (東京大学宇宙線研究所), 町田真美 (国立天文台), 赤松弘規 (オランダ宇宙研究所)

活動銀河核 (AGN) から噴出するジェットは、銀河団ガスと相互作用することで前進衝撃波を駆動する。前進衝撃波は、圧縮された銀河団ガスに起因する X 線表面輝度の不連続面として観測され、ジェットの運動エネルギーや活動年齢を調べる重要な指標の一つである。AGN ジェットの代表天体であるはくちょう座 A では、近年の精密な X 線観測から前進衝撃波のマッハ数が 2 以下であることが明らかとなった (Snios et al. 2018)。これは、AGN ジェットの数値実験と比較し非常に小さな値である (e.g., Perucho et al. 2019)。しかし、観測ではプロジェクション効果や見込み角などの影響が含まれるため、数値モデルを駆使した X 線模擬観測による調査が重要となる。

そこで本研究では、はくちょう座 A を模した 3 次元磁気流体数値実験で得られたジェットモデルに対して X 線模擬観測を行い、実際の衝撃波と模擬観測における X 線衝撃波の特性の比較を行った。尚、X 線マッハ数は Broken-power law モデルを用いて測定した。まず、数値モデルの前進衝撃波のマッハ数を計測したところ、2-6 と観測よりも高い値を持つことがわかった。次に、ジェットに対する見込み角 90° にて X 線模擬観測したところ、全領域においてマッハ数を 0.5 程度過小評価することがわかった。また、マッハ数の大きいジェット先端ほどプロジェクション効果によって、より過小評価される傾向が見られた。本講演では、ジェットの見込み角による影響についても併せて報告する。

[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](#)S12a eROSITA view of an extremely infrared-luminous AGN at $z = 1.87$

Yoshiki Toba (Kyoto Univ.) Marcella Brusa (Università di Bologna), Teng Liu (MPE), Johannes Buchner (MPE), Yuichi Terashima (Ehime Univ.), Tanya Urrutia (AIP), Mara Salvato (MPE), and eROSITA-Hyper Suprime-Cam (HSC) AGN collaboration

We present the X-ray properties of WISE J090924.01+000211.1 (WISEJ0909+0002), an extremely luminous infrared (IR) galaxy (ELIRG) at $z_{\text{spec}} = 1.871$ in the *eROSITA* Final Equatorial-Depth Survey (eFEDS). WISEJ0909+0002 is a WISE 22 μm source, located in the GAMA-09 field, which was detected by *eROSITA* during the performance and verification phase. The corresponding optical spectrum indicates that this object is a type-1 active galactic nucleus (AGN). Observations from *eROSITA* combined with *Chandra* and *XMM-Newton* archival data indicate a very luminous ($L(2\text{--}10\text{ keV}) = (2.1 \pm 0.2) \times 10^{45} \text{ erg s}^{-1}$) unobscured AGN with a power-law photon index of $\Gamma = 1.73_{-0.15}^{+0.16}$ and an absorption hydrogen column density of $\log N_{\text{H}} < 21.0 \text{ cm}^{-2}$. The IR luminosity is estimated to be $L_{\text{IR}} = (1.79 \pm 0.09) \times 10^{14} L_{\odot}$ from spectral energy distribution modeling based on 22 photometric data points (X-ray to far-IR) with X-CIGALE, which confirmed that WISEJ0909+0002 is an ELIRG. A remarkably high L_{IR} despite very low N_{H} would indicate that we are witnessing a short-lived phase in which hydrogen gas along the line of sight is blown outward, whereas warm and hot dust heated by AGNs still exists. As a consequence of the *eROSITA* All-Sky Survey, $6.8_{-5.6}^{+16} \times 10^2$ such X-ray-bright ELIRGs are expected to be discovered in the entire extragalactic sky ($|b| > 10^\circ$). This can potentially be the key population to constrain the bright end of IR luminosity functions (Toba et al. 2021, A&A, 649, L11).

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

S13a 多波長 SED 解析で解明する合体銀河中の活動銀河核とポーラーダストの構造

山田智史, 上田佳宏, 鳥羽儀樹 (京都大学), Martín Herrera-Endoqui, 宮地崇光 (UNAM), 小川翔司, 植松亮祐 (京都大学), 谷本敦 (東京大学), 今西昌俊 (NAOJ), Claudio Ricci (Diego Portales Univ.)

超/高光度赤外線銀河 (Ultra-/luminous Infrared Galaxy; U/LIRG) は星形成が活発であり、爆発的成長期にある種族である。その多くは合体銀河であることが知られ、中心の超巨大ブラックホールに莫大な質量が降着することで活動銀河核 (Active Galactic Nucleus; AGN) が誘起されると考えられている。実際、Yamada et al. (2021) では現実的なトーラス構造を反映する XCLUMPY モデル (Tanimoto et al. 2019) を用いた系統的な X 線スペクトル解析を行うことで、57 天体の U/LIRG から 40 もの AGN を特定し、それぞれのトーラス構造や質量降着率を導出した。さらに合体末期では、母銀河の進化を制御する役割を担う強力なアウトフローも生じることが示唆された。しかし、現状でのアウトフローの性質を導出する手法は、高空間分解画像の解析や輝線/吸収線の青方偏移量の測定などに限られ、合体初期から末期に渡るアウトフローの進化過程を解明することは極めて困難であった。

そこで我々は、XCLUMPY と同じトーラス構造に加え、アウトフローのダスト成分と考えられているポーラーダストの構造も考慮した赤外線放射モデルを開発した。これを多波長 SED 解析コード (X-CIGALE; Yang et al. 2020) に実装し、同じ 57 天体の U/LIRG を対象に X 線から電波までの多波長 SED 解析を行った。特に全 AGN に対し、X 線解析で導出されたトーラス構造を仮定することで、ポーラーダストの物理量に強い制限を与えた。その結果、合体が進むにつれてポーラーダストの光度は増加するが、ダスト温度は減少することが分かった。さらにその光度は、サブミリ波帯で検出される分子ガスアウトフローと相関を持つ可能性も示唆された。以上は、合体末期ではアウトフローが発達し、広がったポーラーダストを形成していく描像を支持する。

[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](#)

S14a 合体銀河 Mrk 739 が持つ二重 AGN の広帯域 X 線スペクトル解析

稲葉昂希, 上田佳宏, 山田智史, 小川翔司, 植松亮祐 (京都大学), 谷本敦 (東京大学), Claudio Ricci (Universidad Diego Portales, Peking University)

銀河と超巨大ブラックホールの共進化を理解する上で鍵となるのが、銀河同士の合体である。なぜなら、合体では星形成が活発になり、ブラックホールへの質量流入により活動銀河核 (Active Galactic Nucleus; AGN) も誘発されるからである。また、X 線観測は AGN への質量供給源の役割を担うトーラス構造を調べるのに有効な手段である。近年の X 線観測の研究により、赤外線で非常に明るい (星形成が激しい) 合体後期の銀河では、エディントン比が大きいにも関わらず、トーラスが中心を覆う立体角は大きい ($\Omega/4\pi \sim 0.71$) ことが分かった (Yamada et al. 2021)。しかし、合体進化の普遍的な描像を確立するためには、赤外線で明るくない合体銀河についても同様に調査することが重要である。

そこで本研究では、赤外線光度が小さく、2つの AGN を持つ合体後期の銀河である Mrk 739 に着目し、X 線天文衛星 NuSTAR、Chandra、XMM-Newton、Swift/BAT のデータを用いて広帯域 X 線スペクトル解析 (0.5–70 keV) を行った。現実的なトーラス構造を再現した XCLUMPY モデル (Tanimoto et al. 2019) を適用して、それぞれの AGN (Mrk 739E/Mrk 739W) が持つ水素柱密度 ($N_{\text{H}} < 6.9 \times 10^{19} \text{ cm}^{-2}$; $= 6.9_{-1.8}^{+4.4} \times 10^{21} \text{ cm}^{-2}$) と X 線光度 ($L_{\text{X}} \sim 1.1 \times 10^{43} \text{ erg/s}$; $\sim 7.4 \times 10^{41} \text{ erg/s}$) を導出した。特に X 線で明るい Mrk 739E は、大きなエディントン比 ($\lambda_{\text{Edd}} \sim 0.71$) を持つが、赤外線で明るい合体後期の銀河に比べてトーラス立体角は小さい ($\Omega/4\pi < 0.53$) ことが判明した。Mrk 739E の星形成率 ($\text{SFR} < 6.9 M_{\odot} \text{ yr}^{-1}$; Tubín et al. 2021) が小さいことを考慮すると、以上の結果は、母銀河のガス星質量比が合体後期の AGN の環境を決める要因の一つになっていることを示唆する。

[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](#)

S15a ALMA Lensing Cluster Survey: 多波長観測による遠方 AGN の探査

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, 山田智史 (京都大学), ALCS collaboration

銀河と超巨大ブラックホール (SuperMassive Black Hole; SMBH) の共進化を解明するには、SMBH の成長現場である活動銀河核 (Active Galactic Nuclei; AGN) の調査が不可欠である。特に、遠方宇宙 ($z=1-3$) では銀河の星形成や SMBH の成長が近傍宇宙よりも激しく、この時代において母銀河の星形成が激しい AGN は極めて重要な種族である。星形成の激しい遠方銀河では星形成由来の遠赤外線放射が赤方偏移によりサブミリ波帯に移る。そのため、サブミリ波による観測は遠方における星形成銀河の探索に有利である。また、X 線による観測は AGN 由来の放射を直接捉えられるため、AGN の探査に有効である。

本研究で我々は、重力レンズ効果を受けた領域を対象とした ALMA 深サーベイ (ALMA Lensing Cluster Survey; ALCS) に着目した。このサーベイでは波長 1.2mm 帯で約 134 平方分の領域を $\sim 70 \mu\text{Jy}$ の深さでカバーしており、100 個以上の電波源 (5σ 以上) を検出している。我々は X 線衛星 Chandra のアーカイブデータを用いてこれらの領域における AGN の探査を行い、3 つの AGN とその母銀河について X 線と電波における同定に成功した。その後、同定された 3 つの AGN について、X-CIGALE を用いた多波長 SED 解析を行なった。その結果、これらの AGN は X 線光度が大きく ($L_{0.5-8 \text{ keV}} \gtrsim 10^{44} \text{ erg s}^{-1}$)、母銀河の赤外線光度も大きい ($L_{\text{IR}}/L_{\odot} > 10^{12}$) ことがわかった。また、母銀河の星形成率と星質量がほぼ主系列の関係に添うこともわかった。これらの結果は、本研究で同定された 3 つの AGN が通常の星形成銀河に属しており、銀河合体シナリオにおいて合体直後の星形成や SMBH の成長が激しいフェーズ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](#)

S16a 電波観測による超高光度赤外線銀河中の埋もれた活動銀河核の探査

林隆之 (麻布中学校・高等学校, 国立天文台), 今西昌俊 (国立天文台), 萩原喜昭 (東洋大学)

超高光度赤外線銀河 (ULIRG) は、赤外線では $10^{12} L_{\odot}$ 以上の光度を示す天体である。その中心部は赤外線を放射するダストで覆われており、可視光での観測が困難である。そのため、ULIRG のダスト加熱源が星形成活動なのか、あるいは超巨大ブラックホールへの質量降着なのか、十分な理解が得られていない。ところで、低赤方偏移の ULIRG に関する観測研究は、高赤方偏移のサブミリ波銀河の天体物理解明にもつながる。したがって、近傍 ULIRG のエネルギー源に関する理解は、銀河の宇宙論的進化を紐解く手がかりとして期待されている。中間赤外の分光観測では、星形成に加え活動銀河核もダストの加熱源となることが示されているものの (e.g., Imanishi et al. 2007, ApJ, 171, 72), 各 ULIRG の中心部で極端に高頻度の星形成が生じている可能性を棄却できていない。したがって、中間赤外線以外の波長帯で ULIRG のダスト加熱源の正体を独立に掴むことが必要である。

我々は、Imanishi et al. にて活動銀河核の存在が示唆された $z < 0.14$ の ULIRG 10 天体に対して、Jansky Very Large Array を用いた多周波の電波観測を実施した (Hayashi et al., 2021, MNRAS, 504, 2675)。電波観測で得られた我々のサンプルの諸物理量を、活動銀河核の有無を問わない全 ULIRG サンプルと比較したところ、両者の統計性質に区別は見られなかった。集団傾向としては、ULIRG の電波放射は主に星形成活動で生じていることが伺える。一方、いくつかの個別の天体では活動銀河核の存在を伺わせる特徴が見られた。IRAS 01004–2237 では約 100 kpc にわたって双対に広がる電波放射が見られ、これは活動銀河核ジェットのとおりだすローブ構造である可能性が高い。他にも 3 天体のスペクトルで、べき乗則からの欠損が高周波に見られ、これも活動銀河核に特有のものである可能性が高い。本講演では、統計性質とともにこれら個別天体に関する議論を紹介したい。

[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](#)

S17a Chandra と ALMA CO($J=2-1$) データを用いた AGN の X 線放射が周辺ガスに与える影響の研究

川室太希, Ricci Claudio (ディエゴ・ポルタレス大), 泉拓磨, 今西昌俊 (国立天文台), 馬場俊介 (鹿児島大), Nguyen D. Dieu (ホーチミン市国際大学), 大西響子 (オンサラ天文台)

活動銀河核 (AGN) はその強い X 線放射により、周りの星間物質やそれを源にする星形成に影響を及ぼすと考えられる。そこで、硬 X 線 (> 10 keV) 選択の近傍 ($z < 0.05$) 26 天体について、Chandra と ALMA CO($J=2-1$) の高い分解能 (< 1 arcsec) のデータを用いてその影響を研究をした (Kawamuro et al., accepted in ApJS, arXiv:2109.09742)。まず、空間的に広がった 6.4 keV の鉄輝線を 6 天体で検出した。それらは、高い等価幅 (≥ 1 keV) から、AGN の X 線放射が周辺物質を電離することで放射される蛍光 X 線で理解できる。特に高い有意度で鉄輝線が空間分解できた 3 天体について、CO($J=2-1$) 輝線と空間分布を比較した。結果、2 天体において、中心から ~ 300 pc までで、両輝線のピークが離れていた。これは、X 線が冷たい分子ガスの性質を変化させている可能性を示唆する。次に、より内側の約 300 pc 内で次の 3 つの傾向を見つけた。(1) 分子ガス量の増加に伴い、AGN の X 線光度が増加する。(2) 高光度 AGN ほど鉄輝線の X 線連続成分に対する相対強度が減少する。これは、X 線に照射されている物質の立体角が減少している可能性を示唆する。(3) 過去の同程度の空間スケールの HCN(1-0) データを用いることで、AGN 光度の増加に伴い、HCN($J=1-0$)/CO($J=2-1$) 比の減少傾向が見られた。これは、理論モデルとの比較により、分子ガスの密度の低下で説明できる。以上の結果は、AGN は、周辺のガス質量の増加に伴い質量降着率も増加する一方で、X 線光度の増加に伴い周りの分子ガスを吹き飛ばし、加えてガス密度を下げることで星形成に影響を及ぼすフィードバック現象を引きこす、という描像と一致する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

S18a パーセク解像度の分子・原子ガス観測で調べる AGN トーラスの動的構造

泉拓磨, 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 (UDP), 松本尚輝 (東北大), 河野孝太郎, 宇野慎介 (東京大), 中野すずか (総研大)

活動銀河中心核 (AGN) はその周囲を光学的かつ幾何学的に厚いガスやダストの「トーラス」が取り囲んでいるため、可視スペクトル中の広輝線の有無が変わるといのが一つのパラダイムである。しかし、このトーラスの物理的起源は未だ十分に理解されていない。そこで我々は、AGN 非等方放射が駆動する非定常アウトフローとその一部が銀河中心円盤に落下することで成立するガス流の「噴水」が、準定常トーラスを自然に形成するというモデル (Wada 2012, ApJ, 758, 66) に注目して研究を進めている。X 線照射下での化学進化も計算した結果、この「放射駆動噴水モデル」では、原子ガスはアウトフロー中にも豊富に存在する一方、低温分子ガスは円盤赤道面付近に局在することが期待される。今回我々は、最近傍 AGN の一つである Circinus 銀河に対して ALMA を用いて観測した CO($J=3-2$), HCN($J=3-2$), [CI]($^3P_1-^3P_0$) の 3 種の輝線データを解析した。得られた解像度は 0.6–2.4 pc と極めて高く、トーラス領域の空間分解に成功している。各放射は非常に有意に検出されており、以下の特徴を示した。まず、CO 輝線はグローバルな分子ガスの分布を表わし、回転運動に支配された系の状態を規定する。高密度分子ガスをトレースする HCN 輝線は AGN 周辺の数 pc 領域から強く放射されており、明確にケプラー運動を示した。さらに AGN 位置では HCN は「吸収線」として inverse P-Cygni profile を示しており、明確な中心へのガス流入が確認された。原子ガスをプローブする [CI] 輝線は銀河中心部に集中しているが、これは X 線による CO 分子の解離反応の結果だろう。さらに [CI] 輝線は CO とは異なる速度構造を示し、原子ガスで選択的にアウトフローが生じていると解釈される。これらは全て、「放射駆動噴水モデル」と整合的な結果である。

[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](#)

S19a 低質量 AGN 輻射駆動噴水モデルにおける Warm Absorber

小川翔司 (京都大学), 上田佳宏 (京都大学), 和田桂一 (鹿児島大学), 水本岬希 (京都大学)

約半数の近傍セイファート銀河の軟 X 線スペクトル ($\lesssim 2$ keV) で電離した物質による吸収構造が検出されている。これらの吸収構造は「Warm Absorber (WA)」と呼ばれ、青方偏移していることからアウトフロー起源であることが示唆されている。そのスペクトルは現象論的には幅広いパラメーター範囲の電離度や速度の電離物質によって再現される。しかしながらその物理起源については未だ議論が続いている。

そこで私たちは輻射駆動噴水モデル (Wada et al. 2016) によって WA の観測的特徴を再現できるか調べた。このモデルは非定常なアウトフローとその一部が円盤に落下して生じる多相なガス流の「噴水」がトーラスを形成するという、活動銀河核のトーラス領域における動的な構造を説明するモデルで、ALMA による原子・分子ガスの観測や硬 X 線スペクトルなど様々な観測結果と整合的である (e.g., Izumi et al. 2018, Buchner et al. 2021)。

私たちはこの輻射駆動噴水モデルをインプットに光電離コード Cloudy (Ferland et al. 2017) を用いて中心輻射場による光電離過程を中心から順に解くことで、電離状態とスペクトルを疑似的に 3 次元計算した。その結果、このモデルでは多様な電離状態を形成し、X 線スペクトルにはこれら電離物質による輝線や吸収線が見られることがわかった。さらにそのスペクトルモデルを近傍の狭輝線セイファート 1 型銀河である NGC 4051 の XMM-Newton/RGS により観測された X 線スペクトルと比較したところ、0.7–0.8 keV に見られる深い吸収構造を再現することができた。一方で観測スペクトルを完全に再現するためには、輻射駆動噴水モデルで形成される数百 km/s の WA だけではなく、数千 km/s の成分による吸収や幅の広い輝線が必要であった。このことは、トーラスよりも内側の領域 (< 0.1 pc) で放出されたアウトフローが WA の一部に寄与してい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](#)

S20a ALMA による近傍活動銀河核の水メーザーの連続観測

萩原喜昭 (東洋大学), 今西昌俊 (国立天文台), 堀内真司, Philip G. Edwards (CSIRO)

周波数 22 GHz 帯で放射する水 (蒸気) メーザーの中には銀河系内水メーザーに比べて数百万倍以上強力な光度を持つものが活動銀河核 (AGN) 中に存在し、超巨大ブラックホールの周囲を取り巻く分子ガス円盤上やアウトフローに付随するものなどが知られる。(サブ) ミリ波帯では 183 GHz や 321 GHz 帯の水メーザーが近傍の AGN に検出されている。我々は ALMA を利用して、近傍 AGN の Circinus 銀河及び NGC 4945 中心部から放射される 321 GHz 帯水メーザーを、2012 年から 2017 年の 2 エポックに渡り約 0.5 秒角程度の空間分解能で観測し、Tidbinbilla 70m 鏡では数回に渡り 22 GHz 帯のメーザーの変動をモニターした。その結果以下のことがわかった (Hagiwara et al., ApJ, in press [arXiv:2111.01107]): 1) 321 GHz 水メーザーの強度変動は、22 GHz 系外水メーザー同様に激しく、強度変動比は約 2–3 倍である。2) Circinus 銀河中心部に 321GHz 水メーザーにより検出された速度勾配は、ほぼケプラー回転運動するガス円盤をトレースする 22 GHz 水メーザーの速度分布の方向と大体一致する。同様に速度分散も検出された。3) Circinus 銀河に検出された銀河系統速度に対し青方偏移した強度変動が大きい速度成分は、22 GHz 水メーザーのスペクトルなどと比較した結果、アウトフロー成分であるとみられる。励起エネルギーや温度などの励起条件がより高いサブミリ波メーザーは、降着円盤外縁部のより内側の構造やガスの運動をトレースしている可能性があり、Circinus 銀河の 321GHz 水メーザー源の空間分布や運動を詳細に調べるためには、さらに空間分解能を上げた観測が必要である。

[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](#)

S21a CO 振動回転遷移吸収線を用いた分子トラス内部構造進化の研究

大西崇介 (東大理, ISAS/JAXA), 中川貴雄 (ISAS/JAXA), 馬場俊介 (鹿児島大), 松本光生 (東大理, ISAS/JAXA), 磯部直樹, 白旗麻衣 (ISAS/JAXA), 寺田宏, 白田知史 (国立天文台), 大藪進喜 (徳島大)

近年、活動銀河核 (AGN) において、OH 吸収線 ($\lambda \sim 119 \mu\text{m}$) で観測されるサブキロパーセク規模の極方向分子アウトフローの拡張により分子トラスが物理的に薄くなり、遮蔽された AGN から晴れ上がった AGN へと進化するというシナリオが提唱されている。複数の数値モデルからトラスは動的に維持される構造だと示唆されているため、アウトフローの進化を受けてパーセク規模でのトラス内部構造がどう変化するか観測することが重要である。しかし、トラス内部構造は空間分解が困難であり、観測されてこなかった。

そこで我々は、分子アウトフローが未発達で OH 吸収線がアウトフローとして観測されず、進化シナリオの早期段階にあるとされる NGC 4418 (N4418), UGC 5101 (U5101) と、アウトフロー ($V_{\text{LOS}} \sim 500 \text{ km s}^{-1}$) として観測され、中期段階にあるとされる IRAS 08572+3915 NW (IR08572) の AGN に対して、ダスト昇華層を光源としたトラス内分子雲に由来する CO 振動回転遷移吸収線 ($v = 0 \rightarrow 1, \Delta J = \pm 1, \lambda \sim 4.67 \mu\text{m}$) を観測 ($\Delta V \sim 30\text{--}60 \text{ km s}^{-1}$) し、速度成分の分離を行った。その結果、全ての天体で幅の広い ($\sigma_V \sim 130\text{--}170 \text{ km s}^{-1}$) 速度成分が存在し、IR08572 (Onishi et al. 2021, ApJ, 2021, 921, 141), U5101 においてアウトフロー ($V_{\text{LOS}} \sim 160\text{--}240 \text{ km s}^{-1}$) している反面、N4418 ではアウトフローしていないことが分かった。複数の回転準位 ($J \lesssim 20\text{--}40$) における励起状態から、これらの成分は高いガス温度 ($T_{\text{kin}} \gtrsim 550 \text{ K}$) を示すため、ダスト昇華層付近のトラス内縁領域に由来すると考えられる。我々はこれら 3 天体における CO 吸収線の速度成分の違いが、トラス進化段階に応じた異なる内部速度を反映していると考えている。講演では OH 吸収線の速度との比較から、その描像を説明する。

[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](#)

S22a AGN ダスト減光量から得られる AGN フィードバックへの示唆

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) のダストトラスを構成するダストを含むガスは、ダスト粒子が電離ガスより強い放射圧を受けることで古典的エディントン限界以下の光度でも放射由来のアウトフローを生じると予想され、従ってその研究は銀河と中心ブラックホールの共進化を理解するために重要である。我々はこれまでに、obscured AGN を含む 500 天体の AGN サンプルに対してダスト減光量 A_V を推定し、obscured AGN では、X 線観測による中性水素ガス柱密度 (N_{H}) が A_V から推定される銀河系星間物質の典型値より大きいことを確認した (2021 年秋季年会 S19a)。この N_{H} 超過は、ダストトラス内側に dust-free なガスの存在を仮定することで説明できる。

AGN のエディントン比 (f_{Edd}) と N_{H} を比較した図 (e.g., Fabian et al. 2008; Ricci et al. 2017c) は、ダストを含むガスの有効エディントン限界を境界として AGN アウトフローの有無を示唆するのに用いられるが、dust-free なガスの存在を仮定する場合、 N_{H} はダストを含むガス由来のものと dust-free なガス由来のものを両方含む。そこで我々は、 A_V を推定した AGN サンプルのうち f_{Edd} が求まる 345 天体に対して、 N_{H} の代わりにダスト減光量を用いて f_{Edd} との比較を行った。その結果、先行研究 Ricci et al. (2017c) における N_{H} と f_{Edd} の比較で $10^{22.5} \lesssim N_{\text{H}} [\text{cm}^{-2}] \lesssim 10^{24.5}$ に広く分布したダスト減光の強い天体が、ダスト減光量が $3 \lesssim E_{B-V} \lesssim 20$ (銀河系星間物質で $10^{22.3} \lesssim N_{\text{H}} \lesssim 10^{23.1}$ に相当) の範囲に集まり、分布の分散が減少した。さらに type-1.9、type-2 AGN に注目すると、type-2 AGN では先行研究の N_{H} を用いた場合と同様、多くの天体でアウトフローがないことが示唆されたのに対し、type-1.9 AGN では先行研究の 2 倍以上の 9 天体でアウトフローの存在が示唆された。

[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](#)

S23a 冷たいガスを軸とした銀河団中心銀河での AGN feedback

藤田裕 (東京都立大学), 川勝望 (呉工業高等専門学校), 永井洋 (国立天文台)

近年 ALMA 電波望遠鏡などにより、銀河団中心の巨大楕円銀河で大量の分子ガス ($\gtrsim 10^9 M_{\odot}$) が見つまっている。本研究ではこのガスが銀河団中心での AGN feedback に果たしている役割について調べるために、新たに準解析的モデルを構築した。このモデルは銀河スケールの分子ガス雲 (~ 10 kpc) と、銀河中心ブラックホール周囲の核周円盤 ($\lesssim 0.5$ kpc) に焦点を当て、ガス中の星形成や、円盤の重力不安定性を考慮している。このモデルを用いて、銀河団の高温ガスが冷却し、分子ガス雲になり、それが銀河中心に落下して核周円盤になり、そこからブラックホールにガスが供給され、活発になった AGN 活動により高温ガスの冷却が阻害される (AGN feedback) という一連の過程を総合的に調べた。このモデルは高温ガスがそのままブラックホールに落下するという古典的な Bondi 降着ではなく、冷えて一度分子になったガスが落下するのも特徴である。

計算の結果、核周円盤はその質量の変化により安定と不安定の状態を行き来する一方、ブラックホールへの降着率を長期的には一定に保つという調整弁の役割を果たしていることがわかった。また、分子ガス雲は燃料タンクの役割を果たしており、高温ガスの冷却が外的要因で止まったとしても $\gtrsim 0.5$ Gyr ほどは AGN 活動を維持させることができ、AGN feedback の安定化に寄与していることがわかった。さらに銀河全体の分子ガスの量は、高温ガスのエントロピーの関数として表現されることも明らかにした。銀河全体の進化は円盤の安定性、分子ガス雲の寿命、高温ガスの冷却率の 3 つの要素で単純に表すことができることも示した。(Reference: Fujita, Kawakatu, & Nagai, ApJ in press, arXiv:2108.01671)

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

S24a 活動銀河核における質量降着環境

井上 一 (JAXA 宇宙科学研究所)

大質量ブラックホールが銀河中心核周辺を動き回っていると考えた時 (Inoue 2021a, PASJ, 73, 431 参照) の質量降着環境について考察した。ブラックホールが銀河中心核周辺の星間物質中を運動すると、Bondi-Hoyle-Lyttleton 型の星間物質降着が起こることが期待される。そして、ブラックホールの重力に捕えられた星間物質は角運動量をもって落ち込んでいくと考えられ、ブラックホールのまわりに降着リングを形成するはずである。最近の研究 (Inoue, 2021b, PASJ, 73, 795; 井上、本学会「コンパクト天体」b 発表) によれば、降着リングは、太い円環の周辺部と細いリングのコア部からなり、それぞれの層でブラックホールに面した側からその反対の面に角運動量が輸送された結果、降着リングからブラックホールに向けては幾何学的に厚い降着流と薄い降着円盤の 2 層流が、外側に向けては厚い排出流と薄い排出円盤が流れ出る。そして、薄い排出円盤は降着円盤の半径のほぼ 4 倍のところで止まって排出リングを形成し、一方、厚い排出流は無限遠で 10^3 km/s ほどの速度を持った超音速流となることが期待される。この降着リングから流れ出る厚い排出流は、降着リングへの降着流とぶつかり、降着円盤面に対して上向きの運動量を受け取ることによって bipolar cones となることが予想される。これらの描像は、降着リングが Broad Line Region、排出円盤・リングが赤外線で観測されるトラス内縁部やメーザー源、排出超音速流が赤外やミリ波で観測される bipolar cone に対応すると考えると、活動銀河核観測の全体像をよく説明できる。詳しくは、Inoue (2021c, PASJ, 73, 1429) を参照ください。

[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](#)

S25a 東アジア VLBI 観測網で探るいて座 A* の電波放射領域

紀基樹 (工学院大/国立天文台), I. Cho, G. Zhao (IAA-CSIC), 川島朋尚 (東大宇宙線研), 秋山和徳 (MIT Haystack), M. Johnson (Harvard BHI), S. Issaoun (Radbaud U), 東アジア VLBI 観測網 AGN サイエンスワーキンググループ

銀河系中心の電波源いて座 A* (以下 Sgr A*) は、超長基線干渉計 (VLBI) を用いて巨大ブラックホール近傍を探るのに最も適したターゲットの 1 つとして注目されている。2017 年 4 月、東アジア VLBI 観測網 (以下 EAVN) AGN サイエンスワーキンググループは、イベントホライズンテレスコープの多波長キャンペーン観測の一環として EAVN を用いた 22GHz 帯および 43GHz 帯での Sgr A* 観測を行った。

まず、Johnson ら (2018) によって得られた星間散乱パラメータを用いて、星間散乱による電波画像の広がり効果を取り除いた Sgr A* 電波放射領域の固有サイズを計測した。その結果、2017 年 4 月の Sgr A* の長軸固有サイズは、22/43GHz 帯においてそれぞれ $704 \pm 102 \mu\text{as}$ (短軸との比 1.19) と $300 \pm 25 \mu\text{as}$ (短軸との比 1.28) のガウシアンであることが分かった。また、Issaoun ら (2019) による 86GHz 帯の準同時 Sgr A* 観測データと合わせると、放射領域の固有サイズは、観測波長の 1.2 ± 0.2 乗に比例することが分かった。

さらに、Sgr A* 電波放射の性質を探るため、EAVN 観測から得られた Sgr A* 電波放射領域の固有サイズと、トイモデルの一つであるケプラーシェルトタイプの放射不良降着流が予言する放射領域サイズを比較した。その結果、降着流が熱的電子のみで構成される場合は、モデルが予言するサイズは EAVN で観測されるサイズよりも小さくなってしまいが、降着流中に非熱的電子が含まれる場合はモデルで予言されるサイズが数倍大きくなり、観測されるサイズを自然に説明できることが分かった (Cho 他 2022, ApJ 投稿中)。

[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](#)

S26a スパースモデリングによる VLBA の超解像画像におけるブレーザー 3C 454.3 ジェットの螺旋運動の発見

笹田真人 (広島大学), 福満翔 (東京大学), 池田思朗 (統数研), 秋山和徳 (MIT), 森山小太郎 (Goethe University)

活動銀河核から相対論的速度で噴出するプラズマ流はジェットと呼ばれる。ジェットは高エネルギー粒子の加速源であるなど重要な役割を担うが、その形成や加速機構は未解決な問題である。ジェットを真正面に受けて観測される天体をブレーザーと呼び、その放射スペクトルでは相対論的效果によりジェットからのシンクロトロン放射および逆コンプトン散乱放射が卓越することから、ジェットを研究する上で最適な天体のひとつである。特にブレーザージェットの時間変化はジェットや磁場の構造と関係するため、ジェットを空間分解しその時間推移を捉えることでジェットの物理構造の理解につながる。

近年、Very Long Baseline Array (VLBA) などを含む電波干渉計のデータに対して正則化項付き最尤推定法 (RML 法) を用いた画像復元技法の開発・発展が進められ、従来の技法に比べ数倍高い空間分解能でも優れた超解像画像が復元できる可能性が示されている。

私たちは VLBA によって複数期間観測されたブレーザー 3C 454.3 の 43GHz データに対してスパースモデリングによる RML 法を用いたジェット画像の復元を行なった。復元画像によるジェットの時間変化から、コアから噴出した電波放射成分が進行方向と垂直な方向にもぶれながら移動することがわかった。これは螺旋運動のモデルから予測される軌跡とよく一致する。この天体は過去に検出された可視偏光の回転から螺旋磁場構造が示唆されており、本研究結果からは螺旋磁場に沿ってジェット成分が移動す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](#)

S27a BL Lacertae 2020–2021 年フレア時の可視光・近赤外線同時連続偏光観測によるジェット中磁場構造および放射領域の研究

今澤遼、笹田真人、間夏子、深澤泰司 (広島大学)

BL Lacertae (BL Lac) はブレイザーで、高い偏光度・激しい光度変動を特徴としている BL Lac 型天体の一つである。ブレイザーの低エネルギー放射は基本的にジェット中のシンクロトロン放射によるものと考えられるため、過去の可視偏光観測からその磁場構造について議論がなされてきた。Marscher et al. 2008 では BL Lac での偏光方位角の回転現象が観測され、これはブレイザージェットの螺旋磁場構造を裏付ける結果となった。一方で一部のブレイザーでは螺旋磁場由来のものではなく、乱流磁場による見かけの回転が見えている可能性も指摘されている (Marscher et al. 2014)。このように磁場構造について揃った (螺旋) 磁場、乱流磁場、もしくは両方存在するモデルが拮抗している。また放射領域については One-zone、Multi-zone いずれの可能性も考えられており、その議論に決着はついていない。

BL Lac は 2020 年 8 月に可視光・ガンマ線で急激な増光を見せ、観測史上最大の光度に達した。その後も同程度の明るいフレアを繰り返す状態が 1 年程度継続した。この期間中、我々はかなた望遠鏡/HONIR を用いて、一夜あたり数時間の連続観測を、可視光・近赤外線同時の偏光撮像観測モードで計 14 夜実施した。その結果、1 夜以内で有意な光度変動を示す日が 10 夜あり、また多くの日で 2 バンド間の偏光度・偏光方位角に差分が現れることがわかった。差分値が日毎に異なる傾向であることや、標準星でのキャリブレーションを通して、この差は器械的な特性によるものではなく、BL Lac の偏光特性を本質的に表したものであると解釈している。本講演では、観測された偏光ベクトルの波長依存性から予想されるジェット中の磁場構造および放射領域について議論する。

[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](#)

S28a 直線偏光・円偏光画像から探る、活動銀河核 M87 のジェットー円盤構造

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

M87 を始めとする活動銀河核ジェットのミリ波～サブミリ波帯観測ではシンクロトロン放射による偏光成分が検出されており、ジェットの加速において重要な役割を握る磁場構造の手がかりを与えている。また放射後の直線偏光の偏光角はプラズマ中で Faraday 回転を受け、元々の揃った構造を一部失うことも観測から知られている。これまで我々は偏光を考慮した一般相対論的輻射輸送計算を実行し、ブラックホール付近の高エネルギー領域では更に直線偏光から円偏光への Faraday “変換” までもが起ること、そうした中で直線偏光と円偏光が相補的にらせん状磁場を反映した特徴的な輝度分布を示すことを提示した (2020 年度秋季年会講演 [Z104a])。

このように、ジェットの生成において重要なブラックホール付近では Faraday 回転・変換という二つの効果が混在するという性質を踏まえ、我々は、更なる磁場構造やジェットの物理的性質を定量的に引き出すために、直線偏光と円偏光の分布について相関解析を行った。その結果、直線偏光強度 (輝度) は放射全強度に対してジェットの下流側に分布し、円偏光強度は逆に放射全強度より上流側に分布する性質があることがわかった。これらの要因は、上流側ほど、直線偏光は強い Faraday 回転による消偏光で強度が下がり、逆に円偏光は強い Faraday 変換で強度が増加することにある。さらに我々は、2 つの Faraday 効果が強くなる長波長帯や高降着率などのケースにおいて、放射全強度と直線偏光・円偏光強度の間の隔たりがより大きくなることを定量的に (、例えば波長 0.87-7 mm の間で隔たりは $\sim 1-50 \mu\text{as}$ まで広がることなどを) 明らかにした。これらの結果は、多波長に渡る直線偏光と円偏光の統一的な分析がジェットの根元付近での生成・加速機構の理解につながることを強く示唆する。

[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](#)

T01a Faraday Tomography を用いた銀河団電波ハロー数値モデルの二次元的解析

菅原充祥, 滝沢元和 (山形大学), 出口真輔 (ラドバウド大), 赤堀卓也 (国立天文台/SKA 天文台)

銀河団には電波ハローと呼ばれる広がった非熱的放射が確認されているものがある。これは銀河団全体にわたって分布する磁場や宇宙線電子の直接的証拠であるが、その詳細な性質はまだわかっていない。一方、近年注目されている宇宙磁場の解析手法である Faraday Tomography では広帯域の偏波観測データから視線方向の情報 (Faraday Spectrum) を得ることができ、シンクロトロン放射源の三次元構造の解析に適している。しかし、Faraday Spectrum から現実の天体の物理情報を取り出すことは必ずしも単純ではない。

そこで本研究では Faraday Spectrum の二次元的解釈に焦点を当てた。具体的にはべき型のパワースペクトルに基づく乱流磁場をもった銀河団を考えて、電波ハローの数値モデルを構築した。そのうえで理想的な観測ができた場合のファラデースペクトルを構成し解釈を試みた。その結果として、Faraday Spectrum 空間での視線と垂直な方向での中心断面図では特徴的な泡のような構造が表れ、自己相関関数を計算することによって乱流磁場の特徴量を取り出すことができることがわかった。一方で、視線方向と水平な面での中心断面図では波のような構造が表れ、これは実空間においての銀河団奥行中心での磁場の寄与が色濃く反映されたと解釈できた。

[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](#)

T02a すばる望遠鏡を用いた銀河団中の AGN fraction 分布の調査

橋口葵 (奈良女子大学), 鳥羽儀樹 (京都大学), 太田直美 (奈良女子大学), 大栗真宗 (東京大学), 上田佳宏 (京都大学), 他 HSC project 364 メンバー

過去の研究によって、フィールド銀河よりも銀河団中の銀河の方が AGN の保有率が高いことなどから、AGN 活動が銀河団の形成・進化と密接な関係がある可能性が示唆されている。また、高赤方偏移ほど AGN の活動および銀河団中心の AGN 表面過剰密度が増大することが示されている (Galametz et al. 2009)。しかし、明るい銀河団のみを二次元に投影した見かけ上の分布を用いた際の結果であった。本研究では、銀河団という特別な環境下にある AGN について調べることで、両者の相互関係を調査することを目的とする。すばる望遠鏡の HSC-SSP によって見つかった可視光銀河団である CAMIRA 銀河団のカatalog (Oguri et al. 2018) と、電波、中間赤外線、X 線の 3 つの波長で選択された AGN について解析を行った。まずそれぞれの Catalog をクロスマッチし、AGN が存在する銀河団を同定した。さらに、遠く暗い銀河団まで含まれた CAMIRA 銀河団 Catalog を用い、メンバー銀河である確率が高いものに絞り前景や後景の銀河を含みにくくすることで、精度の高い調査を実現した。次に、銀河団のリッチネスと AGN の数から AGN fraction を求め、これより、AGN fraction の赤方偏移に対する依存性及び銀河団中心からの距離に対する分布を調べた。その結果、銀河団中に存在する AGN は赤方偏移とともにその割合が大きくなり、相関係数は 0.3 程度であった。また、銀河団の中心部には外縁部の 4 倍ほどに及ぶ AGN の過密が見られた。このことから、銀河団という環境が AGN の存在に影響を与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](#)

T03a ひとみ衛星とすざく衛星を統合したペルセウス銀河団からの暗黒物質由来の輝線探索 III

福一誠、北本俊二 (立教大)、田村隆幸 (JAXA)

ダークマターの候補であるステライルニュートリノは、その質量が X 線帯域にある場合、崩壊して X 線を出すと考えられている。ペルセウス銀河団から 3.5keV の未同定の輝線の検出報告があり、ダークマター起源の可能性が議論されている。(Bulbul et al. 2014, Urban et al. 2015, Franse et al. 2016)。一方、「すざく」や「ひとみ」によるペルセウス銀河団の観測から、輝線は有意に検出できず、強度の上限値だけでの報告もある。(Tamura et al. 2015, Hitomi collaboration 2017, Tamura et al. 2019)。「ひとみ」の SXS はエネルギー分解能が高く、幅が狭ければ弱い輝線にも感度が高い。しかし統計精度が悪いため、輝線の上限値の制限は緩い。そこで、我々は、統計精度の良い「すざく」XIS のデータと、エネルギー分解能の高い「ひとみ」SXS のデータの同時解析を行うことで、輝線の上限により厳しい制限を与えようとしている。福一他 (2021)(日本天文学会 2021 年秋 (T02a)) は、ペルセウス銀河団の 2-6 keV の範囲の輝線探索を同時解析により、輝線の等価幅に対しを先行研究のおよそ半分の上限を与えることができた。今回は、さらに解析の工夫を行い、XIS 単独と SXS 単独の解析結果を先行研究と比較した。XIS は検出器に対する補正を先行研究よりさらに精密化したことで、3keV 以下で系統誤差を小さくできた。SXS は使用するデータを増やしたことで、統計精度を上げることができた。そのうえで、同時解析による結果を再度導いた。さらに、XIS の解析領域の視野を SXS の視野に合わせることで、ほぼ同じ領域から抽出したデータの同時解析を行った結果も報告する。

[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](#)

T04a 初期の衝突銀河団 CIZA J1358.9 -4750 における衝突構造の 3 次元モデル化と高分解能分光観測で期待される観測量

大宮悠希, 中澤知洋 (名古屋大学), 松下恭子, 小林翔悟 (東京理科大), 岡部信広 (広島大学), 佐藤浩介 (埼玉大学), 田村隆幸 (JAXA/ISAS), 藤田裕 (東京都立大学), Liyi Gu (SRON), 北山哲 (東邦大学), 赤堀卓也, 藏原昂平 (国立天文台)

銀河団同士の衝突は莫大な重力エネルギーを ICM の加熱・乱流や粒子加速・磁場増幅などの多様なエネルギーに変換するがそのエネルギー分配量などわかっていない。特に初期段階は構造が簡易で、まさに衝撃波が立ち始めた瞬間であれば、解放される力学的エネルギーを導出しやすい。

CIZA J1358.9 -4750 は、北西と南東から衝突が進む初期の衝突銀河団で、「すざく」の観測データによりマッハ 1.3 前後の衝撃波の存在が示唆されている (Kato+ 2015)。我々は XMM 衛星の観測データから温度マップを作成し、2つの衝撃波に囲まれた、700 kpc 幅の高温領域を発見した。衝撃波の RH 関係を前提に簡単な 3次元構造モデルをたて、2つの衝撃波面付近でのスペクトルを精査したところ、高温領域は 7keV で密度 $8 \times 10^{-4} \text{ cm}^{-3}$ で奥行き 0.8-1 Mpc であることが示唆された。Planck 衛星から得られた SZ 信号もこれと矛盾ない (2021 秋年会)。

3次元構造モデルから衝撃波速度は北西で $\sim 900 \text{ km/s}$ 、南東で $\sim 1000 \text{ km/s}$ であり、衝撃波年齢は 360 Myr と推測でき、南東の衝撃波の運動エネルギーフラックスは $1.9 \times 10^{45} \text{ erg/s}$ となる。このエネルギーの 10% が乱流に使われたと仮定すると乱流速度は 380 km/s と推測できる。将来、超高分解能分光観測である XRISM や Athena により乱流速度や速度場が、硬 X 線高感度観測である FORCE と電波観測により磁場のエネルギー密度が計算できる。本講演ではこのような高分解能分光観測で期待される観測量について議論する。

[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](#)

T05a NuSTAR 衛星による RX J1347.5–1145 銀河団の硬 X 線観測

柴田実桜 (奈良女子大学), 太田直美 (奈良女子大学/ボン大学), 北山哲 (東邦大学), 小松英一郎 (MPA), 赤堀卓也 (国立天文台/SKA 天文台), 永吉賢一郎 (SRON), 上田周太朗 (ASIAA)

衝突銀河団の硬 X 線放射の起源を調査することは、銀河団の成長に伴うガスの加熱や加速のプロセスの理解に繋がるため重要である。本研究で注目する RX J1347.5–1145 銀河団 ($z = 0.45$) は、X 線光度が約 2×10^{46} erg/s と、X 線で最も明るい衝突銀河団の 1 つである。電波 SZ 観測や Chandra 観測から銀河団の南東領域に 20 keV を超える超高温ガスが見つかり、衝突して間もない系であることが示唆された (Kitayama et al. 2004; Ueda et al. 2018)。加えて、すぎく衛星の広帯域 X 線スペクトルは、約 25 keV の超高温を含む熱的な放射で説明できる一方、顕著な非熱的放射は見られなかった (Ota et al. 2008)。

そこで我々は、RX J1347.5–1145 の銀河団ガスの性質により強い制限を課すことを目指して、硬 X 線に対する高い感度と撮像能力を持つ NuSTAR 衛星を用いた観測を行った。バックグラウンドは、望遠鏡の aperture 成分をはじめ各成分の位置依存性を考慮するため、nuskybgd (Wik et al. 2014) によるシミュレーションから推定した。まず、本観測から空間的に広がった有意な硬 X 線放射を検出した。次に、銀河団を北西と南東の二領域に分割し、熱的放射を仮定して両領域の硬 X 線スペクトルを同時フィットすると、銀河団ガスの平均成分と高温成分の温度がそれぞれ約 13 keV、約 20 keV と求められた。より正確に温度を決定し非熱的成分に制限を課すためには、多温度成分を考慮したモデル化とバックグラウンドの系統誤差の詳細な評価が必要となる。

[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](#)

U01a 超軽量 axion が CMB 偏光モードに作る宇宙複屈折効果

並河俊弥 (Kavli IPMU), 中塚洋佑 (宇宙線研), 小松英一郎 (MPA), Blake Sherwin (Cambridge)

宇宙マイクロ波背景放射 (CMB) の光子は、パリティ対称性を破る超軽量 axion との相互作用によって伝搬中に「複屈折」し、直線偏光面が回転する。この「宇宙複屈折効果」によって $z = 1100$ の再結合期と $z = 0$ の観測地点での偏光角に差異が生じ、観測される E/B モード偏光は混合する。これを E/B モード偏光の相互相関関数 (EB 相関) を用いて測定すれば、超軽量 axion の存在とその物理を検証できる。

EB 相関を用いて宇宙複屈折効果を測定する際に重要となる系統的誤差は、検出器の偏光角の較正誤差である。つい最近まで、この較正誤差と、宇宙複屈折効果による物理的な偏光面の回転は完全に縮退するものと考えられてきた。しかし近年、Minami et al. (2019) は、銀河前景放射の偏光で検出器由来の偏光面の回転を制限して axion 由来の偏光面の回転を分離・測定する手法を考案し、Planck 衛星のデータに応用した。

本発表では、宇宙の再電離期 ($z \sim 10$) に生じる CMB 偏光に着目し、銀河前景放射を用いない新たな方法を提案する。再結合期と再電離期に生じた CMB の偏光は、超軽量 axion の質量に応じて異なる大きさの宇宙複屈折効果を受ける。他方、検出器由来の偏光面の回転は双方の CMB 光子で同じである。この違いを利用することで、検出器由来の偏光面の回転を分離し、再結合期と再電離期の間で生じた axion 由来の宇宙複屈折効果を測定できる。この効果を正確に計算するため、axion 場の発展と光子のボルツマン方程式を数値的に解いた結果を述べる。また、次世代の CMB 偏光観測衛星 LiteBIRD を念頭に置いた予想を示す。

[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](#)

U02a DES Y3 と Fermi LAT によるダークマター対消滅に関する制限

西澤淳, 橋本大輝 (名古屋大学), 高田昌広 (東京大学), Oscar Macias (アムステルダム大学)

ダークマターはその存在がさまざまな観測から確認されているが、未だその素粒子論的な正体解明には至っていない。本講演では一般に対消滅により標準模型粒子を生成し、最終的に高エネルギー光子 (ガンマ線) に崩壊するモデルを仮定し、その反応確率に宇宙論的データを用いて制限を行う。

我々は Hashimoto et al. 2020 で HSC により発見された、低表面輝度銀河 (LSBG) 8 個の位置でのガンマ線強度から、ダークマターの対消滅確率に上限を与えた。この手法では、制限は銀河数 N にスケールして強くなるため数を稼ぐことで矮小銀河に匹敵する強い制限を得ることが期待できる。しかしながら、この手法を用いるためには、銀河固有の要因が信号に与える影響 (J ファクター) を知る必要があり、そのためには、銀河までの距離が重要な観測量であった。特に LSBG のような淡い銀河までの距離を分光観測により測定するのは極めて困難である。我々は、Hashimoto et al. 2021 で、多くの銀河を用いる場合には個々の銀河までの距離がわからなくても、サンプル全体の距離分布さえわかっているならば、同等の制限を与えられることを示した。本講演では、上記手法の紹介と、本手法を Dark Energy Survey の Y3 データ (約 5,000 平方度) により発見された 2 万個の LSBG に対して適用し、ダークマター対消滅確率に制限を与え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](#)

U03a 活動銀河核ダストトーラスを用いた原始ブラックホール存在量への新たな制限

柳澤馨 (大阪大学), 井上芳幸 (大阪大学)

原始ブラックホール (Primordial Black Hole; PBH) とは、初期宇宙において形成されたとされるブラックホールであり、暗黒物質の候補の一つである。特に、数十太陽質量の PBH は重力波の起源としての可能性も示唆されている。PBH の存在量には広大な質量範囲で制限が与えられているが、中でもガス降着過程を用いた制限は $10^{-1} M_{\odot}$ 以上の質量範囲において有効である。本講演では、活動銀河核のダストトーラス中の PBH に対するガス降着過程を考えることで、得られる PBH への新たな制限について、その手法と結果を報告する。

活動銀河核ダストトーラスは、銀河中心から 10 pc 程度の領域に位置し、典型的なガス数密度は 10^3 cm^{-3} と星間物質の一般的なガス数密度に比べても数桁大きい。そのため、ガス降着過程を用いた制限を行うに適している。我々は制限を行うターゲットとして、ALMA による観測でガス質量が $2.1 \times 10^5 M_{\odot}$ と推定された、NGC 1068 銀河のダストトーラスを採用した。ダストトーラスのガスの冷却と PBH 降着円盤からの加熱の釣り合いから、我々は $M_{\text{PBH}} = 3 \times 10^2 M_{\odot}$ で $\Omega_{\text{PBH}}/\Omega_{\text{DM}} = 3 \times 10^{-3}$ という新たな存在量の上限值を得た。我々の新たな制限は他の研究とは独立しているものの、これらと一致する結果となった。本研究における PBH 存在量の制限方法は、他の活動銀河核天体にも適用可能である。

[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](#)

U04a Discriminating Gravitational Potential Models on Galactic Scales

Haixia Ma (1), Xiaobo Dong (2), Yongda Zhu (3), Zhaoran Liu (4) ((1) Nagoya University; (2) Yunnan Observatories, Chinese Academy of Sciences; (3) University of California, Riverside; (4) Tohoku University.)

The dynamics of gas and stars in and around galaxies have been observed to be in excess of the Newtonian gravity of the total baryonic content of the galaxies. The tight couplings (e.g., the Tully–Fisher relation) between the excess gravity and the baryonic content have inspired modified gravity theories such as “modified Newtonian dynamics” (MOND) proposed by Milgrom (1983), instead of the popular cold dark matter (CDM) paradigm. So far, however, no observational test is conclusive for the two competing paradigms on galactic scales. We propose a set of new tests based on the latest widely-used mass profiles and recently obtained kinematic observations of the Galaxy and the Andromeda galaxy. And we creatively use the two independent Jeans equations, R -directional and z -directional, as two determinants of the consistency between gravitational potential models and kinematic data. The technique is a more independent universal test, in comparison to the popular two-integral velocity dispersion test, and is also independent from the traditional rotation curves comparisons. I will present our results and discuss the implications for these gravitational potential models.

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

U05b Fuzzy Dark Matter ハローの大域的密度プロファイルの理論モデル

河合宏紀(東京大学), 鎌田歩樹(University of Warsaw), 鎌田耕平(東京大学), 吉田直紀(東京大学)

標準宇宙モデルにおける小スケール問題を解決する可能性のあるダークマターモデルとして、近年 Fuzzy Dark Matter (FDM) が注目されている。これは質量が $m \sim 10^{-22} \text{eV}$ 程度の非常に軽いスカラー粒子であり、Axion-like-particle などがその候補に当たる。このモデルでは Cold Dark Matter (CDM) の場合と同様の大規模構造を生成できるのに対し、小スケールでは、不確定性関係に由来する量子圧力が重力勾配と反対向きに働くため、CDM とは違った構造を作る。特に FDM ハローの密度分布は CDM ハローとは異なり、中心にソリトンコア、その外側は Navarro-Frenk-White (NFW) プロファイルで構成されることが分かっている。しかし、これらの境界半径や大きさの対応関係に関する理解は不十分である。先行研究では、境界半径の決め方として静水圧平衡を用いた定義、緩和時間を用いた定義などが提唱されてきたが、これらが非線形数値シミュレーションの結果を詳細にいたるまで再現しているかは明らかではない。さらに問題なことに、別々の FDM シミュレーションから、異なるコア・ハロー質量関係 $M_s \propto M_h^\alpha$ が得られている。ここで、 M_s はコア質量、 M_h はハロー質量を表し、Schieve et al, 2014 では $\alpha = 1/3$ 、Mocz et al, 2017 では $\alpha = 5/9$ というように、コア・ハロー質量関係に分散が見られる。

そこで本研究では、ソリトンコアと NFW プロファイルの接続条件について包括的に調べ、コア・ハロー質量関係の分散の由来を明らかにした。その結果、境界半径の決め方として静水圧平衡を用いた定義がよくシミュレーション結果を再現できることが分かった。またコア・ハロー質量関係の分散は、NFW プロファイルの質量集中度の分散関係に落とし込めることが分かった。本学会では、他の定義の仕方を含め包括的に結果を示す。

[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](#)

U06a Dark Quest II : Super-Resolution Emulation による宇宙大規模構造エミュレータ

田中 賢, 西道 啓博(京大基研), 小林 洋祐(アリゾナ大学)

今後の宇宙大規模構造における精密観測に向けて理論の立場から高精度の宇宙論モデルを予言しておくことは重要であるが、モデル構築のために従来のように N 体シミュレーションのみを用いて観測から可能性が示唆される多次元かつ広い領域のパラメータ空間を埋め尽くすことは計算環境が発達した昨今でも現実的ではない。そこでわれわれのグループが以前から推進している Dark Quest Project では、近年さまざまな分野で盛んに研究がなされている機械学習を宇宙大規模構造シミュレーションと組み合わせることにより、実際の観測と比較可能な高いレベルのエミュレータ開発に成功している (Dark Quest I, Nishimichi et al. 2019)。このエミュレータ技術を用いることで N 体シミュレーション単体では時間的な制約で困難であった任意の宇宙論パラメータに対応する統計量を瞬時に導くことが可能となる。ここ最近では Dark Quest I で取り扱っていた宇宙論パラメータ数、パラメータ空間の広さ、機械学習に用いる学習データ数を大幅に向上させた Dark Quest II に取り組んでおり、ニューラルネットワークを用いて先行研究より柔軟かつ高い精度の宇宙大規模構造エミュレータの構築を目指している。本講演では Dark Quest II によるエミュレータの開発状況を説明し、特に多数の低解像度シミュレーションと少数の高解像度シミュレーションを組み合わせることにより実質的に高解像度相当の結果を取得できる Super-Resolution Emulation の実装方法や適用可能性などをパワースペクトル、ハロー質量関数エミュレータを用いて報告する。

[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](#)

U07a Dark Quest II: 宇宙の大規模構造高精度解析コードの整備状況

西道啓博, 田中賢 (京都大学基礎物理学研究所)

宇宙の大規模構造の基本的な特徴量を宇宙論パラメータの関数として素早く正確に予言することは、進行中及び将来の大規模銀河サーベイ観測データに照らして宇宙論的帰結を得るための必須のステップである。我々が推進する Dark Quest 計画は、大規模なシミュレーションデータベースの構築と機械学習に基づくエミュレーション技術の応用で以ってこの課題に答えようとするものであり、2019 年までの取り組みによりすばる望遠鏡 Hyper Suprime Cam による銀河・銀河レンズ効果の解析のための理論テンプレートの完成を見た (DQ-I: Nishimichi et al. 2019)。現在、第 2 期の取り組みとして、このデータベースを質的にも量的にも刷新し、より広範な宇宙モデルと観測をサポートする体制構築を目指している。

近い将来の宇宙論観測が主要なターゲットとする輝線銀河は、これまでの主役だった重いハローの中心銀河とは全く異なる進化段階にある種族であると考えられる。これらをホストするハローを解像するためには DQ-I からおよそ 1 桁程度質量分解能を改善しなければならない。安直に粒子数を増加させるだけで対応することは現実的ではなく、シミュレーション体積を犠牲にせざるを得ない。そうすると、バリオン音響振動や赤方偏移歪みのようなギガパーセクスケールの効果の統計精度が低下してしまう。一方で、このようなスケールの物理は摂動展開に基づいて漸近的な振る舞いが正確に記述できることが知られている。本講演では、この事実を利用して開発したハイブリッドな手法を中心に、データベースのポストプロセス処理パイプラインの整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](#)

U08a 曲率を持つ宇宙の質量密度揺らぎの非線形パワースペクトルの計算法の開発

寺澤凌 (東京大学, Kavli IPMU), 高田昌広 (Kavli IPMU), 高橋龍一 (弘前大学), 西道啓博 (京都大学)

サーベイ領域を超える長い波長の密度揺らぎは、宇宙構造形成の重力の非線形性に起因するモードカップリングによって短い波長の揺らぎに影響を与える。この超長波長揺らぎによる質量密度揺らぎパワースペクトルへの影響は Super sample covariance (以後 SSC) と呼ばれ、正確にモデル化する必要がある。SSC を計算するために必要な、超長波長揺らぎへの質量密度揺らぎの非線形パワースペクトルの応答を調べる方法として、Separate universe simulation という手法がある (e.g. Li et al., 2014)。これは、超長波長揺らぎを背景膨張宇宙の変化として取り込んで宇宙論的 N 体シミュレーションを行う手法である。この手法では、超長波長揺らぎが正、負の領域をそれぞれ閉じた宇宙、開いた宇宙とみなしてシミュレーションを行う。我々は、Separate universe simulation と平坦な宇宙でハッブルパラメータ h を変化させた宇宙論での N 体シミュレーションを比較し、非線形パワースペクトルの超長波長揺らぎへの応答が、ハッブルパラメータの変更への応答とよく一致することを確かめた。

本発表では、我々が行ったシミュレーションの結果と、ハローモデル等による理論的解釈を報告する。我々は、ハッブルパラメータへの非線形パワースペクトルの応答を用いて SSC を高速に計算するコードの開発を目指しており、その実現可能性について議論する。また、Separate universe simulation では曲率を持つ宇宙のシミュレーションを行うため、このコードを応用することで曲率を持つ宇宙の非線形パワースペクトルを予言することができる。本発表では、曲率を持つ宇宙の非線形パワースペクトルを予言するコードとしての応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](#)

U09a Lyman α サーベイによる RSD 効果の検出可能性

中島光一朗, 西澤淳, 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)

現在の宇宙の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。この $f\sigma_8$ は、銀河分布の観測に現れる赤方偏移空間歪み (RSD) 効果を測定することで制限される。これまで、RSD 効果の測定には分光観測の銀河サンプルが用いられてきた。しかし近年、Lyman α forest (LAF) による RSD 検出の可能性が議論されている。

本研究では、すばる Prime Focus Spectrograph (PFS) による LAF 観測を想定した RSD 解析による $f\sigma_8$ の制限予測を行なった。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、3次元 LAF 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](#)

U10a ガウス過程回帰を用いた前景放射除去

伊東拓実 (熊本大学), 高橋慶太郎 (熊本大学), 吉浦伸太郎 (国立天文台)

宇宙で最初の天体が誕生した後、天体が発する紫外線によって宇宙全体にある中性水素ガスが電離される時期を宇宙再電離期 (Epoch of Reionization : EoR) と呼ぶ。宇宙再電離期の 21cm 線の検出は当時の中性水素および電離源の分布や性質の解明につながることから、初代星や宇宙初期における銀河やブラックホール、銀河間物質などの研究において非常に重要である。

宇宙再電離期の 21cm 線は Murchison Widefield Array (MWA) や LOFAR (Low Frequency Array), Hydrogen Epoch of Reionization Array (HERA) などによる観測が試みられており、近いうちに Square Kilometre Array (SKA) による観測も予定されている。再電離期からのシグナルは銀河系のシンクロトロン放射など、21cm 線自身より 3 桁以上も明るい前景放射の中に埋もれており、シグナル検出のためにはこの前景を回避するか正確に除去する必要がある。前景の回避および除去については様々な研究が行われている。Mertens et al 2018 においてはガウス過程回帰 (Gaussian Process Regression, 以下 GPR) を LOFAR のシミュレーションデータに適応することで効果的に前景が除去できることを示しており、実際の LOFAR データにも適応されている (Mertens et al 2020)。GPR では前景放射がスペクトル的に滑らかであるのに対して EoR シグナルは滑らかでないということを利用して前景除去を行う。ただしスペクトルは観測装置の特性やキャリブレーションの精度に影響を受けるため、GPR による前景放射除去の精度は観測装置やデータの質に強く依存すると思われる。そこで今回は Mertens et al 2018 などで利用された GPR を MWA の観測データに対して用いて前景放射除去を試みた。本公演ではその最新の解析結果を報告する。

[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](#)

U11a 初代星が宇宙論的 21-cm 線シグナルに及ぼす影響

伊元聖也, 長谷川賢二, 田代寛之, 柏野大地, 阿部克哉 (名古屋大学)

初代星は重元素を含まない原始ガスから形成された宇宙最初の輝く天体である。初代星の形成過程や物理的性質について理解することは天体物理学的な興味のみならず、構造形成や宇宙再電離においても重要な課題である。初代星の直接的な観測は困難であるが、初期宇宙に由来する中性水素の 21-cm 線観測により、その物理的性質や存在量を間接的に知ることが期待できる。

本研究の目的は、SKA などの将来観測に備えて、21-cm 線シグナルへ初代星が与える影響がその物理的性質によりどのように変化するかを明らかにすることである。

初代星は紫外線光子の放射により 21-cm 線シグナルに影響を及ぼす。そのため 21-cm 線シグナルの予言においては初代星がもつ紫外線の光子脱出率を見積もることが必要であり、それは星質量に強く依存することが知られている。そこで我々は、この光子脱出率の星質量依存性を取り入れた数値シミュレーションを行い、初代星形成時期の 21-cm 線輝度温度分布を求めた。

その結果、初代星の典型的星質量が $500 M_{\odot}$ と $80 M_{\odot}$ の場合、 $z = 18$ において 21-cm 線輝度温度グローバルシグナルに 30 mK 程度の差が生じることがわかった。本講演ではさらに、パワースペクトルの解析を通して、初代星の星質量・星形成効率が、21-cm 線輝度温度の空間分布に及ぼす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](#)

U12a Upper limits on Einstein's weak equivalence principle placed by uncertainties of dispersion measures of fast radio bursts

Tetsuya Hashimoto (NCHU), Tomotsugu Goto (NTHU), Daryl Joe D. Santos (Max Planck), Simon C.-C. Ho (NTHU), Ece Kilerci-Eser (Sabanci Univ.), Tiger Y.-Y. Hsiao (NTHU), Yi Hang Valerie Wong (NTHU), Alvina Y. L. On (NTHU/UCL), Seong Jin Kim (NTHU), and Ting-Yi Lu (DARK)

Fast radio bursts (FRBs) are astronomical transients with millisecond timescales occurring at cosmological distances. The observed time lag between different energies of each FRB is well described by the inverse-square law of the observed frequency, i.e., dispersion measure. Therefore, FRBs provide one of the ideal laboratories to test Einstein's weak equivalence principle (WEP): the hypothetical time lag between photons with different energies under a gravitational potential. If WEP is violated, such evidence should be exposed within the observational uncertainties of dispersion measures. In this work, we constrain the difference of gamma parameters ($\Delta\gamma$) between photons with different energies using the observational uncertainties of FRB dispersion measures, where $\Delta\gamma = 0$ for Einstein's general relativity. Adopting the averaged 'Shapiro time delay' for cosmological sources, FRB 121002 at $z = 1.6 \pm 0.3$ and FRB 180817.J1533+42 at $z = 1.0 \pm 0.2$ place the most stringent constraints of $\log \Delta\gamma < -20.8 \pm 0.1$ and $\log(\Delta\gamma/r_E) < -20.9 \pm 0.2$, respectively, where r_E is the energy ratio between the photons. The former is about three orders of magnitude lower than those of other astrophysical sources in previous works under the same formalization of the Shapiro time delay while the latter is comparable to the tightest constraint so far.

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

U13a すばる望遠鏡の原始 He 量測定で検証する宇宙論モデルと反レプトン存在比

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, 磯部優樹, 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

宇宙論において、軽元素の合成は主にビッグバン元素合成 (BBN) において行われたと考えられている。この原始元素組比の観測結果は、CMB の観測の結果と共にバリオン光子比 $\eta \simeq 6.13 \times 10^{10}$ という値で概ね説明できているため、BBN は標準的な宇宙論モデルで良く理解されていると考えられている。このような議論ではニュートリノの有効種族数 N_{eff} として 3.046 が得られ、レプトン-反レプトンの存在比に対応する ξ_e は 0 である。原始元素組比を高い精度で測定できれば宇宙・素粒子物理学で重要になる N_{eff} と ξ_e に制限が加えられ、標準的なモデルを検証できる。しかし現状の観測では、原始 He の質量比 Y_P の決定精度が $\Delta Y_P \simeq 0.0040$ と低いため、 N_{eff} の精度は $\Delta N_{\text{eff}} \simeq 0.25$ 程、 ξ_e では全く制限を加えられておらず、標準理論の予言を確かめるには至っていない。そこで、我々は 2021 年春よりすばる望遠鏡の可視・近赤外線分光探索 EMPRESS 3D を開始した。これは従来の 5 倍にあたる 30 個の極金属欠乏銀河を観測するもので、 Y_P 決定の統計誤差を従来の半分程に減らす見込みである。さらに近赤外域にある He I $\lambda 10830$ 輝線を用いることで電子密度を正確に決定し、 Y_P に含まれる 1% 程の系統誤差も除く。最終的には、統計誤差と系統誤差を合わせて、 Y_P を $\Delta Y_P \simeq 0.0022$ の精度で求め、 $\Delta N_{\text{eff}} \simeq 0.12$ を達成する計画である。既に、7 個の極金属欠乏銀河に対し MOIRCS, IRCS, SWIMS による近赤外線分光観測を行い、得られたデータを過去の研究のデータと合わせたところ $Y_P = 0.2379^{+0.0037}_{-0.0037}$ となり、 $N_{\text{eff}} = 2.37^{+0.27}_{-0.20}$ や $\xi_e = 0.04^{+0.017}_{-0.015}$ が得られた。現状のデータからは、 N_{eff} が宇宙論の標準理論と誤差の範囲で一致しているものの、 2.5σ の有意性で測定値が小さい可能性、もしくは 2.7σ の有意性で ξ_e が 0 ではない可能性が示唆されている。

[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](#)

U14a 新光子モデルと現行光子モデル 及びそれぞれからの宇宙像等

藤原ケイ

我々人類は光 (光子) を通して宇宙を見ている。

しかし “この最も頼りとする” 光子そのもの” について十分な理解が出来ているとは言えないようである。

[現在の光子像 *モデルとは呼ばないが一般的な理解]

- ・粒子であり波動でもある。 <それではどんな粒子? どんな波動? >
- ・質量は無いが、運動量があり、 $h\nu$ という飛び飛びのエネルギーを持っていて、電荷はゼロ、スピンは 1 で、偏光があり、ダブルの横波で、直進する。 <単なる測定結果の羅列? >
- ・真空内では c の速度を持ち、物質内では減速 (Au などでは加速) する。 <何故なの? >

筆者は、光子についてのこのような状況を踏まえ、プリズムでの速度挙動を加えて深く考察し、新たな「光子モデル」を提案している。(2020 秋、2021 春天文学会)

新「光子モデル」= 「プラス/マイナス始粒の交互配列・二重鎖構造の自力運動体」

*二本束ねのロケットのような形で、自らを燃料として噴出して速度を得ているもの。

前回の講演では 新モデルに大きな矛盾や齟齬が有るわけではないことを中心に示した。

今回は 三回目として新モデルと現行モデルの違い、これらのモデルから推測出来る”宇宙像”について考察する。

*一回目 (2020 秋) ”光子は減衰する” 赤方偏移現象のこと。偏移量は距離そのもの。

*二回目 (2021 春) ”光子の反射・屈折・干渉挙動” 見方の変更は必要だがモデルとしては成立。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

U15a U1.27 による、宇宙の質量と泡構造と銀河と恒星の生成(中心が太陽質量のブラックホールに成るために必要な質量)

小堀しづ

私は、2008 年 9 月 1 日に出願した、特願 2008 - 223099 に次のように記した。(中心がブラックホールに成るために必要な質量= 4.965×10^3 太陽質量。中心が太陽質量のブラックホールに成るために必要な質量= 9.458×10^5 太陽質量。中心が太陽質量の B 倍のブラックホールに成るために必要な質量= $B \times 9.458 \times 10^5$ 太陽質量。) 宇宙の質量は宇宙の中心のブラックホールを作った質量であり、宇宙中心のブラックホールの質量 $\times 9.458 \times 10^5 = 2.631 \times 10^{13}$ 太陽質量 $\times 9.458 \times 10^5 = 2.488 \times 10^{19}$ 太陽質量である。U1.27 の質量は、 6.1×10^{18} 太陽質量である。地球の反対側にも U1.27 と同じ質量の物が存在する。 $2 \times$ U1.27 の質量は、 $2 \times 6.1 \times 10^{18}$ 太陽質量 = 1.22×10^{19} 太陽質量である。これは宇宙の質量とほぼ等しい。この事により、宇宙に存在するものは $2 \times$ U1.27 だけであり、 $2 \times$ U1.27 だけが宇宙を拡大しながら回転していることが理解できる。 $1 \cdot 10^{-16}$ m 時代。泡構造の中心となる 10^{11} 太陽質量のブラックホールを作った。これを作るために、 10^{11} 太陽質量 $\times 9.458 \times 10^5 = 9.458 \times 10^{16}$ 太陽質量の原子が使われた。 $2 \cdot 10^{-15}$ m 時代。銀河ができた。 10^6 太陽質量のブラックホールを 100 個作った。これを作るために 10^6 太陽質量 $\times 100$ 個 $\times 9.458 \times 10^5 = 9.458 \times 10^{13}$ 太陽質量の原子が使われた。 $3 \cdot 10^{-14}$ m 時代。恒星ができた。1 太陽質量の恒星を 10^{11} 個作った。これを作るために、中心がブラックホールに成るために必要な質量 $\times 10^{11}$ 個 = 4.965×10^3 太陽質量 $\times 10^{11}$ 個 = 4.965×10^{14} 太陽質量の原子が使われた。 $1 + 2 + 3 = 9.458 \times 10^{16}$ 太陽質量 + 9.458×10^{13} 太陽質量 + 4.965×10^{14} 太陽質量 $\approx 9.458 \times 10^{16}$ 太陽質量。 $73 \times 2 \times 9.458 \times 10^{16}$ 太陽質量 = 1.381×10^{19} 太陽質量。

[スケジュール\(セッション毎\)に戻る](#)

[スケジュール\(全体\)に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V101a FITSWEQLSE とその周辺 (C/C++, FORTRAN, Rust, Julia, Python 等)

ザパート クリストファー、白崎 裕治、大石 雅寿、水本 好彦、川崎 渉、小杉 城治、森田 英輔、吉野 彰、林 洋平

We present an update on the development of FITSWebQL v5, the unique software developed at the Japanese Virtual observatory (JVO). In December 2021 the distributed computing-based FITSWEQLSE (Supercomputer Edition) — supported by a KAKENHI grant — entered an initial *ALPHA* release: publicly available on a trial basis for selected ALMA FITS datasets.

Since the public release of the Rust language-based FITSWebQL v4 in late 2018, at JVO we have gone through three major changes of programming languages: from Rust to C/C++17, then CoArray FORTRAN 2018, finally settling on Julia due to its superior asynchronous distributed computing capabilities. The talk discusses in detail the rationale behind such drastic programming language changes. We also show a brief demo of Julia-based FITSWEQLSE, which makes it possible to preview interactively (in near real-time) over 350GB-large FITS files from the comfort of a web browser.

Julia FITSWEQLSE is not a mere duplication in Julia of the existing Rust FITSWebQL v4. Leveraging Julia's excellent Distributed.jl package, FITSWEQLSE scales seamlessly from a single server to running on a supercomputer cluster, all supported by a single codebase. It also contains "bonus" features, for example a CSV spectrum export functionality, with PLAIN TEXT, JSON and/or FITS formats under consideration.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V102a 茨城観測局電波望遠鏡搭載広帯域 CX 帯円偏波分離器の開発 2

知念翼, 孫赫陽, 抱江柊利, 米山翔, 川下紗奈, 増井翔, 山崎康正, 野曾原千晟, 小川英夫, 大西利和 (大阪府大), 岡田望, 米倉覚則 (茨城大), 清水祐亮, 新沼浩太郎, 藤澤健太 (山口大), 金子慶子, 神澤富雄, 三ツ井健司 (国立天文台)

近年, 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 のメタノールメーザーが初検出された (Breen et al. 2019, MacLeod et al. 2019). 茨城観測局 CX 帯受信機を広帯域化し本新輝線を観測することで, 大質量星形成の新たな知見を得ることが期待できる. これを受け, 我々は広帯域受信機の開発を進めている.

本研究に求められる円偏波分離器の目標帯域は 6.5–12.5 GHz (比帯域: 63%) と非常に広帯域である. しかし従来のセプタム型円偏波分離器の比帯域は 10–20% 程度と狭帯域である為, 新たな方法で円偏波分離器を開発する必要がある. そこで我々は, 広帯域に渡り位相遅延量が ~ 90 deg かつ低反射である Corrugated Quad-Ridge Phase Shifter (Tribak et al. 2009) と, 広帯域かつ低反射な結果が期待できる Turnstile OMT (知念ほか 2021 秋季年会) を組み合わせた広帯域な円偏波分離器の実現を目指している.

本円偏波分離器を実現する上で鍵となる位相器は, 位相遅延量 90 ± 10 deg, 反射損失 -20 dB 以下をシミュレーション上達成している. また本円偏波分離器は複数のブロックパーツを締結する必要があり, 各パーツのアライメント精度が重要である. そこで現在, 導波管面が綺麗に製造できる切削加工と, 3D プリンターの製造方法について比較検討を行っている. 3D プリンターによる製造は, 導波管面は荒くなるが, 一体ものとして製造できるといったメリットがあり, 国立天文台先端技術センターの 3D プリンターを用いて本検討を進めている. 本講演では円偏波分離器の開発進捗について報告する (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](#)

V103a VERA 広帯域両偏波観測の性能評価報告

秦和弘, 小山友明, 鈴木駿策, 山内彩, 寺家孝明, 廣田朋也, 田崎文得 (国立天文台), 萩原喜昭 (東洋大), 高村美恵子 (東京大), 金美京 (大妻女子大), VERA 開発・運用グループ

VERA (VLBI Exploration of Radio Astrometry) は VLBI 運用開始から 19 年が経過し、現在は East Asian VLBI Network (EAVN) への参加及び Square Kilometer Array (SKA) に向けたパスファインダーとして、様々な観測モードのアップグレードが進行中である。その中で主要整備項目の 1 つとして、我々は VERA 22, 43GHz 帯における左右円偏波同時受信化の整備を進めている。VLBI による両偏波観測はアレイ感度の向上のみならず、活動銀河ジェットをはじめとする様々な天体現象の磁場構造をミリ角スケールで直接マッピング可能になることから、科学的にも非常に重要である。我々は 2019 年に VERA 4 局全ての 22/43GHz 帯両偏波受信化を完了し、2020 年からは 4Gbps 記録での両偏波試験観測を、2021 年からは広帯域 VLBI バックエンド (OCTAD+OCTADISK2) を用いた 16Gbps 広帯域両偏波試験観測を開始した。我々はこれらの試験観測データを解析し、VERA 両偏波システムの偏波漏れ込み量 (いわゆる D-term) の測定や偏波イメージングを行い、VERA 両偏波観測の性能を評価した。本講演では VERA 偏波試験観測の結果を報告するとともに、東アジア局も含めた EAVN による両偏波観測の状況及び今後の展望についても合わせて報告する。

[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](#)

V104a 広帯域受信機のための高温超伝導クワッドバンド帯域通過フィルタの開発

良知 颯太, 作間 啓太, 關谷 尚人 (山梨大学), 赤堀 卓也 (国立天文台)

国立天文台の赤堀らはセンチ波帯域で FRB の直線偏波を観測することで、宇宙大規模構造に付随する中高温銀河間物質の銀河間磁場を検出できる可能性を報告しており (T. Akahori, PASJ, 70, 115, 2018), その検出には広帯域受信機 (0.7 GHz から 2.1 GHz) が必要である。しかし、国内での観測には衛星通信や携帯電話による電波干渉 (RFI) が多いため、複数の静かな周波数帯を束ねて広帯域に観測することができる小型・高性能 (低損失, 急峻な遮断特性) 超伝導マルチバンド帯域通過フィルタ (MB-BPF) の開発が求められている。そこで、我々は国立天文台 (水沢) 周辺の RFI を測定し、空いている帯域を使った超伝導クワッドバンド帯域通過フィルタ (QB-BPF) を開発したので報告する。QB-BPF の中心周波数は 0.7, 1.4, 1.6, 2.1 GHz とし、各帯域の比帯域幅は 5.5% (0.7 GHz), 10.7% (1.4 GHz), 6.1% (1.6 GHz), 3.2% (2.1 GHz) とした。QB-BPF は 2 つの帯域を持つデュアルバンド帯域通過フィルタを 2 つ用いて構成されており、それによりフィルタ全体のサイズの小型化に成功した。また各帯域において給電部の電流分布が周波数によって異なることを利用することで整合回路の設計自由度を改善し、4 つの帯域で良好な周波数特性を得られるようにした。講演では超伝導 QB-BPF の具体的な構成及び設計方法について報告する。将来はこの技術を応用し、所望の帯域の MB-BPF を開発することで、東アジア VLBI 網や Square Kilometer Array (SKA) への搭載に適用できると期待する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V105a 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 (II)

氏原秀樹 (京大/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 の助成を受けて次世代高感度マイクロ波放射計を開発中である。これは 15-60GHz 程度の広帯域フィードと OMT により 22GHz 帯の大気中の水蒸気だけでなく、その計測の誤差要因となる 30GHz 帯の雲中の水滴、50GHz 帯の酸素の放射も 1 台の受信機で同時に計測するものである。しかし冷却可能で全帯域を受信できる低雑音アンプがみあたらないので、当面は OMT で偏波を分けて下から 2 つと上から 2 つのバンドそれぞれを冷却可能な低雑音アンプで受信することとしている。広帯域フィードと OMT の動作は確認できしており、低雑音でなく冷やせないアンプなら 1 個で全帯域を受信できる。これを発展させ、今年度からは JSPS 科研費 21H04524 の助成を受けて 15-60GHz 程度の帯域内で様々な VLBI 観測に利用可能な広帯域フィードと OMT の開発に着手している。まだ 40GHz 付近と 50GHz 付近で OMT の損失が大きいが、今後のシミュレーションで性能を改善していきたい。

広帯域フィード単体による受信システムの試験は京大宇治キャンパス屋上で行っているがビーム幅が広いので、22GHz 帯では放送衛星や近隣のミリ波通信などからの混信があるようである。しかし比較的静かな沖縄や鹿児島での試験は新型コロナによる出勤・出張制限で期待できない。そこで混信を避けるために鹿児島 34m 用広帯域フィードのレンズ (口径 20-30cm) でビームを絞り、今後の試験に活用したいと考えている。さらにハンディスペアナを利用して受信システムを小型化し、高精度ヘラ絞りによる 90cm パラボラ鏡を利用した可搬局も製作中である。

[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 野辺山 45m 鏡 7 ビーム 3 帯域両偏波受信機の開発 XI : 進捗概要報告 III

長谷川豊, 山崎康正, 川下紗奈, 知念翼, 米山翔, 増井翔, 小川英夫, 大西利和 (大阪府大), 立松健一, 西村淳, 宮澤千栄子, 高橋敏一, 前川淳, Alvaro Gonzalez, 金子慶子 (国立天文台), 酒井剛 (電通大)

野辺山宇宙電波観測所にて申請/採択された科研費基盤 S 「重水素分子で探る星形成の極初期」を達成するために、重水素分子帯: EL-band (72-77 GHz), 軽水素分子帯: EU-band (86-93 GHz), および CO 分子帯: CO-band (109-116 GHz) の 3 帯域を同時に観測可能な 7 ビーム 3 帯域・両直交偏波分離 = 42 IF 出力の新受信機システムを、国立天文台と大阪府立大学の共同で開発している。この受信機システムは、従来 2021 年末での野辺山 45m 鏡搭載を計画していたが、真空冷却系および 10K 冷却受信機のアップグレードを目的として、搭載を 2022 年 3 月に延期とした。これは大幅な開発計画変更ではあったが、その後は再編した開発計画に沿って現在まで順調に進捗しており、本講演ではその進捗成果について報告する。2021/12 時点での主な進捗は次の通りである。

進捗 1: 従来、10K 冷却低雑音アンプ 1 段 + 常温ヘテロダイン増幅系と設計していたが、予算計画の最適化により冷却アンプ 2 段へのアップグレードが可能となったため、搭載延期と引き換えのアップグレードを決断した。これにより全帯域で -10 % 前後の低雑音化と ~5dB の利得向上が得られ、 $T_{rx} \sim 65K$, $T_{sys} 150-250 K$ が期待できる。/ 進捗 2: 前年会で試作結果を報告した直交偏波分離器、3 帯域分離フィルタなどの導波管デバイス類について、7 ビーム分の全数本製造と特性試験が完了した。また、誘電体レンズ光学系についても設計が深化し本製造が進んでいる。/ 進捗 3: 42 IF 出力を 14ch の分光計 NRO-SAM45 に入力するまでの IF 増幅系・入力切り替え系の全組み込み・通電試験等が完了した。今後、冷却アンプの出力をこれらに入力しての出力異常やバッキング崩れが無いことの確認試験を計画しており、これが完了すれば受信機開発は完了、搭載待機となる。

[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](#)

V107a 野辺山 45 m 鏡 7 ビーム 3 帯域両偏波受信機の開発 XII : 誘電体レンズの表面に最適な反射防止構造の検討

山崎康正, 長谷川豊, 増井翔, 川下紗奈, 米山翔, 知念翼, 大西利和, 小川英夫 (大阪府大), 立松健一, 西村淳, 宮澤千栄子, 高橋敏一, 前川淳, Alvaro Gonzalez, 小嶋崇文, 今田大皓, 金子慶子, 坂井了 (国立天文台), 酒井剛 (電通大)

重水素分子の高感度マッピング観測によって星形成の極初期を探るべく、野辺山宇宙電波観測所 45 m 電波望遠鏡に搭載する新 7 ビーム受信機 (72 – 116 GHz) の開発を推進している。本受信機の光学系は、67 – 116 GHz をカバーする ALMA Band2 用のコルゲートホーン (A. Gonzalez et al. 2020)、そして常温に設置する誘電体レンズで構成される。レンズの設計において重要なのは、天体からの受信ビームとホーンからの送信ビームのカップリングのほかに、表面での反射を抑えるための構造設計である (AR)。我々は実効的な屈折率を徐々に変化させていくことで反射防止可能な三角形の AR 構造を採用し、最適化した。さらに、それらの周期的パターンを直線状と円周状にした時のビームパターンを比較した結果、後者ではビームが非対称となり、交差偏波レベルが急激に上昇することが明らかになった (山崎ほか 2021 年秋季年会)。したがって、基本構造を頂角 20 deg の三角形、パターンを直線状に固定し、その間隔が異なる 2 種類のレンズを用意した (レンズ S1: 間隔 1.2 mm, レンズ S2: 間隔 1.7 mm)。それらを開口能率、反射/透過特性、レンズによる受信機雑音温度上昇の観点から比較したところ、透過特性と受信機雑音温度において顕著な差は見られなかったが、開口能率において S2 の方が数%高いことが分かった。S2 の方が AR 層が深い分、反射防止の効果が強く、基本ビームが反射成分の影響を受けないため、よりクリーンなビームが形成されたからではないかと考える。従って、レンズ S2 を搭載用に決定した。

[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](#)

V108a 野辺山 45m 鏡に搭載された eQ 受信機計画の概要と現状

中村文隆 (NAOJ)、Chau-Ching Chiong (ASIAA)、西村淳 (NRO)、Ross Burns、谷口琴美、川邊良平、藤井泰範 (NAOJ)、山崎康正、小川英夫 (大阪府立大)、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

eQ 受信機は、台湾中央研究院の研究チームが開発した新しい受信機である。新しい光学設計と極低温低雑音増幅器 (CLNA) 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。2021 年 11 月 25 日に野辺山宇宙電波観測所の 45m 電波望遠鏡に搭載された。その後、晩期型星 RR Aql からの SiO メーザーの検出に成功した。受信機雑音温度は 20 K 程度に抑えられ、既存の Z45 受信機 (42-46GHz) よりも 2.5 倍低い。搭載した野辺山 45m 鏡の IF システムは、各入力ポートごとに最大 4 GHz の IF 帯域幅しか受け入れることができない仕様になっているため、一度に eQ 受信機の IF 帯域をカバーすることができない。この問題を解決するために、ダウンコンバーターを 2SB と呼ばれる動作モードのものに変更し、各サイドバンドを 4-8GHz IF 帯域幅にするという設計にすることで、広い周波数域の同時観測を可能とした。

eQ 受信機は現在進行中の ALMA Band-1 の帯域をカバーし、Band-1 での予備研究に用いることができる。世界的には、Green Bank 100m 鏡の Q-band, Ka-band 受信機、Effelsberg 100m 鏡の S7 mm 受信機、Yebes 40m 鏡の Q-band 受信機などがあるが、カバーする帯域、感度、偏波観測能力において、eQ 受信機が優れている。ALMA と同様の両直線偏波方式を採用し、ゼーマン観測に最適化して設計されている。科学目標は (1) SO/CCS 分子輝線による星間磁場のゼーマン観測、(2) high-z 天体からの CO 輝線の検出と赤方偏移の同定、(3) 30 - 50 GHz 帯の星間化学の開拓の 3 本柱が掲げられている。講演では、受信機の概要、初期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](#)

V109b 野辺山 45 m 鏡 eQ 受信機の搭載及び光学系の評価

山崎康正 (大阪府大)、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、小西亜侑、西本晋平、孫赫陽、小川英夫、大西利和 (大阪府大)、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

SO/CCS 分子輝線による星間磁場のゼーマン観測を大きな科学目標の一つとして、台湾中央研究院の研究チームは 30 – 50 GHz 帯 eQ 受信機を開発した。本受信機は広帯域コルゲートホーン及び直交偏波分離器、そして極低温低雑音増幅器 (CLNA) を用いることで超低雑音な偏波観測を可能とする。特にコルゲートホーンの製造方法は特徴的である。一般に、溝のアスペクト比 (深さ/幅) が大きいほど性能は向上するが、切削が難しいためアスペクト比に制限をかけて設計する必要がある。しかし、溝一つ分のプレートを製作し、それらを連続的に重ねることで設計に自由度を与え、全帯域で 30 dB 以上の反射損失、 -27 dB 以下の交差偏波が実現された (Chiong, C.-C., et al., 2021)。上記ホーンのビームパターンを考慮して、2 枚の楕円鏡で望遠鏡光学系とのマッチングを取った結果、物理光学シミュレーションによって開口能率が全帯域で 75% 以上であることを確認した。本光学系及び受信機を望遠鏡に実装し、下げ振子を用いて光軸に垂直な面でのアライメントを行なったところ、 ± 1 mm の精度 ($\sim 1''$) で設置することが出来た。その結果、晩期型星 RR Aql からの SiO メーザーの検出に成功した (中村ほか 本年会)。また、光軸方向の設置誤差には焦点ずれによる能率低下の影響は小さいことがシミュレーションによって確認出来ているが、試験観測によってビームサイズや主ビーム/開口能率に影響がないことを確認する。本講演では eQ 受信機搭載の詳細や、試験観測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](#)

V110b 電波点回折干渉計のための超伝導回路を用いた相関型偏波計の試作に向けた設計

永井 誠 (国立天文台)、野地 涼平 (筑波大学)、今田 大皓 (国立天文台)、新田 冬夢、村山 洋佑 (筑波大学)、成瀬 雅人 (埼玉大学)

電波望遠鏡の新しい鏡面形状測定法として、我々は点回折干渉計 (PDI) の原理を電波領域に応用した電波点回折干渉計 (RPDI) を提案している (奥村ほか, 2018 年秋季年会 V117c)。RPDI では、望遠鏡内のビーム伝送経路上に置いた偏波点回折ビームスプリッター (PPBS) と、ビーム下流に置いた各ピクセルを相関型偏波計とする RPDI 用電波カメラによって、望遠鏡光学系を通過してきたビーム (試験波) と、小さな回折体によって生じる回折波 (参照波) の間の位相差が異なる複数の干渉像を同時に取得する。これを可能にする RPDI 用電波カメラの実現を目指して、多素子化が容易な超伝導回路による相関型偏波計の開発を進めている。これまでに、原理的に重要な部分である 2 入力 4 出力の遅延回路について、コプレーナ導波路を用いた単層の超伝導体膜からなる基本設計ができていた (永井ほか, 2020 年春季年会 V140b)。

この相関型偏波計の偏波の入射に対する応答を確認するためには、平面アンテナから強度検出素子まで全て備えたものを製作する必要がある。今回、遅延回路全体の電磁界シミュレーションによってその動作を確認するとともに、相関型偏波計の試作に向けて必要な部分の検討をひと通り行った。主な検討箇所は、両直線偏波用の二重ツインスロットアンテナと遅延回路の接続方法、遅延回路と強度検出素子の力学インダクタンス検出器 (MKID) の接続方法である。以上の設計を組み合わせ、偏波計として光学試験を行える試作機を製作できると期待される。

[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](#)

V111b Wavelets and sparsity for solving the inverse problem in Faraday tomography

Suchetha Cooray (1), Tsutomu T. Takeuchi (1 and 2), Shinsuke Ideguchi (3), Takuya Akahori (4 and 5), Yoshimitsu Miyashita (6), Keitaro Takahashi (6, 7, and 8) ((1) Nagoya Univ., (2) ISM, (3) Radboud Univ. Nijmegen, (4) Mizusawa VLBI Observatory, NAOJ, (5) SKA Observatory, UK, (6) Kumamoto Univ., (7) IROAST, Kumamoto Univ., (8) NAOJ)

Faraday tomography is a 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, the limited wavelength coverage of the instruments requires that we solve an ill-posed inverse problem when obtaining the FDF. We explore the use of wavelet transforms and the sparsity in the form of wavelet shrinkage (WS) for finding better solutions to the inverse problem. We recently proposed the Constraining and Restoring iterative Algorithm for Faraday Tomography (CRAFT; Cooray et al. 2021), a new flexible algorithm that showed significant improvements over the popular methods such as Rotation Measure Synthesis and RM CLEAN. In this work, we introduce CRAFT+WS, a new version of CRAFT incorporating the ideas of wavelets and sparsity. CRAFT+WS exhibit significant improvements even over the original CRAFT when tested for a complex FDF of realistic Galactic model. Reconstructions of FDFs demonstrate super-resolution in Faraday depth, uncovering previously unseen Faraday complexities in observations. The proposed approach 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](#)

V112c 高萩 / 日立 32 m 電波望遠鏡の整備状況 2022A

米倉 覚則, 田辺 義浩, 岩田 悠平, 岡田 望, 伊藤 美穂, 高木 奏人, 永野 稜大, 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 (大阪府大), 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), 他大学間連携 VLBI group

茨城観測局 (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 32-m 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 32-m 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。2021 年度は、それ以外の時期も 22 GHz 帯受信機を搭載し続けた。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) 作業を行っている (知念ほか本年会)。モニター観測の高頻度化を行っている。2021 年 9 月から 11 月末までの 3 ヶ月で 5 回、clock offset (局内に設置されている水素メーザーの時刻と、GPS で受信した時刻の差) が突然 +100 マイクロ秒程度ジャンプする現象が発生するようになった。高萩アンテナにて EL 上昇方向に駆動時に、特定の EL ($1.230 \pm 0.088 + 5.625 * n$) において角度読み取り値が異常を示す現象が発生している事に気づいた (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](#)

V113c VERA-upgrade for EAVN and GVLBI 計画の進捗 V

小山友明、鈴木駿策、河野祐介、山内彩、寺家孝明、秦和弘、亀谷收（国立天文台）、萩原喜昭（東洋大）、今井裕（鹿児島大）他 KaVA, EAVN メンバー

国立天文台水沢 VLBI 観測所では、天文広域精測望遠鏡 VERA（VLBI Exploration of Radio Astrometry）の VLBI 運用開始から 20 年が経過し、2021 年度で銀河系全域のメーザー源の位置と固有運動を計測する VERA プロジェクト観測が終了する。2022 年度からは、EAVN としての共同利用運用、また 2 ビーム、高周波帯での専用 VLBI 観測網という特徴を生かした中小規模プロジェクト観測を主として行う 4 局 VLBI 専用アレイ望遠鏡として再スタートするべく準備が進みつつある。上記状況を見通しつつ、2017 年度より EAVN（East Asia VLBI Nnetwork）、SKA（Square Kilometer Array）、将来の GVLBI（Global VLBI）への対応として以下の VERA アップグレード計画が進行中である。1）RF-Direct-A/D（OCTAD）を用いた広帯域化（32 Gbps）、OCTAD 用リアルタイムデジタル信号処理（デジタルイコライザー、Phase-up、偏波変換）開発、2）K、Q 両バンドでの両偏波同時受信、3）K、Q バンドの多周波同時受信、4）低周波（S-band）受信機の冷却、広帯域（L-band 含む）化、5）GP-GPU を用いたソフト相関器の高速化、6）10 GbE VDIF（VLBI Data Interchange Format）データのリアルタイムデジタル信号処理ライブラリ開発（2012 年秋季年会 鈴木他）。上記の中で、本発表では 1）VERA 各局への OCTAD、RF/IF 信号セレクターの搭載、EMI 評価、2）VERA4 局での K、Q 両偏波観測システムの搭載、偏波相関処理システムの立ち上げ、評価、3）LS-band 新型超電導冷却フィルター受信機の水沢、石垣局搭載と水沢 10m 鏡との VLBI 試験、以上 3 点について VLBI 試験観測結果と合わせて報告する。

[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](#)

V114a SKA プロジェクトへの参加計画 5

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、亀谷收、藏原昂平、本間希樹（国立天文台 SKA1 検討グループ）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 月から開始されている。日本でも 10 年以上にわたる参加検討が進められており、日本 SKA 協会と宇宙電波懇談会・VLBI 懇談会がサポートする日本のコミュニティ団体である。日本の科学的な参加戦略について議論を深め、宇宙再電離、宇宙磁場、パルサーの 3 つを軸に進め、さらに個別の研究も活性化していく研究戦略とした。日本は、建設計画にも個別に参加し、AIV(Assembling, Integration, and Verification) 活動、SRC(Science Regional Center) の国際協力などに In-kind で貢献している。また国内では学術会議マスタープラン 2023 へ応募し、宇宙電波懇談会から重点大型計画としての推薦を受けている。また国立天文台内では、建設に参加するために 2023 年度から A プロジェクトとしての申請を進めている。また開発計画への参加検討を進めており、SKA 開発プログラムに応募するために SKA-VLBI WG を国際的に組織する準備を進めており、SKA LOW/MID での VLBI 記録・制御システム、データ伝送方法、マルチビームに対応する相関器システムと国際共同観測システムなどの検討を進めている。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方針について述べる。

[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](#)

V115a SKA プロジェクトに向けた科学検討 5

赤堀卓也, 廣田朋也, 吉浦伸太郎, 藏原昂平, 亀谷收 (国立天文台), 高橋慶太郎 (熊本大学), ほか国立天文台水沢 VLBI 観測所 SKA1 検討グループ

SKA プロジェクトに向けた科学検討の進捗を報告する。国際的には SKA Science Workshop (2021) が 2021 年 3 月にリモートで開催された。SKA Precursors (MWA, ASKAP, HERA, MeerKAT) を用いた成果が報告され、SKA 時代のサイエンスの展望を垣間見ることができた。共同利用カテゴリ「Key Science Project」についての議論も例年に引き続き各サイエンスに分かれ議論された。国際 SWG の登録者数は 1100 名を越え、SKA の国際コミュニティは依然として拡大を続けている。Science Data Challenge は第 2 回の結果が公開された。また SKA 天文台では時間割り当てのアルゴリズムの検討が行われた。我々は 2021 年 5 月に East Asia SKA Science Workshop (2021) を開催し、優れた成果が数多く報告されると共に、アジア地域での人的交流などの議論を促進した。

国内では、SKA に関連する研究業績は引き続き増加傾向にある。国際 SWG の日本人参加者は約 3.2% を占める。我々は日本 SKA 協会 (SKAJP) と共に 2021 年 7 月に SKAJP 科学戦略会議を開催し、優先科学目標やアクセスポリシーを決めていく意義を共有した。議論を重ねた結果、宇宙再電離、宇宙磁場、パルサーを日本のキーサイエンスに位置づけ、これら以外の未知を含めた個別サイエンスも積極的に推進することで SKAJP が合意した。キーサイエンスに関連する、先行機への積極的な参加、若手の育成、そしてソフトウェア開発が今後ますます重要となる。SKA1 検討グループは国立天文台に SKA プロジェクトの設置を提案し、科学関係では科学奨励、科学育成、SKA 地域センター開発、そしてユーザー支援の事業計画が提案されている。

[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](#)

V116a 水沢 10m 電波望遠鏡の低周波帯受信システムの開発と教育への使用

亀谷收, 本間希樹, 小山友明, 河野裕介, 平野賢, 上野祐治, 浅利一善, 山内彩, 朝倉佑, 佐藤元, 松川夕紀, 蜂須賀一也, 高橋賢, 鈴木駿策 (国立天文台), 寺澤敏夫, Eie Sujin, 池邊蒼太 (東京大学), 福迫武, 春口将太郎 (熊本大学), 馬渡健太郎 (岩手大学)

国立天文台水沢 VLBI 観測所口径 10m 電波望遠鏡が 1992 年に完成してからほぼ 30 年を経過している。この間、S/X 帯で実施された測地観測 (IRIS-P) や、K 帯で主に実施された国内 VLBI 網 (J-Net) その他の VLBI 観測や、単一鏡モニター観測や技術開発、学生教育等に使用されてきた。また Nano-JASMINE 衛星の S 帯のダウンリンク局としても使用する予定で準備されてきた。

ここ数年は、K 帯で行われる国内の気球 VLBI 観測計画に参加していると共に、岩手大学等の学生の卒業研究にも使用されている。また、パルサーやトランジェント天体現象の観測的研究の進展を目指して、将来的には SKA 等の各国や国内の低周波天体観測装置を使った準備研究の必要性も出ている。そのため、既存の S 帯のシステムを改良して RF 信号のまま観測棟で記録できるシステムを構築して、試験観測を実施している。更に L 帯やより低い周波数の観測システムの構築を目指している。本講演では、これまでの 30 年間の進展にも触れながら、最近の低周波帯受信システムの開発と教育への使用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](#)

V117a 電波望遠鏡受信機の高感度化に向けた低損失導波管回路の基礎開発

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)

近年の電磁界解析ソフトの高精度化や金属精密加工技術の進展に伴い、複雑な導波管回路(偏波分離器やハイブリッドカプラ、周波数分離フィルタなど)が比較的容易に開発されるようになり、ALMAをはじめミリ波・サブミリ波望遠鏡では、これらが検出器前段に配置されることが一般的になっている。しかし、500 GHzを超える周波数帯においては伝送損失が大きいため、複雑な回路の実用化はまだ限定的である。そこで本研究では、完全導電性を有する超伝導体を用いることで伝送損失を低減できると考えられる「超伝導導波管」の開発に着手した。

超伝導体を用いた導波管としては、ALMA Band10 受信機への応用も視野に入れ、窒化ニオブチタン (NbTiN; ギャップ周波数 1.4 THz) を DC スパッタによって銅の導波管内面に成膜した試作例がある (Kuroiwa, 2014)。この研究では、超伝導の効果によって伝送損失が 1/10 程度に低減出来たが、同時に大きな残留損失も確認された。この原因は、DC スパッタによる NbTiN の成膜には方向性があるため、導波管壁面への付着が充分ではなかったと考えられている。そこで本研究では、超伝導膜の成膜という手法ではなく、超伝導金属であるニオブ (Nb; ギャップ周波数 700 GHz) を用いて導波管を製作・評価し、超伝導導波管の有効性を検証することを目指している。

Nb は難削材として知られ、加工実績もほとんどないことから、刃物の選定や加工条件を探ることから開始し、1 mm 径のエンドミルを用いて表面粗さ 0.66 μm (RMS) で W-band の直線導波管が製作できるようになった。測定器を用いて限られた導波管長さの通過損失を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。急峻な特性を持つ Nb 導波管共振器を製作し、常温時と極低温時の共振特性の変化から伝送損失の違いを測定することを試みている。講演では、Nb 導波管の製作状況と特性評価の進捗について述べる。

[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](#)

V118a 局部発振器信号の高純度化による受信機雑音の低減

堀 裕一, 山本 宏昭, 中島 拓, 水野 亮, 児島 康介, 小林 和宏, 西村 良太, 立原 研悟, 福井 康雄, 他 NANTEN2 メンバー (名古屋大学)

本研究の目的は、ミリ波帯ヘテロダイン受信機において使用される局部発振器 (LO) 信号由来の雑音成分を取り除き、受信機雑音を低減させることである。従来は LO 信号源として Gunn 発信器が使われていた。しかし観測のリモート化に伴い、LO 信号源に信号発生器 (SG)+通倍器の組み合わせを用いることが現在の主流になっている。この方法では SG からの信号を周波数通倍することでミリ波帯の信号を生成しているが、Gunn 発信器を用いた時と比べて雑音成分が大きく、受信機雑音温度が高くなる傾向がある (Fujii et al. 2017 など)。これまでの LO 信号源の低雑音化に関する研究では、LO 系に主信号のみを通すようなバンドパスフィルタ (BPF) を使用することで、主信号以外の周波数にあるノイズ成分を取り除き、受信機雑音温度が低減されたことが報告されている (入山他 2020 年春季年会、横山他 2020 年秋季年会)。しかしこれらの研究では、BPF は SG 直後か初段の通倍器後に配置され、BPF のさらに後段にある通倍器由来の雑音は除去できていなかったと考えられる。そこで今回我々は、LO 系の最終通倍器後に接続する狭帯域なミリ波帯導波管型 BPF を用いることで、LO 系の SG と全ての通倍器由来の雑音成分の除去を試みた。本研究で使用する LO 系は 2 種類で、LO 周波数 105 GHz (SG+6 通倍器) と 225.7 GHz (SG+6 通倍器+3 通倍器) であり、将来的に NASCO 受信機 (Nishimura et al. 2020) への応用を見据えた構成になっている。これまでに、電磁界解析ソフト (HFSS) を用いて最終段用の BPF (中心周波数:105 GHz, 帯域幅:2 GHz 及び中心周波数:225.7 GHz, 帯域幅:3 GHz) を設計し、名古屋大学の装置開発室で製作した。本講演では、製作した BPF の特性のシミュレーションと実測結果の比較及び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](#)

V119a DESHIMA 2.0: Development overview of the 220–440 GHz integrated superconducting spectrometer and the planned scientific observation campaign on ASTE

A. Taniguchi, T. J. L. C. Bakx, K. Matsuda, Y. Tamura (Nagoya), T. Takekoshi (Kitami), P. P. van der Werf (Leiden), R. Kawabe, T. Oshima (NAOJ), T. Kitayama (Toho), J. J. A. Baselmans, S. Brackenhoff, B. T. Buijtendorp, S. Dabironezare, A. Endo, M. Gouwerok, S. Hähnle, K. Karatsu, N. Llombart, A. Pascual Laguna, M. Rybak, D. J. Thoen (TU Delft), H. Akamatsu, R. Huiting, V. Murugesan, S. J. C. Yates (SRON), T. Ishida, K. Kohno (UTokyo), and DESHIMA team

Integrated superconducting spectrometer (ISS) technology will enable ultra-wideband submillimeter spectroscopy for uncovering the dust-obscured cosmic star formation and galaxy evolution over cosmic time. Here we present the current status of DESHIMA 2.0 (Taniguchi et al. arXiv:2110.14656), an ISS that will observe the 220–440 GHz band ($z = 3.3\text{--}7.6$ for [C II] 158 μm) with a resolution of $F/\Delta F \simeq 500$ in a single shot.

As a successor to DESHIMA 1.0 (332–377 GHz band), we upgraded the wideband chip design and the quasi-optical system. We fabricated the first chip in mid 2021 and the filter response measurement shows that it merits telescope observations. For better observation efficiency, we also developed a fast sky-position chopper and a data-scientific sky-noise removal method. With all the upgrades, we expect to detect ($S/N > 5$) the [C II] line of a bright dusty star-forming galaxy (DSFG; $L_{\text{IR}} = 3 \times 10^{13} L_{\odot}$) in an eight-hour ASTE observation.

A three-month scientific observation campaign is planned on ASTE in 2022, including a spectroscopic survey toward high- z DSFGs and a mapping of a galaxy cluster to detect the thermal Sunyaev-Zel'dovich effect signal.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V120a 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 II. デジタルサイドバンド分離広帯域分光計の性能評価

萩本将都, 田村陽一, 谷口暁星, 中島拓, 中野覚矢, 彦坂拓海 (名古屋大学), 鎌崎剛, 川邊良平 (国立天文台), 吉村勇紀, 廿日出文洋 (東京大学), 酒井剛 (電気通信大学), 田中邦彦 (慶應義塾大学), 川元宏朗, 原田健一, 谷口達 (エレクトクス工業), 他 FINER チーム

我々は大型ミリ波望遠鏡 LMT 50 m と 120 – 360 GHz 帯ヘテロダイン受信機 FINER を組み合わせ、北半球で最高感度を実現する LMT-FINER 計画を推進している。これは、ALMA に比して 40% の集光面積、4.5 倍の分光帯域によって、ALMA では観測できない北天 ($\delta > 30^\circ$) に位置する赤方偏移 $z > 8$ の遠方銀河候補天体を、[O III] 88 μm や [C II] 158 μm 輝線で効率的に分光同定し、星間物理を探る計画である。広帯域中間周波数を備えるフロントエンドからの出力を十分に活かし、高サイドバンド分離比による高感度観測の実現のため、これまでに FPGA と高速 (20.48 Gsps) 3 ビット A/D 変換器を用い、アナログ部分で生じた位相と振幅のアンバランスをデジタル的に補正する機能を含む 10.24 GHz 広帯域デジタル分光計を製作した (田村他 2020 年秋季年会)。

本講演では、製作した分光計に対して実施した性能評価の結果について報告する。周波数応答関数の測定から、17.7 MHz の周波数分解能を持つことが確認できた。これは、宇宙再電離期の銀河の輝線を十分に分解するために設定した 20 MHz のチャンネル間隔から理論的に計算される値と等しい。また、線形性測定の結果から、本分光計のダイナミックレンジは 3 ビット A/D 変換器から予想される値と同程度の 7 dB 程度であることが分かった。講演では、本分光計におけるデジタルサイドバンド分離技術の実装方法と、実際にアナログ 2SB 受信機と結合して構築したサイドバンド分離比の計測システム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](#)

V121a 次世代太陽風観測装置に向けたデジタルアレイの開発検討

岩井一正 (名古屋大学)

次世代太陽風観測装置は、太陽風の惑星間空間シンチレーション観測を目的とした 327MHz 帯域における平面フェーズドアレイ方式の電波望遠鏡の将来計画である。本計画では、最大 1000ch を超えるアンテナ入力をデジタル化し、マルチビームを実現することが求められる。これまでの開発研究で、8ch 入力に対するデジタルフェーズドアレイの実証実験機の開発に成功している。本研究では、大規模なアレイを構成することを目的とし、実証実験機をベースに多数の信号処理部を多段に接続したシステムの設計および基礎開発を行った。

大規模なアレイアンテナに搭載することを念頭に、アンテナフロントエンド近傍に設置すべき ADC 部と、室内環境への設置が望まれる FPGA 部を分離し、両モジュールを長距離伝送用の光ファイバーで接続する構成にした。ADC モジュールは最大 8 系統のアナログ信号を入力できる。FPGA モジュールでは、光ファイバーから入力される 8 系統のデジタル信号に対してビームフォーミングを行う。ビームフォーミング後の複素スペクトルを光ファイバーケーブルで接続した 2 段目の FPGA モジュールに伝送する。2 段目の FPGA モジュールにも 8 個の入力ポートを設け、1 段目と同様の 8 系統の信号をビームフォームする演算を実装する。よって 2 段目のモジュールでは 64 系統の信号を合成することになる。この方式を多段に繰り返すことで、更に大規模なアレイを形成できる。全ての FPGA モジュールには各入力信号の位相と振幅が等しくなるよう調整できる較正テーブルを自動的に作成する回路を実装し、途中の光ファイバーによる伝送系を含めて多段階での較正を可能にした。将来の大規模アレイに向けた第一段階として 64 チャンネルの信号を 8 台の ADC モジュールと 9 台の FPGA モジュールで処理する系を検討した結果、現実的なコストで実装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](#)

V122a ミリ波補償光学の開発 VI. 20 GHz 波面センサの複素帯域透過特性の較正方法とその時間安定性の検証

中村友子, 奥村幸子 (日本女子大), 田村陽一, 谷口暁星, 萩本将都, 中野寛矢, 今村千博 (名古屋大), 岡田望 (茨城大), 川邊良平 (国立天文台), 深作悠平 (筑波大), 他 MAO 開発チーム

大型の単一鏡型電波望遠鏡にとって、重力・熱・風などによる主鏡面の変形は、鏡面精度の低下を招き、天体観測に大きな影響を及ぼす。特に風による主鏡面の変形は時間スケールが短いため、観測中に実時間で測定することが困難である。そのため、大型の電波望遠鏡で高分解能・高感度の観測を実現するためには、主鏡面の変形を実時間で補償する光学システム「ミリ波補償光学」の実現が求められている。そこで我々は、干渉計を利用した 20 GHz 帯の波面センサの開発を進め、2020 年 11 月に野辺山 45 m 電波望遠鏡に 2 素子の試作機を搭載し、望遠鏡の主鏡面を実時間でセンシングできる波面センサを構築した。2021 年春季年会では、このシステムを用いて主鏡面から受信機に至る電波経路の変化 (超過経路長) を実時間で計測できたことを報告した (田村他 V107a)。

本研究では、この実験で得られた強風と弱風の条件下で 2 素子それぞれを 1 時間計測したデータを用い、各素子の帯域透過特性 (バンドパス) の時間変化を調べた。計測開始時のバンドパスが計測中に変化しないと仮定し、各時間の位相スペクトルから超過経路長を求め、それが鏡面の変動をとらえているかを検証した。解析からいずれの素子においても超過経路長がゆっくりと時間変化している (例: 30 $\mu\text{m}/\text{分}$) 傾向が見られ、その主たる原因は鏡面の変動ではなく外気温の変化に伴う光ファイバと副鏡ステイの熱膨張と整合的であることが分かった。これを踏まえ、主鏡面の変形をとらえるために最適なバンドパス補正の時間間隔について検討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](#)

V123a ミリ波補償光学の開発 VII. アンテナ鏡面-受信機間の超過経路長の測定による鏡面変形の評価

中野寛矢, 田村陽一, 谷口暁星, 萩本将都, 今村千博 (名古屋大学), 中村友子, 奥村幸子 (日本女子大学), 岡田望 (茨城大学), 川邊良平 (国立天文台), 深作悠平 (筑波大学), 他 MAO 開発チーム

電波望遠鏡の感度・分解能は口径に依存し、より暗く小さい天体を検出するには巨大なアンテナの建設が不可欠である。しかし、数十 m に及ぶアンテナは風や重力によって大きく変形し、電波望遠鏡の性能低下をもたらす。特に、風変形は変動が速く予測も困難であり、現在のサブミリ波単一開口望遠鏡の感度を支配している。そのため、望遠鏡の変形を補正する補償光学の電波望遠鏡への適用：ミリ波補償光学 (MAO) の実現が求められている。

補償光学は可視光/近赤外線望遠鏡において実用化されている技術であるが、電波望遠鏡の 10 μm オーダーの変形をリアルタイムで検出する技術は確立されていない。そこで、本研究では野辺山 45 m 望遠鏡における、アンテナ鏡面-受信機間の超過経路長測定による鏡面変形検出の実証実験の結果を報告する。実験では、鏡面中央-受信機間と鏡面端-受信機間の光路長を 20 Hz 間隔で交互に測定し、両者の差を取ることで超過経路長を得た。超過経路長のパワースペクトル密度 (PSD) からアンテナの変形成分を分類すると、低周波数領域で卓越する $1/f^n$ に比例する成分、特定周波数にピークを持つ振動成分、白色雑音の 3 つに分けられた。PSD の白色雑音から得られる超過経路長の RMS は $\sim 8 \mu\text{m}$ であり、本実験の要求精度 40 μm を上回る精度を達成している。また、強風時に白色雑音に対する $1/f^n$ 成分・振動成分の強度が増加するため、これらは風変形に由来する成分だと考えられる。そして、変形には $1/f^n$ 成分の寄与が支配的であり、PSD を周波数積分した際のパワーは 0.3 Hz 以下が全体の 99% を占める。従って、野辺山 45 m 望遠鏡では 1 Hz 未満の周波数成分が鏡面変形を支配していると判明した。

[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](#)

V124a テラヘルツ強度干渉計のための 1.5 THz 光子計数型検出器の設計

丹羽綾子 (筑波大学), 松尾宏, 江澤元, 田村友範 (国立天文台)

1 THz より高い周波数での高解像度観測の実現に向け、我々は南極テラヘルツ強度干渉計を提案している。南極ドーム A 基地からの観測では、1.5 THz の大気透過率は冬季で約 30% にもなる (松尾他, 2019)。我々は NII [205 μm] の観測を目指して 1.5 THz 光子計数型検出器の開発を行っており、本講演ではその設計について報告する。

テラヘルツ強度干渉計は光子統計を用いた遅延時間測定により開口合成を行うもので、1 GHz での高速読出しのため応答速度の速い SIS を使用する。SIS による光子検出ではリーク電流が感度を制限する。これまでの開発では実験室実験を意図して狭帯域で設計し、本研究と同じ Nb/Al/AlO_x/Al/Nb 接合で 0.8 K 以下にて目標値である 2 pA の超低リークを実現した (江澤他, 2019 年春季年会 V125b)。一方今回は観測応用を目的とするため広帯域が望ましく、臨界電流密度を増大する代わりに直径を 1 μm まで微小化することで低リークと広帯域の両立を図る。検出器の製作は膜質のよい微小接合の実績に富んだ国立天文台 ATC にて行う。

本検出器は SIS のチューニング回路 PCTJ と平面アンテナをコプレーナ線路 (CPW) で接続する。吸収率の低下を避けるため CPW の線路幅は 3 μm : 2 μm : 3 μm と細くし、インピーダンスを 100 Ω にする。これに合わせて、平面アンテナは電磁界シミュレータ FEKO、PCTJ は SISMA (Shan 他, 2018) を用いた計算によって、100 Ω で 1.5 THz に共振するよう設計を行った。

グラウンドプレーンと伝送線路は通常 SIS の超伝導体と同じ金属で作られる。しかしギャップエネルギーより高い周波数では伝送線路における損失が大きく、アンテナ結合型の SIS 接合による光子検出の例はまだない。今回はグラウンドプレーンと伝送線路に吸収率の低い Al を使用し、1.5 THz での光子検出を試みる。

[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](#)

V125a 光子計数型テラヘルツ強度干渉計のための極低温読み出し回路の開発

小関知宏(筑波大学), 松尾宏(国立天文台), 照井惇寿(東邦大学), 野地涼平(筑波大学)

我々はテラヘルツ帯に感度をもち、高解像度高感度の観測を可能にする光子計数型テラヘルツ強度干渉計の開発をしている。本干渉計は、光子数の揺らぎを測定するために高感度で高速の超伝導トンネル接合を用いた SIS 光子検出器を搭載する候補として開発が行われている。テラヘルツ強度干渉計を実用化するうえで、広帯域に対応した極低温の読み出し回路の開発は必須である。読み出し回路は SIS 光子検出器とアンプのインピーダンス整合をとり、検出した信号の損失を抑えることが目的である。そのため、読み出し回路は極低温で高速、低容量、低雑音で動作する必要がある。これらの要件を満たすために Junction-pHEMT(JPHEMT) および GaAs-JFET を用いたソースフォロワー回路を候補として開発を進めている。JPHEMT および GaAs-JFET はゲートリーク電流が極低温において 1pA 以下で動作することが確認されている。しかし、いずれもキックが発生するドレイン電圧よりも高い電圧を加えるとゲートリーク電流が大きくなるため注意が必要である。読み出し回路は 2 段のソースフォロワー回路を想定している。2 段にしなければならないのは、SIS 光子検出器を 0.8K に冷却する冷凍器の熱負荷の許容上限が $100\mu\text{W}$ であるため単一では相互コンダクタンスを大きく取ることができないためである。これにより、4K ステージを新たに作り、2 段目のソースフォロワー回路を作成しなければならない。本講演では極低温読み出し回路、および干渉計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](#)

V126a CMB 偏光観測衛星 LiteBIRD 計画の開発と進展

松田フレドリック(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」シグナルの元となっている。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年間の大角度スケール観測を 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。国内では、KEK が US グループの技術を用いた超伝導検出器(TES)、IPMU が半波長板を用いた偏光変調器、岡山大学が系統誤差の解析など様々な研究開発を進めている。JAXA では、ミッション部とバス部の熱・構造検討、ミッション部全体のとりまとめ、LFT の光学系の設計、そして 1/4 スケールモデルの実測を用いた系統誤差の評価などを行っている。本講演では、LiteBIRD プロジェクト全体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](#)

V127a LiteBIRD 低周波望遠鏡スケールモデルの広視野偏光角測定の高精度化

高倉隼人, 関本裕太郎, 中野遼 (東京大学・JAXA), 稲谷順司 (JAXA), 鹿島伸悟, 杉本正宏 (NAOJ)

宇宙マイクロ波背景放射の偏光の精密観測は、インフレーション仮説を検証する有力な手段として期待されている。LiteBIRD は、宇宙からの全天観測により原始重力波由来の B モード偏光の検出を目指す衛星計画であり、2020 年代中の打ち上げを目標に開発が進められている。LiteBIRD に搭載される低周波望遠鏡は開口径 400 mm のクロスドラゴン型望遠鏡であり、34–161 GHz の周波数帯域を $18^\circ \times 9^\circ$ の視野で観測する。疑似偏光を防ぐため、望遠鏡の偏光角は 2.7 分角の精度での較正が必要であるが、広視野光学系の特性として、視野の端では 1 度以上の偏光角の回転が生じることが予測されている。

我々は、鏡面形状と観測波長を共に 1/4 倍に縮小することで、実機と等価なアンテナ光学系を実験室に再現し、実機サイズでの試験に向けた光学特性評価を行っている (H. Takakura et al., IEEE TST 2019)。これまでの偏光角測定では、参照平面波を用いた測定により視野内での偏光角分布を 0.1 分角の分解能で得ることに成功した (H. Takakura et al., Proc SPIE 2020; 天文学会 2021 年春季年会 V141a)。今回は、参照平面波源の給電ホーンを専用に設計したコルゲートホーンに取り換え波面の平面度を高めたり、開口面に偏光板を入れ偏光特性の非一様性を低減したりするなどの改良により、シミュレーションによる予測とより整合性の高い偏光角分布を得た。本発表では、この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](#)

V128a Development of a design optimization method for hybrid-type MKIDs

H. Kutsuma(RIKEN), J. Baselmans(TUDeft, SRON), J. Bueno(TUDeft), A. Endo (TUDeft), M. Hattori (Tohoku), S. Honda (IAC) R. Huiting(SRON), K. Karatsu (SRON, TUDeft), C. Otani (Tohoku, RIKEN), Y. Sueno (Kyoto), O. Tajima (Kyoto)

MKID (Microwave Kinetic Inductance Detector) is the resonator-based superconducting detector that is a cutting-edge technology to open over the megapixel era in the field of radio astronomical observation. MKIDs are beginning to be used as focal plane detectors (K. Lee et al. 2021, A. Endo et al. 2019).

One of the issues of the MKID is the unwanted phase noise called TLS noise due to the oxidation of the surface of metal and substrate (J. Gao et al. 2007, R. Barends et al. 2008). This noise can be suppressed by widening the width of the resonator (J. Gao et al. 2007). However, the responsivity of the resonator becomes worse by widening the width of the resonator. The problem can be solved by hybrid-type MKID (R. Janssen et al. 2013). The hybrid-type MKID is divided into two parts: a low critical temperature superconductor that is sensitive to photons (absorption part) and a high critical temperature superconductor that is not sensitive to photons (transmission part). This allows us to reduce the volume of the photon absorption part while widening the width of the transmission part, thereby suppressing the TLS noise while maintaining high responsivity.

In this study, we constructed the model of the hybrid-type MKID to optimize the design. Based on the model, we optimized an MKID for the GroundBIRD. In this talk, we will report the model, optimization method, and measurement results in the laboratory.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V129a Simons Array 望遠鏡の検出器の偏光特性評価のための狭帯域 RF 発振器を用いた光学試験装置の開発

廣瀬開陽 (横国大), 片山伸彦 (Kavli IPMU), 金子大輔 (KEK 素核研), 瀬川優子 (総研大), 高取沙悠理 (総研大), 羽澄昌史 (KEK 素核研), 長谷川雅也 (KEK 素核研), 藤野琢郎 (横国大), 松村知岳 (Kavli IPMU), 他 POLARBEAR コラボレーション

Simons Array 実験は、チリのアタカマ高地に設置した 3 台のミリ波望遠鏡によって宇宙マイクロ波背景放射 (CMB) の偏光 B モードを合計 4 帯域で精密に観測するプロジェクトであり、インフレーション理論の実証およびニュートリノ質量和の制限を目標としている。Simons Array 実験で用いる受信器はそれぞれ 7588 個の TES ボロメータを搭載した大型検出器アレイを擁しており、一つの受信器で 2 帯域の CMB 偏光を同時に観測する。本研究では、この検出器に用いられているシニアアンテナに予期される観測偏光角度の周波数依存性を、狭帯域 RF 発振器を用いた人工光源装置を用いて正確に評価し、CMB 偏光 B モード観測へ与える系統誤差を抑制することを目指している。この光源装置では出力強度をフィードバック制御で調節し、TES ボロメータの限られたダイナミックレンジに対処する。また光源装置を望遠鏡に装着し、観測サイトで光学試験を行うことを考えている。本講演では、このような装置および試験に向けて行っている、装置の開発状況と実験室での予備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](#)

V130a 野辺山 45 m 電波望遠鏡搭載用 100-GHz 帯 109 素子電波カメラの開発: 実験室における雑音評価

村山洋佑, 新田冬夢 (筑波大学), 永井誠 (国立天文台), 鈴木隆司, 樋川遼太郎, 鈴木理花子, 野地涼平, 宮澤啓, 青木美和, 久野成夫 (筑波大学), 中井直正 (関西学院大学), 関本裕太郎 (宇宙研), 松尾宏, 江崎翔平, 宮地晃平, Shan Wenlei, 都築俊宏 (国立天文台), 野口卓 (電気通信大学), 成瀬雅人 (埼玉大学)

遠方銀河の広域探査や銀河系の H_{II} 領域の観測を行うため野辺山 45 m 電波望遠鏡搭載用 100 GHz 帯連続波カメラの開発を進めている。焦点面アレイにはシリコンレンズ及び平面アンテナと結合された力学インダクタンス検出器 (MKIDs) を用いる。大気雑音限界 (カメラに入る放射を 50 K として各ビームの $NEP \sim 2.2 \times 10^{-16} \text{ W/Hz}^{1/2}$) を目標として、光学系の改修と、MKID アレイの Al-NbTiN ハイブリッド化 (永井ほか, 2019 年秋季年会 V133a) を行った。光学特性評価によりカメラ全体として 7.1 倍の光学効率向上を確認した (樋川ほか, 2020 年秋季年会 V125a)。一方で NEP は、白色のノイズフロアでは $10^{-16} \text{ W/Hz}^{1/2}$ 台であるものの目標感度の数倍大きく、またカメラのサンプリング周波数 10 Hz では 1 桁大きいなど、雑音低減に課題が残っている。

本研究では感度を制限している雑音源を調べるため、実験室で取得した雑音のパワースペクトル密度 (PSD) を解析した。解析データは、焦点面アレイ中の 2 素子について、室温及び液体窒素温度の電波吸収体と平面鏡の 3 つをカメラ真空窓の前に置いたときのそれぞれの時系列データから得た PSD である。感度限界の雑音レベルに対して、白色雑音 S_{white} と低周波における冪 k の $1/f$ 雑音 $S_{1/f} \propto f^k$ の 2 種類の超過を確認した。白色の超過雑音 S_{white} は、放射負荷に対する依存性から迷光由来である可能性がある。講演では迷光や $1/f$ 雑音 $S_{1/f}$ についての考察、今後の開発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](#)

V131a Al-NbTiN ハイブリッド型 MKID アレイを用いた 100-GHz 帯連続波カメラの野辺山 45 m 電波望遠鏡搭載試験

宮澤啓, 新田冬夢 (筑波大学), 永井 誠 (国立天文台), 村山洋佑, 野地涼平, Zhai Guangyuan, Pranshu Mandal, 鈴木隆司, 樋川遼太郎, 鈴木理花子, 青木美和, 久野成夫 (筑波大学), 中井直正 (関西学院大学), 関本裕太郎 (宇宙研), 松尾宏, 都築俊宏, 木内等, 福嶋美津広, 三ツ井健司, 江崎翔平, 宮地晃平, Shan Wenlei (国立天文台), 野口卓 (電気通信大学), 成瀬雅人 (埼玉大学), 宮澤千栄子, 藤茂, 立松健一, 高橋敏一, 前川淳, 45m 運用メンバー (野辺山宇宙電波観測所)

ミリ波・サブミリ波帯多素子カメラは遠方銀河などの広域探査に有用であり、我々は野辺山 45 m 電波望遠鏡用 100 GHz 帯電波カメラを開発している。焦点面アレイには、アンテナ結合型の力学インダクタンス検出器 (MKIDs) を使用している。2018 年に搭載試験 (永井ほか, 2019 年春季年会 V105a) を行なったが、目標とする感度には達しなかった。感度向上を目的として、冷却光学系の改修と焦点面アレイの Al-NbTiN ハイブリッド化 (永井ほか, 2019 年秋季年会 V133a) を行った。その結果、実験室における光学特性評価から、カメラ全体として光学効率が 7.1 倍向上したことを確認した (樋川ほか, 2020 年秋季年会 V125a)。

2021 年 5 月に、野辺山 45 m 電波望遠鏡にて、この改良を行なった MKID カメラの搭載試験を実施した。火星、土星、木星の観測結果から、各素子のビームサイズ、NEFD、アンテナ開口能率、主ビーム能率を導出した。火星の観測からビームサイズは 30 素子の平均で $16.3 \pm 2.0''$ であり設計通りのビームが出ていることが確認できた。また、火星の観測から NEFD は 30 素子の平均で $0.42 \pm 0.06 \text{ Jy}/\sqrt{\text{Hz}}$ であり、前回搭載時から一桁程度の性能向上が見られた。講演では、アンテナ開口能率と主ビーム能率を含めた解析結果の詳細を報告する。

[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](#)

V132a 144 素子 LeKID アレイを用いた野辺山 45 m 鏡用ミリ波カメラの光学性能評価

野地涼平, 新田冬夢 (筑波大学), 永井誠 (国立天文台), 村山洋佑, 鈴木隆司, 樋川遼太郎, 鈴木理花子, 宮澤啓, 青木美和, 久野成夫 (筑波大学), 中井直正 (関西学院大学), 関本裕太郎 (宇宙研), 松尾宏, 都築俊宏 (国立天文台), Alessandro Monfardini (Institut Neel), Juan Macias-Perez (Univ.Grenoble Alpes)

遠方銀河の広域探索などを目的として、野辺山 45 m 電波望遠鏡に搭載する 100-GHz 帯連続波カメラを開発している。焦点面アレイの候補として、我々のグループで製作した 109 素子アンテナ結合型力学インダクタンス検出器 (MKID) アレイと、共同研究を進めているフランスの NIKA2 カメラグループが開発した 144 素子集中定数型 KID (LeKID) アレイの評価を進めている。LeKID については、両偏波受信が可能であり、また 10 nm のチタン (Ti) 薄膜と 25 nm のアルミニウム (Al) 薄膜の 2 層構造となっているため、近接効果により Al 薄膜単層より低周波帯まで感度を持つ設計となっている (Catalano+2015, Adam+2018)。LeKID を搭載したカメラの光学性能を調べるために、周波数特性の測定、ビームパターン測定および感度評価を行った。

多素子同時読み出し回路を用いて共振スペクトルを測定したところ、126/144 素子で光学応答を確認した。また、フーリエ分光器を用いた周波数特性の測定を行い、ワイヤグリッドの構成を工夫することで LeKID が両偏波に感度を持つことを確認した。帯域幅と中心周波数はそれぞれ 36 GHz、97 GHz (偏波 1)、28 GHz、102 GHz (偏波 2) となった。近接効果の影響により低周波帯では約 60 GHz から感度を持ち、Al 薄膜単層より帯域幅が広くなることを確認した。その他にも、ナイフエッジ法を利用したビームパターン測定や、パワースペクトル密度 (PSD) と応答性から NEP を測定した。本講演では、これらの結果も合わせて報告する。

[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](#)

V133a 力学インダクタンス検出器アレイの多素子同時読み出しにおける雑音低減に関する研究

青木美和, 永井誠 (国立天文台), 新田冬夢, 野地涼平, 宮澤啓, 村山洋佑 (筑波大学), 松尾宏 (国立天文台)

我々は、遠方銀河の観測を行うため野辺山 45 m 電波望遠鏡に搭載する 100 GHz 帯 109 素子電波カメラの開発を行っている。カメラの検出器には、天体信号を共振周波数の変化として読み出すことができる力学インダクタンス検出器 (MKID) を用いている。MKID の読み出しには各共振に対応した周波数コムの掃引による多素子同時読み出し回路を用いる。取得された共振の中には左右非対称なスペクトルをもつ共振が存在する。従来は多項式関数を用いたフィッティングを行うことで共振周波数を決定していたが、この方法は非対称な共振スペクトルに対して精度が落ちる可能性がある。共振周波数の決定精度は観測感度に影響するため、これは大きな問題である。そこで多項式関数よりも高い精度が期待されるローレンツ関数を用いたフィッティングを導入し、共振周波数の決定精度と雑音について評価した。

本研究では、多素子同時読み出し回路を用いて 20 秒間取得した、57 素子分の共振スペクトルについて解析を行った。各素子の共振スペクトルの時系列データに対して多項式関数とローレンツ関数によるフィッティングを行い、共振周波数の時系列データを取得した。得られた時系列データについて標準偏差 σ_{poly} 、 σ_{lorentz} を計算し、57 素子の平均で比較したところ $\sigma_{\text{lorentz}}/\sigma_{\text{poly}} = 0.52$ となり、ローレンツ関数は多項式関数と比較して共振周波数の決定精度が高いことが明らかになった。この結果から、ローレンツ関数をフィッティングに用いると共振周波数の決定精度によって制限される雑音が低減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](#)

V134a Update on ALMA Operations and Development Program - Spring 2022

A. Gonzalez, M. Fukagawa, D. Iono, S. Sakamoto, G. Kosugi, 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: Cycle 7 observations, which originally started in October 2019 and stopped in March 2020 due to the global pandemic, were resumed in March 2021 after the recovery of the array and finished at the end of September 2021 after visiting long baseline configurations. Cycle 8 2021, which received a record request of observing hours, started as planned from October 1st 2021. This presentation will provide a summary of Cycle 7, 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, and the demonstration of different technologies towards ALMA2. Moreover, several working groups have been established to consider the update of technical requirements to address the top-level science goals and related development priorities highlighted in the ALMA Development Roadmap and to be implemented during the ALMA2 phase of the Project. 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](#)

V135a Measurement of Transmission Loss of a Superconducting Transmission Line with On-chip Resonators 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), in which superconducting thin film transmission lines are adopted for guiding signals and LOs. The sensitivity of the SIS mixers is highly dependent on the transmission loss of these transmission lines, which remains not fully understood owing to the prohibitive difficulties in the measurement. We used a new method to measure the transmission loss by making use of our dual-polarization MMIC receivers. In one of the polarization routes, half-wavelength resonators are coupled to the signal path, while the other polarization route is used as a calibrator. By using a sweeping CW source and SIS junctions as direct detectors, the resonance curves of the resonators can be recorded. Finally the transmission loss is retrieved from the Q-factor of these on-chip resonators. In this presentation, the results about this experiment will be presented. The conclusion is that, the transmission loss of superconducting thin film transmission lines is not a limiting factor in the application of MMIC technology at mm wavelengths for astronomical 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](#)

V136a 集中定数素子を用いた 4-12 GHz 帯 90 度ハイブリッドカプラの設計

増井翔 (大阪府大/NAOJ), 小嶋崇文, 牧瀬圭正, 鶴澤佳徳 (NAOJ), 小川英夫, 大西利和 (大阪府大)

受信機のマルチピクセル化は、ピクセル数に比例して観測の効率を向上させ、限られた時間内により多くの観測を可能とする。そのため、次世代の受信機にとって重要な開発項目の一つになっている。しかし、現状の観測装置では、コンポーネントの物理的な大きさがピクセルの数を制限している。特に、マイクロ波帯のコンポーネントは低周波数から帯域をカバーしようとする、物理サイズが大きくなりすぎるきらいがある。解決方法として、集中定数素子を用いる方法があり、波長の数倍の大きさである分布定数回路に比べて、非常にコンパクトな回路の設計が可能となる。以上から、我々は、マイクロ波回路の中でも応用性の高い 90 度ハイブリッドカプラを集中定数素子で実現しようと開発を進めている。コンパクトなカプラの開発は、2 サイドバンド受信機や、ミキサを使用したオンチップアイソレータ (増井他 2021 年秋季年会) に応用が可能である。しかし、たとえば 4-12 GHz ハイブリッドカプラを設計しようとする、市販の集中定数素子では、低損失、コンパクト、任意の値を得ることが難しい。そのため、今回の設計では超伝導技術および集積回路技術を使ったカプラの開発に取り組んでいる。

初めは、設計方法やモデリングを目的として、4-12 GHz の周波数帯域を目標とし、3 セクションの縦続接続したカプラを設計することにした。カプラの等価回路から計算したインダクタンスやキャパシタンスを満たす集中定数素子を電磁界解析ソフトを用いて設計した。それらの回路を組み合わせ、最適化することで、4-12 GHz 帯で Amplitude Imbalance が 0.6 dB、位相差が 90 ± 3 度以内、サイズが $2.5 \text{ mm} \times 0.45 \text{ mm}$ の良い設計を得られている。プローブステーションを用いて要素回路を個別評価し、デバイスのパラメータ抽出と回路モデリングができるように TEG (Test element group) の設計も進めている。本講演では、設計方法や得られ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](#)

V137a 広帯域平面統合型 SIS 受信機の LO 系開発に向けたテストモジュールの設計

増倉 明寛 (名古屋大学, 国立天文台), Wenlei Shan, 小嶋 崇文 (国立天文台), 中島 拓, 水野 亮, 溝口 玄真 (名古屋大学)

平面統合型 SIS (MMIC-SIS) 受信機は、サイドバンド分離回路などの機能回路を 1 枚の平面基板上にモノリシックに集積した次世代型のヘテロダイン受信機である (Shan 他 2020 年春季年会など)。従来の SIS 受信機では、受信機フロントエンド前段に機能回路を導波管回路で構成していたが、物理サイズが大きいことから、大規模なシステムを構築するのが難しいという課題があった。一方、本方式は集積度が高く、以前よりも大規模なマルチビーム受信機の実現が期待される。これまでの研究で、ALMA band4 に対応する周波数帯 125–163 GHz において受信機雑音 40 K 程度の MMIC-SIS 受信機が開発されている (Shan et al. 2019)。本研究では、さらなる広帯域 MMIC-SIS 受信機に向けた LO 系の開発を目指す。

MMIC-SIS 受信機の LO 信号は、それとは別階層の導波管回路で複数のビームに分配され、H-バンドとプローブアンテナにより平面回路上のコプレナ線路にモード変換して印加する構造になっており、この部分のさらなる広帯域化が重要となる。H-バンド部は、加工上の制約から曲面を形成して曲げるのが困難で、ステップ形状を用いて曲げる必要がある。電磁界解析 (HFSS) を用いた設計では、ステップの形状を工夫することで、125–211 GHz において、反射損失が 20 dB 以上、挿入損失が 0.05 dB 以下の (ただしここでは、抵抗損失と加工の表面粗さは考えていない) H-バンド導波管の設計に成功した。また、並行してプローブアンテナの広帯域化設計も進めている。これらの設計を基にテストモジュールを作成し、ミリ波 VNA を用いて H-バンドとプローブアンテナの伝送特性を評価する予定である。本講演では、これらの設計とシミュレーション結果、また今後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](#)

V138a The Next Generation Very Large Array - Spring 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), 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 science community. In the past two years, the study group has organized meetings and workshops for the purposes of promoting ngVLA science and synergies with other instruments, resulting in the Japanese ngVLA project book and ~ 30 articles in the ngVLA-J memo series. Technical studies in the area of the antenna, front end, and time/frequency distribution have also seen some significant progress. The study group is actively investigating the possible future contributions toward offering a significant fraction of ngVLA observing time to the Japanese community.

The Main Array with 214 18-m antennas (baselines up to 1000 km) will be placed around the current JVL A site, providing unprecedented sensitivity and milli-arcsecond angular resolution at frequencies from 1.2 to 116 GHz. The Short Baseline Array will comprise 19 antennas of 6-meter diameter and four antennas of 18-meter diameter operating as single-dish telescopes. The Long Baseline Array will consist of 30 18-meter antennas with the longest baseline of 8860 km. The Astro2020 reported a solid outcome for the ngVLA, a significant step toward the start of construction (scheduled to begin in the mid-2020s), and full operation in the mid-2030s.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V139b 野辺山 45m/ASTE 観測データアーカイブと野辺山パイプラインの開発・公開

吉野彰, 池田恵美, 中里剛, 杉本香菜子, 清水上誠, 芦田川京子, 小杉城治 (国立天文台アルマプロジェクト), 高橋茂, 前川淳, 立松健一 (国立天文台野辺山宇宙電波観測所)

我々アルマプロジェクトと野辺山宇宙電波観測所の合同チームは、2017 年 8 月に野辺山宇宙電波観測所 45m 電波望遠鏡の観測データを保存・公開するアーカイブを公開し (日本天文学会秋季年会 V127b)、以来現在までデータと機能の拡充を続けている。2021 年 11 月現在、合計で 46685 個、43TB の観測データを保存しており、観測 PI による 18 か月の専有期間を過ぎたデータが公開されている。本講演ではアーカイブの現状と追加されたデータや機能について報告する。

2019 年 7 月には ASTE の観測データを追加し、“Nobeyama-45m / ASTE Science Data Archive”へと拡張した。しかし、それまで公開していた観測データは野辺山/ASTE 独自の NOSTAR/NEWSTAR フォーマットデータであり、すぐ CASA で使うことはできないものであった。また、解析が容易ですぐ研究に使うことができる FITS フォーマットの整約処理済みデータも公開することが望まれていた。そこで我々は、まず野辺山の生データを CASA に対応した MS2 (Measurement Set Version2) フォーマットに変換し、アーカイブで公開した。また、ALMA 単一鏡パイプラインを拡張した“野辺山パイプライン”を開発し、2021 年 4 月に公開した。最新の野辺山パイプラインは CASA 6.2.1 として提供されている。我々は現在、その野辺山パイプラインで生データに整約処理を施したデータ (FITS や処理ログからなるデータセット) を作成している。第一弾として 2021 年 4 月に、2018 年から 2020 年観測の処理済みデータ 2038 個を公開した。ユーザー自身が、MS2 の生データと野辺山パイプライン付きの CASA を用いて、処理済みデータを作成することも可能である。

[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](#)

V201a TMT 計画 – 進捗報告

白田知史, 岩田生, 青木和光, 齋藤正雄, 山下卓也, 早野裕, 藤縄俊之, 能丸淳一, 関口和寛, 井口聖, 常田佐久 他 (国立天文台), H. Yang, L. Simard, E. Reddy, T. Soifer, S. Xue, E. Stone, 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 の Liu プロジェクトマネージャは、6 月のヒロ赴任以降、建設に反対する人々も含め、延べ 200 名超の地元関係者との少人数会合を行い、TMT が地元コミュニティにいかんして貢献できるかを探っている。また、7 月に白田 TMT プロジェクト長がパサデナからヒロに異動し他の国立天文台職員と共に、TIO の一員としてこれに協力している。

米国国立科学財団 (NSF) や NASA 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) の結果が 2021 年 11 月に公開され、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。今後、TIO は GMT や AURA、NSF と協力して US-ELT プログラムとしての実施体制を検討するとともに、TMT の予算計画やスケジュールを確立していき、NSF が実施する外部評価を受けることになる。また、来年実施予定の NSF MREFC 予算の基本設計審査 (PDR) に向けて、TIO とは独立かつ国際的に定評のある有識者による技術的成熟度、スケジュール・予算・リスク等の総合的なレビューを 11 月に実施した。このレビューでは、TMT 計画は NSF PDR に向けて十分に準備が出来ているという評価を得た。

TIO および参加機関における活動は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 東京大学アタカマ天文台 TAO 6.5m 望遠鏡計画 進捗報告

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, 諸隈智貴, 廿日出文洋, 江草英夫, 小西真広, 上塚貴史, 高橋英則, 青木勉, 加藤夏子, 沼田瑞樹, 鮫島寛明, 西村淳, 大澤亮, 浅野健太朗, 小山舜平 (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 計画の最大の特長はそのサイトにある。6.5m 望遠鏡建設に向けた道路工事は 2018 年にスタート、2019 年からはチリ政府から超高高度での作業許可を得て山頂サイト工事を進めている。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。その結果、2021 年 12 月の段階で山頂アクセス道路は完成、山頂も土木・基礎工事を終え、現在エンクロージャーの鉄骨組立を行っている。また山頂観測運用棟も 1 月から組立開始の予定である。

これら工事と並行して貨物の輸送作業も随時行っており、これまでに望遠鏡光学系を除くすべての部品がチリに到着している。また、観測装置の開発も進めており、近赤外線装置 SWIMS はすばる望遠鏡で PI 装置として運用中、中間赤外線装置 MIMIZUKU および近赤外線分光器 NICE は日本で調整を進めている。加えて可視カメラや高分散分光器の開発計画も進行中である。オペレーションに向けた体制構築も併せて進めている。

本講演では TAO 計画の進捗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](#)

V203a 近赤外線面分光ユニット SWIMS-IFU の組み上げと実験室での性能評価

柳引洗佑 (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), 大竹豊 (東京大学), 都築俊宏 (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 (5640m) に建設中の TAO 6.5m 望遠鏡に搭載される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。スライス幅をシーイングサイズ $\sim 0''.5$ に最適化することで、既存の近赤外線面分光装置の中では最大の $16''.6 \times 12''.8$ の視野を実現し、 $0.9\text{--}2.5\mu\text{m}$ を一度に $R \sim 1000$ で分光できる SWIMS の広波長帯域と合わせて空間的に広がった天体をより効率的に観測することができる。SWIMS-IFU は多天体分光マスクと同様に装置内に真空冷却下に収納されロボットアームで焦点面に設置し使用するため、コンパクト ($< 170 \times 220 \times 60\text{mm}^3$) かつ軽量 ($< 900\text{g}$) にする必要があった。そのため、その光学系は数 mm サイズのミラーやレンズが狭い範囲に複雑に並んだものとなり、これらのアライメント作業の負担を軽減しつつ高いアライメント精度を得るため、我々は超精密切削加工を用いた一体加工で光学素子の開発を進めてきた。

SWIMS-IFU の光学素子は 2021 年 9 月にすべての製作が完了し、組み上げと光学調整へと進んだ。組み上げでは位置決めピン、超精密加工で製作した基準面とシムを用いて位置姿勢決めを行っている。また、光学試験では常温・可視光の条件で疑似スリット撮像、瞳像撮像、射出光線方向確認、スライスミラーアレイ像撮像を実施した。結果、光学素子の調整は一つのレンズの位置調整をしたのみで、すべての項目で要求精度を達成することができた。本講演ではその SWIMS-IFU の組み上げと光学試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](#)

V204a 共同利用観測を開始した可視 3 色高速撮像分光装置 TriCCS

松林 和也, 前田 啓一, 太田 耕司, 川端 美穂 (京都大学), 酒向 重行, 土居 守, 新納 悠, 近藤 荘平, 有馬 宣明, 紅山 仁 (東京大学)

近年の可視光広視野サーベイや、重力波望遠鏡などによるマルチメッセンジャー天文学の広がりにより、超新星爆発を含む多種多様な変動天体が発見され、そのフォローアップ観測の重要性が増している。我々はせいめい望遠鏡用の可視 3 色撮像分光装置 (Tricolor CMOS Camera and Spectrograph: TriCCS) の開発を進めている。TriCCS は (1) 可視光 *gri* バンドまたは *grz* バンドの 3 バンド同時撮像が可能、(2) 検出器に CMOS センサを採用し、秒間約 98 フレーム (fps) での高速全面読み出しが可能、(3) 東アジア最大口径 (3.8 m) かつ短時間で指向可能なせいめい望遠鏡に接続することで、暗い天体の即時フォローアップ観測が可能、などの特徴を持った装置である。

2020 年 12 月に、「おかえりはやぶさ 2 観測キャンペーン」の一環として「はやぶさ 2」と「帰還カプセル」の *g* バンドでの撮影に成功した。2021 年 2 月に試験観測で、3 バンド同時に十分な結像性能の画像が得られた。ピクセルスケールは $0.350 \text{ arcsec} / \text{pixel}$ 、視野は $12.6 \times 7.5 \text{ arcmin}$ で、ほぼ設計通りの値となっている。せいめい小委員会の審査を受け、2021 年 8 月からせいめい望遠鏡での共同利用観測をリスクシェアで開始した。ただし、TriCCS 記憶媒体 (SSD) の発熱対策と観測者のデータ持ち帰り方法の検討のため、観測フレームレートに上限が設けられた (2021 年後期は原則 1 fps 以下、2022 年前期は 10 fps 以下)。TriCCS は超新星爆発や小惑星のフォローアップ測光観測などに利用されている。また、2022 年に分光モードを追加する計画で、その進捗状況も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](#)

V205a 可視3色同時広視野カメラの性能評価

橋ヶ谷武志 (京都大学), 円尾芽衣 (京都大学), 栗田光樹夫 (京都大学), 木野勝 (京都大学)

現在、せいめい望遠鏡の姉妹機がインドネシアに建設中であり、我々はこれに搭載予定の可視3色同時広視野カメラを開発している。この装置は g, r, i バンドを用いた3色同時撮像によって、惑星のトランジット観測や突発天体の光度変化観測など幅広い用途を見据えている。ダイクロイックミラーを用いた光学系によって3色同時撮像を可能としており、各バンドのフィルターには Pan-STARRS の g, r, i フィルターセットを用いている。また、従来の多色カメラに比べて、広視野 ($12' .5 \times 12' .5$) で高いスループット (g: > 62%, r: > 73%, i: > 58%) であることによって、高い測光精度・深い撮像を可能にする設計となっている。

本装置は現段階では組み立てが完了しており、夏にせいめい望遠鏡を用いてテスト観測を行い、いくつかの散開星団・標準星フィールドを撮影した。散開星団のデータからは星の座標をカタログと比較することによってピクセルスケール・ディストーションを見積もった。ピクセルスケールは g: $0.36''$, r: $0.37''$, i: $0.36''$ となり、ディストーションは最大で g: 46pix, r: 45pix, i: 45pix となった。さらに、このピクセルスケールを用いて、散開星団の星の星像直径を見積もった。その結果、視野全体の FWHM の平均値は g: $1.7''$, r: $2.1''$, i: $1.5''$ となった。そして、標準星フィールドのデータを測光し、カタログ等級を参照することで大気・望遠鏡・装置のすべてを通したスループットと限界等級を見積もった。スループットは g: 16%, r: 20%, i: 11% となり、限界等級は g: 21.5 等, r: 21.4 等, i: 20.2 等となった。本公演では、これらの解析結果の詳細について発表する。

[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](#)

V206a せいめい望遠鏡に搭載する系外惑星探索専用高分散分光器 GAOES-RV

佐藤文衛 (東工大), 橋本修 (ぐんま天文台), 大宮正土 (ABC), 泉浦秀行, 田實晃人, 神戸栄治, 原川紘季 (国立天文台), 松林和也 (京都大), 本田敏志 (兵庫県立大), 寶田拓也, 堀安範 (ABC), 成田憲保 (東大), 國友正信 (久留米大)

太陽の2倍以上の質量をもつ重い恒星では、周囲の惑星系の様相が太陽型星とは異なると言われている。しかし、視線速度法などでこれまでに発見された系外惑星の中で確実に重い恒星の周りを回っていると言えるものは少なく、統計的な性質の解釈が困難な状況にある。これまで我々は岡山 188cm 望遠鏡を用いて系外惑星探索を行ってきたが、重い恒星のサンプルを増やすためにはより暗い恒星を観測する必要がある。そこで、京大 3.8m せいめい望遠鏡にぐんま天文台 1.5m 望遠鏡の高分散分光器 GAOES を移設して視線速度精密測定機能 (最高 1m/s) を追加し (GAOES-RV)、これを用いて重い恒星であると目される高金属量巨星に対して重点的な惑星探索を行う。

GAOES-RV はせいめい望遠鏡ドームの2階に新たに設置された精密空調付き分光器室内に置かれ、恒星光はナスミス焦点から光ファイバーで伝送される。恒星光はガイド系を含むナスミスユニットで口径比3に変換されたのち、約 2.4 秒角に相当するコア径 $130\mu\text{m}$ の光ファイバーに入射される。これは岡山の典型的なシーイング (約 1.5 秒角) に比べて十分広い。また、スクランプリング性能を上げるため八角形コアの光ファイバーを用いる。出射光は口径比 30 に変換され、イメージスライサーで5分割されたのち、分光器の口径比 12.2 に変換される。これにより、高効率と高波長分解能 (約 55000) を同時に達成できる。イメージスライサーの導入による空間方向のオーダーの重なりを避けるため分散度の高い垂直分散格子を使用するが、視線速度精密測定用ヨウ素ガスセルの観測波長域 500–580nm を一枚の CCD でカバーできる。講演では、本計画の概要と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](#)

V207a 連星系における系外惑星探査のためのダークホール技術の開発2

米田 謙太, 村上 尚史, 小池 隆太 (北海道大学), 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)

将来の系外惑星の直接観測に向けて、明るい恒星光を除去する高コントラスト観測技術の開発が進められている。現在開発が進められている多くの技術は、単一星周りの惑星の観測を目指したものである。一方で、間接的な観測手法によって連星系にも惑星が発見されており、連星系の惑星も直接観測の興味深いターゲットとなっている。連星系における系外惑星の直接観測の場合、複数の恒星からの光が惑星の観測を妨げてしまうため、これらの光を同時に除去する観測技術が必要となる。

高コントラスト観測技術は、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。恒星光が除去され、惑星の探査が可能となる領域をダークホールと呼ぶ。ダークホールの形成可能領域は、用いる波面制御デバイスの制御素子数に依存する。制御素子数の少ない波面制御デバイスでは、ダークホールの形成可能領域は恒星の近傍に限られる。我々は、連星系におけるダークホール制御のために、制御素子数の多い空間光変調器 (SLM) に着目している。これまでに、SLM を用いた連星系におけるダークホール制御技術の原理実証を、数値シミュレーションにより行っている (小池他, 2021 年春季年会 V215a)。その結果を受けて、連星系におけるダークホール制御の室内実証実験を行った。実証実験では、2つのレーザー光源を用いて連星系を模擬した。一方の恒星モデルの近傍の位置と、両方の恒星モデルから等距離の位置にダークホールを形成する実験を行い、いずれの場合においても 10^{-8} レベルのコントラストを達成した。本講演では、今回行った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](#)

V208a 可視シングルモードファイバー高分散分光器に向けた高効率ファイバー入射光学系の開発

多田将太郎 (総研大), 小谷隆行 (ABC/NAOJ/総研大), 早野裕, 美濃和陽典 (NAOJ/総研大)

視線速度法による惑星探査や透過分光法による惑星大気の観測など、太陽系外惑星の研究において高分散分光器は重要な役割を持つ。今後、30 m 級望遠鏡の高分散分光器の開発が進むと考えられるが、可視の高分散分光器は装置が巨大になり開発はチャレンジングになると予想される。これは、回折限界でない条件では、分光器のサイズは望遠鏡口径に比例するからである。一方、シングルモードファイバー (SMF) を用いると分光器のサイズは望遠鏡口径によらずコンパクトになるだけでなく、通常マルチモードファイバーに生じるモードノイズが全くない極めて安定な分光器が実現できる。しかし、SMF は特定の形の電場しか入射できないという空間フィルターとしての特性があるため、高効率で光を入射するには、波面誤差を非常に小さく抑える必要がある。近赤外では補償光学により波面誤差を小さくすることが可能であるが、可視光ではそれは難しい。

本研究では、望遠鏡瞳を複数に分割することで SMF への入射効率を高める可視高分散分光器を開発している。瞳を分割することでそれぞれの分割された開口では波面誤差の影響が小さくなり、それぞれの開口の焦点に SMF を置くことで高い入射効率を実現できる。これまでに 8 m や 1.5 m の望遠鏡を想定したシミュレーションを行い、望遠鏡瞳の分割数を増やすことで入射効率が向上することが確認された。また、補償光学と併用することで入射効率をさらに高められることも分かった。現在、口径 20 cm の望遠鏡の瞳を 7 個に分割した SMF 入射光学系を開発しており、まもなくオンスカイでの実証実験を行う予定である。本講演では入射効率のシミュレーションや、オンスカイの実証実験へ向けた開発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](#)

V209a レーザーガイド星波面センサーにおけるローリングシャッター読み出しの影響

大金 原, 秋山 正幸 (東北大学), Jesse Cranney, Francois Rigaut, Noelia Martinez Rey, Celine D'Orgeville (Australian National University), 美濃和 陽典, 大野 良人 (国立天文台)

補償光学の波面センサーにはグローバルシャッター読み出し方式の CCD 検出器を用いるのが一般的である。ローリングシャッター読み出し方式の sCMOS 検出器は、対象が高速で動いている場合に像の歪みが起こるため考慮されることが多い。しかし、sCMOS は CCD に比べて低読み出しノイズ、大フォーマット、低コストを実現できる可能性がある。そこで我々は、すばる望遠鏡の地表層補償光学プロジェクトである ULTIMATE-Subaru のレーザーガイド星波面センサーにおいて、浜松ホトニクス社製 ORCA-Flash4.0 v2 検出器を用いることを想定して、ローリングシャッター読み出しの影響を調べた。レーザーガイド星波面センサーの場合、波面 Tip/Tilt 成分は、大気揺らぎだけでなくレーザーガイド星自体の動きに起因するものも含むため、システム内部でフィルタリングされる。しかし、Tip/Tilt 成分がローリングシャッター読み出しの影響で高次の波面成分に漏れ込む場合、波面測定の問題となる。本研究ではまず、Tip/Tilt 成分がどの種類の高次波面成分に漏れ込むのかをシミュレーションによって調べた。その結果、Tip/Tilt の振動周波数が検出器のサンプリング周波数の約 10% よりも速い場合、部分的にコマ収差や矢状収差などの高次波面成分として測定されるようになることがわかった。一方で、漏れ込む高次成分の種類は少数に限られ、漏れ込みの量も小さく、地表層補償光学の文脈では大きな影響はないことが示唆される結果となった。また、実際に ORCA-Flash4.0 v2 検出器を用いた波面測定実験を行い、シミュレーションと同様の振る舞いが見られることを確認した。本講演では、上記の結果の詳細な報告に加え、ローリングシャッター読み出しの影響をより抑えるための波面センサー測定値の利用方法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](#)

V210a 単光子計数法による高速可視撮像システムの開発と改良

中森健之 (山形大学), 庄子正剛 (高エネルギー加速器研究機構), 大内優雅, 佐藤凜, 佐藤杏樹, 小野 瑛士 (山形大学), 寺澤敏夫 (東大宇宙線研究所), 三澤浩昭, 土屋史紀 (東北大学), 川端弘治, 中岡竜也 (広島大学宇宙科学センター), 武井大 (Daiphys Tech./立教大学), 上野一樹 (高エネルギー加速器研究機構)

光度が時間変動する天体現象の起源を調べるためには多波長で観測するだけでなく、変動のタイムスケールよりも十分短い時間分解能が検出器に求められる。例えばかにパルサーの巨大電波パルスのように、ナノ秒からマイクロ秒で変動する天体を可視光で観測する際には、CMOS でも十分な時間分解能を持たない。また、計測する光度曲線の時間ビン幅と各ビンで計測される光量は相関するため、高速測光には低輝度に対する感度も同時に要求される。我々はガイガー放電を利用することにより単光子に感度を持つ半導体光センサ MPPC (SiPM と呼ばれる) を、可視天体撮像素子として開発している。試作品である 4×4 素子のセンサと、素粒子実験用の汎用回路モジュール群でデータ収集系を構築した。100 μ s の時間ビンで光度曲線を計測するこのシステムで、かにパルサーの周期的な光度変動を検出することに成功した (Nakamori et al., 2021, 中森他 2021 年秋季年会)。

我々はセンサの大型化を目指しており、信号処理が必要なチャンネル数の増加が見込まれるため、回路系の集積化と小型化が求められる。そこでまず、センサ素子は 4×4 画素の試作品のままで、アンプ、コンパレータと電源系を一体化した専用の信号処理基板を開発した。そして FPGA で制御と計測を行い、イーサネット でデータを転送するシステムを構築した。100 ns ごとに光子到来時刻を付与することができ、時間分解能も大幅に向上した。本講演では実験室での性能評価に加え、かなた望遠鏡に搭載した観測試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](#)

V211b 引き摺り 3 点計測法による 1.8m 軸外し望遠鏡 PLANETS 主鏡の形状計測

鍵谷 将人, 永田 和也, 坂野井 健, 笠羽 康正 (東北大学), 平原 靖大, 花村悠祐 (名古屋大学), 栗田 光樹夫, 森本 悠介 (京都大学), 高橋 啓介 (ロジストラボ)

口径 1.8 m の軸外し望遠鏡である PLANETS (Polarized Light from Atmospheres of Nearby Extra-Terrestrial Systems) は、東北大学がハワイ大学他との国際協力のもと開発を進めており、ハワイ・ハレアカラ観測所への設置を最終目標として 2022 年に国内でファーストライトを迎える予定である。掩蔽物のない低散乱光学系という特徴を生かして、太陽系内惑星や衛星近傍の大気・プラズマ発光といった、輝度の大きな天体近傍の微弱な発光の観測 (高ダイナミックレンジ観測) を重要な目標の一つに挙げている。本発表では名古屋大、京都大、ロジストラボ社と共同で開発を進めている主鏡 (直径 1.85m、重さ 510kg、最大厚さ 100mm のクリアセラム) の形状計測と研磨状況について報告する。本研究ではロボットアームを用いた引き摺り 3 点法 (Kurita+2015) を形状計測の基盤技術として利用する。計測経路に沿った形状の 2 階微分に相当する局所曲率の変化を測定し、これを 2 階積分することで形状を導出する。単一の経路に沿った計測からは形状の 2 次成分は定まらないが、相互に交差する複数の直線パスや、閉じた円環パスの計測を組み合わせることで、実用的な精度での計測が可能となる。本手法により計測された鏡面形状誤差は Zernike 第 6 項までを除いて $0.76\mu\text{m}$ となり、過去に ITT/Exelis により Precision Optical Deflectometry (POD) 法で計測された形状誤差と整合する結果を得た。発表では同一状態の鏡を異なる計測経路で複数回測定した結果を示し、計測形状の再現性と最新の研磨状況について紹介する。

[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](#)

V212b 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。木星磁気圏のプラズマの約 9 割が衛星イオの火山ガス起源であり、イオ火山活動度が木星磁気圏の変動や磁気圏-電離圏結合に大きく影響する。この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。東北大はハワイ・ハレアカラ観測所 (標高 3040m) に口径 60cm 望遠鏡 (T60) を擁しており、TOPICS を設置して検出器駆動回路の動作実証と試験観測を行う予定である。TOPICS の検出器は $1 - 5\mu\text{m}$ に感度を持つレイセオン社の InSb256x256 アレーである。また、東北大では TOPICS と共通の検出器駆動回路を用いる近赤外分光器 ESPRIT を開発中で、TOPICS での動作実証後は ESPRIT に検出器駆動回路を移設し、近赤外帯において惑星大気の高分散分光 ($\lambda/\Delta\lambda \sim 20,000$) 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) への設置も予定している。

TOPICS の安定動作実現のためには 2 つの課題を解決する必要がある。一つ目は筐体の温度低減である。現在、検出器周辺温度は 41K であり、検出器の至適駆動温度 35K に到達していない。検出器の暗電流ノイズを低減するために、検出器周辺の熱パス改良を実施中である。二つ目は検出器駆動回路の読み出しノイズ低減である。現在、駆動回路全体での読み出しノイズは RMS で 1200e-RMS 程度であり、装置要求仕様の数 10e-RMS を大きく上回っている。この過大な読み出しノイズの原因は検出器冷却に用いている冷凍機が発する電氣的ノイズであることが判明しており、ノイズ影響の低減を試みている。

[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](#)

V213b 能動支持機構などによる 1.8m 軸外し望遠鏡 PLANETS 主鏡の最終研磨量削減

永田 和也, 鍵谷 将人, 坂野井 健, 笠羽 康正 (東北大学), 平原 靖大, 花村悠祐 (名古屋大学), 栗田 光樹夫, 森本 悠介 (京都大学), 高橋 啓介 (株式会社ロジストラボ)

PLANETS (Polarized Light from Atmospheres of Nearby Extra-Terrestrial Systems) は口径 1.8m の軸外し望遠鏡で、東北大学がハワイ大学や独キーペンハウアー太陽研究所等との国際協力のもとで開発を進めている。2022 年に国内でのファーストライトを予定しており、その後はハワイ・ハレアカラ観測所への移設・運用を目指している。PLANETS 望遠鏡の主な観測対象は明るい天体の周囲にある微弱発光現象で、軸外し光学系とコロナグラフなどの組み合わせによりこれらの発光現象を高コントラストで観測可能である。主鏡 (直径 1.85m、外縁厚さ 100mm のクリアセラム) は 2021 年 9 月時点で鏡面誤差 $1.50 \mu\text{m}$ RMS まで成形されており、現在名古屋大、京都大、ロジストラボ社と共同で実施中の最終研磨では 30cm 空間スケールの鏡面誤差 $< 20 \text{nm}$ RMS を目指している。主鏡の研磨においては、研磨により取り除く鏡材体積 (研磨量) が大きいと必要時間・コストの増加につながるため、研磨量は少ないほうが望ましい。本講演では、主鏡能動支持機構を用いて研磨量を削減する試みと、支持機構の動作検証試験の結果について報告する。

主鏡の軸方向支持構造には、36 点支持の whiffletree 構造を採用している。これに板バネとリニアモーターからなる warping harness を組み合わせることにより、各支持点の支持力を自由度 33 で制御する。この軸方向支持機構を最終研磨段階でも用いて、大きな空間スケールの鏡面誤差を減少させて研磨量を削減する。有限要素法解析による事前検証では、 $2 \mu\text{m}$ RMS 振幅の Zernike 多項式の 3 次の項までで表される鏡面誤差に対し、研磨量を半分以下に抑えることができる見込みであった。発表では最終研磨段階での研磨量削減の適用結果を報告する。

[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](#)

V214a SuMIRe-PFS[29]: プロジェクト概要と装置開発進捗状況まとめ 2022 年春季

田村直之¹, 森谷友由希², 矢部清人¹, 村山齊¹, 高田昌広¹, 田中賢幸², 越田進太郎², 石塚由紀², 鎌田有紀子², 他, PFS コラボレーション (¹ 東京大学 Kavli IPMU, ² 国立天文台)

PFS (Prime Focus Spectrograph: 超広視野多天体分光器) はすばる望遠鏡次期観測装置の 1 つで、主焦点の直径 1.3 度の視野内に配置された約 2400 本のファイバー各々から 380nm から 1260nm までのスペクトルを一度に取得する。2023 年の科学運用開始を目指し進行中の開発はいよいよ試験観測フェーズに入り、主焦点装置、メトロロジカメラ、ファイバーケーブル 1 本目、分光器モジュール 1 台目 (可視カメラのみ搭載) を使って 2021 年 9 月には夜間に主にドームを閉じた状態で望遠鏡上での動作試験を、11 月には試験観測を行った。並行して残りのサブシステムを開発中であるが、そのうち 2 本目のファイバーケーブルはヒロに輸送済で敷設前試験・敷設の時期を策定中、3,4 本目も順調に製作が進んでおり 2022 年春までには全ての作業が完了しヒロに輸送される予定である。分光器は 2 台目以降に搭載する可視カメラで発覚した検出器面の位置ずれ傾きずれ問題の原因究明を続けているが、集中的に行われてきている追加測定、実験、モデル解析によりかなり原因の候補が絞られてきた。近赤外カメラは 1 台目が熱輻射抑制コーティングを施した光学素子を含め完全に組み上げられ最終試験中であり、2,3,4 台目も組み上げ作業が進行中である。データ解析パイプラインの開発は特に 2021 年 2 月に SuNSS によるデータ取得を開始して以降急ピッチで進められており、今後試験観測データを加え次の段階に進む。装置制御ソフトの開発はデータ取得のための制御に加え観測計画作成からデータ取得、アーカイブ、計画更新という一連の流れを確立し実装する部分にも注力している。関連して、データへのアクセス管理や配布方法等も含めた共同利用観測運用の枠組み作りについても議論が進んでいる。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](#)

V215a SuMIRe-PFS[30]: 初回望遠鏡搭載試験・試験観測の報告

田村直之^{1,2}, 森谷友由希^{3,2}, 矢部清人^{1,2}, 越田進太郎^{3,2}, 川野元聡³, 吉田裕茂³, Craig Loomis⁴, Chi-Hung Yan⁵, Robert Lupton⁴, Arnaud Le Fur⁴, Jim Gunn⁴, 他 PFS 開発チーム — 1: 東京大学カブリ IPMU, 2: PFS プロジェクトオフィス, 3: 国立天文台ハワイ観測所, 4: Princeton University, 5: 中央研究院天文及天文物理研究所

PFS (Prime Focus Spectrograph) はすばる望遠鏡次期観測装置の一つとして、東京大学カブリ IPMU を中心とした国際協力によって開発が進められている超広視野ファイバー多天体分光器である。すばる望遠鏡主焦点の直径約 1.3 度の視野内にアクチュエータ (通称『コブラ』) 付きの 2394 本のファイバーを配置し、青・赤・近赤外のカメラを持った 4 台の分光器で 380nm から 1260nm の波長範囲に亘る低・中分散スペクトルを同時に取得することができる強力な装置である。PFS は強力な複雑な観測装置であるため、我々はこれまで、システム統合や望遠鏡搭載試験をどのように効率よく進めていくかを検討してきた。

2018 年以降、2021 年までにメトロロジカメラ、分光器 1 台 (可視カメラのみ)、ファイバーケーブル 1 組、そして主焦点装置が順にハワイ観測所に輸送され、輸送後の試験を完了した。全ての装置が揃ったわけではないが、いよいよ夜間観測を開始する条件が整ったため、2021 年 9 月に 2 週間の望遠鏡搭載試験、次いで 11 月に 3 日間の夜間試験観測を行った。トラブルもあり予定していた試験項目を全て達成したわけではないが、2 回の試験を通じて、望遠鏡上での『コブラ』のキャリブレーションを行い約 95% 以上のファイバーを 10 μ m の精度で配置できること、メトロロジカメラの像質が 2 年前と同等に良好であること、オートガイドが正しく機能しそうであることなど一定の成果が得られた。本講演では 2 回の試験観測の結果と見つかった課題、今後の予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](#)

V216a SuMIRe-PFS[31]: Development of the PFS target database and the connection to the fiber allocation process

Masato Onodera, Wanqiu He, Miho N. Ishigaki, Eric Jeschke, Yuki Moritani, Masayuki Tanaka (NAOJ), Kiyoto Yabe, Naoyuki Tamura (Kavli-IPMU), Martin Reinecke (MPA), Maximilian Fabricius (MPE), PFS obsproc working group

Prime Focus Spectrograph (PFS) is the next flagship instrument at Subaru Telescope currently under commissioning and is planned to be online for science operation in 2023. The massive multiplexity of PFS enables us to obtain spectra of about 2400 objects from 380nm to 1260nm simultaneously in a field-of-view (FoV) of 1.3 degrees in diameter. To efficiently use this unique capability, we are planning to operate it under queue observing mode by accommodating fibers allocated to multiple different programs in a single pointing, and it is necessary to develop a mechanism to store target information, save information on the executed exposures, and keep track of the progress of the observation on the basis of individual object and each program over the semester(s). This mechanism is realized by multiple databases and communication between them. The target database (targetDB) is aimed at hosting information on all targets from observers as well as calibration sources and serve them to the fiber allocation process. In this contribution, we present the status of the development of targetDB including database schema and implementation, and how it is connected to the fiber allocation procedure to design the prime focus instrument. We also discuss our plan of how duplications of targets are handled, and how targetDB is related to other databases which are also under commissioning and 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](#)

V217a 恒星フレア自動観測のための中央大学 40cm 可視光望遠鏡

中原潤也, 坪井陽子, 岩切渉, 河合広樹, 浦部蒼太, 那波咲良, 根本登 (中央大学)

恒星フレアなど、多くの突発現象のごく初期には、バルクな運動が介在することが考えられる。しかし、これまでの観測例は多くない。それは突発現象がいつ起こるのか予想が難しいからである。そこで我々は、40 cm 可視光望遠鏡を新設し、全天 X 線監視装置 MAXI が恒星フレアを検知したら瞬時にその追観測を可視光帯域で行うシステムを新たに立ち上げようとしている。システムの満たす特徴として、(1) 測光と分光を同時に行う、(2) 分光のスリットに天体を即座に導入する精度と導入速度を持つ、(3) プラズマのバルク運動のドップラーシフトを検出する分光能力を持つ、を掲げている。この (1),(3) を満たすために、光路分割器と、波長分解能 $R=19100$ の性能を持つ Shelyak 社の分光器 LHIRES iii、を搭載した。また、(2) の導入精度を満たすため、ガイドカメラ (視野角 10×7 分) の視野内に導入した天体を検知し、スリット上に導入し直すシステムと、ガイドカメラへの導入精度を上げるための、全方位・高度から均等に天体を選び、位置を記録して系統的なズレを算出し補正するシステムを搭載した。さらに、(2) の導入速度を満たすために、 20 deg s^{-1} で稼働する経緯台を用いて、約 10 秒で天体を導入可能にした。測光側の撮像カメラには、U バンドでも約 60 % の感度を持つ CMOS カメラである Ximea 社の MJ042MR-GP-P11-BSI (視野角 31×31 分) を使用し、U, B, V, R, I の 5 バンドを撮像する。我々はこれまでに、ガイドカメラへの補正システムを用いた導入精度が 50 秒角であり、ガイドカメラの視野 10×7 分のへの導入が問題無いことを確認した。また、 $H\alpha$ 線を中心とする 150 \AA の範囲での波長分解能を算出し、 $R=19100$ であることを確かめた。この分光能力により約 15 km s^{-1} までの速度成分の判別が可能であると考えられる。現時点ではオートガイド機能での天体判別に課題を残し、調整を進めている。

[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](#)

V218a 全天赤外線雲モニタの開発

津々木里咲, 酒向重行, 高橋英則, 近藤荘平, 瀧田怜, 大澤亮, 紅山仁, 宮田隆志, 上塚貴史 (東京大学)

突発天体の広域サーベイや即時追観測、キューによる自動観測では上空の雲の分布を把握し晴れ間を狙うことで観測効率の向上が期待できる。現在、雲の監視には魚眼レンズと可視光センサーによる全天カメラが主流だが、月や街明かりの雲表面での散乱により雲を正しく把握できない問題がある。散乱の影響が少なく、雲に含まれる水蒸気の総量を反映する熱赤外線放射を監視する全天カメラの開発が過去に行われたが、センサの安定性と解像度、システムの複雑性と物理サイズ、製作コストに問題があり普及には至っていない。そこで本研究では、これらの問題を解決する小型の全天赤外線雲モニタの開発を行った。本装置は、1 台の防塵防水仕様の Ge レンズ付きポロメーターカメラモジュール (波長 $8\text{--}14 \mu\text{m}$, 視野 42×42 平方度, 80×80 画素) と、1 枚の視野拡大鏡 (直径 10 cm) を対向配置した高さ約 50 cm の小型装置である。通常、視野拡大鏡には凸面鏡が用いられるが、カメラモジュール自身による遮蔽のため天頂方向を監視できない問題がある。本研究では断面が富士山型の回転対称鏡を考案することで、カメラモジュールによる遮蔽が発生しない光学系を実現した。富士山型鏡はアルミの高精度切削で製作した。得られる画像は低高度と高高度が反転した全天画像となる。各画素が見込むビームパターンをあらかじめ計算しておき、観測される画素カウントに比例した重みで合成することで非反転の全天画像に変換する。空間分解能は高度に依存し約 $10\text{--}15$ 度である。センサーの性能評価も実施し雲の監視に十分な線形性と温度安定性を確認した。画像変換を含め 20 秒で全天画像を取得できる。2021 年 12 月に東京大学木曾観測所に本装置を設置し、全天赤外線画像の昼夜連続の取得に成功した。同時観測した可視光全天画像と比較し、雲の分布を正確に捉えていることも確認した。本講演では雲の自動判別法の開発と木曾 Tomo-e Gozen の観測システムへの導入についても述べる。

[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](#)

V219a 仮想敵対的学習による Tomo-e Gozen サーベイにおける Real/Bogus 分類の改善

高橋一郎, 田中雅臣 (東北大学), 冨永望 (国立天文台), 上田修功 (NTT コミュニケーション科学基礎研究所), 酒向重行, 大澤亮, 吉田直紀 (東京大学), Tomo-e Gozen コラボレーション

我々は東京大学木曾観測所 105 cm シュミット望遠鏡に搭載された Tomo-e Gozen を用いて、早期超新星や Rapid transient を主な対象とした高頻度 Transient サーベイを行っている。サーベイにおける突発天体の検出のための Real/Bogus 分類には、観測、参照画像およびそれらの差分画像を入力としたシンプルな Convolutional neural network(CNN) がこれまで採用されてきたが (浜崎ら, 2020 年春季年会 Z413a)、False Positive の割合が未だ高く、分類成績が頭打ちになっていた。学習データの標本調査の結果、学習データの約 1% にラベルの付け間違いが存在しており、学習データ自身を機械に分類させた場合に誤分類したサンプル中の誤ラベル率が高いことを確認した。そこで分類を 2 段階に分け、最初の学習後に機械が誤分類した学習データのラベルを「ラベルなし」にした上で半教師あり学習を再度行うことで、学習データのクリーニングを機械自身で行いつつ、分類性能の向上を図った。

2 段階目の半教師あり学習には仮想敵対的学習 (Miyato et al. 2016, 2017) を採用し、Tomo-e Gozen の実際のサーベイデータに対する従来の CNN と新モデルの分類成績を比較してみたところ、True Positive Rate = 90% における False Positive Rate が 0.9% から 0.07% と大幅に改善した。そこで新モデルを Tomo-e Gozen の解析パイプラインに実装し、実装前後の Tomo-e の突発天体データベースへの登録数を比較した。その結果、誤検出が減ったことで突発天体候補の数は約 40 分の 1 に減少し (150 天体/日)、その後の人による選定が可能となった。

本講演では、新しい Real/Bogus 分類モデルのデザインとその分類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](#)

V220a ロバスト主成分分析に基づく劣化 CCD カメラ画像のノイズ除去

江良 真結子, 井上 中順, 篠田 浩一 (東工大情報理工), 細川 稜平, 村田 勝寛, 庭野 聖史, 谷津 陽一, 河合 誠之 (東工大理)

東工大が運用を行っている MITSuME 岡山 50cm 望遠鏡では、突発天体検知を目的として、 g' (SDSS), R_c , I_c (Johnson-Cousins) の 3 バンドによる観測が行われている。近年、CCD カメラの劣化に伴い、撮像画像にライン状のノイズがのり、天文学の通常の一次処理ではこの影響を除去することができず、検出限界や測光精度に影響がでていた。

本研究では、観測データの系統的なノイズ成分を低ランク行列、星像成分をスパースな行列とみなしたロバスト主成分分析、および BM3D や Noise2Noise などの手法により、MITSuME の画像に対しノイズ除去を行った。その結果、目視では、ロバスト主成分分析が最もよくノイズを除去できることがわかった。ただし、スパース項の重みによっては、ノイズを十分に除去できない場合や、一部の星像がノイズ成分に入ってしまう場合があるため、各画像ごとに最適なスパース項の重み調整が必要なこともわかった。そこで、重み調整のための指標として、Pan-STARRS1 のカタログ等級と機械等級の線形性や、複数連続画像の天体の測光安定性を導入し、除去の定量的な良さを評価している。今後の課題としては、定量的指標をもとにしたハイパーパラメータの自動選択や、モデルに観測データのランダムノイズ成分を考慮した項を加えることなどが挙げられる。

[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](#)

V221a 大型低温重力波望遠鏡 KAGRA の現状

伊藤洋介 on behalf of the KAGRA collaboration

大型低温重力波望遠鏡 KAGRA は、岐阜県飛騨市にある神岡鉱山の地下に建設された基線長 3 km のレーザー干渉計である。2019 年 4 月に第 3 期国際共同重力波観測運転 (Observation-3; O3) に必要な装置のインストールを完了した後、性能出し、各種の試験運転を通じて感度を向上させた。先行する米国の LIGO および Virgo は 2019 年 4 月より O3 観測を開始しており、KAGRA は O3 終盤に LIGO-Virgo との国際共同観測に参加する予定であった。しかしコロナの広がりにより LIGO-Virgo は観測を早期終了したため、KAGRA は 2020 年 4 月にドイツに建設された GEO600 重力波検出器との同時観測 (O3GK) を実施した。O3GK 期間中の感度は、中性子星連星合体の可観測距離換算で 0.6Mpc 程度であった。

O3GK 観測を通して、検出器の状態評価、雑音源の推定などが進み、感度の改善方法などが洗い出された。2022 年 12 月中旬には 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、O3GK で得られた知見を踏まえて、KAGRA は O4 参加に向けて感度向上に取り組んでいる。本講演では、これまでの観測運転の状況、観測データ解析の報告に加え、O4 へ向けたアップグレードの現状、今後の予定などについて報告する。

[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](#)

V222a 突発天体探査衛星 うみつばめ搭載の紫外線望遠鏡の熱設計

原 拓輝, 尾形 舜, 中村 倫敦, 能登 亮太郎, 高久 雅輝, 笹川 悠太, 小松 龍世, 川口 直毅, 安田 萌恵, 浅葉 薫, 谷津 陽一, 河合誠之 (東工大), 江野口 章人 (株式会社ジェネシア)

東京工業大学では、2022 年度打ち上げ予定の JAXA の革新的衛星技術実証 3 号機に搭載する 50kg 級衛星 うみつばめを開発している。うみつばめ衛星のミッションは、紫外線望遠鏡による突発天体サーベイ観測、および液晶波長可変フィルタを用いた多波長地球観測である。本研究では、うみつばめ衛星に搭載する紫外線望遠鏡の熱設計を行なった。紫外線望遠鏡の検出器には CMOS センサを採用しており、その暗電流ノイズを抑えるためにセンサ温度を可能な限り低く保つ必要がある。そこで、本研究では、センサを衛星から断熱し熱輻射によって深宇宙へと熱を逃す冷却機構を考案し、その熱設計および成立性の検証を行なった。放熱面には銀蒸着テフロンを採用し、センサから放熱面まで熱伝導によって伝熱させる経路にはグラファイトシートを採用した。センサを -30°C に保つため、放熱面の面積は 160 平方 cm 必要ということが分かった。試験モデルを作成し熱真空試験を行なった結果として、冷却機構は十分に機能することが分かった。本講演では、紫外線望遠鏡の熱設計と検証について講演を行う。

[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](#)

V223a CMOS イメージングセンサにおける発光現象の解明

尾形 舜, 浅葉 薫, 谷津 陽一, 原 拓輝, 中村 倫敦, 能登 亮太朗, 高久 雅輝, 河合 誠之 (東工大), 江野口 章人, 武山 芸英, 白旗 麻衣 (ジェネシア), 荻野 直樹, 有元 誠, 米徳 大輔 (金沢大学)

東京工業大学では、2022 年度打ち上げ予定の JAXA の革新的技術実証 3 号機のテーマに採択された、50kg 級衛星『うみつばめ』を開発している。うみつばめには、紫外線帯域での突発天体サーベイを行うための紫外線望遠鏡が搭載されており、その検出器には民生品の裏面照射型 CMOS センサを採用した。本センサは低照度環境下で撮影を行った場合に、視野の周辺付近が明るく輝く、一般に「アンプグロウ」と呼ばれる現象が見られることが知られていた。同センサは、これまでに軟 X 線検出器として国内の多くの研究者が使用してきたが、この場合、露光時間が短いためこの現象はほとんど問題にならなかった。一方、紫外線天文学においては光・赤外線天文学と同様にフレームあたりの積分時間を数秒から数十秒として光子イベントを積算することから、極めて微弱なこのアンプグロウ現象が検出感度に影響してしまうのである。

そこで本研究では、この現象の原因を調べ、さらにこの現象が紫外線観測ミッションにもたらす影響について調査を行った。結果として、この現象は CMOS センサにおける回路部が赤外線が発光しているために起こっており、その波長はおおよそ 850nm~950nm であることを突き止めた。このことから、Si 製のセンサであるにも関わらず、回路部には GaAs を用いている可能性が極めて高いということが分かった。また、この発光が望遠鏡内で反射しセンサ全体を照らしてしまうことが分かり、遮光カバーによって発光部を覆う対策を行うこととした。本講演では、より詳細な解析結果と、遮光カバーによる対策の効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](#)

V224b SuMIRe-PFS[32]: Selection of spectrophotometric and chemical abundance calibration stars for the PFS observations

Miho N. Ishigaki, Masayuki Tanaka, Masato Onodera, Wanqiu He, Yuki Moritani (NAOJ), Kiyoto Yabe, Naoyuki Tamura (Kavli IPMU), PFS obsproc working group members

In PFS observations, physical quantities of science targets including relative fluxes of galaxies as well as spectroscopic parameters (line-of-sight velocities, effective temperatures, surface gravities and chemical abundances) of individual stars, will be delivered by the PFS data reduction pipelines. To ensure the accuracy of the measured quantities, simultaneous observations of calibration stars and the validation of the physical quantities with external catalogs are necessary. We are developing a strategy to homogeneously select ideal spectrophotometric standards making use of Pan-STARRS1 photometry and Gaia astrometry. Logistic regression trained on the sample with known stellar parameters from Sloan Extension for Galactic Understanding and Exploration (SEGUE) survey, is applied to extinction-corrected colors to calculate the probability of being an F-type star, which is the most suitable for the flux calibration including telluric correction. We find that, with a limiting magnitude of $g \sim 20$, we expect > 100 high-probability candidates of F-type stars per PFS field-of-view for the majority of the visible sky, except for low Galactic latitudes. A separate list of stars with available high-quality spectroscopic and astrometric measurements is being prepared for calibrating stellar physical parameters from the PFS pipeline. We present our plan to improve the classification algorithm for the standard stars as well as to validate their physical quantities from external catalogs.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V225b ぐんま天文台 150cm 望遠鏡への三波長同時撮像装置 MuSaSHI の搭載と観測

金井昂大, 大朝由美子 (埼玉大学), 高橋英則 (東京大学), 橋本修 (県立ぐんま天文台)

群馬県立ぐんま天文台 150cm 望遠鏡には多様な観測装置が搭載されているものの、多色同時撮像観測用の観測装置は用意されていない。そこで埼玉大学 55cm SaCRA 望遠鏡カセグレン焦点 (F6.5) 用に開発された可視 r,i,z バンド三波長同時撮像偏光装置 “MuSaSHI” をぐんま天文台 150cm 望遠鏡に搭載し、多色同時撮像観測を実施する試みを行なっている。

2020 年 10 月に 150cm 望遠鏡ペントカセグレン 1 焦点 (F12.2) に搭載するための適切なマウントの設計・製作を行ない、安定した搭載を実現した。当初はこの焦点で運用されていたレデューサー (F6.0) との組み合わせを検討したが、MuSaSHI に必要なバックフォーカスと合わなかったためレデューサーの使用は断念した。

さらに試験観測を実施し、性能評価を行なった。SaCRA 望遠鏡/MuSaSHI (観測視野 $12.7' \times 12.5'$; $0.74''/\text{pix}$) での 15 分積分における限界等級が 17.3 等 ($S/N \geq 10$, r バンド) であるのに対して、150cm 望遠鏡/MuSaSHI (同 $2.6' \times 2.5'$; $0.15''/\text{pix}$) では ~ 18.8 等 ($S/N \geq 10$, r バンド) を達成した。また、系外惑星のトランジット観測 ($z \sim 13.0$ 等) を行なったところ、約 1.5% の有意な減光の検出に成功し、科学観測が可能であることを確認した。

一方、ぐんま天文台での典型的なシーイング ($\sim 2\text{--}3''$) に対して F12.2 では空間的にオーバーサンプリングで視野が狭くなることや、安定した運用を実現するためには望遠鏡装置間の通信やケーブル配線などに課題があることも明らかになった。そこで、現在は MuSaSHI に適合した F6.5–7.0 を実現するレデューサーの設計を行なうとともに、150cm 望遠鏡周辺における MuSaSHI の運用環境整備を進めている。本講演では、MuSaSHI 搭載用マウントの製作や試験観測結果、及び中期的運用に向けた取り組みについて述べる。

[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](#)

V226a 高感度太陽紫外線分光観測衛星 Solar-C (EUVST) の最新状況

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

Solar-C (EUVST) は、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、という命題を探求する公募型小型ミッションである。「ひので」等の観測によって、太陽プラズマ大気へのエネルギー入力 (太陽表面での磁場活動) とその解放 (エネルギー出力) の振舞いを明らかにしてきた。これらの成果を踏まえ、次に行うこととして、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大気中で輸送され、また解放の現場を捉えて何が起きているのかを診断することで、その振舞いが起きる仕組みやその背景にある基礎物理過程の理解を目指すことを定めた。その目的のもと、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、ミッションを遂行する。この達成のために、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。2021 年度は、日本が開発する大型望遠鏡筐体および主鏡機構部の技術的課題克服を進め (詳細は原弘久他講演参照)、その多くで大きな進展を得た。最終参加が確定した米国 NASA や欧州各国では Phase A/B 検討が始まり、開発試験のための技術的調整・設計が進行中である。ESA の参加に向けた調整も加速している。ISAS は、2022 年度概算要求の状況を踏まえ、本計画のミッション定義審査 (MDR) を開始し、また JAXA はプリプロ移行審査を予定している (アブストラクト提出時点)。本講演では、前回報告 (2021 年春季年会) 以降の 1 年における本衛星計画の準備進展について状況を報告する。準備や審査過程において得られた知見や経験の中で、今後のミッション計画立ち上げにも参考になるかもしれない話題についても触れる予定である。

[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](#)

V227a Solar-C (EUVST) 衛星: 観測装置 EUVST 設計検討の進捗報告

原 弘久, 石川 遼子, 浦口史寛, 大場崇義, 岡本文典, 勝川行雄, 久保雅仁, 篠田一也, 末松芳法, 都築俊宏
成影典之, 納富良文 (国立天文台), 清水敏文, 内山瑞穂, 鄭 祥子, 鳥海 森, 備後博生, 松崎恵一 木本雄吾
(JAXA) 川手朋子 (核融合研), 今田晋亮 (東大), 渡邊恭子 (防衛大), 一本 潔, 永田伸一 横山央明 (京大)
ほか, Solar-C(EUVST) チーム

Solar-C (EUVST) は、これまでになく高い空間分解能 (0.4 秒角) と時間分解能をもち、極端紫外線 (EUV) 域の複数の輝線による撮像分光観測から太陽上層大気の詳細な物理診断を行い、太陽の高温プラズマがどのように形成されるのか、太陽フレアがいつどのように発生するのか、という謎に挑む JAXA の小型衛星計画である。高感度要求の実現のために、撮像分光装置の結像光学系は軸外し放物面主鏡と分光器部の凹面回折格子の二要素のみで構成され、それらの光学面には EUV 域で高い反射率をもつコーティングを施す。この分光観測と磁場等の他の高解像観測との同時観測の際に、互いの位置関係を正確に把握するため、EUVST はスリットジョー撮像装置も内蔵している。選択した観測波長帯で高感度化させるために、口径 28cm の主鏡部には太陽光が直射する設計としている。また、高解像観測を実現するため、2 軸ジンバル構造に乗った主鏡の傾角を駆動調整して、望遠鏡部焦点面位置の太陽像の微小揺れを安定化させる。観測装置は多数の国際協力で開発される。低軌道で運用される小型衛星の搭載装置であることや、観測する EUV 光が地球残留大気に吸収されない軌道高度で運用することを考慮すると、観測装置は軽量な構造で構成することが必須となる。本講演では、観測装置の日本側の分担となっている光学設計、主構造、主鏡アセンブリ、像安定化制御等について、それらの設計検討の進捗状況を報告する。

[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](#)

V228a LOPYUTA(Life-environmentology, Astronomy, and Planetary Ultraviolet Telescope Assembly) 計画の検討状況

土屋史紀 (東北大学), 村上豪 (ISAS), 山崎敦 (ISAS), 木村智樹 (東北大学), 吉岡和夫 (東京大学), 鍵谷将人 (東北大学), 古賀亮一 (名古屋大学), 木村淳 (大阪大学), 成田憲保 (東京大学), 亀田真吾 (立教大学), 生駒大洋 (東京大学), 大内正己 (NAOJ/東京大学), 田中雅臣 (東北大学), 益永圭 (ISAS), 堺正太郎 (東北大学), 埜千尋 (NICT), 桑原正輝 (ISAS), 鳥海森 (ISAS), LOPYUTA WG 検討チーム

LOPYUTA (Life-environmentology, Astronomy, and Planetary Ultraviolet Telescope Assembly) は、2030 年頃の打ち上げを目指す紫外線望遠鏡である。口径 60cm 級の望遠鏡を搭載した小型科学衛星により、ハッブル宇宙望遠鏡並みの感度・空間分解能と特定の対象を継続的に観測する監視性能を獲得することを目指している。木星の水衛星には生命存在可能環境を持つ地下海が存在する可能性がある。表層から吹き出す Plume ガスの検出は地下海存在の証明となる。火星・金星には過去に大量の水を保有していた証拠が見つかっている。大気散逸の観測から大気進化過程と水の行方を解明することが課題である。大気散逸の知見を系外惑星に拡張できれば、大気形成・進化の理解へと踏み込むことが可能となる。LOPYUTA ではこれらの課題に取り組み、太陽系内外の惑星・衛星の生命環境を普遍的視座のもとに理解することを目指す。紫外線天文学はハッブル宇宙望遠鏡により進展したが、銀河形成論や時間領域天文学に関して未開拓の領域が残されている。広視野サーベイと、突発天体現象に対する機動的な観測を可能とすることで、これらの領域の未解決問題に取り組む。2021 年より ISAS 公募型小型計画 WG にて検討を進めている。望遠鏡の支持構造を含めた衛星の概念検討、望遠鏡の振動による指向ブレ補正機構の実証モデルを用いた原理検証、ミラーの材料・コーティングの検討状況についても述べる。

[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](#)

V229a JASMINE 計画の全体的概要と進捗

郷田直輝, 鹿野良平, 辻本拓司, 矢野太平, 上田暁俊, 三好 真, 辰巳大輔, 馬場淳一, 鹿島伸悟, 小宮山 裕, 末松芳法 (国立天文台), 片坐宏一, 白井文彦, 磯部直樹, 和田武彦 (宇宙研/JAXA), 山田良透 (京大理), 河田大介 (UCL), 河原 創 (東大), ほか JASMINE チーム, Exo-JASMINE チーム, データ解析ワーキンググループ一同

JASMINE (JAXA 宇宙科学研究所の公募型小型計画 3 号機の唯一の候補として選ばれている「小型 JASMINE ミッション」) は、赤外線による超高精度位置天文観測により、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、晩期 M 型星周りの生命居住可能領域にある地球型惑星を探索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必要な物理情報をカタログとして作成し、世界の研究者へ公開する。JASMINE は、JAXA での開発フェーズの段階的アップを目指してプロジェクトを推進している。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。また、ミッション要求の再精査、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解析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。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V230a 国産 InGaAs 近赤外イメージセンサーの宇宙用化に向けた陽子線照射試験

鹿野良平, 中屋秀彦, 上田暁俊, 郷田直輝, 満田和久 (国立天文台), 佐藤真一郎 (量研/高崎研), 山田良透 (京都大学), 磯部直樹, 片坐宏一, 白井文彦 (JAXA/ISAS)

国立天文台で地上の天文観測用として開発された国産 InGaAs 近赤外イメージセンサー (中屋ほか, 2020 年春季年会, など) を、科学観測衛星へも利用を拡大すべく、まずは赤外線位置天文観測衛星 JASMINE に向けた検討を行っている。昨年の報告 (中屋ほか, 2021 年宇宙科学シンポジウム; 鹿野ほか, 2021 年春季年会) では、太陽同期極軌道の JASMINE が 3 年間の運用で受ける放射線量 12 krad (アルミ換算で 2mm 厚の遮蔽) に対して、2 倍以上の 26 krad の ^{60}Co ガンマ線 (1.17 MeV, 1.33 MeV) を照射しても良好な性能を維持することを示した。

但し、 ^{60}Co ガンマ線照射では、その高い透過性ゆえに、センサー表面にある InGaAs フォトダイオード部への影響は過小評価とも考えられる。そこで、軌道上放射線の主要項の一つである陽子線での照射試験を、2021 年 6 月に量研・高崎量子応用研究所のイオン照射研究施設 (TIARA) にて実施した。一般に粒子線は、停止直前に多くのエネルギーを放出するため、入射エネルギーで決まる特定の侵入深さにて放出エネルギーのピークを持つ (Bragg peak)。そこで、センサー構造を考慮して、InGaAs フォトダイオード部にて Bragg peak を持ち効果的に影響を与える陽子線として、8MeV 陽子線を照射した。講演では、実際の軌道上での陽子線スペクトルを考慮した照射量の算定とともに、現在の評価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](#)

V231a JASMINE 望遠鏡光学系:3 枚鏡と 2 枚鏡のトレードオフ検討

○鹿島伸悟, 矢野太平, 上田暁俊, 辰巳大輔, 小宮山裕, 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 望遠鏡の光学系としては、これまでずっと 3 枚鏡 (改良型コルシェタイプ) としてきたが、コスト的に厳しいため、更なるコスト低減のためには光学系をもっとシンプルな 2 枚鏡にする必要があるのではないかとの意見が出てきた。

3 枚鏡 (改良型コルシェタイプ) では、視野全面に亘ってほぼ無収差に設計することが可能であったが、2 枚鏡 (カセグレンタイプ) では、原理的に像面湾曲と非点収差が補正できないため視野周辺の性能が落ちる。また、3 枚鏡では、主鏡の穴が小さくなるように設計できるため、バルジからのダイレクト迷光 (光学系を介さず侵入する光) を防ぐことができるが、2 枚鏡では主鏡の穴が大きくなってしまいうため、バルジからのダイレクト迷光を防ぐことができない。そのため、観測している星々の背景光よりも明るい迷光が検出器に到達してしまい、S/N がかなり劣化する。つまり、迷光も含めた光学性能的には 3 枚鏡の方が圧倒的に有利であり、そのためずっと 3 枚鏡をベースとしてきたが、星像中心位置決定精度に関する定量的な解析手法を構築し、それを用いて収差やノイズ成分も考慮した解析を行ったところ、2 枚鏡でもミッション目標を達成可能な感触を得た。

そこで、従来の 3 枚鏡 (改良型コルシェタイプ) と新規設計の 2 枚鏡 (カセグレンタイプ) に関して詳細なトレードオフ検討を行ったため、その内容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](#)

V232a JASMINE の検出器変更可能性と、観測データの再検討

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, 白井文彦 (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た国産の InGaAs 近赤外検出器の搭載も候補として開発を進めている。検出器の変更が行われる場合、観測波長が変更される。JASMINE でどのような天体が観測されるのかを改めて確認する事を目的に VVV、2MASS 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、VVV や 2MASS 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。APOGEE の観測により、NSD の存在が示されたが (Schonrich et al. 2015)、そうした天体の色と JASMINE で観測されるの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 の観測天体の状況を検討する。

[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](#)

V233a JASMINE end-to-end シミュレーション計画の進捗

大澤亮 (東京大学), 山田良透 (京都大学), 河田大介 (UCL), 上塚貴史, 河原創 (東京大学), 大宮正士, 平野照幸 (ABC/NAOJ), 片ざ宏一 (JAXA), 立川崇之 (高知高専), 服部公平 (統数研), 福井暁彦 (東京大学), 吉岡諭 (海洋大), 逢澤正嵩 (李政道研究所), Michael Biermann, Wolfgang Löffler (ARI Heidelberg), 白井文彦 (JAXA), 泉浦秀行, 三好真, 矢野太平, 津久井崇史, 辰巳大輔, 郷田直輝 (NAOJ), JASMINE データ解析ワーキンググループ

JASMINE は銀河中心核バルジ領域を高頻度で繰り返し撮像観測することによって位置天文情報を測定するミッションである。目標となる測定精度を達成するためには、数千回の測定が必要になるだけでなく、様々な擾乱を適切に除去したうえでノイズの中に埋もれた固有運動・年周視差による運動を抽出する必要がある。

JASMINE データ解析ワーキンググループでは、データの取得からアストロメトリパラメータの導出までをすべて模擬した end-to-end シミュレーション (E2E) を進めている。E2E では解析を 3 つのコンポーネント (画像生成, 歪み補正, 位置天文推定) に分割して検討を進めてきた。画像生成部では望遠鏡の波面誤差や姿勢制御, 検出器の読み出しなどの影響を考慮に入れて得られるデータを再現, 実際に天体の位置測定することで, 単一画像で達成可能な位置測定精度を検証する。歪み補正部では衛星の周回ごとに得られた測定結果を集約, Gaia による座標を参照として天体の座標と光学系等の歪みを同時に解決する。観測を模した小サイズのデータセットを生成して, 歪み補正問題を解く試みを進めている。位置天文推定部では点球面上でノイズに埋もれた測定点からアストロメトリパラメータを実際に導出する。天球面上の運動を再現するソフトウェアを作成し, 推定精度の検証を進めている。講演では解析のロードマップを示すとともに, 各コンポーネントの進捗状況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](#)

V234a CIB 観測ロケット実験 CIBER-2 : 観測データ解析の現状と今後の開発課題

松浦周二, 橋本遼, 瀧本幸司, 木田有咲, 河野有哉, 野田千馬, 中川智矢, 長尾亜実, 萩原里紗 (関学大), 佐野圭 (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、星形成史の大局的な研究において重要な観測量である。我々は 2021 年 6 月に 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) の打上げに成功した (2021 年秋季年会講演 松浦ほか)。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 2k \times 2k 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 deg²) 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。

打上げ実験終了後パラシュートで回収した搭載メモリから取り出したデータを解析した結果、検出器をはじめとする観測装置の正常動作が確認できた。しかしメモリ書込みに問題があり高度 200km 以下の時間帯でかなりのデータが失われていることがわかった。また飛行中の全ての時間帯において空力加熱されたロケット外壁による熱放射と推測される迷光が寄与していることがわかった。その一方で、フライト中に検出された星を用いた感度較正が実施できることや限定的ではあるが良質なデータが得られた波長バンドや時間帯があることも確認できた。我々は今回を試験フライトと位置づけ、観測データの解析により問題点を洗い出し、2022 年 12 月に予定する次回実験に向けて観測装置の改修に取りかかった。本講演では以上のようなプロジェクト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](#)

V235a 接合型 Ge 検出器の平面展開構造による未開拓な赤外線波長帯の高感度化

○鈴木仁研 (JAXA), 藤原侑, 齋藤太志, 金田英宏 (名古屋大学), 石丸貴博, 和田武彦 (JAXA), 大藪進喜 (徳島大学)

波長 30 – 60 μm 帯での天体観測は、天文学的に重要な窓であるにも関わらず、他の波長帯に比べて大きな遅れをとっている (未開拓な波長帯)。未開拓な波長帯は、天文衛星搭載用として実績のあるシリコン系検出器と、ゲルマニウム (Ge) 系検出器がカバーする波長帯とのギャップ波長域に位置している。そのため、未開拓波長帯に高感度かつ実用的な量子型検出器がいまだに存在しない。これが大きな遅れをとっている要因である。本研究は、Ge 検出器の構造を刷新することで、未開拓な波長帯に高い光感度を有する赤外線検出器を実現させる。

従来の Ge 検出器では、未開拓波長帯の光は、主にフォノン吸収のために、電気信号として検出できない。しかし、Ge に添加する不純物濃度を従来よりも約 2 桁高い $\sim 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ にすれば、フォノン吸収よりも不純物吸収による過程が支配的になる。そこで、高純度層と高不純物層から成る接合型 Ge 検出器を採用する。さらに、半導体超微細加工技術を導入して接合型構造を平面的に展開することで、赤外線の光吸収層への直接照射と長い光吸収長が実現できる。これらにより、原理上、未開拓な波長帯に高い光感度を有することが期待される。

この予測のもと、平面展開化した接合型 Ge 検出器を試作し、その温度 2 K における電流-電圧特性および、光感度の波長依存性を測定した。その結果、電流-電圧特性から検出器の良好な電気的動作を確認できた。また、波長感度特性から未開拓な波長帯を含む $\sim 30 - 160 \mu\text{m}$ の波長帯に光感度を有することを明らかにした。未開拓波長帯において、従来比約 10 倍の $\sim 10\%$ の量子効率が得られ、高光感度化の実証に成功した。

[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](#)

V236a 次期ひまわり搭載用静止軌道高エネルギー陽子線計測装置開発

大辻賢一 (情報通信研究機構), 三谷烈史 (宇宙科学研究所)

太陽で発生する爆発現象であるフレアや太陽プラズマの噴出現象であるコロナ質量放出 (Coronal Mass Ejection: CME) では、陽子や電子、重イオンが加速されて数 GeV ものエネルギーを持つ粒子として地球に飛来することがある。特に高エネルギー陽子に着目した観点ではこの現象をプロトン現象と呼び、宇宙飛行士や高高度・高緯度を飛行する航空機内の乗客・乗員の被ばくや、シングルイベントに代表される衛星障害など、様々な影響をもたらす。このため、これらの宇宙天候的被害を引き起こす高エネルギー陽子を監視する必要がある。現在情報通信研究機構では、総務省委託研究課題「ひまわりの高機能化研究技術開発」に基づき、次期気象観測衛星に搭載可能な高エネルギー陽子線計測装置の開発を進めている。観測対象は太陽からの高エネルギー粒子および銀河宇宙線中の高エネルギー陽子であり、測定エネルギー範囲は 10 MeV \sim 1 GeV、視野範囲は $\pm 20^\circ$ 、時間分解能 10 秒で軌道軌道における陽子フラックスのエネルギー分布を得ることが目的としている。観測エネルギー範囲が広いいため、シリコン半導体検出器とチェレンコフ光検出器を組み合わせたハイブリッド方式としており、低エネルギー帯 (10 MeV \sim 250 MeV) をシリコン半導体検出器、高エネルギー帯 (250 MeV \sim 1 GeV) をチェレンコフ光検出器でそれぞれ測定する。本講演では高エネルギー陽子線計測装置の概要を紹介するとともに、チェレンコフ光検出装置による高エネルギー粒子検出の基礎実験結果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](#)

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, 田島宏康 (名古屋大), 宮田喜久子 (名城大), 稲守孝哉, 宇佐見雅己, 中澤知洋, 渡部豊喜, 伊藤和也, 松下幸司, 増田智 (名古屋大), 谷浩一, 新井正樹 (合同会社尽星), 宮澤拓也 (OIST), 高橋弘充 (広島大), 渡邊恭子 (防衛大)

太陽フレアに伴い、粒子加速がおき、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。イオンの加速機構解明のため、我々はこれまで主に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、これまで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ている。初号機の50 kg級の、ChubuSat-2は失敗に終わったものの、2号機として次期太陽極大期である2024年頃を目指し、3Uキューブサットミッション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。その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。現在、要素試作モデル(BBM)を開発中であり、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層での陽子ビーム照射テストも実施した。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](#)

V302a 超小型X線衛星NinjaSatに搭載するガスX線検出器の開発 (3)

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), 武田朋志, 吉田勇登, 大田尚享, 内山慶祐(東理大/理研), 佐藤宏樹(芝浦工大/理研), Chin-Ping Hu(彰化師範大/理研), 高橋弘充(広島大), 小高裕和, 丹波翼(東大), 谷口絢太郎(早大/理研)

NinjaSatは6Uキューブサット規格のX線観測衛星で、明るいX線天体の長期観測や、全天X線監視装置(MAXI)などが発見した突発天体の追観測を主な目的とする。2023年4月にCygnus補給船で宇宙ステーション(ISS)に打ち上げられ、CygnusがISSを離脱する際に高度約500kmで放出される。1UサイズのガスX線検出器(GMC)及びSi-PIN放射線帯モニターを2台ずつ搭載する。GMCはガス電子増幅器を内蔵したガスセル、金属コリメーター、高電圧印加・アナログ信号処理ボード、及びデジタル信号処理ボードで構成されている。これまでに、フライトモデル(FM)1台目にガスを封入し、その単体性能評価を行った(武田ほか、2021年秋季年会)。

今回、ガスセルから信号処理ボードまで、FM相当品が全て揃ったので、5台製作する予定の1台目(GMC FM1)を完全に組み立て、そのend-to-end性能評価試験と振動試験を行った。振動試験の目的は(1)機械的な破壊、(2)配線の擦れによる断線、(3)ネジの緩み、(4)ガスのリークを検証することである。ランダム振動試験(20-2000 Hz, 2.72 Grms)と静荷重試験(10-14 G)をX, Y, Z軸に対して行った。その結果、(1)~(3)は目視と各試験の間で行ったモーダルサーベイ(共振点探査)試験で問題がなく、(4)に関してはガスの圧力に依存するガス中の電子増幅度の試験前後の変動が4%以下だったことから、我々はGMCが打ち上げ時の振動に十分な耐性を持つと結論づけた。本講演ではNinjaSatの現状と、GMC FM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](#)

V303a 超小型 X 線衛星 NinjaSat に搭載するガス検出器用の電子回路基板の開発

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), 内山慶祐, 武田朋志, 吉田勇登, 林昇輝 (東理大/理研), 佐藤宏樹 (芝浦工大/理研), Chin-Ping Hu (彰化師範大/理研), 高橋弘充 (広島大), 小高裕和, 丹波翼 (東大), 谷口絢太郎 (早大)

NinjaSat は、X 線天文観測用の 6U サイズ CubeSat であり、2023 年 4 月の打ち上げを予定している。1U サイズの非撮像型ガス検出器を 2 台搭載し、ガスチェンバーで X 線エネルギーに比例して生成した電荷を、同心円状に並ぶ 2 枚の電極で読み出す。アナログ信号処理基板 (Front-end card; FEC) で電荷を電圧信号に変換後、データ取得基板 (Data Acquisition board; DAQ) で AD 変換やデジタル処理を行う。検出器の観測帯域は 2–50 keV であり、衛星運用上の熱バランスを考慮して、回路系は 1 台あたり 2.15 W 以下の最大消費電力を要求される。

FEC は感度 1 V/pC、立ち下がり時間 2.8 μ s のプリアンプを搭載し、その後段で高電圧起源のリプルを切り SN 比を向上させるため、カットオフ周波数 160 kHz のハイパスフィルタを設置していた (大田ほか、2021 年秋季年会)。この回路では波高の約 20% の深さのアンダーシュートが確認されていたが、クロストーク時の偽信号やパイルアップ時の波高低下を引き起こすため、ポールゼロ補償回路を実験により別途設計し、実装した。

EM 電子回路基板の熱真空試験として、軌道上での想定温度範囲 (−20 – +40°C) での起動や性能評価試験を行った。その結果、信号のベースラインが、DAQ に搭載された CPU の温度に相関して約 0.3 mV/K (12 eV/K 相当) 変動することが確認された。この原因を探るため、DAQ 単体で詳細な温度試験を行った。その結果、AD 変換器の消費電流が温度変化することで、そこへの電源供給ラインに挿入したインダクタ (ノイズフィルタ用) が電圧降下を引き起こしていたことが判明したため、FM に向けて DC 抵抗値の低いインダクタを採用した。

[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](#)

V304a 超小型 X 線衛星 NinjaSat に搭載する放射線帯モニターの開発

加藤 陽, 玉川 徹, 榎戸 輝揚, 北口 貴雄, 三原 建弘 (理研), 岩切 渉 (中央大), 沼澤 正樹 (都立大), 武田 朋志, 吉田 勇登, 大田 尚享, 林 昇輝, 内山 慶祐 (東理大/理研), 佐藤 宏樹 (芝浦工大/理研), Chin-Ping Hu (彰化師範大/理研), 高橋 弘充 (広島大), 小高 裕和, 丹波 翼 (東大), 谷口 絢太郎 (早大/理研)

超小型衛星 NinjaSat は、国際宇宙ステーションから放出される 6U CubeSat サイズの超小型 X 線望遠鏡であり、2023 年に打ち上げを予定している。NinjaSat には 1U サイズのガス X 線検出器 (GMC) を 2 台搭載し、高速自転する中性子星や明るいブラックホール連星などを主な観測ターゲットとして運用することを想定している。

GMC のガスセルには高電圧を印加するため、過剰な荷電粒子の入射による放電から GMC を保護することを目的として、放射線帯モニター (RBM) も 2 台搭載する。RBM はオーロラ帯や南大西洋異常帯における GMC の電圧抑制運用のフェールセーフ機能を担う他、太陽フレアなどに伴い突発的に到来する荷電粒子から GMC を保護する役割も担う。RBM のセンサー部分には、電子や陽子に感度を持つ 9 mm 角の Si-PIN フォトダイオードを使用しており、ビーム試験によって高レートの荷電粒子に対しても GMC を保護できる応答性能があることを確認した。また、陽子と電子に対する応答の違いを利用し、どちらのレートが上昇しても GMC 保護機能が動作するように設計している。

RBM はすでにフライトモデルの開発に進んでおり、熱真空試験や振動試験を順次実施する予定である。本発表では、RBM の開発および環境試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](#)

V305a CMOS イメージセンサを用いた硬 X 線撮像偏光計の開発 V

小高裕和, 渡邊泰平, 丹波翼, 岩田季也, 市橋正裕, 谷本敦, 高嶋聡, 春日知明, 南木宙斗, 馬場彩, 神谷好郎 (東大理), 長澤俊作, 南喬博, 高橋忠幸 (東大 Kavli IPMU), 渡辺伸 (JAXA 宇宙研), 成影典之 (国立天文台)

X 線より高いエネルギーの偏光観測はほぼ未開拓の分野であり、特に 10–30 keV の硬 X 線帯域の偏光撮像は依然として技術が確立していない。この硬 X 線帯域は、高い偏光度が期待できる非熱的放射や散乱による放射が卓越し、光子フラックスも十分にあるため、天体物理学における重要性は非常に高い。したがって、この帯域における偏光撮像の実用的な技術の確立が急務となっている。

我々はシリコン半導体イメージセンサと符号化開口マスクを組み合わせた高分解能の撮像偏光計の開発を進めてきた。偏光の検出には光電効果の電子放出方向を測定する必要があり、検出器には $2.5\ \mu\text{m}$ の微小なピクセルサイズを持つ CMOS イメージセンサを用い、それに対応する符号化マスクはレーザー金属微細加工により製作した。これまで、SPring-8 のシンクロトロン放射光ビームを用いて偏光測定能力の評価を行い、10–30 keV での偏光感度を確立し、モジュレーションファクターは 16 keV で 12%であった (2021 年春季年会・島内講演)。

2021 年 11 月には、SPring-8 にて 16 keV の硬 X 線ビームを用い、偏光撮像の実証実験を行った。この偏光撮像計は 30 秒角の角度分解能を持ち、実証実験では複数の偏光角において、天球上の 2 次元領域をスキャン観測する模擬測定を実施した。CMOS センサの読み出し系は独自に開発したもので、FPGA 上でダークレベル減算とイベント抽出処理をオンライン処理し、フレーム時間 600 ms で連続撮影を行う。本講演では、このセンサ読み出し系・光学系を含む装置の設計、複数の解析手法の比較について述べ、実証実験の結果を速報する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V306a CMOS イメージセンサ IU233N5-Z の X 線性能評価と偏光検出の可能性

榎木大修, 高橋弘充 (広島大学)

X 線やガンマ線の偏光観測は高エネルギー天体の放射機構などを探る重要な手段の一つである。しかし X 線やガンマ線の偏光観測は難しく、観測例が乏しい。本研究は CMOS イメージセンサとシンチレータ検出器を用いることで X 線やガンマ線の偏光観測の可能性を探ることを目標としている。

CMOS イメージセンサは CCD などに比べて空間分解能が優れた検出器である。CMOS の感度は可視光から X 線であり、ガンマ線の感度はあまりない。それに対してシンチレータ検出器はガンマ線に感度はあるが空間分解能はないという特徴がある。しかし、近年数 μm と優れた空間分解能を持つシンチレータが研究されている。これらを組み合わせ X 線・ガンマ線の散乱や吸収の電子飛跡を検出することができれば、X 線・ガンマ線の偏光を検出が期待できる。

本研究では、他の CMOS 検出器と比べると安価で、オプティカルグリッドを直接塗るなど様々なことを試しやすい、SONY 製の CMOS イメージセンサ IU233N5-Z を用いた。IU233N5-Z は検出面がおおよそ $1\text{mm} \times 2\text{mm}$ でピクセルサイズが $1.12\ \mu\text{m} \times 1.12\ \mu\text{m}$ の可視光用のセンサである。IU233N5-Z 単体に ^{55}Fe 線源を用いての X 線性能評価を行い、Mn-K α と Mn-K β を検出できた。また、IU233N5-Z の検出面に微細構造を持たない CsI(Tl) シンチレータを取り付けて ^{137}Cs の 662keV ガンマ線の検出を行った。線源の有無で取得した画像の輝度に変化が見られたことから、CMOS でシンチレーション光を検出できることを確認できた。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](#)

V307a 機械学習を用いた X 線判別法

盛 顯捷, 坂本 貴紀, 芹野 素子, 畑 泰代, 山本 あゆ美 (青学大)

X 線撮像素子の画像データから X 線の情報を抽出する方法は、X 線天文衛星「あすか」や「すざく」などでも使われた Grade 判別法が一般的である。Grade 判別法では、X 線イベントの中心ピクセルの周囲 8 ピクセルを対象に、決められた Split 閾値を超えているかどうかを基準として、X 線イベントの広がりパターンを分類する。分類された Grade に応じて、波高値を足し合わせたものを X 線イベントの信号として決定する。

しかし、Grade 判別法では、Split 閾値を定量的に決める事が難しく、閾値によって X 線イベントの情報が変わってしまうという難点がある。また、宇宙環境では宇宙線のような荷電粒子が多く存在するが、Grade 判別法ではイベントの広がりが多い荷電粒子に対しては正しく判別できない。

Grade 判別法の欠点を解消するために、本研究では機械学習の画像認識を用いて、X 線イベントの抽出を行う判別法 (機械学習法) を考案した。画像認識で広く使われる畳み込みニューラルネットワーク (Convolutional neural network, CNN) を使用し、教師データありと教師データなしの 2 種類の方法でモデルの学習を行った。学習済みのモデルを用いて荷電粒子の識別、X 線の広がり判別を行った。判別された結果に応じて、必要となる X 線の情報のみを抽出した。教師データありの学習方法を用いたモデルでは、荷電粒子に対して 99% の高い判別精度を有している事がわかった。

本発表では、機械学習法を CMOS イメージセンサで取得した X 線、荷電粒子のイメージ画像に対して動作させた結果、性能評価および Grade 判別法との比較について報告する。

[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 グラフェン超薄膜を用いた高機能汎用型光学素子の開発 (3)

三石 郁之, 柏倉一斗, 丹羽由実, 小川ともよ, 廣田翠, 田原謙, 北浦良 (名古屋大学), Pablo Solís-Fernández, 河原憲治, 吾郷浩樹 (九州大学), 野本憲太郎, 谷口卓郎, 小高大樹 (ウシオ電機株式会社 R&D 本部)

薄膜光学素子のニーズは幅広く、宇宙分野でも例えば軟 X 線を対象とする飛翔体において、熱制御、可視光防護、汚染物質防護目的等のために利用されている。この薄膜光学素子には各飛翔体で要求される打ち上げ・軌道上環境耐性はもちろん、観測効率の向上を目指した高い X 線透過率が求められる。しかしながら従来のプラスチックフィルムでは両立は難しく、特に軟 X 線帯域の感度には改善の余地が残る。そこで我々は原子 1 個分の薄さ ($\sim 3\text{\AA}$ 厚) にも関わらず耐熱性・機械強度に非常に優れたグラフェンに着目し、極端紫外から軟 X 線帯域において、超高透過率 ($>95\%$ @ 10–1000 eV) を実現しうる超薄膜光学素子の開発に着手した。これまで我々は、転写や緻密なアルミ成膜工程の検討、音響試験や原子状酸素照射試験、極低温試験など、宇宙環境耐性評価試験を実施してきた (三石他, 日本天文学会 2021 年春季年会, 柏倉他, 2021 年秋季年会)。加えて、グラフェンのユニークな物性を利用した地上装置への展開も視野に入れ、汎用型光学素子としての開発も進めてきた。

現在は、電磁波のみならず、電子や流体等を含めた組み合わせに対する広義の超高感度フィルターの実現を目指し、大口径自立膜製作の条件だしを進めている。ポリマー材質の選定やそのコーティング条件、除去方法等の条件出しを進め、直径 100 μm を超える自立グラフェン単層膜の製作に成功している。また、基板材質も石英に加え、銅やステンレス、基板パターンも円のみならずスリット状など、様々なニーズに対する基礎検討も進めている。本講演では、開発の現状やその評価試験結果等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](#)

V309b 湾曲 Si 結晶を用いたブラッグ反射型偏光計の分光性能評価 (2)

井上諒大, 坪井陽子, 岩切渉, 中島七海 (中央大学), 前田良知 (宇宙科学研究所)

天体からの軟 X 線偏光の有意な検出にはこれまでに星雲のみしか成功しておらず、未開拓領域として残されている。例えば太陽フレアにおいて、磁気リコネクションによって加速された非熱的な電子によって励起されたプラズマによる輝線群は、輝線ごとに異なる偏光度で偏光することが予想されている。加えて非熱的制動放射による連続成分も偏光すると予想されており、両者の偏光から電子のダイナミクスを知ることができ、粒子加速機構が解明されることが期待されている。我々は Fe プラズマの輝線群 (6.5 – 8 keV) を含む連続帯域で、5.5 – 8.1 keV の X 線偏光を高いエネルギー分解能 (~ 10 eV) で測定できるよう、ブラッグ反射を利用した Si(100) 結晶と炭素繊維強化プラスチック (CFRP) から成る反射鏡と、焦点付近に位置した X 線イメージセンサからなる光学系を開発している。ブラッグ反射は反射 X 線のエネルギーと反射角が 1 対 1 で対応しているため、平面の結晶では分光ができない。そこで、我々の反射鏡は 9 枚の台形の結晶を 1 つの回転放物面形状に成型し、焦点からイメージセンサをずらすことにより、エネルギーごとの検出位置の違いから分光が可能となっている。またその原理から、焦点からセンサをずらした距離 d とエネルギーによって分光性能が変化する。6.4 keV におけるエネルギー分解能は $\Delta E/E = 5.6/|d \text{ mm}| \%$ となることが分かっているため (2020 秋季年会 V304a)、今回は 8.05 keV での分光性能の評価を行なった。中央大学ビームラインにおいて銅ターゲットを使用し、 $43 \leq d \leq 53$ mm の範囲で実験を行なった。その結果、Cu-K α 1 と K α 2 (19 eV 差) を分離して検出することに成功し、エネルギー分解能は $\Delta E/E = 7.2/|d| \%$ @ 8.05 keV となることが分かった。また、反射鏡を搭載した CubeSat による太陽フレアの偏光分光観測を目標に、1U (10 cm 四方) サイズに反射鏡を設計した場合の最小偏光感度の見積もりを行なった。

[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](#)

V310b X 線反射率向上を目指した原子層堆積法による軽元素膜付け

石川久美, 伊師大貴, 江副祐一郎, 沼澤正樹, 福島碧都, 内野友樹, 作田紗恵, 稲垣綾太, 上田陽功, 森下弘海, 関口るな, 辻雪音, 村川貴俊 (都立大), 満田和久 (国立天文台)

次世代 X 線望遠鏡の一つとして開発が進められているのがシリコンを使った軽量望遠鏡である。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。シリコンは加工が容易な一方、X 線反射率が金やプラチナなどの重金属と比べて低いため、金属の成膜技術が不可欠となる。我々は、原子層堆積法 (Atomic Layer Deposition: ALD) に着目し、開発を進めてきた。ALD では、重金属を含むガスと酸化ガスを交互に流し、表面化学反応の自己制御性を利用して 3 次元構造体に純金属を一層ずつ成膜できる。2030 年代打上げ予定の大型国際 X 線天文衛星 Athena は、シリコンを用いた巨大 X 線望遠鏡を搭載予定である。X 線反射材としてイリジウムを用いているが、吸収端による反射率の低下が問題となっている。そこで、これまで ALD を用いてきた経験を基に、軽元素オーバーコートによる反射率の向上に取り組んだ。

我々は、金属膜としてプラチナ、下地として Al_2O_3 を用いて、その上に軽元素膜 SiC を成膜することに成功した。表面粗さはやや劣化したが、X 線照射試験の結果 1.49 keV で ~ 2 nm rms であり、X 線を反射するのに問題ない。一方で、厚さが ~ 100 nm と厚いため、これを薄くすることを試みた。SiC ~ 20 nm の厚さを試した結果、表面粗さが大きく劣化した。これは、成膜時の温度によって下地が反応し、表面に凹凸が発生することが原因と考えられ、膜厚が厚い時には埋もれていて発見できなかったものである。下地が原因と考えられることから、今後は下地の材質選定などの改善に取り組む。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V311a Cherenkov Telescope Array (CTA) 計画:全体報告 (21)

山本常夏 (甲南大学), 齋藤隆之, 手嶋政廣, 戸谷友則, 野田浩司, 吉越貴紀 (東京大学), 吉田龍生 (茨城大学), 井岡邦仁, 窪秀利 (京都大学), 田島宏康 (名古屋大学), 他 CTA Consortium

チェレンコフ望遠鏡アレイ (CTA) は、大中小の異なる口径のチェレンコフ望遠鏡数十台を使い、現行の望遠鏡に比べて約 10 倍の感度を実現する高エネルギーガンマ線観測装置である。31 か国約 1500 名が参加している国際共同実験で、日本から約 120 名が参加している。南北両半球に一か所ずつ (スペイン・ラパルマ島、チリ・パラナル) 建設され、全天を 20GeV から 300TeV の 4 桁以上のエネルギー帯域で観測する。この装置で高エネルギーガンマ線を放出している天体を高精度観測することにより、高エネルギー宇宙の解明に貢献することを目指している。北サイト、ラパルマ島においては、大口径望遠鏡が 1 台観測を継続しており、さらに 3 台の建設が進められている。並行して建設される中口径望遠鏡とともに、2025 年に完成することを目指している。日本グループは大口径望遠鏡の主鏡、カメラ、データ収集系の開発や、中小口径望遠鏡のカメラ開発を行っている。現在、大口径望遠鏡はネットワークを通してリモートから観測を行っており、かに星雲や活動銀河中心核からの 20GeV ガンマ線検出に成功している。本講演では最近の観測状況や 2-4 号機と南サイト望遠鏡の建設状況、MAGIC ガンマ線望遠鏡との同期観測、望遠鏡の性能評価、SiPM を使った大中小望遠鏡カメラ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](#)

V312a CTA 大口径望遠鏡 2-4 号機カメラ製作の現状

岩崎啓, 岡知彦, 窪秀利, 寺内健太, 野崎誠也 (京都大学), 阿部日向, 猪目祐介, 岩村由樹, 大岡秀行, 岡崎奈緒, 小林志鳳, 齋藤隆之, 櫻井駿介, 高橋光成, 武石 隆治, 手嶋政廣, 野田浩司, 橋山和明, Daniela Hadasch, Daniel Mazin (東京大学), 奥村暁 (名古屋大学), 折戸玲子 (徳島大学), 片桐秀明, 鈴木萌, 野上優人, 吉田龍生 (茨城大学), 佐々木寅旭, 砂田裕志, 立石大, 寺田幸功 (埼玉大学), 川村孔明, 塚本友祐, 山本常夏 (甲南大学), 柳田淳子, 西嶋恭司, 古田智也 (東海大学), 郡司修一, 中森健之 (山形大学), 田中真伸 (KEK 素核研), 他 CTA-Japan Consortium, 池野正弘 (KEK 素核研, Open-It), Antonios Dettlaff (マックスプランク物理)

Cherenkov Telescope Array (CTA) 計画では、大中小 3 種類の口径の望遠鏡を用いて、20 GeV から 300 TeV のガンマ線を現行の望遠鏡に比べて約 10 倍高い感度で観測する。南北両半球 (スペイン・ラパルマ島、チリ・パラナル) に一つずつアレイが建設され、北アレイには低エネルギー帯の観測を担う大口径望遠鏡 (LST) が 4 台建設予定である。2018 年に LST の初号機が完成し、2-4 号機は現在建設中である。LST のカメラは 7 本の光電子増倍管 (PMT) と GHz 波形サンプリング回路を装備した 265 個の PMT モジュールで構成されている。筐体への搭載前に PMT の性能評価に加え、トリガーの動作確認などカメラモジュールとしての試験を行う必要がある。本講演では LST2-4 号機 に搭載する PMT カメラの開発現状を報告する。

[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](#)

V313a CTA 大口径望遠鏡の高画素化に向けた SiPM モジュールの開発

齋藤隆之、猪目祐介、岩村由樹、大岡秀行、岡崎奈緒、櫻井駿介、高橋光成、手嶋政廣、野田浩司、橋山和明、Daniela Hadasch、Daniel Mazin (東京大学)、岩崎啓、岡知彦、窪秀利、寺内健太、野崎誠也 (京都大学)、奥村暁、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)、櫛田淳子、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) 他 CTA-Japan consortium

CTA 大口径望遠鏡 (Large Sized Telescope, LST) の焦点面カメラは、1855 本の光電子増倍管 (photomultiplier tube, PMT) から成っている。空気シャワー像を楕円形のイメージとして捉える従来の解析手法であれば、この画素数で十分である。しかし、ガンマ線観測のバックグラウンドとなるハドロン宇宙線が作る空気シャワー像には、現状の画素数よりも小さいスケールでの構造が存在することが知られている。カメラの画素数を上げることでその構造を検出し、解析に活用すれば、バックグラウンド事象数の低減、望遠鏡感度の向上が期待できる。さらに、画素の面積が小さくなれば、半導体型の光検出機、SiPM の採用が可能になる。SiPM は、量子効率、電荷分解能、耐久性、必要高電圧の点において、従来の PMT に優っている。一方で、パルス幅が広い、ゲインの温度依存性が大きい、オプティカルクロストークにより検出光子数の分解能が落ちるなどの短所もある。本講演では、LST のカメラの高画素化に向けた、SiPM モジュールの開発の現状について報告する。SiPM の基礎特性の評価に加え、LST に搭載する上で課題となりうるパルス波形整形や、ゲインの温度補償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](#)

V314a 硬 X 線偏光検出気球実験 XL-Calibur 用 X 線望遠鏡の開発 (3)

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)、今里郁弥、山本龍哉、内田悠介、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 線域で高感度な偏光観測を目標とする日米瑞の国際協力気球実験である。この実験では、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 分角程度の硬 X 線望遠鏡を搭載する。この望遠鏡のデザインは、ひとみ衛星用硬 X 線望遠鏡とほぼ同一の Wolter-I 型 2 回反射斜入射光学系である。望遠鏡は円周方向に 3 セグメントに分かれており、各セグメントの上下段に 213 シェルの薄板反射鏡を搭載しており、合計 1278 枚の薄板反射鏡からなる。更に、これらの薄板反射鏡は櫛の歯状のアライメントバーで保持されている。2020 年 12 月までに望遠鏡の結像性能に大きく影響するアライメントバーの位置調整が、全ての反射鏡において完了しており、2021 年 6 月には本望遠鏡の結像性能や有効面積等の性能測定実験を大型放射光施設 SPring-8 の BL20B2 にて行った。本講演では、散乱体である Be ロッドのサイズを考慮した有効面積など新たな結果を含めた、地上試験で求めた X 線望遠鏡の最終性能や観測予想について報告を行う予定である。

[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](#)

V315a 硬 X 線偏光検出気球実験 XL-Calibur の現状と噛み合わせ試験の報告

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), 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), 今里郁弥, 山本龍哉, 内田悠介, 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, 栗本久光 (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 は、日米瑞の国際協力で行われる 15–80 keV の硬 X 線域で高感度な偏光観測を目標とする気球実験計画である。本計画では、口径 45 cm の Wolter-I 型 2 回反射斜入射望遠鏡を搭載し、12 m 先の偏光計に硬 X 線を集光する。我々は 2020 年 12 月までにこの望遠鏡の反射鏡フォイルの位置調整を、2021 年 6 月に望遠鏡の性能測定を大型放射光施設 SPring-8 の BL20B2 にて行った。その結果、角度分解能・有効面積ともに要求を満たす結果となった (鴨川他 2021 年度秋季年会 V310b)。

以上で望遠鏡の調整は終了し、2022 年のスウェーデンからのフライトに先駆けて、2021 年 11 月 4 日から 11 月 17 日の期間に NASA/Wallops Flight Facility (WFF) にて望遠鏡と偏光計、姿勢制御系の噛み合わせ試験を行った。試験では 12 m 長のトラスの両端に偏光計と望遠鏡の FM 品と同等の重さの BBM を取り付け、取り付け位置やバランスの確認を行った。さらに、フライトを想定した姿勢制御試験を行い、十分な制度で制御できていることの確認ができた。本講演では、XL-Calibur 計画の準備状況と WFF での試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](#)

V316a GRAMS 計画 4: MeV ガンマ線観測・ダークマター探索気球実験

米田浩基, 辻直美 (理研), 小高裕和, 高嶋聡, 丹波翼, 南木宙斗, 馬場彩, 八幡和志 (東京大), 青山一天, 岩澤広大, 櫻井真由, 田中雅士, 中曾根太地, 寄田浩平 (早稲田大), 一戸悠人, Dmitry Khangulyan (立教大), 井上芳幸 (大阪大), 内田悠介, 須田祐介, 高橋弘允, 深沢泰司 (広島大), 大野雅功 (エトヴェシュ・ローランド大), 広島渚 (富山大), Tsuguo Aramaki (ノースイースタン大), Georgia Karagiorgi (コロンビア大), Reshmi Mukherjee (バーナードカレッジ), GRAMS コラボレーション

0.1–10 MeV の電磁波帯域は、原子核から放出される核ガンマ線を含み、連星中性子合体を始めとした高エネルギー現象での核反応を直接的にプローブできる観測領域である。その一方で、X 線や GeV ガンマ線と比べると、これまでに到達した感度が 1–2 桁悪く、観測的進展が長年望まれてきた。我々は、この MeV ガンマ線天文学を開拓するため、Liquid Argon 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 実験を推進している。液体検出器を用いることで、高密度・大容量の検出器を実現し、これまでにない大きな有効面積での観測を目指している。

GRAMS 計画は、現在、ミッション立ち上げに向けて、日米国際協力のもと、ハードウェア開発・解析アルゴリズムを含むシミュレーション開発・サイエンス検討の点から準備を進めている。本講演では、これまで開発を進めてきた多重コンプトン散乱イベントの再構成アルゴリズムと検出器シミュレーションの現状と、それらに基づいた MeV ガンマ線観測の性能予測について報告する。また、LArTPC プロトタイプの開発状況と計画についても述べる。

[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](#)

V317a 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

成影 典之 (国立天文台), 渡辺 伸, 坂尾 太郎 (宇宙航空研究開発機構), 高橋 忠幸, 長澤 俊作, 南 喬博 (東京大学 カブリ IPMU), 三石 郁之, 瀧川 歩, 作田 皓基, 安福 千貴 (名古屋大学), 川手 朋子 (核融合科学研究所), 石川 真之介 (立教大学), Lindsay Glesener (University of Minnesota), FOXSI-4 チーム

日米共同観測ロケット実験 Focusing Optics X-ray Solar Imager の 4 回目の飛翔計画である FOXSI-4 は、世界初となる太陽フレアに対する X 線集光撮像分光観測 (0.5keV~30keV) を行う。その目的は、磁気再結合が引き起こす磁気エネルギーの解放とそれによって生じるエネルギー変換機構の追究に必要な研究手法および観測技術の実証と研究基盤の構築である。本計画は、米国 NASA の観測ロケットを用いて 2024 年春に実施予定であり (NASA に最高評価の Excellent で採択済み)、日本では JAXA 宇宙科学研究所の小規模計画 (2020 年度公募に採択) として準備を進めている。用いる観測手法は、過去 3 度の飛翔と同様、高精度ミラーと高速度カメラの組み合わせによる X 線集光撮像分光であるが、太陽フレア観測に向け各コンポーネントにアップデートを施す。

FOXSI-4 計画の実施は、次のような多角的意義を持つ。(1) 太陽フレアの X 線集光撮像分光観測 (世界初) を実現し、それによって可能となる精密プラズマ診断により高エネルギー現象の物理的理解に挑む基盤を構築する。(2) 様々な小規模実験に活用できる標準ハードウェアの構築を意識した装置開発。(3) 観測時間が 5 分程度に限られる観測ロケットでは困難であった太陽フレア (発生の予測が困難な観測対象) の観測に挑むものであり、観測ロケット実験の可能性を広げる挑戦的な試み。(4) FOXSI の発展版として検討を進めている PhoENiX 衛星計画にとって、科学的・技術的実証の絶好の機会。(5) 若手研究者や大学院生が直接宇宙ミッションに携わることが出来る貴重な人材育成の機会。本講演では、この様な FOXSI-4 計画の概要を観測装置を中心に説明する。

[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](#)

V318a 太陽観測ロケット実験 FOXSI-4 に向けたワイドギャップ CdTe ストリップ検出器の開発と性能評価 II

長澤俊作, 南喬博, 高橋忠幸 (東大 Kavli IPMU), 渡辺伸 (JAXA 宇宙研), 市橋正裕, 岩田季也, 小高裕和, 高嶋聡, 谷本敦, 丹波翼, 渡邊泰平 (東大理), 神谷好郎 (東大 ICEPP), 成影典之 (国立天文台)

FOXSI(Focusing Optics X-ray Solar Imager) は、太陽からの X 線放射を集光撮像分光する観測ロケット実験である。2024 年には 4 回目の打ち上げ FOXSI-4 が予定されており、我々は、5-30 keV の硬 X 線帯域を担う CdTe 半導体両面ストリップ型検出器 (CdTe-DSD) の開発を進めている。FOXSI-4 では、ストリップ間のギャップ幅を従来の 10 μm から 30 ~ 50 μm に広げ隣接する電極間での電荷共有を引き起こすことで、ピッチ幅以下の位置分解能 (< 20 μm) 実現を目指している。2021 年秋季年会では、Cathode 面だけにワイドギャップを持つ試験検出器で性能評価を行い、エネルギー分解能を維持しつつ電荷共有事象を増加させる事ができることを報告した。

本講演では、試験検出器の結果を踏まえて、両面にワイドギャップを持つ CdTe-DSD を新たに開発し性能評価を行ったので、その結果を報告する。線源を用いて一様に X 線照射を行ったほか、ピッチ幅以下の空間スケールで光子の入射位置と検出器の応答を調べるため、2021 年 11 月に兵庫県 SPring-8 にて高フラックス X 線ビームを利用した検出器のスキャニング試験を行った。7-35 keV のエネルギー帯域で、~ 10 μm 四方にスリットを使ってビームサイズを絞った状態で、精密ステージにより照射位置を 10 μm 毎に変えながら測定を行った。以上の測定結果から、両面のエネルギー、隣接する電極間での電荷共有の情報をもとに、光子反応位置の深さ依存性、ギャップによるチャージロス、電荷輸送特性の影響を詳細に調べ上げ、これらを考慮した新たなエネルギー・位置再構成方法の検討を行った。

[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](#)

V319a 電鍍技術を用いた飛翔体搭載用高角度分解能多重薄板型 X 線望遠鏡の開発 (6)

作田皓基, 瀧川歩, 安福千貴, 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), 寺澤颯真, 宮田喜久子 (名城大学), 山口豪太, 伊藤旺成, 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)

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) を用いて、高角度分解能と大有効面積を併せ持つ次世代宇宙 X 線望遠鏡開発を進めている。この実現には、地上電鍍鏡開発技術を用いた高精度反射鏡の一桁以上の大口径・長焦点化と、二段一体全周反射鏡の精密位置調整が行える支持機構の開発が必要となる。これまでに、 ϕ 60 mm Wolter-I 型反射鏡試作に成功し (Takigawa Sakuta et al., JATIS, submitted), 反射鏡全面照射による結像イメージを初めて取得した。広がった天体に対する感度の指標である HPD は $> 50''$ (@ 15 keV) にもかかわらず、点源感度を示す FWHM は $\sim 4''$ (@ 15 keV) であり、過去の飛翔体搭載高感度電鍍 X 線望遠鏡と並ぶ性能となった (日本天文学会 2021 年秋季年会 瀧川他)。

更なる角度分解能の改善を目指し、電鍍条件を変更することにより、反射鏡の形状誤差の大幅改善に成功した (RMS $\sim 0.5 \mu\text{m}/\text{PV} \sim 4.8 \mu\text{m}$)。SPring-8 で X 線特性を評価したところ、ステージ同期精度を考慮した補正等を行う必要があるものの、初期解析結果では HPD $\sim 16''$ (@ 15 keV) が得られ、分解能が大幅に改善された。さらに、5 mm 程度 (全周の 3% に相当) のスポット照射を実施したところ、最も良い領域で HPW $\sim 8''$ (@ 15 keV) を得た。分解能の主要劣化要因は母型の形状誤差であり、更なる分解能の向上には、母型加工方法の改善が必須となる。本講演では、X 線照射試験の詳細に加え、振動試験等の宇宙環境耐性評価試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](#)

V320a X 線偏光観測衛星 IXPE の現状 (1)

玉川 徹, 北口貴雄, 榎戸輝揚 (理研), 内山慶祐, 武田朋志 (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, 斎藤 耀, 菅 佑真 (山形大), 深沢泰司, 水野恒史, 高橋弘充, 内田和海, Zhang Sixuan (広島大), 岩切 渉 (中央大), 林田 清, 朝倉一統 (大阪大), Martin Weiskopf, 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 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る。打ち上げ後は、約 1 ヶ月間のコミッション期間を経て、科学運用が始まる予定である。初年度の観測対象は、高エネルギー天体のほぼ全てのカテゴリを網羅しており、そのリストは一般に公開されている (https://ixpe.msfc.nasa.gov/for_scientists/ltp.html)。本講演では、IXPE 衛星の詳細と打ち上げ後の現状、今後の観測プラン等について報告する。

[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 X線分光撮像衛星 XRISM 搭載 X線望遠鏡 (XMA) 開発の現状 (6)

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, 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), 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 に搭載する X 線望遠鏡 (XMA: X-ray Mirror Assembly) を開発している。XMA は XRISM の 2 つの観測システム (Resolve, Xtend) で X 線の集光と結像を担う。XMA1, 2 号機ともに 2021 年の 8 月までに完成し、8 月末から GSFC の 100 メートル X 線ビームラインで地上較正試験を開始した。1 号機を Resolve 用であると想定し、先に測定している。1.5, 4.5, 6.4, 8.0, 9.4, 11.1, 17.5 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 cm²、結像性能はこのエネルギー内では Half-Power diameter で 1.2–1.3 分角となった。上記のそれぞれのエネルギーで、XMA を傾けた時のデータも取得した。特に 6.4 keV では、Resolve の視野 (3×3 分角) と画素子サイズ (6×6 ピクセル) を考慮し、光軸を中心に、45 度毎、8 つ位相角 (roll 角) 方向に 0.5, 1, 2, 3, 4.5 分角傾けたデータも取得済みである。反射鏡の反射体に用いている金の吸収端付近では、連続 X 線を用いてエネルギーと有効面積の複雑な関係を押さえた。さらに、口径上の 10×10 mm 領域毎の性能測定も実施した。ここから得られる、局所的な集光像の広がりや焦点距離のばらつきは応答関数に取り込まれる。1 号機の測定終了後は、速やかに 2 号機の測定を開始予定である。本講演では、地上較正試験の結果を中心に、XMA 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](#)

V322a 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 (7)

萩野浩一 (東京理科大学), 内田裕之 (京都大学), 野田博文, 林田清 (大阪大学), 冨田洋 (ISAS/JAXA), 森浩二 (宮崎大学), 中嶋大 (関東学院大学), 田中孝明 (甲南大学), 鶴剛 (京都大学), 松本浩典 (大阪大学), 岡島崇 (NASA/GSFC), 吉田鉄生, 米山友景, 石田学, 前田良知 (ISAS/JAXA), 村上弘志 (東北学院大学), 山内誠, 廿日出勇 (宮崎大学), 信川正順 (奈良教育大学), 信川久実子 (近畿大学), 幸村孝由, 小林翔悟 (東京理科大学), 鈴木寛大 (甲南大学), 平賀純子 (関西学院大学), 内山秀樹 (静岡大学), 山岡和貴 (名古屋大学), 尾崎正伸, 堂谷忠靖 (ISAS/JAXA) 常深博 (大阪大学), 水野恒史 (広島大学), 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 線反射鏡 (XMA) と X 線 CCD カメラ (SXI) で構成される軟 X 線撮像装置 Xtend が搭載される。Xtend は、4 枚の CCD 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 分角の広視野での集光撮像観測を実現する。2021 年秋季年会で報告したように、SXI はフライト品の CCD 素子をカメラに組み込んだ状態で CCD を冷却する SXI システム全体の噛み合わせ試験を完了しており、現在、フライト品の SXI の環境試験を進めている段階である。2021 年 10 月に行った熱真空試験では、軌道上を想定した高温・低温条件下で CCD を冷却し、CCD の性能や熱制御系の動作の検証を実施した。さらに、12 月には振動・音響試験を実施する予定である。本講演では、熱真空試験の結果を中心にフライト品開発の進捗状況を報告し、地上試験で取得したデータを用いた較正の進捗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](#)

V323a X線分光撮像衛星 XRISM 搭載 Resolve の開発の現状 VIII

Y. Ishisaki^{A,I}, R.L. Kelley^B, H. Akamatsu^C, H. Awaki^D, T.G. Bialas^B, G.V. Brown^E, M.P. Chiao^B, E. Costantini^C, J.-W. den Herder^C, M.J. Dipirro^B, M.E. Eckart^E, Y. Ezoe^A, C. Ferrigno^F, R. Fujimoto^{G,I}, A. Furuzawa^H, S.M. Graham^B, M. Grim^C, T. Hayashi^B, A. Hoshino^I, Y. Ichinohe^K, R. Iizuka^I, M. Ishida^I, K. Ishikawa^A, C.A. Kilbourne^B, S. Kitamoto^K, M.A. Leutenegger^B, Y. Maeda^I, D. McCammon^L, I. Mitsuishi^J, M. Mizumoto^Q, T. Okajima^B, S. Paltani^F, F.S. Porter^B, K. Sato^O, T. Sato^K, M. Sawada^M, H. Seta^A, P.J. Shirron^B, G.A. Sneiderman^B, Y. Soong^B, A.E. Szymkowiak^P, Y. Takei^I, T. Tamagawa^M, M. Tsujimoto^I, Y. Uchida^R, C.P. de Vries^C, S. Yamada^K, N.Y. Yamasaki^I, S. Yasuda^I, N. Yoshioka^I (都立大^A, NASA^B, SRON^C, 愛媛大^D, LLNL^E, U-Geneva^F, 金沢大^G, 藤田保健衛生大^H, JAXA^I, 名古屋大^J, 立教大^K, U-Wisconsin^L, RIKEN^M, 東北大^N, 埼玉大^O, Yale-U^P, 京都大^Q, 広島大^R)

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 6×6 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。NASA 担当のマイクロカロリメータ、断熱消磁冷凍機、制御エレキ、X 線望遠鏡については 2017 年より FM 製作を開始、センサ単体での評価では「ひとみ」と同等の性能が得られている。日本が担当する液体 He デュワーについて、FM センサの組み込み後の 2020 年 3 月に発生した液体ヘリウムのリークの対策を 2021 年 6 月に完了した。8 月に筑波宇宙センターに DWR を移動してセンサ性能を確認し、10 月より *Resolve* の FM 機器 (XMA 以外) を組み合わせた試験を進めている。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](#)

V324a XRISM 衛星搭載極低温検出器における機械式冷凍機による微小擾乱の影響評価

今村竜太, 粟木久光 (愛媛大学), 辻本匡弘 (JAXA/ISAS), 山田真也 (立教大学), 竹井洋 (JAXA), F. S. Porter, C. A. Kilbourne, R. L. Kelley (NASA), on behalf of the XRISM

XRISM 衛星に搭載される極低温マイクロカロリメータ *Resolve* は 0.3 – 12 keV の帯域で 7 eV @ 6 keV の高いエネルギー分解能を有する分光装置である。この高いエネルギー分解能を達成するためには、検出部の温度を極低温で安定させる必要があり、*Resolve* では、断熱消磁冷凍機 (ADR) と液体 He、機械式冷凍機である 2 段階スターリング冷凍機とジュールトムソン冷凍機を用いることで検出部を 50 mK で安定させる。マイクロカロリメータのような極低温検出器では、機械式冷凍機などが原因で発生する微小擾乱によって 10–500 Hz の周波数帯でノイズが発生する。これは極低温検出器では一般的で固有な問題である。

2019 年 12 月から 2021 年 12 月にかけて行われた *Resolve* サブシステム試験では、微小擾乱によるノイズを特定するために、加速度データと検出器のノイズデータを同時に取得した。その他、検出器面の温度や ADR のマグネット電流のデータも取得した。これらのデータから、冷凍機の高調波のうちデュワーの共鳴周波数と近いものが検出器のノイズスペクトルにラインノイズとして表れるとともに、デュワーの共鳴周波数のうち特定のものと 2 つの冷凍機の高調波の周波数が共に近い場合、2 つの冷凍機高調波のビート周波数に対応するラインノイズが 0–20 Hz の低周波域に見られた。デュワーの共鳴周波数を回避することで、ノイズが減少し、検出器の分光性能が良くなることが分かっている。我々は、ノイズが最小となる最適な冷凍機駆動周波数の組を見つける方法を確立し、エネルギー分解能約 4 eV を実現することができた。本講演では、以上の 2 つの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](#)

V325a XRISM 搭載 Resolve のエネルギー値較正用 ^{55}Mn 線源の絶対強度測定

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 線天文衛星の XRISM にはこれまでの X 線天文衛星で主流であった CCD カメラの 30 倍ものエネルギー分解能を持つマイクロカロリメータである Resolve が搭載されている。マイクロカロリメータは、X 線が素子にあたった時にごくわずかに温度が上がることを利用してエネルギーを測定する装置である。その Resolve に搭載するエネルギー較正用の線源の絶対強度を測定することが本研究の目的である。本実験は JAXA 宇宙科学研究所にある 30m ビームラインの真空チャンバを用いて行った。チャンバ内の鉛直軸回りの回転ステージ上に 60° おきに 6 個の線源サンプルを設置した後、チャンバ内を真空にし、回転ステージの向かいにある検出器ステージを検出器が線源の真正面になるように移動させた。6 個の線源は ^{55}Mn であり、エネルギー 5.895 keV の特性 X 線を放出する。これが Resolve のエネルギー較正用の X 線である。検出器には絶対強度を求めるのに信頼度の高い P10 ガス (Ar 90%、メタン 10%) のガスフロー型比例計数管を用いている。このようなセットアップで各線源の正面での強度を調べるとともに、線源強度の出射方向依存性を調べるために、検出器の載った移動ステージを上下方向、左右方向に移動させながら線源の強度がどのように変化するかを調べた。得られたスペクトルに対しては検出器のバックグラウンドを差し引いた上で、5.895 keV のエネルギーに対応する輝線と、そのエスケープピークにそれぞれガウシアンをフィッティングして合計の強度を求め、P10 ガスの阻止能、入射窓による吸収の補正、気温や気圧を考慮した上で比例計数管の入射窓直上での単位立体角あたりの線源強度を導出した。線源強度の角度依存性については、これらに加えて比例計数管の入射窓の立体角の補正を行った。これらの測定結果に基づいて、6 個の線源の中から実際のフライトに使用する 5 つの線源を選び出した。

[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](#)

V326a X 線分光撮像衛星 XRISM の科学運用準備の現状

林克洋 (ISAS/JAXA), 田代信, 寺田幸功 (埼大, ISAS/JAXA), 高橋弘充 (広大), 信川正順 (奈良教育大), 水野恒史 (広大), 宇野伸一郎 (日本福祉大), 久保田あや (芝浦工大), 中澤知洋 (名大), 渡辺伸, 飯塚亮, 佐藤理江, 米山友景 (ISAS/JAXA), Chris Baluta (NASA/GSFC), 海老沢研 (ISAS/JAXA), 江口智士 (福岡大), 深澤泰司 (広大), 加藤颯 (埼大), 勝田哲 (埼大), 北口貴雄 (理研), 小高裕和 (東大), 大野雅功 (広大), 太田直美 (奈良女大), 阪間美南 (埼大), 佐藤諒平 (埼大), 志達めぐみ (愛大), 菅原泰晴 (ISAS/JAXA), 丹波翼 (東大), 谷本敦 (東大), 寺島雄一 (愛大), 坪井陽子 (中央大), 内田和海 (ISAS/JAXA), 内田悠介 (広大), 内山秀樹 (静大), 山内茂雄 (奈良女大)

2022 年度打ち上げ予定の X 線分光撮像衛星 XRISM プロジェクトでは、搭載検出器の開発チームや衛星運用チームとは独立に、打ち上げ前の早い段階から科学運用チームを立ち上げ、軌道上でのスムーズな科学運用の実施と、科学観測のアウトプットを最大限に引き出すための周到な準備を行っている。現在の主な活動は、観測提案システムの構築、観測スケジューリングなどの観測計画プロセスの樹立、観測情報などを収集するデータベースの構築、衛星テレメトリーの高次データ処理とその即時解析やアーカイブのためのシステム構築、軌道上較正観測のソフトウェア開発や較正観測計画の補助、ユーザーサポート・ヘルプデスク活動計画の樹立などである。「ひとみ」の観測データや、XRISM 搭載検出器の機能試験および衛星のシステム試験で得られたテレメトリデータを使って、地上システム単体での動作試験や、システム間のインターフェイス試験を実施している。これらの活動は、搭載検出器の開発チーム、NASA/GSFC や ESAC の地上ソフトウェアチームやユーザーサポートメンバーと協力しながら進めている。本講演では、これら XRISM 衛星の科学運用準備の現状と今後について報告する。

[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](#)

V327a X線分光撮像衛星 XRISM の観測データ処理とその準備状況

高橋弘充 (廣大), 田代信, 寺田幸功 (埼大, ISAS/JAXA), 信川正順 (奈良教育大), 水野恒史 (廣大), 宇野伸一郎 (日本福祉大), 久保田あや (芝浦工大), 中澤知洋 (名大), 渡辺伸, 飯塚亮, 佐藤理江, 林克洋, 米山友景 (ISAS/JAXA), Chris Baluta (NASA/GSFC), 海老沢研 (ISAS/JAXA), 江口智士 (福岡大), 深澤泰司 (廣大), 加藤颯 (埼大), 勝田哲 (埼大), 北口貴雄 (理研), 小高裕和 (東大), 大野雅功 (廣大), 太田直美 (奈良女大), 阪間美南 (埼大), 佐藤諒平 (埼大), 志達めぐみ (愛大), 菅原泰晴 (ISAS/JAXA), 丹波翼 (東大), 谷本敦 (東大), 寺島雄一 (愛大), 坪井陽子 (中央大), 内田和海 (ISAS/JAXA), 内田悠介 (廣大), 内山秀樹 (静大), 山内茂雄 (奈良女大)

2022 年度打ち上げ予定の X 線分光撮像衛星 XRISM においても、観測データは衛星固有の形式で保存される。これを世界標準の FITS 形式に変換し、さらに検出器データを較正して、ユーザーが利用できるように処理する必要がある (観測データ処理)。まず日本の ISAS/JAXA において、生のテレメトリーデータから衛星バスや 2 検出器 (Resolve、Xtend) ごとに分割された FITS 形式に変換する (プレパイプライン処理)。この変換データは、米国 NASA/GSFC へ送られ、較正が実施される (パイプライン処理)。最終生成物である FITS ファイルは、ISAS/JAXA にも送り返され、ISAS/JAXA と NASA/GSFC の両サイトからダウンロードできるようになる。

ある天体の観測が終了すると、姿勢および軌道情報が数日で確定し、その後に観測データ処理が実施され、全体で約 1 週間で観測者へデータが届くことを目指している。これまでに、過去の「ひとみ」衛星の観測データを利用した試験、XRISM 衛星からのバスデータの処理を実施し、着実な処理に向けて準備が進んでいる。本講演では、観測データ処理の詳細および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](#)

V328a X線分光撮像衛星 XRISM 時刻システムの地上評価検証

寺田幸功 (埼大, ISAS/JAXA), 高橋弘充 (廣大), 飯塚亮 (ISAS/JAXA), 林克洋 (ISAS/JAXA), 志達めぐみ (愛媛大), 加藤颯 (埼大), 佐藤諒平 (埼大), 他 XRISM Mission Operation Preparation Team, 小湊隆 (日本電気)

2022 年度に打ち上げ予定の X 線分光撮像衛星 XRISM は、その科学目標から、到来光子の決定時刻に対し、 1σ で 1 ミリ秒の絶対時刻精度が要求されている。衛星搭載機器および地上系で構成される XRISM 衛星の時刻システムは、「ひとみ」衛星の時刻システム開発の方針にならい、システム内の時刻誤差要因ごとに時刻精度のバジェット値を設定して、時刻システム全体で絶対時刻精度の要求を満たすように設計され管理されている。このうち、衛星バス系および地上の高次データ処理系に対する精度は 350 マイクロ秒が割り当てられている。XRISM 衛星は GPS 受信機を搭載しているため、GPS 衛星を捕捉し、衛星時刻が GPS 時系に同期している時間帯は、この精度は十分に満たせる。一方で、万が一、GPS 衛星が捕捉できない等の理由で GPS 時系に同期していない時間帯は、衛星バス系に搭載した中央処理装置のクロックを較正しながら時刻を再構成するため、オフラインでの高次データ処理が複雑となる。

我々は、衛星時刻が GPS 時系に同期していない場合でも、衛星バス系および地上の高次データ処理系の時刻精度が、時刻精度のバジェット (要求値) を満たすか検証するために、2021 年 1 月と 9 月に衛星の実機を用いた時刻精度評価試験を実施した。本講演では、XRISM の地上時刻精度評価試験の詳細と、その検証結果をお伝えする。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V329a ダークバリオン探査ミッション Super DIOS の開発へ向けた検討 IX

佐藤浩介(埼玉大)、山崎典子、石田学、前田良知 (ISAS/JAXA)、満田和久 (NAOJ)、三石郁之、田原譲(名古屋大)、石崎欣尚、江副祐一郎、藤田裕(都立大)、鶴剛、大里健(京都大)、永井大輔(Yale大)、吉川耕司(筑波大)、山田真也、一戸悠人(立教大)、内田悠介(広島大)、河合誠之(東工大)、松下恭子(東京理科大)、太田直美(奈良女子大)、藤本龍一(金沢大)、中島裕貴(産総研/PTB)

宇宙のバリオン進化、特に大局的なエネルギーの流れや物質循環を明らかにするためには、広い領域をサーベイして銀河や銀河団、及びその周辺部や宇宙の大規模構造に付随するガスを定量的に観測することが必要である。2022 年度打ち上げ予定の X 線分光撮像衛星「XIRSM」や 2031 年打ち上げ予定の欧州大型 X 線衛星「Athena」に搭載される X 線カロリメータ検出器は、高いエネルギー分光能力 ($E/\Delta E \geq 1000$) と空間的な撮像能力によって、宇宙の高エネルギー現象の解明に飛躍的な進歩をもたらすと期待される。我々はその知見をもとに宇宙のバリオン進化の解明に向けたミッション提案を検討している。

我々はサイエンスの実現性及び衛星設計要求を検討するため、宇宙論的シミュレーションデータベース「Illustris-TNG」を用いて科学目標の議論を進めている。並行して、観測器の基礎技術開発を行っており、多画素 TES カロリメータ読み出し用のマイクロ波多重 SQUID 技術の開発を JAXA/産総研/埼玉大/立教大/都立大で進めている。一方、名古屋大が高い空間撮像能力を実現する X 線望遠鏡の基礎開発を進めるとともに、名古屋大/埼玉大/JAXA でグラフェン素子を用いた X 線入射窓の開発や、極低温下でのカロリメータ磁場環境のための超伝導メッシュ磁気シールドの開発を行っている。本講演では、サイエンス検討の現状とハードウェア開発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](#)

V330a 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 (13)

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、萩野浩一(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(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)、大野雅功(Eötvös Loránd)、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、次回の衛星提案にむけて、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システム・サブシステムデザインの最適化を進めている。本講演では、それらの現状と今後の方針について報告する。

[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 はくちょう座 X-1 の Dip の観測 II

八木駿介, 北本俊二 (立教大学)

はくちょう座 X-1 は、BH と O Iab 型超巨星 HDE226868 から成る公転周期 5.6 日の BH 連星系で、距離は約 1.86kpc と推定されている。超巨星からの星風の一部が BH に降着し、降着円盤が形成され X 線が放射されている。X 線の観測によると、high/soft state と low/hard state と呼ばれる状態があり、明るさやエネルギースペクトルが異なる。この原因は、降着円盤の様子が変化していることに関係していると考えられている。

はくちょう座 X-1 は Dip (吸収 Dip) と呼ばれる現象を示す。Dip は公転位相において、BH の外合付近で生じることが多いことと、Dip 中のスペクトル変化から、Dip はほぼ中性のガスによる吸収現象であると推定される。吸収に寄与しているガスは、星風の低電離で高密度な部分、あるいは超巨星に付随した低電離のガスと考えられる。従って、Dip 中の継続時間や突入出現時間を調べ、吸収ガスと BH の相対速度を仮定することで、吸収ガスの大きさや、X 線放射領域の大きさを調べることができる。そこで、八木他 (2021 年秋季年会 W08a) では、大面積で時間分解能の高い RXTE 衛星が観測したはくちょう座 X-1 の Dip のデータを調査した。そして、検出したいくつかの早い変動 (数秒で吸収ガスが放射領域を覆い、数秒で復活する現象等) を示す Dip を抽出し、モデルを仮定して X 線放射領域の大きさを考察した結果を報告した。

今回は、Dip 中のエネルギースペクトルに見られる吸収は部分吸収であることが多く、吸収量や部分吸収の割合が Dip 中にも変化していることを念頭に置き、Dip 中の時間経過に伴うスペクトルの時間発展の解析を行った。Dip 中に生じているガスによる吸収の様子の時間経過を追跡することで、X 線放射領域の大きさとともに、生じている現象について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](#)

W02a ブラックホール連星 MAXI J1820+070 における X 線光度短時間変動のエネルギー依存性

河村天陽 (東京大学), Chris Done (Durham University), Magnus Axelsson (Stockholm University), 高橋忠幸 (Kavli IPMU)

ブラックホール連星のハード状態は、非熱的放射やジェットといった複雑な性質を持ち、いまだ降着流の統一的な描像が得られていない。ミリ秒から数 100 秒にわたる X 線光度の激しい時間変動 (rms が約 20%) は、ハード状態に見られるもうひとつの特徴で、時間平均のエネルギースペクトルのみでは制限が困難な降着流の性質に迫る有力な手がかりである。我々は、外側の標準円盤が重力半径の数 10 倍の地点で高温降着流に遷移するという降着流の幾何学的配置 (truncated disk geometry) の仮定のもと、短時間変動モデルの開発を進めてきた。NICER および NuSTAR によるブラックホール連星 MAXI J1820+070 の観測データに適用し、高温降着流が内側と外側に二種類の逆コンプトン放射成分を持つ場合に、時間平均のエネルギースペクトル (0.5–78 keV) および短時間変動の特徴量 (0.5–10 keV) の両方を定量的に再現できることを示した。最近、Insight HXMT はさらに高エネルギーにまで及ぶ範囲 (約 200 keV) で本天体を観測し、数 10 keV 以上の時間変動に対して、高エネルギー光子が低エネルギー光子に対して顕著な高周波成分と大きな位相差 (約 1 radian) を持つという強いエネルギー依存性が見られることを明らかにした。この結果は、高温降着流での X 線放射がより細かな階層構造を持つことを示唆する。本講演では、NICER および Insight HXMT による MAXI J1820+070 の観測データの解析結果を、短時間変動のエネルギー依存性の観点から報告し、その物理的解釈について議論する。

[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](#)

W03a 銀河系内ブラックホール候補天体 MAXI J1803–298 の発見と X 線長期モニタ観測

志達めぐみ (愛媛大), 小林浩平, 根来均 (日大), 岩切渉 (中央大), 中平聡志 (JAXA), 上田佳宏 (京大), 三原建弘 (理研), 榎戸輝揚 (理研), Keith Gendreau, Zaven Arzoumanian, John Pope, Bruce Trout, 岡島崇, Yang Soong (NASA)

MAXI J1803–298 は、全天 X 線監視装置 MAXI により 2021 年 5 月に発見された銀河系内のブラックホール (BH) 候補天体である。本天体は、発見から約 10 日の間に 2–10 keV の X 線で 2 桁の急増光を示し、その後 5 か月以上かけて徐々に減光した。我々は、発見時から約 5 ヶ月にわたり MAXI/GSC と Swift/BAT を用いて同天体をモニタし、2–200 keV の広帯域をカバーする長期の X 線データを得た。X 線スペクトルの長期変化を調べたところ、発見時には光子指数 $\Gamma \sim 1.7$ のべき型のスペクトルが見られ、増光とともに軟 X 線の割合が増加し、ピーク光度付近では $\Gamma \sim 2.5$ となった。これは、MAXI J1803–298 は初めハード状態にあり、その後中間状態に遷移したことを示唆する。中間状態では、数日程度の時間スケールの急激な強度変動が見られた。このような変動は、銀河系内の BH X 線連星の中間状態では比較的珍しく、粘性の時間スケールでは説明できない現象である。その後の減光中に、標準円盤からの熱放射が卓越するソフト状態へ遷移した。ソフト状態のスペクトルの解析の結果、この時期に標準円盤が最内縁安定円軌道に達していたとすると、BH 質量は $5.8 \pm 0.4 (\cos i / \cos 70^\circ)^{-1/2} (D/8 \text{ kpc}) M_\odot$ (無回転 BH の場合; i, D は円盤の傾斜角・距離を示す) と見積もられた。

本講演では、上記の結果を報告し、MAXI J1803–298 の長期変化の特徴や連星系の性質、中間状態の短時間変動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](#)

W04a Transition Luminosities of Galactic Black Hole Binaries with Swift/XRT and NICER/XTI observations

Sili Wang (Tokyo Tech), Nobuyuki Kawai (Tokyo Tech), Megumi Shidatsu (Ehime Univ)

Galactic black hole transients (GBHTs) show distinct X-ray spectral states at different X-ray luminosities in their outbursts. The state transitions have been linked to changes in the mass accretion rate and a narrow distribution of transition luminosity of GBHTs based on RXTE data (3–25 keV) has been found in previous studies (Macarone 2003). This Eddington ratio at the transitions is often used in recent studies with instruments covering softer energy bands (below 1 keV to 10 keV). However, the X-ray states characterized by the spectral parameters may have different definitions depending on the energy ranges adopted in the spectral analysis, leaving the question whether the distribution of transition luminosity obtained with RXTE remains the same when using the instruments covering softer energy bands. In this work, we investigated the state transitions and the variations of luminosities for 8 outbursts using Swift/XRT or NICER/XTI data (0.3–10 keV). Comparing the results from the Swift and RXTE spectra obtained in the same outbursts, we found that the overall trends in spectral parameters around the transitions are generally similar between RXTE and Swift, although the specific values of parameters can be different. Our results show that the bolometric power-law luminosity is constrained tightly to 1% Eddington luminosity when the photon index starts to decrease towards the hard state. It is consistent with the conclusions from previous RXTE results (Vahdat et al. 2019). Our results also suggest that the disk truncation starts after bolometric disk luminosity drops below 1% Eddington luminosity.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

W05a self-consistent な放射モデルによるブラックホール連星 XTE J1550-564 の降着流の幾何学的配置の定量的推定

久保田あや (芝浦工大)、Chris Done (Durham Univ.)

銀河系内のブラックホール X 線連星の多くはトランジェント天体として知られ、X 線スペクトルは、硬 X 線が卓越する hard state(HS)、明るい軟 X 線を特徴とする high soft state(HSS)、両者の中間的な hard ないし soft intermediate state (HIMS or SIMS) という多様な変化を示す。スペクトルの違いは光学的に厚い低温降着円盤 (diskbb で近似) と、光学的に薄い高温降着流の比率で決まり、高温降着流が優勢な HS や HIMS、SIMS では降着流の広がりや外側の円盤のサイズを定量的に扱うことが難しかった。この問題を解決すべく、我々は Shakura-Sunyaev sed モデルを構築した。このモデルは、agnsed(Kubota, Done 2018) を修正したもので、ブラックホール近傍の高温降着流領域、中間部の passive な円盤とコロナからなる領域 (Petrucci et al. 2018)、外側の diskbb 領域よりなり、円盤の全領域で一定の質量降着率で標準降着円盤の放射効率を仮定する。このモデルを用いて、RXTE 衛星で観測された XTE J1550-564 のアウトバーストの全スペクトルを再評価したところ、ジェットが関連する観測以外、モデルはデータを非常によく再現した。HSS と SIMS で r_{in} が一定であることに加え、SIMS ではこれまで 2 種類のコロナが考えられてきたが (Kubota et al. 2001 他多数)、passive な円盤コロナを考えれば 1 種類のコロナで再現することがわかった。さらに、アウトバースト初期の HS では ISCO の数倍程度まで広がった温度 30keV 程度の高温降着流領域と、その外側のやや低温の熱的コロナを伴う passive な円盤で再現した。HS から HIMS への遷移では、光子指数が 1.6 から 2.1 に増大すると同時に内側の熱的コンプトン成分が急激に小さくなり、SIMS で消失する。同時に、passive 円盤上空のコロナが非熱的コロナに変化することが示唆された。

[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](#)

W06a RXTE によるブラックホール連星 XTE J1550 - 564 の全アウトバーストの時間変動解析による低周波 QPO の特性と円盤パラメータの比較

鶴見一輝、久保田あや (芝浦工大)、山田真也 (立教大)

硬 X 線放射が顕著な hard state (HS) および hard (or soft) intermediate state (HIMS, SIMS) においてしばしば数 Hz から 10Hz 程度の低周波の準周期振動 (Quasi-Periodic Oscillation:QPO) が観測される。中でも XTE J1550 - 564 は 1998 年に RXTE 衛星によって発見されて以来 2004 年までに計 5 回のアウトバーストを起こし、初期の 2 回のバーストにおいては全てのスペクトル状態が観測されるとともに、強い QPO が報告されている (Remillard et al. 2002, Rodriguez et al. 2004)。このことから、QPO の発生を円盤構造の変化と関連づけて評価するのに最適な天体と言える。我々は RXTE 衛星によるこの天体の全観測の時系列データを再解析し、1.0-20Hz の変動のパワー $P_{1-20Hz}(\text{rms}^2)$ および QPO パラメータをこれを円盤パラメータ (久保田の講演) と比較した。 P_{1-20Hz} は HS や HIMS では 0.05 に達し、HSS では 0.01 未満まで小さくなる。また QPO は $P_{1-20Hz} > 0.0001$ で確認されたことから、この天体については、全体に変動が激しい状態で QPO が定常的に存在すると考えられる。また、QPO は硬 X 線放射に紐づけられるが、高温のコロナが円盤の放射効率が最大となる $(7/6)^2 R_{in}$ よりも外側まで広がっているときのみ QPO が検出されることがわかった。QPO の起源として有力と考えられている Lense-Thirring (LT) precession モデルでは f_c が高温コロナの外縁のサイズで決まると予測されるため、内縁半径で規格化したコロナのサイズ r_{comp} と比較したところ、HIMS では $f_c \propto r_{comp}^{-1.5}$ でよく記述でき、これは LT モデルに矛盾しない。また、同一のアウトバーストでは高温コロナの光子指数 Γ と f_c がよい相関を示すが、アウトバーストごとにヒステリシスがあることも示唆された。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](#)

W07a 突発天体 AT2018lqh のブラックホール形成モデル

津名大地, 檜山和己, 茂山俊和 (東大 RESCEU)

最近 Ofek et al. (2021) によって突発天体 AT 2018lqh が報告された。AT 2018lqh は可視光広視野サーベイ Zwicky Transient Facility により発見され、これまでの銀河系外の可視光突発天体の中で最も短い 1 日程度の光度変動を示し超新星の 10 倍ほど明るいピーク光度 ($7 \times 10^{42} \text{erg s}^{-1}$) を持っていた。また突発天体から 212 日後の X 線観測で、3 シグマの有意度ではあるが X 線対応天体が検出された。

可視光のタイムスケールと光度から、光速の 10% 程度で膨張し、放射性ニッケルがほとんどを占める 0.1 太陽質量程度のイジェクタが突発天体を駆動していると Ofek et al. では提案された。要求される速度・質量のイジェクタは白色矮星の accretion induced collapse などによって実現されうる一方で、ニッケルがほとんどを占めるイジェクタを形成できるかや、初期のスペクトルを含めた観測を全て説明できるかははっきりしていない。

我々は AT 2018lqh の可視光観測と X 線対応天体が、accretion induced collapse ではなく回転する大質量星からのブラックホール・降着円盤の形成、および円盤からの輻射駆動アウトフローによって説明できるとの仮説を立てた。それぞれの放射のモデリングを行った結果、20–30 太陽質量程度の回転している青色超巨星が重力崩壊してブラックホールを形成し、1 太陽質量弱程度の円盤風が放出された場合に可視・X 線・電波の観測結果を整合的に説明できることがわかった (Tsunai et al. 2021, ApJL, 922, L34)。本講演ではこの突発天体と我々のモデル、そして将来の観測による我々の仮説の検証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](#)

W08a 孤立ブラックホール周囲の強磁場降着流からの多波長放射とその観測可能性

木村成生 (東北大学), 檜山和己 (東京大学), 仏坂健太 (東京大学)

銀河系内には 1 億個程度の恒星質量ブラックホールが存在していると考えられているが、星間空間を漂う孤立ブラックホールはまだ発見されていない。孤立ブラックホールは周囲の星間ガスを降着するが、質量降着率はエディントン降着率と比べて非常に小さく、ブラックホールの十分遠方で輻射非効率降着流 (Radiatively inefficient accretion flow: RIAF) が形成される。RIAF からは円盤風が吹き、大スケールの磁場が生成される。それらの磁場を引き連れて RIAF がブラックホールへと降着すると、ブラックホールの周囲には強磁場降着流 (Magnetically Arrested Disk; MAD) が形成されると考えられる。強磁場降着流では磁気エネルギーの散逸により熱的電子が相対論的温度に加熱され、熱的シンクロトロン放射により可視光を放射する。また、強磁場降着流中では強く磁化したプラズマ中での磁気リコネクションが発生すると考えられており、そこでは非熱的電子の生成も期待されている。それらの非熱的電子はシンクロトロン過程により硬いスペクトルの X 線から MeV ガンマ線を放射する。我々は多層星間媒質中を漂うさまざまな質量の孤立ブラックホールの系において多波長放射スペクトルを計算し、これらの信号は Gaia や eROSITA で検出可能であり、数十から数百程度の孤立ブラックホール候補天体が見つかる可能性を示した。また孤立ブラックホールは Hertzsprung – Russell 図上で白色矮星の周囲に位置することを明らかにした。孤立ブラックホールは変光や色、スペクトルなどの情報を用いて白色矮星や中性子星と区別可能であり、このシナリオは硬 X 線や MeV ガンマ線を用いて検証可能である。

[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](#)

W09a Slim 円盤における磁束輸送の理論研究

山本凌也, 高棹真介 (大阪大学)

ブラックホール周りの降着円盤を貫く大局的磁場は円盤風やジェットなどの駆動に本質的に重要と考えられている。しかし円盤の大局的磁場分布を決める磁束輸送の機構は未解決重要課題として残っている。これまでの磁束輸送研究では、幾何学的に薄い円盤の物理量を鉛直方向に平均化し、半径方向一次元で磁束輸送計算を行うものが主流であった (e.g., Lubow et al. 1994)。しかし、放射不良降着円盤や Slim 円盤といった幾何学的に厚い円盤の存在も観測により示唆されており、多次元計算の必要性が高い。そこで幾何学的に厚い円盤に対してもポロイダル磁場の進化を追うために、公開コード Athena++ (Stone et al. 2020) の枠組みを用いた高速な二次元球座標系コードを開発した。そして Ultra-Luminous X-ray source や Narrow-Line Seyfert 1 など存在が示唆されている Slim 円盤上の磁束輸送を、Watarai (2006) の解析解をもとに調査した。本研究で特に注目したのは、円盤表面付近の降着流が磁束輸送に与える影響である。円盤表面では磁場による角運動量損失によって高速な降着流がしやすい一方で (e.g., Takasao et al. 2018)、輻射圧による外向きの流れも生じやすい (Kitaki et al. 2021)。そこで円盤表面の速度場の符号や大きさをパラメータに取り、ブラックホールとその近傍の磁場分布がどう影響を受けるか調べた。その結果、表面降着流が無い Slim 円盤では磁気拡散により磁場が中心に輸送されないことを確認した。一方で、円盤上空にかけて滑らかに降着速度を上昇させた場合、円盤上空で赤道面の数倍の降着流が存在すれば磁場が中心へ輸送され集まることが分かった。本講演ではこれら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](#)

W10a 一般化 GRMHD 計算コード開発：ホール効果の磁気リコネクションへの影響

小出眞路, 渡邊稔真 (熊本大学)

現在、一般相対論的な電磁流体力学 (GRMHD) の数値シミュレーションが多くのグループにより行われるようになり、降着円盤、コロナ、アウトフロー、ジェットなどからなるブラックホール磁気圏の動的な構造が明らかとなってきた。現在の多くの GRMHD 数値計算は理想 MHD 条件を用いて行われている。実際、イベントホライズンテレスコープ (EHT) による楕円銀河 M87 の活動銀河核の観測をもとに求めた磁気レイノルズ数は 10^{30} 程度と極端に大きく、その近似は妥当なものである。しかし、降着円盤内のエネルギーおよび角運動量の輸送において重要と考えられる磁気リコネクションは理想 MHD 条件のもとでは原理的に扱うことはできない。現在の GRMHD 数値計算では、数値的な電気抵抗が数値的な磁気リコネクションを引き起こして、不正確な計算でつじつまを合わせている状況である。実際の磁気リコネクションは電気抵抗による起電力では説明できないことから、非 MHD 的な起電力が重要となっていると考えられる。

われわれは、非 MHD 的な効果を考慮した数値計算を行うために、一般化された GRMHD (XGRMHD) の数値計算コードの開発を行っている。EHT で求められたプラズマ諸量とわれわれの導出した XGRMHD 方程式により各起電力を評価すると、電気抵抗や電荷担子 (carrier) の慣性の起電力への影響は誘導電場に比べて 10^{-30} 倍と小さく無視できる。非 MHD 効果として考えられる起電力としてはホール効果か熱起電力のみとなる。ここでは、XGRMHD 数値コードのテスト計算として、ホール効果による磁気リコネクションの促進効果について調べた。ホール効果や熱起電力のみでは磁気リコネクションは引き起こすことはできないが、ホール効果により磁気リコネクションが顕著に促進される現象の追試結果を報告する。

[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](#)

W11b 一般相対論的輻射磁気流体計算で探る、カー・ブラックホール周りの超臨界降着円盤

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)

ブラックホール (BH) への超臨界降着は、超高光度 X 線源 (ULX) や一部の狭輝線セイファート銀河のエネルギー源と考えられ、また、超巨大 BH の形成過程においても重要な役割を担っていると考えられる。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。降着円盤の理論によると、BH が回転すると円盤の内縁半径が変わるため、利用できる重力エネルギーの大きさが変わる。さらに BH の回転エネルギーは磁場を介して抽出されアウトフローへと渡される (Blandford-Znajek[BZ]機構)。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、本研究では 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た。

その結果、BH 近傍から解放される Jet 領域のエネルギー変換効率は $|a^*|$ が大きくなるほど増加する傾向が得られた。具体的には、 $a^* = 0$ と比べると $a^* = 0.9, -0.9$ の順に ~ 6 倍、 ~ 2 倍である。さらに、 $|a^*|$ の小さいモデルでは輻射成分が優勢で、 $|a^*|$ の大きいモデルでは磁場成分が輻射成分を上回ることがわかった。これは BZ 機構が BH の回転に強く依存する一方、輻射エネルギーの生成が BH の自転にあまり依存しないためである。また、噴出ガスを駆動している力を調査したところ、BH スピンによらず降着円盤表面付近では輻射力で加速され、円盤上空では輻射力と磁場による力で加速され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](#)

W12b 超臨界降着流からのアウトフローの特性

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 (ULX) 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、超臨界降着天体の輻射流の高光度コンパクト天体のエネルギー源はブラックホールへの超臨界降着流と考えられている。超臨界降着流の輻射流体計算は盛んに行われてきたが、計算資源の制限のため、計算領域はブラックホール近傍に限られていた。そこで北木 (Kitaki et al. 2021) は計算領域を大幅に拡大し、脱出速度以上の速度を持つアウトフローによるガス噴出率が過去の研究よりも小さくなることを示した。

我々がさらに広いパラメータ領域で計算を実行したところ、運動学的光度と輻射光度は質量降着率の 1.4 乗と 0.16 乗で増加し、アウトフローの噴出領域は降着率の 1.4 乗で拡大することを見出した (日本天文学会 2021 年秋季年会)。また、輻射やアウトフローの生成量や起源について調査した結果、輻射エネルギーの大半は降着円盤内縁付近 ($< 10 r_S, r_S$ はシュワルツシルト半径) で生成されるが、アウトフローや運動学的エネルギーは数十 r_S の領域で最も多く生成されることを明らかにした。本講演では、脱出速度以上の速度を持つアウトフローと脱出速度以下のアウトフローのそれぞれについて、密度や速度、エネルギーといった物理量の解析を行い、アウトフローの特性が何に起因するのか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](#)

W13b 降着円盤最外縁の降着リングの特性とそこからの2層降着流と2層排出流

井上 一 (JAXA 宇宙科学研究所)

X線連星においては伴星から高密度天体に向かって定常的に物質が流れ込み、流入物質は、連星系のコリオリ力により、単位質量あたりほぼ一定の角運動量を持つと考えられる。その結果、高密度性のまわりにケプラー円運動をするリングが形成され、流入直後には、ビリアル温度で決まる厚みを持った太い円環になるはずである。太い円環部(リング外層)では、放射冷却によって円環の中心に向かう冷却流と、円環の高密度星に近い部分から遠い部分への角運動量輸送の結果、内向きの厚い降着流と外向きの厚い排出流が併存すると予想される。円環の中心に向かった冷却流は 10^4 K 程度で冷却は止まり円環中心部に細いリング(リングコア)を形成すると考えられ、そこでまた角運動量輸送が行われ、コア部から、内向きの薄い降着円盤と外向きの薄い排出円盤が伸展することとなる。これら外層部とコア部とからなる円環リングを総称して降着リングと呼ぶこととする。これらの考察の結果、高密度星に向けては、幾何学的に厚い降着流が薄い降着円盤をサンドイッチ状にはさんだ二層流が流れ、一方、同様の二層の排出流が外向きに流れ出ることが予想される。降着リングでの境界条件を考察すると、降着流と排出流の質量流量はほぼ同量になると考えられ、降着リングに持ち込まれた角運動量はほぼすべて排出流が持ち出す。その結果、薄い排出円盤は単純には降着リングの4倍の半径に広がってそこに滞留すると考えられるが、連星系では伴星からの潮汐力の影響でロッシュ半径の内側に留まることとなる。一方、厚い排出流は、降着流が廃棄する角運動量とともに、降着リング半径での重力ポテンシャルに相当するエネルギーも受け取り、無限遠で 10^3 km/s 程度の速さを持った星風となることが期待される。詳しくは、Inoue (2021, PASJ, 73, 795) を参照ください。

[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](#)

W14c Boltzmann 輻射輸送による Compton 冷却を考慮した RIAF 円盤の電子温度計算

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の直接撮像が成功し、対象となった M87* のブラックホール質量もより詳細に算出された。この解析のプロセスには一般相対論的磁気流体計算 (GRMHD) による輻射非効率円盤 (RIAF 円盤) のシミュレーションの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う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、電子温度は厳密には不定であるが、経験的な温度比を仮定することにより電子温度を算出している。さらに、そこで使われている温度比を算出する式には輻射によるコンプトン冷却が考慮されていないためその意味でも厳密性を欠くものとなっている。

そこで我々は、2温度計算と輻射輸送計算を同時に計算することにより、RIAF 円盤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が開発した GRMHD コード UWABAMI を電子と陽子のエントロピー方程式を解くように改良したものを用い、輻射輸送コードは以前開発した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。

今回のポスターでは、上記目標の足掛かりとして UWABAMI により計算した RIAF 円盤の1温度計算の準定常的な状態を(陽子温度、密度、磁場を与える)背景物理場として、電子のエントロピー方程式と輻射輸送方程式を解いた結果を紹介する。輻射が電子温度に与える影響と、それに伴う輻射場の変化について議論する。

[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](#)

W15a 多重極磁場を伴った中性子星の磁場埋め込みと磁気山の構造

藤澤幸太郎 (東京大学), 木坂将大 (広島大学), 小嶋康史 (広島大学)

高速回転している中性子星が回転軸に対して非軸対称な構造をしている時、この中性子星は連続重力波の有効な候補天体であり、重力波を放出してスピンドアウンしていると考えられている。非軸対称な構造の起源としては内部磁場やクラストの歪みなど様々なものがあるが、中性子星の磁極に物質が降着した場合は、降着物質が星の磁場で支えられる磁気山が形成され非軸対称な構造になるとされている。中性子星の磁場は大局的には双極子磁場であるが、NICER による最近の観測結果からその表面付近では複雑な多重極磁場であることが示唆されており、多重極磁場の影響は重要である。しかしこれまでの磁気山の構造に関する研究では、中性子星の磁場が双極子磁場である場合の定式化に基づいており、多重極磁場の影響を取り入れることはできていなかった。

そこで本研究では、中性子星が双極子磁場に加えて強い多重極磁場も伴っている時の磁気山と磁場の埋め込みを計算できる手法を開発し、磁気山の構造と磁場の埋め込みに関して系統的に調べていった。その結果、物質が磁極に降着して、表面の強い多重極磁場によって支えられる磁気山の解がまずは求まった。次に降着物質の量を増やしていくと、次第に多重極磁場と山が埋め込まれていくような解が求まった。さらに降着物質の量を増やすと、多重極磁場と磁気山は降着物質によって埋め込まれ、逆に双極子磁場が現れてくるような新しい解の系列が求まった。この結果から、中性子星が強い多重極磁場を持っているが降着で埋め込まれている場合、磁場は大局的には双極子的ではあるが、その双極子的な磁場は表面付近では埋まっている多重極磁場につながり、多重極磁場の磁極に至るような構造を持つことが明らかになった。

[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](#)

W16a 中性子星の表層クラストの弾性力で支えられた磁場

小嶋 康史, 木坂 将太 (広島大), 藤澤 幸太郎 (東京大)

マグネターは中性子星種族のなかで、強い磁場を有し、それが特異な活動の源になっていると考えられる。一方、超新星残骸に存在する、若い単独星の CCO (Central Compact Object) の表面双極子磁場は $\sim 10^{11}$ G 程度と通常の電波パルサーのものより弱い。しかし、その明るい X 線光度を説明するために、内部にはマグネター級の強い磁場 ($\sim 10^{14}$ G) が存在していると考えられている。これらに必要な磁場は地上実験のスケールからは非常に強いが、それによるローレンツ力は、圧力や重力に比べて小さく、天体の構造は球対称性からわずかにずれたものになっていると考えられる。

磁気星の静水圧平衡モデルとその安定性は数値シミュレーションなども含めて研究が進んできた。ここでは、中性子星に特化して、その静水圧平衡を考えると、中性子星の表層 (クラスト) では弾性力が働く。その力は他の力 (圧力や重力) に比べて小さいが、内部の磁場を保持するのに有効であることを 2021 年秋季年会で示した。そこでは、弾性応力係数は一定とする単純化されていた。今回はモデルを、より現実的な場所 (密度) 依存性を考慮した結果を報告する。

表面双極子磁場が $< 10^{13}$ G でも、弾性力によりクラスト内部に平均磁場が $\gtrsim 10^{14}$ G、磁場のエネルギー (平均磁場の自乗 \times クラスト体積) $\gtrsim 10^{46}$ erg が保持できることがわかった。また、他の研究 (CCO のモデル、弾性限界後の磁場進化のモデル) と絡めた議論も行う。

[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](#)

W17a X線観測から探るマグネターのトロイダル磁場の長期変化

牧島一夫(東大), 内田和海(JAXA 宇宙研), 榎戸輝揚(理研), 丹波翼(東大理), 鈴木寛大(甲南大自然)

マグネターは、最強磁場を持つ中性子星(NS)として、NSの磁場の起源や進化を解明する上で重要で、特に鍵を握るのが内部に潜むトロイダル磁場 B_t である。当然その観測的推定は難しいが、我々は複数のマグネターで、周期 P の硬 X 線パルスの到着時刻が、長い周期 $T \sim 10^4 P$ で進み遅れる位相変調を検出し、そのさい P/T 比が B_t^2 の目安を与えることに気づいた。 $B_t \sim 10^{16}$ G だと磁気圧で NS が $\Delta I/I \equiv \epsilon \sim 10^{-4} (B_t/10^{16} \text{G})^2$ に変形し自由歳差運動が起き、歳差周期と自転周期の ϵ 程度の差が、ビートとして $T \approx P/\epsilon$ を作ると解釈される。

我々はこれまで、(a) 4U 0142+61 と (b) 1RXS J1708-4009 の二例の異常 X 線パルサー、(c) SGR 1900+14 と (d) SGR 1806-20 という代表的な軟ガンマ線リピーター、および (e) トランジェント天体 1E 1547-5408 の 5 天体から、この効果の検出に成功した。今回の新たな報告は (b) と (d) で、他の天体については、2021 年秋の年会 W-0131a の予稿を参照。これら 5 天体を比べると、 T は天体ごとに良く決まり、いずれも $P/T \sim 10^{-4}$ ($B_t \sim 10^{16}$ G) で、位相変調は軟 X 線成分には見られず、変調振幅は時間変化し、しばしば変調位相がエネルギーに依存するなど、共通性が多いので同一の現象であろう。この効果は、マグネターに普遍的だと予想される。

P/T 比から推定される 5 天体の B_t を、それらの双極子磁場 B_d 、特性年齢 τ_c 、X 線光度などと比較した結果、 $B_d/B_t \propto \tau_c^{-0.35}$ というスケーリングが見えてきた。もともとマグネターの双極子磁場は $B_d \propto \tau_c^{-0.4}$ と振る舞うのだが、 B_t との比をとることで、 τ_c との相関が改善された。これは外から見える双極子磁場に比べ、内部に潜むトロイダル磁場が、より長く保持されることを示唆する。とすれば、外部磁場は弱まったが依然として強い内部磁場を保持する、多くの老齢マグネターが XDINS などの形で存在し、FRB 源となるのかもしれない。

[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](#)

W18a Swift とすざくによる MAXI J1421-613 のダスト散乱エコーの観測

信川久実子(近畿大学), 信川正順(奈良教育大学), 山内茂雄(奈良女子大学)

MAXI J1421-613 は、2014 年 1 月 9 日に Monitor of All sky X-ray Image (MAXI) によって発見された突発天体で (Morooka et al. 2014, Astronomer's Telegram, 5750)、低質量 X 線連星系であると考えられている (Bozzo et al. 2014, Astronomer's Telegram, 5765; Serino et al. 2015, PASJ, 67, 30)。アウトバーストから約 3 週間後に「すざく」による追観測が行われたが、MAXI 天体そのものは「すざく」の検出限界以下に暗くなっていた。我々は、「すざく」のデータを解析し、MAXI 天体を中心とする半径約 3'-9' の円環状放射を発見した。円環状放射のスペクトルのべき ($\Gamma = 4.2 \pm 0.3$) が、MAXI 天体のべき ($\Gamma \sim 2.1$) より $\Delta\Gamma \sim 2$ 大きいこと、「すざく」の 3 日間の観測中に円環の半径が $\sim 0.5'$ 大きくなり、フラックスは小さくなる傾向があったことから、その起源はアウトバーストのダスト散乱エコーであると結論づけた (日本天文学会 2018 年秋季年会; Nobukawa et al. 2020, PASJ, 72, 827)。我々はアウトバーストから約 10 日後に「Swift」が取得した観測データも解析した。MAXI 天体周囲の radial profile を作成し、半径 2.5'-4.5' の円環状放射があることを確認した。円環状放射のスペクトルのべき ($\Gamma = 3.6 \pm 0.2$) は、「すざく」が観測した円環状放射のスペクトルのべきと矛盾しない。一方フラックスは「すざく」の結果より 5 倍明るかった。これらの観測結果は、「Swift」の観測した円環状放射と「すざく」の観測した円環状放射が、同じアウトバーストをダスト散乱したと考えて矛盾なく説明できる。

[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](#)

W19a X線バースト天体 1RXS J180408.9-342058 による中性子星の状態方程式の制限

土肥明 (九大理、理研)、岩切渉 (中央大)、西村信哉 (理研)、野田常雄 (久留米工大)、橋本正章 (九大)、長瀧重博 (理研)

いくつかの低質量 X 線連星では、I 型 X 線バーストと呼ばれる突発的な増光現象がしばしば観測されており、これまでの観測天体は 100 個を超える。この物理的原因は、降着中性子星の表面付近で起きる核燃焼だと考えられており、一般的に光度曲線の振る舞いは不規則である。しかし、一部の天体では規則的にバーストを起こすことが知られており、光度曲線の形状やバーストの再起時間がほぼ一定である (*Clocked Burster*)。こうした天体は X 線バーストのモデルパラメータ (e.g., 降着率、降着物質の組成など) を制限するのに便利である。

Clocked Burster の最初の発見例は GS1826-24 であり、このモデリングに関しては複数のグループによって活発的に行われてきた (Heger+2007, Meisel 2018, Meisel+2019, Johnston+2020, Lam+2021)。また、近年はバーストの観測を用いた状態方程式の制限も行われている (Dohi+2020,21)。しかしモデルパラメータの多さから 1 天体の観測だけで状態方程式を初めとした核物理の不定性を制限することは難しい。さらに用いられている GS1826-24 の観測は 15 年前と古く、現在の GS1826-24 の光度曲線は不規則な振る舞いを示している (e.g., Chenevez+2016)、他の *Clocked Burster* の観測からもバーストのモデルパラメータを制限することが望まれる。

近年観測された *Clocked Burster* の中で、1RXS J180408.9-342058 は、2 期間での連続アウトバーストが NuSTAR によって観測されており、モデルを制限するのに有望な天体である (Wijnands+2017, Fionocchi+2019)。本研究では 1RXS J180408.9-342058 のバースト観測によるモデルパラメータ (特に状態方程式) 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](#)

W20a 「すざく」による低質量 X 線連星の光電離プラズマの解析

中間洋子 (東工大)、堂谷忠靖 (東工大、ISAS/JAXA)

「すざく」のアーカイブデータを利用し、典型的な dip 天体である低質量 X 線連星 EXO0748-676 について光電離プラズマに着目した解析を行なったので、その結果について報告する。低質量 X 線連星系ではほぼ明るさが一定の定常放射に加え、降着円盤の外縁の特に分厚い部分で中性子星近傍からの X 線が遮断される dip や伴星による遮蔽である eclipse などの多様な現象が起きる。これらの現象の解析からは降着円盤外縁の構造や、プラズマ密度や電離度に関する情報を得ることができる。一次的に X 線光度が減少する dip は電離プラズマによる吸収により引き起こされると考えられているが、定常成分への寄与を調べることで光電離プラズマがどのような分布をしているか推測することができる。

本解析では、光電離プラズマコードである XSTAR を使い、光電離の計算に使う ionizing radiation のモデルと定常放射のモデルができるだけ整合するように努めた。その結果、光電離吸収体で定常成分を基準とすると、dip のスペクトル解析ではイオン化パラメータ ξ が大まかに $\frac{1}{4}$ 倍となった。本講演では定常成分と dip のスペクトル解析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](#)

W21a 準再帰型ニューラルネットワークを用いた X 線強度変動解析の高速化

牧田佳大, 山田真也, 一戸悠人 (立教大学)

近年, 宇宙の観測量は増え, データを個々に見ることが困難になりつつあるが, 単純な変動パターンだけではなく, 天体近傍の強い重力や, 磁場や非定常な降着流の理解に繋がる重要な観測量が眠っている可能性もある. したがって, 本研究では, 天体の強度変動を学習したニューラルネットワークを活用し, 微弱な準周期的信号の検出や定量化, 周期変動の推定, 未知信号や未知特徴量の検出を行うことを目標とする.

時系列データを学習する場合, 一般的な手法として, 畳み込みニューラルネットワーク (CNN) や長・短期記憶を含む再帰型ニューラルネットワーク (LSTM) が挙げられる. LSTM は, 過去の情報を利用して学習するため, 長い系列データなどに対して有効に働く. しかし, 過去の情報を逐次的に使用するため並列化処理が難しいという課題がある. 一方, CNN は, LSTM に比べ並列化が容易だが, 過去の情報を考慮する長い系列データは苦手という特徴がある.

これを解決するために提案されたのが, CNN を LSTM に似せて改良した準再帰的ニューラルネットワーク (QRNN) である. QRNN は CNN と LSTM の良いところ取りをしており, 並列計算による高速化, 長期依存性の学習ができるといった利点を持つ. また, 並列性がよいため, FPGA 等へ応用する場合もメリットがある.

本研究では QRNN と LSTM で時系列データの回帰モデルを構築し, 比較を行なった. その結果, バッチサイズとモデルパラメータ数が等しい時, QRNN の方が 1 epoch あたりの学習速度が 40%程度早くなることが確認できた. 本講演では, 構築したモデルや従来手法との比較結果などを報告する.

[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](#)

W22a MAXI/GSC が検出した 2021 年度後半の突発現象

根来均, 中島基樹, 小林浩平 (日大), 芹野素子 (青学), 三原建弘 (理研), 河合 誠之 (東工大), 岩切渉 (中央大), 松岡勝 (理研) 他 MAXI チーム

2021 年度後半に全天 X 線監視装置 MAXI が発見検出した突発天体について報告する. 10 月 17 日に 30 ± 7 mCrab の暗い X 線源 (MAXI J1735-272) を銀河中心近くの $(l, b) \simeq (0.2 \text{ d}, 2.9 \text{ d})$ で検出した (Negoro+ ATel, 14979, 以下 ATel は #で表記). しかし, 約 1 日後に行われた Swift/XRT による追観測 (Bahramian+ #14983) と検出 5 時間後から行われた INTEGRAL による観測 (Sguera & Sidoli #14985) では確認されなかった.

9 月 23 日には Be X 線パルサー XTE J1946+274 (Nakajima+ #14936), 10 月 4 日にはブラックホール連星 V4641 Sgr (Negoro+ #14968), 11 月 13 日には球状星団 NGC 6440 中の天体 (Negoro+ #15033) からのアウトバーストを検出し, それぞれ報告した. NGC 6440 には 24 の X 線源が知られており (Pooley+ 2002, ApJ, 573, 184), その同定のため, NuSTAR チームに ToO 観測を要請した. NuSTAR の観測により降着型ミリセカンドパルサー SAX J1748.9-2021 のパルス周期に近い周期が 2σ レベルで検出されたが (Pike+ #15048), その NuSTAR の誤差領域を観測した VLA の観測では SAX J1748.9-2021 から $0.9'$ 離れた位置に新たな電波源が発見された (Hughes+ #15083). これらの天体の関係はまだわかっていない. また, 11 月 29 日には 4U 1820-30 からの 92 分以上続く X 線バーストを検出した (Serino+ #15071).

ガンマ線バーストは, これまで月平均約 1 個の頻度で検出しているが, 本期間には GRB 211115A のみである (Serino+ GCN Circ., 31082). 講演では, これらの天体を含め, 年会までに発見報告した突発現象について, その発見の経緯と天体の特徴等を報告する.

[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](#)

W23a V455 And の分光観測：円盤風が矮新星アウトバーストに付随する可能性

反保雄介, 野上大作, 加藤太一 (京都大学), 綾仁一哉 (美星天文台), 内藤博之 (なよろ天文台), 成田憲保, 高橋英則 (東京大学), 藤井貢 (藤井黒崎天文台), 橋本修 (ぐんま天文台), 衣笠健三 (国立天文台), 本田敏志, 鳴沢真也 (兵庫県立大学), 坂元誠 (子ノ星教育社), 今田明 (京都大学)

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いる。この系では降着円盤の状態がある閾値を超えると熱的/潮汐的に不安定となり、白色矮星への降着率が一時的に上昇することでアウトバーストが観測される (円盤不安定モデル; Osaki 1996)。矮新星アウトバーストに伴うアウトフローの明確な観測的証拠は見つかっておらず、降着円盤からの放射が卓越した系であるとされてきた (Horne and Cook 1985)。

本講演では、すばる望遠鏡 HDS を含めた 5 か所の天文台で観測された、V455 And の 2007 年のアウトバーストの可視分光観測結果を報告する。アウトバーストのピーク付近では、single peak のバルマー系列と、440 km/s 程度のピーク幅を持つ double peak の He II 4686Å の強い輝線が観測された。これは、食を持ち軌道傾斜角が大きい V455 And の降着円盤から予想される 1,000 km/s 程度のピーク幅と比較して非常に小さい値である。我々は、スペクトル形状や高降着率白色矮星を含む天体の分光観測との比較 (e.g., Honeycutt et al., 1986, Hellier 1996), V455 And で見られたピーク幅の小さい輝線は、円盤風由来である可能性を提唱する。加えてこれらの強い輝線は、円盤内に非軸対称な二本腕構造が存在するとされるアウトバースト初期 5 日間程度のみで観測された。Uemura et al., (2012) によって得られた同天体・同時期の降着円盤の高さ方向の構造と比較すると、その二本腕構造の存在する円盤位相と He II 4686Å 強度の軌道周期位相依存性に関係性が見られた。これは、二本腕構造が円盤風の駆動メカニズムに関係している可能性を示唆する結果である。

[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](#)

W24a 矮新星 V1504 Cyg における、連星の公転軌道面から傾いた降着円盤による可視光変動の解析

関亮輔, 久保田あや (芝浦工業大学), 木邑真理子 (理化学研究所)

矮新星とは白色矮星と低質量星から成る近接連星系であり、白色矮星周囲には低質量星からの質量輸送によって降着円盤が形成される。これまで可視光変動解析から、いくつかの矮新星では、連星の公転軌道面に対して傾いた円盤を持つ事が示唆されている (e.g., Harvey et al. 1995; Armstrong et al. 2013)。傾いた円盤の観測的証拠として、super-orbital signals と negative superhumps の 2 つの周期変動が考えられている。super-orbital signals は傾いた円盤が連星の公転運動と逆向きに歳差運動する事で、観測者に対する円盤の投影面積が変化する事で見える、数日程度の光度変動である。また、negative superhumps は軌道周期と super-orbital period の会合周期で変動する、軌道周期よりわずかに短い光度変動である。

我々は、Kepler 衛星によって観測された、SU UMa 型矮新星 V1504 Cyg の可視光光度曲線の周期解析を行った。この天体は過去に negative superhumps の存在が報告されており (Osaki & Kato 2013)、我々は傾いた円盤のもう一つの証拠である super-orbital signals の検出を試みた。しかし、衛星の軌道傾斜角が低かったためか、周期解析では super-orbital signals の周期を検出する事ができなかった。そこで、negative superhumps と super-orbital signals の関係から super-orbital period を推定し、Kimura et al. (2020) と同様の手法で解析を進めた結果、super-orbital phase と共に orbital signals のピーク位相が変化する様子を確認する事ができた。本公演では、この現象は V1504 Cyg が傾いた円盤を持つ事の証拠となり得るかについて議論する。

[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 特異な superhump excess を持つ矮新星 LL Andromedae の進化経路

伊藤潤平, 反保雄介, 小路口直冬, 柴田真晃, 磯貝桂介, 加藤太一, 野上大作 (京都大学), VSNET Collaboration

AM CVn 型星は、主星に白色矮星、伴星に水素の欠乏したヘリウム星や、ヘリウム白色矮星を持つ近接連星系である。AM CVn 型星の形成シナリオの 1 つに、白色矮星と低質量星による近接連星系 (激変星) の低質量星層の水素が枯渇するという考えがある (e.g., Tutukov 1985)。V485 Cen (Augusteijn et al., 1996; Olech 1997) を始め、矮新星から AM CVn 型星への進化途上にある天体はいくつか報告されているが、未だその数は少なく進化経路には不明点が多い。

LL And も AM CVn 型星への進化途上にある天体の 1 つであると考えられている。矮新星の中でも質量比 (= 伴星質量/主星質量) が十分小さい系では、軌道周期より数%長い周期での変動 (superhump) を伴う superoutburst という現象が起こる。Kato (2004) では LL And の軌道周期に対する superhump 周期の長さ (superhump excess) が類似の軌道周期の矮新星に比べ大きいことから、伴星質量が比較的大きい可能性を指摘した。これは、LL And が水素に富む激変星から AM CVn 型星への進化途上の天体である可能性を示唆する。

我々は 2021 年 9 月に起きた LL And の superoutburst の測光・分光観測を行った。Kato & Osaki (2013) の手法で見積もられた LL And の質量比は 0.111(3) で、軌道周期に対し比較的大きい。しかし、superoutburst 全体で、Littlefield et al. (2013) の高い He/H の強度比は観測されなかった。上の結果は、本天体の白色矮星の質量が例外的に小さい可能性を完全に否定するものではないが、伴星が進化途上にある可能性をより強く支持する。後者であれば、本天体は V485 Cen 等今まで報告された天体と異なり、標準進化からの乖離が極めて小さいことになる。本講演ではこれらの結果や、矮新星を経由した AM CVn 型星への進化経路を議論する。

[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](#)

W26b 回転しながら中心天体から放出される流体の自己相似解と連星合体時の放出物質への応用

黄天銳, 藤澤幸太郎, 茂山俊和 (東京大学)

近年、白色矮星合体で生じたと考えられる高速に回転している大質量白色矮星観測されており、その周囲では高速な wind が吹いていることが知られている。このような wind を定量的に計算するには、回転と中心重力を考慮する必要があるが、それらを両方含んだ自己相似解について研究が進んでいない。また、このような系は連星合体時の放出物質に対応しているとも考えられるので、連星合体への応用も考えた。連星合体は中性子星連星ならキロバ、白色矮星ならば Ia 型超新星爆発など様々な光学現象の原因であり、それらの流体計算でも様々な描像を描いており、統一的な理解がなされていない。そこで、本研究では回転と中心重力を考慮した、回転軸について対称な系の赤道面での自己相似解を構成し、高速に回転している星から吹いている wind (放出物質) の様子を調べた。

本研究ではポリトロープ ($p = K\rho^\gamma$) を仮定し、中心星による重力とポリトロープ定数 K を用いて無次元化を行い、自己相似解を構成した。その結果、 $\gamma = 7/5$ を境に振る舞いの様子が大きく変化することを発見したため、それらの様子の違いについて説明する。特に本研究で求めた自己相似解たちの中で $\gamma = 5/3$ において中性子星連星合体の流体計算でよく見られる、密度分布の double power-law となる解が存在した。そこで、本講演ではそのような密度分布が double power-law となる解を中心にこの自己相似解の性質について説明する。

[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](#)

W27b パルサー Polar Cap からの非熱的 X 線放射の起源

柴田晋平 (山形大学)、木坂将太 (広島大学)

回転駆動型パルサーからの非熱的な X 線放射の起源がまだよくわかっていない。また、この非熱的な X 線光度の回転パワーに対する比 (放射効率) は $\eta_{\text{psr}} = 10^{-3} \sim 10^{-4}$ 程度であるが、大きなスキャッターがあり中性子星の個性の存在を示唆する。面白いことにパルサー星雲の X 線放射効率 η_{pwn} も大きなスキャッターを示し、 η_{psr} と η_{pwn} は正の相関を示す。つまり、磁気圏の個性の違いがパルサー風の違いとなって現れていることを意味する。以上の観点から磁気圏からの非熱的な X 線の放射メカニズムを解明し、それがパルサー風にどう影響するかを明らかにすることが課題となっている。

非熱的な X 線の起源として有望とされるのは、磁気圏 Polar Cap で生じる粒子加速によって引き起こされた電磁カスケードから共鳴コンプトン散乱によって放射される光子である。今回、電磁カスケードのシミュレーションを行い (磁場強度、曲率の距離依存性を含む) 回転駆動型パルサーからの非熱的な放射のうち赤外線から MeV のガンマ線までを共鳴散乱として概ね理解できることが分かったので報告する。

コンプトン散乱の種光子 (中性子星からの熱的な放射) は観測量であるので、各々の中性子星の個性として組み込むことができる。計算結果とモデルとの比較により、いくつかのモデルパラメータ (一次光子のエネルギーと量、磁場強度 (分布)、磁力線の曲率) に制限を加えることができると考えている。今後、モデル計算と観測との比較を行う予定である。

形成される電子陽電子のピッチ角の決定精度を保つ必要があるため計算コストが小さくないことが課題である。今後、計算コードの改善を行う予定である。

[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](#)

W28b 高速イメージフィットと機械学習を取り入れた MAXI アラートシステムの改良

朝倉敬介、根来均 (日本大学) 他 MAXI チーム

MAXI アラートシステムは全天 X 線監視装置 MAXI のデータを用いて X 線で突然輝き出す突発天体を検出するシステムである。同システムによって、これまでに多くの突発天体が発見検出されてきたが、検出されたイベントには突発天体以外にバックグラウンドのゆらぎ等による偽イベントが約 8 割含まれている。それらの真偽判定は最終的には人の手を介し、検出器の点拡がり関数 (PSF) を考慮したイメージフィットにより行なっている。しかし、同方式は数分から 10 分以上の時間とリアルタイム処理に起因するデータの不備による不安定性などからこれまで全検出イベントに対するイメージフィットの自動化は行なってこなかった。

そこで我々は、アラートシステムから gnuplot を呼び出し、PSF として以下の近似関数を用いた簡易なイメージフィットによる高速な処理を試みてきた。スキャン方向の PSF にはコリメーターによる有効面積の時間変化を表す三角山の形状のものを用い、その時間幅は天体の強度変化を考慮し、フリーパラメータとした。一方、スキャン方向に垂直な比例計数管の芯線方向の PSF には比例計数管内での広がりによって決まる正規分布を用いた。これらの関数を用いて 2021 年 11 月のイベントに対してイメージフィットを行い、強度の有意性、天体の位置決定誤差、スキャン方向の時間幅の各値からイベントの真偽を判定する閾値を求めた。これらの閾値をもとに、先のイベントとは別に検出された 78 個のイベントの真偽を判断したところ正解率は約 88 % となった。また、同じ 78 個のイベントに対しロジスティック回帰分析を用いた機械学習を行いイベントの真偽を判断したところ正解率は約 87 % となった。今後、サンプル数を増やしこれら 2 つの判定を組み合わせ更なる改善を行う予定である。

[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](#)

W29a Be 型ドナーを持つ大質量 X 線連星系の進化段階としての ULX

鴈野重之 (九州産業大学)

Ultra-luminous X-ray source (ULX) の放射天体は星質量ブラックホールか、それとも中間質量ブラックホールかという議論が長年にわたってなされてきた。しかし、一部の ULX から X 線パルスが検出されて以降、ULX の中心天体の一部は中性子星であると考えられている。しかし、中性子星がエディントン限界を超える X 線光度を示すメカニズムや、全 ULX 中で中性子星が占める割合などはよくわかっていない。一方、近年の観測により、X 線パルスを示す ULX(PULX) の一部は Be 型のドナーを持つことが示唆されている。Be 型ドナーを持つ大質量 X 線連星系 (HMXB) は、近傍の HMXB の中でも大きな割合を占めており、もしも PULX が Be 型 HMXB の一進化段階に当たるならば、ULX の相当数が中性子星を中心天体として持つ可能性がある。そこで、本研究では、様々な連星パラメータを持つ Be 型 HMXB の進化計算を行うことにより、その進化の過程で PULX となり得るか否かを調べる。また PULX となるならばその期間はどれほどになるのか検討する。Be 型 HMXB がエディントン光度を上回る条件は Karino(2021,MNRAS, 507,1002) で得られたものを用い、連星進化の過程でこの条件を満たすような連星系の初期条件を探る。得られた条件を観測されている Be 型 HMXB の連星パラメータと比較すると、観測されている系のうち、一定数は将来的に PULX となり得ること、またその寿命は十分に長いことが示唆される。とくに、軌道周期が数十日で、軌道離心率の大きな系が PULX として観測されやすいだろうことを議論する。

[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](#)

W30a MAXI と TESS で見る X 線連星の可視光と X 線の変動の相関

細川 稜平, 河合 誠之 (東工大理), MAXI チーム

本研究では、全天 X 線観測装置 MAXI とトランジット系外惑星探索衛星 TESS のデータを用いて X 線連星の X 線と可視光の時間変動を調べた。MAXI と TESS で同時刻に観測されていた X 線連星のうち、特に可視光で大きな変動の見られた食 X 線連星及び Be X 線連星に注目した。食 X 線連星 Cen X-3 及び SMC X-1 については潮汐変形による可視光の変動モデルを作成し観測された光度曲線をフィッティングした結果、軌道周期よりも長いタイムスケールの変動が存在することが分かった。これが、Hickox et al., 2005 など提唱されている降着円盤の歳差運動で説明できるかについて考察を行った。Be X 線連星については、得られた TESS のデータに対して Lomb-Scargle 法を用いて周期解析を行ったところ、1 日前後の周期的な変動を示していることがわかった。この結果と連星系でない Be 星の先行研究との比較を行うことにより中性子星が Be 星に与える影響について考察を行った。

[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](#)

W31a 大質量 X 線連星：IGR J00370+6122 における中性子星への降着幾何と磁場強度の推定

内田和海 (宇宙航空研究開発機構), 高橋弘充, 深沢泰司 (広島大学), 牧島一夫 (東京大学 Kavli IPMU)

IGR J00370+6122 は、B1Ib 型の大質量星を主星にもつ X 線連星系である。連星周期は ~ 15.7 日、平均光度は $\sim 10^{35}$ erg/s と低く、急激かつ大幅 (~ 3 桁) な光度変動が観測されている。フレア中の 1 観測のみから 346 ± 6 秒の周期が報告されたことから、コンパクト星の正体は中性子星であると考えられるが、まだ確証に乏しい。

そこで我々は、XMM-Newton, Suzaku, Swift, RXTE, INTEGRAL 衛星のスペクトル解析、時系列解析によって、コンパクト星が中性子星かブラックホールかを調べ、前者の場合は磁場強度の推定を行うこととした。まず、XMM-Newton の 8ks ライトカーブからは、674 秒の周期が検出 (90% CL) された。これは、先行研究の 346 秒を第 2 高調波としたの時、基本周期に対応する。スペクトル解析では、XMM-Newton, Suzaku, Swift において、平均して $\Gamma \sim 2$ の連続成分を持ち、明るいとハードになる傾向が見られた。これらの観測結果は、いずれも中性子星の特徴とよく一致する。そこで次に、コンパクト星は中性子星と結論付けた上で、磁場強度の推定を行った。

RXTE, INTEGRAL からは、カットオフエネルギーの下限値が ≥ 40 keV で、80 keV まで伸びるスペクトルが観測された。このようなスペクトル形状は、特に磁場の強い降着型中性子星である X-Persei によく似る。1–80 keV のエネルギースペクトル中には、明確なサイクロトロン共鳴散乱構造は検出されなかったため、降着圧と磁気圧のバランスを定式化した降着トルクモデルを導入したところ、 5×10^{13} G もの磁場が算出された。これはハードなスペクトル形状から予想される磁場ともコンシステントである。本天体がこの強磁場を持ち、674 秒でスピニングしている中性子星だとすれば、急激かつ大幅な光度変動もプロペラ効果による降着の阻害で説明できる。

[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](#)

W32a 那須電波干渉計によって観測された Cygnus X-3 の巨大フレア (3)

坪野公夫, 大師堂経明 ((一社) 電波天文学研究会), 遊馬邦之 (朝霞高校), 岳藤一宏 (JAXA), 新沼浩太郎 (山口大学)

那須電波干渉計では、2021 年 10 月 19 日に Cygnus X-3 からの新たな巨大フレア出現を捉え、その後も約 1 ヶ月にわたってフレアが変動・収束しながら消滅していく姿を追った。本講演では、電波フレアの変動の様子およびそれに関連する X-ray 活動の遷移等について報告する。

マイクロクェーサーの一つである Cygnus X-3 は、白鳥座に属し X 線を放つ 4.8 時間周期の連星であり、主星はブラックホールもしくは中性子星、伴星は Wolf-Rayet star (WR) である。最近の研究では、メインの電波バーストに先立って、hard X-ray 領域において hypersoft/quenched state とよばれる不活性状態を遷移することがわかってきた。それと同時に散発的なガンマ線放射が見られることが多い。また通常は hypersoft/quenched state が解消された直後に電波バーストが起こり、その後は X-ray 領域の hard state が持続するというシナリオが成立していた。しかし今回およびその 2 ヶ月前の電波バーストに関してはこのシナリオが崩れ、電波バーストが起きても quenched state が解消されないという (記録がある限りにおいて) かつてない興味深い経過を示している。

那須電波干渉計では、東西方向に並んだ直径 20m の 8 基のアンテナが一体として機能する。8 基のアンテナからの出力を空間フーリエ変換 (空間 FFT とよぶ) することにより、1.4 GHz において角度分解能 0.1 度が実現されるが、この分解能は直径 160m のアンテナの性能に匹敵する。一方で、20m アンテナのもつ 0.8 度という広視野が維持されている。

那須電波望遠鏡 HP: <https://nasu-radio-telescope.space>

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

W33a 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)

ガンマ線バーストの残光観測によると、無衝突衝撃波で星間空間の磁場が 100 倍以上増幅し、高エネルギー粒子が生成されていることが要求されているが、それらの物理機構が未解明である。これまでに調べられてきた密度揺らぎがある中を伝播する相対論的衝撃波の磁気流体シミュレーションによると、磁場は衝撃波下流で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、ガンマ線バーストの残光を生成する衝撃波は無衝突衝撃波であり、非熱的粒子が生成され、粒子拡散も生じる。したがって、流体近似が適応できるかどうかは自明でなく、衝撃波下流で密度揺らぎが維持されるかどうかはわからない。乱流ダイナモ機構が働く場合に、ガンマ線バーストの残光を説明するために要求される衝撃波上流の密度揺らぎの空間スケールは、星間磁場中を伝播する熱的粒子のジャイロ半径の数 10 倍程度しかない。そこで、非一様な密度揺らぎ中を伝播する相対論的無衝突衝撃波の Particle-in-Cell シミュレーションと磁気流体シミュレーションを行い、乱流ダイナモの発展を比較した。その結果、粒子拡散が効き、我々の銀河の典型的な密度揺らぎを考えた場合、ガンマ線バーストの初期残光期では MHD 近似が悪いことが分かった。本講演では、相対論的無衝突衝撃波で乱流ダイナモを駆動するために必要な密度揺らぎの振幅について、両シミュレーションの結果から予言される条件について述べる。

[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](#)

W34a ガンマ線バースト残光の偏光から探る相対論的衝撃波の磁場構造

桑田明日香, 当真賢二 (東北大)

ガンマ線バースト (GRB) の残光は、衝撃波で加速された電子からのシンクロトロン放射だと考えられている。この衝撃波では星間空間の磁場の増幅が起こっているが、その増幅メカニズムは不明である。増幅メカニズムがわかれば、衝撃波での高エネルギー宇宙線の加速機構や GRB の全エネルギーの解明につながるため、重要である。磁場の増幅メカニズムは、プラズマ不安定と乱流ダイナモの二つが考えられてきたが、2つのメカニズムで生じる乱流磁場のスケールは大きく異なり、シンクロトロン偏光の観測から区別できると予想される。前者の機構で生じる小スケール (プラズマ慣性長程度) の乱流磁場からの偏光はモデル化され、観測と比較されている (e.g. Sari 1999, Shimoda & Toma 2021)。本研究では、もう一つの増幅機構である乱流ダイナモで生じる大スケール (残光衝撃波程度) の乱流磁場に着目し、偏光度を計算した。テスト計算として、一様な磁場がある場合の偏光を計算したところ、電波の偏光度が可視よりも高くなる時刻が存在することがわかった。これは小スケール乱流磁場では見られない振る舞いである。本発表では、この一様磁場の結果と、ランダムな大スケール乱流磁場からの偏光の計算結果について、それぞれその性質やパラメータ依存性を議論する。近年 ALMA と VLT などによる電波と可視の偏光同時観測がなされ始めており、それによって磁場構造が制限できると期待される。

[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](#)

W35a Monte Carlo simulations of fast Newtonian and mildly relativistic shock breakout from a stellar wind

伊藤裕貴 (理化学研究所), Amir Levinson (テルアビブ大学), Ehud Nakar (テルアビブ大学)

A strong explosion of a compact star surrounded by a thick stellar wind drives a fast ($> 0.1c$) radiation mediated shock (RMS) that propagates in the wind and ultimately breaks out gradually once photons start escaping from the shock transition layer. The shock velocity may even be relativistic in exceptionally strong or aspherical explosions. The properties of the breakout signal depend on the dynamics and structure of the shock during the breakout phase.

In this talk, I will present spectra and light curves of the breakout emission of fast Newtonian ($v_s/c = 0.1, 0.25$) and mildly relativistic ($v_s/c = 0.5$) shocks that are computed based on self-consistent Monte Carlo simulations of RMS which take into account the effect of radiative losses. A strong dependence of the νf_ν peak on shock velocity is found, ranging from ~ 1 keV for $v_s/c = 0.1$ to ~ 100 keV for $v_s/c = 0.5$, with a shift to lower energies as radiative losses increase. For all cases studied, the spectrum below the peak shows a nearly flat component ($F_\nu \propto \nu^0$) that extends down to the break frequency below which free-free absorption becomes important. The result implies much bright optical/ultraviolet emission than hitherto expected. For representative conditions, the light curves exhibit a gradual rise over tens to hundreds of seconds. The application to SN 2008D/XRT 080109 and the detectability limits are also discussed. We predict a detection rate of about one per year with eROSITA.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

W36a ジェット伝搬シミュレーションによるガンマ線バーストが付随する超新星の高速エジェクタ成分の研究

鈴木昭宏 (国立天文台), 前田啓一 (京都大学)

ロングガンマ線バースト (GRB) とそれに伴った極超新星の起源や放射メカニズムには、その発見から 20 年以上が経過した今でも多くの謎が残されている。一方、近年の突発天体観測網の発達によってガンマ線観測衛星による GRB 検出から即時に可視光分光観測を行い、付随する超新星エジェクタの最外層の情報が得られるようになってきた。その結果、いくつかのよく観測された GRB 超新星には、光速の 30% 以上の速度で膨張し、爆発によって合成されたと思われる重元素を多く含んだ超高速エジェクタ成分が存在することが分かった。この特徴は、爆発する星の内部で合成された元素が GRB ジェットによってエジェクタ最外層にまで輸送されている可能性を示唆する (GRB 171205A/SN 2017iuk; Izzo et al. 2019)。

本研究では現象論的な 3 次元 GRB ジェット伝搬シミュレーションを行い、爆発する大質量星内部での相対論的ジェット伝搬の効果を定量的に検証した。その結果、ジェットからのエネルギー注入による星外層の加速と最深部で合成された元素のジェットによる表面への輸送によって、重元素を多く含んだ高速エジェクタ成分が形成されることが分かった。この高速エジェクタ成分の運動学的・化学的特徴は SN 2017iuk の観測から得られる情報と概ね一致する。講演では、シミュレーションの詳細と観測的特徴との関係、さらにはジェットの注入条件による高速成分の運動学的・化学的特徴の違い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](#)

W37a ガンマ線バーストの即時放射休止中の放射の起源

李 晋, 坂本 貴紀, 芹野 素子 (青学大)

ガンマ線バースト (GRB) とは大質量星の崩壊によって大量のガンマ線を放出する天体現象であり、その即時放射は爆発によって生じる速度の異なるジェットの間での衝突によって起こる内部衝撃波、残光はシェルと ISM との衝突によって起こる外部衝撃波によるものだと考えられている。広視野硬 X 線観測装置である Swift/Burst Alert Telescope (BAT) が観測した光度曲線に複数のピークを持つ GRB の中には、そのピーク間の時間帯において、BAT では信号が確認できない休止期間があるものがある。軟 X 線望遠鏡の Swift/X-ray Telescope (XRT) と可視から紫外領域の望遠鏡である Swift/Ultraviolet/Optical Telescope (UVOT) は、BAT で GRB を発見後 70 秒程度で追観測を行うことができ、この即時放射が休止している時間帯を高い感度で観測することができる。我々は、BAT で見られる即時放射休止中の時間に XRT と UVOT で有意な信号が見られるサンプルを 6 つ発見し、解析を行なった。まず、XRT のスペクトル (エネルギー帯域 0.3 - 10 keV) を BAT のエネルギー帯域 (15 - 25 keV) に外挿し、XRT と BAT のデータを繋げた 15-25 keV の帯域のライトカーブを作成した。XRT の初期の光度曲線には、tail emission と呼ばれる急激に減光する放射が多く見られ、即時放射が起源であると考えられている。この tail emission の予想では、XRT のスペクトルのべき指数 Γ_{XRT} と、ライトカーブの減光のべき α との間に、 $\alpha=1+\Gamma_{XRT}$ の関係が成り立つ。しかしながら、今回解析した全てのサンプルにおいて、休止中の XRT の放射ではこの関係は成り立たなかった。次に XRT と UVOT のデータを用いてスペクトルを作成した結果、GRB の残光の観測データとよく合うことが知られている Sari et al.(1998) の synchrotron cooling model と矛盾しないことがわかった。これらの結果から、この放射が外部衝撃波起源であることが明らかになった。

[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](#)

W38a 電子分布非等方性とガンマ線バーストの即時放射

後藤瞭太 (東京大学宇宙線研究所), 浅野勝晃 (東京大学宇宙線研究所)

今回の講演では、ガンマ線バーストの電子分布の非等方性を考慮に入れた放射モデルを発表する。磁場に沿った方向への非等方な電子加速は、衝撃波に代わる加速メカニズムの候補である磁気リコネクションで起きることがプラズマシミュレーションで示されている。非等方性を考慮に入れる動機は、ガンマ線バーストのシンクロトロン放射モデルにおける速い冷却問題の解決にある。ガンマ線バーストの観測から、シンクロトロン放射を行う電子の冷却時間は、力学的な時間スケールよりもはるかに短い。シンクロトロン冷却により直ちにエネルギーを失った電子からの放射は、観測されるガンマ線バーストのスペクトルの冪を再現しない (速い冷却問題)。そこで我々は、電子が磁場に沿った方向に主に加速されていればシンクロトロン冷却の影響が抑えられるということに注目した。今回の我々の研究では、加速電子の非等方な分布を初期条件として与え、シンクロトロン冷却、ジェットの膨張に伴う磁場の減少、断熱冷却を取り入れた電子分布の時間発展と放射スペクトルの計算を数値シミュレーションによって行った。その結果、電子分布の非等方性により冷却が抑えられ、ガンマ線バーストのスペクトルを説明するパラメータ (非等方分布を特徴づけるパラメータ、相対論的ジェットのローレンツ因子、冪乗分布の電子の最低ローレンツ因子など) 領域が、これまでの観測から許される領域内にあることが明らかになった。今回の講演では、非等方電子分布を考慮したシンクロトロン放射によるガンマ線バーストの解釈について発表し、その妥当性についての議論を行う。

[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](#)

W39a ショートガンマ線バーストで探る中性子星合体からの放出物質の性質

野際洗希, 田中雅臣 (東北大学)

連星中性子星合体は重元素の起源の有力な候補の一つである。中性子星合体時には中性子を豊富に含んだ物質の放出が起こり、r-process 元素の放射性崩壊による熱的放射 (kilonova) が生じると予想されてきた。さらに相対論的ジェットが形成され、ジェットからはショートガンマ線バースト (SGRB) が引き起こされると考えられてきた。実際に 2017 年に初めて中性子星合体 (GW170817) に伴う SGRB と kilonova が観測され、これらのシナリオが検証されている。重元素の起源を解明するには放出物質の性質を調べるのが重要であり、GW170817 からの放出物質の質量はおよそ $0.05M_{\odot}$ と見積もられている。しかし、他の中性子星合体ではどのような性質の物質がどれだけ放出されているのかは明らかになっていない。

放出物質の質量や速度、元素組成を調べるには kilonova の詳細な輻射輸送シミュレーションが必要である。しかし、計算時間の問題でそれらの性質を網羅的に変えて計算を行い、観測量からパラメータ推定することは難しい。そこで我々は輻射輸送シミュレーションの結果を再現するエミュレータを開発した。このエミュレータを用いて、SGRB に付随した kilonova の候補天体に対して放出物質のパラメータ推定を行った。

本講演では、開発したエミュレータの性能を紹介し、中性子星合体から放出された物質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](#)

W40a 連星中性子星合体における質量放出・元素組成の連星質量比依存性

藤林 翔 (AEI), 和南城 伸也 (AEI), 木内 建太 (京都大学基礎物理学研究所/AEI), 久徳 浩太郎 (京都大学), 柴田 大 (京都大学基礎物理学研究所/AEI), 関口 雄一郎 (東邦大学)

連星中性子星の合体において、合体時の力学的質量放出の他に、合体後出来るコンパクト天体 (ブラックホールまたは大質量中性子星) 周囲の円盤の中で増幅された磁場に起因する質量放出が起こると考えられている。我々は数値相対論シミュレーションを用いて、連星中性子星合体における質量放出の連星質量比依存性を調べた。空間 3 次元のシミュレーションで合体時の力学的な質量放出を、その後空間 2 次元の粘性流体シミュレーションで円盤からの質量放出をそれぞれ調べた。本研究では核物質の状態方程式として SFHo を採用し、連星の質量比は 0.8-1 の範囲を調べた。力学的に放出される物質の質量は $\sim (3-6) \times 10^{-3}M_{\odot}$ で、質量、中性子過剰度、そして合成される元素の組成は連星の質量比に依り、また合体後に形成される円盤の質量 ($\sim 0.01-0.1M_{\odot}$) も連星の質量比に依ることがわかった。連星の質量差が大きいほど潮汐力により放出される物質の割合が増えるため、中性子過剰度が大きくなり、重い r 過程元素が多く合成される。しかし、質量差が大きいほど合体後に形成される円盤の質量、そして円盤から放出される物質の質量は大きい。合体後の系から放出される物質は主に軽い r 過程元素を作るため、力学的に放出される物質と円盤から放出される物質を共に考慮すると連星の質量比にほぼ依らずに太陽系の r 過程組成が実現されることを確かめた。

[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](#)

W41a Very-high-energy gamma-rays from binary neutron star mergers

Lin Haoxiang (The University of Tokyo)

The joint detection of GW170817 and a short GRB has provided the first direct evidence that at least some binary neutron star (BNS) mergers produce short GRBs. Recently, very-high-energy (VHE, > 0.1 TeV) photons are detected from several GRBs for the first time (e.g. GRB 190114C) and suggest synchrotron self-Compton (SSC) process as distinct emission mechanism. The VHE detection prospects of BNS mergers in the future gravitational-wave (GW) follow-up observations is encouraged by the upcoming operation of the Cherenkov Telescope Array (CTA) owing to its unprecedented sensitivity and rapid response.

In this study, we systematically develop a framework to evaluate GW, VHE and joint detectability of multi-messenger objects based on population models. We model detectability of BNS mergers via modeling SSC process in a relativistic structured jet, in contrast to previous predictions that are solely based on phenomenological extension of high energy spectra of observed short GRBs. We report the expected distributions and Malmquist bias of observables (distance, orientation, burst energies and ambient densities) for future events, and evaluate CTA's capability of detecting BNS mergers in various observational scenarios.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

W42a 連星中性子星

川口恭平 (東京大学), 藤林翔 (マックスプランク研究所), 仏坂健太 (東京大学), 柴田大 (マックスプランク研究所), 和南城伸也 (マックスプランク研究所)

中性子星を含む連星の合体は地上重力波検出器のメインターゲットであるが、様々な突発電磁波現象の母天体でもある。ショートガンマ線バーストや赤外線～可視光波長域において明るく光る Kilonova という現象をはじめとした電磁波対応天体の光度曲線には連星合体の極限環境の物理的情報が反映されていると期待される。一方、観測から物理的情報を引き出すためには、放出物質の密度、元素分布の正確な予測のもとその光度曲線を計算する事が肝要である。この観点から、数値シミュレーションの結果を元にしてより現実的な電磁波対応天体予測を目指す研究が盛んに行われるようになってきている。

本研究では、最新の連星中性子星のニュートリノ輻射磁気流体数値相対論による長時間シミュレーション結果を元に、連星合体後、大質量中性子星がブラックホールに崩壊せず長期間存在し続ける系における電磁波対応天体の性質を調べた。特に、連星合体から一貫した計算のもと放出物質の長期的流体進化を追う事で、どのような密度、元素分布を実現されるかを正確かつ定量的明らかにし、連星の性質と光度曲線との特徴との定量的関係づけを行った。

その結果、特にダイナモ効果による磁場増幅の効果が顕著である場合、系は合体後 1-10 年において放出された物質と星間空間との相互作用により電波で非常に明るく光ることが明らかとなった。また、Kilonova 放射は合体後 1 日までは GW170817 に伴って観測されたものよりも明るくなる一方、その後急激に可視光波長域が暗くなるという特徴を持つことが明らかになった。本講演ではこれら結果の詳細と観測的示唆について議論する。

[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](#)

W43a 放射輸送磁気流体数値相対論シミュレーションによるブラックホール・中性子星連星合体の長時間発展

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-Virgoによって初検出された。こ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。キロノバは、合体に伴い放出される中性子過剰物質中で r-process 元素合成が起こり、合成された放射性重元素の崩壊が熱源となって、可視光や赤外線でも光る現象である。

本研究ではブラックホール・中性子星連星の合体とその後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るため、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数値シミュレーションを最大で2秒行った。潮汐破壊が起こる場合に注目して、ブラックホールの初期質量は5.4太陽質量または8.1太陽質量とし、無次元スピンパラメータは0.75とした。また、中性子星の質量は1.35太陽質量とした。

合体に伴い中性子星は潮汐破壊され、10ms以下のタイムスケールでダイナミカルな物質放出が起きることが確認された。潮汐破壊の後、降着円盤が形成され、差動回転による磁力線の巻付きや磁気回転不安定性により磁場が増幅される。それに伴い降着円盤は乱流状態になり、実効粘性による物質の放出が確認された。降着円盤からの物質の放出は潮汐破壊から約300~500ms後に始まり、数100msの間続くことがわかった。

[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](#)

W44a 重力波観測を用いた Population III の初期質量観測への制限

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)

現在までに観測されているブラックホール (black hole, BH) はその質量により恒星質量 BH, 中間質量 BH, 超大質量 BH に分類される。しかしこれまで中間質量 BH に分類される BH はほとんど観測されておらず、そのため超大質量 BH の形成過程は未だ謎に包まれている。

一方で金属量が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ると、 $\sim 100 - 1000 M_{\odot}$ の星の誕生が示唆されており、これらは中間質量 BH を形成することが期待される。これらの Pop. III 由来の中間質量 BH が現在の宇宙に存在する超大質量 BH の種になり得たかを知るためには、これらが宇宙にどれだけ存在するかを知る必要があり、そのためには Pop. III の初期質量関数を知る必要がある。

しかし遠方に存在する Pop. III の光学観測は未だ困難で、その初期質量関数は求められていない。そこで注目されているのが、Pop. III 由来の連星 BH の合体である。連星 BH 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。そして中間質量 BH を含む連星 BH 合体が近傍で起きれば、Advanced LIGO や advanced VIRGO による現在までの重力波観測でも検出されるはずである。しかし、現在までに中間質量 BH を含む連星 BH 合体は捉えられておらず、合体率の上限のみが得られている。本研究では binary population synthesis による計算を行い、この合体率の上限から Pop. III の初期質量関数に制限を課し、そ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](#)

W45a スカラーテンソル理論における球対称重力崩壊に対するコード作成

浅川直道 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。

そこで本研究では球対称重力崩壊によって放射されるスカラー重力波を計算する 1 次元数値相対論コードを構築した。構築したコードで得られた流体やスカラー場のダイナミクスは Gerosa et al. 2016 の結果を再現している。流体計算には HLL 法を実装しているが Roe 法にも着目した。Roe 法は流体中を伝搬する波を全ての特性波に分解して計算するため音波のみを考慮する HLL 法よりも波の伝搬を正しく解ける一方で、音速が非常に小さい場合特性速度の縮退が起こり正しく計算できない。そのため本研究ではこの Roe 法の不安定性を取り除き、安定性を向上させた Roe 法の構築も行った。

本研究では以上のコードを用いて、球対称重力崩壊で放射されるスカラー重力波を状態方程式依存性に着目して調べた。

[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](#)

W46a 一般相対論的光行差方程式を用いた Kerr 時空における光の曲がりについて

荒木田英禎 (日本大学)

Kerr 時空は Schwarzschild 時空同様、漸近的平坦な時空であり、Kerr 時空における光の曲がりの研究の多くは観測者と光源が漸近的平坦な領域に静止した場合を想定したものである。しかし、Kerr 時空の有限距離領域や観測者が中心天体 (レンズ天体) に対して (4 元) 速度 u^μ を持つ場合への一般化についての議論は多くない。

レンズ天体と観測者との相対運動の効果については、Schwarzschild 時空の場合に先行研究があるが、レンズ天体が動径方向へ速度 v で運動するとした場合の光の全曲がり角は、レンズ天体と観測者が共に静止した場合の曲がり角に対して $1-v$ のファクターが乗じられるとする結果と、 $1-2v$ のファクターが乗じられるとする、異なる結果が存在していた。

本講演では、Kerr 時空における光の曲がりを、一般相対論的な光行差方程式に基づいて再考察し、さらに、観測者がレンズ天体に対して動径方向および接線方向の 4 元速度を持つ場合を議論する。一般相対論的な光行差方程式を用いる利点は、(1) レンズ天体の速度の代わりに観測者の 4 元速度を用いるため、光の測地線方程式の形が観測者の運動の効果に依存しないこと、(2) 観測者の速度効果を 4 元速度の形で一般相対論的な光行差方程式に容易に取り入れることができる点にある。

この方法で観測者が動径方向に速度 v^r で運動する場合の光の全曲がり角を評価した場合、静的な場合に対して $1-v$ のファクターが乗じられるとする結果と等価な $1+v^r$ のファクターが乗じられるという結果が得られた。また、接線方向に bv^ϕ (b はインパクトパラメータ、 v^ϕ は角速度) の速度を持つとした場合、 $1+bv^\phi/2$ のファクターが乗じられるとの結果を得た。

[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](#)

X01a 小スケール天体現象の理解に基づく初代銀河形成シミュレーション

杉村和幸 (東北大学)、Jongwon Park、Massimo Ricotti (メリーランド大学)

宇宙で最初に誕生する銀河である初代銀河は、その後の宇宙進化に大きな影響を与えることに加え、次世代大型観測装置の主要な観測目標でもあり、その解明は現代天文学の重要課題の一つと言える。一方で、これまでの銀河形成シミュレーションでは、銀河より小さなスケールで起こる天体現象の取り扱いが不十分であり、シミュレーション結果の不定性につながってしまっているという問題があった。

そこで、本研究では、「初代星」、「低金属星団」、「ブラックホール」といった初代銀河形成において主要な役割を果たすと考えられる天体について、それぞれの天体についての最新の研究成果に基づいたモデルを組み込み初代銀河形成シミュレーションをおこなった。本講演では、まず、初代銀河形成シミュレーションの結果について紹介する。さらに、初代銀河形成において上記の小スケール天体がどのような役割を果たしたかの考察について述べる。

[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](#)

X02a 形成初期銀河での化学組成比進化

福島啓太、長峯健太郎 (大阪大学)、松本明訓 (東京大学)、大内正己 (国立天文台/東京大学)、斎藤貴之 (神戸大学)、平居悠 (University of Notre Dame, 東北大学)

銀河の星形成史の良いトレーサーとして化学組成比があり、ヘリウムの存在比と金属量の関係から、ビッグバン元素合成時のヘリウム存在量に迫ることも出来るが、初代銀河はとても暗くて観測が非常に難しい。近年、近傍にある extremely metal-poor galaxies (EMPGs) が発見され、形成初期と考えられる銀河の化学組成比が観測されるようになってきた。

そこで我々は化学進化ライブラリ CELib を用いて、one zone model 計算と宇宙論的流体シミュレーションにより初代銀河の化学組成史を調べ、EMPGs の観測と比較し銀河形成初期段階の化学進化の様子を調べた。One zone model 計算により、EMPGs と同等の sSFR を持つ星形成が活発なモデルほど同じ金属量に対し低い He/H を持つことを示した。これは He が AGB 星起源であることに由来する。また、宇宙論的流体計算コード GADGET3-Osaka を用いて化学進化と流体計算を同時に解き、初代銀河形成を調べた。低質量銀河形成を計算するため、zoom-in 手法を用いて高分解能計算を行ったところ、高温領域に高い He/H を持つガスが分布することを見出し、現在フィードバック効果との関連性をさらに調べている。EMPG で観測されている Fe/O、N/O などの化学組成比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](#)

X03a 宇宙再電離期における原始銀河団領域の 21cm 線シグナル

秋葉健志 (筑波大学), 矢島秀伸 (筑波大学), 安部牧人 (筑波大学)

宇宙再電離はいつ、どのように始まったのか。電離源であると考えられている初代星や初代銀河は宇宙の階層的な構造形成の中でどのように誕生し、それらは周囲のガスにどのような影響を与えたのか。21cm 線シグナルは、再電離期の銀河間ガスの物理状態を反映するため、これら宇宙再電離と天体形成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。

本研究では原始銀河団領域 (Proto-Cluster Region: PCR) に着目し、21cm 線と星形成活動や環境効果との関係について調べた。PCR では活発な星形成銀河が多数形成されるため、強い紫外線により周囲のガスの 21cm 線シグナルも大きな影響を受ける可能性がある。そこで我々は FOREVER22 シミュレーション (Yajima et al. 2022) のデータを使用して、複数の PCR と Mean Field 領域において 21cm 線シグナルを計算し、結果を解析した。

PCR では $z \sim 16$ で領域内の星形成率が $5M_{\odot}/\text{yr}$ 程度になり、領域平均で -150mK の吸収シグナルが見られた。一方、Mean Field では $z \sim 13$ で同量の星形成率が得られたが、シグナルは -100mK 程度にとどまった。この違いは PCR の銀河のクラスタリングの効果によるものだと考えられ、PCR と Mean Field では星形成率に対する 21cm 線シグナルが系統的に異なる事が分かった。本講演は、計算モデルや解析方法を紹介するとともにシグナル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](#)

X04a ALMA による $z = 8.31$ のライマンブレイク銀河の 300 pc 分解能撮像

田村陽一, Tom Bakx, 今村千博, 萩本将都, 竹内努 (名古屋大), 井上昭雄, 徳岡剛史 (早稲田大), 橋本拓也 (筑波大), 松尾宏, 馬渡健, 松田有一 (国立天文台), Minju Lee (DTU Space/DAWN), 梅畑豪紀, 吉田直紀, 森脇可奈, 廿日出文洋, 河野孝太郎 (東京大), 岡本崇 (北海道大), E. Zackrisson, C. Binggeli (Uppsala), 太田一陽 (金沢大), 澁谷隆俊 (北見工大), 清水一紘 (四国学院大), 谷口義明 (放送大)

本講演では、 $z = 8.312$ のライマンブレイク銀河 MACS0416_Y1 に対して行った、ALMA による [OIII] $88 \mu\text{m}$ と低温ダスト放射の高空間分解能 (約 300 pc) 観測の結果を報告する。本銀河には紫外放射でトレースされる 3 つの若い星成分が一例に並んでおり、ALMA により [OIII] や [CII] 輝線、及びダスト放射が検出されていた。今回新たに得た高分解能の [OIII] 輝線画像にも 3 成分が存在し、それぞれが星成分に付随していることがわかった。[OIII] 放射に系統的な銀河回転運動は見られず、むしろ乱流的な速度構造が卓越しており、銀河内部の電離ガス雲のバルクな運動を示唆する。これに対し、ダスト放射は 2 つのクランプを示し、それぞれが [OIII]/紫外放射に見られる 3 成分を分かちよう分布している。ダストと [OIII]/紫外放射画像のあいだの相互相関係数は、銀河スケールで ≈ 1 (正相関) であった一方、 $< 1 \text{ kpc}$ スケールで ≈ 0 (無相関) に落ちることがわかった。これは、ダスト放射がトレースする低温・高密度の星間物質と電離ガス/若い星が sub-kpc スケールで入り混じった状態にあることを示唆する。ダスト放射は、星成分の空間的広がりに対して垂直な方向にテイルが伸びていることに加え、空洞も見られた。星成分の SED フィットから推定される星形成率 ($\approx 100 M_{\odot}/\text{yr}$) と年齢 (4 Myr) から推定される星間物質へのエネルギー注入量は kpc スケールの空洞を形成するのに十分なことから、この空洞は銀河スケールのスーパーバブルである可能性がある。この検証には、今後の JWST による面分光観測が重要である。

[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](#)

X05a A study of the [O III]88 μ m and [C II]158 μ m emission in a $z = 7.2$ galaxy

Yi Ren, Yoshinobu Fudamoto, Akio K. Inoue, Yuma Sugahara, Tsuyoshi Tokuoka (Waseda U.), et al.

Far-infrared fine-structure emission lines are important tools for the study of galaxies existing within 1 Gyr after the Big Bang. Inoue et al. (2016) reported a 5.3σ detection of the [O III]88 μ m emission and a non-detection of the [C II]158 μ m emission from a $z = 7.2$ galaxy, SXDF-NB1006-2, using ALMA. As a result, the mean value of the [O III]/[C II] luminosity ratio is higher than that in local dwarf galaxies. However, Carniani et al. (2020) used additional dataset with a lower angular resolution and reported a 4.1σ detection of [C II]158 μ m emission in SXDF-NB1006-2, suggesting that the [O III]/[C II] luminosity ratio is consistent with local dwarf galaxies. In this work, we analyzed a new [O III]88 μ m dataset with a higher angular resolution to study the detailed structure of the emission in SXDF-NB1006-2. The [O III]88 μ m emission shows a clumpy structure with three components enclosed in the 2σ contour of the signal obtained from the previous dataset, while another signal locates outside the contour, which is hard to conclude if it is a real signal or not. *JWST* will observe the optical [O III] emission lines of this galaxy and will confirm or refuse the clumpy structure of the ionized gas. For [C II]158 μ m, we also analyzed both the datasets used in previous works and a new dataset obtained from the REBELS large program whose angular resolution is similar to that analyzed by Carniani et al. (2020). As a result, only a $\sim 3\sigma$ with a size smaller than the beam size can be seen near the center of the moment 0 map made by the concatenated data of those three datasets, suggesting a non-detection of the [C II]158 μ m emission. Finally, we gained an [O III]/[C II] luminosity ratio similar to or even higher than Inoue et al. (2016).

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

X06a ALMA reveals extended cool gas and hot ionized outflows in a typical star-forming galaxy at $z = 7.13$

S. Fujimoto (DAWN), H. Akins (Grinnell College), K. Finlator (NMSU), D. Watson (DAWN), K. Knudsen (U. Chalmers), J. Richard (Lyon observatory), and collaborators

We present spatially-resolved morphological properties of [C II] 158 μ m, [O III] 88 μ m, dust, and rest-frame ultraviolet (UV) continuum emission for A1689-zD1, a strongly lensed, sub- L^* galaxy at $z = 7.13$, by utilizing deep Atacama Large Millimeter/submillimeter Array (ALMA) and *Hubble Space Telescope* (*HST*) observations. While the [O III] line and UV continuum are compact, the [C II] line is extended up to a radius of $r \sim 12$ kpc. Using multi-band rest-frame far-infrared (FIR) continuum data ranging from 52 – 400 μ m, we find an average dust temperature and emissivity index of $T_{\text{dust}} = 41_{-14}^{+17}$ K and $\beta = 1.7_{-0.7}^{+1.1}$, respectively, across the galaxy. We also measure the spatially-resolved T_{dust} , which peaks at the galaxy center with ~ 50 K and cools to larger distance, reaching ~ 35 K at $r = 5$ kpc. We map the star-formation rate (SFR) via IR and UV luminosities and determine a total SFR of $37 \pm 1 M_{\odot} \text{ yr}^{-1}$ with an obscured fraction of 87%. While the [O III] line is a good tracer of the SFR, the [C II] line shows deviation from the local $L_{[\text{C II}]}$ -SFR relations in the outskirts of the galaxy. Finally, we observe a clear difference in the line profile between [C II] and [O III], with significant residuals ($\sim 5\sigma$) in the [O III] line spectrum after subtracting a single Gaussian model. This suggests a possible origin of the [C II] halo from the cooling of hot ionized outflows. The extended [C II] and high-velocity [O III] emission may both contribute in part to the high $L_{[\text{O III}]} / L_{[\text{C II}]}$ ratios recently reported in $z > 6$ 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](#)

X07a 赤方偏移 7 から 4 における [CII] 158 μm 輝線で見た星形成銀河の形態と進化

札幌佳伸, 井上昭雄, 菅原悠馬 (早稲田大学), R. Bouwens (Leiden University), P. A. Oesch (University of Geneva), R. Smit (Liverpool John Moores University), and REBELS collaboration

これまで、可視光/近赤外線望遠鏡による大規模な銀河探査によって高赤方偏移から現在に至るまでの宇宙の星形成史が解き明かされてきた (Madau&Dickinson 2014)。その中でも特に、赤方偏移が 3 から 4 に至るまでの宇宙は星形成率密度が加速度的に高くなってゆく「銀河の急成長期」に相当すると考えられている。それら高赤方偏移宇宙においては、銀河には大量の星間ガスが存在し、現在見られる銀河よりも活発な星形成を行っていることがわかっている (e.g., Dessauges-Zavadsky+2020)。さらに近年、アルマ望遠鏡によって可能になった高感度・高分解能のサブミリ波観測によりそれら星間ガスの詳細な観測的研究が可能になった。特に赤方偏移 4 から 6 にある銀河においては、近年急速に進んだ [CII]158 μm 輝線の観測から、星間ガスが静止系紫外光やダスト連続光でみた星形成領域よりもはるかに広がっている様子が発見された ([CII] Halo; e.g., Fujimoto+2019, 2020, Herrera-Camus+2021)。本発表では、現在進行中のアルマ望遠鏡による大規模観測プロジェクト Reionization Era Bright Emission Line Search 「REBELS」によって検出された [CII] 158 μm 輝線とダスト連続光を用いて、これまでの研究よりもさらに高い赤方偏移にあたる赤方偏移 7 における星間ガスの広がりについて報告する。今回、[CII] 158 μm 輝線のスタッキング解析を行い、ダスト連続光で見える形態との比較を行ったところ、先行研究と同様に有効半径が 2.2 kpc 程度にまで大きく広がった星間ガスが検出された。さらに、近年アルマ望遠鏡を用いて行われた赤方偏移 4 から 6 における [CII]158 μm 輝線の大規模観測との比較を行うことで、星間ガスの広がり赤方偏移進化についても報告を行う。

[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](#)

X08a スパースモデリングによる $z = 7$ の Lyman break 銀河 A1689-zD1 の ALMA 超解像イメージング

今村千博, 田村陽一, 谷口暁星 (名古屋大学), 中里剛 (国立天文台), 池田思朗 (統計数理研究所), 山口正行 (東京大学, 国立天文台)

ALMA による高感度・高空間分解能観測の結果から、宇宙再電離期の銀河には重元素やダストが多く含まれることが報告されている。これらの銀河種族の空間分解された画像は銀河の形態や放射の分布を表すため、銀河進化の研究にとって非常に重要である。一方で、従来から広く用いられている干渉計データのイメージング手法である CLEAN アルゴリズムでは、その原理から point spread function (PSF) によって空間分解能が制限される。近年、注目されているスパースモデリング (SpM) を用いた干渉計データのイメージングでは、CLEAN の場合よりも空間分解能が高い超解像イメージングが可能になると期待されている。

本研究では、SpM による電波干渉計データのイメージングツール PRIISM (Nakazato & Ikeda 2020) を用いて $z = 7.13$ にある Lyman break 銀河 A1689-zD1 の ALMA/Band6 (217–236 GHz, 空間分解能 $0''.209$), Band8 (404–420 GHz, 空間分解能 $0''.243$) の超解像イメージングを行い、Band6 の連続波、[C II] 158 μm 輝線、[O III] 88 μm 輝線の画像を得た。さらに、同じ観測データで画像再構成された CLEAN 画像と比較した結果、両者ともに矛盾しない構造、放射強度をもつことがわかった。また、連続波画像上で、SpM の実効的な空間分解能を評価した結果、SpM は CLEAN に比べて、約 1.6 倍向上した。さらに、SpM により推定された 2 つの輝線の積分強度図からは、[C II] 158 μm 輝線の放射の構造が [O III] 88 μm 輝線の放射よりも外側に広がっ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](#)

X09a Deep CO Observations for Luminous Lyman-break Galaxies at $z = 6.0293\text{--}6.2037$

Y. Ono (UTokyo), S. Fujimoto (DAWN), Y. Harikane (UTokyo), M. Ouchi (NAOJ/UTokyo), L. Vallini, A. Ferrara (SNS), T. Shibuya (Kitami), A. Pallottini (SNS), A. K. Inoue (Waseda), M. Imanishi (NAOJ), K. Shimasaku (UTokyo), T. Hashimoto (Tsukuba), C.-H. Lee (NOIRLab), Y. Sugahara (Waseda), Y. Tamura (Nagoya), K. Kohno (UTokyo), M. Schramm (Saitama)

We present our new ALMA observations targeting CO(6–5) from three luminous LBGs at $z_{\text{spec}} = 6.0293\text{--}6.2037$ found in the Subaru/HSC survey, whose [O III]88 μm and [C II]158 μm have been detected with ALMA. We find the CO(6–5) line from one of our LBGs, J0235–0532, at the $\simeq 4\sigma$ level and obtain upper limits for the other two LBGs. Our $z = 6$ luminous LBGs are consistent with the previously found correlation between the CO luminosity and the IR luminosity. The unique ensemble of the multiple FIR lines and underlying continuum fed to a PDR model reveal that J0235–0532 has a relatively high n_{H} that is comparable to those of low- z (U)LIRGs, quasars, and Galactic star-forming regions with high n_{H} values, while the other two LBGs have lower n_{H} consistent with local star-forming galaxies. By carefully taking account of various uncertainties we obtain total gas mass and gas surface density constraints from their CO luminosity measurements. We find that J0235–0532 locates below the Kennicutt-Schmidt (KS) relation, comparable to the previously CO(2–1) detected $z = 5.7$ LBG, HZ10, while dusty starbursts at similar redshifts locate above the KS relation, indicating that the scatter of the KS relation may increase with increasing redshift at least at large gas surface densities of $\sim 10^4 M_{\odot} \text{pc}^{-2}$, and the KS relation at $z = 5\text{--}6$ is on average consistent with the local one.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

X10a ALMA observations of a submillimeter galaxy at $z = 6$ I: Detection of nitrogen

Ken-ichi Tadaki (NAOJ), Akiyoshi Tsujita (Univ. of Tokyo), Yoichi Tamura (Nagoya University), Kotaro Kohno, Yuri Nishimura, Bunyo Hatsukade, Hideki Umehata (Univ. of Tokyo), Daisuke Iono, Jorge Zavala, Kouichiro Nakanishi, Yuichi Matsuda (NAOJ), Minju Lee (DAWN), Tomonari Michiyama (Osaka University), Tohru Nagao (Ehime University), Toshiki Saito (Nihon University)

Nitrogen is one of the most important elements for understanding the chemical evolution of galaxies because it is mainly produced from carbon and oxygen already present in stars through the CNO cycle, referred to as secondary element. However, there are few detections of nitrogen emission lines in galaxies at $z > 5$. We present ALMA observations of [N II] 205 μm , [O III] 88 μm and dust emission in a strongly-lensed, submillimeter galaxy at $z = 6.03$, G09.83808. Both [N II] and [O III] line emission are detected at $> 12\sigma$ in the 0.8''-resolution maps. Since these lines have different ionization potential, its ratio depends not only on metallicity but also on ionization parameter. We corrected for the dependence on ionization parameter by using the empirical relation among [N II]/[O III] luminosity ratio, [N III]/[O III], and the continuum flux density ratio between 63 μm and 158 μm in local galaxies. Then, we infer that the gas phase metallicity is relatively low compared to local LIRGs, but already nearly solar with $Z = 0.5\text{--}0.7 Z_{\odot}$. G09.83808 could be one of the earliest galaxies to have chemically evolved in 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](#)

X11a ALMA observations of a submillimeter galaxy at $z = 6$ II: Lens modeling, gas kinematics and CO excitation

Akiyoshi Tsujita (U. Tokyo), Ken-ichi Tadaki (NAOJ), Kotaro Kohno, Bunyo Hatsukade, Fumi Egusa, Yuri Nishimura (U. Tokyo), Yoichi Tamura (U. Nagoya), Jorge A. Zavala (NAOJ),

Bright submillimeter galaxies (SMGs) are expected to evolve into compact quiescent galaxies through a strong and short burst of star formation. Recent ALMA observations have revealed that SMGs at $z = 4 - 5$ ubiquitously have a rotation-supported disk, but it becomes increasingly difficult to spatially resolve line emission in galaxies at higher redshift due to a lack of sensitivity and angular resolution. Here we present [OIII] $88\mu\text{m}$, [NII] $205\mu\text{m}$, and CO(12-11) line observations from a strongly-lensed SMG at $z = 6.03$, G09-83808, with the angular resolution of $0.8''$. Owing to the magnification, this source is spatially-resolved (~ 1.5 kpc scale in the source plane on average). Reconstructed sources show a monotonic velocity gradient over the galaxy. Together with the fact that the brightness distribution of the source is well fitted with an exponential disk profile, this gradient suggests the existence of a rotating disk extended over a radius of $R \sim 1.2$ kpc. In addition, non-LTE radiative transfer analysis using CO rotational transition lines ($J_{\text{up}} = 2, 5, 6, 12$) indicates that there is warm ($T_{\text{kin}} \sim 320$ K) and dense ($n_{\text{H}_2} \sim 10^{5.4} \text{ cm}^{-3}$) gas in the compact region at the galactic center ($R \sim 0.6$ kpc). And also, the high ratio of $L_{\text{CO}(12-11)}/L_{\text{CO}(6-5)} = 1.1 \pm 0.3$ is consistent with local AGN-host galaxies and $6 < z < 7$ quasars, which may indicate the existence of an obscured AGN.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

X12a A clear picture of dust-obscured star-formation in the Early Universe

Tom Bakx (Nagoya University), Laura Sommovigo (Scuola Normale Superiore), Stefano Carniani (Scuola Normale Superiore), Andrea Ferrara (Scuola Normale Superiore), Yoichi Tamura (Nagoya University), Masato Hagimoto (Nagoya University)

Unobscured star-formation has been probed out to redshifts above 10, however recent sub-mm observations have revealed UV observations do not provide a complete picture. In fact, ALMA and NOEMA have observed dust-obscured emission in these early epochs. While it is clear that there exists vast dust reservoirs, at this moment, its full extent remains unknown due to poor constraints on the dust temperature. Using the short-wavelength bands of ALMA, we probe the full dust emission of a normal star-forming galaxy ($L \sim L^*$) in the Early Universe for the first time. Even in this relatively normal system, dust-obscured star-formation is dominant, and are thus important considerations for galaxy evolution at the highest redshifts. Future observations of high-redshift galaxies at short wavelengths are thus direly needed, especially with JWST on the horizon.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

X13a すばる望遠鏡/Hyper Suprime-Cam による $z \sim 6.8$ Ly α 輝線銀河の探査

室伏海南江, 嶋作一大, 安藤誠, 百瀬莉恵子 (東京大学), 井上昭雄 (早稲田大学), 他 HSC Project 388

宇宙再電離の時間進化や空間進化はまだよくわかっていない。遠方銀河の一種である Ly α 輝線銀河 (LAE) はこの問題を調べる有力な銀河種族の 1 つであるが、 $z > 6.5$ という宇宙再電離がまだ進行中と考えられる時代における LAE のデータは、広さ、深さともに十分とはいえない。たとえば、探査する天域によって Ly α 光度関数 (LF) の明るい側がばらつくほか、天球分布や Ly α 等価幅分布の観測例も少ない。そこで我々は、CHORUS project の一環として、すばる望遠鏡 Hyper Suprime-Cam に搭載されている中間帯域フィルター IB945 (中心波長 9462Å, FWHM= 330Å) を用いて $z = 6.8$ の明るい LAE を COSMOS field で探査し、宇宙再電離の問題に取り組んでいる。本探査の探査面積は 1.5 deg^2 、対応する探査体積は $3.0 \times 10^6 \text{ Mpc}^3$ である。最も深い場所における IB945 の限界等級は 26.17 mag (5σ , 1.20" 開口直径) に達している。IB945, z, y バンドを用いた色選択によって 38 個の LAE が検出された。また、天球面上の密度超過が 12 という非常に LAE の集中している領域 ($16 \times 29 \text{ cMpc}^2$ に 7 個) も発見された。講演では、Ly α LF およびこの密度超過領域を用いた中性度の考察を行なうとともに、密度超過領域とそれ以外の領域での LAE の性質の違いなども議論する。

[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](#)

X14a すばる望遠鏡 Hyper Suprime-Cam が捉えた最遠方低光度クエーサー周辺の電離領域と宇宙再電離

大栗鷹也, 松岡良樹 (愛媛大学), and the SHELLQs collaboration

宇宙再電離期は銀河間物質 (Intergalactic Medium : IGM) が中性状態から電離状態へと移り変わる段階である。宇宙再電離期のクエーサーは周囲の IGM が完全に電離していないために、光子の電離放射に伴った顕著な電離領域を形成するとされている。その電離領域の大きさはクエーサーのスペクトルから測定でき、Ly α 透過度が 10% 以上の near-zone などで定義される。Near-zone はクエーサー周辺の IGM の電離状態 (中性度 f_{HI}) を調べることができる重要な probe であり、near-zone の大きさからクエーサーの過去の放射履歴やブラックホールの成長履歴も知ることができる。

本研究では、すばる望遠鏡 Hyper Suprime-Cam の SSP サーベイデータを使ったプロジェクト Subaru High- z Exploration of Low-Luminosity Quasars project (SHELLQs) で発見されている $z \sim 6$ の低光度クエーサーについて、near-zone size (R_N) を測定した。Near-zone size の測定には正確な赤方偏移が必要であり、SHELLQs チームからは Ishimoto et al. (2020) で MgII, [CII] 輝線に基づいた赤方偏移が得られている SHELLQs クエーサー 11 天体の near-zone size が既に測定されている。本研究では全 SHELLQs クエーサー 155 天体のうち Ly α 輝線が明確に見られない天体を除いた 117 天体について校正した Ly α 赤方偏移による near-zone size の測定を行い、 R_N 測定の光度範囲をかつてない低光度 $M_{1450} = -21$ まで拡張して R_N の光度依存性や赤方偏移進化を調べた。また光度別に天体を分類してスタックをした結果、 R_N のはっきりとした光度依存性が見られた。本講演ではその具体的な結果や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](#)

X15a 遠方クェーサー形成に向けた近赤外線変光調査

関根章太, 井上昭雄 (早稲田大学), 齋藤智樹 (兵庫県立大学), 山中郷史 (鳥羽商船高専)

赤方偏移 $z \sim 7$ の遠方宇宙に存在する超大質量ブラックホールの起源は現在でも大きな謎である。この問題を議論する一つの方法として、クェーサーの変光を観測することが考えられる。そこで私たちは、4つのクェーサー、PSO183+05 (赤方偏移 $z = 6.44$), PSO338+29 (赤方偏移 $z = 6.66$), ULAS J1120+0641 (赤方偏移 $z = 7.09$), ULAS J1342+0928 (赤方偏移 $z = 7.54$) について、なゆた望遠鏡 NIC を用いて、 J, H, K_s の3バンド同時撮像を1週間~3年間に渡って行なった。それぞれのターゲットの変光の有無について、文献値との比較も行い調査した。PSO338+29 と ULAS J1342+0928 の J バンドについて、 $\sim 2\sigma$ 程度の変光の兆候が見られた。

変光調査の性質上、等級とその誤差を適切に評価することが非常に重要であり、慎重に検討を行なった。また、誤差を改善するため2021年の観測ではディザリング点数を10点から7点に変えて観測を行なった。本講演では、これらの結果についても議論する。

ULAS J1342+0928 の Eddington 比は、2017年には $\lambda_{Edd} = 1.80 \pm 0.08$ であり、2019, 2020年を平均したものは $\lambda_{Edd} = 1.29 \pm 0.45$ であった。2017年から2019-2020年にかけて、Eddington 比は $\sim 30\%$ 程度変化をしている。ブラックホールの成長過程では、Super-Eddington 降着率と Sub-Eddington 降着率の間を変動することが自然ではないかと考えられる。今後、この減少傾向が続くと数年後にはこのクェーサーは、Super-Eddington 降着率から Sub-Eddington 降着率へ変化していく可能性がある。

今回観測されたクェーサーの変光の兆候はどちらも J バンドであった。赤方偏移 $z \sim 7$ では J バンドに C_{IV} 輝線が入る。そのため観測された変光の兆候は、 C_{IV} 輝線が関わっているかについても調査をしていきたい。

[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](#)

X16a Uchuu simulation と準解析的モデルで探る AGN 光度関数の field variance

大木平, 石山智明 (千葉大学), Francisco Prada (Instituto de Astrofísica de Andalucía), Darren Croton, Manodeep Sinha (Swinburne University of Technology), Sofia A. Cora (Instituto de Astrofísica de La Plata), Uchuu collaboration, ν^2 GC collaboration

高赤方偏移 ($z \gtrsim 6$) 活動銀河核 (AGN) の光度関数は、超巨大ブラックホール (SMBH) 形成や銀河との共進化過程の重要な手掛かりとなる。これまでに、すばる HSC などの広域サーベイにより赤方偏移 6 付近までの AGN 光度関数が明らかにされてきた。今後打ち上げが予定されている Roman や Athena 望遠鏡による AGN 探査により、より高赤方偏移の AGN 光度関数が明らかになることが期待される。しかしながら、限られたサーベイ領域から求められる光度関数は、cosmic variance の影響を強く受けることが知られている。本研究では、超大規模宇宙論的 N 体シミュレーション Uchuu simulation と準解析的銀河・AGN モデル ν^2 GC を用いて、サーベイ面積の違いが AGN 光度関数に与える影響を調べた。このモデルでは Uchuu simulation の広い計算領域 ($(2\text{Gpc}/h)^3$) により、 $z \sim 6-9$ に渡り、80平方度のサーベイ面積に対応する領域を数十個独立に取り出すことが可能である。

得られた variance は、サーベイ面積の増加とともに冪乗則に従い減少し、赤方偏移の増加とともに大きくなる。また、variance は AGN 光度にほとんど依存しないことがわかった。これは、AGN を持つダークマターハローの典型的質量が AGN 光度に大きく依存しないことから理解できる。また、高光度側の variance は Poisson variance が支配的であるものの、低光度側では cosmic variance が寄与することがわかった。さらに、SMBH/AGN 形成過程のパラメータが field variance へ与える影響についても調べた。本講演ではこれらの結果を報告し、将来観測によって得られる AGN 光度関数の不定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](#)

X17a 近傍から $z > 6$ の銀河を繋ぐ可視・遠赤外の輝線図モデリング

菅原悠馬 (国立天文台/早稲田), 井上昭雄 (早稲田), 札本佳伸 (国立天文台/早稲田), 橋本拓也 (筑波), 山中郷史 (鳥羽商船), 播金優一 (ICRR)

近年、近赤外線・サブミリ波観測の発展により、高赤方偏移銀河の輝線観測が大きく進展している。赤方偏移 $z \sim 2$ の銀河では静止系可視輝線が検出され、[OIII]5007/H β -[NII]6583/H α 輝線図 (BPT 図) 上において $z \sim 2$ 銀河が近傍銀河と異なる分布を持つことが明らかになった。一方、ALMA を使った遠赤外輝線観測からは、 $z > 6$ 銀河が高い [OIII] 88 μm /[CII] 158 μm 輝線比を持つことが示された。これらの観測結果は遠方銀河の星間物質が近傍銀河よりも高い電離状態にあることを支持するが、可視 ($z \sim 0$ と 2) と遠赤外 ($z \sim 0$ と > 6) の観測データはこれまで別々に研究されてきた。本講演では、可視・遠赤外輝線図上に分布する $z \sim 0, 2, > 6$ 銀河の性質を、シンプルな光電離モデルを使って統一的に理解する試みについて報告する。光電離モデルの構築には Cloudy を利用した。まず $z > 6$ 銀河について調べたところ、そのいくつかは非常に高い [OIII]88 μm -星形成率比 ([OIII]₈₈/SFR) を示した。これを光電離モデルで説明するには水素密度 $n_{\text{H}} < 30 \text{ cm}^{-3}$ かつ電離パラメータ $\log U \gtrsim -2.0$ という、 $z \lesssim 2$ 銀河とは大きく異なる星雲パラメータが必要となる。我々はこの高い [OIII]₈₈/SFR を説明するシナリオとして、これらの銀河において 1. 遠赤外星形成率が過小評価されている可能性、2. 星形成史が bursty もしくは increasing な可能性、3. 高い [OIII] 88 μm を放つ薄い高階電離ガスが存在する可能性、の三つを提案する。次に、 $z \sim 0, 2$ 銀河をモデリングして $z > 6$ 銀河と比較したところ、各輝線図上で $z \sim 0$ から > 6 まで連続的に分布が変化することが予測された。本研究が光電離モデルから予想した星雲パラメータや > 6 銀河の BPT 図上の分布は、今後の JWST 観測により検証され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](#)

X18a $0 < z < 5$ における銀河の composite SEDs から探る星形成史

杉森加奈子 (総合研究大学院大学), 田中賢幸 (国立天文台)

銀河がどのように進化してきたのかを探るためには、銀河の星形成史を調べるのが重要である。銀河のスペクトルを種族合成モデルと比較することにより、銀河の年齢や星種族などを推定することができるため、銀河の星形成史を調べる上で有用である。撮像観測によるスペクトルエネルギー分布 (SED) では広い波長かつ赤方偏移に渡って銀河を統計的に調べることができるが、分光スペクトルに比べ波長分解能が悪い。一方で、分光観測は明るい銀河に限られる。そのため、これまで幅広い赤方偏移範囲で、様々な銀河の星形成史を総合的に調べた例はない。そこで、本研究では複数の銀河 SED を組み合わせた composite SEDs を様々な銀河種族に対して作成し、種族合成モデルを用いてフィットすることで各銀河種族の平均的な星形成史を探ることを目標とした。データは COSMOS2020 カタログの深い多色データを使用し、 $0 < z < 5$ に渡る広い赤方偏移範囲を 9 つのビンに分割することで星形成のタイムスケール (delayed tau model を仮定) やダスト量などの時間変化を調べた。

その結果、(1) 銀河の年齢は星形成をほぼ終えた quiescent 銀河よりも星形成銀河の方が若く、どちらも宇宙年齢とともに年老いていくこと、(2) 各銀河種族のダスト量には時間変化がほとんど見られないこと、(3) 星形成のタイムスケールは、大質量銀河ほど短く、ほぼ時間変化しないことなどがわかった。これらの結果から、各銀河種族の平均化した星形成史は、一定の星形成タイムスケールを持つシンプルなモデルでよく再現できるのではないかと考えられる。講演では今後の展望も含め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](#)

X19a X線・電波スタッキング解析から探る星形成が静かな大質量銀河の $0 < z < 5$ における AGN 活動

伊藤慧, 田中賢幸 (総合研究大学院大学/国立天文台), 宮地崇光 (メキシコ国立自治大学), Olivier Ilbert, Olivier Kauffmann (LAM), Anton Koekemoer (STScI), Stefano Marchesi (INAF), Marko Shuntov (IAP), Sune Toft, Francesco Valentino, and John Weaver (Cosmic Dawn Center)

大質量の楕円銀河は宇宙初期での爆発的な星形成で星質量を獲得し、その後星形成をせずに進化していくと知られている。このクエンチングの物理的メカニズムはわかっていないものの、活動銀河核 (AGN) が重要な役割を果たすと期待されている。そこで本講演ではクエンチングと AGN の関連性を調査するため、X線と電波で $0 < z < 5$ にある星形成が静かな銀河 (quiescent galaxy, QG) のスタッキング解析を行った結果について報告する。QG は COSMOS 領域の最新の多波長カタログである COSMOS2020 カタログを用いて選択した。まず Chandra Legacy Survey の X線画像をスタックしたところ、 $z = 3 - 5$ まで初めてシグナルの検出に成功した。これらの QG の X線光度は X線連星の寄与のみでは説明がつかず、QG に低光度 AGN が存在していることを示唆している。また QG の X線 AGN 光度は $z > 1.5$ において星形成銀河 (SFG) よりも高いということがわかった。同様の解析を VLA-COSMOS の電波画像にも適用したところ、電波においても最遠方となる $z = 3 - 5$ の QG でシグナルの検出に初めて成功し、 $z > 1.5$ の QG は電波においても SFG に比べて AGN 光度が高いことがわかった。これらの 2 つの波長帯で示す QG における高い AGN 光度は高赤方偏移におけるクエンチングにおける AGN の寄与を示していると考えられる。この傾向は $z < 1.5$ では見られず、低赤方偏移においては AGN だけではなく環境効果など他の要因が台頭することを意味すると考えられる。

[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](#)

X20b 宇宙最初の cold accretion の発現

喜友名正樹 (京都大学), 細川隆史 (京都大学), 鄭昇明 (東北大学)

いわゆる cold accretion はこれまで主にハロー質量 $M_{\text{halo}} \sim 10^{11} M_{\odot}$ 以下の比較的小さい銀河形成で広く起こるとみなされ重視されてきた (e.g., Birnboim & Dekel 2003)。このため、cold accretion はハロー質量が非常に小さい初代星・初代銀河の形成過程に影響を及ぼす可能性がある。しかし、cold accretion が宇宙で最初にいつどのように始まるか、どのような構造を作るかは重要な未解決問題であり、超巨大ブラックホール (SMBH) の起源である超大質量星形成を引き起こした可能性が議論されているが結論は出ていない (Inayoshi & Omukai 2012, Fernandez et al. 2014)。

本研究では、まず Birnboim & Dekel (2003) の球対称を仮定した解析的 Model モデルを用いて、cold accretion が起こるのに必要なハロー質量の下限を見積もった。これまでの研究では上限質量 $M_{\text{halo}} = 10^{11} M_{\odot}$ 以下のハローは cold accretion の貫通が可能であると考えられてきたが、計算結果から cold accretion が可能なハロー質量には下限 $M_{\text{halo}} \sim 10^8 M_{\odot}$, ($T_{\text{vir}} \sim 10^4 \text{K}$) が存在し、それ以下のハローでは cold accretion がビリアル半径内へ貫通できないことが示唆された。実際の降着はフィラメントに沿って非球対称的に起こるので、次にこの結果を宇宙論的シミュレーションで検証した。SPH 法 (Gadget-3) を用いて、始原ガスの化学反応と冷却過程込みの計算を行った。Mpc の領域で $z \sim 6$ まで計算を行い、cold accretion が起こると予想されるハロー ($M_{\text{halo}} \gtrsim 10^8 M_{\odot}$) でのガス降着進化を十分な空間分解能を用いて調べた。本講演ではこれらの結果を報告するとともに、特に cold accretion が初期宇宙での SMBH の形成・成長過程において果たす役割について議論する。

[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](#)

X21b SDSS Stripe82 時系列カタログを用いたクエーサーの光度変動と進化の関係

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 (東京大学)

The Sloan Digital Sky Survey (SDSS) は、測光 5 バンドの長期間に渡る撮像観測だけでなく、分光や多波長データも充実しており、様々な角度から天体の性質を調べることができるこれまで最大の銀河赤方偏移サーベイである。カタログの較正精度も高く先行研究が多く存在するため、検証や比較に使用できる外部情報も揃っている。サーベイが進行するにしたがって光度変動天体の研究も盛んに行われてきたが、例えばクエーサーの変動特性の全体像についてはいまだ不透明な面も多い。今回我々はクエーサーの変動特性に着目した研究を進めるために、SDSS Stripe82 の全観測期間の撮像データを品質評価後、時系列カタログとして新たに構築し、SDSS Quasar catalog とクロスマッチを行うことで、クエーサーの変動性と他の物理量の関係を調べた。調査の過程で観測期間が短いと変動値が小さく見積もられる恐れがあることが分かり、観測期間が長い $z \lesssim 2$ の天体のみを対象として調査したところ、ブラックホール質量が同等である場合において変動が大きいクエーサーは低い放射光度と低いエディントン比をもつ傾向があり、逆に変動が小さいクエーサーは高い放射光度と高いエディントン比をもつ傾向があることが確認できた。さらに準解析的銀河形成モデルの結果と比べると、銀河の相互作用が寄与するクエーサーの成長シナリオは観測的に変動値が大きい結果が得られたクエーサーに、対して孤立した銀河のディスクの不安定性が寄与する成長シナリオは変動値が小さい結果のクエーサーの特徴をより再現することも分かった。この結果は変動値がクエーサーの形成過程を推察する有用な指標になり得ることを示唆する。我々は HSC の時系列データ作成も並行して進めており、今回のような時系列データの特徴を今後既存のスタティックデータに加えることで、より暗いクエーサーの理解も進み、銀河と AGN の形成・進化をより包括的に解釈したいと考えている。

[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](#)

X22b 深層学習を用いた銀河の形態分類

中小路佑介, 吉田健二 (芝浦工業大学)

銀河形態は銀河形成・進化を研究する上で重要であり、銀河の形態分類の研究が活発に行われている。膨大な量の銀河画像データを人間の目で分類していくには労力や時間がかかるため、機械学習や深層学習を用いた銀河形態の分類方法が報告されている。中でも深層学習は画像分類に広く適用され、人間の認識精度を上回るような結果が報告されており、近年注目を集めている方法である。教師あり学習を行い高精度な深層学習モデルの構築を行うために、オープンサイエンスプロジェクト Galaxy Zoo2 によってラベル付けされた銀河分類のカタログを用いる。銀河画像は Sloan Digital Sky Survey (SDSS) の公開データを用いる。SDSS から入手した画像の銀河の見え方は疎であることから銀河のペトロシアン楕円の面積を半値全幅の面積で割った値が 20 以上、10 以上、5 以上の 3 種類のデータセットを活用し銀河形態の分類を行った。

本研究ではマルチパーセプトロンや CNN、Vision Transformer、転移学習などの様々な手法を活用し、銀河を 2 クラス (楕円銀河と渦巻銀河) から多クラス (Ei, Er, Ec, Sa, Sb, Sc, Sd, SBa, SBb, SBc, SBd) にいたるまで分類し、それぞれの手法の精度評価を行う。また誤分類された銀河について非対称度や凝集度、中心集中度などの形態指数の算出を行い、深層学習と銀河の形態指数がどのような関係になっているのかの考察を行う。

[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](#)

X23b 化学進化を考慮した SED モデルの遠方銀河への適用

河本慧理奈 (1), 竹内努 (1,2), 西田和樹 (1), 浅野良輔 (1), 河野海 (1), Suchetha Cooray (1)
(1) 名古屋大学; (2) 統数研)

銀河には豊富なダストが存在し、ダストには星からの紫外線や可視光を吸収して赤外線を再放射する性質や、ガスを冷却して収縮させ星形成を促進させる性質がある。そのためダストの量やサイズ分布、種類は星形成効率やスペクトルエネルギー分布 (SED) などの物理量に影響を及ぼす。したがって、ダストの形成源や成長過程を理解することは銀河進化を理解する上で重要である。Asano et al. (2013a, b, 2014) は化学進化に基づくダスト進化の理論モデルを構築した (Asano model)。また Nishida et al. (2021) は Asano model を取り入れた銀河 SED モデルを構築した。これら Asano model や SED モデルでは、初期質量関数 (IMF) として Salpeter IMF (Salpeter, 1955) を採用しており、銀河系のような近傍銀河の SED を再現することには成功しているが、遠方に多数存在するダスト量の多い銀河の SED を再現することはできていない。本研究では Salpeter IMF よりも top heavy な IMF を用いることによって Asano model、SED モデルを計算した。このことにより Salpeter IMF で計算した時よりも大質量星の割合が増える。また大質量星は超新星爆発により小質量星に比べて大量のダストを星間空間に放出するためダスト量も増え、ダストの成長や星形成をより促進する。このことから、若い銀河の段階で紫外線や赤外線放射がより目立った、観測から得られる遠方銀河の SED により即した SED を作成した。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](#)

X24b Star formation of major mergers

藤谷愛美 (名古屋大), 竹内努 (名古屋大, 統数研), 河野海 (名古屋大), Suchetha Cooray (名古屋大), 大森清顕クリストファ (名古屋大)

Galaxy interactions are a very fundamental process when discussing galaxy formation and evolution, but many processes that occur during interactions are not fully understood, and quantitative studies are not trivial. We focus on galaxy mergers and how they affect star formation activity. When galaxies are merging, we assume that the galaxy morphology and physical quantities such as gas vary depending on the distance between the galaxies, which situation can be one of the factors of enhancing star formation. Therefore, the stages of merging galaxies are related to their star forming activities and we expect to verify the factors which trigger star formation with the analysis of morphology and merger stages. In this study, we use local galaxies in SDSS Data Release 7 within the redshift $z < 0.1$. and merging galaxies are major merger identified by Galaxy Zoo Project (Darg et al. 2010). We estimate star formation rate for each merging galaxies and investigate the relation of stellar mass and specific star formation rate based on morphology and merger stages, compared to the non-merging galaxies. Then we will discuss triggers of star formation in major merger based on the comparison.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

X25b Galactic formation and chemical evolution of dwarf galaxies in local groups explored by mass-metallicity relations

松井瀬奈 (1), 竹内努 (1,2), Suchetha Cooray(1), Kiyooki Christopher Omori(1), 河野海 (1), 北條妙 (1) ((1) 名古屋大学, (2) 統数研)

There are extremely faint galaxies in the universe called dwarf spheroidal galaxies (dSphs). Generally dSphs do not have much interstellar gas, thought to have blown away by galactic scale winds. Therefore, they are often less star forming and dark matter dominated. The purpose of this study is to explore the history of star formation and chemical evolution of dwarf galaxies by examining the relationship between mass and metallicity in these dSph and other Local Group dwarf galaxies.

For dSphs, $[Fe/H]$ is almost the only metallicity indicator, and we adopted it in this study. $[Fe/H]$ is a measure of the metallicity of stellar species, and its dependence on the star formation history is generally different from that of $12 + \log(O/H)$, which is a measure of the metallicity of the gas.

In this study, we calculated the virial mass and stellar mass, and explored their relationship to luminosity and metallicity. The main result is that the stellar mass-metallicity relation shows a similar correlation to larger galaxies than to dwarf galaxies. In addition, we found a negative correlation between the virial mass-luminosity relation. We will describe these details and other results. In addition, we will discuss the comparison of several galactic wind models with observations, and the timing of galactic winds inferred from the star formation history and orbital evolution of dwarf 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](#)

X26b 銀河衝突によるアンドロメダ銀河の力学進化

堀田彩水, 森正夫 (筑波大学)

近年の精密観測によりアンドロメダ銀河 (M31) 周辺には、過去の衛星銀河との相互作用の痕跡が多数発見されてきており、特に、ハローの Andromeda Giant Southern Stream (AGSS) やディスクの 2 重リング構造といった銀河衝突の痕跡と見られる構造が観測と理論両面から詳細に調べられている。

AGSS は M31 の中心から 100 kpc 以上にも渡って細長く分布する巨大構造で、今から約 800 億年程度昔に起こった衛星銀河との衝突で形成されたと考えられている (Fardal et al. 2007; Mori & Rich 2008)。また、この衝突に伴う力学的な加熱がディスクに与える影響と現在のディスクの厚さの制限から、 $10^{10} M_{\odot}$ を超えるような大質量の衛星銀河の衝突の可能性は低いことが示された。

また、Block et al. (2006) は、M31 にガスとダストでできた 2 重リング構造を発見し、衛星銀河の M32 が 200 億年程度前に head-on 衝突してその構造ができたことを主張している。しかし、彼らは衝突した当時の M32 の質量は M31 の全質量の 10 分の 1 程度 ($\sim 10^{11} M_{\odot}$) だと結論づけているが、このような大質量の銀河が衝突した場合、ディスク加熱によりディスクの厚さが増大し、現在の観測と矛盾すると考えられる (Mori & Rich 2008)。

そこで我々は小質量の衛星銀河の衝突により AGSS と 2 重リング構造の関連性について N 体/SPH シミュレーションによって調べている。本研究では M31 のバルジとディスク、衛星銀河を粒子で表現したモデルで衝突の N 体シミュレーションを行った結果、解析結果の予想通り M31 銀河ディスクが完全に破壊されてしまうことを示した。つまり、Block et al. (2006) で主張されているような大質量衛星銀河の衝突モデルとは、矛盾する結果が得られたことになる。本発表ではそ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](#)

X27b 銀河系衛星銀河の潮汐破壊による質量損失と近点距離の関係

田中駿次, 森正夫 (筑波大学)

我々の住む銀河系の周囲には、これまでに衛星銀河が 50 個程度発見されている。ESA の位置天文観測衛星 Gaia では銀河系の恒星の運動を観測する中で、銀河系衛星銀河についての 6 次元位相空間のデータが得られ、Gaia Data Release (GDR) としてデータが公開された。Miki, Mori & Kawaguchi (2021) では、GDR2 のデータ (Helmi et al. 2018; Fritz et al. 2018) を基に銀河系衛星銀河の軌道について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、32 個の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て、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。それ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。

我々は、Gaia の最新の観測データに基づくパラメータのもとで、銀河系衛星銀河の潮汐破壊過程について、 N 体シミュレーションによる数値解析を行っている。外場として衛星銀河に与える銀河系ポテンシャルのモデルとして、Li et al. (2021) の model PNFW を仮定している。このモデルは、質量 $7.2 \times 10^{11} M_{\odot}$ の NFW ダークマターハロー、質量 $1.07 \times 10^{10} M_{\odot}$ の Plummer バルジ、質量 $3.94 \times 10^{10} M_{\odot}$ の Miyamoto-Nagai thin disc、質量 $3.94 \times 10^{10} M_{\odot}$ の Miyamoto-Nagai thick disc から成るモデルである。また、衛星銀河は総質量 $10^9 M_{\odot}$ 、コア半径 1 kpc の Plummer model を仮定している。初期条件を変えて、軌道離心率の異なる衛星銀河の軌道運動と、エネルギー的に衛星銀河に束縛されている粒子数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との間には強い相関が見られた。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](#)

X28c 分子雲の進化論

前岡光明

リタイア後の 20 年間、私は独力で星の出来方を考えてきた。本稿は、分子雲に着目した星形成論「星の生まれ方」(未) のエキスである。水素分子は互いに引き合って近づいても、最後は反発してしまう。ところが、分子雲は中心星を生む。分子雲は、全体的な凝集力でその姿を維持するが、その時、わずかな率だが、内部凝集する。分子雲中心の不動点で加圧され、中心塊が出来る。それから、分子雲中心部の空洞壁面で内部分裂した、ちぎれ分子雲 (ちぎれ) が中心に引き込まれる。やがて、ちぎれは分子雲ベルトを形成し、しだいに渦巻いていく。そうやって、分子雲の中心部が進化する。巨大分子雲では、銀河が形成される。ところで、膨張する宇宙空間で、微細な水素分子が引き寄せあっても、分子雲にまとまらない。過去に一度、すべての水素分子が分子雲にまとまる機会があった。それは、低下する空間温度が水素分子の沸点を下回った瞬間である。分子運動が静まり、水素分子は互いに引き合いその密度を維持した。それで、無数の、最初の分子雲が生まれた。以降、分子雲は、分裂、再編してきた。私は、最初の分子雲が銀河分子雲に再編した過程を、ダイナミックな再編と呼ぶ。さて、分裂して生まれたばかりの二つの銀河分子雲が、隣同士引き合って空間膨張に抗している。少しずつ離されていくが、膨張する宇宙空間に働く転向力 (広義) と、宇宙空間の独楽の原理により、それらは連星系となった。銀河の母体の銀河分子雲は、銀河団として複雑な連星系をなしている。そうやって連星運動している銀河分子雲内では、分子雲内転向力が働き、銀河が出来る。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

X29a ALMA の [CII] ガス力学によって明らかになった爆発的星形成銀河 BRI1335-0417 の内部構造

津久井崇史, 井口聖 (国立天文台/総合研究大学院大学)

高光度赤外線銀河 (HyLIRG; 赤外線光度 $> 10^{13}$) はその高い赤外放射から爆発的な星形成を行なっている銀河であると考えられており、その爆発的な星形成の主なメカニズムは大規模な銀河合体であると信じられてきた。一方で、近年の理論や観測からより複雑なメカニズムが絡んでいる可能性も示唆され始めている (ディスクの不安定性や衛星銀河降着; Mitsuhashi+2021, McAlpine+2019)。爆発的星形成銀河では星形成によって生まれたダストによって星からの放射が強く吸収され、銀河の内部構造を調べるのが困難なため、完全な理解には程遠い状況である。近年赤外線帯域にある一階電離炭素輝線 [CII] 輝線はダストの減光を受けず、かつ、非常に明るく広がっていることが示唆されており (Fujimoto+2019)、私たちは、ガスの運動学によって、銀河の内部質量分布構造を調べるためには最適な輝線であると考えた。爆発的星形成銀河 BRI1335-0417 に対して ALMA により詳細に空間分解された [CII] ガスの運動学を解析することで、ダストに隠された銀河の内部には、回転する円盤、中心部のバルジのようなコンパクトな構造、そして円盤上には渦巻き構造がすでに赤方偏移 4.4 (120 億年以上前) の宇宙で存在していることを明らかにした。また円盤は局所的に重力不安定であり円盤での星形成が銀河の進化に重要な寄与をしていることが明らかになった。本研究で明らかになった爆発的星形成銀河の内部構造は大規模な銀河合体をしているというよりは、むしろ渦巻き円盤銀河の構造に似ており、宇宙史における HyLIRG や大質量銀河の詳細な形成シナリオを知る手がかりになると考えている。

[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](#)

X30a The general presence of a Ly α halo around high-z galaxies and its high incidence rate

日下部晴香¹, A. Verhamme^{1,2}, J. Blaizot², T. Garel^{1,2}, L. Wisotzki³, F. Leclercq^{1,2}, R. Bacon², J. Schaye⁴, and MUSE collaboration. 1:Univ. of Geneva, 2: CRAL, 3: AIP, 4: Leiden Obs.

While integral field units like MUSE and KCWI have made it possible to study individual Ly α haloes (LAHs) of high-redshift galaxies (e.g., Wisotzki+16; Leclercq+17, 20; Chen+21), it is still unknown whether star-forming galaxies generally have a Ly α halo. Following our talk in the 2021a ASJ meeting (X31a), we individually search for LAHs around UV-continuum-selected galaxies with a spec-z at $z = 2.9-4.4$ ($F775 < 27.5$, $N = 21$), using MUSE adaptive optics data in MUSE Extremely Deep Field with ~ 100 - to 140-hour integration (MXDF; Bacon+21; Bacon+ in prep.). We find 17 LAHs and 4 non-LAHs and report the first individual detections of LAHs around non Ly α emitters including Ly α absorbers. The fraction of LAHs is thus estimated to be $81.0^{+10.3}_{-11.2}\%$ ($91.7^{+5.1}_{-13.2}\%$) for all the sources (for a $M_{UV} < -18.4$ subsample). It implies that UV-selected galaxies generally have a large amount of hydrogen in their CGM at high redshifts. Using UV luminosity functions and the typical halo size, we calculate the incidence rate of the CGM gas detected in Ly α emission, $\frac{dn}{dz}$ (e.g., Wisotzki+18 for Ly α emitters). The $\frac{dn}{dz}$ for LAHs with $M_{UV} < -18$ at $z \sim 3-4$ is found to be $0.76^{+0.09}_{-0.09}$, which is in between the $\frac{dn}{dz}$ for damped Ly α systems (DLAs) and sub-DLAs (Zafar+13). It suggests, based on abundance matching, that LAHs trace the same gas as the DLAs and sub-DLAs (Kusakabe et al. resubmitted).

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

X31a Widely distributed cold gas and dust within a $z=3$ giant Lyman- α blob

Hideki Umehata (U. Tokyo), Ian Smail, Mark Swinbank, Soh Ikarashi (Durham U.), Chuck Steidel (Caltech), Matthew Hayes (Stockholm U.), Douglas Scott (U. British Columbia), Rob Ivison (ESO), Toru Nagao, Mariko Kubo (Ehime U.), Kouichiro Nakanishi, Yuichi Matsuda (NAOJ), Yoichi Tamura (Nagoya U.), Jim Geach (U. Hertfordshire)

We present observations of a giant Ly α blob (LAB) in the SSA22 proto-cluster at $z = 3.1$, SSA22-LAB1, taken with the Atacama Large Millimeter/submillimeter Array (ALMA). Dust continuum, along with [C II] 158 μm , [N II] 205 μm , and CO(4-3) line emission have been detected in the prototypal LAB, showing complex morphology and kinematics across a ~ 100 kpc central region. Seven galaxies at $z = 3.0987\text{--}3.1016$ in the surroundings are identified in [C II] and dust continuum emission, with two of them potential companions or tidal structures associated with the most massive galaxies. Spatially resolved [C II] and infrared luminosity ratios for the widely distributed media ($L_{[\text{C II}]}/L_{\text{IR}} \approx 10^{-2} - 10^{-3}$) suggest that the observed extended interstellar media are likely to have originated from star-formation activity and the contribution from shocked gas is probably not dominant. LAB1 is found to harbour a total molecular gas mass $M_{\text{mol}} = (8.7 \pm 2.0) \times 10^{10} M_{\odot}$, concentrated in the core region of the Ly α -emitting area. While (primarily obscured) star-formation activity in the LAB1 core is the most plausible power sources for the Ly α emission, multiple major-mergers found in the core may also play a role in making LAB1 exceptionally bright and extended in Ly α as a result of cooling radiation induced by gravitational interactions.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

X32a Ionized gas outflows from an AGN in a massive quiescent galaxy in a protocluster at $z = 3.09$

Mariko Kubo (Ehime U), Hideki Umehata (U. Tokyo, ICRR), Charles C. Steidel (Caltech), Yuichi Matsuda (NAOJ), Masaru Kajisawa (Ehime U), Toru Yamada (JAXA/ISAS), Ichi Tanaka (NAOJ), Kotaro Kohno (U. Tokyo, IoA), Yoichi Tamura (Nagoya U), Kouichiro Nakanishi (NAOJ), Bunyo Hatsukade, Kianhong Lee (U. Tokyo, IoA), Keiichi Matsuda (Nagoya U), Toru Nagao (Ehime U)

Galaxies in protoclusters are important targets to understand the evolutionary passway of giant elliptical galaxies today. We present a detailed study of a type-2 like QSO in a protocluster at $z = 3.09$ in the SSA22 field. This object is an X-ray AGN whose host galaxy is identified by the near-infrared photometry with MOIRCS on Subaru Telescope. With the near-infrared slit spectroscopy using MOIRCS on Subaru and MOSFIRE on Keck telescope, [O III] emission with the broad linewidth ($W_{80} \approx 1000 \text{ km s}^{-1}$) and wide spatial extent (≈ 15 kpc in physical) are detected. They indicate strong outflows of ionized gas. On the other hand, it is characterized as a type-2 like QSO hosted by a massive galaxy with a strong Balmer break, i.e., a galaxy quenched several 100 Myr ago by a X-ray to radio (JVLA 6 GHz) spectral energy distribution fitting. It is classified as a radio-quiet QSO but has a low SFR ($< 9 - 20 M_{\odot} \text{ yr}^{-1}$); not like traditional radio-quiet QSOs hosted by star-forming galaxies and radio-loud QSOs hosted by giant ellipticals. According to the H β , [O II], and [O III] emission line diagnostics, photoionization is likely the dominant ionizing mechanism. This AGN may work to complete the quenching and/or maintain the quiescence of the star formation of the host 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](#)

X33a Morphological Analysis of Nine Submillimeter Galaxies

Shuo Huang (UTokyo/NAOJ), Ryohei Kawabe (NAOJ), Bunyo Hatsukade, Kotaro Kohno, Hideki Umehata (UTokyo)

Submillimeter galaxies (SMGs) selected by their bright fluxes at submillimeter wavelengths are amongst the most massive and actively star-forming galaxies at cosmic noon (redshift $\sim 2-3$). We present multiwavelength analysis of nine SMGs at redshift ~ 2.1 detected at 1.1 mm by ALMA. We perform panchromatic spectral energy distribution modelling from ultraviolet to 1.1 mm to derive the stellar mass (M_*) and star formation rate (SFR). The sample has median $M_* = 13 \times 10^{10} M_\odot$ and median SFR = $263 M_\odot \text{ yr}^{-1}$. Eight of the nine SMGs are consistent with the M_* -SFR relation of normal star-forming galaxies (the star-forming main sequence, MS). Then we examine their morphology using ALMA 1.1 mm and Hubble Space Telescope F160W imaging data. The eight MS SMGs include candidates of pre-coalescence galaxy pair and post-starburst galaxies with spheroid component co-spatial with 1.1 mm detection. The size of star-forming region in post-starburst candidates probed by the 1.1 mm data is ~ 1 kpc and more compact than other galaxies in our sample. On average MS SMGs are extreme objects with infrared surface density ($\sim 10^{11} L_\odot \text{ kpc}^{-2}$) two orders of magnitude higher than local normal star-forming galaxies, and are likely on the way from starburst to quiescence rather than secular star-forming galaxies. Our findings highlight the importance of combining multiple diagnostics in investigating the star formation mode of SMGs.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

X34a COSMOS 領域における $z = 0.7 - 0.9$ の銀河の星形成活動の急激な変化の起源

樋本 一晴, 鍛冶澤 賢 (愛媛大学)

宇宙には、爆発的な星形成を起こしている銀河や、星形成を急減衰させた銀河の存在が知られているが、その起源については議論が続いている。我々は、COSMOS 領域の $z = 0.7 - 0.9$, $M_V < -20$ mag の銀河に対して、SED fitting で過去の星形成史を推定することで、星形成活動が最近急激に変化した銀河を選出し、新しい定量的指標を用いて、それらの銀河の形態を一般の銀河と比較した。SED fitting では過去の時間を複数の期間 (0-40, 40-321, 321-1000 Myr 等) に分け、各期間の SFR (期間内は一定と仮定) の値を free parameter として、COSMOS2015 catalog の多バンド測光データに対し、fitting を行うことで星形成史を推定した。形態指標は、非対称度 (A , Abraham et al. 1996) に加えて、非対称成分の中心集中度 (CAC)、非対称成分の輝度分布重心の回転中心からのずれ (OAC)、元画像に対する非対称成分のサイズ比 (ARR) と、銀河の輝度の明るい部分に対する輝度分布重心の明るさの比を示す CSB (明るい部分が複数に分かれていると低くなりやすい) を HST/ACS データを使って調べた。その結果、過去 40-321 Myr から直近 (0-40 Myr) で SFR が急増した銀河の中で、直近の sSFR が特に高い銀河 ($sSFR_{0-40\text{Myr}} > 10^{-9.5}/\text{yr}$) は、一般の銀河よりも高い A と低い CSB を示した。一方、最近 SFR が急増したが、直近の sSFR が main sequence 程度の銀河 ($sSFR_{0-40\text{Myr}} = 10^{-10.0} \sim 10^{-9.5}/\text{yr}$) は、高い CAC 、 OAC と低い ARR に、少し低い CSB を示したが、 A は一般の銀河と同程度であった。また、過去 321-1000 Myr から 40-321 Myr で sSFR が急減衰した銀河の中で、高い $sSFR_{321-1000\text{Myr}} (> 10^{-9.5}/\text{yr})$ から減衰してきた銀河は、非常に高い CAC を示し、一部は高い A 、低い CSB を示したが、main sequence 程度 ($sSFR_{321-1000\text{Myr}} = 10^{-10.0} \sim 10^{-9.5}/\text{yr}$) から減衰した銀河は、やや高い CAC を示すものの、やや低い A にやや高い CSB (比較的高い対称性や中心輝度) を示した。

[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](#)

X35a Test for a Quenching Mechanism of Cosmic Web Detachment

Shin Inoue, Kouji Ohta, Yoshihisa Asada (Kyoto Univ.), Marcin Sawicki (St. Mary's Univ.)

Understanding mechanism(s) of quenching of star formation is one of the most important issues in galaxy evolution. Several possible mechanisms of the quenching have been proposed. However, the most essential mechanism is still not clear. Recently, a new scenario aiming at unifying the various possible mechanisms is proposed (Aragon-Calvo et al. 2019). Generally, gas is supplied into a galaxy halo by accretion along a cosmic web structure (e.g., Dekel et al. 2009). In the new scenario, initially a galaxy is connected to a web of filaments along which the gas is accreting into the halo. Subsequently, major interaction (merging) between the halo and a nearby halo detaches the halo from the gas feeding filament. Then, the gas supply stops and star formation stops, resulting in color evolution from blue cloud to green valley, and to red quiescent galaxies. If the time scale for the quenching (color evolution) is smaller than or comparable to a dynamical time scale, the fraction of major merging is expected to be high in the green valley.

In order to examine this scenario, we derived the fractions of the major merger in the blue cloud, green valley, and red quiescent, using a galaxy catalog in COSMOS field based on combined CLAUDS-HSC-SSP surveys (Desprez et al. in prep). We picked out ~ 4000 galaxies at $z = 0.2 - 0.7$, and selected interacting galaxies by eye inspection considering the presence of tidal tails, shells, and/or double core feature. The resulting fraction is about 5% and does not change with NUV-r color. No significant excess of the fraction is seen in the green valley. The result does not support the scenario mentioned above.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

X36a Analysis of the spatially resolved SFR – stellar mass relation for DustPedia galaxies

Wen E. SHI, Tsutomu T. TAKEUCHI, Suchetha COORAY, Kai T. KONO, Kiyooki Christopher OMORI (Nagoya University)

The majority of star-forming galaxies follow a relatively tight relation between stellar mass and star formation rate (SFR) in a wide range of redshifts. This is known as the star-forming galaxy main sequence (SFMS). Recent studies have shown that the SFR surface density traces the stellar mass surface density in kpc scales. This resolved SFMS indicates the connection between the global SFMS and the local processes.

We made an extensive analysis of the SFMS based on the galaxies in the DustPedia database (Davies et al. 2017), which provides access to multiwavelength imagery and photometry for hundreds of nearby galaxies. The spatially resolved SFR and mass is estimated through various approaches. (Querejeta et al. 2015, Wen et al. 2013, Bigiel et al. 2008, etc.) To make full use of the multi-band data, we also try analyzing with only the observed band data and their observation errors in each spaxel instead of the calculated parameters.

Star formation is a complicated process. We try to use statistical methods to analyze and classify the SFMS, but includes more characteristics of the galaxy. We try identifying the star forming regions with algorithms (K-means, affinity propagation and Fisher-EM etc.), and their relative position inside the galaxy in studied. We study the SFR, mass and band data variance in every spaxel with respect to their distance to the galaxy center. We try to understand 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](#)

X37a 色等級図を用いた星形成史復元における、金属量の仮定の違いによる系統的誤差の推定

森 林太郎 (法政大学), 田中 幹人 (法政大学), 小宮山 裕 (国立天文台)

銀河系の衛星矮小銀河の星形成史 (SFH) を明らかにすることは、母銀河である銀河系の形成・進化を知る手がかりとなる。近年、観測技術の発展により、近傍銀河でも個々の星を分解可能になった。これにより、色等級図 (CMD) の作成が可能になり、synthetic CMD 法を適用することで SFH を導出することができる。synthetic CMD 法は、観測された CMD を再現する synthetic CMD を理論モデルから作成し、SFH を導出する手法である。理論モデルで用いられるパラメータ (初期質量関数、金属量、連星の割合・質量比分布、赤化、距離指数) は過去の推定値を用いるか、観測された CMD の形態から推定される。しかし、Cignoni et al. 2010 によると、観測とモデル間において金属量の推定値に僅かな差があると、金属量以外のパラメータが正確に推定できていても SFH の導出結果に大きく差が出ることを示されている。そこで本研究ではモデル銀河を用いて、金属量の推定値の違いによって、SFH の導出結果にどの程度の系統誤差が発生するのかを網羅的に探索する。SFH の探索を行う手法は、Cignoni et al. 2015 で用いられているハイブリッド遺伝的アルゴリズム (HGA) を採用した。HGA は遺伝的アルゴリズムと局所探索法 (焼きなまし法) を組み合わせた手法であり、複数のパラメータ空間において、観測された CMD と synthetic CMD の残差を最小化するアルゴリズムである。今回は初期質量関数、連星の割合・質量比分布、距離指数、赤化をモデル銀河と等しい値、金属量を異なる値として仮定し、残差を最小化する SFH の探索を行った。本講演では、金属量の仮定の違いがどの程度まで SFH の復元結果に影響するかを議論する。

[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](#)

X38a Reconstructing Galaxy Star Formation History with Present-day Galaxy Manifold

Suchetha Cooray (1), Tsutomu T. Takeuchi (1 and 2), Shuntaro A. Yoshida (1), Kai T. Kono (1)
(1) Nagoya Univ., (2) ISM)

Using dimensionality reduction techniques, we have identified a two-dimensional manifold (galaxy manifold) within the 11-dimensional space of present-day galaxy luminosities (far-ultraviolet to infrared). The many galaxy scaling laws (e.g., star formation main sequence, Tully-Fisher relation, Faber-Jackson relation, Kennicutt-Schmidt) can be understood as projections of the found galaxy manifold. We find that parametrization of the manifold explains traditional evolutionary features (star formation rates and stellar mass) very well. The ability to represent the galaxy population with just two parameters opens us with various ways to understand galaxy evolution. In this work, we demonstrate a way to reconstruct the star formation histories (SFH) of galaxies by exploring the parameter space on the manifold of present-day galaxies. The SFH reconstruction does not need assumptions of the parametric form. Instead, only requires basic physical arguments such as merging, in-situ, and ex-situ star formation to derive SFHs that agree with the current understanding of quenching.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

X39a Effect of heat conduction onto cold streams accretion inside circum-galactic-medium of massive high redshift galaxies

Nicolas Ledos, Shinsuke Takasao, Kentaro Nagamine (Osaka University)

Cold gas streams ($T \sim 10^4$ K) are crucial for explaining the star formation in high-redshift galaxies. Cosmological hydrodynamic simulations commonly show the infall of cold gas streams onto galaxies. Recent studies aim to theorize the survival condition of cold streams surrounded by the hotter ($\sim 10^6$ K) circum-galactic medium (CGM) materials. However, the interplay of different physics along with thermal conduction has not yet been studied. As thermal conduction can affect the lifetime of cold streams, it is important to investigate its role. In our study, we attempt to fill one of the gaps by considering the importance of anisotropic thermal conduction, along with radiative cooling and magnetic field. For this purpose, we implemented an anisotropic heat conduction solver extension for the MHD code Athena++ (Stone et al., 2020). By considering a 2-dimensional simplified local model of a magnetized cold stream, we simulate its evolution under different velocities. We find that overall, the twisting of magnetic field lines prevents diffusion of the cold stream from thermal conduction. Thermal conduction either enhances or lowers condensation by $\pm 5 - 10\%$ depending on the initial interface smoothing length. Overall, we show that cold mass accretion remains constant over time. We also find that an initial component of the magnetic field perpendicular to the stream enhances the magnetic energy by a factor of 100, lowering the thermal energy decay and possibly the associated emissions.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

X40a 赤方偏移 5 の原始銀河団における星形成活動

利川潤, Stijn Wuyts (University of Bath), 藤本征史 (DAWN), 柏川伸成 (東京大学), Matthew A. Malkan (UCLA), Roderik Overzier (Observatório Nacional), 児玉忠恭 (東北大学), 松田有一 (国立天文台), 太田一陽 (金沢大学), 久保真理子, 内山久和 (愛媛大学), 梅畑豪紀 (東京大学), Minju Lee (DTU space/DAWN), 伊藤慧 (総合研究大学院大学)

銀河の性質と環境には相関があることが近傍宇宙の観測から知られている。そのような銀河と環境の関連性がどのように作られたかを理解するためには、近傍の完成した銀河団のみならず、遠方の形成途中の原始銀河団を観測することも不可欠である。本研究では、ライマンブレイク銀河 (LBG) の高密度領域として発見された赤方偏移 5 の原始銀河団に対して、JCMT/SCUBA-2 を用いたサブミリ波追観測を行い、ダストに隠された星形成銀河の探査を行った。その結果、6 個のサブミリ波銀河 (SMG) が検出された。更に、多波長データも使い SMG に対して SED フィッティングを行い、6 天体中 2 天体は原始銀河団とは無関係な低赤方偏移の銀河であり、残りの 4 天体は赤方偏移 5 前後の遠方銀河であると分かった。この原始銀河団領域は SMG でも高密度領域であることから、遠方銀河と推定された SMG のいくつかは原始銀河団に付随していると予想できる。原始銀河団のメンバー銀河である可能性も考慮すると、SMG の星形成率の合計は $\sim 2000 M_{\odot} \text{yr}^{-1}$ と推定された。これは LBG の星形成率の合計の約 10 倍もあり、この原始銀河団中の星形成活動のほとんどは SMG が占めていると考えられる。次に空間分布を調べると、SMG は原始銀河団の中心付近に存在し、 $\text{Ly}\alpha$ 輝線を放射する LBG は外側に分布していた。原始銀河団の中心付近と外側では銀河の進化段階が違う事を示していると考えられる。先行研究とも比較する事で原始銀河団中の星形成活動や銀河進化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](#)

X41a HSC+CFHT サーベイデータで探る $z \sim 3$ でのクエーサー周辺の銀河環境

鈴木悠太, 内山久和, 松岡良樹 (愛媛大学), 利川潤 (University of Bath)

クエーサーはガスを豊富に持つ銀河同士の衝突によって引き起こされると考えられており、クエーサー周囲は原始銀河団のような構造形成の進んだ高密度領域であることが期待される。一方、クエーサーから放出される強い紫外光が周囲の銀河の星形成を妨げることで、周囲の銀河密度が低くなることも予想される。これまでクエーサーの周辺環境の統計的な調査は進んでこなかったが、近年になって HSC-SSP によって得られた大規模で深い銀河の個数密度分布を用いることで、統計的にクエーサー周辺の環境を調べることが可能になった。

我々は $z \sim 3$ のクエーサー周辺の環境を調べるために、HSC-SSP と CLAUDS を組み合わせることで得られた約 20 deg^2 に及ぶ u -dropout 銀河の個数密度分布と SDSS によって得られた 67 個のクエーサーとの関係を統計的に調査した。具体的にはクエーサーが位置する周辺の u -dropout 銀河の密度を測定し、クエーサーの紫外光度やブラックホール質量との相関を調べた。その結果、原始銀河団候補のような過剰密度領域に属するクエーサーは一つもないことがわかった。さらに、最も重いブラックホールを持つようなクエーサーは高密度な領域を避ける傾向にあることがわかった。本講演ではこれらの結果を報告し、そこから得られるクエーサーと周囲の銀河の相互作用について議論する。

[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](#)

X42a 深狭帯域撮像観測で探る $z \sim 2$ における小質量銀河の星形成活動

大工原一貴, 児玉忠恭, Jose Manuel Perez Martinez (東北大学), 鈴木智子 (カブリ数物連携宇宙研究機構), 嶋川里澄 (国立天文台)

銀河の形成進化において、質量集積と星形成は非常に重要な物理過程である。これらがどのように結びつき進化してきたのか。それを理解するためには、形成初期から晩期に至るまで、小質量から大質量まで広範な銀河を観測し、質量集積と星形成の過程をともに定量化する必要がある。特に、遠方小質量銀河は大口径望遠鏡でも観測が難しく、その性質はよく理解されていない。そこで、我々は小質量銀河の性質を調査するため、すばる望遠鏡の近赤外撮像観測装置 MOIRCS を用いて深い狭帯域撮像観測 (< 25 等) を行った。この観測によって、我々は $z \sim 2$ の $\text{H}\alpha$ 輝線、 $z \sim 3$ の $[\text{OIII}]$ 輝線、 $z \sim 5$ の $[\text{OII}]$ 輝線銀河を捉え、これまでにない質量範囲の輝線銀河サンプルを構築した。例えば、フィールド領域 (COSMOS, GOODS-S) の $\text{H}\alpha$ 輝線銀河 ($z = 2.2, 2.5$) は、 $M_* \sim 10^8 M_\odot$ 、 $\text{SFR} \sim 2.0 M_\odot \text{ yr}^{-1}$ までの約 100 天体が捉えられた。本講演では、主に $z \sim 2$ の星形成銀河サンプルから得られた結果について紹介する。我々は環境による星形成活動の違いを議論するため、様々な環境下にいる星形成銀河の星形成率がフィールド銀河の $\text{SFR} - M_*$ 関係と比べてどの程度ずれているのか (ΔMS) を調べた。その結果、大質量側の ΔMS 分布には環境による違いが確認されなかったが、小質量側では環境によって ΔMS 分布に違いがあることがわかった。これは、原始銀河団中の小質量星形成銀河が環境効果を受けて、星形成活動を促進している可能性を示している。原始銀河団中に存在する星形成銀河は、高密度環境にいてことで先天的な銀河形成バイアスや銀河同士の相互作用の影響を受ける。そのため、このような環境による違いが生じたのではないかと考えられる。本講演では、以上の結果に加えその他の結果も交えながら、小質量銀河の物理的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](#)

X43a ALMA high-resolution study of CO(2-1) line and dust continuum emissions from cluster galaxies at $z = 1.46$

Ryota Ikeda, Ken-ichi Tadaki, Daisuke Iono, Takuma Izumi, Yusei Koyama, Rhythm Shimakawa, Ichi Tanaka, Masao Hayashi (NAOJ), Tadayuki Kodama (Tohoku Univ.), Kotaro Kohno, Bunyo Hatsukade (IoA), Tomoko L. Suzuki (IPMU), Yoichi Tamura (Nagoya Univ.)

How did massive elliptical galaxies in nearby clusters form their structure is still an open question. To shed a light on this problem, it is crucial to probe the star formation of high- z cluster galaxies around the peak of cosmic star formation. We present a result of spatially resolved CO(2-1) line observations of cluster galaxies in XCS J2215 at $z = 1.46$. Our sample comprises 17 galaxies at the cluster core, all of which have been detected in CO(2-1) previously. For nine galaxies, the effective radius of both CO(2-1) line ($\sim 0.4''$) and $870\mu\text{m}$ dust continuum ($\sim 0.2''$) emissions are robustly measured by modeling visibilities. We find that CO(2-1) line emission in all of the galaxies is more extended than dust continuum emission by factors of ~ 2 . We also investigate the spatially resolved Kennicutt-Schmidt relation and reveal that the inner region of galaxies tends to have higher star formation efficiency (SFE) compared to the extended region. Overall, our result indicates that star formation is concentrated and enhanced at the central part of the galaxies, supposedly resulting in the formation of a bulge structure. Furthermore, we notice the consistency between the stellar radius of passive members and the dust radius of our galaxies, and discuss our galaxies will likely turn into passive members within 1 Gyr. Finally, we do not find any difference between galaxies with close companions and without them.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

X44a A Wide and Deep Exploration of Radio Galaxies with Subaru HSC (WERGS): $z = 0.3 - 1.4$ の電波銀河周辺環境の統計的理解

内山 久和 (愛媛大), 山下 拓時 (国立天文台), 長尾 透, 久保 真理子, 鍛冶澤 賢 (愛媛大), 市川 幸平, 登口 暁 (東北大), 鳥羽 儀樹 (京都大), 石川 将吾 (国立天文台), 川口 俊宏 (尾道大), 川勝 望 (呉高専), Chien-Hsiu Lee (NOIRLab), and WERGS members

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。本研究では、Hyper Suprime-Cam Subaru Strategic Program に基づいて構築された 2,170 個の $z = 0.3 - 1.4$ の電波銀河の局所密度環境を統計的に明らかにした。これらの電波銀河の星質量は $M_* \sim 10^9 - 10^{12} M_\odot$ であり、知られている電波銀河よりも一桁以上軽い。我々は k-近傍法を用いて、これらの電波銀河、ならびに非電波銀河の周辺局所密度を計測し、比較・検討する。結果として、 $M_* < 10^{11} M_\odot$ では、電波銀河と非電波銀河は両者ともに平均密度環境に存在する傾向にあることが分かった。一方、 $M_* > 10^{11} M_\odot$ では、電波銀河は平均的に高密度環境に存在し、さらには非電波銀河の密度超過よりも高密度領域に存在することが分かった。典型的な銀河合体スケールである < 70 kpc 内に近傍銀河を有する電波銀河の割合は、 $M_* > 10^{11} M_\odot$ において非電波銀河の割合よりも高い。また、電波銀河周辺の局所密度は、電波光度や質量降着率と負の相関を持つことが分かった。これらの結果は以下のシナリオと無矛盾である。大質量電波銀河は、過去に銀河の合体によって成熟し、 $z = 0.3 - 1.4$ で質量降着がほぼ停止するに至った。一方、軽い電波銀河は、そのような合体を回避したために、ちょうどこの時期に活発な降着を起こしている。加えて、これらの電波銀河の密度超過は、赤方偏移に対して非常に弱いながらも有意に負の相関を示しており、赤方偏移に伴って高励起電波銀河の存在割合が増加してい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 The ISM properties and evidence of AGN in extreme emission-line galaxies at $z \sim 0.8$

柏野大地 (名古屋大学)

We report the physical properties of the ionized ISM in extremely strong emission-line galaxies at $z \sim 0.8$, discovered in the Subaru/HSC-SSP survey. They are good laboratories to investigate early galaxy evolution and are thought to be low-redshift analogues of sources responsible for cosmic reionization. We obtained high-quality panchromatic spectra using VLT/X-shooter for six candidates selected with extreme excess in z -band. All these objects have been confirmed to be at $z \sim 0.8$, showing strong [O III] λ 5007 (EW ~ 1000 Å) and other emission lines. The stellar mass and SFR are estimated typically to be $\sim 10^{8-8.5} M_{\odot}$ and $\sim 10 M_{\odot} \text{ yr}^{-1}$, i.e., ~ 2 dex above the main sequence of the epoch. Metallicities are measured to be as low as $12 + \log(\text{O}/\text{H}) \sim 7.7-8$ using the direct method, and the escape fraction of ionizing photons is estimated to be $\gtrsim 10\%$ (up to 90%) from the Mg II $\lambda\lambda$ 2796, 2803 doublet lines. Very interestingly, we found signatures of AGN in one source; a broad ($\sim 800 \text{ km s}^{-1}$ in FWHM) [O III] λ 5007 component and detection of very high-ionization lines, [Ne V] $\lambda\lambda$ 3346, 3426. These indicate the presence of either AGN-driven highly turbulent motions or outflows and the harder non-thermal radiation in such a low-mass 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](#)

X46a The Most Extreme Line Emitters at $z \sim 0.8$

Yuichi Harikane, the HSC project 279

We present our deep spectroscopic observations with Subaru/FOCAS and Keck/MOSFIRE targeting two [O III] emitters at $z \sim 0.8$ identified in the wide ($\sim 1000 \text{ deg}^2$) and deep ($\sim 26 \text{ mag}$) Subaru/Hyper Suprime-Cam survey. Our sources are some of the most extreme line emitters with rest-frame [O III] λ 5007 equivalent widths (EWs) of 5000–6000 Å and H β EWs of 700–900 Å, similar to some $z \sim 7$ galaxies identified with their Spitzer color excesses. Our deep spectroscopy has successfully detected the auroral [O III] λ 4363 line in both targets, and the gas-phase metallicities are $\sim 0.1 Z_{\odot}$ based on the direct temperature method. He II λ 4686 is also identified in one of the sources, implying a hard ionizing spectrum possibly produced by non-thermal ionizing sources. Comparisons with photoionization models indicate that these galaxies have very young ($< 3 \text{ Myr}$) and low-metallicity ($< 0.01 Z_{\odot}$) stellar populations. Given a high ionizing photon production efficiency ($\log \xi_{\text{ion}} = 26.4$) comparable to strong Ly α emitters found in the MUSE survey at $z \sim 4-5$, studying high- z counterparts of these galaxies using JWST is important to understand the early formation of these very young galaxies and their contribution to 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](#)

X47a 周辺環境から探る極金属欠乏銀河の形成メカニズム

西垣萌香 (総合研究大学院大学), 大内正己, 中島王彦 (国立天文台/東京大学), 磯部優樹 (東京大学), 宮武広直 (名古屋大学), 矢島秀伸, 福島肇 (筑波大学), 井上茂樹 (北海道大学), HSC Project 251 Team

金属汚染が進んでいるはずの近傍宇宙にも、極金属欠乏銀河 (EMPG) と呼ばれる金属量が太陽の 10% 未満 ($< 0.1Z_{\odot}$) の銀河が存在している。これらは宇宙初期の銀河形成を理解するのに重要であると考えられるが、近傍宇宙にある銀河が低い金属量を持つ起源は明らかになっていない。可能性として、金属欠乏ガスの流入により星形成が誘発された銀河、もしくはアウトフローで金属を失いつつ非効率な星形成している銀河であると考えられているが、これを確かめるためには EMPG の環境を知ることが重要である。本研究では、過去に分光同定された EMPG を用いて、銀河の相互相関関数を計算することで、EMPG の環境について調べた。過去の研究で分光観測により得られた 221 個の EMPG に対して、LSS カタログ (Reid et al. 2016; SDSS DR12) に基づく 30,757 個 ($z < 0.1$) の銀河 (全銀河と呼ぶ) との投影された 2 体相互相関関数 ($\omega_p(r_p)$) を計算した。また、SDSS DR12 の分光カタログから、星質量が EMPG と同程度 ($10^{7.0} - 10^{-8.5} M_{\odot}$) の銀河を 1881 個選択して、比較銀河サンプルを作り、これと全銀河の間の $\omega_p(r_p)$ も計算した。得られた $\omega_p(r_p)$ を $ar^{-0.8}$ の関数でフィットしたところ、EMPG は $a = 38_{-10}^{+14}$ 、比較銀河サンプルは $a = 54_{-17}^{+23}$ となり、 1σ の誤差範囲で両者が一致することがわかった。従って、EMPG は金属欠乏ガスの流入により星形成が起こった銀河、というシナリオと無矛盾であることがわかった。本講演では、さらにハロー質量を求めた結果を示し、EMPG の物理的起源について議論を深める予定である。

[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](#)

X48a IllustrisTNG における極金属欠乏銀河の存在環境と形成メカニズム

井上 茂樹 (北海道大学), 西垣 萌香 (総合研究大学院大学), 大内 正己, 中島 王彦 (国立天文台/東京大学), 矢島 秀伸, 福島 肇 (筑波大学)

極金属欠乏銀河 (EMPG) は、その金属量が太陽の 10% 以下の矮小銀河である。金属量汚染が進んだ現在の宇宙において、EMPG がこれほど低い金属量を持っている理由は明らかになっていない。また、それらの低い光度や希少性も、EMPG の観測的研究を困難にしている。こうした EMPG の形成過程を解明するため、本研究では IllustrisTNG シミュレーションを用いて、EMPG のような低金属量の銀河がどのような環境に存在しているのかを調べた。シミュレーションの利点を活かし、ダークマターの分布から、シミュレーション領域をボイド、シート、フィラメント、ノットの 4 つに分類し、低金属銀河がどの構造に属しているのかを解析した。結果、EMPG のような低金属な矮小銀河は、どれかの特定の構造に優先的に存在するような傾向は見られなかった。しかし、暗黒物質密度、銀河個数密度としては、フィラメント環境の典型値に近い領域に多く存在することがわかった。

また、シミュレーションを時間を遡って調べることにより、EMPG の形成過程に迫った。EMPG に相当するような銀河は、宇宙再電離以前の早期に星を形成し、ある程度金属量汚染された銀河として形成する。それらが再電離以降では星形成を止め、その間に銀河間空間の始原ガスを取り込むことによって極金属欠乏状態を達成する。最終的にこうした銀河が別のハローに降着した際に、潮汐作用などにより星形成を誘発され、高い星形成率を持った EMPG となる。つまり、EMPG は宇宙初期に ultrafaint dwarf galaxy のような天体として形成し、その後の長い期間の緩やかな始原ガス降着によって「EMPG 化」するシナリオが示唆される。しかし、シミュレーションの解像度不足から、詳細の解明にはさらなる高解像度シミュレーションが必要である。

[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](#)

X49a 極低金属量範囲における金属量指標

中島王彦 (国立天文台), 大内正己 (国立天文台/東京大学), Yi Xu, 播金優一, 磯部優樹 (東京大学), 長尾透 (愛媛大学), Michael Rauch (Carnegie), and HSC Project 251 (EMPRESS) collaboration

銀河の化学進化を理解する上で、遠方銀河のガスの金属量を正確に測ることは重要である。ガスの温度を元に金属量を求める手法が最も正確である一方で、ガスの温度を測るために必要な輝線は弱く、暗い遠方の銀河に対しては必ずしも適用できない。そこで頻繁に使われる手法が、可視波長域に観測される酸素等の強い電離輝線と水素の再結合線を組み合わせた金属量指標である。これまで、近傍宇宙において正確に金属量の測られている SDSS 銀河のスタックや個別の低金属量銀河を元に金属量指標は経験的に確立されてきた。しかしながら、太陽金属量の 10% 以下 ($< 0.1 Z_{\text{sun}}$) の極低金属量範囲では天体のサンプル数が小さく、金属量指標は十分調べられていない。JWST を用いた遠方銀河の金属量研究を見据えると、極低金属量範囲における金属量指標の確立は急務である。

そこで本研究では、Subaru/HSC の EMPRESS サーベイによってもたらされる極金属欠乏銀河 (EMPGs) や、これまでに見つかっている個別の EMPGs をコンパイルして得た計 103 個の銀河を使うことで、極低金属量範囲における金属量指標を再評価する。その結果、 $([\text{OIII}]+[\text{OII}])/H\beta$ (R23-index) が $0.02 - 2 Z_{\text{sun}}$ という幅広い範囲において最も小さい不定性で金属量の決定精度があることが判明した。その一方で、 $[\text{NII}]/H\alpha$ (N2-index) 等の低階電離や高階電離のガスのみを反映する輝線を使う指標では、 $< 0.1 Z_{\text{sun}}$ の極低金属量範囲において大きな不定性を持つことが明らかとなった。本講演では、この不定性の起源がガスの電離状態の多様性にあること、そして水素の $H\beta$ 輝線の等価幅を使うことでこの不定性を減らし金属量指標の精度を上げることができる点について紹介・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](#)

X50a 形成初期銀河における分散運動の優位性が示す超新星爆発や銀河合体の兆候

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, 服部堯 (国立天文台), Xu Yi (東京大学), 日下部晴香 (ジュネーブ大学), 他 33 名 (EMPRESS 3D)

近年の大規模面分光探査によって星形成銀河の大多数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直後から回転していたのかどうかはまだ観測的に調べられていない。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 を用いた深い面分光観測を実施した。これまでに観測を終えた 2 天体 (J1631+4426, SBS0335-052E) は金属量が太陽の 1.6%, 3.9% とそれぞれ低く、かつ高い比星形成率 (それぞれ $s\text{SFR} \sim 50, 3 \text{ Gyr}^{-1}$) を示すため、形成間もない銀河であると考えられる。観測された 2 天体に対し、銀河回転によるものとみなせる速度差 v_{obs} と速度分散 σ を測定し、その比 $v_{\text{obs}}/2\sigma$ を計算するとそれぞれ 0.20, 0.37 となった。これらは銀河のガス運動が分散優位であるとする条件 $v_{\text{obs}}/2\sigma < 0.4$ (Förster Schreiber et al. 2009) を満たすことから、観測した 2 つの形成初期銀河のどちらも分散運動優位である可能性が高い。これら 2 つの形成初期銀河は活発な星形成銀河である上に、見かけ上大きい SBS0335-052E ではスーパーバブルのような局所的な速度構造が見られるため、超新星爆発による乱流が分散運動の元になっている可能性がある。この描像は形成初期銀河において超新星爆発による影響を考慮した時に安定的な円盤が生じないとする Yajima et al. 2017 のシミュレーション結果とも合致する。一方で、J1631+4426 は付属する淡い構造 (tail) に対し局所的な速度差を示しているため、tail との合体に伴い速度分散が増加している可能性も示唆される。本講演では金属量の空間分布を合わせて、銀河形成/進化とそれに伴うガス運動の変化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](#)

X51a 深層学習を用いた輝線強度マッピング観測データからの三次元銀河分布の再構築

森脇可奈 (東京大学)

宇宙大規模構造は、銀河形成・進化や宇宙論を探るにあたって重要となる。今後の銀河探査ではこれまで以上に広い領域、遠方の大規模構造が観測される。こうした観測と相補的な役割を担うのが、比較的新しい観測手法である輝線強度マッピング (LIM) 観測である。LIM 観測では、個々の銀河を詳細に観測する代わりに、大領域にわたって角解像度・周波数解像度を落とした分光観測を行う。輝線放射によるスペクトルのゆらぎ成分のみを取り出すことで、大領域における銀河や銀河間ガスの三次元分布をより効率的に検出することができる。現在様々な波長帯において LIM 観測が計画されている。例えば、数年内には全天探査機 SPHEREx による近赤外波長帯の LIM 観測が行われる。

LIM 観測では、観測されたシグナルがどの輝線種に由来しているかを判別することが難しいという問題があり、これは輝線混在問題と呼ばれる。我々はこれまで、深層学習を用いた解決手法を提案してきた。本研究では、これまで解析に取り入れていなかったスペクトル方向のデータを加え、より高い制度で輝線シグナルの分離を行う手法を構築した。SPHEREx の deep 観測 (200 deg²) を想定し、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て三次元深層ニューラルネットワークを学習させた。各輝線の固有波長に関する情報を機械に与えるようなネットワーク構造を用いることで、特定の輝線からの寄与を 80 パーセント以上の精度で分離できた。これによって、将来の観測データから幅広い赤方偏移範囲における三次元大規模構造を再構築することができる。

[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](#)

X52a Passive spiral galaxies deeply captured by Subaru/HSC

Rhythm Shimakawa, Masayuki Tanaka (NAOJ), Connor Bottrell (Kavli IPMU), Po-Feng Wu, Yu-Yen Chang (ASIAA), Yoshiki Toba (Kyoto Univ.), Sadman Ali (Subaru Telescope)

We report a discovery of ~ 1000 passive spiral galaxy samples at $z = 0.01-0.3$ based on a combined analysis of HSC-SSP PDR3 and the GALEX-SDSS-WISE Legacy Catalog (GSWLC-2). Among 54871 *gri* galaxy cutouts taken from the HSC-SSP PDR3 over 1072 deg², we conducted a search with deep-learning morphological classification for candidates of passive spirals below the star-forming main sequence derived by UV to mid-IR SED fitting in the GSWLC-2. We then obtained ~ 1000 passive spirals through further visual inspections. The selected passive spirals have a similar distribution to the general quiescent galaxies on the EW_{H δ} -D_n4000 diagram and concentration indices. Moreover, we found that passive spirals are preferentially associated with X-ray clusters, and more intriguingly, they tend to be located in the midterm or late infall phase on the phase-space diagram, supporting the ram pressure scenario, which has been widely advocated in previous studies. We also discuss future updates, including integration with a citizen science project termed GALAXY CRUISE, which will make classifications more effective and comprehensive.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

X53a スーパーボイドにおける銀河形成

井上 開輝 (近畿大)、嶋川 里澄 (国立天文台)、西澤 淳 (名古屋大)、奥村 哲平 (ASIAA)

銀河形成において銀河内部の要因と外部の要因を切り分けるため、外部の影響が小さい低密度環境における銀河の進化を調べることは大変重要である。これまでに 10-20Mpc/h 程度の半径を持つ宇宙ボイド中の銀河の性質が調べられており、フィールドに比べ銀河進化が遅くなり、星形成銀河の割合が増大することが示唆されている。しかし、サンプルの揺らぎが大きく、確定的なことはまだ分かっていない。我々は、銀河形成における環境効果を調べるため、巨大ボイド (スーパーボイド) 中における銀河の観測を提案する。スーパーボイドは、ほぼ独立した低密度宇宙であり、その膨張率は宇宙の平均的な値よりも高く、スーパーボイド内部で密度揺らぎの成長が遅くなる。その結果、銀河がゆっくり進化するため、銀河の数密度は減少するが、銀河バイアスや星形成銀河の割合の増大が予測される。スーパーボイドは典型的なボイドに比べ、そのサイズが圧倒的に大きいため、1つのサンプルでも銀河の環境効果を調べることが可能である。我々は、手初めに Subaru/HSC により、赤方偏移 0.4 近くにある宇宙マイクロ波背景放射「コールドスポット」周辺の H α エミッター (HAE) のマッピング観測を行うことを提案する。観測された HAE の数密度から $z \sim 0.4$ におけるボイド領域の質量密度 (ダークマター+バリオン) を推定する。また、HAE の 2次元クラスタリングを測定し、フィールドの値と比較することによって、銀河バイアスにおよぼす環境効果を調べる。今回は観測されるシグナルの大きさを確認するため、一様等方宇宙モデルによりスーパーボイドをモデル化し、銀河バイアスを計算した。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](#)

X54a PHANGS-ALMA アーカイブデータを用いた近傍銀河の CO(2-1) 分子ガス分布の定量的・統計的解析

山本卓 (放送大学)、伊王野大介 (国立天文台)、斉藤俊貴 (日本大学/国立天文台)

銀河の形態についての定量的解析による研究は可視光・赤外線データでは Conselice (2003) などの多くの研究成果がある。他方では銀河進化の研究にとって重要な意義を持つ近傍銀河における分子ガスの分布形態の定量的解析は空間分解能の不足により十分になされてきたとは言えない。しかし現在では ALMA の稼働により、多くの高分解能の分子ガス観測データが蓄積されてきている。とりわけ PHANGS-ALMA の CO(2-1) 観測データの公開によって、74 銀河の定量的・統計的解析のための有効なデータを得ることができた。このデータを Conselice の CAS パラメータの方法を適用してそれぞれの銀河ごとに Concentration(C)、Asymmetry(A)、Clumpiness(S) の値を計算する具体的手順を確立し、定量的・統計的解析を実行した。これらのデータは様々な空間分解能を持っているため、全てのデータを Physical scale で 180pc に揃えて解析を実施した。本講演ではその中間報告を行う。この研究は近傍銀河に限らず、近い将来には空間分解能次第で高赤方偏移銀河にも適用できる可能性がある。この解析の最も重要な結果の一つは Asymmetry と Clumpiness の間に明確な相関が見られるという点である。銀河の全体構造に何らかの作用が及ぶことによって生じる非対称性の指標である A の値が高ければ、分子ガス雲の直径 200pc 程度のクランピーな集中が生じる確率が高いことを示す。また、本研究では分子ガスの中心集中度を過去の研究より高い精度で数値的に表すことが可能となった。その結果として、棒状構造を持つ渦巻銀河については高い中心集中度を持つものが多いことが示された。これはこれまでの研究成果と矛盾のないものであった。しかし 3 割以上の棒渦巻銀河は平均値より C 値の低い銀河であり、それらの詳細など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](#)

X55a Outflows of Low-Mass Galaxies with $M_* = 10^4 - 10^7 M_\odot$

Yi Xu (U. Tokyo), Masami Ouchi (NAOJ/U. Tokyo), Michael Rauch (Carnegie), Kimihiko Nakajima (NAOJ), Yuki Isoe (U. Tokyo), and HSC Project 251 (EMPRESS) collaboration

In the galaxy formation framework, galaxies with low masses experience energy-driven outflows powered by thermal energy of supernova explosions. Here we have carried out very deep medium-high resolution optical spectroscopy for 21 nearby low-mass ($M_* = 10^4 - 10^7 M_\odot$) galaxies with Magellan/MagE. These low-mass galaxies are actively star-forming systems with high specific star-formation rates of $100 - 1000 \text{ Gyr}^{-1}$ that are well above the star-formation main sequence and its extrapolation. We identify broad-line components of $H\alpha$ and $[\text{OIII}]\lambda 5007$ emission in 14 out of the 21 galaxies that cannot be explained by physical Voigt profiles broadened by the MagE instrumental profile. We conduct double Gaussian profile fitting to the emission of the 14 galaxies, and find that the broad-line components have line widths of $\sim 100 \text{ km s}^{-1}$ indicative of galaxy outflows, which are detected due to our spectra whose resolution and S/N ratios are sufficiently high. We estimate the maximum velocities v_{max} , most of which are comparable to or slightly larger than the escape velocities, while these v_{max} values are small, $\sim 60 - 200 \text{ km s}^{-1}$. Down to this low mass regime, there extend positive correlations of v_{max} with star-formation rates, stellar masses, and circular velocities. We also measure broad- to narrow-line ratios BNRs that are generally smaller than those of massive galaxies. Due to the small v_{max} and BNR, the mass loading factors η are as small as $0.1 - 1$ or below, suggesting that there may not exist a largely excessive η of energy driven outflows that are predicted by numerical simulations.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

X56a 銀河系矮小銀河の化学動力学進化と星形成史

林航平 (一関高専/東京大学宇宙線研究所), 平居悠 (ノートルダム大学/東北大学), 石山智明 (千葉大学), 千葉証司 (東北大学)

矮小銀河は宇宙初期に形成された始原的な天体であり、これらが合体・衝突を繰り返してより大きな銀河が形成されたと考えられているため、銀河の形成や進化を知る上でも重要な天体である。特に超低輝度矮小銀河 (ultra-faint dwarf galaxy; UFD) は、そのほとんどが宇宙再電離前に形成された銀河であり、より宇宙初期からの暗黒物質分布や銀河形成に関する情報を保持していると考えられる。したがって、UFDs の化学動力学の性質を観測から調べることは銀河の星形成史と動力学進化史に重要な示唆を与える。現行の分光観測によって、銀河の星質量と平均金属量には普遍的な関係があることが示唆されている (Kirby et al. 2013)。しかし UFDs はこの関係から逸れた分布をしており、この原因は未だ不明瞭である。観測バイアスも含め、この理由を明らかにすることは UFD の形成史を解明する上で重要なヒントとなる可能性がある。

本研究では銀河系に付随する UFDs に対して動力学解析を行い、暗黒物質ハローの性質を調べた。特に、UFDs の半光度半径以内の力学的質量と星質量との比 (力学的質量-光度比) を計算し平均金属量との関係を調べたところ、相関があることがわかった。これは暗黒物質ハローの動力学進化と UFDs の化学進化に強い関係があることを示唆している。

本講演では、本研究で用いた動力学解析とその結果を述べた上で、力学的質量-光度比と平均金属量との相関関係を紹介し、ここから示唆される矮小銀河形成史について議論する。

[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](#)

X57a ダークマターサブハローの力学進化過程

数野優大, 大滝恒輝, 金田優香, 森正夫 (筑波大学)

Cold Dark Matter(CDM) を基礎とした天体形成論は、宇宙の大規模構造の観測的性質の多くを説明できることから標準的な銀河形成モデルとしてこれまで広く受け入れられている。この CDM 理論では、宇宙初期の CDM の密度揺らぎの成長に伴い、小さなダークマターハローの合体が繰り返されることで時間経過と共に大きなダークマターハローへと成長していく。

前回の秋季年会では質量分解能 $5 \times 10^3 h^{-1} M_{\odot}$ の高分解宇宙論的 N 体シミュレーション “Phi-4096” (Ishiyama et al. 2021) のデータを用いて、天の川銀河程度の質量 ($10^{12} h^{-1} M_{\odot}$) を持ったダークマターハロー (Host halo) の内部を運動する 10^5 - $10^{10} h^{-1} M_{\odot}$ のダークマターハロー (Subhalo) の成長過程について報告した。前回の発表では Wechsler et al. (2002) で示された exponential 型の 1-parameter fitting formula を用いて解析を行ったが、今回新たな Fitting formula として, McBride et al. (2009) で提示された 2-parameter fitting formula を採用した。McBride et al. (2009) では 10^{12} - $10^{14} h^{-1} M_{\odot}$ のダークマターハローについてこの fitting を行うことで、ダークマターハローを 4 つのタイプに分けられることを示した。一方で Subhalo に対して今回このタイプ分けを行ったところ, McBride et al. (2009) ではほとんど見られなかったタイプのダークマターハローが 90% 以上も占めることを発見した。これは accretion による質量増加と Host halo から受ける潮汐力に起因する tidal stripping による質量減少の 2 つの phase に分かれるためである。そしてこの結果は tidal stripping を受けて質量減少を起こす Subhalo が普遍的に存在することを示している。更に low mass の Subhalo 程、自己重力が弱いために早い段階で tidal stripping phase へと移行することを見つけた。

[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](#)

X58a ダークマターサブハローの力学進化と近傍銀河・銀河団観測との比較

金田優香, 数野優大, 大滝恒輝, 森正夫 (筑波大学)

Λ CDM モデルにおける階層的構造形成において、低質量ダークマターハローはそのビルディングブロックとして重要な役割を果たす。また、矮小銀河の多くは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査することはダークマターの性質を知るための鍵となる。そこで、矮小銀河程度の質量範囲 ($10^6 \sim 10^{10} M_{\odot}$) のダークマターハローの力学進化と質量進化を、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) のデータを用いて調査した。ここでは、天の川銀河サイズのホストハロー 27 個の重力ポテンシャルに束縛された総数 300,000 個のサブハローのデータを使用した。その結果、サブハローの V_{\max} (maximum circular velocity) と r_{\max} (V_{\max} を持つ半径) の時間進化が、 $r_{\max} = AV_{\max}^{\alpha}$ でよくフィットされ、 A, α が各々特定の値に集中する、すなわち「すべてのハローの進化経路が同様の傾向を持つ」ということがわかった。また、サブハローの r_{\max} - V_{\max} 関係が、ホストハローの潮汐力に起因する質量剥ぎ取りによって進化経路を逆戻りする様子を確認できた。

さらに、これらのサブハローの質量密度分布を Navarro-Frenk-White profile (Navarro, Frenk & White 1996) でフィットした際の concentration とビリアル質量の関係である c - M relation は、Ishiyama & Ando (2020) で示された束縛されたハローの c - M relation の近似式とよく一致した。加えて、この c - M relation から得られた r_{\max} と V_{\max} の関係は、分光観測、X 線観測、重力レンズ効果観測で得られた矮小銀河から銀河団のダークマターハローの r_{\max} と V_{\max} の値と矛盾がないことがわかった。

[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](#)

X59a 銀河衝突とガスの熱力学進化

大滝恒輝、森正夫 (筑波大学)

銀河の形成・進化過程において、星間ガスの放射冷却は重要な役割を果たしている。星形成を起こす高密度領域での冷却時間 t_{cool} は、ガスの力学時間 t_{dyn} よりも非常に短い。このような大きく異なるタイムスケールが存在する物理現象を同時に解くことは、overcooling 問題として知られている。例えば銀河形成シミュレーションでは、高密度な領域における冷却時間が短いために、超新星爆発のエネルギーのほとんどが放射冷却によって消失するため、その効果を正しく取り入れることが困難である。

Townsend (2009) は、シミュレーションのタイムステップの大きさに関係なく、エネルギー方程式の冷却項を安定に解くことができる Exact Integration (EI) scheme を開発した。この手法では、piecewise power law でフィットされた冷却率から計算される時間発展関数により、冷却率の温度依存性を反映した冷却後の温度を得ることができる。我々はこの EI scheme を応用し、冷却率の温度変化と金属量依存性を考慮した実効的な冷却時間 $t_{\text{cool, eff}}$ を定義した。従来の冷却時間 t_{cool} はある温度とそれに対応する冷却率から得られるのに対し、実効的な冷却時間 $t_{\text{cool, eff}}$ では、二点間の温度変化にかかる時間を算出することができる。

本研究では、ガスを含むダークマターサブハロー同士の正面衝突モデルに実効的な冷却時間を取り入れ、衝突時のガスの熱力学進化を調査した。衝突電離平衡における太陽組成比ガスの冷却率を用いた結果、衝突速度 100 km s^{-1} でダークマターサブハローが衝突した際、実効的な冷却時間 $t_{\text{cool, eff}}$ に比べて、従来の冷却時間 t_{cool} が短すぎたため、冷却の効果を過大評価していることがわかった。発表では、ガスの温度変化を考慮した冷却時間と従来の冷却時間を比較し、銀河衝突後のガスの熱力学進化と overcooling 問題について議論する。

[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 高分解能シミュレーションに基づいた超新星フィードバックモデルの構築

奥裕理 (大阪大学), 富田賢吾 (東北大学), 長峯健太郎 (大阪大学), 清水一紘 (四国学院大学), Renyue Cen (Princeton)

2020 年代には、すばる望遠鏡 PFS、Euclid 宇宙望遠鏡、Roman 宇宙望遠鏡などによる銀河サーベイ観測によって、高赤方偏移銀河の統計的性質や銀河周辺物質の観測的理解が大きく進むと期待される。観測結果の物理的解釈のためには、物理的なモデルを導入した流体シミュレーションによる理論予言が必要である。そのため、我々は pc スケールの星間物理に基づいて超新星フィードバックモデルを構築した。

まず、格子法の流体コード Athena++ (Stone et al. 2020) を用いて、多重超新星爆発によって形成されるスーパーバブルのシミュレーションを行い、スーパーバブルの運動量の密度・金属量依存性を調べた。そして、その結果を SPH 法の宇宙論的流体シミュレーションコード GADGET3-0saka (Shimizu et al. 2019) の超新星フィードバックモデルへと応用した。また、運動量フィードバックに加えて、熱的フィードバックも考慮した。近年の高分解能シミュレーションから、高温アウトフローが金属を銀河外へ輸送する働きを持つことが示唆されている。しかし、宇宙論的シミュレーションでは質量分解能が不十分であるため、超新星爆発による高温バブルの生成を解くことができない。そこで我々は確率的モデルを導入し、高分解能シミュレーションの高温アウトフローを再現する超新星フィードバックモデルを構築した。

孤立銀河テスト計算の結果、運動量フィードバックは星形成を抑制する役割を持つのに対し、熱的フィードバックは金属アウトフローを駆動する働きを持つことが分かった。講演では、モデルの概要と孤立銀河テスト計算の結果を発表し、このモデルを使った宇宙論的 zoom-in シミュレーションの結果と観測の比較についても触れる。

[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](#)

X61a 銀河形成シミュレーション高解像度化に向けた深層学習・CVによる超新星爆発のシェル膨張予測

平島敬也, 森脇可奈, 藤井通子 (東京大学), 平居悠 (東北大学, 理化学研究所), 斎藤貴之 (神戸大学), 牧野淳一郎 (神戸大学, 理化学研究所)

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 法による最高解像度のシミュレーションでも、 10^{10} 個程度の粒子で銀河を表しており、zoom-in シミュレーションを用いても質量分解能は $10^3 M_{\odot}$ 程度に止まっている。

我々は、スーパーコンピュータ「富岳」を用いて、銀河の個々の星まで分解した star-by-star シミュレーションの達成を目指している。しかし、ごく一部のタイムスケールの短い現象 (超新星爆発など) が他の全ての粒子の演算・通信回数を数百倍に増大させ、その実行を困難にしている。本研究では、演算・通信回数を減らすため、銀河内の時間刻みが短くなる領域 (超新星爆発など) を孤立系として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非等方なシェル領域 (粒子) を事前に同定する必要がある。解析解は等方的な現象しか扱えないため、将来の映像を予測する深層学習モデル Memory-In-Memory Network (Y. Wang et al. 2018) とデジタル画像・映像を機械に解釈・処理させる技術 (Computer Vision; CV) を用いて、非等方なシェル膨張を高速に予測する深層学習モデルを開発した。本講演では、開発した深層学習モデルと粒子同定アルゴリズムのパフォーマンスについて報告する。さらに、銀河形成シミュレーション高速化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](#)

Y01a 高等学校で総合的・基礎的な必修理科科目は必要か？

縣秀彦, 松本直記, 富田晃彦, 篠原秀雄, 中島静, 上野宗孝 他 (仮称) 理科基礎検討会一同

2022 年度施行の高等学校学習指導要領においては、教科理科の科目構成は現状のままとなっている。しかし、3S (Society5.0,SDGs,STEAM) への対応はじめ科学技術・イノベーションや地球環境の維持、自然災害への対応など、現代社会が直面する諸課題の解決のためには、物化生地と分かれた科目を一部履修するのみでは十分な対応が困難と予想される。そこで理科4分野を統合した新科目 (仮称) 理科基礎を 2030 年代に必修基礎科目として設置することの是非を議論したい。

2016 年に日本学術会議から「これからの高校理科教育のあり方」(須藤靖委員長) が発表になった。この提言を踏まえ、必修理科科目について研究するグループ (仮称) 理科基礎検討会を 2021 年 2 月に立ち上げ、分野の枠を越えた多彩なメンバー (現在 26 名参加) 間で、学習内容の関連性やコンテンツ、理科で育てたいコンピテンシー等を検討している。本講演ではその検討内容について中間報告を行う。

今後の研究計画としては、(1) 歴史的経緯および STEAM 教育など海外の動向についての調査、(2) 現職教員等関係者への聞き取りやアンケート調査等の多角的な検討を並行して行った後に、(3) 新カリキュラム案要素を親和図法等により構造化し複数のモデルを構築し、このモデルに沿って指導案、教科書、教材等を作成する予定である。さらに (4) 複数のモデルごとに授業実践 (部分的) を複数行い、その統計分析により効果測定を行う。(5) 以上の結果を取りまとめ、比較分析することで、最終的な新カリキュラム案を発表する予定である。

[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](#)

Y02a 高校生向け天文学実習「銀河学校 2021」オンライン実施報告

大島由佳, 坂井郁哉, 宮田隆志, 吉井譲 (サイエンスステーション, 東京大学), 高橋英則, 新納悠, 森由貴 (東京大学), 他銀河学校 2021 スタッフ, サイエンスステーション

NPO 法人サイエンスステーションは東京大学木曾観測所と協力し、例年 3 月末に 30 名程度の高校生を対象として長野県の本曾観測所で 3 泊 4 日の天文学実習「銀河学校」を実施している。現地開催での銀河学校は、参加者が自ら観測・解析・議論・発表を行い、観測天文学の研究の流れを体験できる。

新型コロナウイルス感染症の影響により、2021 年 3 月に 2 回目となるオンラインでの銀河学校を開催した。オンライン開催では、スタッフが事前に取得した観測データを用いたが、その他は可能な限り現地開催に近づけるように留意した。24 名の参加者は 6 人ずつの班に分かれ、Web 会議システム Zoom を用いてスタッフらの指導のもとデータ解析と議論を行った。画像解析ソフト Makali'i を参加者自身のパソコンで起動して解析を行い、複数人で同時に編集できる Google スプレッドシートや Google スライドを用いて解析結果の共有や発表準備を行った。2020 年 8 月に行った 1 回目のオンライン銀河学校において生徒同士のコミュニケーションに課題があった点などを踏まえ、(1) 日程を 3 日間から 4 日間に変更しゆとりのある時間配分にした、(2) オンライン開催に適した研究テーマを選定した、(3) 参加者に好きな天体の観測コマンドを書いてもらい観測の様子を演示した、(4) レクリエーションを実施して参加者同士のコミュニケーションを促した、といった工夫を行った。実習終了後に参加者に対して行ったアンケートでは、「天文学研究の面白さがわかった」「班員と打ち解けて議論することができた」と高く評価する声が多かった。本講演では、オンラインで実施した天文学実習「銀河学校 2021」の内容と開催の工夫点、反省点などについての詳細を報告する。

[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](#)

Y03a 東京学芸大学の新 40cm 鏡を活用した教育研究活動

土橋一仁, 富田飛翔, 芹澤来渡, 松井ひなた, 荒川琉嘉, 鈴木海哉, 佐藤悠, 西浦慎悟, 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グループでは、昨年新たに設置した口径 40cm の光学望遠鏡 (新 40cm 鏡) の開発・整備を進めつつ、それを利用した教育研究活動に取り組んでいる。田中光化学工業 (株) の協力を得て、手動制御であった旧来のドーム (直径 6 m) も PC 制御可能となり、BVRI バンドでの測光観測もできる本格的な望遠鏡として完成度を高めつつある。望遠鏡そのものの開発については、富田 (本年度講演) が報告する。

令和 3 年 1 2 月現在、学部生の卒業研究と望遠鏡の試験観測を兼ねて、(1) 6.7GHz メタノールメーザーの可視光モニター観測、(2) 食連変光星 (アルゴル) の観測、(3) 木星や月などの太陽系内天体の観測に取り組んでいる。その他、(4) いくつかの散開星団や球状星団のヘルツシュプルング・ラッセル図の作成も試みている。

(1) は、茨城大学理学部附属宇宙科学教育研究センターのグループ (代表: 米倉寛則氏) からメタノールメーザーのリスト等の提供を受けて試験的に行っているモニター観測で、大質量星形成領域の専門的な研究を主な目的としてしている。(2) と (4) は地学を履修する高校生対象の教材開発が目的である。(4) については、大妻女子大学のグループ (代表: 下井倉ともみ氏) と協力して行っている。(3) は、中学校理科の授業で使える教材の開発が主な目的であり、独自の月齢カレンダーやガリレオ衛星の公転のムービー作成を目指している。

インターネットに接続することで、ドームも含めた新 40cm 鏡の遠隔操作が可能になりつつある。このシステムを利用した学校の教室からの遠隔観測を実現すべく、目下、近隣の中学校・高校の担当教員と打ち合わせを行っている。本講演では、新 40cm 鏡を利用したこれらの観測や教育活動について、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](#)

Y04a 東京学芸大学の新 40cm 鏡と制御システムの開発 4

富田飛翔, 土橋一仁, 西浦慎悟, 荒川琉嘉, 鈴木海哉, 芹澤来渡, 松井ひなた, 佐藤悠, 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・整備を行なっている (富田他、2021 年秋季年会)。望遠鏡のポインティング、フィルターホイール、CCD カメラなどはパソコンから制御することが可能である。しかしながらドームは手動で位置を調整する必要があったため、観測の自動化のためにはパソコンでドームの位置を読み、望遠鏡の方向とスリットが合うようにドームを回転させる必要があった。田中光化学工業株式会社の協力を得て、ドームの位置を検出するロータリーエンコーダー、原点検出機、および駆動用モーターの加減速を調整するためのインバーターを取り付け、I/O ボードを介してそれらをパソコンとつなげることによりドームの回転をパソコンから制御することが可能となった。ドームスリットについては、望遠鏡の方位角を常にテキスト形式で出力し、ドーム制御のプログラムがそれを読み取りその方位角にスリットを向けることで同期を取るよう設計した。これにより、プログラムに任意の天体を登録し、使用するフィルターや露光時間を設定すれば、あとは観測終了までほぼ自動観測することが可能になった。また、ND フィルターホイールを導入したことにより明るい変光星のモニター観測や惑星などの観測も容易に行えるようになった。今後は観測プログラムを構築しつつ、雨滴センサーなどを取り付け、より充実した観測環境の実現を目指したい。望遠鏡とドームの同期が可能となったことで google が提供する chrome remote desktop を利用して遠隔で望遠鏡を制御することも可能となった。これにより遠隔地から望遠鏡を制御することが可能となったので、近隣の学校と協力して、新 40cm 鏡を用いた遠隔授業を試行する予定である。

[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](#)

Y05a 分光観測を直感的に理解するための中小望遠鏡向け接眼分光器の開発

橋本修, 田口光 (ぐんま天文台)

観望光学系を持つ 150cm 級の望遠鏡を対象に分光画像と直接像を同時に観察できる接眼分光器を開発し、この装置を用いた天体物理学の新たな教育手法を検討してきた。直接像に見られる対象天体の色と分光されたスペクトルとの関係を自らの視覚で直接比較しながら観察する経験が、天文学・天体物理学の基礎となるやや難解な天体分光の本質を直観的に理解するうえで極めて効果的であることが確認されている。

望遠鏡の集光力を活用すべく 150cm 望遠鏡に最適化して装置の開発を行ってきたが、比較的明るい天体を適切に選べば、150cm 級までの規模ではなくとも有効な教育効果が得られる可能性があることもわかってきた。そこで、接眼分光器を用いた天体物理学の教育機会を大幅に拡大するため、より小型の望遠鏡でも効果的に利用できる新たな接眼分光器を開発した。国内外の多くの公開天文台などに備えられた望遠鏡の規模に相当する口径 50cm から 100cm 程度の望遠鏡に適合させたものである。開発にあたっては、(株)昭和機械製作所によって製造された市販の小型分光器の分光光学系をそのまま導入して製作コストを大幅に低減し、より多くの施設での導入が容易となるように努めている。また、50.8mm 径の観望用接眼レンズの代わりに取り付けるだけで利用できる構造に加え、可能な限りの小型化と軽量化も図っているため、多くの望遠鏡で直ちに利用することが可能となっている。

製作した試作機により、その性能が概ね期待通りのものであることが確かめられている。今後は、多様な望遠鏡を用いてその可能性を確認するとともに個々の望遠鏡に依存した問題点を洗いだし、装置の改良を行い、より使いやすく、量産も可能な最終形の装置を完成させる予定である。

[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](#)

Y06a 岡山クーデ分光乾板デジタルアーカイブの予備調査

柳澤顕史 (国立天文台), 大塚雅昭 (京都大学), 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)

国立天文台・写真乾板ワーキンググループは岡山 188 cm 望遠鏡ニュートン焦点で撮像した乾板 4,500 枚のデジタルアーカイブをすすめており、手札サイズ乾板 (NS) については今年度中に完成する見込みである。そこで次なる対象としてクーデ分光乾板 約 1 万枚 の検討を始めた。本講演では予備調査の一環で行ったスペクトルの復元と精度の検証結果について報告する。分光乾板のアーカイブでは、観測メタ情報の目録作りと乾板のデジタル画像化を行う。撮像乾板と異なり、分光乾板は画像を見ても何が記録されているのか判断できないので、研究者の活用を期待するには、光強度スケールの一次元スペクトルを添える必要がある。そこで本研究ではクーデ分光乾板画像より一次元スペクトルを抽出するソフトを試験的に作成してパイプライン処理の見通しを得るとともに、乾板スペクトルと CCD スペクトルの比較により精度の検証を行った。今回は、B-F 型星を分光した C4 乾板 9 枚 (λ 4,100–4,900 Å, $\lambda/\Delta\lambda \sim 16,000$) を市販の高精度フラットベッドスキャナーで取り込み、画像から復元した一次元スペクトルを OHP/ ELODIE ($\lambda/\Delta\lambda \sim 34,000$) のスペクトルと比較した。視線速度と分解能の違いを補正し、連続光レベルで規格化して両スペクトルを重ね合わせると、いずれの乾板においても両者は極めてよい一致を示した。精度の指標としてスペクトル比のバラツキを評価すると 2%–4% と小さく、10% と伝承されている精度を上回っている。本結果は分光写真乾板より復元したスペクトルの精度は高く、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ことを示している。また画像 1 枚当たりの処理時間は 1 分足らずであり、実用的な時間の範囲で処理できる見通しも得られた。

[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](#)

Y07b 中高生に向けた宇宙線探究活動「探 Q」の現況報告

榎本晴日(東工大), 秋山翔希, 遠藤心汰朗, 喜多亮介, 河野理夏子, 齋藤隆太, 佐々木真奈香, 帆足莉子, 中川鈴彩, 能勢千鶴, 丸田京華(東北大), 大澤真優乃(早稲田大), 田中香津生(Paul Scherrer Institute)

中高生の科学探究活動は広く行われているものの、宇宙線に関する探究活動は殆ど行われていないのが現状だ。なぜなら一般に宇宙線の研究には高価で大型な装置が必要とされるが、中高生にとって装置にアクセスすることは難しいからである。

宇宙線探究活動「探 Q」[1]では、中高生が宇宙線の探究を気軽に行うことで宇宙への好奇心を高めることを願い、2019年より活動をスタートした。比較的簡単に扱うことの出来る安価な宇宙線検出器を開発・配布し、更に研究者と大学生が中高生の探究活動のサポートを行うことで、学会のジュニアセッション等で発表を行うまでの成果を得ることを可能にしている。

covid-19の感染症拡大で中高生の課外活動が制限される中であっても、探 Q ではオンラインツールを活用したサポートを行ってきたことで、むしろ活動を全国展開することに成功した。現在は 28 校、100 名以上の中高生がチーム・個人・部活動の各々の単位で、様々なテーマを掲げて探究活動を行なっている。

本講演では中高生主体のオンライン共同研究の構築について、いくつかの事例を交えて報告する。

[1] <https://accel-kitchen.com/tanq/>

[スケジュール\(セッション毎\)に戻る](#)

[スケジュール\(全体\)に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Y08b 教育用簡易電波干渉計 プロトコル "j-VLBI" 構想

木村正樹(株式会社リバネス)

中高生の地学・天文教育において、電波天文関係の実験が取り扱われることは少なく、太陽電波の強度観測が少数行われているに留まっている。しかし 2019 年の EHT(Event horizon telescope) 計画による世界初のブラックホールの撮像により、電波望遠鏡や干渉計(離れた複数のアンテナを用いた高解像度の観測)、および VLBI(超長基線干渉計) 観測の知名度が高まっている。本研究は、中高生を対象とした電波干渉計の作成及び、学校間での VLBI 観測の実施を目指すための教育用簡易電波干渉計プロトコル "j-VLBI" の構想である。本研究は VLBI 観測を目指す中で、ものづくり、プログラミング、観測技術、自然科学などの学びを通し、総合的な STEM 教育としての学びが期待される。すなわち家電製品やホームセンターでの材料を使うことにより、ブラックボックス化されたエレクトロニクスの動作原理を理解し、特注品によらない低価格での測定技術を通して中高生をはじめ誰もが高度な VLBI 観測に参加できることが期待される。フロントエンドとしてのアンテナは、全世帯の 7 割が保有し普及率が高い、家庭用の衛星放送アンテナを使う。また増幅器として衛星放送用ブースター、A/D 変換器としてコンピュータ接続型の TV チューナーやソフトウェア選定中である。スチールラック部品での切削のほぼ必要ない経緯台の作り方を確立させ、大がかりな工作機器や測定器を必要とせずに機材の製作が可能なプロトコルを目指す。局部発信器の安定化、時刻合わせなどの課題に直面しているが、3 月の本学会に向けて試作機の作製と、干渉の予備実験を予定している。

[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](#)

Y09a オンライン講演会の参加者層と事後アンケート分析

生田ちさと（宇宙航空研究開発機構、総合研究大学院大学）、平松正顕（国立天文台、総合研究大学院大学）

新型コロナウイルスの懸念から、2020 年以降、様々なアウトリーチ・イベントがオンラインで開催されるようになっていく。我々も、総合研究大学院大学（総研大）の社会連携事業として、2020 年度と 2021 年度にオンラインで一般向け講演会を開催した。本発表では、一般向けオンライン講演会の例として、プログラムの決定から準備、告知、当日の様子と参加者アンケートの結果、ライブ配信後のオンデマンド映像公開について報告する。特に、参加申込者と実際の参加者へのアンケート結果については詳しく紹介する。

2021 年度開催時の登録者に対するアンケートから、登録者の年齢分布がフラットであることがわかった。具体的には、10 代、20 代と 10 歳毎に区切った年齢区分で、各年代の割合がほぼ同じになっていた。会場で開催する講演会の場合、高齢者と親子が目立つが、それとは異なる年齢分布だった。また、全国から参加希望者が集まるという特徴もあった。若年層や遠方からの参加者も取り込める点はオンライン講演会の特徴と言えそうである。実際の講演会では、質問をテキストでも受け付けたことで、数十件もの質問が寄せられ、一講演あたり十数件の質問に回答した。講演会開催後の参加者アンケートで、「わかりやすさ」を 10 段階評価してもらったところ、いずれの回も 8 以上の高い評価を得ることができた。

一方、運営側としてはキャンセル率の高さが反省点だった。2020 年度開催時のキャンセル率は 2 割から 3 割だったが、2021 年度の講演会ではキャンセル率が 5 割程度あった。キャンセル率を下げることは今後の課題である。

[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](#)

Y10a 東北に飛来した球状浮遊物体騒動で再認識した天文教育・広報普及活動の重要性

服部 誠（東北大学理天文）、伊藤芳春（元宮城県高校教員）、遊佐 徹（大崎生涯学習センター長）、大槻 功（アマチュア天文家）、山崎 剛（東北大学理地物）

2020 年 6 月 17 日に宮城県上空を浮遊する気球が宮城県・福島県の広域で目撃された。様々な地点からの観測情報から同日午前 8 時半頃、気球は同時刻蔵王町上空高度約 22km を浮遊していたと推定される（参 伊藤(天文教育研究会(2020))）。前日には秋田で目撃されている。同タイプの浮遊物が 2021 年 9 月 3 日にも八戸で目撃された。

これらの目撃後、客観的データの分析に基づかず強引な論法で正体について結論づける報道があった。2020 年の目撃後著名気象予報士が奥羽山脈を超えて飛来した可能性は無く高度 2-3km 辺りを浮遊していた気球であるという記事を公開した。当日の風向きのデータを引用して一見科学的考察に基づいているかのように装っている点が罪深い。2021 年の目撃後大手 TV が大学教授のお墨付き情報として 8 月に行われた米国のガールスカウトイベントで参加者が打ち上げたバルーンの一つが地球を周回して飛来したものであり、これで正体が判明したと報道した。写真など具体的データは一切示さず、大学教授のお墨付き＝正体判明と報道する姿勢は大いに問題がある。

これら一連の事象から権威者の発言や大手報道機関の報道を鵜呑みしない科学的批判的精神を保持した市民育成の重要性が再認識される。天文教育・広報普及活動はそのような市民生涯教育の機会を提供する社会的に大きな位置付けを占めている。また市民が高精度のデジタル機器を携帯する時代になり、今回のような突発的事象が観測・記録され謎の解明に大きな役割を果たすことを実証する好例となった。

[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](#)

Y11a 「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), 陶山徹 (長野市立博物館), 大西拓一郎 (国立国語研究所), 渡辺真由子 (茅野市総合博物館), 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、設立 100 年を迎える日本最古の市民天文同好会の一つである諏訪天文同好会を対象に調査研究を進めている。「市民科学」とは、日本では、以前、社会課題の解決における「市民の手による科学」を指していたが、最近では、1990 年代より欧米で発展してきた Citizen Science (シチズンサイエンス) の日本語訳として、市民の参加による学問への寄与を含む広範囲の科学的活動を指すようになってきた。一方、初期の「市民科学」は、eBird や Galaxy Zoo の様に、職業科学者によって企画されたプラットフォームに、市民がデータ収集などのアウトソーシングとして参加する形態であった (Bonney, et al 2009)。しかし、近年の ICT の発展やオープンサイエンス・オープンデータの流れを受けて、従来の「市民科学」の枠を超えた活動も始まろうとしている。このような状況を受けて、本研究では、長野県における天文同好会、花山天文台や東京天文台との交流、1957-1958 年の市民によるオーロラ観測網 (Hayakawa et al. 2021 DOI: 10.1002/GDJ3.140)、県内での天文教育普及活動などの事例を通して、過去の「市民科学」のプロトタイプについて考察を加える。更に、このような長野県の過去の伝統が現在の「長野県は宇宙県」への活動に至る過程を調査する事で、日本の天文文化史について、市民団体の寄与という目線から俯瞰を試みる。これらを通じて、これからの「市民科学」のあり方を考える具体的モデルを提示できると期待している。また、宇宙県の活動を進めていく中で、この新たな市民科学モデルの有効性を実証していく。

[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](#)

Y12a デジタル一眼レフカメラを用いた夜空の明るさ観測システムの長期運用

小野間 史樹, 竹植 希 (星空公園), 松本 佳也 (広島市交通科学館)

人間活動に伴う照明光が上空に放出され夜空を不要に明るく照らしている問題は光害の一部として認識されており、環境省による星空観察をはじめとした定量的な調査が行なわれている。この照明光による夜空のバックグラウンドの時間変化は、照明の利用パターンや大気の大乱率の変化によって大きく変わることが予想され、継続的な調査が必要となっている。このため、我々は市販のデジタル一眼カメラを用いて夜空のバックグラウンドを継続的に観測するシステムを開発し、その評価のために 2017 年 7 月より広島県広島市内において運用を開始した。この観測システムでは、デジタル一眼レフカメラをシングルボードコンピュータを用いて制御し、毎夜 19 時から 5 時の間に 15 分ごとに撮影を行っている。このシステムを 4 年以上にわたって運用してきたことから、その耐久性を評価した。

撮影された標準星のカウント値からセンサの感度劣化を評価し、2 年間で感度が約 50 % 低下していることが明らかになった。また、設置から 2 年経過した 2019 年 6 月末に通信不良によりカメラ本体を交換しており、感度低下も含めカメラの寿命は 2 年程度であることがわかった。なお、カメラ以外は 4 年をこえても正常に動作しており、現在も観測を継続中である。これらの実績から、定期的なカメラを交換する必要があるものの、デジタル一眼カメラとシングルボードコンピュータとの組み合わせが夜空の明るさの継続観測に有効であることが示された。

一方で、標準星の撮像位置から算出されるカメラの光軸が年周期で 30 ピクセル程度変動する現象も確認されている。この変動は標準星の自動検出の妨げとなり得ることから、その原因究明と対策が今後の課題である。

[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](#)

Y13a すばる望遠鏡に設置されたライブカメラによる星空配信：経緯及び教育研究素材としての可能性

田中壺（国立天文台ハワイ観測所）、東山正宜（朝日新聞）、中島将誉（国立天文台ハワイ観測所）

国立天文台ハワイ観測所で4月から開始した「マウナケア星空ライブカメラ（すばる-朝日星空カメラ）」は、マウナケアの素晴らしい星空を日本と特にハワイの地元へ届けるのを目的として、国立天文台と朝日新聞との協力により実現したものである。毎日昼夜を問わず配信を続けており、マウナケアの素晴らしい星空を多くの方にお届けしている。高感度カメラによるリアルタイムストリーミングはマウナケアでは初めてで、世界の第一級観測所を見ても例のない、大変ユニークなものである。設置に当たっては、観測所スタッフのご支援を得ながら、管理の大変厳格なマウナケア山頂に配信設備を設置する許可を得てカメラを敷設していったが、配信に至るまでの道程は決して楽なものではなく、実現には4か月に渡る調整等が必要であった。

マウナケアの夜空の暗さにより、毎日大変多くの数の流星が観察される。多くの熱心な視聴者によって流星記録が残されているが、暗いものを省略しても100個を常に超えているという状況である。流星だけではなく、美しい夜明けの空の移り変わり、ElvesやSpriteといった珍しい放電現象、STARLINK衛星、月食に伴う空の移り変わりなど、見る人を感動させる様な、多くの科学教育・広報素材を提供してくれている。

また、運用半年の間に、流星クラスター現象（2021年5月）、ペルセウス座流星群の全く予想外の突発現象（同8月）、15p/Finlay彗星を起源とする新流星群の出現確認（10月：田中別講演参照）など、いくつかの科学的価値の高い現象も捉える事にも成功し、広報用途としてだけでなく、科学的にも高い有用性を持つことが示された。今後は市民や学生を主体とするサイエンス支援素材としての有効利用を進めたいと考えている。

[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](#)

Y14a 長浜城歴史博物館の国友一貫斎作天体望遠鏡の光学特性調査

萩野正興（国立天文台/日本スペースガード協会）、都築俊宏、石川直美（国立天文台）、富田良雄（京大）、岡本千秋（長浜城歴史博物館）、宮良碧（シグマ光機）、渡部啓介、村山花（ドキュメンタリージャパン）

長浜城歴史博物館の国友一貫斎が天保七年（1836）に製作したグレゴリー式望遠鏡の性能調査を行った。国友一貫斎（1778-1840）は6台ほどの反射式望遠鏡を作成したとされるが、現存するものは4台である。今回の調査に用いた望遠鏡は2号機と呼ばれるものである。

これまでの調査により、この望遠鏡の構成は放物面主鏡、球面副鏡、2枚のレンズを組み合わせた接眼鏡であることが分かっている。2019年度には主鏡の面精度と面粗さの測定を行った調査では、主鏡形状がほぼ完全な放物面であることが確認され、面精度がPV 0.67 λ で面粗さが3.7nm RMSと高い性能であることが明らかになった。

今回（2021年7月）の目的は望遠鏡全体の光学特性の評価である。国立天文台先端技術センターのフィゾー干渉計を用いて、全光学系の透過波面誤差、望遠鏡光学系の透過波面誤差、副鏡の面精度を調査した。その結果全体光学系の透過波面誤差はPVr 1.8 λ 、RMS 0.30 λ となった。これは回折限界指標（RMS 0.070 λ ）には及ばないが、月の表面を観測するのに十分な解像度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](#)

Y15a 近代初期の学術書による地球惑星科学用語の翻訳語の混在

玉澤春史 (京都大学、京都市立芸術大学)

近代自然科学の知識が流入するにつれ翻訳語が新たに作られるが、一度に決まったわけではなく、一部の用語は新たに作られるも使用頻度は下がり、結果として一つの用語にまとまっていった。日本語の場合、訳語の形成はより複雑であり、中国や日本で新造、あるいは転用し、さらには一部がもう一度中国に戻って使用される場合があった。新造したのも日本人、中国人、来訪した外国人によるものと多岐にわたる。外国名の漢字表記が地理の各書物で行われたのと同様のことが自然地理学にも隣接する天文・地球惑星科学現象に関する用語でも起こっている。現代における天文学・地球惑星科学に関する用語は当時の博物、物理、地理といったさまざまな分野の専門書に書かれており、また流入経路も各国で執筆された書物を經由するため、用語の混在が見られる。江戸末期にオランダの書物を抜粋翻訳した『玉石史林』ではオーロラに相当する語として「北光」をあてており、その後の明治初期の教科書などでも使用がしばらく見られる。一方、中国に来訪した外国人の手による『地理全志』や『博物新編』ではオーロラを表す語として「北暎」の語彙があてられ、前掲の書は日本国内でも広く読まれていたが、その後国内で執筆された教科書ではあまり使用されず、用語としては定着せずに至った。記述内容を比較すると光学としての扱い、また地球電磁気学的な扱いが混在した状況であり、近世以前の天変地異として扱われていた諸現象が理解され整理されつつあった近代においても日本ではまれな現象の用語は定訳が決まるまで時間がかかったと推定される。

[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](#)

Y16a 緯度観測所第3代所長・池田徹郎が提案した新しい女性所員の働き方

馬場幸栄 (一橋大学)

かつて日本では女性は結婚したら夫を支えるため仕事を辞めて家事・育児に専念すべきだという考えを持っている人が珍しくなかった。しかし国立天文台前身組織のひとつである緯度観測所の第3代所長・池田徹郎は、女性所員たちに対して結婚・妊娠・出産後も緯度観測所での仕事を続けるべきであると主張していた。京都帝大を卒業し、大正11年に緯度観測所の技師となった池田は、昭和18年に所長事務取扱(のちに第3代所長)に就任する。戦前から池田のもとで計算係として勤務していたある女性所員は、戦後しばらくして結婚を機に退職を申し出るが、仕事を続けるべきだと池田に引き留められ、出産の2か月前まで緯度観測所での勤務を続けている。その後4人の子を育てることになった彼女が緯度観測所に復職することはなかったが、池田からは子どもを育てながら緯度観測所での仕事を続けられればよいと言われていたそうである。具体的には、「姉や」に子守をさせて勤務を続けられればよい、というのが池田の主張だった。「姉や」というのは子守や家事を担う若い女中のことである。当時の緯度観測所では、子どものいる技師は姉やを雇うのが一般的であり、観測所の敷地内にある官舎では姉やたちが技師の子どもたちの世話をしていた。ただし、この池田の提案は女性所員たちにとって現実的なものではなかった。なぜなら女性所員たちの給料は技師たちの給料よりもはるかに少なく、とても姉やを雇えるような経済的余裕がなかったためである。とは言え、女性所員たちは結婚・妊娠・出産後も緯度観測所での勤務を続けるべきだと主張し、それを部分的にでも実現させた池田の所長としての判断は、当時としては先駆的なものだったと評価するべきだろう。当時の女性所員の証言や緯度観測所の記録をもとに、池田の提案した緯度観測所における新しい女性の働き方や当時の女性所員たちの状況を明らかにしてゆく。

[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](#)

Y17b 「長野県は宇宙県」全市町村で天の川が見られる県 ～長野県内の系統的な夜空の明るさ測定～

衣笠健三(国立天文台野辺山), 百瀬雅彦, 宮地美由紀(塩尻星の会), 陶山徹(長野市立博物館), 小林尚人, 青木勉, 森由貴(東大木曾観測所), 大西浩次(長野高専)、ほか長野県星空継続観察ワーキンググループ

2016 年 11 月に開かれた「長野県は宇宙県」ミーティングよりスタートした任意団体「長野県は宇宙県」連絡協議会は、全体ミーティングなどともに、スタンプラリーなどを実施し、天文関連施設や団体、さらには、行政や観光業なども含めた全県レベルの地域連携を推進している。そのワーキンググループの一つとして長野県内の夜空の明るさ測定を系統的に実施するワーキンググループを 2018 年 7 月に立ち上げ(2019 年春季年会発表)、以降、夏と冬の環境省の全国星空観察期間にあわせて、デジカメを用いた測定を継続的に実施してきた。これまで計 7 回の観察を行ったところ(2021 年 12 月時点)、全ての観察期間での計測数が全国のおよそ 1/3 を占め、都道府県としては全国最多を継続している。今回、環境省から公表される測定結果を基に調査した結果、長野県内の全 77 市町村で天の川が見られる地点が存在することを定量的に示すことに成功した。つまり、環境省による「天の川がよく見られる」基準指標となっている $20(\text{mag}/\text{arcsec}^2)$ 以上の数値となっている地点が全ての市町村であることを確認した。(2021 年夏の測定結果は、2021 年 12 月時点では未発表であるが、20 以上をクリアしていなかった小布施町での測定結果の暫定値が 20.4 となっている。)「全市町村で天の川が見られる県」というのは鳥取県に次ぐものであるが、環境省の全国星空観察期間中における、このような定量的な測定によって確認したのは全都道府県で最初となる。

本発表では、これまでの測定結果とともに、今後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](#)

Y18b すばる望遠鏡に設置されたライブカメラによる星空配信: 2. さいだん座新流星群の出現確認

田中壱(国立天文台ハワイ観測所), 佐藤幹哉, 渡部潤一(国立天文台), 東山正宜(朝日新聞), ボランティアの皆さん(雨晴ちゃん back, Kage たん, Cookie, 鈴木弘明, 長畑東隆, 皆川博, 私めめ)

国立天文台ハワイ観測所と朝日新聞のコラボレーションで実現した「マウナケア星空ライブカメラ(すばる-朝日星空カメラ)」は、2021 年 4 月の運用開始以来、マウナケアの素晴らしい星空を毎日世界中の星空ファンに配信している。広報用途のみではなく、世界最高クラスの観測条件と、昨今の非常に高感度なカメラの能力とが相まって、夜空で起こる現象の検出においても高いパトロール能力を持つことが実証されている(田中別講演参照)。

その 1 例が、今回報告する 15p/Finlay 彗星を起源とする新流星群の検出である。これは、CoI の佐藤氏らにより 2014/15 のこの彗星のアウトバーストに伴う「新流星群の誕生」として予言されたものである(Ye et al. ATel # 14947)。放射点がさいだん座という南天の星座のため北天では観測が難しいが、北緯 20 度のハワイでは放射点が夕刻ぎりぎり地平線上にあり、出現すれば観測される可能性があった。そして出現日である 10 月 6 日ハワイ時夕方、ゆっくりと流れる流星が増加しているという視聴者からの報告に対応する形で、新流星群を検出している可能性を検証するプロジェクトとして、ビデオ録画による計数評価を開始した。その結果、極めて明瞭な流星群の増加を定量的に捉える事に成功した。前後の観測日における散在流星数との相对比较では、当日の流星増加は 8σ レベルに達し、暗い流星が顕著に増加している事を明瞭に示す事ができた。興味深い事に、この時間の日本での電波観測では我々の検出した暗い流星の増加に対応するシグナルは検出できておらず、相補的な観測データとしても極めて有用なものとなった。本公演では市民サイエンス素材としての本カメラの意義も議論する。

[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](#)

【2021 年秋季年会講演取消一覧】

- Q31a 銀河系中心領域における磁気活動の数値解析
柿内健佑（名古屋大学）
- S14b すばる HSC サーベイで探る遠方電波銀河の性質
山本優太（愛媛大学）
- X54a 機械学習を用いた銀河の衝突と合体が活動銀河核に及ぼす影響の評価
小林宇海（総合研究大学院大学）

講演者索引
(50音順)

【A】 – 【Z】

Tom Johannes Lucinde Cyrillus Bakx (Bakx Tom).....	X12a
Suchetha Cooray (Cooray Suchetha).....	V111b
Suchetha Cooray (Cooray Suchetha).....	X38a
Alvaro Gonzalez (Gonzalez Alvaro).....	V134a
Kangrou Guo (Guo Kangrou).....	P231a
Tetsuo Hasegawa (Hasegawa Tetsuo).....	P109a
Shuo Huang (Huang Shuo).....	X33a
Yeongmin Kang (Kang Yeongmin).....	M33a
Hiroki Kutsuma (Kutsuma Hiroki).....	V128a
Nicolas Ledos (Ledos Nicolas).....	X39a
Haixia Ma (Ma Haixia).....	U04a
Kana Morokuma (Morokuma Kana).....	R03a
Nagayoshi Ohashi (Ohashi Nagayoshi).....	P206a
Yi Ren (Ren Yi).....	X05a
Wenlei Shan (Shan Wenlei).....	V135a
Wen E. SHI (SHI Wen).....	X36a
Patryk Sofia Lykawka (Sofia Lykawka Patryk).....	P312b
Huan-Yu Teng (Teng Huan-Yu).....	P315a
Masato Tsuboi (Tsuboi Masato).....	R12a
Akiyoshi Tsujita (Tsujita Akiyoshi).....	X11a
Hideki Umehata (Umehata Hideki).....	X31a
Ievgen Vovk (Vovk Ievgen).....	S07a
Sili Wang (Wang Sili).....	W04a
Yi Xu (Xu Yi).....	X55a
Christopher Zapart (ZAPART CHRISTOPHER).....	V101a
Shaoshan Zeng (Zeng Shaoshan).....	P148a
Ziwei E. Zhang (Zhang Ziwei).....	P153a
ZHOU, Xinyu (Zhou Xinyu).....	M16a

【あ】

逢澤正嵩 (あいざわ まさたか).....	N02a
青木美和 (あおき みわ).....	V133a
青木和光 (あおき わこう).....	N10a
縣秀彦 (あがた ひでひこ).....	Y01a
赤堀卓也 (あかほり たくや).....	V115a
秋葉健志 (あきば たけし).....	X03a
浅川直道 (あさかわ なおみち).....	W45a

朝倉敬介 (あさくら けいすけ).....	W28b
朝野哲郎 (あさの てつろう).....	R14a
安部大晟 (あべ だいせい).....	P120a
天野雄輝 (あまの ゆうき).....	Q36a
荒川創太 (あらかわ そうた).....	P220a
荒木田英禎 (あらかた ひでよし).....	W46a
有賀麻貴 (あるが まき).....	Q27a
安福千貴 (あんぶく かずき).....	R18a

【い】

飯島陽久 (いいじま はるひさ).....	M15a
飯野孝浩 (いいの たかひろ).....	P304a
伊王野大介 (いおの だいすけ).....	V138a
五十嵐太一 (いがらし たいち).....	S02a
幾田佳 (いくた かい).....	M40a
生田ちさと (いくた ちさと).....	Y09a
池田圭吾 (いけだ けいご).....	P318a
池田遼太 (いけだ りょうた).....	X43a
生駒大洋 (いこま まさひろ).....	P325a
石垣美歩 (いしがき みほ).....	V224b
石神瞬 (いしがみ しゅん).....	M20a
石川久美 (いしかわ くみ).....	V310b
石川裕之 (いしかわ ひろゆき).....	N15a
石川遼子 (いしかわ りょうこ).....	M18a
石川遼太郎 (いしかわ りょうたろう).....	M12a
石崎欣尚 (いしさき よしたか).....	V323a
泉拓磨 (いずみ たくま).....	S18a
磯部優樹 (いそべ ゆうき).....	X50a
市橋正裕 (いちはし まさひろ).....	Q33a
伊藤慧 (いとう けい).....	X19a
伊藤哲司 (いとう さとし).....	P328a
伊藤潤平 (いとう じゅんぺい).....	W25a
伊東拓実 (いとう たくみ).....	U10a
伊藤裕貴 (いとう ひろたか).....	W35a
伊藤洋介 (いとう ようすけ).....	V221a
稲熊穂乃里 (いなぐま ほのり).....	P313b
稲葉昂希 (いなば こうき).....	S14a
井上開輝 (いのうえ かいき).....	X53a
井上茂樹 (いのうえ しげき).....	X48a

井上真(いのうえ しん).....	X35a
井上慎一郎(いのうえ しんいちろう).....	P137a
井上進(いのうえ すずむ).....	S08a
井上一(いのうえ はじめ).....	S24a
井上一(いのうえ はじめ).....	W13b
井上諒大(いのうえ りょうた).....	V309b
猪口睦子(いのぐち むつこ).....	P116a
今澤遼(いまざわ りょう).....	S27a
今田晋亮(いまだ しんすけ).....	M01a
今西昌俊(いまにし まさとし).....	R07a
今村千博(いまむら ちひろ).....	X08a
今村竜太(いまむら りゅうた).....	V324a
伊元聖也(いもと せいや).....	U11a
岩井一正(いわい かずまさ).....	V121a
岩崎一成(いわさき かずなり).....	P107a
岩崎一成(いわさき かずなり).....	P212b
岩崎啓(いわさき ひろむ).....	V312a
岩田和也(いわた かずや).....	N30a

【う】

植田高啓(うえだ たかひろ).....	P208a
植松亮祐(うえまつ りょうすけ).....	S15a
氏原秀樹(うじはら ひでき).....	V105a
臼田知史(うすだ とものり).....	V201a
内田和海(うちだ なごみ).....	W31a
内山久和(うちやま ひさかず).....	X44a
内海碧人(うつみ あおと).....	W11b
宇野孔起(うの こうき).....	N25a
鵜山太智(うやま たいち).....	P210a
海野真輝(うんの まさき).....	P205a

【え】

榎谷玲依(えのきや れい).....	R13a
榎本晴日(えのもと はるひ).....	P203a
榎本晴日(えのもと はるひ).....	Y07b
江良真結子(えら まゆこ).....	V220a

【お】

大朝由美子(おおあさ ゆみこ).....	P135b
大朝由美子(おおあさ ゆみこ).....	P324c
大金原(おおがね はじめ).....	V209a
大木平(おおぎ たいら).....	X16a
大栗鷹也(おおぐり たかや).....	X14a
大小田結貴(おおこだ ゆき).....	P150a
大澤亮(おおさわ りょう).....	V233a
大島由佳(おおしま ゆか).....	Y02a
大城勇憲(おおしろ ゆうけん).....	Q35a
大田尚享(おおた なおゆき).....	V303a
大滝恒輝(おおたき こうき).....	X59a
大津天斗(おおつ たかと).....	M41a
大塚雅昭(おおつか まさあき).....	N17a
大辻賢一(おおつじ けんいち).....	V236a
大西浩次(おおにし こうじ).....	Y11a
大西崇介(おおにし しゅうすけ).....	S21a
大野和正(おおの かずまさ).....	P227a
大場崇義(おおば たかよし).....	M13a
大平豊(おおひら ゆたか).....	Q20a
大前陸人(おおまえ りくと).....	R17a
大宮正士(おおみや まさし).....	P317a
大宮悠希(おおみや ゆうき).....	T04a
大村匠(おおむら たくみ).....	S11b
大屋瑤子(おおや ようこ).....	P151a
大藪進喜(おおやぶ しんき).....	P115a
尾形絵梨花(おがた えりか).....	Q18a
尾形舜(おがた しゅん).....	V223a
小上樹(おがみ いつき).....	R15a
小川翔司(おがわ しょうじ).....	S19a
小川拓未(おがわ たくみ).....	W14c
小川真央(おがわ まお).....	N28a
萩原大樹(おぎはら たいき).....	S03a
奥裕理(おく ゆうり).....	X60a
奥住聡(おくずみ さとし).....	P201a
小高裕和(おだか ひろかず).....	V305a
小野智弘(おの ともひろ).....	P213b
小野宜昭(おの よしあき).....	X09a
小野里宏樹(おのざと ひろき).....	N08a

小野寺仁人(おのでら まさと).....V216a
 小野間史樹(おのま ふみき).....Y12a
 小山貴裕(おやま たかひろ).....Q15a
 小山友明(おやま ともあき).....V113c

【か】

鍵谷将人(かぎたに まさと).....V211b
 蔭谷泰希(かげたに たいき).....P322a
 笠木結(かさぎ ゆい).....P223a
 柏野大地(かしの だいち).....X45a
 鹿島伸悟(かしま しんご).....V231a
 春日知明(かすが ともあき).....Q31a
 数野優大(かずの ゆうだい).....X57a
 片岡章雅(かたおか あきまさ).....P222a
 加藤陽(かとう よう).....V304a
 金井昂大(かない たかひろ).....V225b
 金川和弘(かながわ かずひろ).....P233b
 金子岳史(かねこ たかふみ).....M32a
 金田優香(かねだ ゆうか).....X58a
 金丸善朗(かねまる よしあき).....Q25a
 鹿野良平(かの りょうへい).....V230a
 上島翔真(かみじま しょうま).....Q22a
 亀田真吾(かめだ しんご).....P326a
 亀谷收(かめや おさむ).....V116a
 鴨川航(かもがわ わたる).....V314a
 榎木大修(かやのき たいしゅう).....V306a
 鷹野重之(かりの しげゆき).....W29a
 河合宏紀(かわい ひろき).....U05b
 川上碧(かわかみ あおい).....P311b
 川口恭平(かわぐち きょうへい).....W42a
 川崎良寛(かわさき よしひろ).....P121a
 川島朋尚(かわしま ともひさ).....S09a
 川島朋尚(かわしま ともひさ).....S10b
 河村天陽(かわむら てんよう).....W02a
 川室太希(かわむろ たいき).....S17a
 河本慧理奈(かわもと えりな).....X23b

【き】

木田祐希(きだ ゆうき).....M29a
 北古賀智紀(きたこが さとき).....M38a
 北島歓大(きたじま かんた).....Q03a
 北島慎之典(きたじま しんのすけ).....M37a
 衣笠健三(きぬがさ けんぞう).....Y17b
 紀基樹(きの もとき).....S25a
 木下真一(きのした しんいち).....P119a
 木原孝輔(きはら こうすけ).....M34a
 木村和貴(きむら かずたか).....P111b
 木村成生(きむら しげお).....W08a
 木村正樹(きむら まさき).....Y08b
 喜友名正樹(きゆな まさき).....X20b
 桐原崇亘(きりはら たかのぶ).....P101a

【く】

日下部晴香(くさかべ はるか).....X30a
 櫛引洗佑(くしびき こうすけ).....V203a
 久世陸(くぜ りく).....S06a
 國友正信(くにとも まさのぶ).....M07a
 久保雅仁(くぼ まさひと).....M02a
 久保真理子(くぼ まりこ).....X32a
 久保田あや(くぼた あや).....W05a
 黒崎健二(くろさき けんじ).....P308a
 桑田明日香(くわた あすか).....W34a

【こ】

小出真路(こいで しんじ).....W10a
 黄天鋭(こう たかとし).....N22a
 黄天鋭(こう たかとし).....W26b
 郷田直輝(ごうだ なおてる).....V229a
 高妻真次郎(こうづま しんじろう).....N12b
 河野樹人(こうの みきと).....Q10b
 甲原潤也(こうはら じゅんや).....V217a
 小久保英一郎(こくぼ えいいちろう).....P306a
 小久保充(こくぼ みつる).....N13c
 小島康史(こじま やすふみ).....W16a

小関知宏(こせき ともひろ).....	V125a
小平桂一(こだいら けいいち).....	R16c
小谷隆行(こたに たかゆき).....	P316a
古谷侑士(こたに ゆうじ).....	M39a
後藤瞭太(ごとう りょうた).....	W38a
小西亜侑(こにし あゆ).....	R05a
小橋亮介(こばし りょうすけ).....	Q23a
小林秀行(こばやし ひでゆき).....	V114a
小林浩(こばやし ひろし).....	P234b
小林将人(こばやし まさと).....	P106a
小林雄大(こばやし ゆうだい).....	P211b
小堀しづ(こぼり しづ).....	U15a
小松勇(こまつ ゆう).....	P314c
小湊菜央(こみなと なお).....	Q28a
児山真夕(こやま まゆ).....	M14a
権代大河(ごんだい たいが).....	R09b
近藤芳穂(こんどう かほ).....	M30a

【さ】

崔仁士(さい じんし).....	P131a
雑賀恵理(さいが えり).....	P154a
西合一矢(さいごう かずや).....	P132a
齋藤隆之(さいとう たかゆき).....	V313a
斉藤俊貴(さいとう としき).....	R11a
阪本成一(さかもと せいいち).....	Q02a
坂本茉莉江(さかもと まりえ).....	P133a
作田皓基(さくた こうき).....	V319a
桜井隆(さくらい たかし).....	M08a
酒見はる香(さけみ はるか).....	Q16a
佐々木俊輔(ささき しゅんすけ).....	N14c
佐々木寅旭(ささき のぶあき).....	Q29a
笹田真人(ささだ まひと).....	S26a
定成健児エリック(さだなり けんじえりっく).....	P103a
佐藤亜紗子(さとう あさこ).....	P145a
佐藤浩介(さとう こうすけ).....	V329a
佐藤文衛(さとう ぶんえい).....	V206a
佐野栄俊(さの ひでとし).....	Q26a
澤田涼(さわだ りょう).....	N33a

【し】

塩田大幸(しおた だいこう).....	M25b
志達めぐみ(しだつ めぐみ).....	W03a
柴崎清登(しばさき きよと).....	M48a
柴田健吾(しばた けんご).....	M31a
柴田晋平(しばた しんぺい).....	W27b
柴田雄(しばた たかし).....	P232a
柴田実桜(しばた みお).....	T05a
嶋川里澄(しまかわ りずむ).....	X52a
島尻芳人(しまじり よしと).....	Q04a
嶋田遼太(しまだ りょうた).....	M22b
清水敏文(しみず としふみ).....	V226a
下西隆(しもにし たかし).....	P147a
庄田宗人(しょうだ むねひと).....	M46a
白戸春日(しらと はるひ).....	M19a

【す】

末松芳法(すえまつ よしのり).....	M05a
菅原悠馬(すがはら ゆうま).....	X17a
菅原充祥(すがわら みさき).....	T01a
杉村和幸(すぎむら かずゆき).....	X01a
杉森加奈子(すぎもり かなこ).....	X18a
鈴木昭宏(すずき あきひろ).....	W36a
鈴木仁研(すずき とよあき).....	V235a
鈴木寛大(すずき ひろまさ).....	Q30a
鈴木悠太(すずき ゆうた).....	X41a

【せ】

盛顯捷(せい けんしょう).....	V307a
関亮輔(せき りょうすけ).....	W24a
関根章太(せきね しょうた).....	X15a
銭谷誠司(ぜにたに せいじ).....	M27c

【た】

大工原一貴(だいくはら かずき).....	X42a
高石大輔(たかいし だいすけ).....	P143a

高倉隼人(たかくら はやと).....V127a
 高棹真介(たかさお しんすけ).....P138a
 高橋一郎(たかはし いちろう).....V219a
 高橋弘充(たかはし ひろみつ).....V327a
 高橋真聡(たかはし まさあき).....S04a
 高橋労太(たかはし ろうた).....S01a
 竹葉理史(たけば のりみ).....Q08a
 田崎亮(たざき りょう).....P219a
 田嶋裕太(たしま ゆうた).....R19b
 多田将太郎(ただ しょうたろう).....V208a
 但木謙一(ただき けんいち).....X10a
 立原研悟(たちはら けんご).....Q12a
 立松健一(たてまつ けんいち).....P125a
 田中壺(たなか いち).....Y13a
 田中壺(たなか いち).....Y18b
 田中圭(たなか けい).....P146a
 田中賢(たなか さとし).....U06a
 田中周太(たなか しゅうた).....Q24a
 田中駿次(たなか しゅんじ).....X27b
 田中佑希(たなか ゆうき).....P230a
 谷口暁星(たにぐち あきお).....V119a
 谷口琴美(たにぐち ことみ).....P149a
 谷口大輔(たにぐち だいすけ).....N16a
 玉川徹(たまがわ とおる).....V320a
 玉澤春史(たまざわ はるふみ).....Y15a
 田村直之(たむら なおゆき).....V214a
 田村陽一(たむら よういち).....X04a
 反保雄介(たんぼ ゆうすけ).....W23a

【ち】

千秋元(ちあき げん).....P105a
 知念翼(ちねん つばさ).....V102a
 鄭昇明(ちよん すんみよん).....P104a

【つ】

塚越崇(つかごし たかし).....P225a
 塚本裕介(つかもと ゆうすけ).....P215a
 津久井崇史(つくい たかふみ).....X29a

柘植紀節(つげ きせつ).....Q09a
 辻直美(つじ なおみ).....Q21a
 土岡智也(つちおか ともや).....Q32a
 土屋史紀(つちや ふみのり).....V228a
 津々木里咲(つつき りさ).....V218a
 津名大地(つな だいち).....W07a
 恒任優(つねとう ゆう).....S28a
 坪野公夫(つぼの きみお).....W32a
 鶴見一輝(つるみ かずき).....W06a

【て】

出町史夏(でまち ふみか).....R04a
 寺澤凌(てらさわ りょう).....U08a
 寺田幸功(てらだ ゆきかつ).....V328a

【と】

土井聖明(どい きよあき).....P221a
 土井靖生(どい やすお).....P108a
 当真賢二(とうま けんじ).....S05a
 當村一朗(とうむら いちろう).....M26c
 徳田一起(とくだ かずき).....P113a
 敏蔭星治(としかげ せいじ).....N24a
 利川潤(としかわ じゅん).....X40a
 鳥羽儀樹(とば よしき).....S12a
 土橋一仁(どばし かずひと).....Y03a
 土肥明(どひ あきら).....W19a
 富田沙羅(とみた さら).....W33a
 富田飛翔(とみた つばさ).....Y04a
 富永遼佑(とみなが りょうすけ).....P216a
 鳥海森(とりうみ しん).....N07a

【な】

永井誠(ながい まこと).....V110b
 中川亜紀治(なかがわ あきはる).....N03a
 中小路佑介(なかこうじ ゆうすけ).....X22b
 仲里佑利奈(なかざと ゆりな).....P110b
 中澤風音(なかざわ かのん).....P229a

中澤淳一郎(なかざわ じゅんいちろう).....	P303a
長澤俊作(ながさわ しゅんさく).....	V318a
中島王彦(なかじま きみひこ).....	X49a
中島光一郎(なかしま こういちろう).....	U09a
中島拓(なかじま たく).....	V117a
永田和也(ながた かずや).....	V212b
永田和也(ながた かずや).....	V213b
中西亮介(なかにし りょうすけ).....	P319a
中野覚矢(なかの さとや).....	V123a
中間洋子(なかま ようこ).....	W20a
中村航(なかむら こう).....	N26a
中村友子(なかむら ともこ).....	V122a
中村文隆(なかむら ふみたか).....	V108a
中森健之(なかもり たけし).....	V210a
並河俊弥(なみかわ としや).....	U01a
浪崎桂一(なみざき けいいち).....	M42a
行方宏介(なめかた こうすけ).....	M43a
成田憲保(なりた のりお).....	P320a
成影典之(なるかげ のりゆき).....	V317a

【に】

西岡文翔(にしおか たける).....	P128a
西垣萌香(にしがき もか).....	X47a
西川薫(にしかわ かおる).....	Q06a
西澤淳(にしざわ あつし).....	U02a
西塚直人(にしづか なおと).....	M28a
西道啓博(にしみち たかひろ).....	U07a
西村信哉(にしむら のぶや).....	N31a
西本将平(にしもと しょうへい).....	M35a
西本晋平(にしもと しんぺい).....	Q07a
西山正吾(にしやま しょうご).....	N05a
丹羽綾子(にわ あやこ).....	V124a

【ね】

根來均(ねごろ ひとし).....	W22a
-------------------	------

【の】

野際洸希(のぎわ ひろき).....	W39a
野澤恵(のざわ さとし).....	M11a
野地涼平(のじ りょうへい).....	V132a
野津翔太(のつ しょうた).....	P228a
野津湧太(のつ ゆうた).....	M44a
信川久実子(のぶかわ くみこ).....	W18a

【は】

袴田知宏(はかまた ともひろ).....	N21a
萩野浩一(はぎの こういち).....	V322a
萩野正興(はぎの まさおき).....	Y14a
萩本将都(はぎもと まさと).....	V120a
萩原喜昭(はぎわら よしあき).....	S20a
橋ヶ谷武志(はしがや たけし).....	V205a
橋口葵(はしぐち あおい).....	T02a
橋本修(はしもと おさむ).....	Y05a
橋本哲也(はしもと てつや).....	U12a
橋本裕希(はしもと ゆうき).....	M17a
長谷川幸彦(はせがわ ゆきひこ).....	P224c
長谷川豊(はせがわ ゆたか).....	V106a
秦和弘(はだ かずひろ).....	V103a
廿日出文洋(はつかで ぶんよう).....	N34a
服部誠(はっとり まこと).....	Y10a
花岡庸一郎(はなおか よういちろう).....	M23b
馬場俊介(ばば しゅんすけ).....	R08a
馬場幸栄(ばば ゆきえ).....	Y16a
早川貴敬(はやかわ たかひろ).....	Q13a
早川尚志(はやかわ ひさし).....	M09a
林克洋(はやし かつひろ).....	V326a
林航大(はやし こうた).....	W43a
林航平(はやし こうへい).....	X56a
林昇輝(はやし しょうき).....	V302a
林隆之(はやし たかゆき).....	S16a
林多佳由(はやし たかゆき).....	V321a
原拓輝(はら ひろき).....	V222a
原弘久(はら ひろひさ).....	V227a
原田直人(はらだ なおと).....	P144a

播金優一（はりかね ゆういち）.....X46a
 繁澤政樹（はんざわ まさき）.....P301a

船渡陽子（ふなと ようこ）.....P305a
 古澤順子（ふるさわ じゅんこ）.....X21b

【ひ】

東翔（ひがし しょう）.....P102a
 聖川昂太郎（ひじかわ こうたろう）.....W44a
 樋本一晴（ひもと かずはる）.....X34a
 火物瑠偉（ひもの るい）.....Q34a
 平井遼介（ひらい りょうすけ）.....N23a
 平島敬也（ひらしま けいや）.....X61a
 平野照幸（ひらの てるゆき）.....P327a
 平野佑弥（ひらの ゆうや）.....P323b
 平松大地（ひらまつ だいち）.....N36a
 廣瀬重信（ひろせ しげのぶ）.....P214c
 廣瀬開陽（ひろせ はるあき）.....V129a
 廣田朋也（ひろた ともや）.....P142a

【ふ】

深谷紗希子（ふかや さきこ）.....P130a
 深谷直史（ふかや なおふみ）.....P129a
 吹原瑠（ふきはら はるか）.....P112b
 福井暁彦（ふくい あきひこ）.....P321a
 福井康雄（ふくい やすお）.....Q14a
 福一誠（ふくいち まこと）.....T03a
 福島啓太（ふくしま けいた）.....X02a
 福島肇（ふくしま はじめ）.....P118a
 福原優弥（ふくはら ゆうや）.....P202a
 福満翔（ふくみつ かける）.....M04a
 藤井通子（ふじい みちこ）.....P134a
 藤井悠里（ふじい ゆり）.....P204a
 藤澤幸太郎（ふじさわ こうたろう）.....W15a
 藤田真司（ふじた しんじ）.....Q05a
 藤田裕（ふじた ゆたか）.....S23a
 藤谷愛美（ふじたに えみ）.....X24b
 藤林翔（ふじばやし しょう）.....W40a
 藤本征史（ふじもと せいじ）.....X06a
 藤原ケイ（ふじわら けい）.....U14a
 札本佳伸（ふだもと よしのぶ）.....X07a

【ほ】

細川稜平（ほそかわ りょうへい）.....W30a
 細野七月（ほその なつき）.....P307a
 堀田彩水（ほった あやみ）.....X26b
 堀田英之（ほった ひでゆき）.....M06a
 堀裕一（ほり ゆういち）.....V118a
 堀江秀（ほりえ しゅう）.....R06a
 本多優一（ほんだ ゆういち）.....Q01a

【ま】

前岡光明（まえおか みつあき）.....X28c
 前田郁弥（まえだ ふみや）.....R02a
 前田龍之介（まえだ りゅうのすけ）.....P124c
 前原裕之（まえはら ひろゆき）.....N01a
 牧島一夫（まきしま かずお）.....W17a
 牧田佳大（まきた よしひろ）.....W21a
 増井翔（ますい しょう）.....V136a
 増倉明寛（ますくら あきひろ）.....V137a
 増田賢人（ますだ けん）.....N06a
 松井瀬奈（まつい せな）.....X25b
 松浦周二（まつうら しゅうじ）.....V234a
 松田フレドリック（まつだ ふれどりっく）.....V126a
 松林和也（まつばやし かずや）.....V204a
 松本明訓（まつもと あきのり）.....U13a
 松本岳人（まつもと がくと）.....V325a
 松本仁（まつもと じん）.....N27a
 松本達矢（まつもと たつや）.....N19a

【み】

水木敏幸（みずき としゆき）.....P329a
 水越翔一郎（みずこし しょういちろう）.....S22a
 三谷啓人（みたに ひろと）.....P309a
 三石郁之（みついし いくゆき）.....V308a
 南大晴（みなみ たいせい）.....P114a

峯田大靖(みねた たいせい).....V315a
 宮澤啓(みやざわ ひろむ).....V131a
 宮田隆志(みやた たかし).....V202a
 宮脇亮介(みやわき りょうすけ).....P122b
 宮脇亮介(みやわき りょうすけ).....P141a

【む】

武藤恭之(むとう たかゆき).....P207a
 村瀬洸太郎(むらせ こうたろう).....N04a
 村瀬建(むらせ たける).....Q11b
 村山洋佑(むらやま ようすけ).....V130a
 室伏海南江(むろふし かなえ).....X13a

【も】

望月優子(もちづき ゆうこ).....M10a
 元木業人(もとぎ かずひと).....Q17a
 森寛治(もり かんじ).....N29a
 森浩二(もり こうじ).....V330a
 森昇志(もり しょうじ).....P140a
 森林太郎(もり りんたろう).....X37a
 森井嘉穂(もりい かほ).....P117a
 森井健翔(もりい けんしょう).....P139a
 森田諭(もりた さとし).....M03a
 森谷友由希(もりたに ゆうき).....V215a
 守屋堯(もりや たかし).....N32a
 森脇可奈(もりわき かな).....X51a

【や】

八木駿介(やぎ しゅんすけ).....W01a
 八木恵(やぎ めぐみ).....P136b
 矢島義之(やじま よしゆき).....R10b
 安井千香子(やすい ちかこ).....P127a
 保田敦司(やすだ あつし).....R01a
 保田悠紀(やすだ ゆうき).....N09a
 柳澤馨(やなぎさわ かおる).....U03a
 柳澤顕史(やなぎさわ けんし).....Y06a
 矢野太平(やの たいへい).....V232a

矢野雄大(やの ゆうた).....P123b
 山岡和貴(やまおか かずたか).....V301a
 山口正行(やまぐち まさゆき).....P209a
 山崎康正(やまさき やすまさ).....V107a
 山崎康正(やまさき やすまさ).....V109b
 山敷庸亮(やましき ようすけ).....P310a
 山下真依(やました まい).....N11b
 山田智史(やまだ さとし).....S13a
 山田志真子(やまだ しまこ).....N18a
 山田麟(やまだ りん).....P126a
 大和義英(やまと よしひで).....P152a
 山中雅之(やまなか まさゆき).....N35a
 山村一誠(やまむら いっせい).....N20a
 山室良太(やまむろ りょうた).....P217a
 山本卓(やまもと たかし).....X54a
 山本常夏(やまもと とこなつ).....V311a
 山本百華(やまもと ももか).....M21a
 山本凌也(やまもと りょうや).....W09a

【よ】

横山将汰(よこやま しょうた).....Q19a
 芳岡尚悟(よしおか しょうご).....W12b
 吉田有宏(よしだ ともひろ).....P226a
 吉田南(よしだ みなみ).....M45a
 吉田雄城(よしだ ゆうき).....P218a
 吉野彰(よしの あきら).....V139b
 米倉覚則(よねくら よしのり).....V112c
 米田謙太(よねた けんた).....V207a
 米田浩基(よねた ひろき).....V316a

【ら】

良知颯太(らち そうた).....V104a

【り】

李晋(り しん).....W37a
 林浩翔(りん はおしゃん).....W41a

【わ】

渡邊恭子(わたなべ きょうこ).....	M36a
渡邊堯(わたなべ たかし).....	P302a
渡邊鉄哉(わたなべ てつや).....	M47a
渡邊悠太郎(わたなべ ゆうたろう).....	M24b

2022年2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)	
	甘日出 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

深沢泰司 (広島大学)