

2021年 春季年会

講演予稿集

電子版

於 東京工業大学 (オンライン開催)

2021年3月16日(火) ~ 3月19日(金)

日本天文学会

日本天文学会 2021年 春季年会プログラム

期 日 2021年3月16日(火)～3月19日(金)

場 所 オンライン開催

電 話 090 - 4387 - 6893 (学会事務局) <使用期間 2021年3月15日(月)～3月19日(金)>

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15日 (月)						記者会見				理事会		
3月16日 (火)	A		Z3. 計算宇宙惑星	昼 休 み 11:40-13:00		Z3. 計算宇宙惑星	ポスター		特別 セッション (X線分光撮像衛星)			
	B		W. コンパクト天体			W. コンパクト天体						
	C		S. 活動銀河核			S. 活動銀河核						
	D		V2. 観測機器(光赤・重)			V2. 観測機器(光赤・重)						
	E		V3. 観測機器(X線・γ線)			V3. 観測機器(X線・γ線)						
	F		P2. 原始惑星系円盤			P2. 原始惑星系円盤						
	G		Q. 星間現象			Q. 星間現象						
	H											
3月17日 (水)	A		Z3. 計算宇宙惑星	昼 休 み 11:40-13:00		Z1. 天文データ科学	特別 セッション (日本学術会議と 日本天文学会)	天文教育 フォーラム				
	B		W. コンパクト天体			W. コンパクト天体						
	C		R. 銀河			R. 銀河						
	D		V2. 観測機器(光赤・重)			V2. 観測機器(光赤・重)						
	E		V3. 観測機器(X線・γ線)			V3. 観測機器(X線・γ線)						
	F		P2. 原始惑/P1.星形成			P1. 星形成						
	G		Q. 星間現象			Q. 星間現象						
	H		Y. 教育・広報・他			Y. 教育・広報・他						
3月18日 (木)	A		Z1. 天文データ科学	昼 休 み 11:40-13:00		Z1. 天文データ科学	ポスター	会員 全体集会				
	B		W. コンパクト天体			N. 恒星進化						
	C		X. 銀河形成・進化			X. 銀河形成・進化						
	D		V1. 観測機器(電波)			V1. 観測機器(電波)						
	E		T. 銀河団			U. 宇宙論						
	F		P1. 星形成			P1. 星形成						
	G		M. 太陽			M. 太陽						
	H					P3. 惑星系						
3月19日 (金)	A		Z2. ngVLAの天文学	昼 休 み 11:40-13:00 (代議員総会)		Z2. ngVLAの天文学	ポスター	受賞記念講演				
	B		N. 恒星進化			N. 恒星進化						
	C		X. 銀河形成・進化			X. 銀河形成・進化						
	D		V1. 観測機器(電波)			V1. 観測機器(電波)						
	E											
	F											
	G		M. 太陽			M. 太陽						
	H		P3. 惑星系			P3. 惑星系						
3月20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 15:10～16:10

◎講演数

講演数：合計 575

(口頭講演 (a)：496、ポスター講演 (b)：79)

◎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います。

○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 / 非会員11,000円)	10,000円(1講演につき)
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：2021年1月末～3月2日 (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

1. 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。

2. PC及び通信環境はご自身でご用意をお願いします。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。
3. 講演者は、セッション開始時刻の10分前までにご入室ください。担当者が説明をいたします。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)

4. ポスターセッションはSlackを利用します。コアタイムの間、極力リアルタイムで返信をしてください。
5. 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。
6. 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15日(月)	13:00～15:00	オンライン	記者会見
3月16日(火)	16:30～18:00	オンライン	特別セッション X線分光撮像衛星「XRISM」
3月17日(水)	15:30～17:00	オンライン	特別セッション 日本学術会議と日本天文学会「よりよい連携のために」
	17:00～18:30	オンライン	天文教育フォーラム
3月18日(木)	16:30～18:30	オンライン	会員全体集会
3月19日(金)	16:30～18:00	オンライン	受賞記念講演

◎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15日(月)	16:00～18:00	オンライン	理事会	D
3月19日(金)	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

◎特別セッション：「X線分光撮像衛星—XRISM—」

日時：2021年3月16日（火）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：ASTRO-H（ひとみ）衛星により拓かれた超精密X線分光観測を早急に回復するため、JAXAはNASAとESAの協力のもと、2022年度にXRISM衛星を打ち上げる予定です。衛星には、100 km/sの速度を分解できるマイクロカロリメータ検出器 Resolve と 38'の広視野を持つ CCD 検出器 Xtend が搭載されます。

本特別セッションでは、まずはプロジェクトの進行状況について天文学会の皆様に報告します。次に搭載装置の性能とともに、XRISM衛星によって初めて可能となるサイエンスケースについて、ブラックホールや活動銀河核、ガンマ線バーストなどの突発天体、超新星残骸、銀河団などを例に紹介します。最後に Performance Verification(PV)観測からデータ公開までのスケジュールと、PV期間中のゲストサイエンティスト制度、その後の公募観測の詳細を説明します。

ゲストサイエンティストは本ミッションで初めて導入される制度であり、PV期間に観測される天体のうち原則として1天体へのデータアクセス権があります。他波長の観測者や理論研究者など様々な視点を持った皆様の参加を期待しています。

プログラム：

- | | |
|----------------------------------|-----------------------|
| 1. プロジェクトの進行状況 | 田代 信 (ISAS/JAXA・埼玉大学) |
| 2. XRISMによるブラックホール、活動銀河核、突発天体の観測 | 上田佳宏 (京都大学) |
| 3. XRISMによる超新星残骸、銀河団の観測 | 藤田 裕 (東京都立大学) |
| 4. ゲストサイエンティスト、公募観測など | 山口弘悦 (ISAS/JAXA) |

世話人：田代 信 (ISAS/JAXA・埼玉大学)、松下恭子 (東京理科大学)、山口弘悦 (ISAS/JAXA)

◎特別セッション：「日本学術会議と日本天文学会—よりよい連携のために—」

日時：2021年3月17日（水）15：30～17：00

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：現在、日本学術会議は会員の任命拒否問題を発端に、その存在が様々な角度からクローズアップされている。本件に関しては、日本天文学会でもメーリングリスト上で様々な意見交換がなされているところである。

日本学術会議は発信が不足しているとの一般的指摘もあり、この点については日本学術会議においても認識され、改善に向けた取組が計画されている。日本天文学会と日本学術会議との連携は、これまで代議員総会などで関連する日本学術会議分科会の活動報告が行われてきたものの、その連携内容は学会員に充分には理解されていない状況にある。

そこで、日本学術会議の中で日本天文学会と深い関係を持つ、物理学委員会天文学・宇宙物理分科会およびIAU分科会の役割や活動について紹介し、質疑応答・意見交換する機会を設けることで、日本天文学会と日本学術会議の連携について学会員により深く理解いただくと共に、今後の連携のあり方を議論するため、本特別セッションを企画するものである。

プログラム：

- | | |
|-------------------------------------|------------------|
| 1. セッション趣旨説明 [5分] | 梶田隆章 (東京大学) |
| 2. 日本学術会議と天文学（役割、活動、会員選出手順など） [25分] | 山崎典子 (ISAS/JAXA) |
| 3. 質疑・総合討論 [60分] | |

世話人：林 正彦 (日本学術振興会ボン研究連絡センター)、渡部潤一 (国立天文台)

主催：公益社団法人 日本天文学会

共催：日本学術会議 物理学委員会 天文学宇宙物理分科会・IAU分科会

◎天文教育フォーラム：「天文学から SDGs へのアプローチ」

日 時：2021年3月17日（水）17：00～18：30

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：2015年の国連サミットで採択された「持続可能な開発のための2030アジェンダ」では、持続可能でよりよい世界を目指す国際目標である「持続可能な開発目標」(Sustainable Development Goals: SDGs)が挙げられている。

これを受けて、国際天文学連合 (IAU) でも、Strategic Plan 2020-2030 で示した活動計画の中で「発展のための手段として天文学の利用を推進する」ことを明示し、SDGs 達成のための取り組みを重点課題として挙げて活動している。SDGs に関しては、近年、日本国内でもその達成を目指して多くの企業などで様々な取り組みが始まっている。

しかしながら、日本の個々の天文学者や天文コミュニティでは、SDGs に関して、その中身の理解や、SDGs を追求する理由などが完全に浸透しているとは言い難いように思われる。そこで今回の天文教育フォーラムでは SDGs をテーマに取り上げ、「SDGs とは何か」「科学者と SDGs の関わりとは」「天文学と SDGs」などを掘り下げていく機会を設けたいと考えている。議論を通して、天文学コミュニティが SDGs で解決を求められている諸問題と、どのように向き合っていくのかを考えるきっかけとしていきたい。

話題提供（敬称略）：沖 大幹（東京大学 / 国際連合） 「SDGs と自然科学研究」

渡部潤一（国立天文台 / IAU） 「IAU Strategic Plan : 2020-2030 と SDGs」

世 話 人：鴈野重之（九州産業大学）、高梨直紘（東京大学）、亀谷和久（国立天文台）、磯部洋明（京都市立芸術大学）

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

◎日本天文学会公開講演会

日 時：2021年3月20日（土）18：00～20：30（予定）

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）

対 象：中学生以上・一般向け

テ ー マ：「宇宙と生命の起源」

宇宙、そして生命はどのように誕生し、進化してきたのか。宇宙には地球以外にも生命が存在する場所はあるのか。そもそも生命とは何か。第一線で活躍する東京工業大学の研究者が、宇宙と生命の起源に迫る最新の研究成果を分かりやすくご紹介します。

講師・タイトル：下記をご参照ください。

参加費：無料（事前登録制）

定 員：1,000名（先着順）

<講演内容の紹介>

講演1：「突発天体の多様な観測で探る宇宙と元素の起源」

講師：河合誠之（東京工業大学 教授）

近年の技術革新によって、稀で短時間しか続かず、しかも空のどこで発生するのか予想できない現象を、衛星や地上望遠鏡、さらには重力波など様々な方法で詳しく観測できるようになりました。その代表がガンマ線バーストです。素性の異なる2種類それぞれが宇宙の起源の解明に重要な役割を果たします。太陽の20倍以上の質量を持つ恒星が燃え尽きた時に発生する「長い」ガンマ線バーストは、恒星が生まれ始めた100億年以上前の幼年期の宇宙で炭素や酸素など生命に不可欠な元素が作られ始める様子を見せてくれます。「短い」ガンマ線バーストは中性子星2個が衝突して合体する時に重力波とともに発生し、そこで金や白金などの希少な重元素が作られると考えられています。

講演 2 : 「ハビタブルな宇宙 — 系外惑星がもたらした生命像の変容と転換」

講師：井田 茂（東京工業大学 教授）

21 世紀に入り、「地球外生命」は実証可能性を持つ科学の分野となり、その研究は急進展しています。その契機となったのが、1995 年以來の太陽系外の惑星（系外惑星）の発見であり、2005 年の土星の衛星エンケラドスの間欠泉の発見です。最近では、ハビタブルゾーンと呼ばれる、液体の水が表面に存在できる温度範囲の軌道にある地球サイズの系外惑星の発見が続々と報告されています。エンケラドスの内部に海が存在することは確実で、他の衛星、小惑星、そして冥王星にも内部海があるかもしれません。このように、地球外生命が存在する可能性がある天体が実際に次々と特定されてきたことで、地球外生命探査の方向性は急速に変化し、私たちは生命とは何かという根源的な問をつきつけられています。

主 催：公益社団法人 日本天文学会

共 催：東京工業大学理学院系外惑星観測研究センター

※プログラム、参加申込方法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

2021 年春季年会

	3月16日(火)		3月17日(水)		3月18日(木)		3月19日(金)	
	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	13:00 - 15:10
A会場	Z3. 計算宇宙惑星 草野完也 (名古屋大学)	Z3. 計算宇宙惑星 牧野淳一郎 (神戸大学)	Z3. 計算宇宙惑星 大須賀健 (筑波大学)	Z1. 天文データ科学 池田思朗 (統計数理研究所)	Z1. 天文データ科学 植村誠 (広島大学)	Z1. 天文データ科学 本間希樹 (国立天文台)	Z2. ngVIAの天文学 立原研悟 (名古屋大学)	Z2. ngVIAの天文学 百瀬宗武 (茨城大学)
B会場	W.コンパクト天体 根来均 (日本大学)	W.コンパクト天体 川口恭平 (東京大学)	W.コンパクト天体 馬場彩 (東京大学)	W.コンパクト天体 樫山和己 (東京大学)	W.コンパクト天体 榎戸輝揚 (理化学研究所)	N. 恒星進化 青木和光 (国立天文台)	N. 恒星進化 中村航 (福岡大学)	N. 恒星進化 諏訪雄大 (京都産業大学)
C会場	S. 活動銀河核 川口俊宏 (尾道市立大学)	S. 活動銀河核 野田博文 (大阪大学)	R. 銀河 河野孝太郎 (東京大学)	R. 銀河 植田準子 (国立天文台)	X. 銀河形成 鍛冶澤賢 (愛媛大学)	X. 銀河形成 松田有一 (国立天文台)	X. 銀河形成 橋本拓也 (筑波大学)	X. 銀河形成 清水一紘 (四国学院大学)
D会場	V2. 観測機器(光赤・重) 秋山正幸 (東北大学)	V2. 観測機器(光赤・重) 鈴木仁研 (JAXA)	V2. 観測機器(光赤・重) 中川貴雄 (JAXA)	V2. 観測機器(光赤・重) 中屋秀彦 (国立天文台)	V1. 観測機器(電波) 米倉覚則 (茨城大学)	V1. 観測機器(電波) 中島拓 (名古屋大学)	V1. 観測機器(電波) 瀬田益道 (関西学院大学)	V1. 観測機器(電波) 大島泰 (国立天文台)
E会場	V3. 観測機器(X線・γ線) 山岡和貴 (名古屋大学)	V3. 観測機器(X線・γ線) 北本俊二 (立教大学)	V3. 観測機器(X線・γ線) 内山秀樹 (静岡大学)	V3. 観測機器(X線・γ線) 澤野達哉 (金沢大学)	T. 銀河団 佐藤浩介 (埼玉大学)	U. 宇宙論 高橋龍一 (弘前大学)		
F会場	P2. 原始惑星系円盤 小林浩 (名古屋大学)	P2. 原始惑星系円盤 田中秀和 (東北大学)	P2. 原始惑/P1. 星形成 塚越崇 (国立天文台)	P1. 星形成 西合一矢 (国立天文台)	P1. 星形成 大屋瑠子 (東京大学)	P1. 星形成 大向一行 (東北大学)		
G会場	Q. 星間現象 信川久実子 (近畿大学)	Q. 星間現象 田中邦彦 (慶應義塾大学)	Q. 星間現象 田中孝明 (京都大学)	Q. 星間現象 井上剛志 (名古屋大学)	M. 太陽 西塚直人 (情報通信研究機構)	M. 太陽 末松芳法 (国立天文台)	M. 太陽 成影典之 (国立天文台)	M. 太陽 桜井隆 (国立天文台)
H会場			Y. 教育・広報・他 平松正顕 (国立天文台)	Y. 教育・広報・他 縣秀彦 (国立天文台)		P3. 惑星系 堀安範 (アストロ・イオン・センター)	P3. 惑星系 増田賢人 (大阪大学)	P3. 惑星系 鈴木大介 (大阪大学)

口頭セッション 3月16日(火)

	A会場	B会場	C会場	D会場	E会場	F会場	G会場	H会場
開始時刻	計算宇宙惑星	コンパクト天体	活動銀河核	観測機器(光赤・重)	観測機器(X線・γ線)	原始惑星系円盤	星間現象	
09:30	Z301r	W01a	S01a	V201a	V301a	P201a	Q01a	-
09:42		W02a	S02a	V202a	V302a	P202a	Q02a	-
09:54	Z302a	W03a	S03a	V203a	V303a	P203a	Q03a	-
10:06	Z303a	W04a	S04a	V204a	V304a	P204a	Q04a	-
10:18	Z304a	W05a	S05a	V205a	V305a	P205a	Q05a	-
10:30	Z305a	W06a	S06a	V206a	V306a	P206a	Q06a	-
10:42	Z306r	W07a	S07a	V207a	V307a	P207a	Q07a	-
10:54		W08a	S08a	V208a	V308a	P208a	Q08a	-
11:06	Z307a	W09a	S09a	V209a	V309a	P209a	Q09a	-
11:18	Z308a	W10a	S10b S11b	V210b V211b	-	P210a	Q10b	-
11:30	Z309a	W11b W12b W13b	-	-	-	-	-	-
11:42	Z310a							
11:40	昼休み							
開始時刻	計算宇宙惑星	コンパクト天体	活動銀河核	観測機器(光赤・重)	観測機器(X線・γ線)	原始惑星系円盤	星間現象	
13:00	Z311a	W14a	S12a	V212a	V310a	P211a	Q11a	-
13:12	Z312a	W15a	S13a	V213a	V311a	P212a	Q12a	-
13:24	Z313a	W16a	S14a	V214a	V312a	P213a	Q13a	-
13:36	Z314a	W17a	S15a	V215a	V313a	P214a	Q14a	-
13:48	Z315a	W18a	S16a	V216a	V314a	P215a	Q15a	-
14:00	Z316a	W19a	S17a	V217a	V315a	P216a	Q16a	-
14:12	Z317a	W20a	S18a	V218a	V316a	P217a	Q17a	-
14:24	Z318a	W21a	S19a	V219a	V317a	P218a	Q18a	-
14:36	Z319a	W22a	S20a	V220a	V318b V319b V320b	P219a	Q19b Q20b	-
14:48	Z320a	W23a	S21a	V221b V222b	V321b	P220b	-	-
15:00	Z321a	W24a	S22a	-	-	-	-	-
15:12	Z322a	-	-	-	-	-	-	-
15:10	ポスター							
16:30	特別セッション「X線分光撮像衛星「XRISM」							

口頭セッション 3月17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	計算宇宙惑星	コンパクト天体	銀河	観測機器(光赤・重)	観測機器(X線・γ線)	原始惑星系円盤/星形成	星間現象	教育・他
09:30	Z323r	W25a	R01a	V223a	V322a	P221a	Q21a	Y01a
09:42		W26a	R02a	V224a	V323a	P222a	Q22a	Y02a
09:54	Z324a	W27a	R03a	V225a	V324a	P223a	Q23a	Y03a
10:06	Z325a	W28a	R04a	V226a	V325a	P224a	Q24a	Y04a
10:18	Z326r	W29a	R05a	V227a	V326a	P225a	Q25a	Y05a
10:30		W30a	R06a	V228b V229b V230b	V327a	P101a	Q26a	Y06a
10:42	Z327a	W31a	R07a	V231b V232b V233b	V328a	P102a	Q27a	Y07a
10:54	Z328a	W32a	R08a	V234b V235b V236b	V329a	P103a	Q28a	Y08b Y09b Y10b
11:06	Z329a	W33a	R09b R10b R11b	V237b	V330a	P104a	Q29a	Y11b
11:18	議論	W34a	R12b R13b	-	V331a	P105a	-	-
11:30	-	W35b W36b W37b	-	-	-	-	-	-
11:40	昼休み							
開始時刻	天文データ科学	コンパクト天体	銀河	観測機器(光赤・重)	観測機器(X線・γ線)	星形成	星間現象	教育・他
13:00	Z101a	W38a	R14a	V238a	V332a	P106a	Q30a	Y12a
13:12	Z102a	W39a	R15a	V239a	V333a	P107a	Q31a	Y13a
13:24	Z103a	W40a	R16a	V240a	V334a	P108a	Q32a	Y14a
13:36	Z104a	W41a	R17a	V241a	V335a	P109a	Q33a	Y15a
13:48	Z105a	W42a	R18a	V242a	V336a	P110a	Q34a	Y16a
14:00	Z106r	W43a	R19a	V243a	V337a	P111a	Q35a	Y17a
14:12		W44a	R20a	V244a	-	P112a	Q36a	-
14:24		W45a	R21a	-	-	P113b P114b P115b	-	-
14:36		W46a	R22a	-	-	P116b P117b P118b	-	-
14:48		W47a	R23a	-	-	P119b P120b P121b	-	-
15:00	-	-	R24a	-	-	-	-	-
15:30	特別セッション 「日本学術会議と日本天文学会 -よりよい連携のために-							
17:00	天文教育フォーラム							

口頭セッション 3月18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	天文データ 科学	コンパクト 天体	銀河形成	観測機器 (電波)	銀河団	星形成	太 陽	
09:30	Z107a	W48a	X01a	V101a	T01a	P122a	M01a	-
09:42	Z108a	W49a	X02a	V102a	T02a	P123a	M02a	-
09:54	Z109a	W50a	X03a	V103a	T03a	P124a	M03a	-
10:06	Z110a	W51a	X04a	V104a	T04a	P125a	M04a	-
10:18	Z111a	W52a	X05a	V105a	T05a	P126a	M05a	-
10:30	Z112a	W53a	X06a	V106a	T06a	P127a	M06a	-
10:42	Z113a	W54a	X07a	V107a	T07a	P128a	M07a	-
10:54	Z114a	W55a	X08a	V108a	T08a	P129a	M08a	-
11:06	Z115a	W56a	X09a	V109a	T09a	P130a	M09b M10b M11b	-
11:18	Z116a	W57a	X10b X11b X12b	V110a	T10a	P131a	M12b	-
11:40	昼休み							
開始時刻	天文データ 科学	恒星進化	銀河形成	観測機器 (電波)	宇宙論	星形成	太 陽	惑星系
13:00	Z117a	N01a	X13a	V111a	U01a	P132a	M13a	P301a
13:12	Z118a	N02a	X14a	V112a	U02a	P133a	M14a	P302a
13:24	Z119a	N03a	X15a	V113a	U03a	P134a	M15a	P303a
13:36	Z120a	N04a	X16a	V114a	U04a	P135a	M16a	P304a
13:48	Z121r	N05a	X17a	V115a	U05a	P136a	M17a	P305a
14:00		N06a	X18a	V116a	U06a	P137a	M18a	P306a
14:12		N07a	X19a	V117a	-	P138a	M19a	P307a
14:24		N08a	X20a	V118a	-	P139a	M20a	P308a
14:36		N09a	X21a	V119a	-	P140a	M21a	P309b P310b P311b
14:48	summary	N10b N11b	X22a	V120b V121b V122b	-	P141a	M22a	P312b P313b P314b
15:00	-	-	-	-	-	P142a	-	P315b
15:10	ポスター							
16:30	会員全体集会							

口頭セッション 3月19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	ngVLAの 天文学	恒星進化	銀河形成	観測機器 (電波)			太 陽	惑星系
09:30	Z201r	N12a	X23a	V123a	-	-	M23a	P316a
09:42	Z202a	N13a	X24a	V124a	-	-	M24a	P317a
09:54		N14a	X25a	V125a	-	-	M25a	P318a
10:06	Z204a	N15a	X26a	V126a	-	-	M26a	P319a
10:18	Z205a	N16a	X27a	V127a	-	-	M27a	P320a
10:30	Z206a	N17a	X28a	V128a	-	-	M28a	P321a
10:42	Z207r	N18a	X29a	V129a	-	-	M29a	P322a
10:54		N19a	X30a	V130a	-	-	M30a	P323a
11:06	Z208a	N20a	X31a	V131a	-	-	M31a	P324a
11:18	Z209a	N21a	-	V132b V133b V134b	-	-	M32a	P325a
11:30	Z210b Z211b Z212b Z213b	-	-	V135b V136b	-	-	-	-
11:40	昼休み(代議員総会)							
開始時刻	ngVLAの 天文学	恒星進化	銀河形成	観測機器 (電波)			太 陽	惑星系
13:00	Z214r	N22a	X32a	V137a	-	-	M33a	P326a
13:12	Z215a	N23a	X33a	V138a	-	-	M34a	P327a
13:24		N24a	X34a	V139a	-	-	M35a	P328a
13:36	Z217a	N25a	X35a	V140a	-	-	M36a	P329a
13:48	Z218a	N26a	X36a	V141a	-	-	M37a	-
14:00	Z219r	N27a	X37a	V142a	-	-	-	-
14:12		N28a	X38a	V143a	-	-	-	-
14:24	Z220a	-	X39a	V144a	-	-	-	-
14:36	Z221a	-	X40a	V145b V146b V147b	-	-	-	-
14:48	Z222a	-	X41a	-	-	-	-	-
15:00	-	-	X42a	-	-	-	-	-
15:10	ポスター							
16:30	受賞記念講演							

ポスターセッション 3月16日(火)・3月18日(木)・3月19日(金)

<p>【Z2. ngVLAの天文学】(4)</p> <p>Z210b Z211b Z212b Z213b</p> <p>【M. 太陽】(4)</p> <p>M09b M10b M11b M12b</p> <p>【N. 恒星・恒星進化】(2)</p> <p>N10b N11b</p> <p>【P1. 星・惑星形成(星形成)】(9)</p> <p>P113b P114b P115b P116b P117b</p> <p>P118b P119b P120b P121b</p> <p>【P2. 星・惑星形成(原始惑星系円盤)】(1)</p> <p>P220b</p> <p>【P3. 星・惑星形成(惑星系)】(7)</p> <p>P309b P310b P311b P312b P313b</p> <p>P314b P315b</p> <p>【Q. 星間現象】(3)</p> <p>Q10b Q19b Q20b</p> <p>【R. 銀河】(5)</p> <p>R09b R10b R11b R12b R13b</p> <p>【S. 活動銀河核】(2)</p> <p>S10b S11b</p>	<p>【V1. 観測機器(電波)】(11)</p> <p>V120b V121b V122b V132b V133b</p> <p>V134b V135b V136b V145b V146b</p> <p>V147b</p> <p>【V2. 観測機器(光赤外・重力波・その他)】(14)</p> <p>V210b V211b V221b V222b V228b</p> <p>V229b V230b V231b V232b V233b</p> <p>V234b V235b V236b V237b</p> <p>【V3. 観測機器(X線・γ線)】(4)</p> <p>V318b V319b V320b V321b</p> <p>【W. コンパクト天体】(6)</p> <p>W11b W12b W13b W35b W36b</p> <p>W37b</p> <p>【X. 銀河形成・進化】(3)</p> <p>X10b X11b X12b</p> <p>【Y. 天文教育・広報普及・その他】(4)</p> <p>Y08b Y09b Y10b Y11b</p>
---	--

Z1. 天文データ科学の新しい潮流

3月17日(水) 午後・A会場		10:42	Z113a Understanding Galaxy Evolution through Machine Learning Suchetha Cooray (Nagoya University)
13:00	Z101a 機械学習を使用したすばる Hyper Suprime-Cam 超新星のタイプ分類 高橋一郎(東北大学)	10:54	Z114a 銀河分布のトポロジー解析 河野海(名古屋大学)
13:12	Z102a 深層学習による欠損データを含む測光的赤方偏移推定 西澤淳(名古屋大学)	11:06	Z115a 銀河画像の高解像度化: 圧縮センシングを用いた PSF の逆畳み込み 村田一心(国立天文台)
13:24	Z103a 機械学習による遠方銀河の形態パラメータ推定 II 馬屋原拓也(北見工業大学)	11:18	Z116a サブミリ波超解像イメージングで空間分解した活動銀河 NGC1068 の中心核構造 戸上陽平(名古屋大学)
13:36	Z104a Subaru Hyper Suprime Cam での重力レンズノイズ除去のための深層学習 白崎正人(国立天文台/統計数理研究所)	3月18日(木) 午後・A会場	
13:48	Z105a 深層学習 VAE による X 線分光観測からの特徴抽出 岩崎啓克(立教大学)	13:00	Z117a Analysis of Integral Field Spectroscopic Data as a High-Dimensional Low-Sample Size Data Problem 竹内努(名古屋大学)
14:00	Z106r 深層学習の現在: 問題解決の方法論として 岡谷貴之(東北大学/理化学研究所)	13:12	Z118a 次世代大型サブミリ波望遠鏡の分光観測に向けたデータ科学の応用 谷口暁星(名古屋大学)
3月18日(木) 午前・A会場		13:24	Z119a 情報理論を用いた突発現象の追跡観測に関する意思決定の自動化 植村誠(広島大学)
09:30	Z107a GALAXY CRUISE と機械学習 田中賢幸(国立天文台)	13:36	Z120a MCMC 法における尤度計算量の削減手法 服部公平(統計数理研究所)
09:42	Z108a cGAN を用いた輝線強度マップからのシグナル抽出 森脇可奈(東京大学)	13:48	Z121r マルコフ連鎖モンテカルロ法—その特徴、歴史、発展 伊庭幸人(統計数理研究所)
09:54	Z109a 機械学習アルゴリズムを用いた Near-Far 問題の解法 藤田真司(大阪府立大学)	14:48	summary
10:06	Z110a CNN による大質量星形成領域に付随する星間ガス構造同定モデルの開発 上田翔汰(大阪府立大学)		
10:18	Z111a 宇宙の大規模構造エミュレーション技術 西道啓博(京都大学)		
10:30	Z112a Application of Machine Learning Classification Methods to the Study of Galaxy Evolution 施文(名古屋大学)		

Z2. 次世代Very Large Array (ngVLA) で切り拓く新しい天文学の地平

3月19日（金）午前・A会場		3月19日（金）午後・A会場	
09:30	Z201r 原始惑星系円盤から銀河系内、系外銀河に至る様々な階層での星間化学 坂井南美（理化学研究所）	13:00	Z214r 原子雲・分子雲を貫く星形成 福井康雄（名古屋大学）
09:48	Z202a ngVLAで探る、原始星エンベロープと円盤の分子組成に対するX線放射の影響 野津翔太（理化学研究所）	13:18	Z215a 電波干渉計で探るフィラメント状分子雲の形成機構 佐野栄俊（国立天文台）
10:00	Z203a Nitrogen Fractionation in the Protoplanetary Disk around TW Hya Lee, Seokho (NAOJ)	13:30	Z216a ngVLA で観る大質量形成：近接連星と熱い円盤 田中圭（国立天文台）
10:12	Z204a 原始星円盤におけるダスト成長前線によるリング形成 大橋聡史（理化学研究所）	13:42	Z217a ngVLA を用いた大質量原始星の直接撮像の検討 元木業人（山口大学）
10:24	Z205a DM Tau 周囲のリング状原始惑星系円盤における弱い非軸対称構造 武藤恭之（工学院大学）	13:54	Z218a 高分解能 HI/[C ₁]/CO 観測による強乱流場中における分子雲形成機構の解明 榎谷玲依（慶應義塾大学）
10:36	Z206a 周惑星円盤の ngVLA 観測のモデル計算：ダストの性質への制限 胡博超（国立天文台/東京工業大学）	14:06	Z219r ngVLA 時代の銀河・ブラックホール進化研究への期待 泉拓磨（国立天文台 / 総合研究大学院大学）
10:48	Z207r ngVLA で観る重力波対応天体 仏坂健太（東京大学）	14:24	Z220a ngVLA による遠方銀河の遠赤外線微細構造輝線の観測可能性 橋本拓也（筑波大学）
11:06	Z208a Gamma-Ray Burst and Transient Sciences with ngVLA 浦田裕次 (National Central University, Taiwan)	14:36	Z221a 多階層連結 AGN モデルと ngVLA で探る超巨大ブラックホールの形成・進化 川勝望（呉工業高等専門学校）
11:18	Z209a 超新星からの電波放射：未知の恒星終末期進化の解明に向けて 前田啓一（京都大学）	14:48	Z222a ngVLA による太陽・太陽圏研究と系外宇宙天気研究の新展開 下条圭美（国立天文台）
11:30	Z210b ngVLAを用いたスノーライン前後の原始惑星系円盤構造の模擬観測 奥住聡（東京工業大学）		
11:30	Z211b ngVLA による原始惑星系円盤の NH ₃ スノーラインの観測 古家健次（国立天文台）		
11:30	Z212b ngVLA の偏光観測で探る原始惑星系円盤中のダスト成長 植田高啓（国立天文台）		
11:30	Z213b ngVLA の概要と目指すサイエンス 百瀬宗武（茨城大学）		

Z3. 富岳時代のシミュレーション天文学

3月16日(火) 午前・A会場		3月16日(火) 午後・A会場	
09:30	Z301r スーパーコンピューター「富岳」と宇宙物理・惑星科学 牧野淳一郎(神戸大学)	13:00	Z311a AMR フレームワーク Athena++ の設計と今後の展望 富田賢吾(東北大学)
09:54	Z302a 富岳時代の準解析的銀河・AGN 形成モデル 大木平(千葉大学)	13:12	Z312a 分子雲形成シミュレーションで探る重力的に束縛された高密度クランプの統計的性質 岩崎一成(国立天文台)
10:06	Z303a 機械学習による宇宙大規模構造形成エミュレータの構築 田中賢(京都大学)	13:24	Z313a 惑星系 N 体計算コード GPLUM の開発 石城陽太(東京大学)
10:18	Z304a 富岳による宇宙論的ニュートリノの Vlasov シミュレーション 吉川耕司(筑波大学)	13:36	Z314a 現実的な合体条件下での岩石微惑星の集積 柴田雄(国立天文台)
10:30	Z305a 高赤方偏移 ($z \geq 10$) での暗黒物質の対消滅のブーストファクターの計算 高橋龍一(弘前大学)	13:48	Z315a 原始惑星系円盤の高レイノルズ数乱流中でのダスト成長 石原卓(岡山大学)
10:42	Z306r Gaia/JASMINE 時代の銀河系考古学のための数値シミュレーション 河田大介(MSSL, UCL)	14:00	Z316a 輻射輸送方程式を解く GR-RMHD コード INAZUMA によるブラックホール降着流シミュレーション 朝比奈雄太(筑波大学)
11:06	Z307a ASURA-FDPS による銀河形成シミュレーション: 富岳向けチューニングの現状 斎藤貴之(神戸大学)	14:12	Z317a 三次元空間における重力崩壊型超新星のボルツマン方程式によるニュートリノ輻射流体計算 岩上わか(早稲田大学)
11:18	Z308a 銀河形成シミュレーションで探る r プロセス元素に富んだ星の動力学的性質 平居悠(理化学研究所)	14:24	Z318a S_N 法を用いたボルツマン輻射流体コードによる高速回転星の重力崩壊シミュレーション 原田了(東京大学)
11:30	Z309a Toward simulations of globular cluster formation 藤井通子(東京大学)	14:36	Z319a 一般相対論的ボルツマン輻射流体計算による原子中性子星冷却 赤穂龍一郎(早稲田大学)
11:42	Z310a The 3 million simulations of globular clusters using Fugaku computer Long Wang (The University of Tokyo)	14:48	Z320a CANS+ による AGN ジェット伝播の高空間分解能 MHD 数値実験 大村匠(九州大学)
		15:00	Z321a 「富岳」における高エネルギー粒子加速研究と PIC シミュレーション 松本洋介(千葉大学)
		15:12	Z322a 微視的磁場増幅過程を解像した超新星衝撃波による宇宙線加速シミュレーション 井上剛志(名古屋大学)

M. 太陽

3月17日(水) 午前・A会場		3月18日(木) 午前・G会場	
09:30	Z323r 富岳で実現する太陽の超大規模数値シミュレーション 堀田英之(千葉大学)	09:30	M01a 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 (概要) 成影典之(国立天文台)
09:54	Z324a 太陽対流層 - コロナ連結磁気流体シミュレーションによる超巨大フレア発生条件解明の展望 金子岳史(名古屋大学)	09:42	M02a SUNRISE-3 大気球太陽観測実験: 高精度近赤外線偏光分光装置 SCIP による観測制御の検証 大場崇義(宇宙航空研究開発機構)
10:06	Z325a PSP 時代の太陽風乱流シミュレーション 庄田宗人(国立天文台)	09:54	M03a Solar-C(EUVST)/SoSpIM の開発状況と科学課題の検討 渡邊恭子(防衛大学校)
10:18	Z326r 火星衛星探査計画 MMX とシミュレーション天文学 倉本圭(北海道大学)	10:06	M04a 太陽観測用ニオブ酸リチウム近赤外狭帯域フィルターの開発 末松芳法(国立天文台)
10:42	Z327a マントル対流の数値モデリング: 月から地球まで、さらにスーパー地球まで 亀山真典(愛媛大学)	10:18	M05a ニューラルネットワークを用いた静穏領域の水平磁場推定 正木寛之(千葉大学)
10:54	Z328a 火星大気大循環の全球非静力学高解像度シミュレーションに向けて 樫村博基(神戸大学)	10:30	M06a 畳み込みニューラルネットワークを用いた水平速度場診断手法の開発 石川遼太郎(総合研究大学院大学/国立天文台)
11:06	Z329a 高解像度ガス惑星大気シミュレーションに向けたスペクトル変換ライブラリと回転球殻非弾性対流モデルの開発 竹広真一(京都大学)	10:42	M07a Mask R-CNN を用いた活動領域の検出 小松耀人(新潟大学)
11:18	議論	10:54	M08a 深層学習を用いた黒点の成長予測モデル構築 大沼伊織(新潟大学)
		11:06	M09b 差動回転の自転速度・解像度への依存性の調査 堀田英之(千葉大学)
		11:06	M10b 機械学習を用いたフレアループ長の推定 西本将平(防衛大学校)
		11:06	M11b 太陽フレア放射スペクトルとデリンジャー現象の関係 渡邊恭子(防衛大学校)
		11:18	M12b 2020年10月15日の GOES B-CLASS イベントにおける彩層~光球ダイナミクスの時間変動 當村一朗(大阪府立大学工業高等専門学校)
		11:30	質疑応答(10分)

3月18日(木) 午後・G会場		3月19日(金) 午前・G会場	
13:00	M13a 太陽光球での磁場要素追跡を用いた磁場強度・磁束と差動回転関係の研究 高畑憲(千葉大学)	09:30	M23a 狭帯域チューナブル・フィルターを用いた太陽彩層観測 宮良碧(茨城大学)
13:12	M14a 太陽光球リム境界近傍の表面構造がドップラー速度の観測に与える影響 森塚章恵(東京大学/国立天文台)	09:42	M24a 特徴量の機械学習を用いた太陽表面X線画像からのコロナ質量放出予測 正島涼希(関西学院大学)
13:24	M15a 太陽表面の磁場構造のサイズ分布 桜井隆(国立天文台)	09:54	M25a フィラメント噴出の三次元速度とコロナ質量放出との関係について 関大吉(京都大学)
13:36	M16a サイクル24にわたる「ひので」高解像度観測でみた太陽極域磁場の振る舞い 谷竜太(東京大学)	10:06	M26a 太陽フレア多クラス発生予測への深層学習技法の応用 西塚直人(情報通信研究機構)
13:48	M17a ひのでで観測されたサイクル24中の太陽極域磁場の変動 塩田大幸(情報通信研究機構)	10:18	M27a Magnetic Reconnection in a Sheared Magnetic Flux Tube: Slippage versus Tearing 国吉秀鷹(東京大学)
14:00	M18a アルフベン波駆動の太陽風モデルにおける音波の効果について 清水公彦(東京大学)	10:30	M28a NoRHとMUSERで同時観測された2015年11月22日の微小フレア2 増田智(名古屋大学)
14:12	M19a Numerical study of shock heating of the magnetic chromosphere by realistic simulation Yikang Wang (The University of Tokyo)	10:42	M29a 活動領域NOAA12673における連続するM5.5、M4.2フレア発生機構の比較 山崎大輝(京都大学)
14:24	M20a 太陽の活動度の差を考慮したCa II K線による紫外線放射の推定 田中宏樹(京都大学)	10:54	M30a 太陽ジェット現象におけるFIP効果の時間的・空間的変動の研究 井上大輔(京都大学)
14:36	M21a Lyman線のスペクトル線形状と彩層大気構造に関する研究 長谷川隆祥(東京大学/宇宙航空研究開発機構)	11:06	M31a SMART/SDDIで観測される小スケールのblue/red shift現象の詳細解析 古谷侑士(京都大学)
14:48	M22a SCIP/Sunrise 3での波動観測について 松本琢磨(国立天文台)	11:18	M32a 超小型衛星を用いた太陽フレアからの熱的・非熱的放射の時間発展の研究 III 長澤俊作(東京大学 Kavli IPMU)
15:00	質疑応答(10分)	11:30	質疑応答(10分)

N. 恒星・恒星進化

3月19日(金) 午後・G会場		3月18日(木) 午後・B会場	
13:00	M33a M1.1 太陽フレアにおける彩層蒸発プラズマの速度・電子密度診断 神原永昌(総合研究大学院大学)	13:00	N01a Starspot mapping with parallel tempering for TESS data of M-type flare stars 幾田佳(京都大学)
13:12	M34a 全天 X 線監視装置 MAXI を用いた巨大恒星フレアの統計的研究 佐々木亮(中央大学)	13:12	N02a 多波長モニタ観測で探る M 型星フレアのバルマー線の輝線輪郭非対称性 III 野津湧太(コロラド大学)
13:24	M35a 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 北古賀智紀(中央大学)	13:24	N03a 太陽型星 EK Dra の長時間スーパーフレアの H α 線分光・可視測光観測 行方宏介(京都大学)
13:36	M36a プラズマ粒子(PIC)シミュレーションのための高精度 Boris 型数値解法 銭谷誠司(神戸大学)	13:36	N04a Sun-as-a-star Multi-wavelength Observations as a Milestone for Characterization of Stellar Active Regions 鳥海森(宇宙航空研究開発機構)
13:48	M37a 磁化プラズマにおける電磁応力と運動量(Kelvin 力と E \times B ドリフト) 柴崎清登(太陽物理学研究所)	13:48	N05a Kepler 全データの解析による太陽型星スーパーフレアの統計的性質 岡本壮師(京都大学)
14:00	質疑応答(10分)	14:00	N06a 近赤外高分散分光による近傍 M 型矮星の元素組成比の調査 石川裕之(総合研究大学院大学/国立天文台)
		14:12	N07a 2次元高速回転星の擬似的進化計算 小形美沙(早稲田大学)
		14:24	N08a α^1 Her からの磁気駆動風の安定性と変動 保田悠紀(北海道大学)
		14:36	N09a W UMa 型連星 A タイプにおける質量交換率と質量損失率の割合の試算 高妻真次郎(中京大学)
		14:48	N10b 近赤外 Mg I 輝線を用いた若い恒星の彩層活動の調査 山下真依(兵庫県立大学)
		14:48	N11b 近傍 Ia 型超新星の intrinsic color & dust extinction の多様性 有馬宣明(東京大学)
		15:00	質疑応答(10分)

3月19日(金) 午前・B会場		3月19日(金) 午後・B会場	
09:30	N12a AKARI/WISEによるAGB星の中間赤外線長期変光調査 橋健吾(東京大学)	13:00	N22a ブラックホールによる白色矮星の潮汐破壊現象からの観測兆候と、中間質量ブラックホールへの制限 川名好史朗(東京大学)
09:42	N13a Tomo-e Gozenによる狭帯域フィルター金属欠乏星探査およびなゆた望遠鏡MALLSによる中分散分光追観測 岩崎巧実(甲南大学)	13:12	N23a Hilbert-Huang変換を用いた重力崩壊型超新星爆発由来の重力波データ解析 武田芽依(大阪市立大学)
09:54	N14a LAMOST/すばる望遠鏡による金属欠乏星組成調査I.炭素組成と炭素過剰天体 青木和光(国立天文台)	13:24	N24a 回転する大質量星の重力崩壊に伴うニュートリノ駆動爆発 藤林翔(Max Planck Institute for Gravitational Physics)
10:06	N15a 天の川銀河のミラ型変光星と漸近巨星分枝星の進化の金属量依存性II 浦郷陸(鹿児島大学)	13:36	N25a Light curve modeling of the extremely bright supernova 2016aps 鈴木昭宏(国立天文台)
10:18	N16a WR125の中間赤外線分光観測-天体のスリット上での捕獲位置による分光データへの影響とその補正 遠藤いずみ(東京大学)	13:48	N26a 超新星親星の非球対称構造が衝撃波に及ぼす影響 中村航(福岡大学)
10:30	N17a すばる望遠鏡COMICSによるWR137の観測 道藤翼(東京大学)	14:00	N27a 星周物質との衝突で光る超新星のスペクトルエネルギー分布 津名大地(東京大学)
10:42	N18a 伴星を持たない水素欠乏超新星の親星の起源 平井遼介(Monash大学)	14:12	N28a 原始中性子星への質量降着を伴うニュートリノ駆動風モデルの構築と ^{56}Ni 生成量への示唆 澤田涼(京都産業大学)
10:54	N19a X線天文衛星「XMM-Newton」による超新星残骸G292.0+1.8の観測～Al He α 輝線の初検出とそれに基づく親星の質量推定～ 佐藤諒平(埼玉大学)	14:24	質疑応答(10分)
11:06	N20a 無回転大質量星コアの重力崩壊における磁場強度依存性 松本仁(福岡大学)		
11:18	N21a 外層が剥ぎ取られた星の超新星爆発とII型超新星爆発における ^{56}Ni 質量の相違は観測バイアスで説明できるか 大内竜馬(京都大学)		
11:30	質疑応答(10分)		

P1. 星・惑星形成

P1. 星・惑星形成(星形成)

3月17日(水) 午前・F会場		3月17日(水) 午後・F会場	
10:30	P101a ALMA 観測による高解像度 3 次元データ解析への機械学習の導入 大屋瑤子(東京大学)	13:00	P106a ALMA ACA サーベイで探る Corona Australis 領域の星形成(2) 山崎康正(大阪府立大学)
10:42	P102a 速度構造を含めた 3 次元データにおける Principal Component Analysis 大小田結貴(東京大学)	13:12	P107a VERA と ALMA を用いた大質量原始星 S255 NIRS 3 における水メーザー観測 廣田朋也(国立天文台)
10:54	P103a Star Formation Feedback to a Parent Cloud: The Elias 29 Case 雑賀恵理(東京大学)	13:24	P108a Salt, Hot Water, and Silicon Compounds Tracing Massive Twin Disks Yichen Zhang (RIKEN)
11:06	P104a 深層学習による分子雲コアの新しい同定法の開発 吉田大輔(名古屋大学)	13:36	P109a NLTE rovibrational analysis of hot disk tracers in the massive binary protostellar system IRAS 16547-4247 Ziwei E. Zhang (RIKEN)
11:18	P105a ALMA ACA サーベイで探る Taurus 領域分子雲コア進化の統計的研究(5): 若い連星 GV Tau が付随する分子雲コアの内部構造 原田直人(九州大学)	13:48	P110a Chemical evolution of Galactic high-mass star-forming cores Sarolta Zahorecz (Osaka Prefecture University/NAOJ)
11:30	質疑応答(10分)	14:00	P111a ALMA による原始連星系天体 NGC 2264 CMM3 の高分解能観測 柴山良希(東京大学)
		14:12	P112a Gaia データを用いたオリオン大星雲星団の解析 西亮一(新潟大学)
		14:24	P113b 星形成過程におけるダストガス質量比の再検討 古賀駿大(九州大学)
		14:24	P114b 2mm 帯受信機 B4R/LMT50 m 望遠鏡搭載による Orion-KL 領域試験観測の解析報告 米津鉄平(大阪府立大学)
		14:24	P115b Star Formation Signatures in the 70 μ m Dark High-mass Clump G23.477 森井嘉穂(東京大学/国立天文台)
		14:36	P116b 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)
		14:36	P117b はえ座分子雲における褐色矮星・惑星質量天体の近赤外測光探査観測 大朝由美子(埼玉大学)

14:36	P118b	へび座分子雲における若い超低質量天体の近赤外分光観測 大出康平(埼玉大学)	3月18日(木) 午前・F会場
14:48	P119b	銀河面における前主系列星の広域探査観測 竹内媛香(埼玉大学)	09:30 P122a VLA observations of ammonia lines towards a Class 0 protostar NGC1333 IRAS4A 大和義英(東京大学)
14:48	P120b	Lupus IとR CrAにおける若い超低質量天体の近赤外測光探査 金井昂大(埼玉大学)	09:42 P123a PEACHES: Formation of CH ₃ CN in Class 0/I protostars Shaoshan Zeng (RIKEN)
14:48	P121b	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)	09:54 P124a ALMA observations of CH ₃ OH and HC ₃ N toward three low-mass young stellar objects in the Perseus region 谷口琴美(学習院大学)
15:00		質疑応答(10分)	10:06 P125a ALMA望遠鏡を用いたCH ₃ NH ₂ の探査と化学進化への示唆 鈴木大輝(アストロバイオロジーセンター)
			10:18 P126a BISTRO Project Status (9) Tetsuo Hasegawa (NAOJ)
			10:30 P127a サブミリ波を用いたおうし座分子雲コアL1521Fにおける磁場構造の観測的研究 深谷紗希子(鹿児島大学)
			10:42 P128a 分子雲コアの角運動量の起源および時間発展について 三杉佳明(名古屋大学)
			10:54 P129a Massive Core Formation in Magnetized, Turbulent, High-speed Colliding Clouds Nirmit Deepak Sakre (Hokkaido University)
			11:06 P130a 分子雲形成過程と多相星間媒質中での乱流星形成 小林将人(東北大学)
			11:18 P131a 数値シミュレーションで探る高密度コアと衝撃波の相互作用 木下真一(東京大学)
			11:30 質疑応答(10分)

P2. 星・惑星形成(原始惑星系円盤)

3月18日(木) 午後・F会場		3月16日(火) 午前・F会場	
13:00	P132a 初期宇宙における星の質量関数とその進化: 金属量依存性について 鄭昇明(東北大学)	09:30	P201a 原始惑星系円盤における HCO ⁺ 輝線の高空間分解能観測 相川祐理(東京大学)
13:12	P133a 低金属量星形成における宇宙背景放射の影響 小野遥香(東北大学)	09:42	P202a Resolving DCN/HCN towards five protoplanetary disks using the MAPS data Gianni Cataldi (NAOJ/The University of Tokyo)
13:24	P134a ミニハロー内の収縮する始原ガスコアにおける乱流の増幅 東翔(甲南大学)	09:54	P203a ALMA 超解像画像で探る T Tau 周囲の原始惑星系円盤の詳細構造 山口正行(東京大学/国立天文台)
13:36	P135a 低金属度環境における星周円盤の分裂と低質量星の形成 松木場亮喜(東北大学)	10:06	P204a へびつかい座円盤天体の超解像イメージング: I 円盤傾斜角とYSO分類 川邊良平(国立天文台)
13:48	P136a 円盤分裂による多重星系形成の金属量依存性 島和宏(京都大学)	10:18	P205a スパースモデリングを用いた多波長電波観測における原始惑星系円盤の高解像度撮像 逢澤正嵩(李政道研究所)
14:00	P137a Ly α 輻射による原始ガス雲中での水素分子形成抑制効果の質量依存性 阿左美進也(筑波大学)	10:30	P206a ALMA多波長画像解析で探る TW Hya の原始惑星系円盤のスペクトル指数分布 塚越崇(国立天文台)
14:12	P138a Supermassive Star Formation in Magnetized Atomic-cooling Gas Cloud 平野信吾(九州大学)	10:42	P207a ALMA 望遠鏡を用いた SY Cha に付随する遷移円盤の観測的研究 折原龍太(茨城大学)
14:24	P139a Supermassive star formation in a massive cloud with H ₂ molecules 櫻井祐也(Kavli IPMU)	10:54	P208a 超低光度前主系列星 J162656.43-243301.5 周囲の transition disk の ALMA 観測 II 杉谷朱泉(鹿児島大学)
14:36	P140a モーメント法を用いた輻射流体シミュレーションによる星団形成の解明 福島肇(筑波大学)	11:06	P209a 銀河系外縁部における低金属量星生成領域 Sh 2-127 の近赤外深撮像 安井千香子(国立天文台)
14:48	P141a 超音速ガス流による初代星形成過程の系統的調査 沈有程(東京大学)	11:18	P210a 若い中質量星 HD 200775 の原始惑星系円盤に見られた光蒸発の兆候 加藤晴貴(京都産業大学)
15:00	P142a 星同士の詳細な合体条件の探求 桐原崇亘(甲南大学)		
15:12	質疑応答(10分)	11:30	質疑応答(10分)

3月16日(火) 午後・F会場		3月17日(水) 午前・F会場	
13:00	P211a 磁気円盤風および光蒸発による中質量星周りの原始惑星系円盤進化 福原修平(東京大学)	09:30	P221a 原始連星の周連星円盤における重力トルクと磁場による角運動量輸送 松本倫明(法政大学)
13:12	P212a 原始惑星系円盤光蒸発の輻射流体計算: 円盤の熱化学進化 駒木彩乃(東京大学)	09:42	P222a 周連星系円盤からのガス降着による、逆回転する原始惑星系円盤の形成 高石大輔(鹿児島大学)
13:24	P213a 輻射流体シミュレーションを用いたガスリッチデブリ円盤の始原ガス説の検証 仲谷峻平(理化学研究所)	09:54	P223a ダストガス2流体磁気流体力学シミュレーションコードの開発とその原始星形成過程への応用 塚本裕介(鹿児島大学)
13:36	P214a 原始惑星系円盤のダストリング構造中での永年重力不安定性 高橋実道(国立天文台)	10:06	P224a Athena++コードにおける軌道移流法の実装とシアリングボックスの改良 小野智弘(東京工業大学)
13:48	P215a ダスト成長が駆動する原始惑星系円盤の新しい不安定性 富永遼佑(名古屋大学)	10:18	P225a 輻射流体力学シミュレーションのためのオパシティ計算コードの開発II 廣瀬重信(海洋研究開発機構)
14:00	P216a ダストアグリゲイト間衝突による成長と破壊の質量比依存性 長谷川幸彦(東京大学)		
14:12	P217a 原始惑星重力下での原始惑星系円盤ガスの流れと小天体の衝突率 小林浩(名古屋大学)		
14:24	P218a 超木星質量の巨大ガス惑星によって形成される原始惑星系円盤のギャップ特性とそのパラメータ依存性 田中佑希(東北大学)		
14:36	P219a 降着を受ける原始ガス惑星 PDS 70b からの H α 放射に関する数値的研究 高棹真介(大阪大学)		
14:48	P220b WW Cha に付随する原始惑星系円盤の ALMA 観測 金川和弘(東京大学)		
15:00	質疑応答(10分)		

P3. 星・惑星形成

P3. 星・惑星形成(惑星系)

3月18日(木) 午後・H会場		14:48	P314b SonotaCo Network のデータを用いた各流星群における放射点の離散度調査 土屋智恵(国立天文台)
13:00	P301a ALMA で検出された海王星成層圏 HCN の帯状分布構造とその化学・物理 飯野孝浩(東京大学)	15:00	P315b SPART/ALMA電波望遠鏡により探る地球型惑星/金星の大気の化学的環境 前澤裕之(大阪府立大学)
13:12	P302a 月面地球照の近赤外観測で検出された海の偏光 高橋隼(兵庫県立大学)	15:12	質疑応答(10分)
13:24	P303a 崩壊彗星C/2019Y4(ATLAS)の偏光観測 古荘玲子(都留文科大学)	3月19日(金) 午前・H会場	
13:36	P304a 高離心率オールト雲天体の高精度軌道進化計算の結果について 船渡陽子(東京大学)	09:30	P316a 系外惑星のスペクトル・リトリーバルコードへの非平衡化学の導入 川島由依(理化学研究所)
13:48	P305a ダスト集合体の物質強度で探る太陽系小天体形成過程 辰馬未沙子(東京大学/国立天文台)	09:42	P317a スパースモデリングによる地球型系外惑星の表面組成の全球マッピング 桑田敦基(東京大学)
14:00	P306a 周巨大惑星における Liquid Water Belt4 : 土星系での検証 鴨川弘幸(防衛大学校)	09:54	P318a スーパーアースの巨大衝突における水素大気流出過程 黒崎健二(名古屋大学)
14:12	P307a 超巨大ブラックホールを周回する岩石・氷天体 blanet の形成 和田桂一(鹿児島大学)	10:06	P319a 巨大衝突によって形成される惑星系の軌道構造の中心星質量依存性 III 星野遥(東京大学)
14:24	P308a パルサータイミング法を用いた長周期連星ブラックホール探査の提案 林利憲(東京大学)	10:18	P320a 進化する円盤中での岩石原始惑星からの TRAPPIST-1 系形成 荻原正博(国立天文台)
14:36	P309b 多波長トランジット測光観測による系外惑星大気の調査 石岡千寛(埼玉大学)	10:30	P321a 分光連星が持つ未知の周期変化する視線速度の起源 加藤則行(神戸大学)
14:36	P310b 太陽系外惑星 XO-2N b の近赤外線トランジット観測 平野佑弥(兵庫県立大学)	10:42	P322a 若い系外惑星の軌道傾斜角測定 平野照幸(東京工業大学)
14:36	P311b 偏光分光光度計によるスペクトルデータベースの作成 近藤綾香(兵庫県立大学)	10:54	P323a 惑星や褐色矮星の伴星が引き起こす固有運動の加速に着目した高コントラスト直接撮像探査 葛原昌幸(アストロバイオロジーセンター/国立天文台)
14:48	P312b すばる望遠鏡 HSC データを用いた既知太陽系小天体探査 大坪貴文(国立天文台)	11:06	P324a IRD-SSP による M 型星周りの惑星サーベイ : 2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)
14:48	P313b 2019 年ふたご座流星群の多地点流星電波観測 石村周平(茨城大学)		

Q. 星間現象

11:18	P325a 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 成田憲保 (東京大学)	3月16日 (火) 午前・G会場
11:30	質疑応答 (10分)	09:30 Q01a The Location of the Western Part of the Galactic Center Lobe Masato Tsuboi (JAXA)
3月19日 (金) 午後・H会場		09:42 Q02a ペルセウス座分子雲領域の視線上に重なった二成分の磁場構造 土井靖生 (東京大学)
13:00	P326a 重カマイクロレンズ法による惑星系の銀河系内分布への示唆 越本直季 (東京大学 / NASA Goddard Space Flight Center)	09:54 Q03a 銀河系中心領域における特異分子雲 “Tadpole” の空間速度構造 金子美由起 (慶應義塾大学)
13:12	P327a <i>Roman</i> 衛星によるザララップ効果を用いた銀河中心領域の短周期惑星の検出 宮崎翔太 (大阪大学)	10:06 Q04a 銀河系中心部の Bania's Clump 2 における分子雲衝突の定量調査 松永健汰 (名古屋大学)
13:24	P328a XMM-Newton 衛星による系外惑星 HD 189733b の大気密度分布の調査 森岡夏未 (奈良女子大学)	10:18 Q05a 原始大質量星候補 IRAS 05358+3543 の形成 山田麟 (名古屋大学)
13:36	P329a ホットジュピターの大気蒸発過程における恒星風の影響 三谷啓人 (東京大学)	10:30 Q06a NRO Local Spur CO サーベイプロジェクト: こぎつね座 OB アソシエーションにおける巨大分子雲と星形成 河野樹人 (名古屋市科学館)
13:48	質疑応答 (10分)	10:42 Q07a 大質量星形成領域 Sagittarius B2 (N1) の降着円盤と双極分子流における CH ₃ NCO の検出 出岡恭一 (東京理科大学)
		10:54 Q08a ASTE-10m 望遠鏡による 500 GHz [C I] 輝線の銀河系中心全面イメージング: 超新星残骸 Sgr A East に付随する [C I]-bright Ring の発見 田中邦彦 (慶應義塾大学)
		11:06 Q09a ALMA ACA 観測で明らかにする ρ Oph A PDR における [C I] 放射の 2 つの起源 山岸光義 (宇宙航空研究開発機構)
		11:18 Q10b NH ₃ 分子輝線と赤外線に基づく異なる星形成段階の星間雲の温度分布 山賀響 (上越教育大学)
		11:30 質疑応答 (10分)

Q. 星間現象

3月16日(火) 午後・G会場		3月17日(水) 午前・G会場	
13:00	Q11a Kepler 超新星残骸における星周物質の非等方な空間分布 春日知明(東京大学)	09:30	Q21a 中性鉄輝線、電離率、ガンマ線を使った宇宙線の分子雲への浸透の解明 藤田裕(東京都立大学)
13:12	Q12a 過電離プラズマ成因解明に向けた超新星残骸 IC 443 の空間分解解析 尾近洸行(京都大学)	09:42	Q22a 超新星残骸 W49B とその近傍分子雲からのガンマ線放射の研究 大塚駿平(立教大学)
13:24	Q13a X線天文衛星「すざく」を用いた超新星残骸 W49B の再結合優勢プラズマの観測 鈴木那梨(奈良女子大学)	09:54	Q23a 超新星残骸 RX J1713.7-3946 におけるガンマ線発生機構:陽子起源・電子起源ガンマ線の分離 福井康雄(名古屋大学)
13:36	Q14a 超新星残骸 W28 における過電離プラズマの生成機構の研究 火物瑠偉(奈良教育大学)	10:06	Q24a Chandra 衛星の観測を用いた W50/SS 433 西側領域における粒子加速の研究 佳山一帆(京都大学)
13:48	Q15a 付随するコンパクト天体の運動を用いた超新星残骸の年齢推定の信頼性評価 鈴木寛大(東京大学)	10:18	Q25a 超新星残骸 HB9 における衝撃波粒子加速の時間発展の測定 岡知彦(京都大学)
14:00	Q16a ティコの超新星残骸における数年単位での電子温度上昇領域の発見 松田真宗(京都大学)	10:30	Q26a 超新星残骸の垂直衝撃波領域における宇宙線の加速と逃走 上島翔真(東京大学)
14:12	Q17a 超新星残骸 J0453.6-6829 における He 様酸素からの強い禁制線の発見 小柴鷹介(京都大学)	10:42	Q27a 非一様媒質中を伝播する衝撃波と宇宙線加速 横山将汰(東京大学)
14:24	Q18a NuSTAR 衛星による RX J0852.0-4622 の北西衝撃波の空間分離スペクトル解析 佐々木寅旭(埼玉大学)	10:54	Q28a 宇宙線軽元素のハードニングの起源 川中宣太(京都大学)
14:36	Q19b 銀河中心超新星残骸 Sgr A East の XRISM 衛星でのプラズマ診断の検討 内山秀樹(静岡大学)	11:06	Q29a Pevatron の X線・ガンマ線ペアハロー 井上進(文教大学/理化学研究所)
14:36	Q20b ALMA によるガンマ線超新星残骸 RX J1713.7-3946 の観測 佐野栄俊(国立天文台)	11:18	質疑応答(10分)
14:48	質疑応答(10分)		

R. 銀河

3月17日(水) 午後・G会場		3月17日(水) 午前・C会場	
13:00	Q30a ALMA ACAによる小マゼラン雲超広域CO探査(1): CO分子雲の大局的分布 徳田一起(大阪府立大学/国立天文台)	09:30	R01a 活動銀河 NGC 7469 における高解像度 CO 分子・C 原子輝線観測 I. X-ray Dominated Region の特性に基づくサブミリ波帯熱源診断 泉拓磨(国立天文台/総合研究大学院大学)
13:12	Q31a ALMA ACAによる小マゼラン雲超広域CO探査(2): CO分子雲の性質 大野峻宏(名古屋大学)	09:42	R02a 活動銀河 NGC 7469 における高解像度 CO分子・C原子輝線観測 II. AGN周りと星形成領域のガスの物理化学状態の比較 中野すずか(総合研究大学院大学/国立天文台)
13:24	Q32a ALMAを用いた大マゼラン雲 N159S 領域の観測: フィラメント状分子雲の分布 南大晴(大阪府立大学)	09:54	R03a スターバースト銀河 NGC1808 の [C I] 観測: ガストレーサーとしての有用性の検証 保坂智哉(筑波大学)
13:36	Q33a IRSF 近赤外線減光マップで得られた大マゼラン雲 HI リッジ領域のダストの3次元構造 古田拓也(名古屋大学)	10:06	R04a ALMA discovers a starburst-driven molecular outflow in NGC 1482 Dragan Salak (University of Tsukuba)
13:48	Q34a 「すざく」と XMM-Newton 衛星の多点同時観測で探る地球周辺の太陽風電荷交換 X 線の空間分布 伊師大貴(東京都立大学)	10:18	R05a NGC 253 中心部における非差動回転ガス成分の起源 小西諒太郎(大阪府立大学)
14:00	Q35a On the Very Hot Phase of the Milky Way Circumgalactic Medium 釜谷秀幸(防衛大学校)	10:30	R06a Discovery of a [C I]-faint, CO-bright Galaxy: ALMA Observations of the Merging Galaxy NGC 6052 道山知成(カブリ天文天体物理学研究所(KIAA))
14:12	Q36a 星形成史の解明に向けた磁場・宇宙線が駆動する銀河風についての理論研究 霜田治朗(名古屋大学)	10:42	R07a 相互作用銀河 NGC6240 の CO 輝線比と星間ガスの物理状態について 末木里美(日本女子大学)
14:24	質疑応答(10分)	10:54	R08a 銀河重力相互作用下における分子ガス中心集中度 三浦飛未来(明星大学)
		11:06	R09b Whole disk mapping of molecular clouds in M83 廣田晶彦(国立天文台)
		11:06	R10b Atacama Compact Array による渦巻銀河 M33 の ^{12}CO , ^{13}CO $J=2-1$ 広域観測(2) 小西亜侑(大阪府立大学)
		11:06	R11b The enhancement of dense gas star formation efficiency in merger remnants 植田準子(国立天文台)

R. 銀河

11:18	R12b	渦状銀河の擬似観測における非等方乱流磁場の効果 田嶋裕太(九州大学)	3月17日(水)午後・C会場
11:18	R13b	介在銀河による偏波解消の数値シミュレーション 大前陸人(九州大学)	
11:30		質疑応答(10分)	
	13:00	R14a	Spatially and spectrally resolved HCN/HCO ⁺ ratios in ultraluminous and luminous infrared galaxies from the CON-quest sample 西村優里(東京大学/国立天文台)
	13:12	R15a	NGC 3627 において同定された GMC の物理状態と SFE 多様性の関係 柴田和樹(筑波大学)
	13:24	R16a	銀河内部における分子雲衝突速度の環境依存性と星形成活動との関係 前田郁弥(京都大学)
	13:36	R17a	NGC 3627 の大局磁場ベクトル構造と星円盤の渦状腕の関係 藏原昂平(鹿児島大学)
	13:48	R18a	渦状腕の定量的分類による腕の本数と銀河パラメータの関係 赤堀美桜(北海道大学)
	14:00	R19a	銀河渦状腕中の星のエピサイクル位同期 III 吉田雄城(東京大学)
	14:12	R20a	Gaia による最新の位置天文観測と天の川銀河 N 体シミュレーションの比較 朝野哲郎(東京大学)
	14:24	R21a	アンドロメダ銀河の広がった X 線放射 I: 放射メカニズム 石塚雅身(東京理科大学)
	14:36	R22a	アンドロメダ銀河の広がった X 線放射 II: 重元素組成比 角田祐希(東京理科大学)
	14:48	R23a	Cherenkov Telescope Array による星形成銀河からのガンマ線検出の見込み 下野直弥(東京大学)
	15:00	R24a	Mining strong lensing surveys Anton Timur Jaelani (Kindai University)
	15:12		質疑応答(10分)

S. 活動銀河核

3月16日(火) 午前・C会場		3月16日(火) 午後・C会場	
09:30	S01a State Transition of SMBH Accretion Studied with X-ray and UV Monitoring 野田博文(大阪大学)	13:00	S12a Hungry black hole: 銀河衝突による AGN の活動停止と duty cycle との関係 三木洋平(東京大学)
09:42	S02a AGN における準周期的な短時間変動の3次元大局的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 クランピートーラスモデルの適用による活動銀河核の中心構造の統一理解 小川翔司(京都大学)
09:54	S03a VLBI インバンドファラデー回転を用いた狭輝線セイファート1型銀河 1H0323+342 の中心核領域の探査 高村美恵子(東京大学/国立天文台)	13:24	S14a 硬X線観測で探る超/高光度赤外線銀河中の AGN の構造と降着機構の進化 山田智史(京都大学)
10:06	S04a Circinus 銀河中心核の空間的に広がった鉄輝線放射領域の詳細解析 澤上拳明(大阪大学)	13:36	S15a 超高速アウトフローと近赤外 [Fe II]/[P II] 輝線強度比との関係 水本岬希(京都大学)
10:18	S05a Fe-K α 輝線反響マッピング法を用いた NGC 3516 活動銀河核構造の研究 峯田大靖(大阪大学)	13:48	S16a merger driven DOGs の形成と進化 油谷直道(鹿児島大学)
10:30	S06a AGN 反響マッピング応答関数のベイズ推定 小久保充(東北大学)	14:00	S17a SXDF の多波長データを用いた $z \sim 1.4$ における超巨大ブラックホールと銀河の共進化の研究 瀬戸口健太(京都大学)
10:42	S07a CO 振動回転遷移吸収線の成分分離による IRAS 08572+3915 AGN トーラス内部構造の研究 大西崇介(東京大学)	14:12	S18a ガンマ線を発する電波銀河の X 線統計解析(2) 眞武寛人(広島大学)
10:54	S08a AGN トーラス内部の CO ガスの励起機構と吸収線形成の理論 松本光生(東京大学/宇宙航空研究開発機構)	14:24	S19a Cygnus A ホットスポットの赤外線スペクトルの折れ曲がりを用いた磁場推定 砂田裕志(埼玉大学)
11:06	S09a 超高光度赤外線銀河 IRAS 17208-0014 の深く埋もれた中心核の構造 馬場俊介(国立天文台)	14:36	S20a Swift/BAT と Fermi/LAT を用いた硬 X 線、ガンマ線のカタログマッチ 辻直美(理化学研究所)
11:18	S10b NGC1068 トーラスにおける逆回転コアの形成過程 齊部和樹(鹿児島大学)	14:48	S21a MeV ガンマ線観測気球実験 SMILE-2+ による系外拡散ガンマ線観測 高田淳史(京都大学)
11:18	S11b Subaru/HSC 深撮像観測による NGC 1068 のマイナーマージャーの形態的証拠 川瀬真喜子(東北大学)	15:00	S22a EHTC はなぜ 40 μ s サイズのリング像を誤って得たか? - DIFMAP チームの不適切なデータ解析について 三好真(国立天文台)
11:30	質疑応答(10分)	15:12	質疑応答(10分)

T. 銀河団

U. 宇宙論

3月18日(木) 午前・E会場		3月18日(木) 午後・E会場	
09:30	T01a 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 福一誠(立教大学)	13:00	U01a 重力場中における光の全曲がり角の新たな定義と宇宙定数による光の曲がりへの応用 荒木田英禎(日本大学)
09:42	T02a ケンタウルス座銀河団中心領域における高温ガスの元素組成比 福島光太郎(東京理科大学)	13:12	U02a 銀河スピン分布 III: SDSS 銀河サンプルの双極子異方性 家正則(国立天文台)
09:54	T03a 銀河団ガスの鉄のアバンドランスの赤方偏移依存性 米山理可子(東京理科大学)	13:24	U03a 重力レンズクエーサーで切り拓く小スケール宇宙論 - レンズングパワースペクトルの測定 - 井上開輝(近畿大学)
10:06	T04a 大質量銀河団サンプル(CLASH)を用いた冷却コアの系統解析 上田周太郎(ASIAA)	13:36	U04a 銀河・ハローの相関関数に現れる重力赤方偏移効果とその検出可能性 樽家篤史(京都大学)
10:18	T05a 銀河団のガス質量比 - ガス温度関係とそのばらつきについて 松下友亮(大阪大学)	13:48	U05a 光子 = 「始粒の交互配列二重鎖構造・自力走行体」のモデルで考える光子の屈折・反射・干渉挙動 藤原ケイ
10:30	T06a Optically-detected galaxy clusters in the AKARI North Ecliptic Pole field Ting-Chi Huang (SOKENDAI/JAXA)	14:00	U06a 原子核はどのようなものであるか、とその検証方法 小堀しづ
10:42	T07a Dilution 効果を軽減する弱重力レンズ銀河団検出法の開発と HSC サーベイ初年度データへの応用 浜名崇(国立天文台)	14:12	質疑応答(10分)
10:54	T08a HSC-SSP 領域内の可視光で選択された衝突銀河団の X 線フォローアップ計画(3) 田中桂悟(金沢大学)		
11:06	T09a HSC-SSP サーベイ領域 Weak Lensing 銀河団の X 線フォローアップ計画(7) 作田皓基(名古屋大学)		
11:18	T10a BARYON BUDGET IN THE XXL CLUSTERS III 秋野大知(広島大学)		
11:30	質疑応答(10分)		

V1. 観測機器 (電波)

3月18日(木) 午前・D会場		3月18日(木) 午後・D会場	
09:30	V101a Update on ALMA Operations and Development Program – Spring 2021 Alvaro Gonzalez (NAOJ)	13:00	V111a SKA プロジェクトへの参加計画 3 小林秀行 (国立天文台)
09:42	V102a Demonstration of a Millimeter-wave Multibeam Receive Implemented with Superconducting MMICs Wenlei Shan (NAOJ)	13:12	V112a SKA プロジェクトに向けた科学検討 4 赤堀卓也 (国立天文台)
09:54	V103a 325–500 GHz 帯誘電体材料評価システムの開発と評価 坂井了 (国立天文台)	13:24	V113a SKA プロジェクトに向けた技術検討状況 河野裕介 (国立天文台)
10:06	V104a パブリッククラウドを活用したアルマ望遠鏡データのアーカイブおよび解析処理の実証実験 森田英輔 (国立天文台)	13:36	V114a 広帯域受信機のための高温超伝導マルチバンド帯域通過フィルタの検討 關谷尚人 (山梨大学)
10:18	V105a The Next Generation Very Large Array – Spring 2021 伊王野大介 (国立天文台)	13:48	V115a 広帯域フィードの開発 (XIX: 終句) 氏原秀樹 (情報通信研究機構)
10:30	V106a スパースモデリングによる画像合成と天体構造の関係 中村友音 (日本女子大学)	14:00	V116a 大学 VLBI 連携観測事業の現状と将来計画 藤沢健太 (山口大学)
10:42	V107a ミリ波補償光学の開発 V. 野辺山 45 m ミリ波望遠鏡における開口面干渉法波面センサの実証実験 田村陽一 (名古屋大学)	14:12	V117a 高萩/日立 32m 電波望遠鏡の整備状況 2021A 米倉覚則 (茨城大学)
10:54	V108a 南極テラヘルツ干渉計による原子輝線の観測計画 松尾宏 (国立天文台)	14:24	V118a 臼田 64m 鏡を用いた L 帯 OH 輝線観測にむけた整備 山本宏昭 (名古屋大学)
11:06	V109a テラヘルツ強度干渉計用光子計数型検出器のための 0.8 K 小型吸着式冷凍器の開発 丹羽綾子 (筑波大学)	14:36	V119a 次世代太陽風観測のための汎用デジタルフェーズドアレイ装置の開発 岩井一正 (名古屋大学)
11:18	V110a 超伝導ミキサ素子によるダストプラズマのテラヘルツ波ヘテロダイン分光診断 前澤裕之 (大阪府立大学)	14:48	V120b 野辺山 45m 電波望遠鏡における 3 帯域同時 VLBI 観測システム構築と試験観測 堤稔喜 (山口大学)
11:30	質疑応答 (10 分)	14:48	V121b VLBI 将来計画ワーキンググループ検討報告 新沼浩太郎 (山口大学)
		14:48	V122b JAXA 深宇宙探査用 54m 地上局の完成 村田泰宏 (宇宙航空研究開発機構)
		15:00	質疑応答 (10 分)

V1. 観測機器

3月19日(金) 午前・D会場		11:30	V135b 1.85 m 電波望遠鏡の新制御システム開発および CO($J=2-1,3-2$) の同時OTF観測 松本健(大阪府立大学)
09:30	V123a 野辺山 45m 鏡 7ビーム 3 帯域両偏波受信機の開発 I: 目的 立松健一(国立天文台)	11:30	V136b FPGA のみで実現するシングルチップ電波分光計: 2. PYNQ-Z1 による分光計 (600 MSaps, 6 bit, 512 ch) の実装 西村淳(大阪府立大学)
09:42	V124a 野辺山 45m 鏡 7ビーム 3 帯域両偏波受信機の開発 II: 受信機概要 長谷川豊(大阪府立大学)	11:42	質疑応答(10分)
09:54	V125a FPGA のみで実現するシングルチップ電波分光計: 1. 基礎概念と PYNQ-Z1 の性能限界: 60 GSaps 1 bit ADC の試験的な実装と評価 西村淳(大阪府立大学)	3月19日(金) 午後・D会場	
10:06	V126a FPGA のみで実現するシングルチップ電波分光計: 3. PYNQ-Z1 による分光計 (600 MSaps, 6 bit, 512 ch) の実証試験: 性能評価と試験観測 松本健(大阪府立大学)	13:00	V137a POLARBEAR 実験の観測における半波長板の特性評価 高倉理(Kavli IPMU)
10:18	V127a 1.85m電波望遠鏡による 230GHz,345GHz 帯CO同位体 6 輝線同時観測のファーストライト 増井翔(大阪府立大学)	13:12	V138a POLARBEAR-2/Simons Array 実験 - 観測サイトでの観測機器準備状況 長谷川雅也(KEK 素粒子原子核研究所)
10:30	V128a SIS 受信機に付加される信号発生器(SG)由来の過剰雑音の原因 横山航希(大阪府立大学)	13:24	V139a POLARBEAR-2 実験における温度モニターデータを用いた較正手法の開発 田邊大樹(総合研究大学院大学)
10:42	V129a 南極 30cm サブミリ波望遠鏡計画 久野成夫(筑波大学)	13:36	V140a CMB 偏光観測衛星 LiteBIRD 概念検討の進展 小栗秀悟(宇宙航空研究開発機構)
10:54	V130a 南極 30cm サブミリ波望遠鏡 受信機広帯域化 瀧口風太(筑波大学)	13:48	V141a スケールモデルを用いた LiteBIRD 低周波望遠鏡の広視野での偏光角の測定 高倉隼人(東京大学/宇宙航空研究開発機構)
11:06	V131a 南極 30cm サブミリ波望遠鏡用光学ポインティングシステムの開発 小山徹(筑波大学)	14:00	V142a 宇宙マイクロ波背景放射 B モード偏光観測衛星 LiteBIRD における宇宙線による影響の評価 富永愛侑(東京大学/宇宙航空研究開発機構)
11:18	V132b 野辺山 45m 鏡 7ビーム 3 帯域両偏波受信機の開発 III: 光学系 山崎康正(大阪府立大学)	14:12	V143a NASCO 計画の開発進捗: 受信機の改修による 5ビーム同時観測の実現 松英裕大(名古屋大学)
11:18	V133b 野辺山 45 m 鏡 7ビーム 3 帯域両偏波受信機の開発 IV: 導波管回路 増井翔(大阪府立大学)	14:24	V144a NASCO 計画の開発進捗: 試験観測による性能評価 西岡丈翔(名古屋大学)
11:18	V134b 南極 30cm サブミリ波望遠鏡のデジタル分光計の整備 八嶋裕(北海道大学)	14:36	V145b NASCO 計画の開発の進捗: データリダクションソフトの開発 山田麟(名古屋大学)

V2. 観測機器 (光赤外・重力波・その他)

14:36	V146b 多ビーム軸対称双反射鏡アンテナの中心ビーム開口能率 永井誠 (国立天文台)	3月16日 (火) 午前・D会場
14:36	V147b 多色サブミリ波カメラ用多段型多孔質膜赤外線フィルターの開発 長沼桐葉 (電気通信大学)	09:30 V201a SuMIRe-PFS[21]: プロジェクト概要と装置開発進捗状況まとめ 2021年春季 田村直之 (東京大学 Kavli IPMU)
14:48	質疑応答 (10分)	09:42 V202a MOIRCS に搭載された広帯域高効率な新グリズムの開発と性能評価 田中堯 (国立天文台)
		09:54 V203a 近赤外高精度視線速度測定のための地球大気吸収線の影響評価 笠木結 (総合研究大学院大学)
		10:06 V204a TMT 計画 - 進捗報告 臼田知史 (国立天文台)
		10:18 V205a TMT 計画 - 超大型望遠鏡本体の製造その2 齋藤正雄 (国立天文台)
		10:30 V206a TMT 計画 - 主鏡セグメントの量産 IV 大屋真 (国立天文台)
		10:42 V207a 東京大学アタカマ天文台 TAO 6.5m 望遠鏡計画 現地建設進捗状況 宮田隆志 (東京大学)
		10:54 V208a 木曾 Tomo-e Gozen の広域動画サーベイのデータ公開に向けた開発 酒向重行 (東京大学)
		11:06 V209a 光赤外線大学間連携事業の活動報告 山中雅之 (京都大学)
		11:18 V210b Hyper Suprime-Cam Legacy Archive 田中賢幸 (国立天文台)
		11:18 V211b 近赤外高分散分光器 ESPRIT 搭載の検出器駆動と冷却システムの開発 神原歩 (東北大学)
		11:30 質疑応答 (10分)

V2. 観測機器

3月16日(火) 午後・D会場		3月17日(水) 午前・D会場	
13:00	V212a 系外惑星トランジット観測のための可視4色同時撮像装置 MuSCAT3 の開発 福井暁彦(東京大学)	09:30	V223a SPICA(次世代赤外線天文衛星): 検討中止の経緯とこれまでの成果 山村一誠(宇宙航空研究開発機構)
13:12	V213a 南アフリカ望遠鏡用近赤外高分散分光器の開発: 装置概要と進捗状況 高橋葵(アストロバイオロジーセンター)	09:42	V224a 将来計画に向けた無冷媒冷却方式による赤外線望遠鏡の熱検討 鈴木仁研(宇宙航空研究開発機構)
13:24	V214a 高コントラスト観測システムテストベッド EXIST の開発 2 米田謙太(北海道大学)	09:54	V225a 冷却宇宙望遠鏡を構成する低温要素技術開発 東谷千比呂(宇宙航空研究開発機構)
13:36	V215a 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 小池隆太(北海道大学)	10:06	V226a SPICA 搭載中間赤外線観測装置 SMI: Phase-A 技術開発・検討結果報告 和田武彦(宇宙航空研究開発機構)
13:48	V216a 大型低温重力波望遠鏡 KAGRA: 全体報告 阿久津智忠(国立天文台)	10:18	V227a 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)
14:00	V217a スペース重力波望遠鏡 LISA のための機器開発: フォトレシーバ 和泉究(宇宙航空研究開発機構)	10:30	V228b 中間赤外線アレイ検出器の高精度較正に向けた全素子のスペクトル感度評価 土川拓朗(名古屋大学)
14:12	V218a 超伝導カロリメータを用いた低温下の星間分子計測実験(2) 須田博貴(東京都立大学)	10:30	V229b 中間赤外線で高感度・広帯域分光を実現するためのプリズム表面加工精度測定 榎木谷海(総合研究大学院大学/宇宙航空研究開発機構)
14:24	V219a LOPYUTA 計画 (Life-environmentology, Astronomy, and Planetary Ultraviolet Telescope Assembly) の検討 土屋史紀(東北大学)	10:30	V230b 中間赤外線用 Immersion grating の開発: 極低温での低抵抗 / 高抵抗型 CdZnTe の吸収係数評価 前嶋宏志(宇宙航空研究開発機構/東京大学)
14:36	V220a 深宇宙における宇宙背景放射観測に向けた可視光近赤外線望遠鏡の開発 佐野圭(金沢大学)	10:42	V231b Solar-C (EUVST) 主鏡アセンブリ設計進捗 末松芳法(国立天文台)
14:48	V221b 金属蒸着アルミニウム鏡の異種金属接触腐食による反射率低下現象の検証 佐野圭(金沢大学)	10:42	V232b Solar-C (EUVST): EUVST 構造設計の進捗報告 原弘久(国立天文台)
14:48	V222b 宇宙赤外線背景放射観測ロケット実験 CIBER-2: 感度較正光源の評価 橋本遼(関西学院大学)	10:42	V233b Solar-C(EUVST) 光学設計の最新状況および公差解析結果報告 川手朋子(核融合科学研究所)
15:00	質疑応答(10分)	10:54	V234b Solar-C (EUVST) 海外機関担当コンポーネントの検討状況 永田伸一(京都大学)

V3. 観測機器 (X線・ γ 線)

10:54	V235b 超高精度太陽センサ「UFSS」: Solar-C (EUVST) に向けた試作品によるバイアス誤差補正法の検討 鄭祥子 (宇宙航空研究開発機構)	3月16日 (火) 午前・E会場
10:54	V236b SUNRISE-3 大気球太陽観測実験: 高精度近赤外線偏光分光装置 SCIP による高速偏光変調・偏光復調の同期精度の検証 久保雅仁 (国立天文台)	09:30 V301a 多重化コード化マスクの導入による MIXIM の有効面積拡大 (2) 石倉彩美 (大阪大学)
11:06	V237b 国際大気球太陽観測実験 SUNRISE-3 : 近赤外線偏光分光装置 SCIP の光学アラメント・光学性能評価 川畑佑典 (国立天文台)	09:42 V302a 可視光用微小ピクセル CMOS 検出器の荷電粒子に対する応答評価 朝倉一統 (大阪大学)
11:18	質疑応答 (10分)	09:54 V303a CMOS イメージセンサを用いた硬 X 線撮像偏光計の開発 IV 畠内康輔 (東京大学)
3月17日 (水) 午後・D会場		10:06 V304a HiZ-GUNDAM に向けた CMOS イメージセンサの高速読み出しシステムの開発 荻野直樹 (金沢大学)
13:00	V238a JASMINE 計画の全体概要と進捗 郷田直輝 (国立天文台)	10:18 V305a 高温塑性変形技術を用いた Si 湾曲ブラッグ反射型偏光計の開発 内野友樹 (東京都立大学)
13:12	V239a 国産 InGaAs 近赤外イメージセンサーの宇宙用化と、JASMINE 計画への適用検討 鹿野良平 (国立天文台)	10:30 V306a 湾曲 Si 結晶を用いたブラッグ反射型偏光計の偏光性能評価 (2) 芳野史弥 (中央大学)
13:24	V240a JASMINE 望遠鏡の基本パラメータ再設定 片坐宏一 (宇宙航空研究開発機構)	10:42 V307a 像再構成型 X 線光学系に用いる前置スリットの開発 鈴木瞳 (東京都立大学)
13:36	V241a JASMINE 望遠鏡新規光学系設計検討 鹿島伸悟 (国立天文台)	10:54 V308a ALD 技術を取り入れた全反射鏡の開発および X 線反射率測定による性能評価 武尾舞 (東京都立大学)
13:48	V242a 小型 JASMINE の解析ソフトウェアの構築 山田良透 (京都大学)	11:06 V309a 直入射型補償光学 EUV 望遠鏡によるサブ秒角撮像 北本俊二 (立教大学)
14:00	V243a 国産検出器を搭載した場合の仕様変更と観測データへの影響 矢野太平 (国立天文台)	11:18 質疑応答 (10分)
14:12	V244a Exo JASMINE: JASMINE による系外惑星探査 河原創 (東京大学)	
14:24	質疑応答 (10分)	

V3. 観測機器

3月16日(火) 午後・E会場		3月17日(水) 午前・E会場	
13:00	V310a ロブスターアイ光学系による X 線突発天体検出アルゴリズムの研究 澤野達哉(金沢大学)	09:30	V322a 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 VII 佐藤浩介(埼玉大学)
13:12	V311a 30 m X 線ビームラインを用いたロブスターアイ光学系の地上試験及びシミュレーション 李晋(青山学院大学)	09:42	V323a 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(4) 瀧川歩(名古屋大学)
13:24	V312a Kanazawa-SAT ³ 搭載広視野 X 線撮像検出器フライトモデルの性能評価(2) 橋建志(金沢大学)	09:54	V324a X 線偏光観測衛星 IXPE への参加現状(6) 玉川徹(理化学研究所)
13:36	V313a 速報実証衛星 ARICA のプロジェクト進捗状況(2020 年度後半) 畑泰代(青山学院大学)	10:06	V325a X 線偏光観測衛星 IXPE 搭載 X 線望遠鏡用受動型熱制御素子サーマルシールドの開発(8) 三石郁之(名古屋大学)
13:48	V314a 超小型衛星による、宇宙空間からの太陽中性子の観測(III) 山岡和貴(名古屋大学)	10:18	V326a 軟 X 線から硬 X 線の広帯域を高感度で撮像分光する小型衛星計画 FORCE の現状(11) 森浩二(宮崎大学)
14:00	V315a 明るい X 線源の柔軟な観測を狙う超小型 X 線衛星 NinjaSat 沼澤正樹(理化学研究所)	10:30	V327a SOI 技術を用いた新型 X 線撮像分光器の開発 46: 現在の到達点と今後の開発 鶴剛(京都大学)
14:12	V316a 超小型 X 線衛星 NinjaSat に搭載のガス X 線検出器の開発(2) 武田朋志(東京理科大学/理化学研究所)	10:42	V328a SOI 技術を用いた新型 X 線撮像分光器の開発 47:X 線 SOI ピクセル検出器の SEE 耐性評価 林田光揮(東京理科大学)
14:24	V317a 超小型 X 線衛星 NinjaSat 搭載の高電圧印加/アナログ信号処理基板の開発(2) 吉田勇登(東京理科大学/理化学研究所)	10:54	V329a 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(5) 林田清(大阪大学)
14:36	V318b 超小型 X 線衛星 NinjaSat に搭載する小型で軽量の X 線コリメーターの開発 岩切渉(中央大学)	11:06	V330a XRISM 搭載 Xtend の応答関数の調査(3) 花岡真帆(大阪大学)
14:36	V319b 炭素繊維強化プラスチック(CFRP) への X 線反射面形成法の開発 V 粟木久光(愛媛大学)	11:18	V331a X 線分光撮像衛星 XRISM 搭載 Resolve の開発の現状 VI 石崎欣尚(東京都立大学)
14:36	V320b 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 三石郁之(名古屋大学)	11:30	質疑応答(10分)
14:48	V321b 硬 X 線偏光検出気球実験 XL-Calibur 用 X 線望遠鏡の開発 松本浩典(大阪大学)		
15:00	質疑応答(10分)		

W. コンパクト天体

3月17日(水) 午後・E会場		3月16日(火) 午前・B会場	
13:00	V332a Cherenkov Telescope Array(CTA)計画: 全体報告(19) 山本常夏(甲南大学)	09:30	W01a TeVガンマ線バーストGRB 190829Aの 残光のOff-axisジェットモデルによる理 論的解釈 佐藤優理(青山学院大学)
13:12	V333a CTA 大口径望遠鏡におけるDRS4波形 記録チップのサンプリング時間幅較正 野上優人(茨城大学)	09:42	W02a 若い強磁場中性子星PSR J1208-6238 のX線光度への強い制限 馬場彩(東京大学)
13:24	V334a 高エネルギーガンマ線精密観測実験 GRAINE: 2018年気球実験の最新結 果および次期気球実験の展望 高橋覚(神戸大学)	09:54	W03a FRB 131104 硬X線対応候補天体の Swift/BAT データを用いた再解析 坂本貴紀(青山学院大学)
13:36	V335a 硬X線偏光観測実験XL-Calibur 気球 実験計画 前田良知(宇宙航空研究開発機構)	10:06	W04a MAXI J1820+070のスペクトル・時系 列解析にもとづくハード状態におけるブ ラックホール連星の降着流の性質 河村天陽(東京大学 Kavli IPMU)
13:48	V336a GRAMS 計画 2: MeV ガンマ線観測・ ダークマター探索気球実験 小高裕和(東京大学)	10:18	W05a 矮新星KIC 9406652における、公転軌 道面から傾いた降着円盤の性質の調査 II. super-orbital signals 木邑真理子(理化学研究所)
14:00	V337a 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(CdTe 半導体焦点面検出器の開発) 渡辺伸(宇宙航空研究開発機構)	10:30	W06a 特異なX線トランジェントSwift J0840.7- 3516の観測 志達めぐみ(愛媛大学)
14:12	質疑応答(10分)	10:42	W07a 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 坪野公夫((一社)電波天文学研究会)
		10:54	W08a 定常重力波初検出に向けた低質量X 線連星Sco X-1のX線パルス探索 御堂岡拓哉(東京大学/宇宙航空研究開 発機構)
		11:06	W09a かにパルサーの巨大電波パルスに伴う X線超過の発見 榎戸輝揚(理化学研究所)
		11:18	W10a かにパルサーの巨大電波パルスに伴う X線超過の理論モデル 木坂将大(広島大学)
		11:30	W11b Ray-tracing法に基づく、空間3次元一 般相対論的輻射輸送コードの開発 高橋幹弥(筑波大学)
		11:30	W12b W50/SS 433の構造形成に関する磁気 流体計算IV 大村匠(九州大学)

W. コンパクト天体

11:30	W13b	かにパルサーの巨大電波パルス：X線との相関解析のためのデータベース概要 寺澤敏夫（東京大学/国立天文台）	15:00	W24a	Fast Radio Burst Breakouts from Magnetar Burst Fireballs 井岡邦仁（京都大学）
11:42		質疑応答（10分）	15:12		質疑応答（10分）
3月16日（火）午後・B会場			3月17日（水）午前・B会場		
13:00	W14a	一般相対論的輻射磁気流体計算を用いたカー・ブラックホールへの超臨界降着の研究 内海碧人（筑波大学）	09:30	W25a	重力波事象 S200224ca におけるすばる/HSC での追観測 大神隆幸（甲南大学）
13:12	W15a	How much SNR fallback can invade newborn pulsar wind and magnetosphere? YICI ZHONG (The University of Tokyo)	09:42	W26a	可視光静穏時における矮新星の境界層の X 線観測 中庭望（東京都立大学）
13:24	W16a	爆発的質量放出により駆動される突発天体モデル：可視・紫外域で明るい潮汐破壊現象への適用 宇野孔起（京都大学）	09:54	W27a	マグネター 1E 1547.0-5408 のパルス位相変調における強いエネルギー依存性 牧島一夫（東京大学）
13:36	W17a	Super-Eddington 天体に対する dusty-gas の Hoyle-Lyttleton 降着：角度依存性と定常構造 尾形絵梨花（筑波大学）	10:06	W28a	マイクロクエーサー SS433 からの高エネルギーガンマ線放射 木村成生（東北大学）
13:48	W18a	巨大ブラックホール Sgr A* の強重力場での重力理論の選別 齊田浩見（大同大学）	10:18	W29a	2018 outburst of black hole candidate: MAXI J1727-203 WANG Sili (Tokyo Institute of Technology)
14:00	W19a	一般相対論的輻射圧駆動ブラックホール風の再考 山本凌也（大阪教育大学）	10:30	W30a	「すざく」衛星のデータを用いたブラックホール連星 V4641 Sgr の X 線放射領域の研究 伊藤穂乃花（東京工業大学）
14:12	W20a	回転駆動型パルサーからの角運動量放出について 柴田晋平（山形大学）	10:42	W31a	食を用いた IW And 型矮新星のアウトバースト機構の検証 柴田真晃（京都大学）
14:24	W21a	Mass-gap Mergers in Active Galactic Nuclei 田川寛通（東北大学）	10:54	W32a	高速電波バーストの正体 橋本哲也 (National Tsing Hua University)
14:36	W22a	ULX としての Be 型大質量 X 線連星系 鷹野重之（九州産業大学）	11:06	W33a	MAXI/GSC が検出した 2020 年度後半の突発現象 - ミニアウトバーストの検出 - 根来均（日本大学）
14:48	W23a	Synchrotron Boilers in Embryonic Neutron-Star Wind Nebulae 樫山和己（東京大学）	11:18	W34a	大質量 X 線連星 GX 301-2 における増光時の円盤降着の幾何構造 高橋弘充（広島大学）
			11:30	W35b	Magnetically Arrested Disk の発現条件に関する理論研究 高棹真介（大阪大学）

11:30	W36b	京都大学 3.8m せいめい望遠鏡による矮新星アウトバーストの初期分光観測 反保雄介(京都大学)	14:48	W47a	Binary Black Boles from First Stars: Dependence on Initial Conditions and Stellar Models 谷川衝(東京大学)
11:30	W37b	超臨界磁化中性子星降着流のアウトフロー; 構造と起源の磁気圏半径依存性 井上壮大(筑波大学)	15:00		質疑応答(10分)
11:42		質疑応答(10分)			
3月17日(水) 午後・B会場			3月18日(木) 午前・B会場		
13:00	W38a	ショートガンマ線バーストジェットからの光球面放射の輻射輸送計算 伊藤裕貴(理化学研究所)	09:30	W48a	SS433 ジェット先端領域における宇宙線粒子加速の可能性 酒見はる香(九州大学)
13:12	W39a	The role of the nuclear equation of state on Type-I X-ray burst models 土肥明(九州大学)	09:42	W49a	Swift/XRT の X 線残光の光度曲線を用いた FRB 対応天体の探査 盛顯捷(青山学院大学)
13:24	W40a	r-process 元素の崩壊熱の影響を考慮した中性子星連星合体における Fall-back accretion 石崎渉(京都大学)	09:54	W50a	NICER による単独中性子星 RX J1856.5-3754 の解析 米山友景(大阪大学)
13:36	W41a	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)	10:06	W51a	矮小銀河 IZw18 に存在する超高光度 X 線源の長期変動 善本真梨那(大阪大学)
13:48	W42a	最大質量・半径を適切に予言する中性子星 EoS の探査 渡邊千夏(埼玉大学)	10:18	W52a	電波望遠鏡 CHIME によるショートガンマ線バーストからの残光の観測可能性 鹿内みのり(東京大学)
14:00	W43a	連星中性子星からの放出物質の長期進化とキロノヴァ 川口恭平(東京大学)	10:30	W53a	Binary model による FRB121102 の周期性の解釈 和田知己(京都大学)
14:12	W44a	一般相対論的ボルツマン輻射輸送による超臨界降着流の輻射スペクトル計算 小川拓未(筑波大学)	10:42	W54a	Fast collective neutrino oscillations in core-collapse supernovae and neutron star mergers Milad Delfan Azari (Waseda University)
14:24	W45a	The Post-Breakout Cocoon in Binary Neutron Star Mergers HAMID HAMIDANI (Kyoto University)	10:54	W55a	ブラックホール・中性子星連星合体におけるエネルギー・角運動量相空間上の物質分布 林航大(京都大学)
14:36	W46a	原子中性子星におけるミューオンとそのニュートリノシグナルに与える影響 杉浦健一(早稲田大学)	11:06	W56a	散開星団起源連星ブラックホールの有効スピンパラメータ分布 熊本淳(東京大学)
			11:18	W57a	中性子過剰ウラン同位体の核分裂が r プロセス元素合成に与える影響 西村信哉(理化学研究所)
			11:30		質疑応答(10分)

X. 銀河形成

X. 銀河形成・進化

3月18日(木) 午前・C会場		3月18日(木) 午後・C会場	
09:30	X01a HSC-SSPによる銀河 SED から探る星形成史 杉森加奈子(総合研究大学院大学)	13:00	X13a 赤方偏移 4.6 の大規模構造におけるサブミリ波銀河の性質 三橋一輝(東京大学)
09:42	X02a Galaxy SED Fitting using Nonparametric Star Formation History Model Shuo Huang (The University of Tokyo)	13:12	X14a ALMA Deep Field in SSA22:A near-infrared-dark submillimeter galaxy at $z=4.0$ Hideki Umehata (RIKEN)
09:54	X03a Star Formation Rate Function at $z \sim 4.5$ from Rest FUV to Optical 浅田喜久(京都大学)	13:24	X15a A massive quiescent galaxy confirmed in a protocluster at $z=3.09$ 久保真理子(愛媛大学)
10:06	X04a Search for Optically Dark Infrared Galaxies without Counterparts of Subaru Hyper Suprime-Cam in the AKARI North Ecliptic Pole Wide Survey Field 鳥羽儀樹(京都大学)	13:36	X16a HI Tomographic survey in the SSA22 field (SSA22-HIT) (II): tomographic map at $2.7 < z < 3.55$ 馬渡健(東京大学)
10:18	X05a 分光データに基づく最遠方低光度クエーサーの種族推定 高橋歩美(愛媛大学)	13:48	X17a 大質量銀河団 SPT-CL J0615-5746 に属する CO 分子輝線銀河が示す環境効果による星形成活動の抑制 中野覚矢(名古屋大学)
10:30	X06a A morphological study of galaxies with optical variability selected AGN ZHONG Yuxing (Waseda University)	14:00	X18a Dust, gas, and metal content in star-forming galaxies at $z \sim 3.3$ 鈴木智子(東北大学/国立天文台/University of Groningen)
10:42	X07a The molecular gas fraction of radio galaxies at $z \sim 5$ Kianhong Lee (The University of Tokyo)	14:12	X19a Relationship between dust distribution and galaxy formation history in SMGs using ALMA 小山紗桜(新潟大学/国立天文台)
10:54	X08a LMT/B4R の初期科学成果: 極高光度サブミリ波銀河の一酸化炭素輝線観測 萩本将都(名古屋大学)	14:24	X20a アルマとハッブル宇宙望遠鏡の協調観測で探る銀河の形態進化 但木謙一(国立天文台)
11:06	X09a 重力レンズクエーサー Cloverleaf における CO($J=3-2$) 輝線の像復元とクエーサー母銀河の分子ガス分布および速度構造 小田川琢郎(上越教育大学)	14:36	X21a 面分光データ MaNGA で探る銀河内部の星形成の銀河形態依存性 小山舜平(国立天文台)
11:18	X10b 重力レンズクエーサー Cloverleaf における 350 GHz 帯分子輝線サーベイ 西村優里(東京大学/国立天文台)	14:48	X22a Identification and Investigation of Interacting Galaxies Using Spatially Resolved Kinematic Indicators Omori, Kiyoaki Christopher (Nagoya University)
11:18	X11b Poor Property of Rest UV Luminosity as a SFR Indicator in High- z Universe 浅田喜久(京都大学)	15:00	質疑応答(10分)
11:18	X12b すばる望遠鏡 HSC 撮像データを用いた、2型 AGN を宿す銀河の形態解析 岩本凌(愛媛大学)		
11:30	質疑応答(10分)		

3月19日(金) 午前・C会場		3月19日(金) 午後・C会場	
09:30	X23a 銀河形成の「ロゼッタストーン」: Hバンドドロップ $z \sim 13$ 銀河探査 播金優一(東京大学/University College London)	13:00	X32a Gaia データに基づく天の川銀河ハローの広域構造の構築 佐藤元太(東北大学)
09:42	X24a ALMA 微細構造線と電離平衡モデルを用いた($z > 6$) BPT 図の推定 菅原悠馬(国立天文台/早稲田大学)	13:12	X33a 銀河系矮小銀河ダークマター密度分布の多様性 林航平(東北大学)
09:54	X25a 重力レンズ効果を考慮した回転円盤モデルフィッティングコードの開発 徳岡剛史(早稲田大学)	13:24	X34a ダークマターサブハロー衝突によるダークマター欠乏銀河の形成過程 大滝恒輝(筑波大学)
10:06	X26a Dust at high redshift; an observational perspective Tom Johannes Lucinde Cyrillus Bakx (Nagoya University)	13:36	X35a Dark Matter Sub-halo の衝突頻度計算 数野優大(筑波大学)
10:18	X27a The ALPINE-ALMA [CII] survey: Dust attenuation properties and obscured star formation at $z \sim 4.4-5.8$ Fudamoto Yoshinobu (Waseda University)	13:48	X36a Age dating the Galactic Bar with the nuclear stellar disk and BPX bulge 馬場淳一(国立天文台)
10:30	X28a [CII] Halo in the early Universe 藤本征史 (Cosmic Dawn Center, Niels Bohr Institute)	14:00	X37a 銀河中心領域の質量分布変化が内部バー構成軌道群に与える影響の解析 中津野侃貴(東京大学)
10:42	X29a すばる望遠鏡/HSC による $z=7.3$ Ly α 光度関数と宇宙再電離への制限 五島雛子(東京大学)	14:12	X38a [OIII] 輝線比によるブラックホール理論モデルへの制限 井上茂樹(筑波大学/国立天文台)
10:54	X30a Ly α Luminosity Function at $z=1.9-3.5$ determined by the HETDEX Survey Yechi Zhang (The University of Tokyo)	14:24	X39a 超新星残骸の時間発展を考慮した超新星フィードバックモデルの構築 奥裕理(大阪大学)
11:06	X31a Do UV-bright galaxies universally have a Ly α halo? 日下部晴香 (University of Geneva)	14:36	X40a AGN Feedback Model for Galaxy Simulation Abednego Wiliardy (Osaka University)
11:18	質疑応答(10分)	14:48	X41a 原始銀河団領域での星形成・化学組成比進化 福島啓太(大阪大学)
		15:00	X42a 超矮小銀河の s 過程元素生成について 垂水勇太(東京大学)
		15:12	質疑応答(10分)

Y. 天文教育・広報普及・その他

3月17日(水) 午前・H会場		3月17日(水) 午後・H会場	
09:30	Y01a インターネット天文学辞典：利用状況調査に基づく運用・コンテンツの改良 縣秀彦(国立天文台)	13:00	Y12a 岡山天体物理観測所乾板データアーカイブ構築の進捗 根本しおみ(有限会社天窓工房)
09:42	Y02a 高等学校「課題探究型授業」における天文分野の調査結果 石田光宏(横浜市立戸塚高等学校)	13:12	Y13a 市民科学による「長野県は宇宙県」の近代天文学史 100年の構築に向けて 大西浩次(長野工業高等専門学校)
09:54	Y03a 高校生向け天文学実習「銀河学校」のオンライン実施報告 坂井郁哉(NPO法人サイエンスステーション/東京大学)	13:24	Y14a 行方不明だった1887年の内務省回収分の日食観測記録の発見 福島薫(川崎天文同好会)
10:06	Y04a 今年はおうちで特別公開 ～野辺山特別公開2020～ 衣笠健三(国立天文台)	13:36	Y15a 緯度観測所と水沢の公立女学校 馬場幸栄(一橋大学)
10:18	Y05a 科学ライブショー「ユニバース」オンライン上演の実施報告 亀谷和久(国立天文台)	13:48	Y16a 明治初期の教科書における天文学の記述 玉澤春史(京都市立芸術大学/京都大学)
10:30	Y06a 木星・土星“超”大接近観測プロジェクト：惑星で星空視力大実験!!! 内藤博之(なよろ市立天文台)	14:00	Y17a 歴史資料からたどる江戸時代の天文遊歴家朝野北水の活動範囲 陶山徹(長野市立博物館)
10:42	Y07a Raspberry Pi High Quality Cameraによる夜空の明るさ測定可能性 小野間史樹(星空公団)	14:12	質疑応答(10分)
10:54	Y08b 学習投影における博学連携の課題と可能性－平塚市博物館を事例として－ 石井菜摘(東京学芸大学)		
10:54	Y09b 「長野県は宇宙県」キーワードラリー2020 衣笠健三(国立天文台)		
10:54	Y10b 東京学芸大学の新しい40cm鏡と制御システムの開発1 川崎優太(東京学芸大学)		
11:06	Y11b 国立天文台天文データセンターが運用する多波長データ解析システム利用状況 亀谷和久(国立天文台)		
11:18	質疑応答(10分)		

予稿ページ

Z101a 機械学習を使用したすばる Hyper Suprime-Cam 超新星のタイプ分類

高橋一郎, 田中雅臣 (東北大学), 鈴木尚孝, 安田直樹, 吉田直紀 (東京大学), 木村昭悟, 上田修功 (NTT コミュニケーション科学基礎研究所), 冨永望 (甲南大学)

近年の観測技術の進歩により、超新星の発見数は急速に増加している。2016 年 11 月から 2017 年 4 月にかけて実施されたすばる望遠鏡/Hyper Suprime-Cam (HSC) による COSMOS 領域での超新星サーベイでは、1824 の超新星候補が発見された。これらの中から大型望遠鏡での分光などの追観測を行うべき超新星を効率的に選択するためには、測光データのみから超新星タイプの迅速かつ正確な分類が必要となっていた。

そこで我々は機械学習 (ディープニューラルネットワーク) を使用した超新星のタイプ分類器を開発した。この分類器には実際に観測された測光データが直接入力されるため、複雑な前処理を必要としない。シミュレートされた超新星の測光データで学習した分類器を変光天体のタイプ分類チャレンジ (PLAsTiCC) の公開データセットの一部でテストしたところ、この分類器の 2 値分類 (Ia 型か否か) における成績は ROC 曲線の AUC で 0.996 となり、3 クラス分類 (Ia 型、Ibc 型、または II 型) では 95.3 % の精度を示した。この分類器を実際の HSC 超新星サーベイデータに適用したところ、2 値分類で AUC は 0.925 となった。また、2 値分類における入力次元数 (観測期間の長さ) の影響についても調査したところ、超新星の最初の検出から 2 週間分のみのデータで 78.1 %、完全なデータセットでは 84.2 % の分類精度となり、分類器は実際のサーベイデータにおいても追観測対象を選択するのに十分な分類性能を備えていることを確認した。本講演では、超新星タイプ分類への機械学習の応用の可能性について議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Z102a 深層学習による欠損データを含む測光的赤方偏移推定

西澤淳 (名古屋大学)

イメージング観測で天体までの宇宙論的な距離を推定するには、測光的赤方偏移という手法が主に用いられている。これは広帯域、あるいは中間・狭帯域フィルターで観測された多色フラックスの情報から、天体の赤方偏移を推定する。古典的には、観測された多色のフラックスを、理論テンプレートから予言されるフラックス (色) と照らし合わせて、最も適合のよいテンプレートを赤方偏移と同時に探索する方法である。

しかしながら、理論テンプレートの不完全性により古典的な方法の精度には限界があるばかりでなく、近年の膨大な観測データに多次元の理論パラメータをフィットするには多大な時間を要することから、機械学習による方法が用いられるようになってきた。

本公演では、基本的なニューラルネットである MLP (多層パーセプトロン) によって、天体の赤方偏移を確率密度関数として推定する。実際の観測では、天候条件やサーベイの進行度合いによって、全色のフラックスが揃わない場合が想定される。本手法では、このような一部欠損データがあった場合に、入力時ドロップアウトを行うことで、過学習を回避することで安定した推定を実現する。最後に、弱重力レンズ効果の宇宙論解析で重要となるアウト라이어 (推定を劇的に間違える天体) を機械学習により発見する方法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](#)

Z103a 機械学習による遠方銀河の形態パラメータ推定 II

馬屋原拓也, 澁谷隆俊, 三浦則明 (北見工業大学), HSC Project 264 メンバー

銀河形態の定量化は銀河研究において重要であるが, Sérsic profile fitting などの従来の形態パラメータ測定方法では一天体につき数十秒の測定時間が掛かるため, $\sim 100 - 1000$ 万個の大量の銀河を効率的に解析することは困難である. 我々は, すばる望遠鏡 Hyper Suprime-Cam (HSC) 探査データの画像から銀河の形態パラメータを高速に推定する機械学習ソフトウェアの開発を進めている. 畳み込みニューラルネットワークに数万枚の銀河画像を教師データとして入力することで, 半光度半径 r_e , Sérsic 指数 n , 軸比 q などの形態パラメータを従来手法の数百-数千倍の速度で推定することができた (2019 年秋季年会 X24b). さらに我々はソフトウェアの改良を行い, Point Spread Function (PSF) 画像の入力機構をネットワークに付け加えた. 銀河形態と天体の広がり具合を画像から同時に学習することで, PSF 画像を用いないソフトウェアに比べて, 高い精度で形態パラメータを推定することができた. また, 機械学習ソフトウェアと HSC 探査データから得られた赤方偏移 $z \sim 1 - 2$ の r_e -星質量関係は, ハッブル宇宙望遠鏡の高解像観測の結果と良く一致することも分かった. 改良後のソフトウェアは, シーイングの異なる天域の銀河に対しても高速に形態パラメータを推定することが可能であり, 将来の地上広領域探査データへの応用が期待できる. 本講演では, 機械学習ソフトウェアの構成, 性能, 現状の課題などを詳しく紹介する.

[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](#)

Z104a Subaru Hyper Suprime Cam での重力レンズノイズ除去のための深層学習

白崎正人 (国立天文台・統計数理研究所), 吉田直紀 (東京大学), 池田思朗 (統計数理研究所), 大木平 (千葉大学), 西道啓博 (基礎物理学研究所)

すばる望遠鏡に設置された大型カメラ Hyper Suprime Cam (HSC) が活躍中である. HSC の広い観測視野と高い結像性能を生かしたサイエンスとして, 遠方銀河の弱い重力レンズ効果の測定が進められている. 重力レンズ効果とは, 遠方天体の像が, 観測者と天体の間にある重力源により歪められる現象である. 宇宙大規模構造の重力レンズ効果により遠方天体の像はコヒーレントに歪んでいるが, 個別の天体への影響は数%の歪みしかない. よって多数の銀河の統計解析によりコヒーレントな歪みのパターンを捉え, 宇宙大規模構造の重力レンズ効果を測定する. この測定により, 視線方向に投影した物質分布の地図が得られ, 重力レンズマップと呼ばれる. 重力レンズマップには主に個々の銀河が元々円形でない事から生じるノイズが含まれる. ノイズの影響を抑えるには, 銀河数密度を大きくすることが当該分野の常識である.

本講演では, 観測銀河の数を増やすことなく, HSC での重力レンズマップのノイズを除去する新しい試みとして敵対的生成ネットワーク (Generative Adversarial Network; GAN) を用いた研究を紹介する. 重力 N 体計算に基づいた現実的な HSC 模擬データを訓練データとして GAN を訓練し, GAN によるノイズ除去性能を重力レンズマップの統計量を用いて評価した. GAN によるノイズ除去を用いて, マップのヒストグラムは統計誤差の範囲でノイズ除去できることを確認した. GAN によるノイズ除去の現時点での到達点と問題点を述べる予定である.

[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](#)

Z105a 深層学習 VAE による X 線分光観測からの特徴抽出

岩崎啓克, 一戸悠人, 内山泰伸 (立教大学)

高次元データからの特徴抽出に極めて高い能力を発揮する深層学習が近年急速に発展し、天文学においても深層学習を含む機械学習の技術は重要な役割を担うようになりつつある。天文観測で得られるデータの多くは高次元であり、特に X 線観測では空間、時間、分光の情報が一回の観測から得られる。そのため、超新星残骸などの広がった天体の X 線観測では、分光解析する領域を決めるために特徴的な空間構造を見つける必要がある。我々は、X 線観測からスペクトルに基づいた空間分布を抽出するために、Variational Autoencoder (VAE) とクラスタリングを組み合わせた手法を考案した (Iwasaki et al. 2019)。これまでに *Chandra* 衛星による複数の超新星残骸の観測に適用し、特徴的な空間構造の自動的な抽出に成功した。VAE の誤差関数にはポアソン統計を導入し (Ichinohe & Yamada 2019)、X 線スペクトルデータの特性に適した学習が可能となった。また、深層学習ではモデル内部が何を学習したか解釈の難しい場合も多いが、VAE では潜在変数が表現するスペクトルデータの特徴について解釈が可能である。本手法は X 線観測に限らず他の波長の観測にも適用でき、また空間分布だけでなく時系列変化も扱うことができるため、幅広く応用可能な手法である。本講演では考案した手法と、超新星残骸への適用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](#)

Z106r 深層学習の現在：問題解決の方法論として

岡谷 貴之 (東北大学/理化学研究所)

深層学習は、その性能と方法の異質さの点で他に例を見ない技術である。人に比肩する精度での物体認識、機械翻訳、音声認識など、それまで解けなかった難問のいくつかは、深層学習だけで出来るようになった。深層学習を「多層ニューラルネットワークの誤差逆伝播による学習法」と解釈することは今でも可能だが、近年の急速な発展を経て到達した現在の姿は、それとはかなり違うものになりつつある。今、深層学習で1つの問題を解決しようとするとき、その要諦は、問題や入力データの物理的な構造や統計的な性質などを、その構造に反映させたネットワークをうまくデザインできるかにある。デザインする対象となるのはニューラルネットワークと呼ぶよりも、「微分可能な演算機構—詳細な演算の中身は、そこに配されたパラメータで決まる—を複数個、入力から出力に至るまで並べて作った1つの計算機構」と呼ぶべきものである。演算機構に埋め込まれたパラメータ群—その数はトータルで何百万~何億、あるいはそれ以上にもなる—を、入出力関係の実例を集めた教師データを忠実に再現するよう、誤差逆伝播+勾配降下法で決定する。この方法論の適用対象は、あらゆる工学・科学の問題に及ぶ可能性がある。以上の実例として、コンピュータビジョン (= 視覚に関する AI) の様々な問題に対し、深層学習がどのように適用されてきたかを説明する。具体的には、物体検出、画質改善、オプティカルフロー推定、多視点画像の対応付け、新規視点画像合成、画像理解などを取り上げる。時間があれば、深層学習の問題点—学習データへの過度の依存が生むショートカット学習の問題など—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](#)

Z107a GALAXY CRUISE と機械学習

田中賢幸(国立天文台), 嶋川里澄(国立天文台), 白田-佐藤功美子(国立天文台), ほか GALAXY CRUISE チーム

現在、すばる望遠鏡 Hyper Suprime-Cam (HSC) を用いたすばる戦略枠プログラムが進行中である。これは空の広い領域を深く、かつ高い空間分解能でサーベイする、ハワイ観測所史上最大の観測プログラムである。この公開データを用いて、国立天文台では「市民天文学」プロジェクト GALAXY CRUISE を進めている。これは銀河の形態、特に衝突・合体をテーマとしたプロジェクトで、一般市民に衝突・合体の過程にいる銀河を見つけてもらうことを主眼としている。SDSS のデータを用いた同様のプロジェクトは今までもあったが、SDSS で見逃されていた衝突・合体の痕跡を、HSC の深い画像では見つけることができる点が大きな特徴である。市民による分類を直接使った銀河サイエンスに加え、これらを教師データとした機械学習を用いることで、さらに大量の銀河を高速かつ正確に分類し、大規模サンプルによる統計解析もすることができる。本講演では GALAXY CRUISE の紹介から、実際に機械学習を適用し 90% を超える分類精度を達成した結果までを議論する。また、2021 年度開始予定のより暗い天体を含めたシーズン 2 や、今後の方針についても触れる。「市民天文学+機械学習」はビッグデータ時代における、大規模データ解析のスタイルの一つであることをお見せしたい。

[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](#)

Z108a cGAN を用いた輝線強度マップからのシグナル抽出

森脇可奈(東京大学)

宇宙論や銀河形成、宇宙再電離現象などの研究では、遠方宇宙の大規模構造の観測が非常に重要となる。輝線強度マッピングという比較的新しい観測手法では、輝線・吸収線シグナルのゆらぎを観測することで、広領域にわたる遠方銀河や銀河間ガスの 3 次元分布データを得ることができる。例えば、次世代望遠鏡 SPHEREx (2023-) では、 200 deg^2 に及ぶ領域で $z = 0 - 5$ の銀河からの可視光輝線ゆらぎを観測する。しかし、こういった観測では前景や背景のコンタミネーションが大きな問題となる。例えば、赤方偏移 1.3 からの水素輝線 ($\text{H}\alpha$ 6563Å) の観測波長 $1.5 \mu\text{m}$ では、赤方偏移 2 からの酸素輝線 ($[\text{OIII}]$ 5007Å) などが混在し、得られる結果の解釈に影響を及ぼし得る。特定の輝線シグナルのみを取り出す手法としては、相互相関を用いるなど様々な手法が考えられているが、いずれも統計的なシグナルの抽出にとどまっており、マップベースでシグナルを分離する手法は確立していない。

そこで我々は、輝線シグナルをマップベースで分離する手法として、条件付き敵対的生成ネットワーク (cGAN) を用いた手法を提案する。本研究では、cGAN の学習データとして、二次ラグランジアン摂動論に基づいたハローカタログ生成アルゴリズムを用いて複数の輝線シグナルが混在したマップを生成し、これに SPHEREx 観測を想定した現実的なノイズを加えた模擬観測マップを用いた。学習を終えた cGAN は特定の輝線マップのピーク位置やパワースペクトルなどを適切に再構築した。さらに、複数の観測波長のデータを与えることでより高い精度で再構築されることがわかった。講演では、学習データとは異なる輝線モデルに対する cGAN の出力 (汎化誤差) についても論じる。

[スケジュール\(セッション毎\)に戻る](#)

[スケジュール\(全体\)に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Z109a 機械学習アルゴリズムを用いた Near-Far 問題の解法

藤田真司, 西村淳, 上田翔汰, 大西利和 (大阪府立大学), 鳥居和史, 宮本祐介, 島尻芳人 (国立天文台), 伊藤篤史 (核融合科学研究所), 川西康友, 吉田大輔, 松尾太郎, 井上剛志 (名古屋大学), 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)

銀河系において分子ガスの距離情報は、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非常に重要なパラメータである。ガスの視線速度と銀河の回転速度より計算される運動学的距離を用いるのが一般的であるが、太陽系円より内側の領域のガスに関しては 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、機械学習アルゴリズムの手法の一つである Random Forest を用い CO の cube データ (位置-位置-視線速度) 内の各 voxel に対し Near 又は Far を判定することによって、野辺山 45m 電波望遠鏡による CO 銀河面サーベイ観測領域内 (銀経 62–10 度, 銀緯 ± 1 度) の全分子ガスにおける運動学的距離の統一的な決定を試みた。教師データとして赤外天文衛星 WISE の HII region カタログのうち距離が既知でかつ分子雲を伴う天体 (~ 数 100 個) を採用し、各 voxel に対して周囲数 10 pixel \times 数 10 pixel \times 数 速度 channel の ^{12}CO ($J=1-0$) 輝度分布をインプットデータとした。その結果、テストデータに対する正答率が 70% 以上の識別器を構築することができた。現在、識別器の精度のさらなる向上に取り組んでいる。この識別器を用い、CO の cube データの全 voxel に距離を割り当てることによって、銀河系を上から見た世界で最も詳細な分子ガス分布が新たに描き出された。本研究により銀河系内の分子雲の統計的性質および銀河構造の研究の進展が期待される。

[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](#)

Z110a CNN による大質量星形成領域に付随する星間ガス構造同定モデルの開発

上田翔汰, 藤田真司, 西村淳, 大西利和 (大阪府立大), 島尻芳人, 宮本祐介, 鳥居和史 (国立天文台), 伊藤篤史 (核融合科学研究所), 竹川俊也 (神奈川大), 金子紘之 (上越教育大/国立天文台), 吉田大輔, 松尾太郎, 井上剛志, 川西康友 (名古屋大), 徳田一起 (大阪府立大/国立天文台)

大質量星形成メカニズムを探る上で、HII 領域が付随する天体を多量に収集し、その性質を統計的に調査することは非常に重要である。HII 領域と関連の深い、光解離領域をトレースする *Spitzer*/GLIMPSE $8\mu\text{m}$ でリング状構造を有する星間ガスは銀河面に多数分布しており、このような構造は周囲との境界が曖昧な構造であることから目視でのみ同定されてきた。そのため、膨大なデータの中から新たなリング状構造を同定するには多大な時間と労力を要する。そこで、我々は深層学習の一つの手法である Convolutional Neural Network (CNN) を用いて Churchwell et al. 2006, 2007 (CH06/07) でカタログ化されている $8\mu\text{m}$ リング構造を教師とした識別器を作成してきた (上田他 2019 秋季年会)。

今回、認識精度をさらに向上させるべく、高温のガス/ダストをトレースする *Spitzer*/MIPSGAL $24\mu\text{m}$ も合わせて学習し、新たなリング状構造識別器を作成した。本モデルを比較的コンタミネーションの少ない銀河面の $l = 18 \pm 1.5^\circ$, $b = \pm 1^\circ$ の範囲に適用したところ CH06/07 のリング状構造を全て検知することに成功した。また、3 万を超えるより大勢の人々の目によってリング状構造を同定した Milky Way Project (MWP, Simpson et al. 2012) のカタログと比較したところ、70% 以上を検出できたことに加え、CH06/07, MWP のどちらにも含まれない、リング状構造候補天体も多数同定された。現在、本モデルが同定するリング状構造が、近傍の星形成領域である Cygnus X や 系外銀河である LMC の星形成領域とよく一致することも確認できつつある。

[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](#)

Z111a 宇宙の大規模構造エミュレーション技術

西道 啓博, 田中 賢 (京大基研), 小林 洋祐 (東大 Kavli IPMU)

宇宙の大規模構造の将来観測データを用いた宇宙論モデル・宇宙論パラメタの決定には、これまでになく高精度の理論テンプレートが必要となる。宇宙論的 N 体シミュレーションは、このような理論予言を与える強力な手法であるが、その計算コストの高さから、観測データと照らしたパラメタ推定に理論テンプレートとして直接利用することは難しい。これを打開する一つの可能性は、統計的手法に基づいたコストの小さいモデルで代替する、いわゆる「エミュレーション」技術である。

我々はダークマターハローの空間分布の統計を宇宙論パラメタ依存性まで含めて再現すべく、大規模な数値シミュレーションデータベースと機械学習を組み合わせたエミュレータの構築を推進している。これまでの取り組みでは、2019 年までに完成した Dark Quest I データベースにより、すばる Hyper Suprime Cam サーベイによる弱重力レンズ効果や Sloan Digital Sky Survey の BOSS-CMASS データセットの銀河クラスタリングの統計解析に耐えうる高速・高精度ソフトウェア “Dark Emulator” を構築した。これを質的にも量的にもアップデートし、将来観測から想定される、より多様な銀河サンプルの統計を高精度に予言すべく、現在 Dark Quest II プロジェクトを推進している。より具体的には、これまで考えていた 6 次元 w CDM 宇宙モデル空間を 9 次元に拡張し、サポートするダークマターハローの最低質量を一桁程度改善することを目標としている。本講演では、Dark Quest II の実現に向けて、特に多次元入力パラメタ空間探索の最適化、統計量を回帰するニューラルネットワークの構築方針に絞って詳しく述べる。

[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](#)

Z112a Application of Machine Learning Classification Methods to the Study of Galaxy Evolution

施文, 竹内 努, 河野 海, Suchetha Cooray (名古屋大学)

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).

In this work, We try applying machine learning algorithms to the analysis of SFMS based on the CANDELS GOODS-S multi-wavelength photometric catalogue (Guo et al. 2013) with 17 wavebands from ultraviolet to mid-infrared wavelengths, with the addition of observations in the mid- and far- IR band with Spitzer and Herschel. We also used the LePhare code (Ilbert et al. 2006) to obtain the photometric redshifts, star formation rates (SFR), and the stellar mass of each galaxy.

The star formation process in galaxies is very complicated, and thus can involve rather high-dimensional data. We try to find the inner pattern and structures in the data with t-SNE and other algorithms. We try to use the statistical methods to analyze the traditional SFMS, as well as to classify galaxy populations on the SFR- M_* - z plane, and determine the number of subclasses. In this talk, we present these 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](#)

Z113a Understanding Galaxy Evolution through Machine Learning

Suchetha Cooray, Tsutomu T. Takeuchi, Kai T. Kono, Shuntaro A. Yoshida (Nagoya U.)

Galaxy evolution is a complicated process that encompasses many physical properties in/around a galaxy (e.g., stellar mass, gas mass, star formation rates, star formation histories, environment). It is still challenging to describe the entangled processes from just the fundamental theory. The studies using observed data have given us the many galaxy scaling laws (e.g., star formation main sequence, Tully-Fisher relation, Faber-Jackson relation, Kennicutt-Schmidt). However, current galaxy surveys provide hundreds of physical quantities for hundreds of millions of galaxies, and characterizing the intricate nature through simple scaling laws is undesirable. There is a need for sophisticated multivariate analysis to simultaneously incorporate all these features to build a unified galaxy evolution theory. In this study, we have identified a universal two dimensional manifold (galaxy manifold) from an 11-dimensional space of luminosities from far ultraviolet to infrared using the latest dimensionality reduction techniques. We find that the manifold explains the traditional evolutionary features (star formation rates and stellar mass), allowing us to parametrize the manifold to derive fundamental equations of galaxy evolution. The found galaxy manifold will be a convenient interface between the galaxy properties and the observed luminosities, facilitating galaxy evolution studies across cosmic time.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Z114a 銀河分布のトポロジー解析

河野海, 竹内努, Suchetha Cooray, 西澤淳, 村上広椰 (名古屋大学)

宇宙大規模構造は Mpc スケールの銀河分布に見られる非一様性であり、銀河団、フィラメント、ヴォイドなどの幾何学的に特徴的な構造から構成されている。宇宙初期揺らぎを種として密度揺らぎが時間発展した結果であり、初期密度場の情報を保持していると考えられているため宇宙論パラメータの制限に用いられる。更に非線形領域では銀河スケールの物理が強くはたらくため、大規模構造とそれを構成する銀河の性質との関連を調べることは銀河物理と環境効果を検証する上でも重要である。

本研究では、SDSS DR12 (Alam et al. 2015) を用いて銀河の空間分布が持つ位相幾何学的情報を抽出することで宇宙大規模構造を解析することを目的としてパーシステントホモロジー群 (PH) の評価を行なった。PH は、パラメータスケールについて遷移するホモロジー群についてのフィルトレーションを構成することで、データ集合の位相幾何学的情報を抽出する。また、逆解析によって特徴量の位置を取得できるため銀河分布解析への応用に適した手法である。本公演では、さらに銀河分布における環境効果を定量化するために RCSED (Chilingarian et al. 2017) の紫外線から近赤外線までの多波長データを用いることで、(銀河分布)+(物理パラメータ) についての二次元パーシステントダイアグラムの構成を行う。

[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](#)

Z115a 銀河画像の高解像度化:圧縮センシングを用いた PSF の逆畳み込み

村田一心 (国立天文台), 竹内努 (名古屋大学, 統計数理研究所)

近年の銀河進化の分野では、空間分解した銀河の性質の調査が主流である。空間分解することで、銀河の形態だけでなく、領域毎の星質量や星形成率までも推定でき、銀河の構造の進化を調査できるためである。しかし、特に地上望遠鏡を用いた観測ではシーイングの影響で遠方銀河を空間分解することは難しい。シーイングが良好な時に取得された画像だけを使用する方法もあるが、複数バンドでの解析を行う場合は空間分解能が悪い画像に合わせる必要がある。一般的に点拡がり関数 (PSF) の逆畳み込みを行えば画像のぼけを補正することはできる。しかしノイズを含む画像においては、フーリエ空間での逆畳み込みは高周波成分を増幅させ、却って画質が悪化する場合が多い。また、実空間上で逆畳み込み処理を行ったとしても、複数バンドの画像の分解能を揃えることは難しい。

そこで本研究では、先見情報を用いて高い空間分解能を実現する画像処理方法を提案する。ここで先見情報とは、銀河のカラー勾配は滑らかであるということである。すなわち、複数バンド間のカラーの全変動を正則化に用いて PSF の逆畳み込みを行う。その有用性を調査するため、WISE 24 μm 帯と Herschel/PACS 100 μm 帯で観測された近傍銀河の画像を用いてシミュレーションを行った。WISE 画像は FWHM = 37.5 arcsec、PACS 画像は 75 arcsec のガウス関数でそれぞれぼかし、最大値の 1% のノイズを付加した。これらの画像に対して本手法を適用した結果、両者の分解能を改善しつつ同程度にできることを確認した。この結果は地上望遠鏡のデータにも容易に適用できるため、様々なサイエンスへの応用も可能である。

[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](#)

Z116a サブミリ波超解像イメージングで空間分解した活動銀河 NGC1068 の中心核構造

戸上陽平, 田村陽一, 谷口暁星, 竹内努, Suchetha Cooray, 河野海 (名古屋大学), 中里剛 (国立天文台), 池田思朗 (統計数理研究所)

本研究ではスパースモデリングに基づく干渉計データのイメージングツール PRIISM (Nakazato et al. 2019) を用いて、ALMA で観測された 2 型セイファート銀河 NGC1068 のデータに対し活動銀河核 (AGN) の超解像イメージングを行った。AGN は中心の超大質量ブラックホールやジェット、ダストトラスなどの構造の空間分布が AGN の統一モデルとして提唱されている。しかし AGN は非常にコンパクトな天体であるために観測的な実証が未だ行われていない。

そのため本研究では NGC1068 の中心領域に対して得られた角分解能 $0''.02$ の ALMA/Band6 (212–265 GHz) のデータと、角分解能 $0''.08$ の ALMA/Band9 (676–690 GHz) のデータを用いてスパースモデリングによる超解像イメージングを行った。その結果、両データにおいて従来の像合成手法である CLEAN では点源状に推定されていた中心領域が、本手法によって空間分解され複数の要素から構成されていることが分かった。これらの新たに分解された構造は、先行研究に加え分解された構造の位置関係や新たに測定したスペクトル指数からそれぞれシンクロトロン放射によるジェットの根元 (Band6) とダストトラスに付随する構造 (Band9) 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](#)

Z117a Analysis of Integral Field Spectroscopic Data as a High-Dimensional Low-Sample Size Data Problem

竹内 努(1,2), 河野 海(1), 中西 康一郎(3), 矢田 和善, 青嶋 誠(4), 石井 晶(5), 江頭 健斗(4) (1 名古屋大, 2 統数研, 3 国立天文台, 4 筑波大, 5 東京理科大)

Current astronomical instruments provide us with overwhelmingly large data on atoms, molecules, ions, and dust in the interstellar medium (ISM) of observed objects, providing quantitative information of their physical condition. However, detailed observations are generally very time-consuming, and it is not easy to map objects to obtain many independently sampled measurements. If we denote the dimension in the wavelength (or frequency) with d and the number of samples with n , we often find that $n \ll d$. Traditionally in astrophysics, such a situation is regarded as an ill-posed problem, and there was no choice but to throw away most of the information in wavelength direction to let $d < n$. Naturally, it is desirable to avoid such a waste of data and make full use of the amount of information. The data with $n \ll d$ is referred to as high-dimensional low sample size (HDLSS), often found in the field of genome analysis, etc. In order to deal with HDLSS problems, a method called high-dimensional statistics has been developed rapidly in the last decade (e.g., Aoshima 2018). Focusing on the evolution of the interstellar medium of the galaxy, we performed a completely new analysis of integral field spectroscopic data of ALMA with high-dimensional statistics. This is indeed a typical example of the HDLSS data in astrophysics. We discuss the current performance of the method and report the first result on this analysis, as well as some potential problems specific to astronomical 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](#)

Z118a 次世代大型サブミリ波望遠鏡の分光観測に向けたデータ科学の応用

谷口 暁星, 田村 陽一 (名古屋大学), 遠藤 光, Stefanie Brackenhoff (TU Delft), 唐津 謙一 (SRON), 竹腰 達哉 (北見工業大学), 河野 孝太郎 (東京大学), 川邊 良平 (国立天文台), 池田 思朗 (統計数理研究所)

サブミリ波帯での大口径 (~50 m) 単一望遠鏡は、宇宙の 3 次元的体積、すなわち広視野・広波長域を一挙に分光撮像可能な望遠鏡として高い注目を集めており、建設計画は世界的な潮流へと発展している (e.g., LST, 河野他 2020 年秋季年会; AtLAST)。現在、科学的要求に応えるための主力装置として、数十から数百 GHz の同時分光を実現する要素技術が開発されつつある (e.g., DESHIMA, Endo et al. 2019a/b; FINER, 田村他 2020 年秋季年会)。一方、分光点数や時間サンプリング点数が桁違いに大きくなるため、データ科学の方法論を観測へ応用することが急務である。実際、地上の望遠鏡観測で必須となる地球大気放射の除去は、多項式フィットによる既存の方法では広帯域観測への適用が難しく、観測感度を制限する原因となる。また、テラバイト級の観測データの扱いも大きな課題である。

本講演では、最新装置開発におけるデータ科学の応用例を紹介する。分光観測データは時間 × 周波数の行列で表されるため、行列を低ランクな背景成分とそれ以外の前景成分に分離する統計的手法群と相性が良い。この際、前景成分、すなわち天体信号の持つ統計的性質に即した手法を選択すれば、様々な観測へ応用できる。従来の分光帯域 (~数 GHz) では、観測感度を向上しつつ大気放射を除去を達成した (Taniguchi et al. 2020)。広帯域では、天体信号が観測帯域に対してスパースである性質や、大気特有のスペクトル形状が利用できる。DESHIMA の広帯域シミュレーションに対する統計的手法の適用も紹介し、数年以内に実現する広帯域観測に向けた展望と課題を述べる。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Z119a 情報理論を用いた突発現象の追跡観測に関する意思決定の自動化

植村誠 (広島大学), 池田思朗 (統計数理研究所), 加藤太一, 野上大作, 磯貝桂介 (京都大学), 前原裕之 (国立天文台)

時間領域天文学において、1 日以下で変動する突発現象の研究は発見直後の迅速かつ適切な追跡観測が重要である。多くの場合、突発現象はその正体について不確実性が高い状態で発見される。望遠鏡のリソースを最大限有効に活用するためには、その不確実性を最も小さくすると期待される追跡観測こそが求められる。こうした問題は統計学で実験計画法と呼ばれ、情報理論がそれに対して有効な枠組みを与える。我々はこの枠組みを利用し、特に激変星など銀河系内の突発現象を対象に、最も適切な追跡観測を自動的に意思決定するシステムを開発している。

本研究では、新星風が形成される極初期や、降着円盤が状態遷移する過程を捉えることを目的に、夜間に発生した正体不明の突発現象に応じて、ロボット望遠鏡が有効な追跡観測を自分で考えて実施するシステムの構築を目指している。現在、対象とする変光星型は新星、矮新星、WZ Sge 型矮新星、ミラ型星、フレア星の 5 種類、選択する追跡観測のモードは色指数を得るための多色撮像、水素の輝線・吸収線等価幅を得るための分光観測、短時間変動の有無を調べるための連続測光の 3 種類がシステムに含まれている。発見時の情報から 5 つの型の確率を機械判別で推定し、不確実性の指標である情報エントロピーを得る。これが最も小さくなることが期待される、すなわち相互情報量が最大となる追跡観測のモードを実施する。2020 年 4 月以降の数十例の突発現象に対して、構築したシステムは専門家による判断とほぼ同等の意思決定ができることを確認した。今後は広島大学かなた望遠鏡での試験運用を開始する予定である。

[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](#)

Z120a MCMC 法における尤度計算量の削減手法

服部公平 (統計数理研究所)

モデルパラメータを MCMC 法によって推定する場合、モデルの尤度を多数回計算する必要がある。モデルの尤度の計算コストが大きい場合、この尤度計算は MCMC 法を用いたベイズ推定のボトルネックとなる。そしてこのボトルネックは、天体数 N が飛躍的に増大する天文学のビッグデータ時代には大きな障壁となる可能性がある。例えば、独立した N 個の天体のデータを用いてモデルの対数尤度を計算する場合を考える。この場合、モデルの対数尤度 $\ln L = \sum_i \ln L_i$ は個々の天体データからの対数尤度の寄与 $\ln L_i$ を足し合わせたものとなるため、天体数 N が増大すれば、それに伴ってモデルの対数尤度 $\ln L$ の計算コストも増加する。さらに厄介な問題は、 $\ln L_i$ に数値誤差 ϵ が付随している場合、 $\ln L$ には $\epsilon \times N$ の誤差が付随することである。 N が小さい場合は実用上問題にならないが、 N が非常に大きい場合には $\epsilon \times N$ が $O(1)$ 以上に大きくなってしまい、正しくベイズ推定を行えなくなってしまう。この問題を避けるためには ϵ を $1/N$ よりも十分小さくする必要があるが、 N が大きいほど ϵ を小さくする必要がある、1 天体あたりの計算コストが増大する。その結果、天体数 N の増加は MCMC の計算コストを二重に増大させてしまう。本講演では、この問題の解決策として尤度の精度と尤度の計算コストのバランスをとる手法を紹介する。また、尤度の数値誤差の影響で MCMC 鎖が局所解にトラップされないための工夫として、尤度を 2 通りの方法で近似計算し、尤度が小さい方を尤度として採用するという手法についても紹介する。これらの手法の応用例として、Gaia DR2 で得られたハロー星の運動データを用いて銀河系恒星ハローの分布関数モデル (力学平衡モデル) と銀河系の暗黒物質の 3 次元密度分布を同時に推定する問題を取り扱う。

[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](#)

Z121r マルコフ連鎖モンテカルロ法 — その特徴, 歴史, 発展

伊庭幸人 (統計数理研究所)

マルコフ連鎖モンテカルロ法 (MCMC) は 1950 年代に分子シミュレーションの方法として生まれてから、長らく物理学の中でのみ使われていたが、1990 年代になってから統計学、とくにベイズ統計における事後分布からのサンプリング法として使われるようになった。その後、WinBugs, Stan などの計算ツールが出現したことで、データ解析の分野で広く普及することとなった。

データ解析への応用では、ひとつの計算手段に過ぎない MCMC よりも、各分野に即したベイズモデリングの仕組みや事例を知ることがより本質的である。その一方で、(1) 特定の問題に対する MCMC のコードを作成することは比較的容易でしばしば高速化が可能、(2) ツールを利用する場合でも MCMC の原理や性質を知っていることは有用、という点から、アルゴリズムとしての MCMC の中身について知ることがそれなりに有意義と思われる。また、(3) データ解析以外でも天文学にとって有用な応用が存在する、という点も潜在的に重要である。

本講演では、まず、数値的最適化とも異なり、(円の面積を乱数で求めるような) 素朴なモンテカルロ法とも異なる MCMC 固有の特徴を説明する。次に、歴史的な展開を意識しつつ、メトロポリス法、ギブス・サンプラー、ハミルトニアン・モンテカルロ法などの主要な技法を導入する。後半では「悪条件の問題をどう扱うか」「多峰性の分布をどう扱うか」という 2 つの視点から、アルゴリズムの発展について述べる。時間があれば、ベイズ統計以外への応用やもうひとつのモンテカルロ法である逐次モンテカルロ法 (粒子モンテカルロ法) についても触れたい。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Z201r 原始惑星系円盤から銀河系内、系外銀河に至る様々な階層での星間化学

○坂井南美

「星間化学」は近年、「星間」とどまらない大きなサイエンスに発展を遂げている。観測技術の著しい発展に伴い、銀河間など大きなスケールから惑星系が形成される小さな場所での化学組成までもが観えてきたからである。これにより、宇宙で起こる化学進化を探るのみならず、様々な化学変化を用いて、物理構造進化をも探ることが可能となった。一方で、異なる元素組成環境での構造形成や、フィラメント構造を介した星形成、原始惑星系円盤のリング構造と惑星形成の関連など、光赤外線/ミリ波サブミリ波観測などによって次々と発見される現象の本質を理解し、化学進化との関係を明らかにするには、センチ波帯での高感度・高分解能観測が必須であることもわかってきた。

ngVLA では、密度上昇に伴って原子雲から分子雲へと進化する過程を直接トレースできる CH 分子や OH 分子のスペクトル線をはじめとして、NH₃ 分子、H₂CO 分子、CH₃OH 分子、など、有機分子進化の鍵となる分子種の重要な遷移のスペクトル線が観測できる。CH や OH 分子は赤外線領域にも遷移があるが、分子雲など密度や温度が低い場所を観測できるのはセンチ波帯のスペクトル線のみである。NH₃ 分子に至っては、センチ波帯が唯一の観測可能波長帯である。また、いずれの分子輝線であっても、惑星形成に伴う化学進化を捉えるには、原始惑星系円盤の最内を見通すことが欠かせないが、ダスト放射の光学的厚みの影響により、ミリ波以下の短い波長帯ではこれが困難となっている。本発表では、ngVLA での観測により可能となる星間化学研究、そしてそれらの意義について議論する。

[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](#)

Z202a ngVLA で探る、原始星エンベロープと円盤の分子組成に対する X 線放射の影響

野津翔太, 坂井南美 (理化学研究所), 野村英子 (国立天文台), Ewine van Dishoeck (Leiden University/MPE), Catherine Walsh (University of Leeds), Arthur Bosman (University of Michigan)

近年の理論・観測研究によると、低質量 Class 0 原始星においても比較的強い (最大光度 $10^{31} - 10^{32} \text{ erg s}^{-1}$ 程度) X 線の放射が示唆され始めている。しかし、これらの強い中心星 X 線放射が周囲のエンベロープ及び円盤のガス組成に与える影響については、詳細な議論がなされてこなかった。発表者らはこれまでに、ガス・ダスト化学反応ネットワーク (e.g., Walsh et al. 2015) に X 線関連の化学反応を加えた上で、低質量 Class 0 原始星周りのエンベロープの詳細な化学構造計算を行い、H₂O や関連分子組成の中心星 X 線放射に対する依存性等を調べてきた。日本天文学会 2020 年秋季年会発表 (P123a) では、原始星の X 線放射が比較的強い ($> 10^{30} \text{ erg s}^{-1}$) 場合、H₂O スノーライン (昇華領域) の内側で X 線由来の光解離反応やイオン・分子反応により H₂O ガス分子組成が減少する ($< 10^{-6}$) 事、及び H₂O スノーラインの外側で X 線由来の光脱離反応により H₂O ガス分子の組成が増加する事が示された。また H₂O ガス分子の破壊に伴い、O 及び O₂ ガス分子の組成が著しく増加し ($\sim 10^{-4}$)、X 線放射の影響が小さい CO と合わせて、酸素原子のほとんどを保持する事が分かった。その後計算を進めた結果、ngVLA にて H₂O スノーラインの指標として空間分布の観測が期待されている NH₃ や CH₃OH についても、強い X 線放射の元で H₂O スノーライン内側付近でのガス組成が大きく減少するなど、X 線放射に対する大きな依存性を示すことが分かってきた。本発表ではこれらの計算結果の詳細を報告すると共に、ngVLA の観測を通じて、原始星エンベロープと円盤の分子組成に対する X 線放射の影響を評価する可能性についても議論を行う。

[スケジュール\(セッション毎\)に戻る](#)

[スケジュール\(全体\)に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Z203a Nitrogen Fractionation in the Protoplanetary Disk around TW Hya

Seokho Lee, Hideko Nomura, Kenji Furuya (NAOJ), and Jeong-Eun Lee (Kyung Hee Univ.)

ALMA observations toward the protoplanetary disk around TW Hya show a nitrogen fractionation of HCN, and the $\text{HC}^{14}\text{N}/\text{HC}^{15}\text{N}$ ratio increases from ~ 120 up to ~ 330 as the distance from the central star increases from 20 AU to 50 AU. We investigate what physical and chemical conditions control the nitrogen fractionation. We developed a new disk model, which includes the isotope-selective photodissociation of molecular nitrogen and isotope-exchange chemical reactions. Our model reproduces the observed HCN column density when the gas phase carbon and oxygen elemental abundance are depleted by two orders of magnitude relative to those in the interstellar medium and carbon is more abundant than oxygen. The isotope-selective photodissociation of N_2 is a dominant nitrogen fractionation process in our models. We can reproduce the observed profile of $\text{HC}^{14}\text{N}/\text{HC}^{15}\text{N}$ ratio, which increases outwards, when the small dust grains in the outer disk atmosphere are more depleted than those in the inner disk atmosphere. This is consistent with the grain evolution models that the small dust grains are continuously replenished in the inner disk due to fragmentation of the large dust grains which are radially drift from the outer disk. Our model predicts that the HCN 1-0 line, observable by ngVLA, could be optically thinner and then be a better tracer of nitrogen fractionation than the HCN 4-3 line, observed by ALMA, especially near the central star (< 20 AU) where planets form.

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

Z204a 原始星円盤におけるダスト成長前線によるリング形成

大橋聡史 (理研), 小林浩 (名古屋大), 仲谷峻平 (理研), 奥住聡 (東工大), 田中秀和 (東北大), 村川幸史 (大阪産業大), Yichen Zhang (理研), Haiyu Baobab Liu (ASIAA), 坂井南美 (理研)

近年、ALMA 望遠鏡の観測によって、Class II 原始星に付随する原始惑星系円盤ではリング構造が普遍的に存在することが明らかになってきた (例えば Andrews et al. 2018)。一方で、円盤構造は Class 0/I のような非常に若い段階から形成されていることが明らかになっており (例えば Tobin et al. 2012, Ohashi et al. 2014)、このような原始星に付随する円盤でも ALMA や VLA の観測によってリング構造を有していることが報告され始めている (Nakatani et al. 2020, Sheehan et al. 2020, Segura-Cox et al. 2020)。そこで本研究では円盤でのダストの付着成長に着目し、ダスト成長によるリング構造の形成可能性を調べた。

円盤のダスト進化計算 (Ormel 2007, Sato et al. 2016) とそれを基に輻射輸送計算を行なった。その結果、ダストの成長時間は乱流、柱密度、温度などに依存せず $t_{\text{grow}} \sim \left(\frac{\Sigma_{\text{g}}}{\Sigma_{\text{d}}}\right) \frac{1}{\Omega_{\text{K}}}$ で見積もることができ、内側から成長していくことがわかった。またダスト成長が進行していく境界 (成長前線) ではミリメートルサイズのダストが存在し、ALMA や VLA の波長帯でリング構造が観測できることが確認できた。成長前線は時間と共に動径方向へと移動していくため、リングの位置は $R_{\text{c}} \sim 0.026 \left(\frac{M_{\star}}{M_{\odot}}\right)^{1/3} \left(\frac{\zeta_{\text{d}}}{0.01}\right)^{2/3} \left(\frac{t_{\text{disk}}}{1 \text{ yr}}\right)^{2/3}$ au と見積もることができる。さらに若い天体 (年齢 $\lesssim 1$ Myr) では、観測されている最遠リングと成長前線が一致していることも明らかにした。

本講演では成長前線によるリングだと考えられる具体例を紹介しつつ、ALMA や VLA での観測の限界と ngVLA による今後の発展についても議論する。

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

Z205a DM Tau 周囲のリング状原始惑星系円盤における弱い非軸対称構造

橋本淳 (アストロバイオロジーセンター), 武藤恭之 (工学院大学), Ruobing Dong (ビクトリア大学), Haiyu Baobab Liu (ASIAA), Nienke van der Marel (ビクトリア大学), Logan Francis (ビクトリア大学), 長谷川靖紘 (JPL), 塚越崇 (国立天文台), 小西美穂子 (大分大学), 工藤智幸 (国立天文台)

DM Tau は、太陽系の惑星の分布と似たような構造を持った原始惑星系円盤を持つ天体である。本講演では、この天体の ALMA による高解像度観測 (空間分解能 35 ミリ秒程度) の結果について主に報告する。この天体の原始惑星系円盤には、中心星から半径 20 天文単位程度のリング構造があることが以前の観測により分かっていた (2019 年春季年会発表、P204a) が、今回新たに得られたデータを含めて詳しい解析をすることにより、新たにそのリングに弱い非軸対称構造が存在していることが示唆された。講演では、この非軸対称性の検出方法について紹介する。さらに、VLA の観測により、ALMA より長い波長域でも同じ場所に非対称構造が存在することが示唆されている。したがって、この円盤においては、リング内でダストが集積・成長している可能性がある。しかし、現状の VLA の観測では、リング構造や非軸対称構造はクリアに捉えることが難しい。ngVLA により、円盤の理解がどの程度進められると期待できるかを考察する。

[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](#)

Z206a 周惑星円盤の ngVLA 観測のモデル計算：ダストの性質への制限

胡博超 (国立天文台/東工大), 野村英子 (国立天文台)

衛星は周惑星円盤から形成されたと考えられている。周惑星円盤中の衛星形成に関する様々な理論的モデルがあるが、周惑星円盤の物理状態に対する観測的制限はほとんどついていない。ここで、木星衛星の氷・岩石比は非一様であることが知られている。周惑星円盤内の水のスノーライン内側の高温領域では、氷は気化して、主に岩石が衛星の材料物質になる。円盤内ダストの温度やサイズに関する情報は、衛星の形成条件を考える手掛かりとなる。近年、高解像度の ALMA 望遠鏡などを使って、たくさんの若い星の周りにある原始惑星系円盤の詳細構造が観測されている。さらに、周惑星円盤に似たような構造も発見された (e.g., Tsukagoshi et al. 2019)。これまでの研究では ALMA 観測を想定して、乱流粘性降着円盤 (Zhu et al. 2018) と照射加熱円盤 (Rab et al. 2019) のミリ・サブミリ波のダスト・ガス放射強度が予測されてきた。本研究では、まず粘性加熱が良く効く周惑星円盤を仮定し、降着率や粘性係数などの物理量を変えて、ngVLA の波長帯で観測可能なダスト放射と COJ=1-0 輝線の放射強度がどのように変化するかを調べた。その結果、約 1 時間の積分時間を仮定した場合、ngVLA によるダスト連続波の観測で、周惑星円盤の質量降着率が $10^{-7} M_J/yr$ 以上や乱流粘性係数 α が 0.01 以下であれば、検出可能であることが示された。また、COJ=1-0 ラインに対して、周惑星円盤の質量降着率が $10^{-5} M_J/yr$ 以上や α が 0.01 以下であれば、検出可能であることが示された。ngVLA の波長帯と ALMA の波長帯のダスト放射の観測を組み合わせることで、周惑星円盤中のダスト温度、吸収係数に強い制限を与えることが期待される。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Z207r ngVLA で観る重力波対応天体

仏坂健太 (東京大学)

2017 年に重力波によって発見された最初の連星中性子星合体 GW170817 では様々な波長でフォローアップ観測が行われた。これによって電磁波で見た連星中性子星合体は多彩な姿を持つことが明らかになった。具体的には高エネルギーではガンマ線バースト、紫外・可視・赤外ではキロノバ、さらに X 線から電波まで多波長で輝くシンクロトロン残光が付随することがわかった。本講演では、まず GW170817 の電波フォローアップ観測によってもたらされた成果に関するレビューを行う。例えば、Very-Long-Baseline Interferometry 観測から電波源は小さな領域から発生していて、超光速運動をしていることが明らかになった。この観測によってシンクロトロン残光の放射源は相対論的に運動するジェットであることが示された。また Very Large Array による長期間フォローアップ観測から得られたシンクロトロン残光の光度曲線から、このジェットがある構造を持っていることがわかった。さらにこれらの観測を組み合わせることによって、ジェットの運動エネルギーがショートガンマ線バーストに付随するジェットと同程度以上のエネルギー $\sim 10^{49}$ erg を持っていることや、ジェットに対する見込み角がおおよそ 25° 程度であることが示された。後者は、重力波を用いたハッブル定数の測定と深く関わっており、電波観測から見積もられた見込み角を用いるとハッブル定数の測定精度を向上させることが可能である。これら GW170817 の電波対応天体に関する研究から得られた経験に基づいて、次世代 VLA によって重力波対応天体に関してどのようなサイエンスが可能になるのかを議論する。例えば、ngVLA では電波フォローアップ観測によって電磁波対応天体を発見できる可能性が高くなる。さらにジェットだけではなくキロノバ残骸から放射される電波の検出も十分可能性があり、ngVLA は GW170817 ではできなかったサイエンスを可能にする。

[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](#)

Z208a Gamma-Ray Burst and Transient Sciences with ngVLA

浦田裕次 (NCU), Kuiyun Huang (CYCU)

マルチメッセンジャー天文学としても重要になったガンマ線バースト (GRB) や他の類似する突発天体現象の電波観測研究について概観する。特に、ngVLA によって格段の進歩が期待される 5 つのトピック ((1) GRB 衝撃波での加速効率 (2) 第一世代星の探査, (3) 大質量星の統一描像の確立, (4) 重力波天体としての short GRB, (5) マルチメッセンジャー天文学における相対論ジェットをもつ突発天体。) について、ALMA などの観測研究の現状と期待についてまとめる。ALMA によって、はじめて GRB の電波残光の偏波が検出され、ファラデー消偏波の測定から加速効率が測定された (Urata et al. 2019 ApJL)。100GHz 帯付近での圧倒的な感度を持つ ngVLA では、多バンドでの偏光測定によって多種多様な GRB に対して加速効率の測定を網羅できる。また、ngVLA が稼働予定である 2030 年代には、初期宇宙で発生する GRB と short GRB を捉えることに特化した 2 つの衛星 (HiZ-GUNDAM, THESEUS) も計画される。これらの衛星は、GRB 発生直後に赤外線で高赤方偏移の残光を捉え位置を速報できるが、単独の残光観測のみで物理パラメータの測定は難しい。圧倒的な感度を持つ ngVLA での残光観測は、初期宇宙で発生する GRB や long GRB よりも暗い short GRB 残光の物理パラメータを測定できる。膨張速度が速い GRB では、セドフフェーズに移行する時間が短いことも期待され、JVLA での萌芽的な観測も行われた。ALMA の母銀河を狙った観測で変光の兆候を見せたイベントもあり、バースト発生後 10~ 数 10 年後のモニター観測により、大質量星爆発の統一描像の確立も期待される。潮汐破壊現象や GRB と同様な相対論的なジェット現象である特異な可視光突発天体は、マルチメッセンジャー天文学に欠かせない天文現象であり、詳細な電波観測は、その理解を格段に進めると期待される (e.g. AT2018cow; Huang et al. 2019 ApJL)。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Z209a 超新星からの電波放射：未知の恒星終末期進化の解明に向けて

前田啓一（京都大学）、松岡知紀, Shiu-Hang Lee, 守屋堯（国立天文台）、野沢貴也, 齋藤智樹（兵庫県立大）、百瀬莉恵子（東京大学）、藤沢健太（山口大学）

近年、大質量星の進化の描像が大きく変わりつつある。可視域での爆発直後からの観測が可能になり、大質量星の多くが超新星爆発直前の数年～数十年にわたり、既存の標準恒星進化理論では予測されない爆発的な質量放出を起こしていることが示唆されている。これは、星周物質の存在が超新星の可視放射に及ぼす影響を通して見積もられているが、そもそも可視域での観測では非常に高密度の星周物質を持つ系に観測バイアスがかかっている可能性があり、また可視光データの解釈にも大きな不定性が内包される。

我々は、星周物質探査の直接的な手段である電波観測を用いて、上記描像の独立検証、可視観測では情報の得られない星周物質のパラメータスペースの探査を目指し、ALMA による近傍超新星の爆発直後からの観測を提案・実行してきた。本講演では、本提案の背景、ALMA で実際にデータを取得した超新星一例についての結果を紹介するとともに、ngVLA を用いた観測の将来展望について議論する。

[スケジュール\(セッション毎\)に戻る](#)

[スケジュール\(全体\)に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Z210b ngVLA を用いたスノーライン前後の原始惑星系円盤構造の模擬観測

奥住聡（東京工業大学）、百瀬宗武（茨城大学）、片岡章雅（国立天文台）

我々の地球をはじめとする岩石惑星（地球型惑星）は、原始惑星系円盤のスノーライン（氷が凝縮する軌道）の内側で形成されると考えられている。近年、スノーラインの前後で固体が濃集するいくつかのメカニズムが理論的に提唱され、これらの効果によって固体天体がスノーライン前後で形成される可能性にも注目が集まっている（e.g., Schoonenberg & Ormel 2017; Drazkowska & Alibert 2017）。しかし、岩石惑星の形成現場である円盤の内側かつ深部の領域は、ALMA をもってしても見通すことができない。スノーラインが具体的に円盤深部のどの位置に存在し、その内側でダストがどのように岩石天体を形成するのかを明らかにするためには、光学的に比較的薄いミリ波・センチ波帯での円盤高分解能撮像を可能にする ngVLA の登場が必要不可欠である。

我々は、ngVLA と既存の ALMA を用いた原始惑星系円盤の多波長撮像観測から、地球型惑星形成領域の円盤熱構造とダスト進化を探る方法論を模索してきた。これまでの検討では、干渉計の角度分解能で粗視化したダスト熱放射分布のモデルを用いて、理論的に予言されているスノーライン前後でのダストの濃集が ngVLA によって撮像可能であること（2020 年春季年会）、ngVLA と ALMA を組み合わせて円盤の温度 2 次元構造の断層撮影が可能であること（2020 年春季年会）を明らかにしている。今回の発表では、有限時間の観測で円盤の興味ある情報を引き出すことが可能かどうかをより正確に検討するため、CASA を用いたモデル輝度分布の撮像シミュレーションを行った。その結果、ngVLA を用いて距離 140 pc の位置にある原始惑星系円盤を周波数 41 GHz, 93 GHz（波長 7 mm, 3 mm）で 4 時間観測することで、スノーライン付近でのダストの濃集を撮像できることを明らかにした。円盤の温度構造の推定可能性についても議論する予定である。

[スケジュール\(セッション毎\)に戻る](#)

[スケジュール\(全体\)に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Z211b ngVLA による原始惑星系円盤の NH₃ スノーラインの観測

古家健次, 野村英子 (国立天文台), 相川祐理 (東京大学)

原始惑星系円盤において分子が凍結・昇華する境界のことをスノーラインと呼ぶ。H₂O, NH₃, CO 等の主要分子のスノーラインを境にガスと固体 (氷+ダスト) の元素組成が大きく変わるため、スノーライン位置の同定とそこでの組成の変化を理解することは、惑星組成を理解する上で必須である。

本発表では ngVLA による原始惑星系円盤の NH₃ スノーラインの観測可能性についてのこれまでの検討結果を紹介する。星形成領域において NH₃ 氷は窒素を含む主要分子であるが、彗星氷には NH₃ 氷が乏しいことが知られている (Mumma & Charnley 2011)。したがって、星惑星形成過程における窒素の物質進化を理解する上で、原始惑星系円盤の NH₃ 観測は極めて重要である。また、NH₃ スノーライン位置の同定は H₂O スノーライン位置の同定と同義である (NH₃ 氷は H₂O 氷と同時に昇華するため) ことから重要である。原始惑星系円盤の物理・化学構造モデル (2020 年春季年会 P201a) を基に分子輝線輻射輸送計算を行った。その結果、地球から 100 pc 程度の距離にある Herbig Ae/Be 型星周りの原始惑星系円盤であれば現実的な観測時間でスノーライン内側 (<10 au) からの NH₃ を検出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](#)

Z212b ngVLA の偏光観測で探る原始惑星系円盤中のダスト成長

植田高啓 (国立天文台), 大橋聡史 (理化学研究所), 片岡章雅 (国立天文台)

原始惑星系円盤の有力な偏光メカニズムの 1 つに、ダスト熱放射のダストによる自己散乱があげられる。この自己散乱は、観測波長とダストサイズが同程度の時に強く生じる。この特性を利用し、これまで ALMA によって、多くの円盤でダストサイズが 100 μm 程度である可能性が指摘されてきた。しかし、ALMA の観測波長では、特に円盤内側領域やリング領域は容易に光学的に厚くなってしまうため、赤道面に沈殿した大きなダストを観測できていない可能性がある。本研究では、HL Tau 周りの原始惑星系円盤において、光学的に厚い領域におけるダスト沈殿の影響を、輻射輸送計算を用いて調べた。計算の中では、ダストサイズに応じて、大きいダストほどより赤道面に沈殿する効果を考慮した。その結果、最大ダストサイズが 1 mm 程度であっても、大きいダストが沈殿で赤道面に隠されることで、観測される偏光強度を再現できることがわかった。一方で、最大ダストサイズが 3 mm を超えると、小さいダストが担う光学的厚みが小さすぎて、観測される偏光強度を再現できなかった。以上の結果から、ダスト沈殿を考慮することで、これまでの ALMA 偏光観測の解釈が大きく変わりうることを示唆される。ngVLA では、波長 3mm を超える長波長での偏光観測を高分解能で行うことで、円盤の赤道面に沈殿する大きなダストを空間的に分解して観測できると期待される。本発表では、HL Tau に加え、HD163296 周りの原始惑星系円盤を例にとり、これまでの ALMA 観測の解析結果を述べた上で、ngVLA によって期待されるダスト成長への制約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](#)

Z213b ngVLA の概要と目指すサイエンス

百瀬宗武 (茨城大・理), 伊王野大介 (国立天文台)

次世代ミリ波センチ波干渉計 (ngVLA) は、米国国立電波天文台 (NRAO) が立案を主導する大型汎用電波望遠鏡計画である。2028 年に初期科学運用の開始、2034 年に本格科学運用の開始をそれぞれ目指しているが、日本国内でもこの計画の一翼を担うための準備活動を 2019 年度から開始した。ngVLA は波長 0.26–25cm において、既存の電波望遠鏡 (JVLA, ALMA) に比べて 1 桁以上高い感度と空間分解能の達成を目指しており、特に電波波長帯におけるダスト、ガス輝線、電離ガスからの熱放射の高解像度観測に威力を発揮する。また、最大基線 10,000km の Long Baseline Array を独立したサブアレイとして用意することで、タイムリーな VLBI 観測の実現も目指す。

ngVLA は汎用型の望遠鏡であり、あらゆる天体現象をターゲットにしようが、特に重要な以下の 5 つを “Key Science Missions” として掲げている。(1) 太陽系に類似した惑星系形成過程の解明、(2) 惑星系・生命圏の初期条件を探るための星間化学、(3) 宇宙時間スケールにおける銀河の構造と進化、(4) 我々の銀河系中心に潜むパルサーを用いた重力理論の検証、(5) 星質量から超巨大質量に至るブラックホールの形成進化。本講演では、装置計画の概要とともに、この 5 つのサイエンスゴールの詳細を紹介しながら、その科学的意義を紹介する。また、同時期に稼働が期待される大型電波干渉計としては ALMA や SKA があるが、これらと ngVLA の稼働波長帯は 5 桁の範囲にわたる。ポスターでは、観測波長やその他の仕様面における ALMA や SKA との違いを踏まえ、お互いのシナジーや共存の意義についても触れる。ポスターセッションにおいては、その他の波長帯における将来装置とのシナジーも含めた質疑、議論を歓迎したい。

[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](#)

Z214r 原子雲・分子雲を貫く星形成

福井康雄 (名古屋大学)

ふつう星は分子雲から生まれると言われる。これは間違いではないが、実際には HI ガスが星形成に深く関与する可能性が高い。星形成の全過程を理解するためには、HI 21 cm スペクトルの高分解能観測が鍵を握る (例 Fukui et al. 2009 ApJ, 705, 144)。まず、分子雲形成の初期には、HI ガスの基本的な相である WNM と CNM の空間分布が重要である。CNM は密度 30 cm^{-3} 以上の低温相であり、高度に粒状に分布して分子雲の種をつくる (Audit & Hennebelle 2005 A&A, 433, 1; Inoue & Inutsuka 2012, ApJ, 759, 35)。CNM の体積占有率は 3% 程度であり、これが形成初期の sub-pc の分子雲となる。sub-pc 分子雲は合体によって大質量の分子雲形成につながる。また、銀河間相互作用は全ての銀河に関わる普遍的過程であり、その特徴は 100 km s^{-1} 程度の超音速 HI ガス流である。大マゼラン雲、M33 等の局所群の大星団等 (例 R 136, NGC 604, M51b) について明らかになったように、10 Myr で HI ガスは柱密度 10^{23} cm^{-2} 以上に圧縮され大質量星形成に直結する。質量 $10^6 M_{\odot}$ 以上の大星団形成において、HI 雲中の水素分子形成は十分には起きず、ガスの冷却率を下げる。これは初期宇宙の低重元素量による低冷却率と類似してジーンズ質量を押し上げ、天体形成の大質量化につながる。以上の過程を貫いて、主な星間雲の質量は HI として存在し、星形成を制御することを再認識したい。CO のみを観測手段とする星形成研究はこれを見落としている危険性が高い。ngVLA による HI 観測に対する期待は大きい。

[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](#)

Z215a 電波干渉計で探るフィラメント状分子雲の形成機構

佐野栄俊 (国立天文台), 徳田一起 (国立天文台 / 大阪府立大学), 山根悠望子, 井上剛志, 犬塚修一郎, 立原研悟, 福井康雄 (名古屋大学)

星形成の場として注目されているフィラメント状分子雲の形成機構解明を目指して、電波干渉計 (ALMA, ngVLA ほか) による高空間分解能 CO/HI 観測を提案する。具体的には、2つの重力崩壊型超新星残骸、または超新星残骸と恒星風バブルに挟まれた分子雲に着目、多重膨張シェル圧縮によるフィラメント状分子雲形成モデル (Inutsuka et al. 2015, A&A, 580, 49) を観測的に検証する。重力崩壊型超新星残骸の中で母天体質量が比較的軽いものは、爆発前に数 100 万年のあいだ恒星風を放出、膨張シェル (恒星風バブル) を形成する。別の大質量星が近くに存在するとき、2つの恒星風バブルは衝突して、その接触面では HI 収束流が生じる。分子雲の形成時間は数 100 万年以上であるから、そこでは十分に分子雲を形成可能である。その後、両方もしくは一方が超新星爆発を起こし、超新星残骸とそれに付随するフィラメント状分子雲として観測されると考えた。これらを踏まえ我々は、重力崩壊型超新星残骸 W28 に着目した。W28 には別の重力崩壊型超新星残骸 G6.5-0.4 が接しており、ほぼ同じ年齢・距離にあることから、本研究対象として適当である。今回我々は ALMA ACA を用いた CO($J=2-1$) 輝線観測 (角度分解能 $\sim 5'' \times 9''$, 空間分解能 ~ 0.06 pc) を行ったので、その初期成果について報告する。観測済みの 127 視野 (全観測予定領域の 7%) を解析した結果、 ^{12}CO , $^{13}\text{CO}(J=2-1)$ それぞれで複数のフィラメント状分子雲を解像することができた。これらフィラメントの幅は 0.1 pc 程度、線質量は $100 M_{\odot} \text{pc}^{-1}$ 程度であり、理論計算結果とも矛盾しない。以上を踏まえ本講演では、ngVLA を用いたこれら研究の発展可能性を論じるとともに、ngVLA 時代に可能になると見込まれる、銀河系および近傍銀河の超新星残骸の研究について展望する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Z216a ngVLA で観る大質量形成：近接連星と熱い円盤

田中圭 (国立天文台), Yichen Zhang (理化学研究所), 元木業人 (山口大学), 坂井南美 (理化学研究所), Jonathan C. Tan (Chalmers University of Technology/University of Virginia), Viviana Rosero (National Radio Astronomy Observatory)

大質量星は強力な輻射や超新星爆発により星間物質に多大な影響を与え、またその死後にはブラックホール、中性子星へと姿を変える天文学的に非常に重要な天体です。大質量星は 80% 超が連星系であり、特に短周期の連星 ($< 数十 \text{au}$) が多いことがよく知られています。しかし、大質量星形成領域は典型的に数 kpc と遠方に存在し、現行の ALMA や VLA では近接連星の形成現場を捉えることは困難です。次世代 Very Large Array (ngVLA) はこの状況を大きく変え、分厚いガス雲に埋もれた原始星ペアを 1-10au 程度まで空間分解することが可能となります。短周期連星のため固有運動も数年スケールで捉えられ、再結合線などによる視線速度の情報と組み合わせることで (e.g., Zhang et al. 2019)、3次元軌道運動も導けると予想しています。大質量原始星は連続波、輝線放射とともに明るくサーベイ観測対象に向いていて、形成段階での連星軌道パラメータ (距離、離心率など) の統計的性質も取得できると考えられます。さらに、約 10au 以内では降着円盤が高温となりダストが蒸発しはじめるため、通常の星間空間ではみられない様々な難揮発性分子 (AlO, FeO など) が気中へ飛び出していきます。実際、近年 ALMA 高分解能観測から大質量原始星近傍において NaCl 分子の検出が数例報告されています (e.g., Tanaka et al. 2020)。これら難揮発性分子は電波帯に多くの輝線を持ち、ngVLA の極めて高い感度であれば多くの情報が得られ、隕石鉱物学にも繋がるダスト蒸発の宇宙化学へと発展することが期待されます。本講演では ALMA 望遠鏡による最新成果を紹介し、その知見を外挿しながら、ngVLA 時代の大質量形成研究について議論します。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Z217a ngVLA を用いた大質量原始星の直接撮像の検討

元木業人(山口大学)、田中圭(国立天文台)

大降着率下で形成される大質量原始星はその成長過程で大きく膨張すると考えられている。最大半径は初期条件/形成環境に依存するが、可視光球で 100 から 1000 太陽半径にも達すると予想される。さらに赤色超巨星と同様、膨張した原始星は低温で電波帯における光球はさらに広がっている可能性が高い。こうした膨張期の原始星は 5 kpc 以内であれば ngVLA の驚異的な分解能と感度によって直接分解撮像できる可能性がある。実際過去にはベテルギウスにおいて可視光球に比べて 5 倍以上広がった電波光球が VLA によって分解撮像されている (Lim et al. 1998)。仮に個別原始星大気の分解撮像が不可能な場合にも、近接原始連星の空間分解や円盤内縁と星表面の物理的接続を調べることができると期待される。大質量原始星の半径や光度の進化は、降着率や降着流構造などに応じて変化することが理論計算から示唆されており、仮に多数の天体に対して大気構造や降着円盤内縁構造の比較を行うことができれば、原始星進化理論へ定量的な観測的制限を与えるとともに、典型的な大質量星の進化経路/条件を明らかにできると期待される。またモニター観測を行うことで回転によってひしゃげた星大気の構造変化や、原始連星の固有運動などを星表面のタイムスケールで捉えることができる。本講演ではこうした原始星撮像の検討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](#)

Z218a 高分解能 H_I/[C_I]/CO 観測による強乱流場中における分子雲形成機構の解明

榎谷玲依(慶應義塾大学)、松永健汰、山本宏昭、立原研悟(名古屋大学)

主に CO などで観測される分子雲は、星形成の現場であり重要である。しかしながら、分子雲がどのような環境下でどのように形成されるのかは未だはっきりとわかっていない。そのため、乱流、輻射場、金属量などの違いが分子雲形成にどのような影響を与えるのかを探ることは重要な課題である。銀河系中心部は、ガスと星が密集する特異領域であり、この領域の分子雲が持つ乱流速度は円盤部に比べ一桁以上高いことが知られている (e.g., Gusten & Philipp 2004)。本研究では、銀河系中心部の PDR である Quintuplet 星団周辺に着目し、強乱流場中の原子-分子遷移層の性質が太陽系近傍と比べどのように異なるのかを定量的に探査する。

我々は、2019 年に ASTE による分解能 15" の [C_I] 観測を実施し、アーカイブの分解能 14" の ¹³CO(*J*=1-0) のデータを用いることで Quintuplet PDR に付随する原子・分子雲について以下の結果を得た。まず、全体的な傾向としては先行研究同様、[C_I] と ¹³CO は空間分布・速度分布ともに非常によく似ていることがわかった (e.g., Shimajiri et al. 2013)。Quintuplet PDR の [C_I]/¹³CO の比は概ね 0.9 程度で、PDR の付近では 1.3 程度まで高くなることがわかった。これらの値は銀河系円盤部の PDR と比較しやや低い (Orion A では典型的に 1.7 程度)。さらにこの領域の原子-分子遷移層の分子ガス柱密度が円盤部の PDR (RCW38: Izumi et al. 2020 in prep.) と比べると 5 倍程度高いことがわかった。以上の原因は乱流の影響であるとして説明が可能であるが、原子-分子遷移層における原子雲・分子雲の形やサイズ、質量などが分解できていないために現段階では他の解釈も棄却できない。本研究では上記の観測・解析結果をもとに、分解能 1" の ALMA、ngVLA による [C_I]、CO、H_I の観測から、将来的に既存の分子雲形成モデルに対してどのように制限をつけることが可能であるか議論を行う。

[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](#)

Z219r ngVLA 時代の銀河・ブラックホール進化研究への期待

泉拓磨 (国立天文台、総研大)

銀河とその中心の超巨大ブラックホールの質量が良く相関することは、両者が何らかの物理的相互作用を及ぼしつつ成長してきたことを強く示唆し、「銀河-ブラックホール共進化」として広く知られるようになった。その物理的起源を説明するため、銀河合体や活動銀河核 (AGN) のアウトフローが駆動する天体進化説に代表される多くのモデルが提唱されている。一方、すばる望遠鏡の広域可視光サーベイ観測や ALMA によるサブミリ波観測により、赤方偏移 $z > 6$ の宇宙においても多数のクエーサー (しかも比較的低光度な天体 = 当時のクエーサー種族としてより一般的なもの) が発見され、かつ、それらは近傍宇宙のものと整合する共進化関係を示すことが明らかになりつつある。この進展を踏まえると、ngVLA 時代には、ぜひそのクエーサーの「前駆体」の発掘、ならびにその性質の徹底調査を推し進めたい。標準的な銀河進化モデルに則ると、前駆体の有力候補はガスやダストに富む爆発的星形成銀河であろう (例: submillimeter galaxy = SMG)。本講演では、主に $z > 7$ の高赤方偏移宇宙の爆発的星形成銀河に着目し、i) その大規模サンプルの構築の可能性、ii) 銀河中の「埋もれた AGN」の有無の判定、iii) ブラックホールへのガス降着を可能にする環境の調査 (ガス円盤の重力不安定性)、iv) ブラックホールの性質 (質量等) の測定の可能性、v) 同時代の他の望遠鏡とのシナジー、について、圧倒的な高感度と高解像度を持つ ngVLA の観点から議論したい。

[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](#)

Z220a ngVLA による遠方銀河の遠赤外線微細構造輝線の観測可能性

橋本拓也 (筑波大), 井上昭雄 (早稲田大), 田村陽一 (名古屋大), 松尾宏 (NAOJ), 伊王野大介 (NAOJ), 久野成夫 (筑波大)

遠方銀河の観測は、銀河の形成と進化を明らかにする上で重要なテーマである。近年の ALMA 観測によって、遠方銀河からの遠赤外線微細構造輝線 ([CII] 158 μm や [OIII] 88 μm など。以後 FIR 輝線) の研究分野が花開いた (Inoue et al. 2016 Science; Hashimoto et al. 2018 Nature; Tamura et al. 2019; Bakx et al. 2020)。単なる輝線検出にとどまらず、遠方銀河の (1) 運動形態の性質や、(2) 複数の輝線を用いた星間媒質の性質の議論も盛んに行われている。例えば (2) について、多くの宇宙再電離時代の天体が高い [OIII]/[CII] 光度比を持ち、電離光子が銀河外に脱出しやすい状況であった可能性が指摘されている (Inoue et al. 2016; Harikane et al. 2020)。

ngVLA は 2030 年代に本格運用を開始予定の干渉計であり、広いバンド幅のため効率良く銀河の輝線を分光できる。本講演では、2030 年代に活躍していると予想される他の望遠鏡との比較も織り交ぜつつ、ngVLA を用いた遠方銀河の FIR 輝線の観測可能性を検討する。特に (i) 超遠方銀河の [CII] 輝線の観測によって初代銀河の星形成活動や運動形態情報、(ii) ALMA との連携によって初代銀河の [OIII]/[CII] から星間物理にも知見が得られることを議論する。

[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](#)

Z221a 多階層連結 AGN モデルと ngVLA で探る超巨大ブラックホールの形成・進化

川勝望 (呉高専), 和田桂一 (鹿児島大), 工藤祐己 (鹿児島大), 市川 幸平 (東北大), 紀基樹 (工学院大/国立天文台), 澤田-佐藤聡子 (山口大学), 永井洋 (国立天文台), 土居明広 (宇宙研)

近年の高精度観測装置によって、銀河中心には太陽質量の 100 万倍から 10 億倍もの超巨大ブラックホール (SMBH) が普遍的に存在し、その質量は銀河バルジの質量に比例することが明らかになってきた。しかしながら、その形成メカニズムは未だ謎に包まれており、天文学における最重要テーマの 1 つである。この問題を解決するために、銀河からのガス供給により形成される数 10 パーセクの銀河核ガス円盤 (CND) を介して、銀河からブラックホールまで 6 桁ものダイナミックスレンジに渡るガス降着過程と、ブラックホール近傍からの輻射や Wind によるフィードバック効果を統合的に考慮した理論モデル「多階層連結モデル」の構築が必要である。

近年、多階層連結モデル構築へ向けた第一歩として、CND での超新星爆発による乱流粘性によって駆動されるガス降着モデルに活動銀河核 (AGN) からの非等方放射がトーラス構造に与える効果を考慮し、CND の構造がどのような物理量に依存するか調べた (Kawakatu, Wada & Ichikawa 2020)。結果として、パーセクから 10 パーセクの構造は、主に SMBH の質量、Eddington 光度比と星形成光度で決まることが明らかになった。一方で、サブパーセク領域に注目すると、AGN から輻射により Wind が吹き、低光度 AGN (Eddington 光度比が 10^{-3} 程度) のときのみ、極方向へガスが巻き上げられることが分かった。このことは、Wind がサブパーセクスケールでの遮蔽だけでなく、ジェット収束にも寄与する可能性があることを示唆するものである。以上の理論予言を確かめるには、様々な光度の AGN に対して、サブパーセクから 10 パーセクスケールのガス分布やガスの速度構造を明らかにすることが必要不可欠であり、これはまさに ngVLA のサイエンスタゲットになると考えられる。

[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](#)

Z222a ngVLA による太陽・太陽圏研究と系外宇宙天気研究の新展開

下条圭美 (国立天文台)

ngVLA はそれまでとは比べ物にならない高いスペックにより、太陽・太陽圏研究さらに恒星やその周囲の宇宙環境 (宇宙天気) 研究の新たな展開を期待させる。本講演では、ngVLA Science Book や国内の関連研究者との議論によって考察された、ngVLA で著しく進展すると思われる当該分野での研究テーマについて紹介する。

ngVLA の観測波長域は、野辺山電波ヘリオグラフや野辺山強度偏波計にて観測され続けてきた周波数帯であり、日本の太陽研究コミュニティーにとって馴染みのある周波数帯である。野辺山の観測機器で行われてきた太陽フレア研究が ngVLA で進展することは容易に推測できるが、それ以上にこれまでは不可能であったコロナと彩層を繋ぐ遷移層の空間構造とその時間変動の研究が可能になるだろう。また太陽そのものではなく太陽付近の電波星を観測することにより、太陽風研究の進展が予想される。2020 年台後半は探査機による内部太陽圏研究が進むと思われ、2030 年代前半にこの戦列へ ngVLA は大きなインパクトを持って加わることができるだろう。

恒星・系外宇宙天気研究では、電波観測による mass loss の計測やフレア研究の進展が期待されている一方、その高感度と VLBI モードでの超高空間分解能により、近傍の主系列星を空間分解できる可能性が示されている。また空間分解はしなくとも、円偏波の観測にて主系列星の磁気活動を調査できる可能性がある。野辺山強度偏波計による太陽円偏波観測データを基に ngVLA での星の円偏波観測の予想、およびそこから得られる主系列星の磁気活動の情報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](#)

Z301r スーパーコンピューター「富岳」と宇宙物理・惑星科学

牧野淳一郎 (神戸大/理研)

2019 年度までの 4 年間、惑星科学分野でのポスト「京」(現スーパーコンピューター「富岳」)の有効活用を目的とした「重点課題」「萌芽的課題」の 1 つとして、いわゆる「計算惑星」プロジェクトを推進してきた。これは 4 つのサブ課題からなり、それぞれ主に惑星形成、惑星内部・表層のダイナミクスと進化、太陽活動による地球環境変動、原始太陽系における物質進化と生命起源をテーマとするものであった。2020 年度から富岳成果創出加速プログラムが始まり、惑星科学から天体物理、宇宙論までを統合する「宇宙の構造形成と進化から惑星表層環境変動までの統一的描像の構築」が採択された。本講演では、スーパーコンピューター「富岳」とこの課題の目標、計画、実施体制を概観する。

「富岳」は、アプリケーション性能で「京」の最大 100 倍を公式目標として開発された。ピーク性能 537PF(HPL で 442PF を実測)、消費電力は 30-40MW となる。SPARC 命令セットであった「京」とその後継である富士通 FX100 までとは異なり、Arm 命令セットが採用され、さらに富士通と Arm が新規開発した SVE(Scalable Vector Extension)が SIMD ユニットの命令セットとなっている。プロジェクトの目標の他、ハードウェアの変化により発生した技術的課題、さらに今後のスパコンの発展の方向にもふれたい。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Z302a 富岳時代の準解析的銀河・AGN 形成モデル

大木平 (千葉大学), 白方光 (株式会社 タダノ), 長島雅裕 (文教大学), 西道啓博 (京大基研), 川口俊宏 (尾道市立大学), 岡本崇 (北海道大学), 石山智明 (千葉大学), 榎基宏 (東京経済大学), ν^2 GC collaboration

銀河や活動銀河核 (AGN) の光度関数等の統計量は、それらの天体の宇宙論的な形成過程への重要な制限となる。これらの統計量を理論的に予言するためには、大規模な宇宙論的シミュレーションでダークマターハローの形成史、merger tree を明らかにすることが必要不可欠である。我々はこれまでに、スーパーコンピューター京とアテルイを用いた超大規模宇宙論的 N 体シミュレーション (Ishiyama et al. 2015) から得られるダークマターハローの merger tree をベースにして、準解析的銀河形成モデル ν^2 GC を構築してきた。

この ν^2 GC は、銀河・AGN の観測諸量をよく再現する (Makiya et al. 2016; Shirakata et al. 2019a)。このモデルは特に、個数密度の低い AGN の統計量の予言において力を発揮してきた。このモデルを用いて、Eddington 比ごとの AGN 個数密度の赤方偏移進化 (Shirakata et al. 2019b) や、AGN クラスタリングを予言してきた (Oogi et al. 2020)。後者では、1 辺 $1.12 h^{-1}\text{Gpc}$ という広い計算領域を活かし、AGN 自己相関関数を世界トップレベルの精度で予言した。さらに、京とアテルイ II を用いた Uchuu simulation (Ishiyama et al. 2020) では、矮小銀河スケールのダークマターハローを解像しつつ、1 辺 $2 h^{-1}\text{Gpc}$ という大領域の merger tree を得ることができた。これを ν^2 GC モデルに適用し、1 辺 $2 h^{-1}\text{Gpc}$ の領域の銀河・AGN カタログを構築しつつある。

今後富岳によって得られるシミュレーションデータを用いて、個数密度の低い天体の統計量をより高い精度で理論予言できることが期待される。本講演では、これまでに得られた銀河・AGN 研究の成果を総括し、富岳時代に期待される進展について述べる。

[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](#)

Z303a 機械学習による宇宙大規模構造形成エミュレータの構築

田中 賢, 西道 啓博 (京大基研), 小林 洋祐 (東大 Kavli IPMU)

将来の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、従来のような特定のパラメータ空間を指定して宇宙論的 N 体シミュレーションを実行する手法では、自由度の高い多次元パラメータ空間を網羅するには、計算能力が向上した近年のスーパーコンピュータを用いてもでも非常に困難である。そこでわれわれの研究グループではランダムにサンプリングした多次元パラメータ空間でのシミュレーション結果を学習データとして千個程度用意し、ニューラルネットワークによる回帰を用いることにより任意のパラメータ空間の情報を得ることが可能なエミュレータの構築を目指している。

Nishimichi et al. 2019 の Dark Quest I では、 w CDM 宇宙論モデルの 6 次元パラメータ空間において銀河クラスタリング統計解析などを高速に行える Dark Emulator を構築し、高精度で任意のパラメータ空間の統計量を導くことに成功している。本講演ではさらにニュートリノ質量などを取り入れた 9 次元パラメータ空間に拡張したデータを用いて機械学習を行い、より高精度で自由度の高いパラメータ空間のエミュレータを構築するプロジェクト Dark Quest II に向けたコードの開発状況、ニューラルネットワークによって得られたパワースペクトルやハロー、銀河の統計量などの結果の妥当性などを報告する。本研究では大量かつ高速にデータセットを準備することが必要不可欠であるので宇宙論的 N 体シミュレーションコードの実装について具体的に説明し、さらに富岳のような AI 機能が強化されたスーパーコンピュータと組み合わせる意義を議論する。

[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](#)

Z304a 富岳による宇宙論的ニュートリノの Vlasov シミュレーション

吉川耕司 (筑波大学), 田中賢 (京都大学), 吉田直紀 (東京大学), 斎藤俊 (ミズーリ州立大学)

ニュートリノ振動の発見によってニュートリノが質量を持つことが明らかになって以降、素粒子物理学にとって重要なパラメータであるニュートリノ質量を宇宙大規模構造の観測から測定する試みがなされている。その為の理論的なテンプレートとして、ニュートリノ宇宙大規模構造形成に与える力学的影響を N 体シミュレーションに基づいて調べる研究が数多く行われてきた。

しかしながら、N 体シミュレーションに混入するショットノイズの影響が無視できず、その計算結果に小さくない不定性をもたらしていた。我々はニュートリノが宇宙大規模構造形成に与える力学的な影響の数値シミュレーションを、N 体シミュレーションに替えて世界で初めて Vlasov 方程式を直接数値的に積分する Vlasov シミュレーションによって行うことでショットノイズの無いシミュレーション結果を得ることに成功した。

本講演では、Vlasov シミュレーションの意義、その計算手法、富岳をはじめとする最近の計算機における最適化の手法、富岳を用いた初期の数値シミュレーション結果とその展望について講演する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Z305a 高赤方偏移 ($z \geq 10$) での暗黒物質の対消滅のブーストファクターの計算

高橋龍一 (弘前大), 郡和範 (高エネルギー加速器研究機構)

暗黒物質の構成要素として未知の素粒子は有力な候補のひとつである。素粒子の衝突による反応率は、その密度の 2 乗に比例する。宇宙論的ブーストファクター (cosmological boost factor) は暗黒物質の密度の 2 乗とその (宇宙全体での) 平均密度の 2 乗との比で定義される。我々は暗黒物質の密度揺らぎの成長を N 体数値計算を用いて調べ、ブーストファクターの高赤方偏移 ($z = 10 - 100$) での進化を追った。特に暗黒物質の無衝突減衰スケール (約 pc スケール) 付近の重力進化を詳細に追った。密度揺らぎは $z \sim 40$ で非線形成長を開始するため、それ以降の進化を追うには数値計算を必要とする。

暗黒物質粒子の重力進化は N 体計算コード GreeM (Ishiyama et al. 2009) を使用し、国立天文台 CfCA XC50 で計算を実行した。ボックス長 ($L = 1 \text{ kpc} - 10 \text{ Mpc}$) と粒子数 (2560^3 と 5120^3) を広い範囲に渡り変更し、解像度による収束性のチェックも行った。具体的には各赤方偏移ごとに密度揺らぎのパワースペクトルを測定し、それを揺らぎの波数で積分し、ブーストファクターを求めた。

その結果、 $z = 100$ でのブーストファクターは線形理論の予言値とほぼ一致 (10% 以内) するが、揺らぎの非線形成長により $z = 40$ (17) では線形理論の約 2 (100) 倍大きくなることが分かった。また我々の結果はハローの質量関数を用いた解析的な先行研究 (Cirelli et al. 2011) と一致することも確認した。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Z306r Gaia/JASMINE 時代の銀河系考古学のための数値シミュレーション

河田 大介 (MSSL, UCL)

ESA の Gaia 衛星が、2018 年 4 月に第 2 データリリースとして、10 億個を超える銀河系の広い範囲の星の今までにない精度での parallax と固有運動の情報を公開して以来、銀河系の形成と進化の描像は大きく塗り替えられた。まず、銀河系円盤では、太陽から数 kpc にわたる領域での星の運動が詳細に明らかにされ、円盤の星の運動がさざ波のような摂動を受けており、その起源が衛星銀河からの潮汐力によるものなのか？銀河円盤内のバーや渦巻き腕によるものなのか？の論争を呼んでいる。一方、ハロー星では、階層的銀河形成から予測されていたような、位相空間で異なる軌道性質をもついくつかの星の集団が発見された。特に、最も大きな構造は半径方向の運動が卓越した星の集団で、特徴的な金属量分布も示しており、その金属量や年齢の性質から、かなり大きめの矮小銀河が銀河系と 100 億年以上前に合体した名残りだということがわかってきた。Gaia データは、まだ Preliminary データであり、今後のデータリリースでさらなる発見が期待されている。また日本では、JASMINE が JAXA 宇宙科学研究所の公募型小型計画 3 号機に選定され、近赤外線での銀河系中心領域の星の超高精度位置天文観測により、天の川銀河の中心核構造と形成史を明らかにし、太陽も含む星の移動を引き起こす原因となる銀河構造の進化の過程を明らかにしようとしている。このような銀河系の多くの星の詳細な運動のデータから、銀河系形成の包括的な描像を理解するためには、より詳細な構造を分解できる超高解像度の銀河系数値シミュレーションが必要不可欠である。本公演では、現在の高解像度数値シミュレーションが観測データから銀河系形成や進化を理解する上での貴重な役割を担っていることを紹介し、今後は、観測データと数値シミュレーションデータを統合的にモデル化することにより、選択効果が複雑にからんだ多様なデータを理解する必要があることを議論する。

[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](#)

Z307a ASURA-FDPS による銀河形成シミュレーション：富岳向けチューニングの現状

斎藤貴之(神戸大)、行方大輔(理研)、野村昂太郎(神戸大)、岩澤全規(松江高専)、平居悠(理研)、岡本崇(北大)、牧野淳一郎(神戸大)

銀河形成はマルチスケールマルチフィジックスの現象であり、極めてチャレンジングな研究対象である。超新星爆発に代表される恒星スケールのフィードバック現象が銀河形成に重大な影響を及ぼすため、銀河形成シミュレーションにおいてもこのスケールを直接分解することが重要になる。しかし現状の分解能はそこに至っていない。主な原因は最も短い時間刻み幅を与えるフィードバック領域における時間刻み幅が質量分解能に比例する形で短くなるからである。そのため高分解能シミュレーション実現には大きな困難がある。この問題は通常の独立時間刻み法を用いてもツリー構築など $\mathcal{O}(N)$ の部分が計算時間を律速するため解決は出来ない。

我々は富岳において恒星スケールまでを直接分解した銀河形成シミュレーションを達成するべく ASURA-FDPS の開発を行っている。ASURA-FDPS では、京コンピュータ上高いスケーラビリティを達成した粒子系シミュレーションフレームワーク FDPS 上に銀河形成シミュレーションコード ASURA の流体スキームや物理モデルを導入したうえで、富岳向けに最適化をしている。演算カーネルは汎用の最適化カーネルジェネレータ PIKG を用いて最適化している。また、超並列計算時に計算性能を律速する独立時間刻み法での小粒子の積分を効率化するためにハミルトニアン分割の手法を用い、進化のタイムスケールが短い領域を切り出して全体とは独立に時間積分させることにした。これまでのところカーネルでピークの 30% 弱、全体で 10% 弱程度の性能となっている。

本講演では ASURA-FDPS のデザイン及び富岳実機上での性能評価の現状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](#)

Z308a 銀河形成シミュレーションで探る r プロセス元素に富んだ星の動力的性質

平居悠(理化学研究所)、青木和光(国立天文台)、Timothy C. Beers(ノートルダム大学)、千葉柘司(東北大学)、斎藤貴之(神戸大学)、岡本崇(北海道大学)、牧野淳一郎(神戸大学、理化学研究所)

星の化学組成と動力的性質を読み解くことで、銀河の形成進化史を辿ることができる。銀河系においては、最近の R-Process Alliance や LAMOST によるサーベイ観測で、ユーロピウムなどの r プロセス元素と鉄の比が太陽より 10 倍以上高い星 (r-II 星) が数多く発見されている。r-II 星は、位置天文衛星 Gaia の観測により、その化学動力的性質から、過去に矮小銀河で形成され、銀河系に降着し、現在は銀河系の一部になっている星である可能性がある。しかし、これらの星がいつ、どこで形成されたのかは明らかではない。そこで本研究では、r プロセス元素に富んだ星の動力的性質と形成環境を明らかにすることを目的とする。そのために、 N 体/SPH コード ASURA (Saitoh et al. 2008; 2009) を用いて、銀河系の宇宙論的ズームインシミュレーションを行った。このシミュレーションからは、r-II 星のように Eu 過剰になる星の多くは以下のような特徴を持つことが示された: (1) r-II 星の多くは、赤方偏移 $z > 1.5$ の銀河形成の比較的初期に形成された星である。(2) これらの星の一部は、Ia 型超新星爆発の影響により、マグネシウムなどの α 元素と鉄の比が太陽組成より低くなっている。(3) r-II 星の多くが銀河円盤に存在する星とは異なる軌道を有している。さらに、r-II 星の形成環境を解析すると、多くが銀河形成初期の矮小銀河のハロー中心付近で形成された星であることが明らかになった。この結果と観測を比較すると、銀河系にこれまでどのような矮小銀河が降着したのかを示すことができる可能性があり、今後、より詳細なシミュレーションと観測の比較を進めていく。本講演では、r プロセス元素に富んだ星が形成された環境について議論し、「富岳」を用いた超高分解能銀河形成シミュレーションに向けた取り組みを紹介する。

[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](#)

Z309a Toward simulations of globular cluster formation

藤井通子, Long Wang (東京大学), 平居悠 (理化学研究所), 齋藤貴之 (神戸大学)

球状星団や young massive cluster など、質量が $10^4 M_{\odot}$ を超える星団の形成シミュレーションは既存のシミュレーションコードでは難しかった。その主な要因は、星同士の重力相互作用に重力ソフトニングを用いなければならず、星団の力学進化に重要な近接遭遇を正しく取り扱えない点である。また、星の数の増加に従い、計算量が $O(N^2)$ で増加するため、 $10^6 M_{\odot}$ を超える星団の計算例は未だ少ない。我々は、Fujii et al. (2007) で用いたツリー法とダイレクト法のハイブリッド法 (BRIDGE) を、SPH 法を用いた流体計算コード ASURA (Saitoh et al. 2008) に組み込んだ「ASURA+BRIDGE」を開発した。ASURA+BRIDGE では、星同士の相互作用による軌道進化はダイレクト法と 6 次エルミート法を用いて解くため、ソフトニングを用いなくても星の軌道を高精度に計算することができる。さらに、6 次エルミート法の部分は、ツリー法とダイレクト法のハイブリッド法である Particle-Particle Particle-Tree (P3T) 法に置き換えても計算できるようにし、星の数が数十万以上でも計算量が $O(N \log N)$ でしか増えず、高速かつ近接遭遇や連星も正確に積分できるようになった。

本研究では、星形成過程は分解せず、銀河で用いるような密度に依存した確率的星形成を行うことで、大質量星団形成を取り扱えるようにした。この星形成スキームは化学進化用ライブラリ CELib (Saitoh 2017) をベースに実装されており (Hirai et al. 2020)、CELib によって生まれてくる星のアバundanceも調べることができる。さらに、大質量星からのフィードバックを、HII 領域を解析的に求め電離領域の粒子の温度を上げる手法で実装した。

本講演では、ASURA+BRIDGE を用いた乱流を持つ分子雲からの星団形成シミュレーションの結果と、球状星団形成、銀河形成シミュレーションへの応用といった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](#)

Z310a The 3 million simulations of globular clusters using Fugaku computer

Long Wang (UTokyo), Michiko Fujii (UTokyo) and Ataru Tanikawa (UTokyo)

The Dragon models with million stars are the milestone for the realistic numerical simulations of globular clusters (GCs) up to Hubble time. However, these models have low densities and low fractions of binaries that are different from the typical GCs. In order to predict the formation rate and properties of gravitational wave sources and understand how the tidal streams form and evolve, we need better models. Recently, we developed a high-performance N -body code, PeTar, that can achieve this goal. We show the performance scaling on the supercomputers, XC50 at CFCA, NAOJ and Fugaku at RIKEN-CCS. Using PeTar, we perform the first densest and most massive GC models with 3 million stars and binaries on Fugaku. We show the result of BH/NS mergers in our models performed so far, and compare with the previous studies using approximate methods such as Monte-Carlo models. How stars and binaries are distributed on the tidal tails are also provided, to be compared with the observational data (e.g. Pal 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](#)

Z311a AMR フレームワーク Athena++ の設計と今後の展望

富田賢吾 (東北大学), Athena++ 開発チーム

Athena++ は米国プリンストン高等研究所・プリンストン大学を中心とした国際協力で開発されている、解適合細分化格子 (AMR) に対応した宇宙物理学向けシミュレーションフレームワークである。前身である Athena コードと比べ、実績あるアルゴリズムを継承しつつ現代的なスーパーコンピュータに合わせてゼロから再設計した、TaskList による動的なスケジューリング等の新設計と一般相対性理論や輻射輸送を始めとする多数の新しい物理過程を取り入れた、より汎用性の高いシミュレーションコードになっている。主に Intel 系の CPU に向けて最適化されており、Oakforest-PACS 上で 50 万並列以上でも 84% 以上という高い並列性能を発揮する他、現在富岳への対応も行っている。次期公開バージョンでは一般状態方程式や AMR に対応した Multigrid 法に基づく自己重力ソルバ、高精度なシアリングボックスモジュールなどが実装される予定である。また Kokkos ライブラリを用いた GPU を含む多アーキテクチャへの対応も現在進められている。本講演ではこれらの新機能の紹介と合わせ、大規模計算のための Athena++ コードの設計とその性能を解説し、将来の大規模計算に向けた我々の取り組みを紹介する。

[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](#)

Z312a 分子雲形成シミュレーションで探る重力的に束縛された高密度クランプの統計的性質

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。

今回は自己重力を考慮した分子雲形成シミュレーションをおこない、クランプの統計的性質のパラメータ依存性 (θ と中性水素原子ガスの密度と圧縮速度) を調べた。ある平均密度のクランプがもつ質量磁束比 μ_{cl} は、質量 M_{cl} に対して $\mu_{cl} \propto M_{cl}^{1/3}$ の依存性をパラメータによらず普遍的にもつことがわかった。クランプの平均密度が増加するに従い、 $\mu_{cl} \propto M_{cl}^{1/3}$ の関係を保ったまま質量磁束比が増加して、重力的に不安定な方向に進化する。最終的に形成される重力的に不安定なクランプがもつ μ_{cl} のパラメータ依存性を明らかにした。また、クランプ内部乱流の Alfvén マッハ数はクランプ質量にほとんど依存しないこともわかった。このようにクランプの安定性を決定する質量磁束比と速度分散は、普遍的な関係に従って進化することがわかった。講演では星形成の初期条件への示唆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](#)

Z313a 惑星系 N 体計算コード GPLUM の開発

石城陽太 (東京大学)

一般に、惑星系は、中心星を取り巻く原始惑星系円盤から形成したと考えられている。固体惑星やガス惑星のコアは、原始惑星系円盤内で km サイズの天体 (微惑星) の集積により形成したとされている。微惑星の集積過程は、主に微惑星系の重力多体計算 (N 体計算) によって議論されている。

本研究では、微惑星系 N 体計算を大規模に行っていくため、Particle-particle Particle-tree 法 (P³T 法) を用いた新しい N 体計算コード GPLUM を開発した。P³T 法では、カットオフ半径より近距離の粒子間の重力相互作用を 4 次エルミート法で計算し、それより遠距離の粒子間重力相互作用をツリー法を用いて計算する。GPLUM では、カットオフ半径を各粒子独立に定めるより効率的な新たなアルゴリズムを実装することで、従来の P³T 法コードより数倍程度高速な計算を実現した。また、大規模並列粒子法シミュレーションのための汎用高性能ライブラリ FDPS や相互作用計算カーネルジェネレータ PIKG を用いて、大規模なスーパーコンピュータでも高い性能を実現した。現在、スーパーコンピュータ富岳を用いた大規模計算に向けて、チューニングと計算性能の評価を行なっている。

GPLUM の性能は、従来の P³T 法コードと比較して、大きな質量比のついた質量分布を持つ粒子系のシミュレーションに対しては大幅に改善される。GPLUM によって、これまで N 体計算で扱うことができなかった広範囲、高解像度の N 体計算を行うことができる。さらに、計算コストが向上することで、N 体計算によるパラメータサーベイなど、新たな議論も可能となることが期待される。本講演では、GPLUM の富岳での性能評価や惑星集積の試験計算の結果について報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Z314a 現実的な合体条件下での岩石微惑星の集積

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)

地球型惑星や氷惑星、ガス惑星のコアは微惑星の集積によって形成されたと考えられている。微惑星の衝突過程を SPH (Smoothed Particle Hydrodynamics) により数値的に実験した我々の過去の研究において、微惑星の衝突速度と角度、質量比により、衝突時の合体非合体を分ける条件を得た。本研究では同条件を岩石微惑星集積の N 体計算 (使用コード: GPLUM) に導入し、跳ね返りを考慮することで、完全合体が仮定されていた従来の研究より現実的な集積過程を明らかにする。微惑星の質量、速度、空間分布の進化に加え、自転の進化を調べた。微惑星の質量分布は完全合体を仮定した場合に比べて二極化し、暴走的成長と寡占的成長がより顕著になる傾向が見られる。微惑星の合体により得られた角運動量から計算した自転角速度は、集積の終了までを通して、完全合体の場合に比べて数十パーセントの減少が見られた。本講演では、跳ね返りの有無による微惑星集積過程の違いを議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Z315a 原始惑星系円盤の高レイノルズ数乱流中でのダスト成長

石原 卓, 森中宏樹 (岡山大学), 奥住 聡 (東京工業大学), 梅村雅之 (筑波大学)

原始惑星系円盤中のダストは円盤ガスの乱流中で集積し、衝突・付着による成長の結果、微惑星を形成すると考えられている。しかし、従来の研究では乱流中のダストの平均的な衝突相対速度が限界付着速度を超え、衝突破壊が支配的になりダストが成長できないという問題を解決できておらず、微惑星形成の完全なシナリオは得られてこなかった。また、最近の観測では 10au より外側にサイズが $100\mu\text{m}$ 程度のダストがかなり多いことから、乱流によって極めて高濃度領域ができれば重力不安定を起こして微惑星が形成される可能性も考えられる。いずれのシナリオにおいても非線形性の非常に高い、高レイノルズ数の乱流中の粒子の振る舞い (集中と衝突過程) の理解が鍵となっている。近年のスーパーコンピュータの発達によりナビエ・ストークス方程式の大規模な直接数値計算 (DNS) により、高レイノルズ数乱流の恣意性のない結果に基づく理解が可能となっており、宇宙分野においても乱流 DNS が活用されつつある (Ishihara et al. 2018, ApJ)。本研究では大規模な乱流 DNS (格子点数 4096^3 、積分長に基づくレイノルズ数 36500) を用いて、制動時間 (流体への追従性) の異なるダスト粒子 (512^3 個づつ) の運動を追跡をして得られた、乱流中の粒子分布の特徴について報告する。高レイノルズ数乱流の DNS では、外力に依存して大規模な組織渦構造 (強い剪断層) が存在することが観察されていた (Ishihara et al. 2013, Flow Turbul. Combust.) が、本研究での粒子追跡の結果は、そのような剪断層の近傍に制動時間の大きい粒子が高濃度に集中する可能性を示唆するものである。富岳を使用し、更に高いレイノルズ数の DNS で、桁違いに多数の粒子追跡をすることによって確信度の高い結果を得ること、そして、原始惑星系円盤中のダスト成長の新しいシナリオの構築に結びつけること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](#)

Z316a 輻射輸送方程式を解く GR-RMHD コード INAZUMA によるブラックホール降着流シミュレーション

朝比奈雄太 (筑波大学), 高橋博之 (駒澤大学), 大須賀健 (筑波大学)

活動銀河核や X 線連星などのコンパクト天体から宇宙ジェットと呼ばれる高速で絞られたアウトフローが噴出する時期がある。ジェットを加速のエネルギー源として、ガスがブラックホールへ降着するときに解放される重力エネルギーが考えられている。ジェットの加速・収束機構やブラックホール降着流の構造を明らかにするために、ブラックホール降着流の数値シミュレーションが数多く行われてきた。先行研究から輻射がジェットの加速や降着流の構造決定に重要な役割を果たしていることが示されているが、現在多くの研究では輻射輸送を解くために 1 次モーメント (M1) 法と呼ばれる近似解法を用いているため、光学的に薄い領域では計算の信頼性が低下してしまう。我々はブラックホール近傍の輻射輸送を精度良く解くことができる、輻射輸送方程式を解く一般相対論的輻射磁気流体コードである INAZUMA コードを開発してきた。本発表では質量降着率及びブラックホールのスピンを変化させたブラックホール降着流の計算を実施し、M1 法と INAZUMA の結果を比較する。

初期条件は弱いポロイダル磁場を持つ平衡トーラスを仮定した (Fishbone & Moncrief, 1976)。初期トーラスの密度をパラメータとしてブラックホールへの質量降着率を変化させた。いずれのモデルでも磁気回転不安定性により角運動量が輸送されブラックホール降着流を形成するという結果は変わらなかった。また、多くのモデルで質量降着率、質量流出率、輻射の光度などは M1 法と INAZUMA で大きな差異は現れなかった。しかし、INAZUMA では軸付近での非物理的な輻射の衝突の抑制など輻射場の分布は異なる結果を得ることができた。本発表ではより詳細な解析結果とブラックホールスピン依存性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](#)

Z317a 三次元空間における重力崩壊型超新星のボルツマン方程式によるニュートリノ輻射流体計算

岩上わかな (早稲田大学), 大川博督 (早稲田大学), 長倉洋樹 (Caltech), 原田了 (東京大学), 古澤峻 (理研), 赤穂龍一郎 (早稲田大学), 松古栄夫 (KEK), 住吉光介 (沼津高専), 山田章一 (早稲田大学)

重力崩壊型超新星は大質量星の進化の最終段階で起こる大爆発であり、中心部から放出されるニュートリノが物質を加熱することで爆発すると考えられている。この爆発メカニズムについて数値計算で詳しく調べるためには、ニュートリノ輻射輸送を適切に解く必要があるが、計算コストが高いため近似計算を行うのが一般的である。現在、輻射流体計算に近似を用いた多数の多次元計算が行われているが、それらの結果が近似を適用しない数値計算でも再現されるかどうかについてはよくわかっておらず、近似の妥当性を検証する必要がある。本研究では、ニュートリノ輻射輸送を第一原理的に計算し、三次元空間におけるニュートリノ輻射輸送過程を詳しく調べ、爆発への影響を解析したり、近似法の検証・改良を行うことを目的としている。本講演では、輻射輸送計算法でモーメント方程式を解く際に利用されるクロージャー関係式の一つである Maximum Entropy Closure について検証を行い、M1 Closure やボルツマン方程式から直接得られる結果との比較を行う。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Z318a S_N 法を用いたボルツマン輻射流体コードによる高速回転星の重力崩壊シミュレーション

原田了 (宇宙線研), 長倉洋樹 (Princeton), 岩上わかな, 大川博督, 山田章一 (早稲田大), 古澤峻 (東京理科大), 松古栄夫 (KEK), 住吉光介 (沼津高専)

大質量星の最期の爆発現象である重力崩壊型超新星爆発は、そのメカニズムがまだ解明されていない。最有力仮説はニュートリノ加熱メカニズムであり、中心に形成される原始中性子星からのニュートリノ放射による加熱で爆発が起こるといえる。このメカニズムはその複雑さゆえ、実証には大規模数値シミュレーションが必要となる。特にニュートリノ輸送が重要となる一方で、多くのグループはそれを近似的にしか扱わなかったため、我々は輸送のためにボルツマン方程式をいわゆる S_N 法、すなわち直接離散化して解くボルツマン輻射流体コードを開発し、超新星シミュレーションをおこなっている。

我々は Harada et al. (2019) において低速回転する親星の重力崩壊を軸対称下で計算し、ダイナミクスに影響を与えるためにはより速い回転が必要であることを見出した。これを受けて我々は、状態方程式をアップデートした上でより高速回転する親星の軸対称重力崩壊をシミュレーションした。本講演では衝撃波のダイナミクスに遠心力が与える影響や回転ダイナミクスにおけるニュートリノ輸送等について結果を概説し、「富岳」時代のシミュレーションで期待されることを議論する。

[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](#)

Z319a 一般相対論的ボルツマン輻射流体計算による原子中性子星冷却

赤穂龍一郎 (早稲田大学), 原田了 (東京大学宇宙線研), 長倉洋樹 (Princeton University), 住吉光介 (沼津工業高等専門学校), 岩上わかな (早稲田大学), 大川博督 (早稲田大学高等研), 古澤峻 (東京理科大学), 松古 栄夫 (高エネルギー加速器研究機構), 山田章一 (早稲田大学)

大質量星は進化の最後に重力崩壊を起こして中性子星やブラックホールなどのコンパクト天体を形成することが知られているが、そのメカニズムや観測シグナルには多くの不定性が残されている。その解明のためには、微視的物理過程を詳細に考慮し近似を用いない第一原理シミュレーションが必要である。

重力崩壊現象では開放される重力エネルギーの99%以上をニュートリノが運ぶことが知られており、周囲の物質との相互作用が巨視的ダイナミクスに大きな影響を与える。そのため、数値計算を行う上では厳密なニュートリノ輻射輸送計算が極めて重要となる。熱平衡状態にないニュートリノの輸送は位相空間分布関数に関するボルツマン方程式によって記述されるためそれを直接解くことが最も望ましいが、位相空間6次元の方程式となるため計算コストの高さから近似的ニュートリノ輸送が広く用いられてきた。しかし、それらの近似法によって結果が変わってしまうと考えられており、やはりボルツマン方程式を直接解く重力崩壊計算が必要である。

我々のグループはこれまで世界で唯一、空間多次元ボルツマン方程式を解く重力崩壊型超新星計算を行なってきた。本研究では、当計算コードを一般相対論的に拡張を行った。本講演では一般相対論的計算の第一段階とした固定計量での原子中性子星冷却について、および富岳を用いた今後の重力崩壊計算の展望について議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Z320a CANS+による AGN ジェット伝播の高空間分解能 MHD 数値実験

大村匠 (九州大学), 町田真美 (国立天文台), 松本洋介 (千葉大学)

活動銀河中心核 (AGN) から噴出するジェットは、中心天体の空間スケールの8桁以上もの距離に渡って安定に伝播している。対して、地上実験におけるジェットは、流体力学的不安定性の発達によって、初期ジェット半径の100倍程度しか安定に伝播することができないことが知られている。そのため、宇宙ジェットの安定性問題は天文学における解明すべき問題の一つである。他方で、近年の精密な電波観測から AGN ジェットの収束プロファイルが明らかとなり、その結果、ジェットの安定性は周辺環境と強く結びついていることが示唆された。理論的側面からもジェットの膨張 (すなわち、伝播に伴う外圧の減少) が安定性において重要な役割を持つことが指摘されているが、周辺環境はジェット自身が生成するコクーンによって決定されるため、最終的にはジェット伝播を解く必要がある。これまで、ジェット伝播シミュレーションの実施によって、周辺環境との相互作用によるジェットの構造や安定性について調べられてきた。しかしながら、数値資源の問題によって、初期ジェット半径の100倍程度までしか高空間分解能 MHD シミュレーションが行われてこなかった。そこで、我々は空間5次精度、時間3次精度を担保する MHD コード CANS+ と次世代スーパーコンピュータ「富岳」を用いることで、初期ジェット半径の1000倍までの大スケールジェット伝播を追う高空間分解能 MHD シミュレーションを行う予定である。最初に、テスト計算として行ったジェット伝播に対する磁気エネルギー依存性について報告する。その結果、ガズ圧と磁気圧の比であるプラズマ β が100のモデルではジェットはレイリー・テイラー不安定性が発達するが、 β が5のモデルでは不安定性の発達が抑えられた。また本講演では、実際に「富岳」にて計算を実施している大スケールジェット伝播シミュレーションの進捗結果についても報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Z321a 「富岳」における高エネルギー粒子加速研究と PIC シミュレーション

松本洋介 (千葉大学)

宇宙線の加速機構を明らかにするために、我々は particle-in-cell (PIC) シミュレーションの手法で衝撃波における粒子加速を明らかにしてきた。「京」が有した大規模な計算資源をふんだんに活用することにより、マッハ数が数 10 を超えるような強い天体衝撃波の多次元構造を計算機の中で再現することが可能になり、粒子加速の新しい描像を明らかにすることができた (Matsumoto et al., 2015; 2017)。粒子加速研究は大規模シミュレーションによって新しい物理を発見できる分野の一つであるといえる。一方、「京」では「電子」の「初期」加速を議論するのにとどまった。エネルギーを得るに連れ、被加速粒子は上流まで染み出すため、より長い加速過程を追うためにはより大きな計算領域 (メモリ) を確保することが必要であったからである。また、我々の PIC シミュレーションコードは、領域分割方法の制約から、さらなる大規模なシミュレーションを実施するに耐えるコードにならなかった。

そこで、本研究では「富岳」において電子の長時間加速、イオン初期加速を明らかにすることを目指して、コードのアップデートを行っている。具体的には、領域分割をこれまで静的に行っていたのに対して、系の時間発展とともに分割領域を変化させ、計算の負荷バランスを維持する、動的負荷バランサーの実装を行った。動的負荷バランスを実装した PIC コードは世界でも限られているが (Nakashima, 2009; Germaschewski+16; Derouillat+18)、我々は N 体シミュレーションで実績のある recursive multisection 法 (Makino04; Ishiyama+09) を採用し、実装に成功した。これにより、衝撃波に限らず、系の長時間発展を追うことが可能なコードを作成することに成功した。本発表では動的負荷バランサーの実装についての詳細と、「富岳」における性能評価について報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Z322a 微視的磁場増幅過程を解像した超新星衝撃波による宇宙線加速シミュレーション

井上剛志 (名古屋大学), Alexandre Marcowith (Montpellier University), Gwenaél Giacinti (MPI Heidelberg), 西野将悟 (名古屋大学)

超新星衝撃波は最大エネルギーが 1PeV 以上に及ぶ粒子加速の現場であると考えられてきたが、本当に 1 PeV におよぶ加速が可能かどうかは観測的にも理論的にも決着がついていない。特に近年の年齢が数百年程度の若い超新星残骸のガンマ線観測は 1PeV よりも 1 桁から 2 桁低いエネルギーの宇宙線の兆候しか捉えていない。そこで最近では超新星爆発直後 10 日程度のより粒子加速効率が高そうな環境で 1PeV を超える粒子加速が行われているのではないかと議論されている (Schure & Bell 2013; Marcowith et al. 2014, 18; Cardillo et al. 2015)。しかしながら、粒子加速の最大エネルギーを定量的に計算するためには、Bell 不安定と呼ばれる微視的な運動論的磁場増幅過程をマクロな流体衝撃波伝搬のダイナミクスと共に計算することが必要であり、これまで実現不可能であった。

Inoue (2019) では、粒子加速研究に従来から用いられてきた宇宙線の時間発展を記述する移流拡散方程式ではなく、より高次の宇宙線分布関数モーメントまで考慮した電信型移流拡散方程式を解くことによって、系の大規模並列計算を可能にした。さらに我々は富岳と同型の CPU を持つ不老コンピューターを用いて、重力崩壊型超新星爆発直後 10 日間の衝撃波伝搬と磁場増幅の効果を含めた粒子加速の高分解能シミュレーションに成功したのでこれを報告する。シミュレーションの結果、現実的な星周環境 (Forster et al. 2018) を考慮すれば重力崩壊型超新星爆発の場合には 1 PeV に及ぶ加速が可能であるとの結論を得た。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Z323r 富岳で実現する太陽の超大規模数値シミュレーション

堀田英之 (千葉大学)

富岳で実現する太陽の超大規模数値シミュレーションの初期成果・今後の展望について紹介する。太陽の外側30%は、乱流的な熱対流で満たされており対流層と呼ばれている。この領域では熱対流の角運動量輸送にともなう大規模流れの発生や乱流的な引き伸ばしによる大規模磁場の生成が起きている。太陽は我々の最も近くに存在する恒星であるので、観測も精密に行われており、その内部の差動回転や子午面還流と呼ばれる流れや、長い観測による黒点の11年周期が明らかになっている。しかし、理論的にはこれらの生成・維持の物理メカニズムは謎のままとなっている。太陽を数値シミュレーションで再現するときには大きな困難となるのは、1. 太陽の複雑な乱流をなるべく精密に分解するために多くの格子点が必要となること 2. 時間・空間スケールが領域ごとに極端に変わることである。富岳を用いてこれらに対処し、大規模流れ・11年周期のメカニズムといった諸問題の解決のために、我々の数値計算コード R2D2 をさらに改良するとともに、富岳に最適化した。このコードを用いて、いくつかの超大規模数値シミュレーションを実行し、これまでの問題の一部については解決の兆しが見えてきている。講演では、富岳を用いた計算の初期成果を報告するとともに、富岳を用いた計算でどこまでを明らかにでき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](#)

Z324a 太陽対流層-コロナ連結磁気流体シミュレーションによる超巨大フレア発生条件解明の展望

金子岳史, 草野完也 (名古屋大学), 堀田英之 (千葉大学)

太陽ではフレアと呼ばれる突発的な爆発現象が発生する。大規模なフレアは X 線や高エネルギー粒子、大量のコロナプラズマを宇宙空間へ放出するため、人工衛星の故障や、地上送電網の定常運用への支障など、現代社会が依存しているテクノロジーに対する潜在的なリスクを有している。このような背景から、個々の太陽フレアの事前予測や、太陽でどの程度巨大なフレアが発生しうるか予測することが重要な課題となっている。

大規模爆発現象は、光球 (太陽表面) で特に磁場強度の強い黒点と呼ばれる領域で発生する。強い磁場は、太陽内部の対流層で生成され、これが太陽表面に浮上することで黒点となる。黒点の磁場は光球より上空にあるコロナ (電離度の高い高温プラズマ大気層) まで伸びており、コロナにおける磁気流体不安定性や磁力線のつなぎ換えが、最終的に大規模な磁気エネルギー解放へつながると理解されている。太陽が将来的にどの程度巨大なフレアを起こしうるか解明するためには、対流層からコロナにかけての磁場進化を包括的に理解する必要がある。光球磁場は直接詳細な観測を行うことができるが、対流層や上空のコロナは磁場を測定できない。そのため、対流層やコロナの磁場進化については適切な数値モデルを用いて理解する必要がある。

本研究では、大規模な輻射磁気流体シミュレーションにより、対流層深部から光球までを計算領域として得られた非常に現実的な黒点磁場を下部境界条件とし、さらに上空のコロナの磁気流体シミュレーションを行うことで、比較的巨大的な (M クラス) 太陽フレアを再現することに成功した。本講演では、超巨大フレアを発生させる黒点が形成されるメカニズムおよび条件を解明するための、今後のシミュレーション研究の展望について紹介する。

[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](#)

Z325a PSP 時代の太陽風乱流シミュレーション

庄田宗人 (国立天文台)

NASA の主導する探査機 Parker Solar Probe (PSP) は 2024 年末に太陽に最接近し、太陽風加速領域の乱流の直接観測データを提供することが期待されている。しかし探査機観測から太陽風乱流、およびその太陽風加熱・加速への役割が直ちに分かるわけではない。探査機観測からは観測される変動が時間変化に由来するものか空間変化に由来するものかがわからないからである。特に PSP の観測する太陽近傍領域ではこれまで用いられてきた空間変動と時間変動の分離法 (テイラー仮説) が破綻することが示唆されており、観測データから物理的に意味のある情報を引き出すには数値シミュレーションによるフォワードモデリングが必要となる。

太陽風加速とそれを引き起こす太陽風乱流の両者を自己整合的、直接的に解くようなシミュレーションは 2019 年に初めて達成され (Shoda et al. 2019)、これにより太陽風乱流のフォワードモデリング、およびシミュレーションと観測の直接比較が可能になった。本講演では太陽風乱流シミュレーションが PSP 観測にどこまで近付いたか最新の結果を報告し、今後の PSP データのフォワードモデリングに際しどの程度の規模のシミュレーションが必要となるかを議論する。太陽風シミュレーションの究極の目標である「全球乱流シミュレーション」に必要な計算資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](#)

Z326r 火星衛星探査計画 MMX とシミュレーション天文学

倉本 圭 (北海道大学)

2024 年の打ち上げを目途に開発が進められている火星衛星探査計画 MMX (Martian Moons eXploration) は、火星の二衛星の詳細観測とフォボスのサンプルリターンにより、両衛星の起源と、初期太陽系における揮発性物質の輸送に着目した大気と水を保有する惑星の形成過程を解明することを主目的とする科学探査計画である。

JAXA の進める深宇宙探査として、サンプルリターンの強みを有するはやぶさシリーズを発展させる一方、日本初の火星周回探査を実現させ、重力天体探査の対象領域を拡張する狙いも兼ね備える。衛星近傍からの火星大気・周火星環境の観測により、火星大気のダイナミクス、表層リザーバー間水輸送、大気散逸の解明することも目指す。

講演では、MMX 計画の科学検討や探査技術を紹介し、大規模シミュレーションが本探査計画に果たしうる役割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](#)

Z327a マントル対流の数値モデリング: 月から地球まで、さらにスーパー地球まで

亀山真典(愛媛大学), 宮腰剛広, 柳澤孝寿(JAMSTEC), 小河正基(東京大学)

地球でいえば「マントル対流」とは、岩石からなるマントルが主に固体の状態を保ったまま、非常に長い時間(数百万年~数億年)をかけて、ゆっくりとした速度(数 cm/年)で地球内部を流動している現象を指す。この流動は、我々が地球表面で観察できる地学現象(地震・火山・プレート運動など)のほとんど全てに関与している重要なものである一方で、地球深部で起こっている流動・変動現象の中でもとりわけ特異な性質をもつ流体の運動でもある。かくも特異なマントル対流の全貌を理解する上では、数値シミュレーションが不可欠なツールの1つである。また近年の惑星探査の進展、さらには太陽系外の巨大地球型惑星(スーパー地球)の相次ぐ発見により、マントル対流シミュレーション研究の守備範囲やその意義が大きく広がりがつつある。

我々は岩石惑星のマントルの熱化学進化の解明に向けて、主に固体の岩石からなるマントルの対流現象を数値シミュレーションするためのモデルの開発を進めている。その際、天体サイズとともに問題の規模や素過程の複雑さも増大するであろうことに鑑み、太陽系内の小さい天体(月)を出発点とし、より大きい天体(地球)、あるいはさらに大きな天体(スーパー地球)をもモデル化の対象に含めようと試みている。本講演では我々が実施している数値シミュレーションの結果の一例を紹介する。

[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](#)

Z328a 火星大気大循環の全球非静力学高解像度シミュレーションに向けて

樫村 博基(神戸大学), 八代 尚(国立環境研究所), 西澤 誠也, 富田 浩文(理化学研究所), 小郷原 一智(京都産業大学), 黒田 剛史(東北大学), 中島 健介(九州大学), 石渡 正樹(北海道大学), 高橋 芳幸, 林 祥介(神戸大学)

固体惑星の表層環境を理解し予測する上で、表層大気の状態や運動を理解することは欠かせない。地球大気の場合、水平数 m 規模のつむじ風から数十 km の積乱雲、数千 km の移動性高低気圧、そして惑星規模波動に至るまで、様々な水平規模の現象が存在している。これらは相互作用しつつ、惑星規模の大気の状態と運動すなわち大気大循環の形成に寄与している。このような大気現象のマルチスケール性を取り扱う1つの方法が、出来るだけ高い空間解像度による全球大気シミュレーションである。

火星では、ダストデビルからグローバルダストストームまで、大小様々な砂嵐が観測されており、地球と同様に大気現象はマルチスケールである。一方、火星は海がなく大気が薄いため、昼夜の寒暖差が大きく、地表付近の水平数 km 規模の鉛直熱対流が卓越し、大気大循環において重要な役割を担っていると考えられる。しかし観測が少ないこともあり、鉛直対流の、大気大循環に対する具体的な寄与や火星の平均的な気候状態を考える上での役割は理解されていない。

そこで我々は、鉛直対流から大気大循環までを連続的に扱い陽に計算できる非静力学全球火星大気モデルを開発し、大型計算機「富岳」上で水平解像度 1 km 未満の火星大気全球高解像度シミュレーションを実現することを目指している。本講演では、これまでの開発経過と水平解像度 1.9 km までの試計算の結果を紹介し、モデル内で表現される鉛直対流の解像度依存性と、その鉛直対流による大気大循環へ寄与を考察する。

[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](#)

Z329a 高解像度ガス惑星大気シミュレーションに向けたスペクトル変換ライブラリと回転球殻非弾性対流モデルの開発

竹広真一 (京都大学), 石岡圭一 (京都大学), 佐々木洋平 (摂南大学), 榎本剛 (京都大学)

木星型惑星 (木星・土星) 表層大気の力学的な特色である縞状パターンはこれまでに多くの地球流体力学および惑星気象学の研究者の関心を引いてきたが、現在のところこれらの特徴を矛盾なく整合的に説明できる満足な力学的描像と理解は得られてはいない。本研究は、富岳を用いて全球規模から微細規模対流までにわたる空間スケールを統一的にあつかう大規模数値計算を実行し、従来の数値モデルでは表現できなかった微細規模の対流や乱流の構造を解像し、木星型惑星大気に見られる表面流の大規模構造の力学的成因を解明することを目指している。

この目的のために、われわれは深さ方向の密度成層を考慮した回転球殻非弾性系熱対流モデルを構築し、その大規模並列化を行った。スペクトル変換ライブラリを緯度方向に加えて動径方向にも MPI 並列を可能にすべく改良した。その結果、これまで緯度方向格子点数によって制限されていた並列処理の限界を伸ばすことに成功し、より大規模な並列計算が可能となった。

構築した回転球殻非弾性系熱対流モデルを用いて先行研究でもっとも自転が速く高解像度を必要とするケースの一つである Gastine et al. (2014) の Case5 をターゲットとした。Gastine らは経度方向に 8 回対称性を仮定しているのに対して、我々は全球領域での時間積分を実行した。現在得られている解では幅広の強い赤道順行ジェットと中高緯度の弱い縞状構造ジェットが生成されている。しかしながら運動エネルギーはまだ増加しており、統計的平衡状態に達していないことが示唆される。引き続き時間積分を遂行し、縞状構造の遷移や性質を観察していかねばならない。

[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](#)

M01a 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 (概要)

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 (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, A. Pantazides, J. Duncan (University of Minnesota), W. Baumgartner, S. Bongiorno, P. Champey, S. A. Panchapakesan, A. Winebarger (NASA/MSFC), S. Christe, D. Ryan (NASA/GSFC), S. Courtade, S. Krucker, J. C. Buitrago-Casas, J. C. Martinez-Oliveros (University of California, Berkeley/SSL), S. Musset (University of Glasgow), J. Vievering (APL)

FOXSI-4 (Focusing Optics X-ray Solar Imager の 4 度目の飛翔計画) は、太陽フレアにおける「エネルギー解放量と解放場所の調査」「超高温成分の生成過程の調査」「フレア後期の粒子加速現象の探索」を科学目標とした観測ロケット実験である。用いる観測手法は、過去 3 度の飛翔と同様、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。本計画は、NASA に最高評価 (Excellent の評価) で採択されており、2024 年の打ち上げを予定している。この FOXSI-4 計画の実施は、下記のような多角的意義を持つ。(1) 磁気再結合が引き起こす太陽フレアの 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の理解に挑むこと。(2) 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であること。(3) FOXSI の発展版として日本が中心となり検討を進めている PhoENiX 衛星計画にとっては、科学的・技術的実証の絶好の機会であること。

本講演では、この FOXSI-4 計画の概要を説明する。また、2018 年に打ち上げた FOXSI-3 の成果も紹介する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

M02a SUNRISE-3 大気球太陽観測実験: 高精度近赤外線偏光分光装置 SCIP による観測制御の検証

大場崇義 (ISAS/JAXA), 勝川行雄, 久保雅仁, 篠田一也 (国立天文台), 清水敏文 (ISAS/JAXA), 田村友範, 納富良文, 浦口史寛, 都筑俊宏, 原弘久, 川畑佑典 (国立天文台), 日本-スペイン SCIP チーム

SUNRISE-3 は、2022 年に飛翔を計画している国際共同大気球太陽観測実験である。口径 1m の主鏡を搭載し、高度 35km から大気ゆらぎの影響を受けない高解像度観測を実現する。日本は、SUNRISE-3 に搭載する「近赤外線偏光分光装置: SCIP (Sunrise Chromospheric Infrared spectroPolarimeter)」の開発を進めている。770nm・850nm 帯の波長域を広範囲にカバーし、高い解像度 (0.2") かつ高い偏光精度 ($1\sigma = 0.03\%$) を実現させることで、太陽彩層・光球における精密な磁場測定を目指している。SCIP は、彩層・光球中を伝播する波動といった動的な現象を捉えるため、高精度の偏光測定を行う通常の観測モードに加えて、高速スキャンによって分光測定を行う観測モードを実装している。観測の制御は、回転波長板から SCIP-E (エレクトロニクス) へ 32msec 毎に送信される撮像同期信号をベースとし、SCIP-E が CMOS カメラの撮像・スキャンミラーの動作を同期させることで行っている。一方、スキャン機構・CMOS カメラ間および回転波長板・CMOS カメラ間の同期制御のズレは、それぞれ「像の劣化」および「偏光測定精度の劣化」に直結するため、精度の良い同期制御が求められる。

本講演では、上述した 2 つの観測モードの制御が想定通りに実施できていることを、フライト実機を用いて実証した結果を報告する。さらに、光学測定試験によって、スキャン機構・CMOS カメラ間および回転波長板・CMOS カメラ間の撮像同期精度を検証し、要求されている精度を満たしていることを実証した結果についても報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

M03a Solar-C(EUVST)/SoSpIM の開発状況と科学課題の検討

渡邊恭子 (防衛大学校), Louise Harra (PMOD/WRC), 今田晋亮 (名古屋大学), 川手朋子 (核融合科学研究所), 原弘久 (国立天文台), 清水敏文 (宇宙科学研究所), 三好由純, 西谷望, 堀智昭, 家田章正, 河合敏輝 (名古屋大学), 陣英克, 埜千尋 (情報通信研究機構), 西本将平 (防衛大学校), ほか Solar-C WG

次期太陽観測衛星 Solar-C(EUVST) に、スイスの世界放射センター・ダボス物理気象観測所 (Physical Meteorological Observatory in Davos, World Radiation Centre: PMOD/WRC) が搭載を検討していた、太陽放射照度計 (Solar Spectral Irradiance Monitor: SoSpIM) が搭載されることとなった。SoSpIM は太陽全面からの紫外線を、Solar-C(EUVST) で観測予定の全波長をカバーする2つの波長帯 (170 – 215Å, 1115 – 1275Å) で観測する仕様となっている。各波長帯につき3チャンネルずつ冗長系を持つことにより、Solar-C(EUVST) の紫外線による劣化やコンタミネーションの状況をモニターすることができる。これにより、SoSpIM は Solar-C(EUVST) の校正に用いられることが期待されている。

一方、SoSpIM が観測している紫外線は、地球大気の組成に影響する波長でもある。どちらの波長帯も地上100km 程度にある熱圏・電離圏で主に吸収される波長帯であり、この高度あたりの地球大気の組成を変えていると考えられる。特に太陽フレア放射に伴った紫外線放射の急激な変動はこの地球大気組成を大きく変動させ、通信障害などの宇宙天気現象を引き起こすことが知られている。そこで、SoSpIM の観測データを用いてどのような宇宙天気に関する研究が行えるかについてサイエンスチームを立ち上げて検討を行っている。

本講演では、SoSpIM の現在の開発状況と、SoSpIM で検討されている科学課題について報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

M04a 太陽観測用ニオブ酸リチウム近赤外狭帯域フィルターの開発

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

太陽彩層スペクトル線 He I 1083 nm 及び光球 Fe I 15649 nm の撮像偏光観測を行うため、タンデム式のニオブ酸リチウム・エタロンを用いたファブリ・ペローフィルターの開発を行っている。He 1083nm は彩層上部の磁場観測に有用で、コロナ活動やフィラメント噴出現象の検出にも有効である。Fe I 15649 nm は光球磁場の精密観測に有用なスペクトル線で、He I 1083nm 線と組み合わせることで、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結晶で、電圧をかけることで、屈折率が変化する (波長チューニングが可能)。屈折率が大きいと、小さな口径で広い視野の観測が可能である。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2つのニオブ酸リチウム・エタロンの特性を得たので報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

M05a ニューラルネットワークを用いた静穏領域の水平磁場推定

正木寛之, 堀田英之 (千葉大学)

放射強度、視線方向速度、視線方向磁場といった観測が比較的容易な物理量から水平方向磁場を予測するニューラルネットワークを数値シミュレーションを用いて開発した。近年、数値シミュレーションは計算機の性能の向上などに伴って精度が向上し実際の太陽の光球をよく再現できるようになっている。水平磁場はゼーマン効果による偏光を観測することで得ることができる。しかし、この偏光を捉えるには高い精度での観測が必要になる。

ニューラルネットワークは人間の脳の構造を再現した数理モデルで、既知のデータの関連性を自動的に学習し、未知のデータに対する予測をすることができる。GPU の開発や、新たな最適化手法の発明などによりこれまでより効率的に複雑なネットワークを学習できるようになっている。そこで、本研究では比較的観測が容易な放射強度、垂直速度、垂直磁場を入力として、水平磁場の予測を出力するネットワークを開発した。ネットワークの学習には観測よりも細かい構造を捉えられる磁気流体シミュレーションの結果を用いて行う。ネットワークには U-net と呼ばれる構造を用いており、表現能力の高い構造を学習させることができる。シミュレーションと予測した水平磁場の間で 0.6 の相関係数を達成している。また一度ネットワークを構成してしまえば、その後の予測は高速に実行することができる。

[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](#)

M06a 畳み込みニューラルネットワークを用いた水平速度場診断手法の開発

石川遼太郎 (総研大/国立天文台), 仲田資季 (核融合研), 勝川行雄 (国立天文台), 政田洋平 (愛知教育大), T.L. Riethmüller (マックス・プランク太陽系研究所)

粒状斑の対流運動に伴う水平速度場は光球における波動の励起や磁場の増幅などの観点で重要であるが、光学観測による水平速度場の推定は困難である。これまで水平速度場の診断には、従来局所相関追跡 (LCT) が広く用いられてきた。これは連続した 2 枚の画像の相互相関を計算することで、輝度分布の時間変化を検出し水平速度を推定する手法である。この手法は超粒状斑など大きなスケールの速度場を高い精度で推定可能である一方で、粒状斑と同程度以下の時空間スケールの速度場導出には限界があった。

新たな手法として畳み込みニューラルネットワークを用いた手法に着目した。Asensio Ramos et al. (2017) は小さなカーネルを深く重ねたモデルを開発した。本研究では粒状斑の速度構造のパワースペクトルが幅広く広がることから、大きさの異なる複数のカーネルを併用することで様々な大きさの粒状斑構造に対応できるモデルを開発した。対流を駆動する物理やパワースペクトルの異なる 3 種類の対流シミュレーションのデータを用意してモデルの評価を行った。結果として比較的大きな構造は相関係数で 0.9 程度の非常に高い精度で推定可能である一方で小さな構造の精度は限定的であった。結果として全体としての相関係数は、データのパワースペクトルに依存していることが分かった。パワースペクトルの勾配が急峻なデータに対しては相関係数が 0.9 を超える一方で、勾配の緩やかなデータに対しては 0.76 にとどまった。小さなスケールの構造は保有するパワーが小さく、学習が困難であることが主な原因であると示唆される。

[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](#)

M07a Mask R-CNN を用いた活動領域の検出

小松耀人(新潟大学), 飯田佑輔(新潟大学)

Mask R-CNN を用いた活動領域自動検出モデル開発と、それによる領域検出結果について報告する。正確に宇宙天気予報を行うことは航空機運用や大気圏外で活動する装置や人員の安全を守る上で非常に重要である。近年、機械学習を応用した太陽フレア予測研究により、その予測精度は大きく進展している。これまでの太陽フレア予測の手法は、まず太陽全球データから活動領域を切り出し、切り出された画像データや特徴量を用いた予測を行うものがほとんどであった。そこでの活動領域の切り出し手法はしきい値を決めたルールベースのものであり、領域検出自体に機械学習の手法を用いた例はなかった。そこで本研究では、領域検出自体の学習を目標として、画像から ROI(Region of Interest) とその中の Masking 方法を学習する、Mask R-CNN を用いた活動領域の自動検出手法開発を行った。SDO/HMI によって撮影された視野方向画像を用い、2010 年 5 月～2011 年 7 月までの画像データ (8600 枚) と SHARP(Bobra et al. 2014) の Mharp データセットを使用した。検出モデルとしては、視線方向磁場画像を入力すると、そこから各活動領域の BoundBox とそれぞれの内部の活動領域を示すマスクデータを出力するモデルを構築した。学習は Imagenet によって自然画像で予め学習されたモデルを使用し転移学習を行い、計算時間は RTX 2080Ti を使用し約一日程度で、教師データとモデルによるマスク予測の比較を行い、AveragePrecision[IoU=0.50] で 0.496 のスコアを達成した。これは、自然画像による学習・予測を行った He et al. 2018 に近い値であり、Mask R-CNN による領域検出手法が太陽活動領域においても有用であることを示している。

[スケジュール\(セッション毎\)に戻る](#)

[スケジュール\(全体\)に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

M08a 深層学習を用いた黒点の成長予測モデル構築

大沼伊織(新潟大学), 飯田佑輔(新潟大学)

ディープニューラルネットワークを用いて、活動領域の磁束量が最大に達したときの磁束量とそれまでにかかる時間を予測するモデルの構築に挑戦する。

活動領域は太陽表面上の磁場活動が活発な領域であり、太陽フレアなどの宇宙天気現象を引き起こす。これまでの研究では主に成長した黒点について、機械学習を用いた太陽フレアの発生予測が行われてきたが、本研究ではより早い予測実現を目標として黒点自体の成長予測モデルの開発に挑戦した。

Solar Dynamics Observatory が取得する視線方向磁場データを用いた。2010 年 5 月から 2019 年 12 月の SHARP データのうち、目視で十分に大きな黒点が現れていることがわかる活動領域のデータを選び、そのような 678 イベントを用いた。出現初期 10 時間において 1 時間間隔のデータを用いて、磁束量とその時間変化勾配から、最大成長時の磁束量と、そこに到達する時間を予測する深層学習モデルを構築した。

磁束量について、予測値と正解値の回帰直線は $y = 1.08x - 0.44$ 、誤差は 71.76% となった。今回の解析イベントにおける磁束量の範囲は 2 桁違うため、この誤差は十分に予測に耐えうる値である。また、最大成長までの時間について、回帰直線は $y = 0.89x + 20.27$ 、誤差はおよそ 29 時間となった。一方で、いくつかのイベントは、モデル構造を変化させても誤差が 200% 以上となるものが存在し、それらを除いた場合には磁束量の誤差は 48.29%、最大成長時間の誤差はおよそ 28 時間と改善された。

講演においては、出現初期からのみではなく、任意の時間からの成長予測モデル構築結果についても述べる。

[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](#)

M09b 差動回転の自転速度・解像度への依存性の調査

堀田英之 (千葉大学)

3次元の太陽全球熱対流計算をおこない、差動回転分布が自転速度・計算解像度にどのように依存するかを調べた。太陽は極に比べて赤道が速く自転していることが古くから知られている。これは熱対流がコリオリ力によって影響を受け、角運動量を運ぶようになることが原因だと考えられているが、形成される差動回転分布は、熱対流の性質に敏感に反応する。本講演では、3次元の太陽全球を包括した磁気流体計算のパラメタサーベイをおこない差動回転分布が、自転速度と解像度にどのような依存性を示すかを調べた。今回の計算では、解像度を高く保つために太陽全球の3次元計算でよく使われる大きな粘性・熱伝導などは使っていない。計算結果を見ると、太陽の3倍回転の時は、解像度に関わらず赤道が速く回る差動回転が達成されて、太陽自転速度の場合は、極が速く回る差動回転が達成された。太陽の2倍回転の時は、低解像度の場合は赤道が速くなるのに対して、高解像度の時は極が速くなることがわかった。一般に定義されるロスビー数だけではなく、熱対流のエネルギースペクトルが差動回転分布を決めることを示している。また、現在の計算では太陽の差動回転を再現することができていないことを確かめた。この差動回転の問題をまとめるとともに、今後の解決方法についての展望を示す。

[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](#)

M10b 機械学習を用いたフレアループ長の推定

西本将平 (防衛大学校), 河合敏輝 (名古屋大学), 渡邊恭子 (防衛大学校), 今田晋亮 (名古屋大学)

太陽フレアに伴う X 線・極端紫外線 (EUV) 放射は、地球熱圏および電離圏の大気を急激に電離することによって、通信障害などの宇宙天気現象を引き起こすことが知られている。フレア放射による地球高層大気の応答を正確に見積もるためには、フレア放射の強度、継続時間、スペクトルを正確に把握することが重要である。これまで我々は、1次元流体力学計算と CHIANTI 原子データベースを用いてフレアループ内の放射プラズマの時間発展を再現することによって、フレア時間積算放射強度 (エネルギー) と立ち上がり時間を再現することに成功した (Kawai et al., 2020)。本手法では、可変パラメータとしてフレア加熱とフレアループ長が必要であるが、フレア加熱は GOES の X 線観測より決定し、フレアループ長はフレアリボンの観測データから導出している。これらのうちフレアループ長をフレア発生前の太陽観測データを用いて推定することができれば、本手法を用いてフレア放射を予測することができる。

本研究では、フレアループ長と幾何学的に関係しているフレアリボン間距離を畳み込みニューラルネットワーク (CNN) を用いて推定することを試みた。2010 年から 2017 年に太陽中心から 45 度以内で発生した M クラス以上のフレア観測データを使用した。CNN への入力として SDO/HMI による黒点観測画像、出力データとして SDO/AIA 1600 Å の観測データから抽出したフレアリボン間距離を用いた (284 例)。その結果、フレア発生 5 時間前の黒点画像からリボン間距離を誤差 20 Mm 未満で推定することができた。

本講演では、今回構築した CNN の詳細とフレアループ長推定の精度について報告し、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](#)

M11b 太陽フレア放射スペクトルとデリンジャー現象の関係

渡邊恭子, 荒尾宗陸, 西本将平 (防衛大学校), 埴千尋, 西岡未知 (情報通信研究機構)

太陽フレア放射により地球の高層大気が電離され、急激に電離圏の電離度が上昇することによって短波通信の通信障害が発生する現象は、デリンジャー現象としてよく知られている。デリンジャー現象は地上からの高度 80km 辺りにある電離圏 D 層の電離が進むことによって発生しているが、D 層まで到達できる太陽フレア放射は主に X 線であるため、デリンジャー現象の発生予測は太陽フレアクラスを用いて行われている。しかしこれまでの観測から、X クラスフレアでもデリンジャー現象が発生しない事例や、C クラスフレアでデリンジャー現象が発生している例が報告されている。これらの例より、デリンジャー現象の発生に寄与している太陽フレア放射は X 線だけでなく、一部の短波長の紫外線放射も寄与しているのではないかと考えられている。

そこで、情報通信研究機構 (NICT) が保有するイオノゾンデ (@国分寺) で観測されている電離圏による最小反射周波数 (f_{min}) のデータを用いてデリンジャー現象の発生状況を探り、太陽フレア放射スペクトルとの比較を統計的に行った。2006 年から 2018 年の間に発生したデリンジャー現象 (約 50 例) について X 線放射強度 (太陽フレアクラス) と比較したところ明確な関係性は見られなかったが、太陽フレア発生位置による補正を用いて擬似的な紫外線放射強度と比較したところ、弱いながらも紫外線放射強度が大きいフレアイベントの方が f_{min} の値が大きくなるという関係性が見られた。

本講演では、1996 年から 2018 年に発生したデリンジャー現象についてイベント数を増やして統計的に解析した結果を報告するとともに、紫外線観測データとして Solar and Heliospheric Observatory (SOHO) 搭載の Solar EUV Monitor (SEM) のデータとの比較を行った結果についても報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

M12b 2020 年 10 月 15 日の GOES B-CLASS イベントにおける彩層～光球ダイナミクスの時間変動

當村 一郎 (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、太陽彩層～光球のダイナミクスの時間変動を調べている。特に、形成される高さが異なる 2 本あるいはそれ以上のスペクトル線を同時に観測すれば、太陽大気のダイナミクスを 3 次元的に調べることができる。2020 年 10 月の共同利用観測において彩層で形成される $H\alpha$ 線およびその近傍の光球スペクトル線と、temperature minimum 付近で形成される MgI 457.1 nm 線による多波長同時観測を行い、GOES B-CLASS 増光イベント中の光球～彩層のダイナミクスをケーデンス 3.8 秒で約 40 分間連続観測することに成功したので報告する。

観測日時は 2020 年 10 月 15 日 05:12-05:54UT、視野はスリット方向に約 120 秒角、スキャン方向に約 100 秒角、空間サンプリングはスリット方向に 0.2 秒角、スキャン方向に 0.64 秒角、ケーデンスは片道 1.9 秒 (往復 3.8 秒)、カメラのフレームレートは 200fps、スペクトルの次数は $H\alpha$ 線が 1 次、MgI 457.1 nm 線が 2 次である。

得られた線輪郭から $H\alpha$ 線、MgI 457.1 nm 線の両方について積分強度 (ただし $H\alpha$ 線は線中心付近)、ドップラーシフト、ドップラー幅を求め、それらの時系列マップを 2 つの波長で比較した。年会では彩層～光球の速度場の関係と時間変化に特に着目して詳しく報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

M13a 太陽光球での磁場要素追跡を用いた磁場強度・磁束と差動回転関係の研究

高畑憲, 堀田英之 (千葉大学), 飯田佑輔 (新潟大学), 大場崇義 (JAXA)

太陽静穏領域の輻射磁気流体計算を行い、差動回転を模した強制流のある場合、太陽表面磁場の「磁束量や磁場強度」と「磁場が到達する深さや表面での移動速度」にどのような依存関係があるか調査した。これまでに Imada & Fujiyama 2018 によって、太陽表面では平均磁場強度の強い磁場要素ほど、速く経度方向に流されていることが確認されている。平均磁場強度の強い磁場要素ほど太陽内部深くまで貫いていると仮定すると、強い磁場はより速い差動回転の影響を受け、経度方向に強く流されると説明できる。本研究では、この仮定の妥当性を検証するため、磁気流体計算コード R2D2(Hotta et al. 2019) を用いて輻射磁気流体計算を行った。まず、約 98 Mm × 98 Mm × 49 Mm の計算領域に太陽差動回転を模した流れとして最大速度 500 m/s で深さに比例して増加する水平流をおき、輻射磁気流体計算により磁場を生成した。次に、光球付近の 2 次元水平面磁場データに対し磁場強度や磁束量の閾値を用いて磁場要素を検出した。この処理を光球から計算領域の底まで行うことで磁場構造を 3 次元的に検出し、約 3 万個の光球磁場要素の磁束量と到達した磁場の深さを統計的に見積もった。また、3599 ステップに渡りのべ 290 万個の光球磁場要素を自動的に検出・追跡することで磁場強度や磁束量ごとの流れ場を統計的に見積もった。さらに、観測衛星ひのでと Solar Dynamics Observatory(SDO) の点拡がり関数を光球の磁場データに乘じ、同様の磁場追跡を行った。結果として磁場要素の移動速度は磁場強度・磁束量のべき乗となることが分かった。特に、SDO の PSF を用いた場合は 1 次関数となり Imada & Fujiyama 2018 の結果と一致した。磁場が到達する深さは、磁場強度の場合 2 次関数に、磁束量の場合べき乗となることが分かった。以上の結果から、Imada & Fujiyama 2018 などを用いられている仮定の妥当性を確認できた。

[スケジュール\(セッション毎\)に戻る](#)

[スケジュール\(全体\)に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

M14a 太陽光球リム境界近傍の表面構造がドップラー速度の観測に与える影響

森塚章恵, 勝川行雄 (国立天文台/東京大学), 石川遼太郎 (総研大/国立天文台), 大場崇義 (ISAS/JAXA)

太陽光球面における平均吸収線のドップラー速度は太陽面中心から縁(リム)に向かって赤方偏移している。これはリム効果(または、リム赤方偏移)と呼ばれており、光球面の対流運動と三次元構造がスペクトル線の輪郭に影響を与えるために引き起こされる。しかし、リム境界まで分光観測を行いリム効果を調べたものはなく、定量的な議論はまだ決着がついていない。本研究では「ひので」衛星の可視光望遠鏡が観測したスペクトル線の Fe I 630.15nm を使用し、リム境界近傍の静穏領域におけるドップラー速度を求めた。さらに、光球面を構成している磁気輝点(白斑)、粒状斑、磁氣的粒状斑間隙、粒状斑間隙のそれぞれがリム効果に与える影響について着目して解析を行った。連続光の明るさと偏光度を用いて吸収線を分類したところ、粒状斑と粒状斑間隙が光球面の大部分を占めていた。「ひので」衛星の高い空間分解能を生かして吸収線の輪郭をリム境界まで調べると、粒状斑のドップラー速度はリムに向かって赤方偏移するが、粒状斑間隙はほぼ一定の値を保っていた。バイセクター解析を行うことで深さ方向の構造を調べたところ、粒状斑の深さ間の速度差は最大で約 300m/s になった。リム効果は粒状斑の影響が大きいことがわかり、Cegla et al.(2018) で得られている数値計算と似た傾向が得られた。未だ明らかにされていなかったリム境界では、粒状斑が光球表面を占める割合が上がり、そのドップラー速度は太陽面中心側に比べて赤方偏移していることがわかった。リム境界から外側約 1 秒角以内では Fe I 630.15nm が吸収線ではなく輝線として現れ、リム境界内側の吸収線に対して青方偏移していることが確認できた。本講演では、リム境界近傍における吸収線の輪郭とドップラー速度の観測から推測される対流運動の三次元構造について議論する。

[スケジュール\(セッション毎\)に戻る](#)

[スケジュール\(全体\)に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

M15a 太陽表面の磁場構造のサイズ分布

桜井 隆 (国立天文台)、鳥海 森 (宇宙航空研究開発機構)

太陽表面の磁場構造の大きさないしは磁束の分布関数は、べき乗則で近似できるとする研究が多い (例えば Thornton and Parnell, 2011)。一方 Bogdan et al. (1988) は黒点暗部の面積は対数正規分布に従うとした。べき乗則でなく、面積の小さいほうで確率が落ちるのは、小さい磁束は黒点でなくなる (むしろ輝点になる) ためと考えられる。面積の大きい方でべき乗則のように分布が伸びていないことは、超巨大黒点は存在しないことを示している。近年注目されている太陽類似星のスーパーフレアに関連して、太陽でもスーパーフレアまたはスーパー黒点が存在しうるのかを議論するため、まず黒点の磁束の分布関数について再考した。データはグリニッジ天文台および NOAA の活動領域リストから、黒点群を面積の大きい順に約 3200 個選んだ (143 年分)。磁束 Φ [Mx] と面積 S [MSH, 半球面積の百万分の一を単位] とは $\log \Phi = 1.010 \times \log S + 19.676$ で換算する。

磁束 Φ についてべき乗分布 $F = C(\Phi/\Phi_0)^{-\alpha}$ ($\Phi \geq \Phi_0 = 2.53 \times 10^{22}$ Mx) を仮定して最尤法により α を決定し、そのフィットの良さについては Kolmogorov-Smirnov 検定などの方法で判定した。その結果、べき乗分布は明らかに棄却されることがわかるので、パラメータを 2 つ含む分布 (対数正規分布、べき乗 \times 指数関数など) について同様の解析を行った。べき乗分布と比べてフィットが良くなったかどうかは AIC で判定でき、有意に良くなった。パラメータが 2 つの分布はどれもほぼ同等のフィットを与えたが、対数正規分布は磁束の小さい側で従来の結果と合わないので採用しない。結果は例えば $F = C(\Phi/\Phi_0)^{-\alpha} \times \exp[-\beta(\Phi - \Phi_0)/\Phi_0]$ 、 $\alpha = 1.515$ 、 $\beta = 0.496$ となり、観測史上最大の黒点群 (1947 年 4 月、6132 MSH、 3.18×10^{23} Mx) の予想出現頻度は 630 年に 1 回となった。16300 MSH の黒点が現れるのは 1 億年に 1 回となり、実際上不可能と判断される。

[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](#)

M16a サイクル 24 にわたる「ひので」高解像度観測でみた太陽極域磁場の振る舞い

谷竜太 (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)

太陽活動は 11 年周期で増加と減少を繰り返しており、極小期の 2008 年頃から次の極小期 2020 年頃を第 24 太陽活動サイクルと呼ぶ。太陽活動サイクルは太陽内部でダイナモ過程によって生み出されている。バブコック-レイトンモデル (Babcock 1961, Leighton 1969) によれば、太陽極域の磁場は中低緯度で観測される浮上磁場を作る種となる磁場であり、高緯度の磁場の振る舞いを観測的に調べる事は太陽活動サイクルや太陽ダイナモを考える上で重要である。しかし地球から観測される太陽極域は、太陽リム近くでほぼ真横からかろうじて観測するため、空間的に構造を分解して観測することは難しく、これまで行われてきた視線方向磁場観測では動径磁場を過大評価していると考えられる。「ひので」衛星は、高空間分解なベクトル磁場観測によって極域に分布する磁場がパッチ状に分布することを初めて捉えた (Tsuneta et al., 2008)。また、今まで行われた解析は極域が見やすくなる 3 月や 9 月の観測データのみを用いて行われてきた (Shiota et al 2012, Petrie 2016)。

本研究では「ひので」が約 1 ヶ月に 1 回定期的に極域のベクトル磁場観測を行なっている事に着目し、サイクル 24 にわたる極域磁場の時間変動を捉えることで、極反転の時期に極域に運ばれた磁場が前サイクルの極性と相互作用する領域を調べた。1 ヶ月毎の極域マップから太陽座標上の緯度毎に経度平均する事で極域磁場を緯度と時間の関数で表したところ、南北共に 85° 以上の高緯度ではほとんど動径方向磁場が存在せず、およそ 70° から 80° の領域で極大期付近に磁場が反転している様子を詳細に捉えることができた。本講演ではこの発見を説明し、その意味を議論する。

[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](#)

M17a ひのでで観測されたサイクル 24 中の太陽極域磁場の変動

塩田大幸 (情報通信研究機構), 下条圭美 (国立天文台)

太陽の極域の磁場は、詳細に観測が困難である一方、太陽周期活動によって変動するため太陽の長期的な磁場変動を理解する上で非常に重要であることが知られている。また極小期には高速太陽風が流出する極域コロナホールが形成されるため、太陽極域磁場の変動の理解は、宇宙天気予報を高精度化するための要素としても重要な意味をもつ。

2006 年に打ち上げられたひので衛星は、高解像度・高性能の偏光観測が可能な可視光磁場望遠鏡によって、太陽極域磁場の詳細な分布を観測することができ (Tsuneta et al. 2008)、2008 年秋以降極域磁場のモニター観測を継続している。2020 年 9 月、NASA および NOAA によって招集された Solar Cycle 25 Prediction Panel は、2019 年 12 月に太陽活動が極小に至り新しい周期サイクル 25 が始まったと発表を行った。サイクル 24 は 2008 年 12 月より開始されたことが知られているため、ひのでによる極域磁場観測はサイクル 24 の開始前から終了までの期間をカバーすることに成功した。

本研究では、モニター観測によって得られたこの期間全体における太陽南北両極の磁場変動を解析した。さらに SDO/HMI による太陽全面の高級磁場 synoptic map とひのでによって得られた極域の磁場マップを合成した改良 synoptic map を作成し、このマップを入力としてポテンシャル磁場モデルを用いて太陽全球のコロナ磁場を計算した。講演では、サイクル 24 の期間中の極域磁場と磁場コロナ磁場の変動の対応関係について解析を行った結果を報告する。

[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](#)

M18a アルフベン波駆動の太陽風モデルにおける音波の効果について

清水公彦 (東京大学), 庄田宗人 (国立天文台), 鈴木建 (東京大学)

太陽の光球の表面温度は約 6,000 度であるが、その上層大気であるコロナは 100 万度に加熱されていることが知られている。また、この高温のコロナガスは磁場の開いた領域から惑星間空間に向かって太陽風として吹き出すことが知られている。コロナ加熱と太陽風加速のメカニズムは現在も未解明の問題である。

コロナ加熱や太陽風加速のエネルギー源として考えられているものが、光球表面の対流によって生成される磁気流体波動が有力とされる。非圧縮性波動であるアルフベン波は減衰しにくく、コロナ上空までエネルギーを伝播させやすい一方、圧縮性波動である音波は衝撃波へ成長し速やかに散逸するため彩層加熱には寄与するが、さらに上空の加熱や加速には寄与しないと考えられてきた。そのため、これまでアルフベン波駆動モデルに基づく太陽風・恒星風の理論計算が盛んに行われてきたが、太陽風モデルにおける音波の役割はこれまで系統的に調査されて来なかった。

そこで我々は光球表面 ($\sim R_{\odot}$) から太陽風が十分に加速する ($\sim 100R_{\odot}$) 領域にわたり太陽風加速とコロナ加熱の 1 次元 MHD シミュレーションを行った。光球に横波擾乱 $\delta v_{\theta,*}$, $\delta v_{\phi,*}$ と縦波擾乱 $\delta v_{r,*}$ を注入して、縦波の強度に対して太陽風の質量損失率がどのように依存するかを調べた。質量損失率は光球から注入する縦波擾乱の振幅と共に増加した。縦波振幅 $\langle \delta v_{r,*} \rangle_{\text{rms}} = 0.9 \text{ km/s}$ が有る場合、無い場合と比べて約 90% 増加する。アルフベン波のエネルギー保存の式を解析した結果、アルフベン波から音波にモード変換される効果が縦波の存在によって抑制されてアルフベンエネルギーをより効率的に伝播した為に質量損失率が増加したと考えられる。我々の結果は、これまで無視されてきた光球由来の音波が太陽風の質量損失率に有意な影響を及ぼすことを意味する。

[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](#)

M19a Numerical study of shock heating of the magnetic chromosphere by realistic simulation

Yikang Wang, Takaaki Yokoyama (The University of Tokyo), Haruhisa Iijima (Nagoya University)

The problem of how to heat the solar chromosphere is still under debate, especially in the low-beta magnetic chromosphere. MHD waves are candidates for energy transportation and heating. In our study, we perform realistic radiative MHD simulation by RAMENS code with modification on non-LTE approximated radiation treatment (Carlsson & Leenaarts 2012). We catch each shock front and analyze its mode and its contribution to heating. Our result shows that fast waves could also play an important role in heating the magnetic chromosphere along with slow mode waves, which has not been pointed out by previous studies. These low-beta fast waves are considered to be generated by mode conversion from fast acoustic waves in the high-beta region. We also estimate the potential heating rate by ambipolar diffusion and find that, on average, the ambipolar diffusion heating is much smaller if compared with shock heating.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

M20a 太陽の活動度の差を考慮した Ca II K 線による紫外線放射の推定

田中宏樹, 岡本壮師, 浅井歩, 上野悟, 一本潔 (京都大学・理)

太陽紫外線放射は、太陽活動に同期して変動する。さらにその変動幅は、太陽総放射量 (Total Solar Irradiance: TSS) に比べて格段に大きく、地球の電離層や成層圏を加熱していると考えられている。また、4000 Å より短波長の紫外線の変動が、TSS の 11 年周期の変動のうち 60 % を占めるとの研究もある (Lean et al. 1997)。

紫外線領域での直接太陽観測は人工衛星に依ることから近年に限られている。一方で、およそ 100 年もの前から複数の地上観測所でガラス乾板による Ca II K 線での観測結果が残されている。例えば京都大学 (1928 年～)、国立天文台 (1917 年～)、インド・コダイカナル (1907 年～)、ウィルソン山天文台 (1915 年～) など。Ca II K 線のような、紫外線を主に放射する彩層のスペクトル線から、長期の紫外線放射強度やスペクトルの変動を導出する試みが多くなされている (Lean 1987, Chatzistergos et al. 2019 等)。

我々はこれまでに、京都大学飛騨天文台ドームレス太陽望遠鏡 (DST) の水平分光器による、Ca II K 線の分光スキャンデータと、人工衛星 SDO の紫外線観測装置 AIA による同日の紫外線 304Å、1600Å、1700Å の撮像データを比較した。DST による Ca II K 線の積分する波長幅を変えてスペクトロヘリオグラムを作成し、それと紫外線の放射強度にどのような相関があるのかを調べた (田中ら 2020 年天文学会春季年会 M15a)。本研究ではさらに、静穏領域、ネットワーク領域、プラージュ領域など太陽彩層の活動度による相関の振る舞いの違いを調べた。その結果、領域ごとに相関の様子が変化していることが分かった。領域ごとに分けて解析を行うことで、紫外線の再現度の向上を目指す。

[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](#)

M21a Lyman 線のスペクトル線形状と彩層大気構造に関する研究

長谷川隆祥 (東京大学、ISAS/JAXA), Carlos Quintero Noda (カナリア天体物理研究所), 清水敏文 (ISAS/JAXA)

Lyman 線は 2020 年代のスペース太陽観測ミッションである Solar-C (EUVST) や Solar Orbiter/SPICE で共に取得予定であり、彩層から遷移層下部のプラズマ状態や大気構造を診断するために有用なスペクトル線である。そのうち、Ly α 線の分光データは観測ロケット実験 CLASP で取得されたが、その物理的な解釈には Lyman 線の線形状の理論的な理解が必要である。本研究は、まず Ly β 線に着目し、スペクトル線合成によって数値的に線形状を模擬したのち、クラスタリングの手法を用いることで典型的な線形状を抽出し、その基になる大気構造との関係を調べた。結果、シングルピーク、マルチピークを持つ線形状の占める割合は同程度であり、前者は高度 2.4Mm 程度と低い遷移層の急峻な、後者は高度 2.9Mm 程度と高い遷移層の緩やかな温度上昇に由来していた。加えて、マルチピークを持つ Ly β のピーク非対称性は彩層中部の速度勾配と対応していた。上記の振る舞いは、コアと比べて光学的に薄いウイングの、彩層中部のプラズマ流への応答に起因すると考えられる。またコア反転の深い Ly β 線は磁気ループの頂上に分布する傾向があった。この傾向は、SoHO/SUMER による静穏領域の分光観測データでも示唆されていた。次に、Ly α 線と Ly β 線のピーク非対称性を生み出すメカニズムを検討した。今までの観測は、Ly α 線と Ly β 線はそれぞれ短波長側と長波長側のピークが明るい傾向を持つことを示している。同一の 1 次元大気構造を用いたスペクトル線合成の検討から、彩層上部から中部にかけて加速する下降流によって観測と整合的な非対称性が得られることを発見した。以上の結果は、将来の Lyman 線観測において、その線形状の検討が彩層大気温度・速度場成層といった 3 次元的物理量の取得に有用であることを示している。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

M22a SCIP/Sunrise 3 での波動観測について

松本琢磨, 川畑佑典, 勝川行雄 (国立天文台), Quintero Noda Carlos (IAC), 飯島陽久 (名古屋大学)

本研究の対象は、太陽表面である光球と、太陽最外層である高温コロナとの間に存在する彩層である。彩層中を伝播する電磁流体 (MHD) 波動は、彩層中のダイナミクスや、コロナへのエネルギー輸送において重要な役割を担っていると考えられている。しかしながら、これまで捉えられてきた彩層中の波動の大半は、測光・分光観測によるものであり、磁場情報はほぼ得られていない。2022 年に飛翔を計画している国際共同大気球太陽観測実験 SUNRISE-3 に搭載する SCIP (Sunrise Chromospheric Infrared spectroPolarimeter) では偏光分光観測が予定されている。SCIP による観測は、多波長観測により光球から彩層までをシームレスに捉えることができ、また大気ゆらぎの影響を無視できるという点で、波動の伝播を捉えるのに最適である。そこで本研究では、SCIP により彩層中の波動に伴う磁気擾乱を捉えられる可能性を検討する。

本研究では、表面对流層からコロナまでを解いた 3 次元輻射 MHD シミュレーション (飯島 & 横山 2017) を用いて、彩層中を伝わる波動を解析した。まず、表面对流の間隙部分に現れる、パッチ上の強磁場 (磁気パッチ) を特定することで、そこから伸びる磁束管を追跡した。磁束管に沿った物理量を時系列順に並べた time distance diagram を用いることで磁力線を伝わる波動の特徴を抽出することができる。

その結果、磁気パッチからは断続的に波動が励起されていることを確認した。伝播する波動は位相速度の速いモード (Alfvén or fast mode) と遅いモード (Slow mode) があり、波動がある高度で分岐するような過程 (モード変換) も見られた。本研究ではこれらの現象に対して疑似観測を行うことで、SUNRISE-3 SCIP において彩層中の波動がどのように捉えられ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](#)

M23a 狭帯域チューナブル・フィルターを用いた太陽彩層観測

宮良碧, 野澤恵 (茨城大学), 一本潔, 上野悟, 木村剛一 (京都大学), 萩野正興 (日本スペースガード協会)

我々は 2020 年 8 月 20 日に京都大学飛騨天文台ドームレス太陽望遠鏡を用い、太陽北西の活動領域 NOAA12772 において観測した。この観測では透過幅が $1/8\text{\AA}$ の狭帯域チューナブル・フィルター (UTF-32+) を用いて、 $\text{HeI}(10830\text{\AA})$ と $\text{HeI}\pm 0.3\text{\AA}$ 、近傍の $\text{Si}(10827\text{\AA})$ と $\text{Si}\pm 0.5\text{\AA}$ 、連続光の 7 波長での観測を行った。従来の UTF-32 は透過幅は $1/4\text{\AA}$ ($\text{H}\alpha$ 付近) で、液晶遅延素子によって高速チューニング (約 0.1 秒) を行い、広い波長範囲をカバーできる。UTF-32+ はこの UTF-32 に $\text{H}\alpha$ 線付近で $1/8\text{\AA}$ のブロックを取り付けて進化させたものである。

本観測では、フレームレート 60FPS の赤外カメラを用いて高速撮像を行い、スペckルマスキング像回復処理を行うことにより、口径 60cm の回折限界 (約 0.25 秒角) での単色像を取得した。観測ターゲットは 2020 年 8 月 20 日に北東リム近くにあった NOAA12772 (N18W51) であり、光球の観測では三つの黒点から構成され、GOES では B クラスのフレアが確認された。

本研究では $\text{HeI}(10830\text{\AA})$ が生成される彩層上部でフレア発生直前のフィラメントの運動の時間変化を捉え、遷移層からコロナを観測する極端紫外線 (304\AA と 171\AA) との関係について報告する。また、 $\text{HeI}(10830\text{\AA})$ の吸収量の分布などの議論も行う。

[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](#)

M24a 特徴量の機械学習を用いた太陽表面 X 線画像からのコロナ質量放出予測

正島 涼希 (関西学院大学), 巳波 弘佳 (関西学院大学), 飯田 佑輔 (新潟大学)

コロナ質量放出 (Coronal Mass Ejection, CME) とは、太陽から突発的に大量のプラズマが放出される現象である。放出された高エネルギーのプラズマが地球に到達すると地球電磁気圏の擾乱を引き起こし、人工衛星の故障や大規模な停電が起こりうる。そのため、CME の発生を予測することで、事前に備えて影響を最小限にすることが重要である。CME の発生にはコロナ画像に見られる特徴的な S 字のループ構造 (シグモイド) の有無が関係していることがわかっている。そのため、現在は主に目視で行われているコロナ画像からのシグモイド構造抽出の自動化、さらに機械学習等を利用した CME 発生予測器の構築により、宇宙天気予報分野の新しい進展が期待できる。そこで本研究では、まず活動領域の概形に着目してシグモイドを定量的に定義し、太陽表面 X 線画像から自動的に検出するアルゴリズムを設計した。ここでは、太陽表面 X 線画像から抽出したループ構造をスプライン補間により滑らかな曲線に変換した上で、その角度変化から S 字構造の有無を判別することで行った。さらに、そこで検出されたシグモイド構造から様々な特徴量を作成し、ニューラルネットワークを用いた CME 発生予測器を構築した。シグモイドのループ構造に沿った累積角度変化・最長細線長・輪郭長・平均輝度などの様々な特徴量と、太陽フレアイベントの時系列データにおける CME の発生有無の関係を、ニューラルネットワークで学習を行うことによって、CME 発生予測器を構築した。性能評価指標として TSS (True Skill Statistics) などを用いた。CME 発生予測器の性能を抽出した特徴量の様々な組み合わせで評価したところ、TSS の平均値の最大は 0.798 となり、CME 発生予測に十分に有効であることが確認できた。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

M25a フィラメント噴出の三次元速度とコロナ質量放出との関係について

関大吉, 石井貴子, 浅井歩, 一本潔 (京都大学), 大辻賢一 (情報通信研究機構)

コロナ質量放出は、地球や惑星間空間のプラズマ環境の擾乱 (宇宙天気) の主な原因であり、大規模な地磁気嵐を引き起こす。それに伴い、大規模停電などの社会的損害を与える (Boulduc 2002) ことから、その発生を予測することが重要視されている。一方、フィラメント噴出は、しばしばコロナ質量放出 (CME) を伴うことが広く知られており、CME とフィラメント噴出の関係性を明らかにすることで、CME 発生予測への貢献が期待される。しかし、CME を伴うフィラメント噴出の割合は、17% (Al-Omari et al. 2010) から 94% (Gilbert et al. 2000) と大きくばらつきがあり、フィラメント噴出による CME 発生予測のためには、物理的にどのようなフィラメント噴出が CME を伴うのかを、明確にする必要がある。

本研究では、京都大学飛騨天文台 SMART/SDDI 望遠鏡で観測された 24 例のフィラメント噴出に対し、フィラメントの長さ、最大動径速度、噴出方向などの物理量と CME との関連を統計的に解析した。その結果、フィラメントの長さ (L) と最大動径速度 ($V_{r,max}$) に対し、 $\left(\frac{V_{r,max}}{V_0}\right) \times \left(\frac{L}{L_0}\right)^{0.92}$ の値が、CME 発生とよく相関することがわかった。ただし、 V_0, L_0 は、それぞれ、 100 km s^{-1} , 100 Mm である。この値が 0.80 より大きければ 93% の確率で CME を伴い、また 0.80 より小さければ、100% の確率で CME を伴わなかった。以上の結果から、より正確な CME 発生予測のためには、フィラメント噴出の三次元速度を測定することが重要で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](#)

M26a 太陽フレア多クラス発生予測への深層学習技法の応用

西塚直人 (情報通信研究機構, NICT), 杉浦孔明 (慶応義塾大学), 久保勇樹, 田光江, 石井守 (NICT)

太陽フレアは太陽系最大の爆発現象であり、その発生機構はまだ解明されていない。その一方、フレアの影響は社会インフラにも及び、予測技術の開発は科学のみならず防災といった観点でも重要である。太陽活動の大量の観測データは日々蓄積され、現在深層学習を用いた研究に応用されている。一般的に深層学習の精度はデータ量が増えるほど増大する。特に光球磁場やコロナ発光の時間発展を追跡することで、太陽フレアを精度よく予測ができることがわかってきた。我々は多波長太陽観測画像から黒点周辺の特徴量を抽出して深層学習に入力し、24 時間以内に発生する太陽フレアの確率予測モデル Deep Flare Net を開発、さらに予測信頼度の向上に成功した (日本天文学会 2020 年秋季年会 M21a 西塚ら)。

本研究では Deep Flare Net を拡張し、多クラスのフレア発生予測のモデル開発を行った。太陽フレアは GOES X 線観測値に応じて上から X, M, C クラスと分類される。本モデルでは X, M, C クラスもしくはフレア無しの 4 クラスについて確率予測を行い、24 時間以内に発生するフレアの最大クラスを予測する。観測データは SDO 衛星による 2010-2017 年の約 40 万枚の太陽観測画像を用い、黒点領域を自動検出し、前モデルと同じ 79 個の特徴量を抽出した。例えば光球磁場や 1600 \AA 彩層底部発光、 131 \AA コロナ高温発光、フレア発生履歴等である。運用形式の評価のためデータベースを時系列分割し、2010-2015 年を訓練用、2016-2017 年をテスト用に用いた。4 クラス予測の評価尺度として Gandin Murphy Gerrity スコア (GMGS) を用いた。その結果、GMGS=0.63 を達成し、人手を介した予測精度を超えることに成功した。さらに本講演では、太陽フレア規模ごとの予測に有効な特徴量の違い等についても考察したい。

[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](#)

M27a Magnetic Reconnection in a Sheared Magnetic Flux Tube: Slippage versus Tearing

Hidetaka Kuniyoshi (The University of Tokyo), Michael Hesse (NASA Ames Research Center), Cecilia Nogren, Paul Tenfjord, Norah Kaggwa Kwagala (University of Bergen)

It is widely accepted that the convective motions in the photosphere are the energy source to heat the solar corona to multi-million degree temperatures. The motions lead braiding and twisting of the coronal magnetic field lines, which have been proposed as the heating mechanism. According to Parker (1972, 1983), current sheets are formed in the braided magnetic field and energy dissipation occurs there. On the other hand, it may be possible that energy dissipation can also occur even in a single flux tube via magnetic reconnection. The process of magnetic reconnection in a flux tube can occur in a time-stationary fashion as slippage reconnection or in a time-dependent manner, for example, tearing instability. However, it is not well known how a system can be set up to sustain slippage reconnection, whether there is a competition between slippage reconnection and time-dependent reconnection. To investigate this question, using a 3D MHD simulation, we model a twisted flux tube, adding a spatially localized resistive region in the center of the simulation box. As a result, firstly, the Poynting flux injected at the boundary propagates to the resistive region and dissipates there. Secondly, tearing instability occurs with slippage reconnection in the resistive region when the cross section of the flux tube is elliptical enough, although only slippage reconnection occurs when it is circular. Finally, magnetic field generated by tearing instability propagates to the both ends of the flux tube.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

M28a NoRH と MUSER で同時観測された 2015 年 11 月 22 日の微小フレア 2

増田智 (名古屋大学), Chengming Tan, Baolin Tan, Yihua Yan (National Astronomical Observatories of Chinese Academy of Sciences & University of Chinese Academy of Sciences)

野辺山電波ヘリオグラフ (NoRH) と中国の太陽電波望遠鏡 Mingantu Spectral Radioheliograph (MUSER) との同時観測フレアイベントのうち、2015 年 11 月 22 日に発生した微小なイベントの概要と初期解析結果について、日本天文学会 2020 年秋季年会で報告した (講演 M26a)。このイベントの特徴は、MUSER の 1-2GHz 帯で 10 秒程度の中に微小 type III バースト群が高周波から低周波に放射周波数帯を変えながらイベントが進行し、NoRH の 17GHz の電波強度最大時刻ごろ、その傾向が逆転し、低周波から高周波に戻る現象が観測された点である。

今回は、微小 type-III バーストの個々の周波数ドリフトの向きに着目し、解析を進めた。その結果、ダイナミックスペクトル上で、コロナ上部への加速電子の運動に対応すると考えられる負の周波数ドリフトを持つバーストと、逆向きの運動に対応する正のドリフトを持つバーストの間に境界 (周波数ギャップ) が存在し、その境界が時間的に低周波から高周波に移動していることが分かった。この境界は、コロナの上方と下方に運動する高エネルギー電子の共通の出発点になっており、そこが加速領域であると考えられるのが自然である。その加速領域の候補としては、磁気リコネクション領域、もしくは、フレアループ上空の衝撃波領域などが考えられるが、正しく解釈するには、コロナ中のフレアループの位置や時間変化が重要になる。そこで、SDO 衛星 AIA の EUV 画像との比較を行ったところ、どの波長においても NoRH の電波源と同じ位置に非常にコンパクト (5-10 秒角程度) な増光が観測されているものの、残念ながらフレアループの構造ははっきりせず、加速領域の解釈には不定性が残った。

[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](#)

M29a 活動領域 NOAA12673 における連続する M5.5、M4.2 フレア発生機構の比較

山崎大輝 (京都大学・理・天文台), 井上諭 (名古屋大学宇宙地球環境研究所), 石井貴子, 浅井歩, 永田伸一, 一本潔 (京都大学・理・天文台)

2017 年 9 月に現れた活動領域 NOAA12673 では、9 月 6 日の X9.3 フレアをはじめとする大規模フレアが多数発生し、9 月 4 日から 5 日にかけても多数の M フレアが発生した。その中で最大かつ CME を伴う M5.5 フレアについては、非線形フォースフリー磁場 (NLFFF) 外挿と紫外線 1600 Å 撮像観測の解析から、磁気フラックスロープ (MFR) 上空におけるリコネクションが、MFR の噴出に寄与したことが示唆された (2020 春年会 M19a)。また、M5.5 フレア発生 4 時間半後には、ほぼ同じ領域で初期発光とフレアリボンが見られたものの、CME は伴わない M4.2 フレアが発生した。しかし、M4.2 フレアに関わる MFR の形成過程や、M4.2 フレアの発生機構は、M5.5 フレアと同様の物理機構であるのか、一方で、これらのフレアに伴う CME の有無に関する物理機構がどの様に説明されるのか等は不明である。そこで本研究では、連続する 2 つのフレアについて、それぞれの発生 5 分前の NLFFF 外挿を施し、フレア領域周辺のコロナ磁場構造の比較を行った。さらに、2 つのフレアそれぞれについて発生 1 時間前から 12 分刻みの、Solar Dynamics Observatory (SDO) / Helioseismic and Magnetic Imager (HMI) による光球ベクトル磁場の時間変化と、SDO / Atmospheric Imaging Assembly (AIA) による極端紫外線 94, 171, 304 Å 撮像観測から得られた、フレアに伴う増光の位置関係の詳細な比較をそれぞれ行った。その結果、M4.2 フレアに関わる MFR は、コロナのシア磁場と磁気中性線付近における浮上磁場とのリコネクションにより形成されたこと、M4.2 フレアも M5.5 フレアと同様に MFR 上空でのリコネクションが MFR の噴出に寄与したことが示唆された。本講演では、フレアに伴う CME の有無に関する物理機構についても議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

M30a 太陽ジェット現象における FIP 効果の時間的・空間的変動の研究

井上大輔, 浅井歩 (京都大学), 磯部洋明 (京都市立芸術大学), 川手朋子 (核融合科学研究所)

太陽大気中では、約 10eV 以下の第一電離ポテンシャル (First Ionization Potential, FIP) をもつ元素の割合がコロナ中で光球中と比べ大きくなる、という現象 (FIP 効果) が知られている。FIP 効果は彩層プラズマの部分電離性によって引き起こされると考えられている。FIP 効果の現れ方は、活動領域からのアウトフローや太陽風など、比較的定常的な現象については様々な研究がなされている (Brooks and Warren 2011 など)。太陽大気での太陽フレアやジェットといった突発的に起こる現象については FIP 効果の強さが定常現象のものとは異なる振る舞いをしていることはわかっているものの (Dennis et al. 2015 など)、典型的な強さや統一的な見解は得られていない。とくに FIP 効果の時間的・空間的変動について研究したものはほとんどなく、彩層プラズマのダイナミクスやジェットの起源の解明を考える上で、より詳細な研究が必要とされている。

本研究では「ひので」衛星の極端紫外線撮像分光装置 (EIS) の分光観測により得られた 2017 年 4 月 2 日に起きたジェット現象について FIP 効果の時間的・空間的変動を調べた。この現象は H α ジェットと EUV ジェットが同時に発生していることが太陽磁場活動望遠鏡 (SMART) 及び EIS でそれぞれ確認されている重要なイベントである。Ca XIV と Ni XVI の輝線強度を FIP が低い元素の寄与、Ar XIV の輝線強度を FIP が高い元素の寄与として採用し、ジェット現象とその周辺で強度比がどのように分布しているのかを確かめた。また、Differential Emission Measure (DEM) を場所ごとに算出し、温度の違いによる輝線の強度変化への寄与も調べた。その結果、ジェットが見られる時間帯にジェット領域で FIP 効果の表れ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](#)

M31a SMART/SDDI で観測される小スケールの blue/red shift 現象の詳細解析

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

京都大学飛騨天文台 SMART/SDDI では、波長間隔 0.25 \AA で $H\alpha \pm 9.0 \text{ \AA}$ の太陽全面像を時間分解能 12 s で定常的に撮像観測している。SDDI の定常観測により、 $H\alpha$ wing ($H\alpha \pm 1.25 \text{ \AA} \sim \pm 2.0 \text{ \AA}$) で 1 万 km 程度の空間スケールの blue/red shift イベントが頻発していることが確認されてきた (廣瀬ほか 2017 年秋季年会 M19a)。しかし、このイベントで $H\alpha$ スペクトルがどのようになっているのか、および他波長でどのように見えるのかについては、これまで調べられていなかった。今回の講演では、 $H\alpha$ のスペクトル解析と、SDO/AIA の撮像画像、および SDO/HMI の magnetogram を用いて、このイベントについて詳細な解析を行った結果を報告する。解析には、2019 年 9 月 7 日に静穏領域で発生した 6 例のイベントを使用した。各イベントでは、「吸収を示す blue shift」と「僅かな増光を示す red shift」、および「吸収を示す red shift」が $H\alpha$ スペクトル中に確認された。時系列変化としては、まず blue shift が僅かな増光を示す red shift と共に現れた。blue shift が弱くなった後、吸収を示す red shift が主として確認された。Beckers の cloud model をこれらの $H\alpha$ スペクトルに適用した結果、このイベントは彩層プラズマが $20 - 30 \text{ km s}^{-1}$ の超音速で噴出し、その後自由落下したものと解釈された。また、AIA 304 \AA 、 171 \AA では、6 例全てで増光が見られ、このうち 5 例で暗いループ状のプラズマが噴出していくのが確認された。特に、増光が始まる時に two-ribbon 構造を示すものがあることも確認できた。さらに HMI の magnetogram では、6 例中 5 例で双極磁場の消滅が確認された。以上の結果から、SMART/SDDI の $H\alpha$ wing で見られた blue/red shift イベントは、静穏領域での 1 万 km 程度の彩層プラズマの噴出を伴う、遷移層付近での小規模なフレアに対応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](#)

M32a 超小型衛星を用いた太陽フレアからの熱的・非熱的放射の時間発展の研究 III

長澤俊作 (東大 Kavli IPMU), 川手朋子 (核融合科学研究所), 成影典之 (国立天文台), 高橋忠幸 (東大 Kavli IPMU), Amir Caspi (SwRI), Tom Woods (LASP/University of Colorado)

本講演では、2016 年 7 月 23 日に発生した M クラスフレアを対象とした X 線スペクトル解析の進展を報告する。太陽フレアに伴う X 線の放射には、主に加速電子の制動放射による非熱的放射と、加熱された高温プラズマによる熱的放射が存在する。これまで衛星を用いた X 線観測によってフレアに伴う加熱・冷却や、粒子加速過程の理解が進みつつある一方で、軟 X 線帯域のスペクトル情報が不足しているために熱的放射成分を定量的に評価するにあたって不定性が大きいことが問題となっている。

我々は、超小型 CubeSat 衛星 MinXSS-1 による軟 X 線分光観測データ、及び RHESSI 衛星の硬 X 線撮像分光観測データを組み合わせ、X 線天文学で用いられる XSPEC によるスペクトル解析を行った。その結果、最短 10 秒の分解能で温度・エミッションメジャーの時間発展が得られ、 $\sim 3 \text{ MK}$ の低温、 $\sim 15 \text{ MK}$ の高温、 $\sim 30 \text{ MK}$ の超高温、と最大 3 つの熱放射成分が存在することが分かった。

さらに GOES 衛星によるフラックス情報、SDO/AIA、RHESSI、SOHO/LASCO による空間情報を加えることによって、各温度成分の放射に関連する構造を推定した。

最後に、本解析結果で得られた理解をさらに発展させる将来計画として、X 線撮像分光観測を行う FOXSI ロケット実験や PhoENiX 衛星計画への繋がり、さらには多温度におけるプラズマ物理量診断によって期待できるサイエンスについて述べる。

[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](#)

M33a M1.1 太陽フレアにおける彩層蒸発プラズマの速度・電子密度診断

神原永昌^{1,2}, 川手朋子^{3,1,2}, 村上泉^{3,1}, 原弘久^{1,2,4} (¹ 総合研究大学院大学, ² 国立天文台, ³ 核融合科学研究所, ⁴ 東京大学)

太陽フレアにおいて磁気リコネクションで解放されたエネルギーにより粒子加速が起きるとされているが、その詳しいメカニズムは解明されていない。加速メカニズムの理解のため解放エネルギーにおける非熱的エネルギーの割合を硬 X 線で推定しようと試みられてきたが、不定性が大きく決定が難しい。本研究では彩層蒸発に着目した。これまでのシミュレーション研究では非熱的粒子の注入により彩層蒸発が起こるというモデル (Fisher+1985) や、熱伝導により彩層蒸発を起こすモデル (Yokoyama+2001) が議論されており、注入エネルギーの種類に依存した速度・密度応答が見られる (Imada+2015)。これまで観測的研究ではプラズマの温度ごとのドップラー速度の調査 (Milligan+2009 など) が中心であった。そこで、本研究では速度に加え、電子密度がどのように応答するのか観測的に調査した。本研究では、2011 年 11 月 5 日に発生した M1.1 クラスフレアを対象にひので衛星搭載極端紫外線撮像分光装置 (EIS) で得られた輝線スペクトルを解析し、フレア足元におけるドップラー速度および電子密度を調査した。Fe XIV 264. 785 Å と 274. 203 Å の輝線の強度比は強い電子密度依存性があることが知られており、本研究では Hullac コードによる原子データを用いて衝突輻射モデルを解くことにより電子密度の関数として輝線強度比を計算した。計算と観測で得られた強度比を比較することにより電子密度を求めた。また、RHESSI 硬 X 線データから、非熱的粒子の流入時刻を推定し、EIS の観測場所・時刻と比較した。本講演では、電子密度を導出する際に用いた衝突輻射モデルの妥当性について議論した上、非熱的粒子の流入前後における速度・電子密度の観測的特徴から、エネルギー注入に対する彩層蒸発プラズマの応答を考察する。

[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](#)

M34a 全天 X 線監視装置 MAXI を用いた巨大恒星フレアの統計的研究

佐々木亮 (中央大学, 理研), 坪井陽子, 岩切渉, 岡本豊, 北古賀智紀, 河合広樹 (中央大学), 三原建弘 (理研), 根来均 (日本大学), 他 MAXI チーム

太陽フレアは、太陽表面に蓄えられた磁気エネルギーが磁気リコネクションによって解放される爆発現象であり、太陽以外の恒星フレアも同じ機構で発生すると考えられている (e.g. Shibata & Yokoyama 2002)。恒星フレアの中でも、2009 年から国際宇宙ステーション (ISS) に搭載され、その公転 (~92 min) に合わせて全天を走査する全天 X 線監視装置 MAXI は、稼働開始から 2–20 keV で 10^{34} – 10^{39} erg に及ぶ巨大フレアを、主に RS CVn 型連星、dMe 型星から発見してきた (Tsuboi et al. 2016)。同じ星の型の中でもエネルギーに 2–3 桁ずつに及ぶ幅があり、その差が何によって決まるのかは明らかになっていない。今回我々は、巨大フレアのエネルギーを決める星の物理量を探るために、まずは MAXI の稼働 10 年間のデータからフレア調査を行なった。これまでに MAXI 突発天体発見システム “nova alert” (Negoro et al. 2016) がフレアを検出した 28 天体を対象に、それらの 10 年間の 2–10 keV の光度曲線を、時間幅を ISS の 1 周回で作成し、フレアをサーチした。その内、MAXI 画像上で、X 線バックグラウンドのゆらぎ (σ) に対して 5σ 以上の有意なフレアは 202 発であった。本調査によって、 10^{33} erg オーダーのフレアまで発見された。この 28 天体のデータセットを用いて、10 年間の最大エネルギーと星半径を比較した結果、両者の間に正の相関を発見し、星が大きいほど大きなエネルギーを放出しうるとの傾向が明らかになった。他方で、光度曲線が線形増光の後、指数関数的に減衰する関数で再現されたものに対して、線形変化の開始からピークまでの時間 (5–120 [ksec]) と、ピークからの e-folding time (8–330 [ksec]) を比較したところ、正の相関を発見した。本相関の延長上に、太陽 X 線フレアが位置することも確認された。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

M35a 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

北古賀智紀, 岩切渉, 坪井陽子, 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, 青木貴弘, 元木業人, 藤沢健太 (山口大学), 下条圭美, 梅本智文 (NAOJ)

りょうけん座 RS 型連星は、最大規模の太陽フレアのエネルギー (10^{32} erg) と比べて 4-7 桁も大きいフレア (10^{36-39} erg) を起こすが、軟 X 線での最大光度と継続時間や、プラズマの温度と放射測度の相関関係が太陽と矛盾しないことから、太陽フレアと同様の発生機構と考えられる (Tsuboi et al. 2016)。しかし、過去のマイクロ波帯の観測では、太陽では観測されない、長い継続時間 (10-40 日) を持つ恒星フレアが報告されている (Richards et al. 2003)。Catalano et al. 2003 は、この長い継続時間の要因を、加速された非熱的電子の連続的な再注入によるものと解釈しているが、観測的証拠は未だ得られていない。そこで我々は、電波 - 軟 X 線 - 可視光の多波長観測によって、フレア中のプラズマや活動領域の情報を得ることで、その問題の解明を目指した。観測は、おひつじ座 UX 星を対象に、全天 X 線監視装置 MAXI (2 - 20 keV)、最新の X 線望遠鏡 NICER (0.2 - 12 keV)、茨城-山口電波干渉計 (6.7 GHz, 8.3 GHz)、中央大学後楽園キャンパスの 26 cm 可視測光望遠鏡 CAT (V-band) を用いて、3ヶ月間行った。その結果、我々はおひつじ座 UX 星からのフレアの多波長観測に、2度成功した。うち1つ目は MAXI が検出した、総放出エネルギーが $\sim 2 \times 10^{37}$ erg (@ 2-10 keV) の巨大フレアであった。電波フレアの継続時間は、ともに 20 日前後にも及び、減衰中に自転周期 (6.4 日) に対応した周期的な光度変動があった。一方、軟 X 線フレアの継続時間はそれぞれ 1 日と 6 日ほどで、減衰中の光度曲線と Hardness 比 (1-8 keV / 0.5-1 keV) に顕著な再増光は見られなかった。これは、電波の長い継続時間が加速電子の再注入によるものではないことを示唆すると同時に、電波の放射領域が自転によって見え隠れするコンパクトな領域に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](#)

M36a プラズマ粒子 (PIC) シミュレーションのための高精度 Boris 型数値解法

銭谷誠司 (神戸大学), 加藤恒彦 (国立天文台)

プラズマ粒子 (PIC) シミュレーションは、宇宙空間のさまざまな運動論プラズマ現象を扱うために有効なツールである。我々は、太陽フレアにおける粒子加速現象を理解するために、大規模 PIC シミュレーションを活用することを計画している。

PIC シミュレーションの根幹部の粒子の運動方程式を解く部分では、Boris 法 (Boris 1970; Buneman-Boris 法とも) が標準的に使われている。Boris 法は時間 2 次精度の解法で、適度な計算コストで粒子運動を安定に解くことができるなど、優れた性質を備えている。しかし、Boris 法はローレンツ力によるジャイロ回転を近似するため、磁場が強い箇所ではジャイロ回転の位相に数値誤差が混入する。一方、この位相誤差を補正すると、リコネクションジェットなどのプラズマ高速流のバルク速度に別の誤差が混入する。

本講演では、非相対論の粒子運動にターゲットを絞って、Boris 法を高精度化する 3 つの手法を提案する。1 つめは高次精度化である。我々は、電磁場の扱いを工夫して、バルク誤差を生じずに粒子運動を $2n$ ($n = 1, 2, 3, \dots$) 次精度で解く手法を提案する。2 つめは、運動方程式を時間刻み $\Delta t/m$ (m は自然数) で解き、手順全体を m 回繰り返すサブサイクリングである。我々は、 m 回ぶんの手順を 1 ステップで計算する公式を導出することで、計算負荷を軽減することに成功した。3 つめは、両者のハイブリッド方式である。1 と 2 は互換性があるため、両者を組み合わせると、位相誤差とバルク速度を含めた全体の誤差を $\propto (m\Delta t)^{-2n}$ に抑えることができる。

本講演では、数値解法の導出過程と、数値誤差および計算負荷のベンチマーク結果を紹介する。

[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](#)

M37a 磁化プラズマにおける電磁応力テンソルと運動量 (Kelvin 力と $E \times B$ ドリフト)

柴崎清登 (太陽物理研)

電磁場中の電荷にかかる力は Lorentz 力と呼ばれ Maxwell 方程式から導くことができる。しかし磁気力に関してはそうではない。磁石に鉄を近づけると引き寄せられるが、この力は Maxwell 方程式には陽に含まれていない。磁場の場合には単極磁荷が存在しないので、磁力としては非一様磁場中で磁気双極子に働く力となる。非一様な電磁場中で電気及び磁気双極子にかかる力は Kelvin 力と呼ばれるが、この力は Maxwell 方程式には陽には表れない。これは、双極子モーメントが物質の物理量であると同時に場の一部であることに起因する。物質中の Maxwell 方程式から求めた運動量保存則に従うと、電磁応力テンソルの空間微分と電磁運動量の時間微分からローレンツ力が導かれる。磁気モーメントや電気モーメントはこの電磁応力テンソルおよび電磁運動量に含まれている。電磁運動量に含まれた磁気モーメントの成分は「隠れた運動量 (hidden momentum)」と呼ばれる。

本研究では、熱的プラズマにおける電磁エネルギー保存則と運動量保存則を、プラズマの物理量を用いて具体的に示すとともに、プラズマにかかる Kelvin 力を求める。さらに、「隠れた運動量」および対応する「隠れたエネルギー流束」が、プラズマ粒子の $E \times B$ ドリフト運動と密接に関連していることを示す。得られた結果を MHD 運動方程式に反映させる。これらの議論において、プラズマが非線形媒質であること、流体であること、いたるところにプラズマ電流が流れていることなどに留意する必要がある。古典電磁気学の教科書に書かれている磁性体の扱いをそのまま利用することはできない。

[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](#)

N01a Starspot mapping with parallel tempering for TESS data of M-type flare stars

幾田 佳 (京都大学), 前原 裕之 (国立天文台), 野津 湧太 (コロラド大学), 行方 宏介, 加藤 太一, 岡本 壮師 (京都大学), 野津 翔太 (理化学研究所), 本田 敏志 (兵庫県立大学), 野上 大作, 柴田 一成 (京都大学)

恒星黒点は太陽黒点と同様に星表面の局所的に磁場の強い領域であり, M, K, G 型星などにおいて普遍的に存在している. 黒点はフレアを引き起こすことから, 星の磁気活動の一つの指標となる黒点の理解は不可欠である. 黒点は視線方向に対して見え隠れすることで光度曲線を変動させるため, その光度曲線の周期性や振幅の変化から黒点の位置や大きさ, 生成消滅率, 星の差動回転の情報が得られる. しかし, 星表面に黒点は多く存在しており, 従来の光度曲線の解析では多くのパラメータを同時に推定することは困難であった. そこで, 星の光度曲線からそれらの星表面の情報を精密に読み解くコードを実装した (Ikuta et al. 2020, ApJ, 902, 73). そのコードはパラレルテンパリングによって多くのパラメータの推定を行い, 同時にモデルエビデンスを計算して黒点の数の比較を可能にしている. テスト計算として, 黒点 3 つで周期成分が 1 つや 2 つになるような光度曲線を観測データを模して生成し最適化した. その結果, パラメータが一意に推定でき, 黒点の数も 3 つの場合が一番尤もらしいことが分かった. これより, 実際の観測データに対しても黒点の数が決められることが示唆された. このコードをトランジット系外惑星探査衛星 TESS で観測された明るい M 型フレア星 AU Mic, EV Lac, YZ CMi の光度曲線に適用した. これら 3 天体は同時期にフレアの分光モニタ観測が行われ, 黒点との関連性を調べるのに適している. その結果, 黒点の位置と大きさが一意に推定された. これを元に星の磁気構造を過去の光度曲線やドップラーイメージングと比較して議論を行い, 黒点の位置や位相とフレアの関係性を調べた結果を報告する (Ikuta et al. 2021, 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](#)

N02a 多波長モニタ観測で探る M 型星フレアのバルマー線の輝線輪郭非対称性 III

野津湧太, Adam Kowalski, Isaiah Tristan (コロラド大学 & NSO), 前原裕之 (国立天文台), 行方宏介 (京都大学), 本田敏志 (兵庫県立大学), 岡本壮師, 幾田佳, 野上大作, 柴田一成 (京都大学), James Davenport, Suzanne Hawley (ワシントン大学)

フレアは恒星表面での磁気エネルギー解放現象で, 様々な波長域で増光が観測される. 太陽フレアをバルマー線 ($H\alpha$ や $H\beta$ 線) で観測すると, 多くの場合, 彩層下降流に伴う赤方偏移が見られる. 一方, 低温でフレアを頻発する M 型星においては, 赤方偏移だけでなく, フレア中のバルマー線の輝線輪郭が青方偏移している例が複数報告されている (Maehara et al. 2020 他). これらは, フレアに伴う質量放出を反映している可能性もあり, 惑星への影響を推定する上でも重要である. しかし, M 型星フレアでの青方/赤方偏移それぞれの発生頻度や, それらの生成過程・放射過程の理解は進んでおらず, 可視連続光や X 線も含めた多波長モニタ観測が重要である.

米国 APO3.5m 及びチリ SMARTS1.5m 望遠鏡での高分散分光観測を軸に, 可視測光と X 線観測による, M 型フレア星の同時モニタ観測を進めてきた. その結果, 中期 M 型星 (YZ CMi, EV Lac, AD Leo) 3 星と早期 M 型星 (AU Mic) 1 星の観測から, 40 個以上のフレアを検出し, 複数の対照的な現象が観測された. 2020 年秋季年会 N15a では, 中期 M 型星 3 星での 5 個のフレアで, 可視連続光での増光が伴わない一方で, 顕著な青方偏移が見られることを報告した. 本発表では, 青方偏移が見られないが可視連続光の顕著な増光が見られる対照的な例について報告する. バルマー線・可視連続光・X 線の全てで顕著な増光が見られ, 連続光増光の時間変化に対応して, バルマー線の輝線幅が $\pm 400\text{km/s}$ 以上 (元の輝線幅の 4 倍以上) に概ね対称的に広がった. このような輝線幅の時間変化は, フレア中の高エネルギー電子による加熱を反映していると示唆される (cf. Namekata et al. 2020).

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

N03a 太陽型星 EK Dra の長時間スーパーフレアの H α 線分光・可視測光観測

行方宏介 (京大), 前原裕之 (NAOJ), 本田敏志 (兵庫県立大), 野津湧太 (コロラド大/NSO), 岡本壮師, 石井貴子, 一本潔, 野上大作, 柴田一成 (京大), 他 OISTER team collaborations

太陽/恒星フレアとは太陽/恒星表面での爆発・増光現象である。太陽フレアの場合、放射線や磁気プラズマの衝突といった形で地球環境に大きく影響を与えている。これまでの我々の研究により、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 倍以上の規模のフレア (スーパーフレア) が発生すると示唆されており (Notsu et al. 2019)、太陽でスーパーフレアが発生したら地球はどうなるのか? という問題が社会的にも注目されている。その性質を調べるためには太陽型星で発生しているスーパーフレアの多波長・分光観測が重要である。しかし、発生頻度が非常に低く、これまで多波長観測例は 1 件しかなく、可視分光観測例は 1 件もない。

今回我々は、TESS 衛星の測光観測と京大せいめい望遠鏡の連続分光観測より、若い太陽型星 EK Dra (自転周期 2.6 日、表面温度約 5730K) で 2 件のスーパーフレアの同時検出に成功した。その内 1 件は 3×10^{34} erg の巨大スーパーフレア (最大級の太陽フレアの約 300 倍) であった。その特徴として、(1) 長時間 (2-3 時間)、白色光と H α 強度が同様の時間変化を示し、(2) H α 線の差分スペクトルは対称的な増光を示した。太陽面中心で起きた太陽フレアの場合、白色光の継続時間は数分～十数分で H α 線より短く、H α 線輪郭は赤方偏移非対称を示す。従って、今回のスーパーフレアは恒星面中心付近でのフレア発生モデルでは定性的に説明できず、発生機構・場所の違いによる解釈を検討する必要がある。また、2020 年秋季年会で報告したもう 1 件のフレア (エネルギー規模が一桁小さい) では質量噴出の証拠である青方偏移する吸収成分が見られたが、今回のスーパーフレアでは見られなかった。このことから、質量噴出がスーパーフレアに伴って必ずしも発生するわけではない可能性も示唆された。

[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](#)

N04a Sun-as-a-star Multi-wavelength Observations as a Milestone for Characterization of Stellar Active Regions

Shin Toriumi (ISAS/JAXA), Vladimir S. Airapetian (NASA/GSFC), Hugh Hudson (Univ Glasgow, UC Berkeley), Carolus J. Schrijver, Mark C. M. Cheung, and Marc L. DeRosa (LMSAL)

Recent observations have revealed that massive stellar flares “superflares” can occur on solar-type stars. The magnetic energy prior to release is likely to have been stored in stellar active-region atmospheres. Thus for explaining the origin and occurrence of stellar flares, it is important to monitor the evolutions of these stellar active regions, not only in visible light but also in ultraviolet (UV) and X-rays. To this end, we perform multi-wavelength irradiance monitoring of transiting solar active regions by using full-disk observation data from four satellites including Hinode and SDO. We confirm that the visible continuum that corresponds to the photosphere becomes darkened when the spot is at the central meridian, whereas most of the UV, EUV and X-rays, which are sensitive to chromospheric to coronal temperatures, are brightened, reflecting the bright magnetic features above the starspots. It is also found that the EUV light curves sensitive to transition-region temperatures are sometimes dimmed because the emission measure of 0.6–0.8 MK is reduced as the corona is heated over a wide area around the active region. In addition, the time lags between the coronal and photospheric light curves have the potential to probe the extent of coronal magnetic fields above the starspots. These results indicate that, by measuring the stellar light curves in multiple wavelengths, we may obtain information on the structures and evolution of stellar active 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](#)

N05a Kepler 全データの解析による太陽型星スーパーフレアの統計的性質

岡本壮師(京都大), 前原裕之(国立天文台), 野津湧太(コロラド大/NSO), 幾田佳, 行方宏介(京都大), 本田敏志(兵庫県立大), 野上大作, 柴田一成(京都大)

恒星/太陽フレアとは恒星/太陽表面での突発的な爆発現象であり、観測史上最大級の太陽フレア(全エネルギー 10^{32} erg) の $10 - 10^6$ 倍の規模のエネルギーのフレアをスーパーフレアと呼ぶ。以前は太陽型星(G型主系列星)の中でも、太陽類似星(自転周期 20 日以上)の太陽型星)でスーパーフレアは起きないと考えられていた。近年 Kepler 宇宙望遠鏡の初期測光データ(～500 日分)の解析から、スーパーフレアを起こす太陽型星が数百個も発見され、太陽類似星のスーパーフレアも発見された(Shibayama et al. 2013)。しかし、その後の分光観測や Gaia 衛星によって、単独の太陽型星でない星が除外された結果、太陽類似星のサンプル数が大幅に減少した(Notsu et al. 2019)。

本研究では、太陽型星と判定されていなかったが Gaia 衛星により新しく太陽型星と判明した星をサンプルに加え、全期間の Kepler 望遠鏡のデータ(～1500 日分)について、high-pass filter により精度をあげてスーパーフレアの検出を行った。その結果太陽類似星のサンプルサイズは先行研究の約 12 倍となり、太陽類似星のスーパーフレアは 3 天体 3 個から 15 天体 26 個に大幅に増加した。これにより精度の高い統計的研究を行うことが可能となり、太陽型星の自転周期(～年齢)の増加による、フレアエネルギー上限とスーパーフレア発生頻度の減少を先行研究(Notsu et al. 2019)よりも明確に示した。これは巨大黒点の面積が自転周期の増加とともに減少することに対応している。また太陽類似星では最大 4×10^{34} erg のスーパーフレアが検出され、 $\sim 7 \times 10^{33}$ erg、 $\sim 1 \times 10^{34}$ erg のフレアがそれぞれ～2000 年、～4,000 年に一度の割合で起きることを示した。これは太陽でも数千年に一度スーパーフレアが起こる可能性を示唆している(Okamoto et al. 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](#)

N06a 近赤外高分散分光による近傍 M 型矮星の元素組成比の調査

石川裕之(総研大), 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), 葛原昌幸, 大宮正士(ABC/国立天文台), 平野照幸(東工大), Ansgar Reiners, Mathias Zechmeister(Georg-August-Universität, Göttingen), IRD-SSP チーム

M 型矮星は銀河系で最も豊富な恒星であり、系外惑星探査の主要なターゲットとしても注目を集めている。しかし可視光での暗さや低温故の問題点により、個々の元素の組成比はほとんど調べられていない。我々は、近年惑星の視線速度サーベイの目的で活発になってきた近赤外高分散分光観測によるデータを利用し、太陽系近傍の M 型矮星の元素組成比(H に対する Na, Mg, K, Ca, Ti, Cr, Mn, Fe, Sr の量比)を調査している。

まず太陽型星と連星系をなす M 型矮星 5 天体について、等価幅に基づく組成解析を行い、主星で知られている組成比と整合的な結果が得られることを確認した。アルカリ金属の連続吸収への影響、TiO 分子形成の中性チタン線強度への影響など、これまで軽視されていた低温大気に特有の問題点も詳細に検討し考慮した。この解析には Calar Alto 天文台の分光装置 CARMENES のスペクトル(9800–17500 Å)を利用した。次に、すばる望遠鏡の分光装置 IRD を用いた惑星探査計画(IRD-SSP)で取得されたスペクトル(9800–17500 Å)に同様の解析を適用し、この計画のターゲットである太陽系近傍 M 型矮星の内 11 天体の元素組成比を決定した。10 星以上の中期–晩期 M 型矮星に対する、個々の元素の組成決定は初の試みである。結果の組成比は、11 天体全てにおいて太陽と似たパターンを示し、これらの天体が銀河系の薄い円盤に属することを示唆する。IRD で測定した視線速度と Gaia 衛星による位置天文データから計算した 3 次元運動も、この結果を支持している。今後、IRD-SSP の全ターゲット星に組成解析を拡張することで、近傍 M 型矮星の元素組成についてさらに確かな理解が見込まれる。

[スケジュール\(セッション毎\)に戻る](#)

[スケジュール\(全体\)に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

N07a 2次元高速回転星の擬似的進化計算

小形美沙 (早稲田), 大川博督 (早稲田), 藤澤幸太郎 (東大), 安武伸俊 (千葉工大), 山田章一 (早稲田)

連星中性子星や連星白色矮星の合体によって形成される天体や、星形成後の主系列星に向かう段階の星は、角運動量保存の観点から高速回転星であると考えられている。これらはその自転によって、球対称ではなく扁平な形状をしているとも考えられ、実際にそのような形状の星の観測も行われている。こういった非球対称的な効果は今後ますます重要となってくる。

恒星進化計算では一般に進化のタイムスケールは力学的なタイムスケールに比べて非常に長いため、力学平衡形状の系列として進化を考えている。しかし、これまでの進化計算は1次元球対称モデルで行われており、2次元で回転の効果をきちんと考慮することは行われてこなかった。これは進化計算では保存量を正しく扱うためラグランジュ的手法を用いる必要があるが、2次元では平衡形状を求める段階で数値不安定などの問題を抱えていたためである。

本研究では球対称から外れた形状にも対応が可能な定式化と、広域収束性を持つ数値解法と組み合わせることによって、軸対称2次元の回転星の平衡形状をラグランジュ座標上で数値的に求めることを行った。高速回転によって球対称から大きく外れた扁平な構造まで計算することが可能となっており、こういった歪んだ平衡形状の系列として、擬似的な進化計算の結果を紹介する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

N08a α^1 Her からの磁気駆動風の安定性と変動

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)

α^1 Her は L^2 Pup の次に近く (110pc) にある AGB 星である。有効温度が 3280 K、光度が $8300 L_{\odot}$ 、質量は $2.5M_{\odot}$ 程度 (Moravveji et al. 2011; 2013) であり数ガウスの表面磁場 (2.7-7.6G; Tessore et al. 2017) をもつ。星風特性は質量放出率 \dot{M} が $0.8 - 3 \times 10^{-7} M_{\odot} \text{ yr}^{-1}$ (e.g., Reimers 1978)、ガス速度 v_{gas} は $13-25 \text{ km s}^{-1}$ (Bernat 1981) とされている。この天体の輝度変化には複数の時間尺度 (124, 500, 1480 日) があり (Kiss et al. 2006)、表面磁場も数ヶ月の時間尺度で変動している。また 1990 年頃から高速度 (75 km s^{-1}) でのダスト放出があると報告された (Tatebe et al. 2007)。しかしシリケートの feature が見られず (e.g., Monnier et al. 1998)、星風中でダスト駆動機構が働くとは考え難く、(脈動を考慮しない) 磁束管モデル (Yasuda et al. 2019) でも安定風は生じない。

今回我々は前回用いた MHD モデル B (保田他 2020 年秋季年会) を以下の 2 点で改良しこの天体の星風への脈動の影響を検証する。1) 参照する圧力スケールハイトは (内部境界がピストン運動する) 動力学大気モデルで得られたガス圧の動径分布から見積もる。2) 表面付近で磁気圧が磁束管の外のガス圧と同程度となるように面積占有度を定める。これらの改良により磁束管の形状を脈動の速度振幅 Δu_P の関数として表現可能となった。星表面での opacity を $2 \times 10^{-4} \text{ cm g}^{-1}$ 、脈動周期を 124 日とすると、 $\Delta u_P \geq 5 \text{ km s}^{-1}$ の場合、安定風が生成した。しかし質量放出率が観測値より一桁以上高くなる ($\dot{M} \geq 4 \times 10^{-6} M_{\odot} \text{ yr}^{-1}$)。本講演では計算結果を詳述し、更なるモデルの改善策について論じる。特に低温領域での輻射冷却・加熱率の見積りの改善が有望である。その値を 20 分の 1 に下げ、表面磁場を 10G、 $\Delta u_P = 7 \text{ km s}^{-1}$ とすると星風特性は観測値に最も近づく (時間平均値で $\dot{M} = 7 \times 10^{-7} M_{\odot} \text{ yr}^{-1}$ 、 $v_{\text{gas}} = 22 \text{ km s}^{-1}$)。その場合、ガス速度の最大値は 56 km s^{-1} 程である。

[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](#)

N09a W UMa 型連星 A タイプにおける質量交換率と質量損失率の割合の試算

高妻 真次郎 (中京大)

W UMa 型連星とは、主に F、G、K のスペクトル型を成分星とする (過剰) 接触型の近接連星である。接触型連星では、両星のロッシュローブが満たされているため、ラグランジュ点を通じた質量移動が起きやすい。質量移動は、成分星の質量や系の軌道の変動をもたらすため、連星系そのものの進化にも大きな影響をおよぼす。したがって、質量移動率がどのように変遷するのかを究明することは、近接連星の進化過程を明らかにするうえでも肝要となる。

2019 年秋季年会では、公転周期変動の特徴から質量移動のみられる可能性が高い接触型のサンプル連星を選抜した。さらに、公転周期の変化率から質量移動率を求め、その連星パラメータに対する依存性についても報告した。今回我々は、2019 年秋季年会で得たサンプル連星のうち W UMa 型の A タイプに分類される系について、各成分星の質量が系の質量比 (q) と強い相関をもつことを見いだした。これらの相関関係が、成分星間での質量交換および系からの質量損失により生じた変化だと仮定し、交換率と損失率との割合を試算した。その結果、質量比の増加に伴い質量損失率の割合が減少し、 $q = 0.4-0.5$ で質量損失がみられなくなるという結果が得られた。さらに、得られた結果は、質量比に対するロッシュローブの充填率の変化とも整合性のあるものであった。講演では、質量比と各成分星の質量との相関関係の特徴を示すとともに、試算方法についても詳説する。

[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](#)

N10b 近赤外 Mg I 輝線を用いた若い恒星の彩層活動の調査

山下 真依, 伊藤 洋一 (兵庫県立大学)

彩層活動の起源は光球のダイナモ活動にある。ロスビー数 N_R (= 自転周期/対流の周期) が小さいほどダイナモ活動は活発で、強い彩層輝線を示す。Noyes et al. (1984) は F、G、K 型主系列星のロスビー数と Ca II HK 輝線の強度の依存関係から混合距離パラメータ α ($= \frac{l}{H_p}$; l は混合距離, H_p は圧力スケールハイト) を求めた。 α が異なると進化トラックも異なる (D'Antona & Mazzitelli 1994)。前主系列から零歳主系列の天体に対して α が求められた例は 1 天体しかなく、質量や年齢という基本的な物理量を正確に求められない可能性がある。

Marsden et al. (2009) は零歳主系列星 (ZAMS) の近赤外 Ca II 三重輝線の自転活動関係を調査した。しかし、自転が速い $N_R \leq 10^{-1.1}$ の天体はロスビー数に対して一定の強度を示し (Saturation)、 α を測定できない。そこで本研究では Ca II より光学的に薄い近赤外 Mg I 輝線 ($\lambda 8808 \text{ \AA}$) に着目した。太陽の近赤外 Mg I 輝線は Fleck et al. (1994) により観測され、光球から 500 km 上空の彩層で形成されると示唆された。ただし近赤外 Mg I 輝線の観測例はこの 1 回のみであり、恒星では観測例がない。

本研究では Anglo-Australian 望遠鏡/UCLES により取得されたアーカイブデータより、若い散開星団 IC 2391 (~ 30 Myr), IC 2602 (~ 50 Myr) に所属する F、G、K 型の ZAMS 計 52 天体の近赤外 Mg I 輝線を解析した。光球の吸収成分を除去した後は、いずれの天体でも Mg I 線は吸収成分が残らなかった。多くの ZAMS は近赤外 Ca I I 三重輝線より暗い輝線成分を示した。そして近赤外 Ca II 三重輝線が Saturation を示す $N_R \leq 10^{-1.1}$ でも Mg I 輝線は Saturation を示さなかった。従って近赤外 Mg I 輝線を用いると自転が速い天体に対しても適切な α を評価できる可能性がある。

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

N11b 近傍 Ia 型超新星の intrinsic color & dust extinction の多様性

有馬宣明, 土居守, 諸隈智貴, 高梨直紘 (東京大学)

Ia 型超新星 (以下、SNe Ia) は、連星系にある白色矮星がチャンドラセカール限界質量に近づいて熱核暴走爆発を起こすことで生じると考えられている。これまでの先行研究から SNe Ia の従う dust extinction law は、 $R_V = A_V/E(B-V)$ で表される減光パラメータ R_V の値が Milky Way の平均値 ($R_V = 3.1$) よりも有意に小さい ($R_V \simeq 2$) 可能性があることが報告されている。しかし、SNe Ia の持つ intrinsic color と dust extinction は観測的に混在しており、それらを切り分けることが難しい。我々はこの intrinsic color と dust extinction の多様性を調べるために、SNe Ia のスペクトルの最大の特徴であるケイ素の 2 本の吸収線 (Si II 5972Å, 6355Å) の等価幅による分類 (Branch et al. 2009) と母銀河の形態分類に基づき、近傍 SNe Ia ($z \lesssim 0.04$) の photometric properties ($B-V$, $V-R$ の peak color, stretch-correction 後の color excess 及び absolute magnitude deviation) の分布に着目した。2019 年春季年会では color-color diagram において最も赤い color を示す SNe Ia は early-type spirals に現れる傾向があり、Branch 分類で分けてもその傾向は保たれること、そして近傍 SNe Ia の dust extinction は Si II 6355Å の等価幅が大きい Broad Line (BL) と呼ばれるサブタイプの peculiar な sample 3 天体を除くと Milky-Way like な extinction law に近づくことを報告した。その後さらに調べたところ、これらの peculiar な BL sample は光度曲線の幅を示す stretch factor による color 依存性が他と異なっていることが分かった。さらに近傍の約 100 天体から成る photometric sample を加えてフィッティングを行うことで dust extinction の R_V パラメータをより定量的に評価したところ、上記の BL sample を除いた場合に $R_V = 3.0_{-0.3}^{+0.4}$ (= Milky Way dust と consistent) という結果を得たので報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

N12a AKARI, WISE による AGB 星の中間赤外線長期変光調査

橘健吾, 宮田隆志, 上塚貴史, 大澤亮, 瀧田怜 (東京大学), 中川亜紀治 (鹿児島大学), 内山瑞穂 (宇宙科学研究所), 板由房 (東北大学)

宇宙にあまねく存在するダストの主な供給源として、低中質量星の進化末期段階である AGB 星が候補に挙げられているが、そのダスト供給メカニズムは不明確である。近年の理論的な研究では、ダスト放出現象において脈動が大きな役割を持つことが提唱されており、マゼラン雲内の観測的な研究から、ダストに埋もれた AGB 星がダスト供給の大部分を担うことがわかってきている。ダストに埋もれた AGB 星は赤く、長周期変光を示すことから、その脈動の様子を捉えるには、放射エネルギーの大半を占める中間赤外線領域 (波長 10–30 μm) での長期間の変光調査が最適である。我々は AGB 星のダスト供給メカニズムを探るため、銀河系内の AGB 星を対象に、中間赤外線の変光を調査した。赤外線天文衛星 AKARI および WISE のスキャンデータを用いることで、2006 年から 2011 年の 5 年間にわたる中間赤外線変光を調べた。解析方法は 2020 年の学会で報告済みである (春季年会講演 N15a, 秋季年会講演 N22a)。今回は、GCVS に周期が記載されている 1305 天体の AGB 星について、波長 18 μm での変光の様子を調べ、中間赤外線カラーや周期との関連を調査した。その結果、以前紹介した OH/IR 星 13 天体を加え、計 148 天体に対して [18 μm] 変光振幅と [12 μm]-[22 μm] カラーに相関を確認した。これは輻射輸送計算に基づくと、星の光度変化率とダスト供給量の相関に対応すると考えられ、星の光度変化がダストの形成効率に影響している可能性が示唆される。本講演では、こうした結果を紹介する。

[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](#)

N13a Tomo-e Gozen による狭帯域フィルター金属欠乏星探査およびなゆた望遠鏡 MALLS による中分散分光追観測

岩崎巧実, 富永望 (甲南大学), 本田敏志 (兵庫県立大学), 諸隈智貴 (東京大学), Tomo-e Gozen コラボレーション

金属欠乏星とは、太陽と比べ H, He 以外の元素を指す金属が少ない恒星を指す。これらはまだ金属が少なかった時代に誕生し、当時の元素組成を現在に伝えている。金属欠乏星の観測研究は、探査観測での候補星の同定、高中分散分光追観測での詳細な元素組成の決定、の順で行われる。よって、分光追観測が容易な明るい候補星の同定が重要だが、従来は暗い遠方の天体に注目した探査観測が多く、9-12 等級の明るい星の探査は不十分であった。

金属欠乏星の探査法に、Skymapper や Pristine に代表される狭帯域フィルターを用いる方法がある。Skymapper は Ca H&K 線 (396.85nm, 393.37nm) に対応した狭帯域フィルターを用いて 2020 年 11 月現在最も低金属量の $[Fe/H] < -7.1$ の金属欠乏星を発見した。また狭帯域フィルターを用いることで視野内の星全てについて情報を得られるため、有力な金属欠乏星探査法として注目されている。

そこで我々は明るい金属欠乏星に注目、2019 年 3 月、2020 年 9 月、20 平方度の視野の東京大学木曾観測所 Schmidt 望遠鏡 Tomo-e Gozen で中心波長 400nm の狭帯域フィルターを用いた探査観測を行った。そこから Random Forest など機械学習で候補星を選択、2020 年 2、9、12 月、西はりま天文台なゆた望遠鏡 MALLS で合計約 200 天体の追観測を行った。ここでは波長分解能 $R \sim 7500$ で S/N を優先 (>50)、波長 520nm の Mg の線に注目した。さらに GAIA や V-Ks で見積もられた大気パラメータを用い、合成スペクトルと比較、金属量を見積もった。その結果、候補星の金属量は最小で $-2 < [Fe/H] < -1$ であった。本講演では、探査観測および追観測の結果を報告する。

[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](#)

N14a LAMOST/すばる望遠鏡による金属欠乏星組成調査 I. 炭素組成と炭素過剰天体

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 Q-F. (NAOC)

金属欠乏星の化学組成には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情報が記録されていると考えられ、長年にわたって分光観測による調査が積み重ねられてきている。しかし現在の太陽系近傍では金属欠乏星は稀であり、化学組成のデータの蓄積には時間を要している。近年、比較的波長分解能の高い多天体分光観測により数万天体規模で星の化学組成の測定が行われたが、太陽の金属量の 100 分の 1 以下というような金属欠乏星で組成が測定されている天体の数は依然として多くない。そのなかで我々は、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、この金属量領域で約 400 天体の組成を測定した。その結果を今後数次に分けて報告する。今回は炭素組成について得られた以下の結果を報告する。(1) 赤色巨星の炭素組成比 ($[C/Fe]$) には大きな分散がみられる。この要因の一つは星の進化の過程で炭素組成が変化するためであり、特に低温 (約 4500K 以下) の星、すなわち赤色巨星のなかでも特に進化の進んだ段階の金属欠乏星は顕著に低い炭素組成を示す。

(2) 一方、炭素過剰を示す星が 15% 程度存在する。この割合はこれまでの研究とおおむね一致する。そのなかで、主系列ターンオフ星は 20% 以上が炭素過剰であるのに対し、赤色巨星では 10% 以下である。一つの理由は (1) でみたように赤色巨星で炭素組成の減少がおこるためと考えられる。加えて、伴星からの質量降着によると考えられる炭素過剰星 (s-過程元素にも過剰を示す) の割合が赤色巨星で顕著に低く、星の進化によって降着した炭素過剰物質の希釈が起こっていると解釈できる。

[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](#)

N15a 天の川銀河のミラ型変光星と漸近巨星分枝星の進化の金属量依存性 II

浦郷陸, 面高俊宏 (鹿児島大学) 藤本正行 (北海道大学) 須田拓馬 (東京工科大学)

Mira 型変光星は AGB 星進化の最終段階に対応し、数十日から数千日の周期、可視光で 2.5 等以上の振幅をもつ変光星であり、変光周期と光度に関係がある周期光度関係 (Period-Luminosity Relation, PLR) を示す。また、Mira は星表面の化学組成によって Carbon-rich 星 (C-rich) と Oxygen-rich 星 (O-rich) に分類される。この C-rich 星は Third Dredge Up (TDU) 現象と呼ばれる He 層で生成した炭素の汲み上げ機構によって形成されることが知られているが、この形成過程には金属量依存性があることが示唆されていた。2020 年秋の年会では、恒星進化に対する銀河の金属量の影響を明らかにするため、天の川銀河の Mira の PLR を構築し、大マゼラン雲 (Large Magellanic Cloud, LMC) と小マゼラン雲 (Small Magellanic Cloud, SMC) と比較を行った。短周期で低質量の AGB 星が天の川銀河で O-rich のまま進化していることを示し、TDU の効率に金属量依存性があることを示した。

本発表では、天の川銀河の Mira の空間分布と進化段階が同じ Fundamental mode の変光星を含む周期分布を編成し、AGB 星の終末進化の可能性について議論する。空間分布では、C-rich 星と O-rich 星で銀河面に垂直方向の分布に違いがあり、C-rich 星へ進化する AGB 星の初期質量に制限を付けることができる。周期分布でも、天の川銀河は C-rich 星の割合が LMC や SMC に比べて低くなっている。その一方で、Fundamental mode の変光星の周期分布は 3 銀河とも同じ位置にピークを持つ。また、長周期側で同一の減少傾向を示しており、質量放出が金属量および O-rich/C-rich の化学組成に依存しないことを示している。このことは、質量放出のメカニズムとして、AGB 星外層の動的不安定性、あるいは overstable pulsation の妥当性を示唆している。

[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](#)

N16a WR125 の中間赤外線分光観測 - 天体のスリット上での捕獲位置による分光データへの影響とその補正

遠藤いずみ, 道藤翼, 左近樹, 宮田隆志 (東京大学), 大坪貴文 (国立天文台), Ryan Lau (ISAS/JAXA)

近年の観測研究から、ダスト形成を引き起こす Wolf-Rayet (WR) 星連星系の赤外スペクトルのいくつかに有機物ダスト由来のバンド構造が検出されることがわかった。WR 星は AGB 星などの中小質量星と比べて主系列寿命が短いため、初期宇宙の銀河の星間物質中に有機物ダストを供給する可能性がある。我々は WR 星周囲の有機物ダストの物性を調べるために、2019 年 10 月と 2020 年 6 月にすばる望遠鏡中間赤外装置 COMICS を用いて、WR125 の測光及び N-band 低分散 (NL) 分光観測を行った。WR125 は WC7 型星と O9 型星の連星系で周期は約 28 年、直近で 2020-2021 年にダスト形成を引き起こす近日点通過が起こると想定されている。今回取得された WR125 のスペクトル中には $8.5\mu\text{m}$ 付近に broad なバンド構造が確認できた。これに類似したバンド構造は Chiar et al. (2002) で WR48a のスペクトル中にも報告されている。しかしながらその構造を調べる上では連続光の引き方や減光補正の影響が大きく、これらを詳細に調査する必要がある。

そのため我々は取得された分光データを調査し、その過程で、天体の輝度中心がスリット中央からどの程度ずれているかによって、取得される NL 分光データの傾きが系統的に変化することを見出した。この傾きのばらつきを補正するため、傾きを天体の輝度中心のスリット中央からのずれの関数として表現し、スペクトルの傾きに施すべき補正量を定量的に評価した。本講演では、NL 分光データに見られた天体輝度中心のスリット中央からのずれに依存する傾きのばらつきを補正手法を紹介し、さらにその手法を用いて解析を行った WR125 の NL 分光データを元に、WR125 周囲の有機物ダストの物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](#)

N17a すばる望遠鏡 COMICS による WR137 の観測

道藤翼, 左近樹, 遠藤いずみ, 宮田隆志 (東京大学), Ryan Lau (ISAS/JAXA)

宇宙初期のダストの形成過程や供給量、その種類を特定する試みは、宇宙の化学進化を知る上で重要な課題である。これまで、超新星爆発によるダスト形成が、このようなダストの性質の理解のために研究されてきたが、超新星爆発に至る前駆天体によるダスト供給の理解はそれほど進んでいない。Wolf-Rayet (WR) 星は、主に主系列質量が数十太陽質量を超える大質量星の終焉期の姿で、多くの Ib 型/Ic 型超新星の前駆天体と考えられている。特に、WC 型の WR 星と O 型星の連星系では、近日点通過のたびに周期的なダスト形成を起こすものが見つかってきている。それらの天体では、近日点通過時に、WR 星および O 型星の恒星風の衝突領域で外部からの紫外線が遮蔽され、ダストの凝縮が起こるといったシナリオが提案されているが、その過程を観測的に理解するためには近日点通過時刻付近の中間赤外線継続観測が重要となる。

本研究では、WR 星と O 型星の連星系で約 13 年周期でダスト形成を繰り返す WR137 について、すばる望遠鏡 COMICS を用いて 2009 年の 8 月 (周回フェーズ $\phi=0.92$) および 2009 年 11 月 ($\phi=0.94$) に実施した中間赤外線撮像、分光観測の結果を示す。撮像観測からは、2010 年の近日点通過に向かって、N($11.7\mu\text{m}$) バンドでの増光の様子が捉えられた。また、中間赤外線スペクトル中には、 $9.7\mu\text{m}$ の He II ($13\rightarrow 11$) および $9.85\mu\text{m}$ の He I ($^1P_1 \rightarrow ^1S_0$) のラインの他、 $10.5\mu\text{m}$ (He I および [S IV]), $11.3\mu\text{m}$ (He I + He II), $12.36\mu\text{m}$ (He I + He II) および $13.12\mu\text{m}$ (HeII ($11\rightarrow 10$)) のラインを検出した。また、天体のスリット上での位置による取得スペクトルの傾きへの影響を詳細に評価した上で補正を実施し、信頼性の高い連続光放射スペクトルを得た。本発表では、連続光成分の温度進化を含めて、WR137 における近日点通過付近のダスト放射の性質とその時間変化を議論する。

[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](#)

N18a 伴星を持たない水素欠乏超新星の親星の起源

平井遼介 (Monash 大), 佐藤寿紀 (理研), Philipp Podsiadlowski (Oxford 大), Alejandro Vigna-Gomez (DARK/Copenhagen 大), Ilya Mandel (Monash 大)

重力崩壊型超新星爆発の中の約 3 分の 1 は外層の水素を失った水素欠乏超新星 (IIb, Ib, Ic 型超新星の総称) として観測されている。星が爆発するまでにどのように水素層を失ったかについては長い間研究されてきたが、近年は連星相互作用によって失ったとする説が有力視されている。この説を裏付けるため数多くの観測がされてきており、SN1993J, SN2006jc などいくつかの水素欠乏超新星について実際に伴星の存在が爆発後に確認されている。一方で非常に深い観測がされているにもかかわらず伴星が見つかっていない場合もいくつか知られてきた。代表的な例として超新星残骸カシオペア A が挙げられる。

このような伴星を持たない水素欠乏超新星の起源として新たなシナリオを提唱する。2 つの星が似たような質量を持ち、古典的な連星相互作用が起こらないような軌道長半径が広い連星を考える。質量が十分に等質量に近い場合、主星が超新星爆発を起こす頃に両方の星が赤色超巨星となる。赤色超巨星の外層は非常に緩く束縛されているため主星の爆発噴出物が衝突することで大部分が剥ぎ取れる。系から大量の質量が失われると同時に主星の中性子星がキックを受けるため連星が解体する。そのため、伴星は外層を失った状態で約百万年後に単独の状態の水素欠乏超新星を起こす。本発表では、このシナリオを裏付ける数値流体シミュレーションの結果、及びカシオペア A の親星がこのシナリオを経て作られた可能性を示す観測的特徴をいくつか紹介する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

N19a X線天文衛星「XMM-Newton」による超新星残骸 G292.0+1.8 の観測 ～Al He α 輝線の初検出とそれに基づく親星の質量推定～

佐藤諒平, 勝田哲 (埼玉大学)

G292.0+1.8 (G292) は、銀河系内に 3 つ確認されている oxygen-rich な超新星残骸のうちの一つで、 ~ 3000 年前の重力崩壊型超新星爆発の痕跡と考えられている。その中央付近には、パルサー星風と星周物質らしきベルト状構造が観測されている。親星の質量は $30\text{--}35 M_{\odot}$ (Kamitsukasa et al. 2014, PASJ, 66, 64) や、 $\lesssim 15 M_{\odot}$ (Katsuda et al. 2018, ApJ, 863, 127) など定まっておらず更なる研究が必要である。

本研究ではベルト状構造の組成比の計測による親星の質量の推定を目的として、G292 を XMM-Newton/RGS を用いて X 線精密分光観測した。分散軸に垂直な方向に G292 を 5 つの領域に分割し、スペクトルを抽出した結果、RGS は N Ly α の初検出に成功した。さらに、RGS と同時観測を行う MOS は Al He α の初検出に成功した。各領域のスペクトルは、3 温度の熱放射と冪関数のモデルにより再現され、低温成分 ($kT \sim 0.21$ keV) の組成比は概ね太陽組成比と一致していた。よって、この成分は爆発噴出物が掃き集めた星周ガスと考えられたが、N/O $\sim 0.47^{+0.22}_{-0.21}$ (N/O) $_{\odot}$ と計測され、重い星の星風で観測される窒素過剰と一致しなかった。ゆえに、この成分は星間ガスが掃き集められたものであったと予測される。一方で、高温成分 ($kT \sim 0.72$ keV, 1.89 keV) の組成比は O/Fe $\sim 3.55^{+0.71}_{-0.68}$ (O/Fe) $_{\odot}$ など、重力崩壊型超新星の爆発噴出物の特徴と一致していた。また、Al/Mg $\sim 1.43^{+0.20}_{-0.17}$ (Al/Mg) $_{\odot}$ と計測した。さらに我々は、元素合成モデル (Sukhbold et al. 2016, ApJ, 821, 38) を吟味し、Al/Mg と親星の質量に相関があることを見出した。この相関と観測結果を比較した結果、G292 の親星の質量を $\lesssim 25 M_{\odot}$ と推定した。

[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](#)

N20a 無回転大質量星コアの重力崩壊における磁場強度依存性

松本仁 (福岡大学), 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)

通常の重力崩壊型超新星より爆発エネルギーが 10 倍程大きい極超新星や 10-100 倍程明るく輝く超高輝度超新星の爆発メカニズムには、大質量星の爆発メカニズムの主流になりつつあるニュートリノ加熱に加えて磁場が何らかの役割を果たすと期待されている。高速回転している大質量星コアの回転エネルギーを磁場を介して引き抜くモデルが精力的に研究されている一方 (e.g., Bugli et al. 2020; Kuroda et al. 2020)、恒星進化計算によると磁場を持った大質量星コアの多くは重力崩壊を起こす直前においてゆっくり回転していることが指摘されている (Heger et al. 2005; Ott et al. 2006; Langer 2012)。低速回転している大質量星コアの重力崩壊時における磁場の役割を調べる研究は数例あるだけで (Endeve et al. 2010, 2012; Obergaulinger et al 2014; Müller & Varma 2020) 未だ十分には理解されていないのが現状である。

我々の研究グループでは、超新星爆発において磁場が与える影響をニュートリノ放射輸送込みの電磁流体シミュレーションを用いて調べる研究を進めている。本研究では、無回転の 15, 18.4, 27 太陽質量の親星コア (Woosley et al. 2002) が重力崩壊する際の初期磁場強度依存性を調べた。その結果、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、親星の種類に問わず強磁場である程、停滞衝撃波の復活がわずかに遅れることがわかった (Matsumoto et al. 2020)。本講演では、停滞衝撃波の復活が磁場強度に依存する物理メカニズムを詳細に議論するとともに、我々の結果に基づいて系内マグネターの形成条件についても考察する予定である。

[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](#)

N21a 外層が剥ぎ取られた星の超新星爆発と II 型超新星爆発における ^{56}Ni 質量の相違は観測バイアスで説明できるか

大内竜馬 京都大学理学研究科

^{56}Ni は、超新星爆発 (SNe) において合成され、超新星爆発の主要なエネルギー源となるため極めて重要である。これまで先行研究により、様々な超新星爆発に対して ^{56}Ni 質量が見積もられてきた (Lyman et al. (2016))。近年、Anderson (2019) により、外層が剥ぎ取られている星の超新星爆発 (SESNe) で合成される ^{56}Ni は、外層が剥ぎ取っていない星の爆発 (SNeIIP) で合成される ^{56}Ni よりも質量が大きい傾向があることが明らかとなってきた。これは、両超新星における親星コアの密度構造の違いを示唆する可能性もあるが、一方で観測バイアスによって説明できる可能性も指摘されてきた。すなわち、SNeIIP は主に超新星の爆発エネルギーで輝くのに対し、SESNe はもっぱら ^{56}Ni によって輝くため、 ^{56}Ni 質量が小さい SESNe は観測から抜け落ちている可能性があるのである。

本研究では、このような観測バイアスが両超新星の ^{56}Ni 質量の違いにどれほど影響を与えているかを評価することを目的とした。我々は、出版論文から集めた SESNe と SNeIIP のサンプルを解析することにより、SESNe の ^{56}Ni 質量は距離と共に強く減少することを明らかにした。これは、SESNe のサンプルに観測バイアスが影響をしていることを示唆する。さらに我々は SESNe が SNeIIP と同じ ^{56}Ni 質量分布を持っているという仮定のもとで、SESNe の疑似観測も行った。それにより、 ^{56}Ni 質が小さい SESNe の多くは、たしかに観測から抜け落ちることを明らかにした。これらの結果から、SESNe と SNeIIP における ^{56}Ni 質量の相違は観測バイアスにより説明される可能性があることが明らかとなった。本研究ではこれらの結果に関して発表する。

[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](#)

N22a ブラックホールによる白色矮星の潮汐破壊現象からの観測兆候と、中間質量ブラックホールへの制限

川名 好史朗 (東京大学), 前田 啓一 (京都大学), 吉田 直紀 (東京大学), 谷川 衝 (東京大学)

ブラックホール (BH) による白色矮星 (WD) の潮汐破壊現象 (WD TDE) は興味深い特徴を二つ持つ。その一つは、TDE を起こしうる BH が星質量 BH と中間質量 BH に限定される点である。超大質量 BH では、WD は潮汐破壊される前に BH に吸い込まれてしまう。この点で、WD が破壊される TDE は中間質量 BH の探求に適した現象であると言える。第二の特徴は、WD が BH の潮汐力で特に強い圧縮を受けた場合、高温・高圧になり爆発的原子核反応を起こす点である。その場合には、BH に降着する WD の残骸からの放射だけでなく、BH に対し非束縛軌道を辿る残骸からも、熱核爆発で生成された ^{56}Ni の崩壊による放射が生じる。この元素合成や WD 残骸の速度といった力学的性質は、WD の質量や組成、BH 質量、軌道パラメーターに依存して幅広い多様性を持つため、熱核爆発を伴う WD TDE から生じる観測兆候も多様であると期待される (Kawana et al. 2018)。

本研究では WD TDE の観測兆候の多様性を解明することを目的として、WD 質量・組成といったパラメーターを変化させつつ、原子核反応を組み込んだ流体シミュレーション、元素合成シミュレーション、及び放射輸送シミュレーションを行った。これにより、ライトカーブやスペクトルの時間変化といった具体的な観測兆候の理論予言を各パラメータセットの場合について求めた。結果として、WD TDE の熱核爆発に由来するライトカーブは、peak luminosity で $L_{\text{peak}} \sim 10^{38-44} \text{ erg/s}$ と大きく変化しうることを示した。さらに、我々の求めたライトカーブとよく一致する WD TDE の候補天体を比較的暗い rapid transients の中に発見した。その天体のイベントレートから示唆される中間質量ブラックホールの数密度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](#)

N23a Hilbert-Huang 変換を用いた重力崩壊型超新星爆発由来の重力波データ解析

武田 芽依 (阪市大理), 渡邊 幸伸 (新潟大自), 平沼 悠太 (新潟大自), 根岸 諒 (新潟大自), 大原 謙一 (新潟大自), 神田 展行 (阪市大理), 黒田 仰生 (ダムルシュタット工科大), 固武 慶 (福岡大), 酒井 一樹 (長岡工専), 坂井 佑輔 (新潟大自), 澤田 崇広 (阪市大理), 高橋 弘毅 (東京都市大), 滝脇 知也 (国立天文台), 土田 怜 (阪市大理), 端山 和大 (福岡大), 横澤 孝章 (東大宇宙線研)

2015 年に初観測された重力波イベントである、ブラックホール連星合体 GW150914 に続き、現在、数多くのコンパクト天体連星合体由来の重力波が検出されている。

一方、数値シミュレーションにより、重力崩壊型超新星爆発 (core-collapse supernovae: CCSNe) 由来の重力波は、爆発メカニズムの特徴を反映していることが予測された。爆発前の星の内部では、複数の重力波励起過程が存在し、重力波信号の時間-周波数表現によって、それぞれの励起過程のモードが現れることが示唆されている。

CCSNe 由来の重力波は未検出であるが、現存、または次世代の重力波望遠鏡の感度帯域に入っており、重力波は、十分に解明されていない爆発メカニズムの実態を、我々に伝えるメッセンジャーとなり得る。そのためには、高精度な解析手法の用意と、数値シミュレーション結果の理論的な検証が必要である。

そこで我々は、これらの重力波のモードを解析するために、高分解能の時間周波数解析手法である、Hilbert-Huang Transform (HHT) を適用し、爆発メカニズムの理解を深めることを提案する。HHT は周波数を時間の関数として定義し、時間分解能と周波数分解能のトレードオフの関係に縛られない。本研究では、3次元一般相対論的 CCSNe シミュレーションから得られた重力波を解析し、星内部で発生する SASI (Standing accretion shock instability) に起因する重力波の周波数を調べた。

[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](#)

N24a 回転する大質量星の重力崩壊に伴うニュートリノ駆動爆発

藤林 翔 (AEI), 高橋 亘 (AEI), 関口 雄一郎 (東邦大学), 柴田 大 (京都大学基礎物理学研究所/AEI)

回転する大質量星の重力崩壊は、ガンマ線バーストや極超新星といった、通常の超新星に比べてよりエネルギーの大きな爆発を引き起こすと考えられている。しかし、その爆発を駆動する具体的なメカニズムは明らかになっていない。我々は、初期質量 $20, 32M_{\odot}$ のヘリウム星から進化した大質量星を初期条件に用い、回転する大質量星の重力崩壊の、ニュートリノ輸送を考慮した数値相対論シミュレーションを行った。

原始中性子星はその形成後、回転によって支えられるため、ブラックホールに直ちに崩壊せず、数秒程度の寿命を持つ。その間、中心部への質量降着の結果として、原始中性子星の周りに $\sim 1M_{\odot}$ のトーラスが形成され、 10^{53} erg/s を超える非常に大きなニュートリノ光度が達成される。その結果として、 10^{52} erg を超えるエネルギーを持つ爆発が起こる。爆発は親星の回転軸方向に起こり、赤道面方向からは中心部への質量降着が続くため、原始中性子星は質量を増し続けてブラックホールに崩壊する。ブラックホールは非常に大きなスピンを持つため、ガンマ線バーストの中心エンジンとなる可能性がある。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

N25a Light curve modeling of the extremely bright supernova 2016aps

Akihiro Suzuki (NAOJ), Matt Nicholl (University of Birmingham), Takashi J. Moriya (NAOJ), Tomoya Takiwaki (NAOJ)

The final fates of stars with initial masses more massive than several $10M_{\odot}$ have been paid great attention. Some of them are believed to end their lives as energetic core-collapse supernovae and leave stellar-mass black holes. Theoretical studies predict that even more massive stars with initial masses of $\sim 100M_{\odot}$ or more would become unstable due to electron-positron pair production, leading to a variety of activities, such as extensive mass-loss and the complete disruption of the star. However, the observational consequences of such very massive stars are not clearly known.

In this work, we present the results of the light curve modeling of the recently discovered extremely bright supernova 2016aps (Nicholl et al. 2020). The spectrum and the total radiated energy of the supernova exceeding 5×10^{51} erg suggest that it is likely powered by the collision of massive and energetic supernova ejecta and massive hydrogen-rich circumstellar matter (CSM). The extreme nature of the supernova may shed light on the final evolutionary path of very massive stars toward their violent deaths. We conducted the light curve modeling of SN 2016aps by 1D radiation-hydrodynamic simulations and found that the ejecta with $\sim 30M_{\odot}$ and 10^{52} erg and a $\sim 8M_{\odot}$ CSM extending to $\sim 10^{16}$ cm best explain the observed multi-color light curve. In this presentation, we report the results of light curve modeling and discuss the possible origins of this extremely bright supernova.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

N26a 超新星親星の非球対称構造が衝撃波に及ぼす影響

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

詳細な物理を取り入れた数値シミュレーションによる超新星爆発のモデリングにおいて、実際に観測される超新星爆発のエネルギー ($\sim 10^{51}$ エルグ) や ^{56}Ni 合成量 ($\sim 0.07M_{\odot}$) を再現できないことは長年の課題であった。この課題を解決できる可能性の一つとして、爆発前の親星が持つ非球対称構造が注目されている。

空閑多次元の部分的な星進化計算によると、例えば Si/O 層の殻燃焼で非常に激しい対流構造が形成されることが示唆されており (Meakin & Arnett 2007, ApJ, 667, 448)、Couch & Ott (2013) はこれに触発されて球対称な親星にパラメトリックな非動径方向速度を導入して超新星爆発への影響を調べた (Couch & Ott 2013, ApJL, 778, L7)。

本研究では、超新星親星の非球対称進化を空間 3 次元の数値計算で明らかにした Yoshida et al. (2019, ApJ, 881, 16) の結果を初期条件として、重力崩壊から爆発に転じる過程を数値計算によって調べた。球対称な初期条件の場合と比較し、爆発エネルギーや ^{56}Ni 合成量に差異が認められたので報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

N27a 星周物質との衝突で光る超新星のスペクトルエネルギー分布

津名大地 (東京大学)、檜山和己 (東京大学)、茂山俊和 (東京大学)

近年の可視光突発天体サーベイによって、濃い星周物質との相互作用を示唆する超新星 (IIn 型超新星など) が数多く見つかっていて、電波から X 線の多波長に渡る追観測も活発に行われている。濃い星周物質が形成される過程は未だ解明されていないが、重力崩壊の数年もしくは数十年前に最大で太陽質量程度の物質が放出されることが示唆されている。

濃い星周物質が存在する場合、イジェクタとの衝突によって起こる衝撃波でイジェクタの運動エネルギーの大部分が解放され放射に変換される。衝撃波は 1000-10000 km/s 程度で伝わり、プラズマが衝撃波を横切ると電子は 1-100 keV ほどの高温に加熱される。プラズマの冷却が効率よく起こる場合は、IIn 超新星のような可視光で明るい天体となるが、冷却効率が悪い場合はプラズマの制動放射により X 線源として見えると考えられる。この冷却プロセスの詳しいモデル構築は可視光のみならず多波長の観測データと比較する上で重要である。

多波長でのスペクトルエネルギー分布についてはこれまで大雑把な考察は行われてきたものの (Chevalier & Irwin 2012; Svirski et al. 2012)、観測との比較ができるような詳しいモデリングは行われてこなかった。我々は衝撃波加熱された電子の放射冷却および加熱のプロセスを包括的に考えることで、可視光から X 線までの詳細なスペクトルエネルギー分布を数値的に得る研究を行なった。本講演ではこのモデリングおよび IIn 型超新星の多波長観測との比較について発表する。

[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](#)

N28a 原始中性子星への質量降着を伴うニュートリノ駆動風モデルの構築と ^{56}Ni 生成量への示唆

澤田 涼 (京都産業大学)、諏訪 雄大 (京都産業大学/京都大学)

重力崩壊型超新星爆発 (以下、超新星) の爆発機構は、爆発シナリオが提言されてから 80 年経ってなお、完全には理解されていない (e.g., Baade & Zwicky 1934)。近年の第一原理計算では、爆発再現に成功した例が増えており、その計算の多くで、ゆっくりとした爆発が示唆されている。しかし最近、これらのゆっくりとした爆発では、超新星の ^{56}Ni の観測量を説明できないことが指摘された (nickel 生成量問題: Suwa et al. 2019; Sawada & Maeda 2019)。超新星爆発後も長時間 (10 秒) 吹くニュートリノ駆動風は、「nickel 生成量問題」の解決策の 1 つとして多くの研究で注目されている。しかし詳細な多次元シミュレーションは計算コストが非常に高く、現状では長時間計算が困難である。そこで本研究はこの解決策の検証のため、中性子星への降着とそれに伴うニュートリノ駆動風を記述する解析モデルを作成した。本研究のモデルに基づいた結論として、爆発後期段階に恒常的に吹き続けるニュートリノ駆動風で ^{56}Ni 生成量を補完する形では、nickel 生成量問題を解決することは難しい。また本研究から、超新星の第一原理シミュレーションで ^{56}Ni の総生成量を十分な精度で見積るには 2 秒程度まで計算を追跡すればよいことを示した。

[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](#)

P101a ALMA 観測による高解像度 3次元データ解析への機械学習の導入

大屋瑠子, 癸生川博文, 三宅祥太, 山本智 (東京大学)

干渉計を用いた電波観測研究では、近年、ALMA などの活躍により、多数の分子輝線で高解像度・高周波数分解能のデータが取得されている。我々のグループは、原始星近傍の円盤形成領域 ($10\text{--}10^3$ au) でのガスの物理構造と化学組成に着目して、ALMA を用いた分子輝線観測を実施してきた。中でも、落下するエンベロープガスからその内側の回転支持円盤への構造進化を理解するため、様々な分子輝線の速度構造の解析を行っている。一方、膨大な観測データの中で、どのような分子輝線がどのような物理構造を捉えるのかを吟味し尽くすことは困難であることもわかってきた。そこで我々は、観測された分子輝線が捉える物理・速度構造を先入観無く判別するため、機械学習を導入した観測データ解析に取り組んでいる。とくに、ALMA データの情報を最大限に活かすため、分子輝線の空間分布だけでなく、速度構造を含めた 3次元の情報を活用した解析方法を開発している。

Support Vector Machine (SVM) は、機械学習による分類手法の一つである。円盤形成領域のガスの基本的な速度構造として、回転・落下するエンベロープガスと、ケプラー回転円盤のモデルを作成し、SVM の教師データとした。モデルデータをテストケースとして与えると、予備的な解析では高い正解率 ($\sim 90\%$) を示した。これを実際の ALMA データに適用し、観測された分子輝線がどのような物理構造を捉えるのかを判別した。解析には、低質量原始星天体 IRAS 16293-2422 Source A における C^{17}O , H_2CS 輝線などのデータを使用した。予備的な解析の結果、今回開発した SVM を用いた解析手法による判別結果は、個々の分子輝線の Position-Velocity 図に対する χ^2 検定での結果と矛盾しなかった。3次元観測データに対する機械学習の適用は現実的に可能であると考えられ、今後このような解析手法が ALMA データ解析研究を強力かつ効率的に進める新たな手段になりうると期待される。

[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](#)

P102a 速度構造を含めた 3次元データにおける Principal Component Analysis

大小田結貴, 阿部正太郎, 駒木彩乃, 大屋瑠子, 山本智 (東京大学)

ALMA の観測によって、原始星近傍で多数のスペクトル線が捉えられるようになってきた。それらの総合的理解のために、機械学習の一つである Principal Component Analysis (PCA) を用いた解析を進めている。我々は以前、これを Class 0 低質量原始星 IRAS 15398-3359 で検出された分子輝線の 2次元空間分布に適用した。原始星近傍 (< 300 au) で検出された SO, CS, CCH など様々な分子輝線の分布に対して PCA を行ったところ、分子分布の特徴がよく捉えられ、この解析手法が原始星近傍においても有効であることを示した (Okoda et al. 2020)。

そこで今回、我々は、わし座 (距離 200 pc) に位置する低質量原始星 L483 において、速度構造を含めた 3次元データにこの手法を適用した。この予備的な解析結果の一部は、2019 年秋季年会でも報告している。この天体は、エンベロープガス (~ 1000 au) は炭素鎖分子に恵まれ、原始星近傍 (< 100 au) では複雑な飽和有機分子 (e.g., HCOOCH_3) が見られる特徴が先行研究で報告されている。ALMA のデータ (分解能 $0.2''$; Band 6) を解析すると、SO や H_2CO に加え、多様な分子種が検出された。それら 23 本の分子輝線に対して、原始星周り 400 au スケールで PCA を行ったところ、分布は主に 2つの主成分で表されることがわかった。第一主成分は、原始星に付随した分布とやや広い速度幅を示し、第二主成分は、原始星に特に集中した分布と高速度成分を示す。2本の NH_2CHO ($12_{1,11} - 11_{1,10}$, $12_{0,12} - 11_{0,11}$) に着目すると、第一主成分とほとんど相関がなく、第二主成分と強い相関を持つ。これはこの分子種が、高速度成分を持ったコンパクトな分布をしていることを示す。このように、速度構造を含めた 3次元の PCA は、特徴的な空間分布かつ特徴的な速度構造を持つ分子輝線を同定することができることがわかった。講演では、分布だけに着目した 2次元の PCA と比べて、3次元の PCA の有効性を議論する。

[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](#)

P103a Star Formation Feedback to a Parent Cloud: The Elias 29 Case

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 ρ -Ophiuchi molecular cloud complex. Recently, Oya et al. (2018) revealed physical and chemical structures within this source with ALMA observations. A compact component (~ 50 au) associated to the protostar is abundant in SO and SO₂, while deficient in CS and organic molecules. On the other hand, a southern ridge component apart from the protostar by 500 au is mainly traced by CS. Due to these interesting features, this source is involved in the ALMA large program FAUST (Fifty AU Study of the chemistry in the disk/envelope system of Solar-like protostars).

To further explore these features, we have studied an outflow/jet around the protostar and the star formation feedback to a parent cloud by using the chemical diagnostic power of FAUST. Main results are as follows. (1) We identified an outflow cavity in the C¹⁸O and SO emission. This is the first high-resolution image of the outflow in the vicinity of the protostar. (2) We revealed a bow shock at the eastern side of the protostar in the SO emission, which would be caused by a protostellar jet. (3) We found a relatively low DCO⁺/HCO⁺ ratio in the southern ridge. In particular, the ratio is as low as 0.0024 at the interaction position between the outflow and the southern ridge. Thus, the outflow interaction may contribute to the low ratio.

This study demonstrates a small-scale (~ 100 au scale) dynamic interaction between the Class I outflow/jet structure and the surrounding cloud material, i.e., the southern ridge.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P104a 深層学習による分子雲コアの新しい同定法の開発

吉田大輔, 井上剛志, 川西康友, 立原研悟 (名古屋大学), 鳥居和史, 鳥尻芳人, 宮本祐介 (国立天文台), 上田翔汰, 大西利和, 藤田真司, 西村淳 (大阪府立大学), 伊藤篤史 (核融合科学研究所), 竹川俊也 (神奈川大学), 金子紘之 (上越教育大学/国立天文台)

星は分子雲中に存在する分子雲コアと呼ばれる高密度領域が重力的に収縮することで形成されることが知られており、質量毎の形成頻度分布である星の初期質量関数 (IMF) と分子雲コアの質量分布関数 (CMF) の類似性が長年議論されている。近年の観測によって、1-10 太陽質量程度では両分布がサルピーター則に従うことが報告されている (André et al. 2010)。しかし、大質量側 (10 太陽質量以上) は依然として未解明な点が多く、大質量星形成領域ではトップヘビーな CMF も報告されている (Fukui et al. 2020)。

大質量星形成の解明には、観測的に大質量側の CMF を理解することが必要不可欠で、そのためには大質量コアのサンプル数を増やすことが重要である。しかし、大質量コアの形成頻度は低いため、大規模サーベイデータ解析が求められる。例えば FUGIN プロジェクトのデータ (Umemoto et al. 2017) などが挙げられるが、遠方領域では解像度が粗く S/N 比が下がる傾向がある。そのため、従来の分子雲コア解析手法 (Williams et al. 1994 など) では解析が難しいことが知られている。そこで我々は、新しい手法として深層学習を用いた手法の開発に着手した。

本発表では、深層学習を用いた物体検出手法としてよく知られている SSD 法 (SingleShot multibox Detector, Liu et al. 2016) を分子雲コアの検出ツールに応用した結果を中心に報告する。特に、我々の手法を OrionA 領域に適用した結果、コアカタログ (Shimajiri et al. 2015) の質量分布を再現できただけでなく、S/N 比を人工的に下げた場合においても大質量コア (10 太陽質量以上) であれば再現できる可能性を示すことができた。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P105a ALMA ACA サーベイで探る Taurus 領域分子雲コア進化の統計的研究 (5) : 若い連星 GV Tau が付随する分子雲コアの内部構造

原田直人, 佐伯優, 柳玉華, 山崎駿, 町田正博 (九州大学), 徳田一起 (大阪府大/国立天文台), 立原研悟 (名古屋大), 松下祐子 (国立天文台), 松本倫明 (法政大), 山崎康正, 大西利和 (大阪府大)

原始星の形成段階における分子雲コアの物理状態を知ることは、星形成分野の重要課題の一つである連星/多重星形成機構についての理解を深めることに繋がる。我々は野辺山 45m 望遠鏡の H^{13}CO^+ 輝線観測 (Onishi et al. 2002) で同定された Taurus 領域に存在する星あり/星なし分子雲コアの IRAM 30m 望遠鏡や ALMA-ACA 等を用いたサーベイ観測を推進しており、星なし分子雲コアの進化段階などを明らかにしてきた (徳田他 2020 秋季年会など)。本講演では同領域の中でも比較的質量の大きい MC28 分子雲コア (総質量 $\sim 10 M_{\odot}$) について紹介する。コア内部に若い連星 GV Tau N/S (連星間距離 ~ 170 au) が埋もれており、IRAM 30m および ACA で得られた 1mm 帯連続波のピーク位置と一致する。この連続波源を中心にして ACA の $^{12}\text{CO}(J=2-1)$ 輝線でそれぞれ南側と北西側に伸びた相対速度 $\sim 5 \text{ km s}^{-1}$ 程度の赤方偏移および青方偏移成分が見られたが、より高い分解能の HCN 輝線の観測 (Fuente et al. 2020) より示唆されているアウトフローの向きとは 50 度以上異なる。さらに GV Tau から ~ 3500 au 西側に離れた位置に 2 つの星なし連続波源を検出した。これらソースのフラックスは同サーベイで得られていた他の星なしコアと比較しても同程度かそれ以上であり中心部の密度が 10^6 cm^{-3} に達している可能性がある。また、 $\text{C}^{18}\text{O}(J=2-1)$ 輝線の分布は星なし連続波源と対応した構造が見られ、その中心速度は GV Tau の値と近いことからこれらは同一の系であると考えられる。このように、MC28 の内部には GV Tau N/S 以外にも複数の天体が存在し、それらが複雑に相互作用する多重星系を成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](#)

P106a ALMA ACA サーベイで探る Corona Australis 領域の星形成 (2)

山崎康正, 大西利和 (大阪府大), 徳田一起 (大阪府大/国立天文台), 立原研悟, 西岡丈翔 (名古屋大), 金井昂大, 大朝由美子 (埼玉大), 松下祐子, 西合一矢, 深川美里 (国立天文台), 原田直人, 佐伯優, 柳玉華, 山崎駿, 町田正博 (九州大)

小質量星およびその集団の形成過程は未解明な部分が多く、初期条件となるような高密度星なし分子雲コアの性質を探ることが求められている。また、星団形成領域の原始惑星系円盤は孤立した星形成領域で発見されているものよりも小さいことが近年報告されつつあり、惑星形成の多様性を探る上でも重要である。我々は、星形成/惑星形成の初期条件理解を目指して、近傍 ($d = 149 \text{ pc}$) の活発な星団形成領域である Corona Australis 領域をターゲットとし、ALMA ACA (合成ビームサイズ $7.''4 \times 4.''6$, $\sim 900 \text{ AU}$) を用いて大規模なサーベイ観測を推進している (立原ほか 2020 秋季年会)。本観測領域の中には Class II 天体が 9 個存在し、ALMA 12m array を用いた同じ連続波帯 (1.3 mm) の観測により 50 au 程度の円盤が検出されていたが (Cazzoletti et al. 2019)、ACA でさらに広がった放射は確認されず、円盤自体がコンパクトであることが再確認できた。また、RCrA から 0.2 pc 以内の範囲において、ACA の 1.3 mm 連続波および $\text{N}_2\text{D}^+(3-2)$ 輝線の少なくとも一方で受かっているガス塊を 7 個同定した。これらはおうし座分子雲コアの ACA 観測で検出できた連続波/ N_2D^+ 強度よりも強く、 $\sim 10^6 \text{ cm}^{-3}$ 程度の密度を有していると考えられる。加えて RCrA 領域のガス塊はアスペクト比が 3 以上と、おうし座領域のものよりも有意に大きく、互いに別の要因で形成された可能性が考えられる。また、これらが存在する物理的/化学的環境を調べるため、Herschel 衛星による連続波観測より得られた柱密度/ダスト温度マップ (Bresnahan et al. 2018) と比較した結果、 N_2D^+ は概ね温度 $\sim 15 \text{ K}$ 以下かつ柱密度 $\sim 3 \times 10^{22} \text{ cm}^{-2}$ 以上の領域でのみ検出された。

[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](#)

P107a VERA と ALMA を用いた大質量原始星 S255 NIRS 3 における水メーザー観測

廣田朋也, Burns, Ross A., 砂田和良 (国立天文台), Cesaroni, Riccardo, Moscadelli, Luca (アルチエトリ天文台), 杉山孝一郎 (タイ国立天文研究所), Kim, Jung-ha (韓国天文研究院), 米倉覚則 (茨城大学)

2015年に起こった6.7 GHz メタノールメーザーの突発的増光「フレア」によって、短期間の急激な質量降着現象「アクリーションバースト」が大質量原始星 S255 NIRS 3 で確認された (Fujisawa et al. 2015)。本発表では、S255 NIRS 3 における VERA を用いた 22 GHz 水メーザーの位置天文観測と単一鏡モニター観測、および ALMA Cycle 5 での Band 7 サブミリ波連続波と 321 GHz 水メーザーの観測について報告する (Hirota et al., submitted to A&A)。22 GHz 水メーザーは北東-南西方向のアウトフローに付随しており、このうち VERA によって 2017 年に解像された南西側バウショックの構造は 2005 年と 2010 年に観測されたものとよく合っていた (Goddi et al. 2007, Burns et al. 2016)。バウショックの固有運動から、アウトフローの力学的タイムスケールは 60 年と見積もられた。一方、2016-2018 年のモニター観測で緩やかな増光が確認された 22 GHz 水メーザーは南西方向のバウショックではなく、2016 年にセンチ波電波の増光によって確認された電波ジェット (Cesaroni et al. 2018) に付随する北東方向の成分であることが明らかになった。また、VLBI と単一鏡による水メーザースペクトルを VLA による観測結果と比較したところ、メーザーの増光が VLA でも分解される空間的に広がった成分で起こっていることも明らかになった。ALMA による観測では、大質量原始星では 4 例目となる 321 GHz 水メーザーのイメージングに成功した。321 GHz 水メーザーは 22 GHz の水メーザーと同様にアウトフローをトレースするが、2 輝線の強度比は空間的に異なっている。これは、メーザー放射領域の密度や温度の違いを反映していると考えられる。発表では、上記観測結果に基づいて水メーザー源の変動とアクリーションバースト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](#)

P108a Salt, Hot Water, and Silicon Compounds Tracing Massive Twin Disks

Yichen Zhang (RIKEN), Kei Tanaka (NAOJ), Tomoya Hirota (NAOJ), Nami Sakai (RIKEN), Kazuhito Motogi (Yamaguchi), Kengo Tomida (Tohoku), Jonathan Tan (Chalmers/Virginia), Viviana Rosero (NRAO), Aya Higuchi (NAOJ), Satoshi Ohashi (RIKEN), Mengyao Liu (Virginia), Koichiro Sugiyama ((NARIT/NAOJ)

We report results of ALMA 0.05''-resolution observations toward the O-type proto-binary system IRAS 16547-4247. We present dynamical and chemical structures of the circumbinary disk, circumstellar disks, outflows and jets, illustrated by multi-wavelength continuum and various molecular lines. The multi-band observation allows us disentangle the dust emission and the free-free emission, which have different spectral indices, in frequency and space. We detect salt, silicon compounds, and hot water lines as probes of the individual protostellar disks at a scale of 100 au, which are complementary to hot-core molecules tracing the circumbinary structures on a 1000-au scale (Tanaka, Zhang et al. 2020). The H₂O line tracing inner-disks has an upper-state energy of $E_u/k > 3000$ K, indicating a high temperature of the disks. On the other hand, despite the detected transitions of NaCl, SiO, and SiS not necessarily having high upper-state energies, they are enhanced only in the vicinity of the protostars. We interpret that these molecules are the products of dust destruction, which only happens in the inner disks. These new results suggest these “hot-disk” lines have great potential for future research of disks in massive star formation. We also tentatively find that the twin disks are counter-rotating, which might give a hint of the origin of the massive proto-binary system IRAS 16547-4247.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P109a NLTE rovibrational analysis of hot disk tracers in the massive binary protostellar system IRAS 16547–4247

Ziwei E. Zhang ¹, Yichen Zhang ¹, K. Tanaka ², P. Stancil ³, B. Yang ³, B. Naduvalath ⁴, and Nami Sakai ¹

¹ RIKEN, Wako, Saitama, JAPAN. ² NAOJ, Tokyo, JAPAN. ³ UGA, Athens, GA, USA. ⁴ UNLV, Las Vegas, NV, USA.

During the embedded phase of massive star formation, the surrounding materials of protostars experience vigorous physics and chemistry, resulting in intense physical conditions, such as high temperature and density. As a consequence, various high excitation molecular lines have been detected and used to probe the physical properties of these massive protostellar systems. Recent ALMA observations have unveiled the unusual structure of the inner region of IRAS 16547–4247 (an O-type binary protostellar object) with rovibrationally excited “hot-disk” tracing molecules, e.g., NaCl, SiS, and H₂O. We present non-local thermal equilibrium (NLTE) analysis of the detected species to constrain the physical properties of this circumbinary system. The effects of physical conditions (e.g. temperature, density, and radiation) on the excitation of these detected molecules are explored with NLTE modeling. Such study is essential to the evaluation of the potential of these rovibrationally excited molecules as “disk-tracers”, as well as to the investigation of detailed structures of massive star-forming 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](#)

P110a Chemical evolution of Galactic high-mass star-forming cores

Sarolta Zahorecz, (Osaka Pref. Univ. / NAOJ), Izaskun Jimenez-Serra (CSIC/INTA, Spain), Leonardo Testi (ESO, Germany), Ke Wang (KIAA-PKU, China), Francesco Fontani (INAF, Italy), Paola Caselli (MPE, Germany), Katharina Immer (JIVE, Netherlands), Toshikazu Onishi (Osaka Pref. Univ.)

High-mass stars play an important role in the evolution of the Galaxy by strongly influencing their environment physically and chemically also. We can distinguish high-mass starless cores, high-mass protostellar objects and ultracompact HII regions with different chemical properties. Previous studies have found that species formed exclusively in the gas, showed different evolutionary trends from those formed partially or totally on grain mantles. Detailed interferometric observations are needed to separate the emission originating from the small and dense cores. Our previously reported APEX - ALMA study regarding the deuteration of formaldehyde molecule has shown that the deuteration fraction of formaldehyde decreases with evolutionary stage, confirming the importance of the gas-phase contribution to the formation process. Thanks to the wide frequency coverage and high sensitivity of our ALMA Atacama Compact Array observations, several molecules were observed for the selected high-mass star-forming cores in different evolutionary stages, such as CH₃OH, HC₃N, SiO, DCN, NO, H₂S. We will present the detailed analysis of the selected molecular lines from the young high-mass starless cores to the more evolved ultracompact HII 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](#)

P111a ALMA による原始連星系天体 NGC 2264 CMM3 の高分解能観測

柴山良希 (東京大学), 渡邊祥正 (芝浦工業大学), 大屋瑠子 (東京大学), 坂井南美 (理化学研究所), Ana López-Sepulcre (Université Grenoble Alpes/IRAM), Sheng-Yuan Liu (Institute of Astronomy and Astrophysics), Yu-Nung Su (Institute of Astronomy and Astrophysics), Yichen Zhang (理化学研究所), 酒井剛 (電気通信大学), 廣田朋也 (国立天文台), 山本智 (東京大学)

連星系の形成過程の理解は星形成研究において重要な課題の一つである。ALMA の高空間分解能により、今まで観測が難しかった若い原始星から構成される原始連星系天体が多く発見されている。NGC 2264 CMM3 は Watanabe et al. (2017) の ALMA を用いた観測により、CMM3A と CMM3B の 2 つの原始星からなる連星系を中心とした天体であることがわかった。さらに、より高分解能の分子輝線観測で、CMM3A の円盤の速度構造が明らかになり、その原始星質量が $0.5 M_{\odot}$ 程度と見積もられた (柴山他: 2020 年秋季年会)。

本研究では Self-calibration を適用して連続波のイメージを再解析した。CMM3A および CMM3B の SED (Spectral Energy Distribution) を調べたところ、Spectral Index (α) が 2.5 程度とレイリー・ジーンズ則の 2 に近い値となった。Spectral Index は通常、星間ガスで 3.5-4 であり、原始惑星系円盤などでダストが成長するのに従って 2 に近づいていく。しかし、CMM3 はアウトフローの研究から 1000 yr 程度 (Saruwatari et al. 2011) の若い天体と考えられている。従って、これらの天体の Spectral Index が 2 に近いのはダスト成長のためではなく、光学的に厚いためだと考えられる。また、CMM3A の連続波の強度分布がダブルピークまたはフラットトップのように見えることがわかった。このことは、原始星円盤の内部構造の存在、あるいは CMM3A 自体が近接した連星系である可能性を示している。また、OCS (20-19) 輝線で見られるアウトフローの回転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](#)

P112a Gaia データを用いたオリオン大星雲星団の解析

西亮一, 石倉来実 (新潟大学)

我々は Gaia DR2 のデータを用いてオリオン領域をはじめとする集団的星形成領域において若い星についての解析を行っている。そして、固有運動を平面での分布が非常に重要であることを示してきた。

本講演では、オリオン大星雲領域の若い星の 3 次元分布についての解析結果を報告する。オリオン大星雲はトラペジウムと呼ばれる 4 つの大質量星などによって電離ガスが光っているが、周囲には多数の中小質量星が存在し星団となっている。この周辺の領域では星雲光の影響などで、Gaia のみでは HR 図を描くことができない星が多いが、固有運動平面での分布や 2MASS データとの結合により若い星を選定することができる。その結果、オリオン大星雲星団の 3 次元構造を調べると、オリオン A 巨大分子雲とほぼ直交するような視線方向に伸びた構造が確認できた。また、限定的ではあるが星形成史についての解析結果も報告する予定である。

これらの解析結果は、Gaia DR2 を用いたものであるが、12 月 3 日に公開される Gaia EDR3 を用いて改めて解析を行い、その結果について報告する予定である。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P113b 星形成過程におけるダストガス質量比の再検討

古賀駿大, 町田正博 (九州大学)

星は宇宙の最も基本的な構成要素であり、主に中性ガスで構成する星間分子雲中の密度の高い分子雲コア中で誕生する。星誕生の過程で分子雲コアの中心領域には、原始星と呼ばれる星の素(もと)に相当する天体が形成される。分子雲コアから原始星までのガスの進化過程は、3次元磁気流体シミュレーションを始めとした理論研究とALMAなどによる観測が相補的に様々な事実を明らかにしてきた。一方、星間空間に存在する固体微粒子であるダストのダイナミクスについては未だほとんど明らかになっておらず、理論・観測ともにダストはガスとcoupleしていると仮定している。ダストとガスがどれほどcoupleしているかは、領域のダストとガスの質量比が時間・空間的にどれほど変化するかに対応する。その質量比は、観測によるダスト連続波を用いたガスの質量推定や、星間空間の化学反応、さらには惑星形成の初期条件にも大きく影響を与えるため、星形成過程に置けるダストとガスの質量比を明らかにすることは重要である。

本研究では、3次元磁気流体数値シミュレーションにダストをtest particleとして導入し、ダストのサイズをparameterとして計算を行った。ガス進化とともに、様々なスケールでのガスダスト質量比の時間進化について解析を行ったので、その結果を報告する。

[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](#)

P114b 2mm帯受信機B4R/LMT50m望遠鏡搭載によるOrion-KL領域試験観測の解析報告

米津鉄平, 前澤裕之(大阪府立大学), 川邊良平(NAOJ), 吉村勇紀, 廿日出文洋, 河野孝太郎(東京大学), 竹腰達哉(北見工業大学), 酒井剛(電気通信大学), 田中邦彦(慶應義塾大学), 谷口暁星, 田村陽一(名古屋大学), 大島泰, 島尻芳人(NAOJ), David Hughes, David Sánchez-Arguelles, Arturo Gómez-Ruiz, Iván Rodríguez-Montoya, Javier Zaragoza-Cardiel, Edgar Colin, Miguel Chavez-Dagostino, Sergio Rojas(INAOE), Pete Schloerb, Kamal Souccar, Min Yun (UMass)

2mm帯受信機システムB4Rは2018年にメキシコの標高4600mにあるLMT望遠鏡に搭載され、性能試験やデモ科学観測が推進されている。2018年10月、2019年11月に大質量星形成領域であるOrion-KL領域において、127.9 - 152.4GHzの周波数帯域(内16GHz)でオンザフライ(OTF)観測が実施され(観測領域: 10' × 10' (2018年)、5' × 5' (2019年))、400以上の輝線を検出し、複雑な有機分子(COMs)を含む30種以上の分子も同定されている(川邊他20年秋季年会)。この受信機と口径50mの空間解像度(10秒角)の効力により、本領域では、BN天体やIRc2などの星形成領域を含むホットコアから南西のコンパクトリッジにかけて、ALMAなどの先行研究でも観測されている複雑なOxygen-bearing分子(CH₃OCHO, CH₃COCH₃など)が広範に広がっている様子を捉えられた。さらにNitrogen-bearingの炭素鎖分子(C₂H₅CN, C₂H₃CN, HC₃Nなど)はホットコアで相対的に強く広がり、化学組成の分布が系統的に変化する様子も明瞭に捉えている。これらは星形成領域や高密度コアの進化過程における温度などの物理的環境の違いを反映しているものと推察される。本講演ではeXtended CASA Line Analysis Software Suite(XCLASS)を用いた上記一連の分子輝線の同定と分子の分布の解析の詳細を報告する。

[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](#)

P115b Star Formation Signatures in the 70 μm Dark High-mass Clump G23.477

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

The investigation of high-mass infrared dark clouds allows to constrain the initial conditions of high-mass star formation. We observed a 70 μm dark high-mass clump G23.477+0.114 ($d\sim 4.9$ kpc) using ALMA Band-6 at an angular resolution of $1''.2$. In the autumn annual meeting 2020, we reported the identification of cores embedded in the clump and the discovery of outflows in this clump for the first time (P119a).

Here, we present the unveiled star formation signatures with some line emission; N_2D^+ (3-2), DCO^+ (3-2), DCN (3-2), CO (2-1), SiO (5-4), H_2CO (3-2), and CH_3OH (4-3). The 11 cores ($1.1\sim 19 M_\odot$) identified using dendrograms are subvirialized cores. At least four protostellar cores are associated with outflows and $\text{H}_2\text{CO}/\text{CH}_3\text{OH}$ line emission. Five cores are regarded as prestellar cores. Two cores have no outflow in CO/SiO but are associated with $\text{H}_2\text{CO}/\text{CH}_3\text{OH}$. From one of them (ALMA 1) with a mass of $\sim 14 M_\odot$, strong N_2D^+ emission was detected. In addition, the C^{18}O depletion factor in ALMA 1 is similar to the values measured in prestellar cores rather than protostellar cores, suggesting ALMA 1 is in the early phase of the protostellar formation. It is expected that with $\sim 1000 M_\odot$, G23.477 should form high-mass stars. The non-detection of turbulent high-mass cores suggests that in order to form high-mass stars the current cores require to accrete a significant amount of mass, favoring competitive accretion scenarios over the turbulent core accretion model. Alternatively, virialized high-mass prestellar cores could appear later in the evolution of the cluster formation.

[スケジュール\(セッション毎\)に戻る](#)

[スケジュール\(全体\)に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P116b 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 $\text{H}\alpha$ 輝線が出ることで、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 $\text{H}\alpha$ 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、カシオペア座の銀河面を含む $2^\circ \times 13^\circ$ の領域に存在する 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 2m 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結果、16 天体のうち 5 天体から $\text{H}\alpha$ 輝線を確認した。このうち 1 天体は既知の Wolf-Rayet Star であったため、4 天体を YSO であると同定した。このうち 3 天体は $\text{H}\alpha$ 輝線の等価幅が 10\AA 以上で、古典的 T タウリ型星だと考えられる。残り 1 天体は $\text{H}\alpha$ 輝線の等価幅が 10\AA 以下で、弱輝線 T タウリ型星だと考えられる。次に、YSO と同定した 4 天体の半径 5 分以内に存在する天体を 2MASS 等で調べた。このうち、2 天体は領域内に既知の YSO や赤外超過と不規則変光が確認される YSO 候補天体が存在しない。これらは孤立して形成した天体であるとも考えられる。

[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](#)

P117b はえ座分子雲における褐色矮星・惑星質量天体の近赤外測光探査観測

大朝由美子, 伊佐勇亮, 金井昂大(埼玉大学)

近年の近赤外観測から、恒星の周囲を周回しない単独惑星質量天体や褐色矮星(超低質量天体)が近傍星形成領域や太陽近傍領域で複数存在することがわかってきた。しかし、光度が非常に小さく観測が困難なため、その形成や環境による頻度分布の違いなど未解明の点が多い。我々は、多様な環境を持つ星形成領域において、超低質量天体の普遍性や IMF、環境による形成の差異等を探るべく、可視/近赤外探査観測プロジェクトを進めている。

本研究では、距離 ~ 200 pc に位置するはえ座分子雲を対象とした。フィラメント状構造(長さ ~ 10.5 pc)をもつはえ座分子雲は、フィラメントに沿って分布する複数のコアや、垂直に貫く磁場がみられている(Cox et al. 2016)。集団的星形成や複数の超低質量天体がみられるカメレオン座分子雲(Oasa et al. 1999)と大局的には関連していると考えられているが、はえ座分子雲では YSO はほぼ見つかっていない。一方我々のこれまでの近赤外・電波観測から、アウトフローを伴う Class I 天体候補がフィラメントの端に存在する(宮本ほか 2007)ことがわかっており、加えて減光量も小さい($A_V < 10$)ため、フィラメント状分子雲における超低質量天体形成を探る上で適した領域である。はえ座分子雲における超低質量天体形成やその分布を調べることを目的として、VLT 望遠鏡と HAWK-I を用いた広域近赤外測光探査観測($7.5' \times 7.5' \times 12$)のデータ解析を行った。JHK3 バンドの 10σ 限界等級は従来より数等深く($J \sim 21.5, H \sim 21, K \sim 20$)、3 バンドで数万天体が検出された。二色図から赤外超過の見られる Class II 天体候補が約千天体同定され、年齢を $1M_{\text{yr}}$ と仮定して進化トラックを基に質量を求めると、ほぼ全てが超低質量天体候補となった。背景銀河などの混入を考慮しても、若い超低質量天体が存在する可能性は高い。本講演では、フィラメント状分子雲における超低質量天体の空間分布や IMF など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](#)

P118b へび座分子雲における若い超低質量天体の近赤外分光観測

大出康平, 大朝由美子, Malte Schramm(埼玉大学), 小田達功(埼玉大学/さいたま市宇宙劇場), 中岡竜也(広島大学), 高木悠平(国立天文台), 伊藤洋一(兵庫県立大学)

褐色矮星/惑星質量天体(超低質量天体)は、形成過程や存在頻度など未解明な点が多いが、環境によって形成が異なることが示唆されている。本研究はガス/ダスト密度の異なる3つのクラスター(A, B, South)をもつへび座分子雲(~ 436 pc)を観測した。近赤外測光観測から約8000天体の超低質量天体候補が同定されている(佐藤ほか 2015, 小田ほか 2018)が、背景天体の混入の可能性や年齢の仮定による推定質量に不定性がある。

温度と光度から天体の質量と年齢を導出するために、2017年から2020年にすばる望遠鏡/MOIRCS+IRCS, かなた望遠鏡/HONIRを用いてへび座分子雲における多天体近赤外分光観測を行ない、約500天体の近赤外スペクトルを取得した。低温度星に見られる H_2O の吸収量が有効温度と表面重力によって変化することに着目し、減光量に依存しない H_2O の吸収量比 Q を定義(Oasa 2011)して超低質量天体候補の有効温度を求めた。また、Kバンドスペクトルが得られた天体については、金属吸収線の等価幅比(Itoh et al. 2002)を用いた有効温度の導出を行なった。この有効温度と先行研究で求められた光度を組み合わせ、HR図と理論進化モデルを用いて年齢の仮定に依存しない質量と年齢を導出した。結果、若い超低質量天体($\leq 0.08M_{\odot}$)が66天体、若い低質量星が77天体同定された。一方、背景星/背景銀河などがYSO候補天体の約7割を占めていた。さらに、YSOの分光質量と測光質量を比較した結果、クラスターA/Bでは分光質量より測光質量の方が大きい、クラスターSouthでは同程度であった。年齢の頻度分布、空間分布からもクラスターSouthがクラスターA/Bよりも若く、同一分子雲内で年齢が異なることが分かった。講演では、他の星形成領域との比較結果についても議論を行なう。

[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](#)

P119b 銀河面における前主系列星の広域探査観測

竹内媛香, 大朝由美子, 大出康平 (埼玉大学), 木内穂貴 (埼玉大学/越谷市立東中学校), 平塚雄一郎 (埼玉大学/埼玉県立寄居城北高校), 本田敏志, 伊藤洋一 (兵庫県立大学), 高木悠平 (国立天文台), 橋本修 (群馬県立ぐんま天文台)

星は分子雲コアで形成され、前主系列星 (PMS) の段階を経て主系列星に進化する。星形成は分子雲のガス・ダスト密度の高い領域で活発である一方、低密度領域においても緩やかに星形成が起きていることがわかりつつある (e.g. 平塚 2018)。しかし低密度領域における PMS の探査は不十分であり、星形成の理解は進んでいない。そこで我々は、ガス・ダスト密度の異なる環境における星形成の相違を探るため、NRO 銀河面探査プロジェクト (FUGIN) の CO 観測や、可視赤外探査観測がなされている銀河面領域について、PMS の広域探査を行っている。

我々は、PMS の観測的特徴である赤外超過と H α 輝線をもとに探査を行っている。まず、2MASS, WISE, 可視 r' , i' , H α による銀河面測光探査観測 (IPHAS) のアーカイブデータから作成した二色図を用いて PMS 候補天体を選別した。そして、二色図上での赤外超過や H α 超過が大きい候補天体を優先し、兵庫県立大学 2.0 m なゆた望遠鏡/MALLS とぐんま天文台 150cm 望遠鏡/GLOWS を用いて 388 天体の可視低分散分光追観測を行った。その結果、約 5 割の天体から H α 輝線が検出された。観測天体に対する輝線天体の割合は、銀河中心に近い領域 (約 38%) よりも、外縁部領域 (約 61%) の方が高いことがわかった。また、 $K_s[3.4][4.6]$ 二色図で赤外超過を示す候補天体について、 r' , i' , H α 二色図から求められた H α 線等価幅の推定値と、本観測で得られた測定値には正の相関が見られた。さらに CO データとの比較を行い、低密度領域にも PMS 候補天体が存在することがわかった。本講演では、H α 輝線強度と年齢との比較や、CO データから同定した分子雲の分布との比較などについて議論を行う。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P120b Lupus I と R CrA における若い超低質量天体の近赤外測光探査

金井 昂大, 大朝 由美子 (埼玉大学)

褐色矮星・惑星質量天体は質量が非常に小さく暗いため、その形成過程や普遍性などは不明な点が多い。先行研究では S106 領域や Orion B 分子雲において、大質量星によって超低質量天体の形成が抑制されている可能性が示唆されている (Oasa et al. 2006, 大朝ほか 2017)。超低質量天体が普遍的か、形成に多様性があるかを探るために、我々は様々な分子雲の可視・近赤外測光分光観測を進め、環境による星形成の相違点を調べている。

本研究では近傍 (~ 150 pc) の低-中質量星形成領域である、Lupus I (~ 3000 平方分) と R CrA (~ 200 平方分) を対象とした。それぞれ銀河面を隔てて同程度の銀緯 ($\sim \pm 20$ 度) に位置する。Lupus I, R CrA 共に Spitzer による観測で赤外超過が見られる YSO が同定されている (e.g. Allers et al. 2006, Peterson et al. 2011) が、惑星質量天体を含む超低質量天体の形成や初期質量関数 (IMF) は明らかにされていない。そこで、これらの領域における超低質量天体の形成やその質量分布を明らかにすることを目的として、UKIRT/WFCAM を用いた深い JHK 近赤外測光観測 (J ~ 21.0 mag, 20.6mag) ・解析を行った。Lupus I 分子雲では先行研究 (大朝ほか 2015) のデータ再解析を行った。二色図で得られた赤外超過量を基に YSO を選別し、減光を補正して天体固有の光度を求め、年齢を 1Myr と仮定することで質量を導出した。その結果、IMF は Lupus I, R CrA 共に惑星質量天体にかけて増加する一方、R CrA の方が T Tauri 型星/褐色矮星共に多く存在しており、数密度が高い傾向が見られた。また、遠赤外～電波観測によって得られた分子雲のガス・ダスト柱密度と比較すると、ガスやダスト密度が高い領域では T Tauri 型星や褐色矮星が多く、密度が低い領域では惑星質量天体が多く形成されている傾向が示された。さらに、これらの傾向から両領域における超低質量天体形成の差異や進化段階ごとの空間分布等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](#)

P121b 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付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すほどの質量をも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も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、広視野且つ高感度の観測を行うすばる望遠鏡 Hyper Suprime-Cam Subaru Strategic Program (HSC-SSP) survey Deep + Wide 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、広域でかつてない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 バンドでの PSF フラックス、カラー制限、限界距離に基づき褐色矮星の探査を行った。その結果、1754 個の褐色矮星候補天体を検出した。次に SED フィッティングにより検出天体のサブタイプを決定後、観測等級と各サブタイプごとの絶対等級の関係から検出天体までの距離を計算した。さらに検出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。本研究で得られたスケール高と先行研究で得られたスケール高、恒星のスケール高を比較し、銀河系構造について考察を行う。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P122a VLA observations of ammonia lines towards a Class 0 protostar NGC1333 IRAS4A

大和義英 (東京大学), 古家健次 (国立天文台), 相川祐理 (東京大学), Magnus Persson (Chalmers University of Technology), John Tobin (NRAO), Vianney Taquet (INAF), Jes Jørgensen (University of Copenhagen), Mihkel Kama (Tartu Observatory)

Exploring the chemical composition in the vicinity of a protostar promotes our understanding of the molecular evolution from the interstellar medium to the planetary medium. In the warm region ($\gtrsim 100$ K) around the protostar, ices sublime from dust grain surfaces, which enables us to constrain the abundance of icy molecules using the radio molecular line observation. We observed five NH_3 and two NH_2D transitions with high-spatial resolution ($\sim 1''.0$) towards a Class 0 protobinary system NGC1333 IRAS4A using Very Large Array (VLA) to estimate the relative abundance of NH_3 to water. Combining the previous ALMA observations of H_2^{18}O line, we revealed that the NH_3 abundance in one of the binary is smaller than the typical interstellar value ($\sim 5\%$; Öberg et al. 2011) and similar to the value in the comets in Solar system (0.2–1.4%; Mumma & Charnley 2011); the chemical evolution of nitrogen may already have started. We also detect the NH_2D lines at the central region ($\lesssim 300$ au) in one of the binary for the first time, which results in a remarkably high $\text{NH}_2\text{D}/\text{NH}_3$ ratio. Theoretical model by Furuya and Persson (2018) predicts that $\text{NH}_3/\text{H}_2\text{O}$ and $\text{NH}_2\text{D}/\text{NH}_3$ ratios depend on the main nitrogen reservoir in the early evolutionary stage. The abundance ratios obtained by our study put a constraint on the model prediction.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P123a PEACHES: Formation of CH₃CN in Class 0/I protostars

Yao-Lun Yang (University of Virginia), **Shaoshan Zeng (RIKEN)**, Yichen Zhang (RIKEN), Nadia M. Murillo (RIKEN), Ziwei Zhang (RIKEN), Aya Higuchi (NAOJ), Nami Sakai (RIKEN), and PEACHES members

Methyl cyanide (CH₃CN) is an important trace molecule in the ISM, especially in star-forming regions where it is commonly used as a gas thermometer to derive kinetic temperatures. Although it has been detected in a variety of objects, the formation of CH₃CN, whether from gas-phase or grain-surface reactions is still a matter of debate. For instance, CH₃CN is considered to form mainly on grain surfaces in hot cores while gas-phase reactions seem to dominate the formation of CH₃CN in starless and prestellar sources. Here, we present one of our latest results from the Perseus ALMA Chemistry Survey (PEACHES), an unbiased ALMA chemistry survey toward the embedded (Class 0/I) protostars in the Perseus molecular cloud (ASJ meeting Sep. 2018, P123b). In our sample, we find a remarkably strong correlation between CH₃CN and CH₃OH, of which its formation is well-known to be solely reliant on grain-surface reactions. Our results thereby indicate that CH₃CN and CH₃OH have similar underlying chemistry and grain-surface reactions may be important in CH₃CN formation in embedded protostars. In addition, we obtain a consistent range of CH₃CN/CH₃OH ratio to those obtained from other samples of Class 0/I protostars across various regions. This ratio is however generally disagree with those in prestellar and protostellar sources, which may further imply that different formation routes of CH₃CN are at play between prestellar and protostellar phases.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P124a ALMA observations of CH₃OH and HC₃N toward three low-mass young stellar objects in the Perseus region

Kotomi Taniguchi (Gakushuin University), Liton Majumdar (National Institute of Science Education and Research), Shigehisa Takakuwa (Kagoshima University), Masao Saito (NAOJ/SOKENDAI), Dariusz C. Lis, Paul F. Goldsmith (NASA JPL), & Eric Herbst (University of Virginia)

Both CH₃OH and HC₃N are representative species of interstellar complex organic molecules (iCOMs) and carbon-chain species, respectively, and they are prevalent in star-forming regions. We have analyzed ALMA cycle 5 data in band 4 toward three low-mass young stellar objects (IRAS03235, IRAS03245, and IRAS03271) in the Perseus region. The HC₃N ($J = 16 - 15$) line has been detected from all of the three sources, while four CH₃OH lines in the 157 GHz band have been detected only from IRAS03245. We derived column densities and excitation temperatures of HC₃N and CH₃OH with the MCMC method in the CASSIS software, and obtained the CH₃OH/HC₃N abundance ratio. The observed CH₃OH/HC₃N ratio in IRAS03245 (3.7 ± 0.6) is reproduced by results of our chemical network simulations at dust temperatures of ≈ 32 K, which agrees with the observed dust temperature (37 ± 2 K). All of the target sources have similar envelope masses, but the bolometric luminosity in IRAS03245 is higher than the others. Thus, the non-thermal desorption mechanism of CH₃OH is likely important for the gas-phase CH₃OH production around low-mass YSOs.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P125a ALMA 望遠鏡を用いた CH_3NH_2 の探査と化学進化への示唆

鈴木 大輝 (ABC), Liton Majumdar (HBNI), 徳田 一起 (大阪府立大), 齋藤 正雄 (NAOJ), 大石 雅寿 (NAOJ), 廣田 朋也 (NAOJ)

星間空間における生命関連分子生成は生命起源に至る最初期の化学進化過程と考えられる。もっとも簡単なアミノ酸であるグリシンは、星間空間塵上の紫外線照射下でメチルアミン (CH_3NH_2) と CO_2 から生成されると提案されており、 CH_3NH_2 はグリシンの前駆体分子として注目されている。しかし、 CH_3NH_2 の起源は塵表面上のラジカル反応 ($\text{CH}_3 + \text{NH}_2$) や水素付加反応 ($\text{HCN} + 2\text{H} \rightarrow \text{CH}_2\text{NH}$, $\text{CH}_2\text{NH} + 2\text{H} \rightarrow \text{CH}_3\text{NH}_2$) など様々な経路が考えられ、実際の観測に基づいた議論が求められる。

そこで我々は ALMA 望遠鏡を用いて大質量形成領域で CH_3NH_2 の探査を実施した。NGC6334I, W51 e1/e2, G10.47+0.03, G31.41+0.3 の 4 つの領域を探査した結果、合計 6 つコアで CH_3NH_2 の検出に成功した。得られた結果は XCLASS を用いたフィッティングにより解析され、天体後ごとの励起温度と柱密度が得られた。 CH_3NH_2 の CH_3OH に対する存在量比 " $\text{CH}_3\text{NH}_2/\text{CH}_3\text{OH}$ " は、0.13 から 0.88 の範囲であった。この結果を解釈するために化学モデルによる数値計算を行い、星形成領域の進化に沿った環境を想定して化学反応を再現し、分子の存在量を予測した。HCN への水素付加反応が CH_3NH_2 を作る反応を計算に含めた場合、温度や密度などをパラメータととるときにとる " $\text{CH}_3\text{NH}_2/\text{CH}_3\text{OH}$ " 比の範囲は 0.29 から 2.3 であった。一方で、HCN への水素付加反応を計算に含めずにラジカル反応 ($\text{CH}_3 + \text{NH}_2$ など) だけで CH_3NH_2 を作る場合、予測される " $\text{CH}_3\text{NH}_2/\text{CH}_3\text{OH}$ " 比は 0.07 以下であった。従って、星形成領域で観測された CH_3NH_2 の存在量を説明するためには HCN への水素付加反応が不可欠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](#)

P126a BISTRO Project Status (9)

Tetsuo Hasegawa¹, Ray Furuya², Doris Arzoumanian^{3,16}, 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 149 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 (17 papers including 12 1st-generation, 3 2nd-generation, and 2 review papers), and c) an emerging picture of the evolution of magnetized ISM towards star formation, with a comparison between the cases of low mass and high mass star formation.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P127a サブミリ波を用いたおうし座分子雲コア L1521 F における磁場構造の観測的研究

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 (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、星の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 140pc 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、James Clerk Maxwell Telescope (JCMT) 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 $850\mu\text{m}$ と $450\mu\text{m}$ で行った。その結果、同天体の磁場構造を、高い感度で、観測的に明らかにすることに成功した。L1521 F 内の原始星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 による観測ではコア中心部において、乱流により原始星付近で非常に複雑な温度、また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) が明らかにされた。CSO 望遠鏡では 30K から 70K 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, N₂H⁺ 分子輝線の観測からは、コアの中心のクランプとコアの外縁部で回転の向きが逆になっている (Shinnaga et al. 2004) ことが知られている。本講演では、高密度分子雲コア L1521 F 内の磁場構造と速度構造との関連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 分子雲コアの角運動量の起源および時間発展について

三杉佳明, 犬塚修一郎 (名古屋大学), Doris Arzoumanian (Porto)

星の進化はその質量により決められており、星の形成と進化を繰り返すことで、銀河は進化する。星の生まれる場所である分子雲コア (以下、コア) は分裂し多重星を作りうるということが知られており (e.g., Machida et al. 2008)、一つのコアからどれくらいの質量の星が何個できるかによって、生まれる星の質量は異なる。したがって、多重星形成過程の解明は星の進化を決定することであり、銀河進化を理解する上でも重要である。上記の分裂過程において、分裂の有無を決める重要な物理量がコアの初期角運動量であるが、コアが角運動量を獲得する機構については詳しく研究されていない。一方で近年の Herschel 宇宙望遠鏡による観測は、分子雲内のフィラメント構造が普遍的であること、コアはこのフィラメント構造に沿って分布していることを明らかにした (e.g., André et al. 2010)。したがって、フィラメントからのコア形成理論は観測されているコアの角運動量の性質を説明する必要がある。

本研究では、角運動量保存を仮定することにより、フィラメント内の 3 次元速度場とコアの角運動量の関係を調べた。その結果、観測と整合的ないくつかの亜音速乱流速度場モデルにより、コアの角運動量を説明可能であることがわかった (2018 年秋季年会)。しかし、これまでのモデルでは角運動量保存を仮定していたため、コアの角運動量の時間進化については明らかになっていなかった。したがって、本研究では 3 次元の Smoothed Particle Hydrodynamics 法を用いることにより、フィラメントから形成されるコアの角運動量の時間発展を調べた。その結果、コアの角運動量は約半分程度減少することがわかった。また、コアの回転軸はフィラメントの軸に対し垂直なものが多いことも明らかになった。本講演ではこれらの結果について議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P129a Massive Core Formation in Magnetized, Turbulent, High-speed Colliding Clouds

Nirmit Sakre, Asao Habe, Alex R. Pettitt, Takashi Okamoto (Hokkaido University)

We make magnetohydrodynamic simulations of magnetized, turbulent, colliding clouds to study the effect of high collision speed on massive core formation. We assume two combinations of colliding clouds, small ($1 \times 10^3 M_{\odot}$), and medium ($8 \times 10^3 M_{\odot}$) clouds, and small and large ($2.3 \times 10^4 M_{\odot}$) clouds. The clouds are initially spherical, uniform ($3.7 \times 10^{-22} \text{ g cm}^{-3}$) and are immersed in a uniform magnetic field of $4 \mu\text{G}$. Turbulence is generated in the clouds. After the development of turbulence, collision speed of 10 or 20 km s^{-1} is given. We identify gas clumps with gas densities greater than $5 \times 10^{-20} \text{ g cm}^{-3}$ as dense cores and investigate their mass evolution and gravitational boundness.

For the small and medium clouds, massive core formation is suppressed in the 20 km s^{-1} collision, whereas massive core formation occurs in the 10 km s^{-1} collision. In this 20 km s^{-1} collision, the earlier cloud crossing time epoch leads to suppression of massive core formation. We simulate 20 km s^{-1} collision of the small and large clouds, since cloud crossing time in this collision is longer than the small and medium clouds collision with the same speed. We found more massive core formation in this case. We will discuss the condition of massive core formation using important parameters like the magnetic field, collision speed, and column density in the colliding 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](#)

P130a 分子雲形成過程と多相星間媒質中での乱流星形成

小林将人 (東北大学), 井上剛志 (名古屋大学)

分子雲内部の速度場に擾乱を与えて密度頻度分布関数の時間発展を計算することで、自己重力的に崩壊し星形成可能な高密度構造の質量割合を調べ、星形成率を計算する (磁気) 流体シミュレーション研究が近年精力的に行われている (Federrath 2015 など)。このような乱流星形成の研究からは、分子雲の平均密度・平均マッハ数・乱流の非圧縮/圧縮モード比の 3 パラメータから、密度頻度分布および星形成率が見積もられると主張され、そのフィッティング公式が提唱されている。しかしこれらの研究では多くの場合、等温の状態方程式が使用されているほか、計算初期の分子雲は分子雲形成過程とは無関係に用意され、また速度擾乱の時間発展も運動方程式に人工的なソース項を導入し実現しているためその物理的起源が自明ではない。これらのパラメータを冷却過程も含む現実的な分子雲形成過程から明らかにすることは、分子雲中での星形成の理解のみならず、それに続くフィードバックによる分子雲破壊過程と星形成効率を理解するためにも重要である。

そこで本研究では、我々がこれまで取り組んできた冷却過程を含む 3 次元分子雲形成シミュレーションにおいて、乱流場および密度頻度分布の時間発展を調査した。この計算では 1000 万年以下の時間スケールでの分子雲形成初期段階に着目し、星間媒質の warm neutral medium から cold neutral medium が形成され乱流状態の多相星間媒質が誕生する過程を計算している。本研究の結果から、乱流星形成理論が示すフィッティング式は冷却途中にある数 100K のガスまで含めた場合に成立しており、 $<100\text{K}$ の低温ガスのみに着目すると必ずしも一般的に成立しないことが明らかになった。これは等温一相乱流と多相星間媒質乱流との衝撃波性質の違いを反映している可能性がある。本発表では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](#)

P131a 数値シミュレーションで探る高密度コアと衝撃波の相互作用

木下真一 (東大), 中村文隆 (国立天文台), Benjamin Wu (国立天文台)

超新星爆発、星風などによって発生した衝撃波は、星間雲や高密度コアを圧縮して、重力収縮を誘発しうることが長年指摘されている (e.g., Elmegreen & Lada 1977; Cameron & Truran 1977)。実際に衝撃波によって誘発された星形成の観測的証拠は多数報告されており (e.g., Preibisch et al. 2002; Snider et al. 2009)、衝撃波と高密度コアの相互作用は星形成を議論する上で非常に重要である。

本研究では AMR コード Enzo (Bryan et al. 2014) を用いて、平衡状態にあるボナー・エバート球と平面衝撃波の相互作用を三次元流体シミュレーションによって調べた。シミュレーションでは自己重力を考慮し、sink particle を導入して進化を追跡した。その結果、重力収縮が誘発されるかどうかは、衝撃波により (1) ガス球が十分に圧縮されるかどうか、(2) 雲表面での流体力学的不安定性による雲破壊のタイムスケール、の 2 つで決まることが分かった。また簡単なモデルを用いて、重力収縮が誘発される条件が衝撃波のマッハ数と雲の半径で決められる推定式を導いた。本講演では衝撃波通過後の星間雲の進化の様子と共に、星形成が誘発される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](#)

P132a 初期宇宙における星の質量関数とその進化：金属量依存性について

鄭昇明 (東北大学)、大向一行 (東北大学), Raffaella Schneider (Sapienza Universita di Roma)

宇宙初期に形成される星は近傍の星に比べて非常に重たいということがわかってきた。しかしながら、このような星質量の遷移がどのようにして進行したのかについては未だ明らかにはなっていない。星質量の変遷を知ることが、宇宙の化学組成の進化や再電離過程などを理解する上で非常に重要である。星の質量を変化させる大きな要因の一つは金属量である。金属量の高いガス雲では金属輝線やダストによる熱放射によって、ガスが内部エネルギーを効率よく失う。結果としてガスの持つ典型的な圧力は小さくなり、始原的組成の場合に比べて小質量のクランプが多数形成されことになる。

本研究では乱流的な初期条件から始めて、異なる金属量の下で星の質量分布がどのように変化するかを 3 次元流体計算を用いて調べた。その結果、金属量の上昇とともに冷却が効率的になり、0.1-1 Msun を典型的とする小質量星が多数形成することがわかった。この小質量星団は Salpeter 的な質量分布を持つ。本講演では質量関数の金属量依存性を議論するとともに、PopIII から II への遷移がどのように進行するかを議論する。

[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](#)

P133a 低金属量星形成における宇宙背景放射の影響

東北大学 小野遥香

宇宙初期に形成される星の質量は初代銀河形成や宇宙再電離などに影響を及ぼすと考えられるため、宇宙の進化を理解する上で非常に重要である。星の質量を決定する重要な過程の1つとして、ガス雲の重力不安定による分裂があげられる。宇宙初期では宇宙マイクロ波背景放射 (CMB) の温度が高く、CMB が収縮するガス雲を加熱することで、ガス雲の分裂や形成される星の性質に影響する可能性がある。Schneider & Omukai (2010) では CMB を含めたガス雲の熱進化を、one-zone 計算を用いて追った。その結果、CMB 温度が高いほど分裂する質量が大きくなることが示唆された。しかし、これらは one-zone 計算の結果であり、実際に CMB の効果調べるためには多次元の流体計算を行う必要がある。本講演では、先行研究で得られたガス雲の熱進化を用いて 3次元流体シミュレーションを行った結果を紹介し、CMB が宇宙初期に形成される星の質量に与える影響とその特徴について議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P134a ミニハロー内の収縮する始原ガスコアにおける乱流の増幅

東翔, 甲南大学

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。

しかし、収縮期におけるその駆動機構は、重力収縮によるものと考えられているが、はっきりとは理解されていない。

そこで本研究では、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った。

その結果、乱流速度は重力収縮のみで増幅され、初期の Mach 数が小さくても最終的にはガスの音速に匹敵する速度になることがわかった。

また、密度の増加に伴う乱流速度の増幅の解析的表式を導出し、数値計算結果がこの式と一致することを示した。

また、スペクトル解析から乱流増幅のメカニズムの詳細を明らかにし、乱流速度がソレノイダルモードの成長によって増幅されることを示した。

これらの結果は、一般的な初期条件において乱流が重要な役割を果たす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](#)

P135a 低金属度環境における星周円盤の分裂と低質量星の形成

松木場亮喜, 大向一行 (東北大学), E. I. Vorobyov (ウィーン大学), 田中圭 (国立天文台)

初期宇宙において、大質量星は UV 放射や金属放出を通して周囲の環境に影響を与える。したがって、星の質量分布が宇宙の進化に伴ってどのように変化するのは構造形成にとって重要である。従来の星形成の描像によると、初代星は典型的に $10\text{-}100 M_{\odot}$ と大質量で、金属量の増加とともに低質量な星が増加すると考えられている。しかし Tanaka & Omukai (2014) の円盤の自己重力不安定性解析によって、金属量 $10^{-3}\text{-}10^{-5} Z_{\odot}$ と低金属度な円盤において、ダストによる連続波冷却が働くことによって円盤が不安定となり分裂することが示されている。円盤分裂によって形成された分裂片が中心星と合体することなく生き残れば、低質量星として存在することができる。観測により、 $10^{-4} Z_{\odot}$ の星に対して $0.1 M_{\odot}$ の伴星が見つかっており、低金属度星周円盤における分裂が支持されている。低金属度環境での円盤進化を追った先行研究では、ひとつの金属量を長時間計算するか、広い金属量範囲を原始星形成後 100 年ほどの短い時間計算するかで、広い金属量範囲において長時間進化を追う計算はなされていない。そこで、本研究では 2 次元 (face-on disk) の流体計算を $0\text{-}1 Z_{\odot}$ の範囲において行った。計算結果より、 $1 Z_{\odot}$ の場合を除いて円盤分裂が見られた。特に $10^{-2} Z_{\odot}$ 以下では分裂が激しく、分裂片の数は計算終了時 (円盤形成後 15000 年) で 10 個を超える。分裂片の質量分布については、 $10^{-4} Z_{\odot}$ 以上のときは $0.1 M_{\odot}$ 以下の分裂片が多く、 $10^{-5} Z_{\odot}$ 以下では $0.1 M_{\odot}$ 以上の分裂片が増加する。特に 10^{-6} と $0 Z_{\odot}$ の場合では、主星と同程度の質量へ成長する分裂片がみられ、連星が形成される可能性がある。

[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](#)

P136a 円盤分裂による多重星系形成の金属量依存性

島 和宏, 細川 隆史 (京都大学)

ガス円盤の重力不安定による多重星系の形成について、これまでの数値計算では形成される連星の性質 (multiplicity, separation length など) が著者らによって異なっているのが現状である。Susa(2019) ではそれらの異なる計算設定で得られた結果を無次元化した物理量で比較することで、形成される分裂片の個数が時間の冪乗 ($t^{0.3}$) に比例して増加していることを示した。しかし、分裂片数に約 1 桁の分散があったりなどまだ円盤分裂過程が完全に理解されたわけではない。また、これらの結果は始原ガスの場合である。本研究では円盤分裂による分裂片数に注目して、始原ガスだけでなく低金属環境での振る舞いを調べた。我々は AMR コードである ENZO を用いて、円盤分裂過程の長時間進化 ($t > 2000 \text{ yr}$) を金属量について 4 通り ($Z = 0, 10^{-5}, 10^{-4}, 10^{-3} Z_{\odot}$)、回転強度について 3 通り ($\beta = 0.03, 0.06, 0.09$) 変化させた計 12 通りの計算を行った。その結果、金属量が $Z = 10^{-5}$ もしくは $10^{-4} Z_{\odot}$ かつ、ある一定以上の回転強度 ($\beta = 0.06, 0.09$) のときに分裂片がもっとも増加する振る舞いをするのがわかった。これらの結果を Susa(2019) の図と比較しながら分裂片数の金属量依存性について議論する。また始原ガスの場合については、Susa(2019) の SPH コードを使用した計算と我々の AMR コードを使用した計算結果を比較することで、計算法の違いによる非物理的な効果または初期条件の違いを反映した物理的な効果についても議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P137a Ly α 輻射による原始ガス雲中での水素分子形成抑制効果の質量依存性

阿左美進也 (筑波大学), 梅村雅之 (筑波大学), 安部牧人 (筑波大学)

重元素が存在しない宇宙初期のガス雲の形成進化過程では、水素原子 (H) と水素分子 (H_2) の冷却によりガス雲が収縮可能になる。H 冷却ではガス雲の温度が 8,000 K 程度まで冷却されるのに対して、 H_2 冷却ではガス雲の温度が 200K 程度まで冷却されるため、水素分子の有無によりその後の進化が大きく異なる。 H_2 冷却が支配的な場合においては、分裂したガス雲が数百 M_\odot 以下の初代星を形成すると考えられており、一方で H 冷却が支配的な場合では、 H_2 冷却の場合に比べて温度が高いため、降着率が大きくなり質量が数千 M_\odot 以上の超大質量星を形成すると考えられている。原始ガス雲の進化において、断熱圧縮により温度が数千 K 程度になると、 H_2 形成が起こると考えられているが、近傍のガス雲からの紫外線輻射により H_2 形成が抑制される可能性もある。現在まで、外部紫外線輻射による原始ガス雲中での H_2 形成抑制効果の研究が盛んに行われており、ガス雲中での H_2 形成を抑制するために必要な外部紫外線輻射強度が求められてきた。近年、新たに Johnson & Dijkstra (2017) によりガス雲中での H 冷却の際に放出される Ly α 光子が H_2 形成の材料である H^- を破壊することにより、水素分子形成を抑制する効果があることが示唆された。しかしながら、彼らの見積もりでは Ly α 輻射強度を簡単なモデルを用いて評価を行なっているため、より詳細な議論が必要である。そのため、本研究では 1 次元球対称での Ly α 輻射拡散方程式を用いて Ly α 輻射・流体・非平衡化学進化シミュレーションを実行することにより、Ly α 輻射がガス雲の進化に与える影響を調べた。また、ガス雲の初期質量を変化させることによる Ly α 輻射の効果とガス雲の初期質量依存性を評価した。

[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](#)

P138a Supermassive Star Formation in Magnetized Atomic-cooling Gas Cloud

Shingo Hirano, Masahiro N. Machida (Kyushu University), Shantanu Basu (University of Western Ontario)

The origin of super-massive black holes (about one billion solar-masses) in the early universe (redshift $z \sim 7$) remains poorly understood. Gravitational collapse of a massive primordial gas cloud is a promising initial process, but theoretical studies have difficulty growing the black hole fast enough. We focus on the magnetic effects on the star formation occurring in the atomic-cooling gas cloud. Using a set of three-dimensional magnetohydrodynamical simulations, we investigate the star formation process in the magnetized atomic-cooling gas cloud with different initial magnetic field strengths.

Our simulations show that the primordial magnetic seed field can be quickly amplified during the early accretion phase after the first protostar formation. The strong magnetic field efficiently extracts angular momentum from accreting gas and increases the accretion rate, which results in the high fragmentation rate in the gravitationally unstable region. On the other hands, the coalescent rate of fragments is also enhanced by the angular momentum transfer due to the magnetic effects. Almost all the fragments coalescent to the primary star so the mass growth rate of the massive star increases due to the magnetic effects. We conclude that the magnetic effects support the direct collapse scenario of the massive star formation.

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

P139a Supermassive star formation in a massive cloud with H₂ molecules

Yuya Sakurai (Kavli IPMU), Zoltán Haiman (Columbia University), Kohei Inayoshi (KIAA)

Recent three-dimensional cosmological simulations of protogalaxy formation have suggested that supermassive stars (SMSs) can form in warm gas clouds in which H₂-cooling is overwhelmed by dynamical heating (Wise et al. 2019), but they stopped short of following the growth of a central protostar. Here we examine whether accretion on the protostellar core in this cloud is sufficiently rapid, in the face of the radiation feedback, to produce an SMS. We perform one-dimensional radiation-hydrodynamical simulations of the hot collapsing cloud with non-equilibrium chemical reactions directly adopting the cloud properties from Wise et al. (2019) as an initial condition. We find that the stellar Lyman-Werner (LW) radiation dissociates H₂ in the inner regions of the gas flow, increasing gas temperature and thermal pressure, and temporarily stopping the accretion. However, this negative feedback ceases when the self-gravity and inward ram pressure force on larger scales push the gas inward. The central protostar is unable to create an HII region due to the high density, and grows to a mass of $\gtrsim 10^5 M_{\odot}$. Our results suggests the successful formation of SMSs, and resulting massive ($\sim 10^5 M_{\odot}$) remnant black holes, in dynamically heated haloes, but need to be confirmed in two- or three-dimensional 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](#)

P140a モーメント法を用いた輻射流体シミュレーションによる星団形成の解明

福島肇, 矢島秀伸 (筑波大学)

巨大分子雲 (GMC) について、星形成の継続時間は超新星爆発が起こる時間スケールより短いため、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ていることが観測から示唆されている (e.g., Kruijssen et al. 2019, Chevance et al. 2020)。また、輻射流体シミュレーションを用いることでも、GMC における星形成過程について調べられており、銀河系内の星形成雲では電離フィードバックにより、短時間で雲が破壊され、星形成効率が 0.1 以下に抑制されることが示されている (e.g., Kim et al. 2018)。一方、よりコンパクトで脱出速度が 10km/s を上回る雲では、電離フィードバックが効きづらくなるため、星形成効率が上昇することが予想されている (Dale et al. 2013)。しかし、このような星形成雲について、形成される星団の性質や星形成効率がどのように変化するかは調べられてこなかった。

本研究では、様々な面密度や金属量の星形成雲について輻射流体シミュレーションを行い、形成される星団の性質について調べた。手法としては、適合格子細分化法 (AMR) 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、新たに開発したモーメント法による輻射輸送を実装したコードを用いる。初期条件は、乱流速度場も考慮した密度一様球を用いる。結果としては、面密度が同じ場合でも雲の脱出速度が 10km/s を超える場合、星形成効率が大きく上昇することを示した。この場合には、低金属量環境における星形成効率の減少の割合も小さくなる。また、初期の乱流強度が大きい場合の方がより星形成効率は減少することも示した。これらの結果から、星形成雲と形成される星団の性質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](#)

P141a 超音速ガス流による初代星形成過程の系統的調査

沈 有程 (東京大学), 平野 信吾 (九州大学), 梅田 秀之 (東京大学)

宇宙初期におけるダークマター・バリオン間の速度差 (Streaming Velocity; SV) が構造形成に及ぼす影響が、近年再認識された (Tsaliakhovich & Hirata 2010). SV は初代星形成において、ダークマターハロー内でのバリオンの重力収縮を抑制するため、星形成を遅らせる効果がある (Greif et al. 2011; Stacy et al. 2012). この間にハローには大質量のバリオンが蓄えられ、最終的に重力不安定となった大質量ガス雲はフィラメント状に収縮した (Hirano et al. 2018; H18). 2019 年春季年会の講演では、H18 で形成された星形成ガス雲について、初代星形成の長時間シミュレーションを行った結果、12 個の初代星 (Pop III.1 星) が形成されることを示した。

SV が初代星形成に及ぼす影響について、ハロースケールの構造の変化は統計的に調べられている (Schauer et al. 2020) が、星形成ガス雲のスケールの構造を調べた例は H18 の一例のみであった。そこで、本研究では、H18 と同様に小さいスケールでの構造形成について、系統的な調査を行った。SV の大きさを変化させた 42 個のモデルについて、長時間の初代星形成をシミュレーションし、星形成ガス雲の構造や、その内部で形成される初代星の質量分布を調べた。その結果、ガス雲の温度進化における、 H_2 分子による冷却の温度下降幅が大きくなるほど、形成されるガス雲が球対称 \rightarrow フィラメント状 \rightarrow より複雑な構造へと変化すること分かった。このガス雲構造の変化によって、ガス雲は複数に分裂しやすくなり、近接連星の形成可能性が高まると考えられる。また、ガス雲が分裂せずに単独の大質量星を形成するモデルも見られた。

講演では、各モデルから得られた初代星の質量分布を示し、観測されているブラックホール連星との関連についても議論を行う。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P142a 星同士の詳細な合体条件の探求

桐原 崇亘, 須佐 元 (甲南大学), 谷川 衝 (東京大学)

星同士の合体は、初代星形成環境下や中間質量ブラックホール形成シナリオの中で、重要なプロセスであると考えられている。これまでの初代星形成の数値シミュレーションによると、星周円盤で多数の分裂がおりそれらが頻繁に合体することが示唆されている (e.g., Greif et al. 2011; Susa 2019)。しかしながら、星同士の相互作用時の合体条件は系統的に調べられておらず、これまで様々な合体条件が仮定されてきた。本研究では、恒星モデルの密度分布としてエムデン球を仮定し、質量と半径が同一の星同士の相互作用が起きた場合について合体条件を調査した。本講演では、軌道パラメータ空間を系統的に変更した、星同士の相互作用の SPH シミュレーションを行うことで、合体条件を詳細に調査した結果を報告する。結果は、合体の条件として相互作用する 2 体の系が束縛されているかどうか重要な指標であることを示唆している。系の力学的エネルギーが正の場合は、ほぼ正面衝突でなければほとんど合体しないことが明らかとなった。また、系の力学的エネルギーが負の場合は、近点距離が 2 つの星半径の和よりもがわずかに大きい場合においても合体が起こることが明らかとなった。次元解析による系のスケールリング則を用いることで、衝突直後の合体条件を星質量・星半径・近点距離・近点速度の 4 つのパラメータのみで表現することに成功した。

[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](#)

P201a 原始惑星系円盤における HCO⁺ 輝線の高空間分解能観測

相川祐理(東大天文), Gianni Cataldi (国立天文台/東大天文), 大和義英(東大天文), MAPS team

原始惑星系円盤において電離率は、ガスと磁場のカップリングおよびイオン-分子反応による分子組成進化を左右する重要な物理パラメータである。電離源としては中心星からの X 線、宇宙線などの高エネルギー粒子、短寿命放射性核種 (SLR) の壊変が挙げられるが、高エネルギー粒子は星風や円盤の磁場に妨げられる可能性があり、SLR の存在量は星形成領域によって異なると考えられる。よって円盤電離度を推定するため、イオン分子の観測が行われてきた。しかし、高空間分解能観測でイオン分子の分布を調べた例は非常に少ない。

我々は、ALMA Large Program MAPS (Molecules with ALMA in Planet-forming Scales) で、5つの原始惑星系円盤 (IM Lup, GM Aur, AS 209, HD 163296, MWC 480) において、HCO⁺ および H¹³CO⁺ の $J = 1 - 0$ 輝線を 0.3 秒角で観測した。HCO⁺ 輝線はすべての円盤で検出され、H¹³CO⁺ 輝線は円盤全体を積分すると IM Lup, GM Aur, HD 163296 で検出された。円盤を半径方向に区切り、ケプラー回転を補正して輝線スペクトルを求め、輻射輸送計算でフィットすることで、HCO⁺ 柱密度の半径分布を得た。HCO⁺ は、50~100 au 以遠において、MAPS で得られた CO の柱密度分布とよい相関を示した。さらに HCO⁺ 柱密度、CO 柱密度および CO depletion factor から分子層における HCO⁺ の存在度を推定したところ、どの円盤でも 50~100 au 以遠では $n(\text{HCO}^+)/n(\text{H}_2) \sim 10^{-10}$ となった。より内側の半径では、HCO⁺ 存在度は低下しており、CO と HCO⁺ が中心面付近の高密度 (低電離度) 層に存在することが示唆される。本研究で得られた HCO⁺ 柱密度および大和らにより得られた N₂H⁺ 柱密度 (R2 年度秋季年会) を Aikawa et al. (2018) の円盤モデルと比較すると、SLR (電離率 $1 \times 10^{-18} \text{ s}^{-1}$) および X-ray による電離を考慮したモデルと整合的である。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P202a Resolving DCN/HCN towards five protoplanetary disks using the MAPS data

Gianni Cataldi (NAOJ / University of Tokyo), Yoshihide Yamato (University of Tokyo), Yuri Aikawa (University of Tokyo) and the MAPS team.

The chemistry of protoplanetary disks strongly influences the chemical composition of newly forming planets. ALMA makes it possible to study the chemistry of disks in unprecedented detail. In this work, we will focus on deuterium chemistry. The thermal history and formation location of material in the Solar System is often inferred by measuring its D/H ratio. This requires knowledge about the deuteration processes occurring during the planet formation era. We aim to study these processes by radially resolving the DCN/HCN ratio towards five disks observed by the ALMA large program MAPS. We investigate the following questions:

1. How does the DCN/HCN ratio vary with radius in a protoplanetary disk?
2. What is the dominant deuteration process of HCN?

We find that DCN/HCN can vary considerably for different parts of the disks, ranging from 10^{-3} to 10^{-1} . In particular, the inner disk regions generally show significantly lower HCN deuteration compared to the outer disk. This suggests a limited contribution of high temperature deuteration to DCN formation. The derived DCN/HCN ratios are significantly larger than observed for comet Hale-Bopp, suggesting that comets are not formed directly from the gas we observe.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P203a ALMA 超解像画像で探る T Tau 周囲の原始惑星系円盤の詳細構造

山口正行 (東京大学, 国立天文台), 川邊良平, 塚越崇, 野村英子 (国立天文台), 武藤恭之 (工学院大学)

おうし座星形成領域に位置する T Tau (距離 144 pc) は、三つの前主系列星 (T Tau N, Sa & Sb) で構成される三重連星である。過去の観測から、T Tau Sa-Sb 系は軌道長半径 12.5 au の二重星であり、T Tau S 系として知られる。T Tau N-S 系は、軌道長半径 430 au であり、2015 年時点では ~ 100 au まで近接している (Köhler et al. 2016)。一方で、これまでの ALMA 望遠鏡を用いた観測では、空間分解能が不足し、T Tau 周囲の円盤における詳細構造は明らかにされてこなかった。T Tau N は半径 20 au 程度の小型円盤であること、T Tau S 系は、T Tau N よりも矮小な円盤であることに留まっていた (Manara et al. 2019; Long et al. 2019)。

そこで、我々は、T Tau 周囲の円盤における詳細構造を解明するために、スパースモデリング (SpM) を ALMA 観測データに応用した超解像度イメージングを実施した。我々は、ALMA Band 6 (観測波長 1.3 mm, 空間分解能 $\sim 0''.1$) で観測された T Tau のダスト連続波データを用いて、SpM による超解像イメージングの解析を行い、その詳細構造を調べた。その結果、T Tau S 系 (Sa & Sb) は、2つの円盤に空間分解され、それぞれが半径 6 au, 7 au 以下の矮小な円盤であることが明らかになった。T Tau N は、視線方向に対して、face-on (傾斜角 24.7°) の小型円盤 (半径 23 au) でありながらも、半径 12 au に円環のギャップ構造が発見された。このような比較的接近した三重連星の一つに、軌道上半径 15 au 以内で円環のギャップ構造が見つかった例は、初めてである。本講演では、T Tau N に付随するギャップ構造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](#)

P204a へびつかい座円盤天体の超解像イメージング: I 円盤傾斜角と YSO 分類

川邊良平 (国立天文台), 山口正行 (東京大学, 国立天文台), 塚越崇 (国立天文台), 武藤恭之 (工学院大学), 野村英子 (国立天文台)

スパースモデリング (SpM) を用いた超解像イメージングがアルマ原始惑星系円盤観測にも有効であることが実証され (Yamaguchi et al. 2020)、それらのイメージをベースに円盤構造の研究を行うことも試みられて来た (Aizawa et al. 2020)。今回、へびつかい座アルマ円盤サーベイ (Cieza et al. 2019) の観測データに対して、SpM 超解像イメージングを実行した。天体として、従来の "CLEAN" 手法では十分分解できていないコンパクトな円盤 ($r < 40$ au) で比較的波長 1.3 mm で強い (15 mJy 以上) 31 の天体を選び、スパースモデリングにより空間分解能 $0.1''$ 以下 (約 10 au 相当) のイメージを取得した。これらのデータに加え、すでに CLEAN で分解できた 17 天体も含めて計 48 天体のサンプルに対して円盤傾斜角 (inclination) を導出した。48 天体の内訳は、Class-I 9 天体、フラットスペクトラム (FS) 12 天体、Class-II 27 天体である。その結果、Class-I 及び FS は、edge-on like 円盤 (すなわち、 $i > 60$ deg.) の割合がランダム分布に対して 2-3 倍以上超過していること、Class-II は逆に数倍欠乏していることを見出した。この結果は、これまでの近赤外線から中間赤外線のスペクトル指数に基づく YSO Class 分類では、大きな軌道傾斜角の効果で見かけ上進化段階を誤って (若く) 同定してしまう可能性を示唆している。数個の YSO が集合する蛇使い座の L1709 aggregate (Padgett et al. 2008) では、Class-I 的なものから Class-II までが含まれており、YSO 形成時期が大きく分散していることが大きな疑問であった。しかし、この疑問は軌道傾斜角の効果による進化段階の誤同定である程度解消されるであろう。一方、SpM イメージでは半数以上の天体 (Class-I, FS 含む) に対して、 $r=10-40$ au の領域でギャップや中心の穴構造などの substructure を検出した。

[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](#)

P205a スパースモデリングを用いた多波長電波観測における原始惑星系円盤の高解像度撮像

逢澤正嵩 (李政道研究所), 百瀬宗武 (茨城大学)

ALMA 望遠鏡をはじめとする干渉計を用いた画像構成は一般に劣問題系、つまり観測されたデータの自由度に対して解空間の自由度が高いという問題が避けられない。貪欲法をベースとする CLEAN 法は、その手軽さゆえに広く干渉計データ解析で用いられているものの、イメージ取得の最終プロセスでいわゆるビームサイズで畳み込むことが通例であるため、画像の解像度がデータの基線長でほぼ決まってしまうことが知られている。そこで MEM 法などの、CLEAN によらない様々な干渉計画像構成手法が場合によって用いられている。中でもスパースモデリングと呼ばれる、L1 ノルムを制約項として加え最適化画像を取得する手法が近年提案され、実際に Event Horizon Telescope などの超長基線観測などにも適用されている。

先行研究では画像の輝度が波長によらないという仮定のもとで、スパースモデリングが用いられていた。そこで本研究では、波長方向の依存性いわゆる spectral index と呼ばれる量も同時に推定するための新たな手法を開発した。具体的には、画像に対する制約項に加え、spectral index に対する制約項を導入し、同時に最適化する具体的な方法を提案した。spectral index は原始惑星系円盤のダスト分布などの物理的諸性質と直接結びつくため、ALMA 望遠鏡による観測と本手法を組み合わせることで、その分布の高解像度化、高精度化が期待できる。講演では、シミュレートされた干渉計データに提案手法を適用した例などを紹介する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P206a ALMA 多波長画像解析で探る TW Hya の原始惑星系円盤のスペクトル指数分布

塚越崇, 野村英子, 川邊良平, 高橋実道 (国立天文台), 武藤恭之 (工学院大), 金川和弘, 田村元秀 (東大), 奥住聡, 井田茂 (東工大), Catherine Walsh (Univ. of Leeds), Tom Millar (Queen's Univ. Belfast), 橋本淳 (ABC), 鶴山太智 (Caltech)

TWHya を取り巻く原始惑星系円盤のダストサイズ分布を明らかにするため、ALMA を用いた高分解能 (~ 2.5 au) 多周波画像解析を行ったので報告する。新たに取得した Band4 および 6 の長基線観測データの他、Band7 を含めた複数のアーカイブデータを使用し、3 バンドの高分解能データを用いて円盤のスペクトル指数分布を詳細かつ高感度に導出した。UV は十分にサンプリングされており、先行研究に比べおよそ三倍の感度を達成した。

得られた円盤のスペクトル指数分布は円盤外側から内側に向かって 3 から 1.5 に減少していた。これは先行研究を支持する結果である。一方、25 au にあるギャップ構造に付随するスペクトル指数の増加も確認されたが、先行研究より低い値が得られていた (~ 2.5)。これによりダスト吸収係数の β の分布は、ギャップ周辺において先行研究で予想されたものより平坦であった。この結果から、円盤 30 au 以遠においては内側に向かうにつれて徐々にダストが大きくなっており、また 25 au ギャップの周辺においては過去の推定よりダストサイズが大きく変化していないことが示唆される。半径 15 au の円盤内側領域においては、スペクトル指数の値が 2 を下回っており、これは光学的厚みが無視できない領域におけるミリ波散乱の影響で解釈することができる。

さらに今回、高い感度の輝度分布が得られたことで、52 au に見出されている局所的ミリ波源に付随する新しい構造を検出した。この構造は方位角方向に伸びており、 ~ 0.1 au deg⁻¹ のピッチアングルを持つ。成因については不明だが、ケプラーシアーにより引き伸ばされたミリ波源を起因とするダスト流の可能性が考えられる。

[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](#)

P207a ALMA 望遠鏡を用いた SY Cha に付随する遷移円盤の観測的研究

折原龍太, 百瀬宗武 (茨城大学), 武藤恭之 (工学院大学), 橋本淳 (ABC), Haoyu Baobab Liu (ASIAA), 塚越崇, 工藤智幸, 高橋実道 (国立天文台), Yi Yang (東京大学/国立天文台), 長谷川靖紘 (JPL), Ruobing Dong (ビクトリア大学), 小西美穂子 (大分大学), 秋山永治 (新潟工科大学), 石塚将斗 (東京大学)

遷移円盤とは中心領域のダスト放射が弱い空隙状の構造を持つ円盤であり, 進化の進んだ原始惑星系円盤と考えられているが, この円盤の形成メカニズムは分かっていない。遷移円盤はスペクトルエネルギー分布 (SED) において, 赤外超過が少ない天体として同定される。しかし, 遷移円盤とその前段階と考えられている内部円盤をもつ前遷移円盤の分類は SED のみでは困難であることが明らかになってきた。そこで, 円盤進化や惑星形成を研究するには高分解能観測が必要である。

今回, SED の赤外超過から遷移円盤と予想される天体を選出し, ALMA 望遠鏡を用いた空隙内の内部円盤の探索を試みた。本講演では, 選出天体の一つである SY Cha (距離 183pc, 質量 $0.8M_{\odot}$) の 225GHz ダスト連続波と CO 分子輝線の高分解能観測 (0.14 秒角) の結果を報告する。ダスト連続波からは, 半径およそ 100au のリング構造に加え, SED から判別できなかった中心点源が検出された。低解像度での撮像は過去に ALMA でなされていたが, 中心部の空隙と中心点源がはっきりとイメージ上で確認されたのは初めてである。また, $^{12}\text{CO}(2-1)$ 輝線の速度構造の解析から, 円盤の外側とは回転軸が異なる内部円盤の存在 (warp 構造) を示唆する結果が得られた。講演では, 以上の結果を報告するとともに, 円盤構造の成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](#)

P208a 超低光度前主系列星 J162656.43-243301.5 周囲の transition disk の ALMA 観測 II

杉谷朱泉, 高桑繁久 (鹿児島大学), 川邊良平, 島尻芳人, 塚越崇, 中村文隆 (国立天文台), 田村元秀 (東京大学), 大朝由美子 (埼玉大学), 坪井陽子 (中央大学), 富田賢吾 (東北大学), 原千穂美 (NEC)

ALMA やすばるを用いたこれまでの観測により, 太陽質量程度の星周囲の円盤の構造や惑星形成については多くの知見が得られている。一方, 褐色矮星などの超低質量星周囲の円盤, 惑星形成については, 太陽質量程度の星周囲の円盤に比べてまだ観測的な理解が進んでいない。この現状を打破すべく, 我々は, Oph-C ($d = 137$ pc) の超低光度 ($L_{\text{bol}} \sim 0.003 L_{\odot}$) の ALMA Band 6 観測, データ解析を行っている。前回の講演では, 1.3 mm ダスト連続波でみて非常にコンパクトな ($r \sim 25$ au) ダスト円盤の検出, さらに CO (2-1) 及びその同位体の観測による円盤のケプラー回転運動の検出や中心星の質量の見積もり ($\sim 0.1 M_{\odot}$) について報告した。今回の講演では, 輻射輸送コード RADMC3d による J162656.43 の SED のモデルフィッティングについて報告する。J162656.43 の SED は H, K バンドでは非常に暗いが, MIPS24 μm から Herschel70 μm にかけてフラックスが上昇している。このような SED は, 60 度程度に傾いてダストが静水圧平衡から数倍程度沈澱している, 超低質量星 ($T_{\text{eff}} = 2000$ K) 周囲の円盤で説明可能である。さらに分子輝線によるモデルも現在作成中であり, これにより円盤でのガスーダスト比や, CO 分子の存在量, 輝線の励起状態についても議論していきたい。

[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](#)

P209a 銀河系外縁部における低金属量星生成領域 Sh 2-127 の近赤外深撮像

安井千香子, 齋藤正雄 (国立天文台), 小林尚人 (東京大学), 泉奈都子 (茨城大学, ASIAA), Warren Skidmore (TMT International Observatory)

われわれは、銀河半径 (R_g) がおよそ 15 kpc 以遠の銀河系外縁部における、星生成の探査とその観測を進めている。銀河系外縁部では太陽近傍と比較して「金属量」が非常に小さい (約 1/10) ことが知られ、星生成過程において重要な加熱・冷却過程や、惑星形成過程において重要な惑星の核となるダスト量の変化が星・惑星形成に与える影響を調べることを目的とする。これまでにおよそ 10 の星生成領域について、すばる望遠鏡の多天体撮像分光器 MOIRCS を用いた深撮像を行った結果、初期質量関数が太陽金属量下と比較して有意に変化しない一方で、原始惑星系円盤の寿命は著しく短くなるという示唆を得た。

本講演では、 $R_g \simeq 13.5$ kpc に存在する星形成領域 Sh 2-127 ($[O/H] = -0.7$ dex) についての結果を紹介する。質量検出限界 $\sim 0.2 M_\odot$ での観測により南北に 2 つの星生成クラスターを確認し、それぞれ ~ 300 – 400 個の cluster member 候補を同定した。これは、これまでの銀河系外縁部での星生成領域と比較して約 1 桁大きい規模で、太陽近傍の星生成領域の中でも最大規模に相当する。領域中に同定した cluster member についての光度関数をモデルと比較した結果、年齢が約 0.1–0.5 Myr と非常に若いことが分かったが、この領域にコンパクト H II 領域の存在が確認されていることと consistent な結果である。惑星形成の 1 つの指標である原始惑星系円盤を持つ星の割合 (disk fraction) は ~ 30 – 40 % と求められ、太陽近傍の同程度の年齢の領域での値 (~ 60 %) と比較して低い値であるが、これまでの銀河系外縁部の領域での値 (< 30 %) と比較するとやや高い値だった。これは、低金属量環境下では円盤が非常に早いタイムスケールで消失するものの、初期には多くの星に円盤が存在することを示唆する。

[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](#)

P210a 若い中質量星 HD 200775 の原始惑星系円盤に見られた光蒸発の兆候

加藤晴貴 (京都産業大学), 安井千香子 (国立天文台), 池田優二 (京都産業大学), 小林尚人 (東京大学), 他 WINERED チーム

光蒸発現象 (photoevaporation) は原始惑星系円盤の散逸において最も重要なメカニズムの 1 つと考えられているが、その観測例は限られており、例えば光蒸発を引き起こす光子のエネルギー帯域すら明らかになっていない。理論的には EUV、X 線、FUV によって生じる光蒸発モデルが提案されているが、エネルギー帯域を特定する観測結果はまだ得られていない。観測自体も 20 天体ほどの小質量星に対する検出が報告されているだけであり、中質量星での光蒸発の痕跡は未だ検出されておらず、存在そのものにも議論の余地がある。

我々は、原始惑星系円盤を持つ YSO の中で最大級の星質量 ($\sim 10 M_\odot$) を持つ非常に若い (~ 0.1 Myr) 中質量星 HD 200775 について、近赤外線高分散分光器 WINERED を用いた観測 (波長 9,100–13,500 Å; 波長分解能 $R = 28,000$, 70,000) を行った。同波長帯の輝線プロファイルを詳細に調べたところ、中心速度が $v_c \sim -10$ km s $^{-1}$ 、速度幅が $\Delta v \sim \text{a few} \times 10$ km s $^{-1}$ の低速度場構造を起源とする禁制線 [NI]、[FeII] が検出された。この速度場は Alexander (2008) による光蒸発モデルが予想する速度場の特徴と矛盾がない。本講演では、これまで主に小質量星についての EUV や X 線を起源とするモデルが先行している現状に対して、今回新たに示唆された異なるタイプの光蒸発の存在の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](#)

P211a 磁気円盤風および光蒸発による中質量星周りの原始惑星系円盤進化

福原修平, 中野龍之介, 鈴木建 (東京大学)

原始惑星系円盤は中心に若い恒星 (前主系列星) を持つガスとダストで形成される星周円盤であり、ガスの散逸やダストの凝集により惑星系が形成される。そのため、原始惑星系円盤の進化に対する理解は、多様な惑星系の発見および解明に寄与すると期待される。このような円盤進化の研究は、太陽系形成過程の解明を主軸に、恒星が太陽質量 (以下、 M_{\odot}) 程度の質量を持つ「低質量星」周りではよく行われている。一方で、 $1.5\sim 8M_{\odot}$ 程度の質量を持つ「中質量星」周りでは、低質量星と同様に惑星系が形成されるか明確にわかっておらず、さらなる研究の余地があると考えられる。近年、中質量星周りの円盤について、恒星の各進化段階におけるガスの振る舞いの解明 (Yasui et al. 2019)、円盤進化初期のガスが惑星系形成の最終段階での円盤 (デブリ円盤) に残存する可能性 (Nakatani et al. 2020 in prep.) 等の研究結果により、中質量星周りの円盤進化が明確になりつつある。

本研究では、1, 1.7, 3.0, $7.0M_{\odot}$ の4つの中心星質量に対するガス円盤の散逸について、粘性降着・磁気円盤風 (Suzuki et al. 2016) および光蒸発 (Owen et al. 2012; Komaki et al. 2020 in prep.) を考慮した数値シミュレーションを行い、その時間進化について検証を行った。

その結果、いずれの場合も数百万年で円盤が消失し、観測により推定される円盤寿命 (Haisch et al. 2001; Meyer et al. 2007; Hernández et al. 2007; Mamajek 2009; Ribas et al. 2014, 2015) と整合的であることが確認された。また、これらの4つの中心星質量のうち、 $3.0M_{\odot}$ で円盤寿命が最長となることが確認された。この円盤寿命の傾向は、上記の Nakatani et al. (2020 in prep.) で主張されているガスリッチ・デブリ円盤の起源を支持しうるもの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](#)

P212a 原始惑星系円盤光蒸発の輻射流体計算：円盤の熱化学進化

駒木彩乃 (東京大学), 仲谷峻平 (理化学研究所), 吉田直紀 (東京大学)

太陽系近傍星形成領域の観測から原始惑星系円盤の寿命は約 3-6 百万年で消失すると見積もられている。円盤消失機構の一つとして光蒸発が挙げられている。光蒸発とは中心星または近傍にある星から放出された Extreme Ultraviolet (EUV; $13.6 \text{ eV} < h\nu < 100 \text{ eV}$), Far Ultraviolet (FUV; $6 \text{ eV} < h\nu < 13.6 \text{ eV}$), X-ray ($0.1 \text{ keV} < h\nu < 10 \text{ keV}$) によって円盤物質が加熱され、円盤から流れ出ていく現象である。 $2 M_{\odot}$ 以上の大質量星の円盤は低質量星に比べて円盤寿命が短いことが観測から示唆されており (Ribas et al. 2015)、円盤寿命の中心星質量依存性が明らかになってきている。惑星系は円盤物質を材料として形成されるため、円盤寿命は惑星形成の直接的な時間制限となる。特に巨大ガス惑星の形成にはガスに富んだ環境が必要であり、円盤のガス進化を考える必要がある。惑星軌道は惑星と円盤との力学的相互作用に影響を受けるので、円盤進化は惑星系構造の決定に重要である。

二次元輻射流体計算を $0.5 - 7 M_{\odot}$ の中心星を持つ系に対して遂行し、光蒸発率が FUV 光度の違いによって中心星質量依存性を持つことを発表した。本研究ではこれまでの計算で用いた H, H^+ , H_2 , H_2^+ , CO, O, C^+ , e^- に H_2 の励起状態 H_2^* を加えた 9 種の化学種を考慮し、Lyman-Werner 光子 ($11.2 \text{ eV} < h\nu < 13.6 \text{ eV}$) による H_2 pumping を含めた光蒸発シミュレーションを遂行した。中心星輻射の輸送、非平衡化学反応、流体 (連続の式、オイラー方程式、エネルギー方程式) を同時に解いた。EUV による水素原子の光電離に伴う加熱、FUV による光電加熱、X 線による各種元素の電離に伴う加熱を考慮して熱化学分布を自己整合的に計算した。その結果、 H_2^* は円盤表面に分布し、 H_2 pumping によって円盤表面が加熱されることを確認した。講演では、 H_2 pumping による光蒸発率への寄与について議論する。

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

P213a 輻射流体シミュレーションを用いたガスリッチデブリ円盤の始原ガス説の検証

仲谷峻平 (理化学研究所), 小林浩 (名古屋大学), Rolf Kuiper (Tübingen University), 野村英子 (国立天文台), 相川祐理 (東京大学)

原始惑星形円盤は惑星を作りつつ、中心星降着や外部輻射および磁気駆動風による質量損失のために、数百万年程度で消失すると考えられている。円盤消失後は形成した惑星や微惑星帯が残るとされる。これらの系は(微)惑星の衝突破壊等により生じた固体微粒子から成るダスト円盤(デブリ円盤)として観測される。古典的にデブリ円盤はガスを持たない固体円盤と考えられてきたが、近年の高感度観測によって数千万歳程度の星周りにガスに富むデブリ円盤(ガスリッチデブリ円盤)が20天体ほど発見された。ガスの起源は未だ不明で、原始惑星系円盤の生き残りであるとする始原ガス説と、(微)惑星の衝突などにより二次的に生成されたとする二次ガス説が提唱されている。現在これらの説の是非について世界で活発に議論が行われている。

二次ガス説についてはこれまで盛んに研究が行われてきた一方で、始原ガス説については詳細な検証が全くなされていない。本研究では多次元輻射流体シミュレーションを用いて、小サイズダストが枯渇した高齢円盤の光蒸発率を明らかにし、始原ガス説が円盤散逸モデルと両立するかの検証を行った。蒸発率は星の極超紫外線(Extreme ultraviolet; EUV; $13.6\text{ eV} \leq h\nu \leq 100\text{ eV}$)放射率に依存し、他のパラメーター(最大ダストサイズ、円盤質量、星質量など)には強く依存しないことを明らかにした。その結果得られた円盤散逸時間はおよそ50 Myr と、ガスリッチデブリ円盤の年齢と整合的である。また、散逸時間が中質量星円盤より低質量星円盤の方が短いことが示唆される結果を得た。これはガスリッチデブリ円盤が中質量星周りでより多く見つかる統計的性質と整合する。本研究結果は、ダストの枯渇を考慮することで円盤散逸モデルと始原ガス説が両立し得ることを初めて示した。

[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](#)

P214a 原始惑星系円盤のダストリング構造中での永年重力不安定性

高橋実道 (国立天文台), 小久保英一郎 (国立天文台)

近年、ALMA による原始惑星系円盤のダスト連続波の高分解能観測によって、多くの円盤にダストリング構造が形成されていることが発見されている。ダストリング構造がダストの濃集によって形成されている場合、リング構造中でのダストの成長が期待され、微惑星形成へとつながる可能性がある。前回の2020年秋季年会では、ダストリング構造の重力不安定性による微惑星形成について講演を行った。リングの重力不安定性の解析では、ダストがリングに濃集する、あるいはリング中で成長することでダストとガスの相互作用を無視する近似を行っていた。一方で、観測されているリング構造では、ガスの相互作用を無視できるほどのダストの濃集、成長は起こっていないと考えられる。そのようなリング構造に対しては、ダストとガスの相互作用を考慮した解析が必要となる。ダストとガスの摩擦相互作用を考慮すると、重力的に安定となるようなリング構造であっても、ダストリング構造の永年重力不安定性が不安定化することが期待される。

本発表では、ダストリング構造の永年重力不安定性についての線形解析を行う。リングの重力不安定性の解析では、リングの線密度と幅を与える二つのパラメータによって不安定性が特徴付けられたが、永年重力不安定性はガス乱流によるダストの拡散が安定化に強く働くため、ダストの拡散係数や Stokes 数などのパラメータも重要になる。本研究では、これらのパラメータの分散関係に対する依存性について調べた。また、本発表ではダストリング構造の永年重力不安定性による微惑星形成についても議論を行う。

[スケジュール\(セッション毎\)に戻る](#)

[スケジュール\(全体\)に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P215a ダスト成長が駆動する原始惑星系円盤の新しい不安定性

富永遼佑 (名古屋大学), 犬塚修一郎 (名古屋大学), 小林浩 (名古屋大学)

惑星は原始惑星系円盤に含まれる微量のダストが素になり形成される。特にダストからキロメートルサイズの微惑星までの成長過程は惑星形成過程の第一歩であるが、その微惑星形成過程は未だ解明されていない。微惑星形成過程を説明する候補として、ストリーミング不安定性や永年重力不安定性などのダスト-ガス不安定性によるトップダウン的な形成シナリオが提唱されてきた (Youdin & Goodman 2005; Ward 2000)。これらは特に太陽系外縁天体やデブリ円盤など外側の微惑星・小惑星の形成過程になり得る可能性がある (Nesvorný et al. 2019; Takahashi & Inutsuka 2014; Tominaga et al. 2020)。これらの不安定性が起こるためには、ミリメートルサイズ程度のダストがガスに対して数%程度以上の質量面密度を持ってなければいけない。ところが衝突合体を経てダストが成長していくと、そういった大きいダストは速く中心星に向かい落下してしまい、ダスト-ガス面密度比が 10^{-3} 程度まで減少することがわかっている (e.g., Brauer et al. 2008)。そこで本研究では、枯渇していく大きいダストを再集積する機構として、ダストの合体成長自体が駆動する円盤の新しい不安定性を提唱する。ダスト成長を考慮した線形解析を行った結果、本研究で提唱する不安定性は短波長ほど不安定であり、ダストの成長時間よりも 10 倍程度短い時間で成長する。ガス乱流による拡散がある場合であってもこの不安定性は成長し、ダスト-ガス比が 10^{-3} 程度であっても円盤公転周期の数十倍程度でダストを再集積することがわかった。従って本研究で提唱する不安定性は、初期の合体成長と従来のダスト-ガス不安定性による微惑星形成を繋ぐ重要な現象である。

[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](#)

P216a ダストアグリゲイト間衝突による成長と破壊の質量比依存性

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、衝突速度によっては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。我々は特に、先行研究では詳細には調査されていなかった 10 よりも低い質量比に関する詳細を調べた。サブミクロンサイズの氷製のダストモノマーに関して、ダストアグリゲイトの衝突破壊に対する衝突速度の下限は質量比に大きく依存する事が分かった。これは、質量比が 1 より高いが約 20 より低い場合には標的から衝突体への質量輸送が起こることによって両者の単純な衝突破壊にはならないためである。また、特に低質量比では比較的大きな残骸が生成されて小さな破片はあまり生成されない事も分かった。本発表では、衝突速度の臨界値や破片の質量分布等に関する詳細を発表する。

[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](#)

P217a 原始惑星重力下での原始惑星系円盤ガスの流れと小天体の衝突率

岡村達弥, 小林浩 (名古屋大学)

近年の惑星形成理論では km サイズの微惑星に加えて、微惑星よりも小さい cm-m サイズ粒子 (ペブル) の降着による惑星形成が盛んに議論されている。これら固体小天体は原始惑星系円盤、惑星大気中をガス抵抗を受けながら運動しており、ガス抵抗により原始惑星と固体小天体の衝突断面積が決まる。そのため惑星形成を議論するにあたり原始惑星系円盤ガス・原始惑星大気を考慮することが必要不可欠である。

本研究では、まず原始惑星重力により摂動を受けた原始惑星系円盤ガスの流れを 3 次元流体計算で求めた。流体計算の結果、原始惑星は周りに閉じた流れをつくり、原始惑星は惑星大気を持つ。大気周りの流れも原始惑星の重力を受けた特徴的な構造をもち、惑星進行方向前後には馬蹄形流が形成される。

次に、この流れ場中の小天体の軌道を計算した。ガスとの結合を表す無次元制動時間 (St) は小天体のサイズに依存するため、流れの影響は小天体のサイズに応じて変わる。軌道計算の結果をもとに、原始惑星への衝突率を求めた。 St の大きい ($St > 0.1$) 小天体は惑星重力により超音速で惑星へと向かってくる。そのため、密度の大きな惑星大気からのガス抵抗を強く受け、ガスがない場合に比べて衝突率は大きく増加する。 St の小さい ($0.01 < St < 0.1$) 小天体は原始惑星系円盤ガス流とよく結合しているため、惑星近傍を通過する時間と惑星重力により惑星へと沈降する時間で衝突断面積が決まる。従来のペブル降着はこれに相当する。それよりも St が小さい小天体は馬蹄形流やボンディ半径周りの流れにより、衝突が阻害される。これらの効果を考慮することで、惑星大気の効果やペブル降着の過去の研究を包括的に理解することが可能になり、過去の研究を改善する新たな衝突率の解析解を導出した。

[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](#)

P218a 超木星質量の巨大ガス惑星によって形成される原始惑星系円盤のギャップ特性とそのパラメータ依存性

田中 佑希 (東北大学), 田中 秀和 (東北大学), 金川 和弘 (東京大学), 谷川 享行 (一関高専)

原始惑星系円盤内に存在する巨大ガス惑星は円盤にギャップを形成し、ギャップを介した質量降着を起こして成長する。巨大ガス惑星の形成と進化を考える上では、惑星が形成するギャップがどのような特性を持つかを理解することが重要である。これまでに数値流体計算を用いたギャップ形成の研究は活発に行われており、ギャップの幅や深さ、惑星への質量降着率などが詳細に調べられている。しかしそれらは木星質量程度やそれ未満の比較的軽い惑星に注目したものがほとんどであり、いわゆる超木星質量の惑星が形成するギャップ特性の理解はあまり進んでいなかった。

そこで我々は数値流体計算コードの FARGO を用いて、1-10 木星質量の惑星によって形成されるギャップの特性とそのパラメータ依存性を調査した。その結果、惑星質量を大きくしていくと形成されるギャップは深くなっていくが、ある質量を超えるとギャップの外縁が非定常となり、顕著な離心率を持つようになることが分かった。またギャップが非定常となる条件は惑星質量と円盤の粘性、アスペクト比に依存し、惑星によって形成されるギャップ深さの指標となる一つのパラメータで表すことができることを見出した。さらに、ギャップが非定常になるとギャップ内部での面密度が上昇するため、超木星質量の惑星への質量降着率は先行研究での経験式が予測するより大きくなることが判明した。一連の計算から得られたギャップ構造を元に、惑星への質量降着率や惑星に働くトルクのパラメータ依存性について、先行研究と比較しながら議論する。また、惑星へのガス降着の効果を含めた場合の数値シミュレーションとの比較も行い、降着の影響についての議論も行う。

[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](#)

P219a 降着を受ける原始ガス惑星 PDS 70b からの H α 放射に関する数値的研究

高棹真介 (大阪大学), 青山雄彦 (精華大学), 生駒大洋 (東京大学)

惑星系の形成進化において巨大ガス惑星は重要な役割を果たすため、巨大ガス惑星が形成・質量成長している現場の直接観測や、その観測量を形成過程と結びつける理論が求められている。PDS 70b は今まさに質量降着を受けている原始ガス惑星として注目を集めている。PDS 70b は複数の観測で H α 放射が確認された初の原始ガス惑星で (Wagner et al. 2018, Haffert et al. 2019, Hashimoto et al. 2020)、周惑星系円盤 (CPD) の存在も示唆されている (Isella et al. 2019)。H α 放射は降着衝撃波に由来すると考えられており、観測の解釈には古典的 T-Tauri 型星に使われる磁気圏降着モデルがよく仮定されている。しかし、古典的 T-Tauri 型星とは違い原始ガス惑星や CPD への降着は広い立体角を通じて起きるため (Tanigawa et al. 2012, Gressel et al. 2013)、降着衝撃波も原始ガス惑星表面と CPD 表面の両方で生じると予想される。そのため観測の解釈には原始ガス惑星と CPD それぞれからの H α 放射の寄与を知る必要があるが、これに関する理論的理解はまだ不十分である。その理由の一つには、これまでのシミュレーション研究では原始ガス惑星付近の空間分解能が不十分で、惑星表面付近の降着構造自体が理解されていないことが挙げられる。そこで我々は原始ガス惑星から半径 100 倍以内を高解像度で分解した 2 次元軸対称流体シミュレーションを行い、さらに Aoyama et al. (2018) で開発された 1 次元輻射流体モデルも組み合わせることで、原始ガス惑星と CPD それぞれからの H α 放射の強度や H α スペクトルの振る舞いを調査した。外側境界条件には Tanigawa et al. (2012) の結果を応用することで、降着ガスの流入を決めている。その結果、H α 放射は原始ガス惑星由来の成分が卓越すること、放射強度は激しい時間変動を示す一方で H α スペクトルの形自体はほとんど時間変動しないことがわかった。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](#)

P220b WW Cha に付随する原始惑星系円盤の ALMA 観測

金川和弘 (東大, RESCEU), 橋本淳 (NAOJ), 武藤恭之 (工学院大), 塚越崇, 高橋実道 (NAOJ), 長谷川靖紘 (JPL), 小西 美穂子 (大分大), 野村英子 (NAOJ), Haiyu Baobab Liu (ASIAA), Roubing Dong (ピクトリア大), 片岡章雅 (NAOJ), 百瀬宗武 (茨城大), 小野智弘 (東工大), Michael Sitko (シンシナティ大), 高見道弘 (ASIAA), 富田賢吾 (東北大)

原始惑星系円盤は惑星形成の現場であり、その詳細構造の観測は惑星形成を理解する上で重要である。本発表では、若い原始星である WW Cha に付随する原始惑星系円盤の ALMA バンド 6 での観測結果を報告する。過去の研究から WW Cha は連星であり円盤は中心に空洞を持つ遷移円盤である可能性が示唆されてきた。しかし、本研究で行った約 0.07 秒角の高空間分解能の観測から得られたイメージには円盤中心に空洞は見られず比較的スムーズな構造と弱いリング構造が得られた。観測で得られた visibility のモデルフィットからリング構造はダブルピークを持っていることが示唆される。また、得られた構造をもとに輻射輸送計算を行い円盤温度を決定した。その結果、外側のピーク周辺の温度は 30K 程度で CO の雪線に近く、内側のピークは 50K 程度で H $_2$ S の雪線や C $_2$ H $_8$ などの sintering 領域に近いことが分かった。また、観測 visibility の虚部に着目することで円盤構造の非軸対称性を調べることができ、円盤外縁部に非対称性があることが分かった。この非対称性は我々の軸対称モデルとの残差と一致し、また SPHERE によって得られた赤外線イメージの非対称性とも一致している。本観測はバンド 6 内の 2 つの波長帯 (217GHz と 233GHz) で観測されており、円盤が非常に明るいため 2 つの波長帯でノイズレベル以上の光度の違いが見られた。そのため、spectral index の空間分布を計算することができた。本発表では上記の観測結果を報告するとともに得られた spectral index によるダストサイズについての議論も行いたい。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P221a 原始連星の周連星円盤における重力トルクと磁場による角運動量輸送

松本倫明 (法政大学) , James M. Stone (IAS)

ALMA をはじめとする高い空間分解能を持つ望遠用によって、若い単独星だけではなく若い連星のまわりの円盤も詳細に観測され、多様な星周構造が明らかになってきた。星形成において、磁場は重要な役割を果たすことは知られている。磁場を考慮した周連星円盤に関する理論的な先行研究は存在するが、多くはトロイダル磁場を仮定していた。観測や理論からは円盤を縦に貫くポロイダル磁場の存在が示唆されており、先行研究で仮定されていたトロイダル磁場は、単に計算の都合によって採用されていた。

そこで本研究では、周連星円盤を縦に貫く磁場 (トロイダル磁場) を設定した現実的なモデルを構築し、連星のまわりのガスの構造を MHD シミュレーションを用いて調べた。シミュレーションでは理想 MHD を仮定した。2020 年春季年会では、主にトロイダル磁場によって発生するアウトフローについて報告した。本講演では連星の星周構造における角運動量輸送について報告する。

原始連星の角運動量機構は単独星のものよりも複雑である。星に持ち込まれる角運動量は周連星円盤における角運動量に影響される。周連星円盤における角運動量機構として (1) 連星からの重力トルク、(2) 周連星円盤の MRI と乱流、(3) 周連星円盤を貫く磁場による磁気制動、(4) 周連星円盤からのアウトフローが存在する。これらのうち、標準的なモデルの場合には連星からの重力トルクが角運動量に支配的である。また、乱流の強さを示す α パラメータは、単独星の星周円盤の典型的な値よりも大きい。さらに、 α パラメータは磁場を考慮しない場合よりも大きい。以上のことから、周連星円盤における乱流は、重力トルクと MRI によって増強されると考えられる。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P222a 周連星系円盤からのガス降着による、逆回転する原始惑星系円盤の形成

高石大輔、塚本裕介 (鹿児島大学)、須藤靖 (東京大学)

近年の ALMA 望遠鏡による高解像度の観測によって、回転軸が互いに傾いた原始惑星系円盤を持つ若い連星系が多数発見されている (e.g. Jensen and Akeson 2014; Hara et al. 2020)。さらに、大質量原始星連星 IRAS 16547-4247 の個々の原始星に付随する原始惑星系円盤は互いに逆回転している可能性も報告されている (Tanaka et al. 2020)。

このような回転軸が互いに傾いた円盤や逆回転する円盤の形成過程を明らかにするため、本研究では原始惑星系円盤の形成進化 3 次元シミュレーションを行い、乱流分子雲コア中で形成される原始惑星系円盤の回転軸の時間進化を調べた。

その結果、原始星連星を周回する 3 つ目の原始星に付随する原始惑星系円盤が進化の途中で逆回転することを発見した。これは、内側の原始星連星がその周囲に作る周連星系円盤からの質量降着によって引き起こされる現象である。この結果は、原始星の捕獲や磁場の効果といった複雑な物理過程を考えるとなく、流体力学的なガスの進化から逆回転する円盤が形成することを示している。また、観測により明らかになってきた回転軸が互いに傾いた円盤や逆回転する円盤を説明する可能性がある。

本発表では、この逆回転円盤の形成と進化について詳細な結果を報告する。

[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](#)

P223a ダストガス 2 流体磁気流体力学シミュレーションコードの開発とその原始星形成過程への応用

塚本裕介 (鹿児島大学), 町田正博 (九州大学), 犬塚修一郎 (名古屋大学)

原始星の形成進化過程におけるダストの成長とそのダイナミクスは近年大きな注目を集めている。ダストの成長は惑星形成の最初期の段階であり、原始星進化のどの段階でダスト成長が始まるかは興味深い問いである。さらに、ダスト成長はガスの電離状態を変化させることで原始惑星系円盤の磁気活動性、ひいてはその巨視的な力学進化にも影響を与える。また、ダストからの熱輻射は原始星観測の最も重要なツールの一つである。

原始星形成期におけるダストの成長過程やそのダイナミクスはいままでワンゾーン近似や 1D シミュレーションによって主に研究されてきた。しかしながらこれらの手法ではダスト成長やダストダイナミクスに対する原始星形成期の多様なガスダイナミクス (例えばアウトフローによるガスの巻き上げ、平たい原始星エンベロープの形成、エンベロープからの現実的なガス降着など) の影響を取り扱うことが困難であった。

そこで我々は 3D 非理想 MHD シミュレーションコードにダストを取り込んだ新たなシミュレーションコードを開発した。その際大きな困難となる、帯電ダストとそれにかかるローレンツ力の取り扱いについては、その影響が無視できるパラメータ空間を定量的に明らかにし、帯電ダストと中性ダストが一流体として扱える条件を導出した。さらに、ダストの成長を代表サイズ近似のもとで取り扱うコードも開発した。

本講演では、上記の帯電ダストに対する近似の妥当性やコードの実装方法、テスト計算について紹介するとともに、3D 非理想 MHD シミュレーションによる原始星形成におけるダストダイナミクスや形成初期の円盤内でのダスト成長や成長ダストのアウトフローによる巻き上げ効果といった研究結果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](#)

P224a Athena++コードにおける軌道移流法の実装とシアリングボックスの改良

小野智弘 (東京工業大学), James Stone (IAS), 富田賢吾 (東北大学)

原始惑星系円盤の速度場は超音速な定常ケプラー運動で近似することができ、そこからのずれは音速程度である。円盤のように高速な定常場と低速な非定常場で構成されている系の数値シミュレーションでは、軌道移流法を用いることで実行時間の短縮や結果の精度向上が期待される。また、円盤内で起こる局所的な物理現象を調べる際、シアリングボックス近似が有用だ。我々は公開磁気流体シミュレーションコード Athena++において、軌道移流法を実装し、シア周期境界条件を改良した。多くの従来コードでは、軌道移流法の実装に 1 次精度の演算子分割法しか使用していない。本実装では、2 次精度の演算子分割法にも対応する。また、我々の実装では軌道移流法を格子細分化法 (SMR/AMR) と共に使用可能である。シア周期境界条件をシミュレーションする際、境界間における剪断距離を計算するために適切な時刻を与える必要がある。その時刻は時間積分法・軌道移流法使用の有無・剪断距離の利用目的で異なる。しかし、従来コードでは多くの場合において誤った時刻を境界条件に与えている。我々は、常に適切な時刻がシア周期境界条件に与えられるように実装を行った。テスト計算の結果、軌道移流法による計算コストの削減と新機能によるシミュレーション結果の精度向上が確認されている。本講演では Shwave テストの結果を主に紹介し、本実装の有用性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](#)

P225a 輻射流体力学シミュレーションのためのオパシティ計算コードの開発 II

廣瀬重信 (海洋研究開発機構)、Peter Hauschildt (ハンブルク天文台)、簗島敬 (海洋研究開発機構)、
富田賢吾 (東北大学)、佐野孝好 (大阪大学)

近年の計算機の発展に伴い、輻射輸送を組み込んだ輻射流体力学シミュレーションが一般的になりつつある。輻射輸送を正確に取り扱うためには、輸送方程式を正確に解く数値解法のみならず、その輸送係数であるオパシティについても正確な値を用いることが重要である。ところが、オパシティは、一般に原子物理の詳細に依存するため解析的な取り扱いが難しく、また数値データとしての入手も困難なことが多い。そこで我々は、主に天体の輻射流体力学シミュレーションで用いられることを念頭に、局所熱平衡を仮定した混合ガスのオパシティ数値データを作成する計算コードの開発を行ってきた。この計算コードでは、ユーザは自身の研究目的に合わせて、状態方程式データ (温度・圧力とそれに対応する化学種の分圧) を用意した上で、必要なオパシティソースを選ぶことでオパシティの数値データ (波数依存および波数平均) を作成する。オパシティソースとしては、自由-自由遷移、束縛-自由遷移、束縛-束縛遷移、散乱など実装しているが、それぞれモジュール化してあるので、ユーザは必要に応じて取捨選択したり、あるいは改良・新規開発することも容易である (言語は Fortran 90 を使用)。本講演では、このオパシティ計算コードの詳細と使用方法・公開方法について報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P301a ALMA で検出された海王星成層圏 HCN の帯状分布構造とその化学・物理

飯野孝浩 (東京大), 佐川英夫 (京産大), 塚越崇 (NAOJ), 野澤悟徳 (名大)

海王星大気においては、成層圏に偏在する気相のシアン化水素 (HCN) の存在が 90 年代より指摘されており、その起源について多様な議論がなされてきた。我々はアルマアーカイブから抽出した海王星に対する HCN の $J=4-3$ 回転遷移の観測データを用い、世界初の HCN 空間分布マップの構築に成功した。空間分解能は ~ 0.4 秒であり、海王星の視直径 2.2 秒に対し十分に精細であった。輝線強度は HCN のカラム量だけでなく emission angle に応じて変化するため、輝線強度の同径方向の平均プロファイルを作成し、プロファイルとの比の全球プロットを作成、さらに強度比の緯度分布を作成した。輝線強度比はそれぞれ赤道上空と南緯 60 度付近で明瞭に最大値・最低値を取り、また南極においても弱いピークを呈した。輻射輸送計算により赤道と南緯 60 度での混合比を導出したところ、赤道における混合比は南緯 60 度に対して 1.7 倍となった。海王星成層圏においては、中緯度において対流圏上部から成層圏へと上昇し、低緯度及び高緯度へと水平輸送され沈降する大規模循環の存在が指摘されている。この循環モデルと、HCN が対流圏から輸送される窒素分子により成層圏で生成されるという化学モデルを結合することで、得られた空間分布を説明することが可能となった。本講演の内容は、Iino et al. 2020b, ApJL, 903, L1 として出版済みである。

[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](#)

P302a 月面地球照の近赤外観測で検出された海の偏光

高橋隼, 伊藤洋一 (兵庫県立大学), 松尾太郎 (名古屋大学), 大朝由美子 (埼玉大学), Yoonsoo P. Bach, 石黒正晃 (Seoul National University)

海を持つ惑星の発見は、地球外生命探査において極めて重要である。滑らかな液面は入射光を鏡面反射し、鏡面反射された光は強く偏光する。したがって、液面による鏡面反射がもたらす偏光度の増大を検出することにより、海を発見できるかもしれない。偏光観測による海探査には、天体の偏光度は地球大気を透過してもほとんど変化しない、偏光観測は系外惑星の直接観測技術とも親和的である、といった利点が考えられる。理論計算により、「全面が海で覆われ、雲がない」理想的な惑星は、偏光度位相曲線上のピーク偏光度が 70% を超えると予測されているが、雲や大気による散乱など様々な要因により海の偏光が希薄化されてしまう可能性も指摘されている。地球の偏光観測は不足しており、海面反射が地球全体の偏光度に有意に寄与するのか明らかではなかった。

そこで、地球偏光度における海の寄与を検出・測定することを目的に、月面地球照の近赤外偏光観測を行った。地球照とは月の夜面を照らす地球反射光のことである。西はりま天文台 2m なゆた望遠鏡および 3 色同時近赤外カメラ NIC を用いて、32 夜分の地球照偏光度を得た。観測日時によって「地球照に寄与する面」(地球表面のうち、太陽に照らされ、かつ、月から見える領域) に占める海の割合は異なり、10-50% の範囲に分布した。(1) 各夜の地球照偏光度 (観測時の位相角における典型的偏光度で規格化した値) は海割合に対して、正の相関を示した。(2) さらに、地球の自転に伴う海割合の変化と連動した、地球照偏光度の時間変化を複数回観測した。(1) と (2) より、海による偏光を初めて明確に検出したと言える。(2) について、その夜の平均偏光度 (\bar{P}) に対する偏光度の変化量 (ΔP) の比 ($\Delta P/\bar{P}$) は $\sim 0.2-1.4$ に及び、海が存在を指し示す観測特徴として期待される。

[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](#)

P303a 崩壊彗星 C/2019 Y4 (ATLAS) の偏光観測

古荘 玲子 (都留文科大学/国立天文台), 土屋 智恵, 渡部 潤一 (国立天文台)

C/2019 Y4 (ATLAS) (以下、ATLAS 彗星) は、2019 年 12 月 28 日に Asteroid Terrestrial-Impact Last Alert System (ATLAS) program により発見された彗星である。ATLAS 彗星は、軌道要素が 1844 年の大彗星と酷似しているため、過去に分裂した彗星の分裂核のひとつと考えられていた。

彗星のダスト粒子によって散乱された太陽光は部分的に直線偏光を示し、その値は、粒子サイズ分布、組成、形状といったダストの物理的特性と、および観測時の散乱位相角 (太陽 - 彗星 - 観測者のなす角) の関数である。したがって、彗星の偏光観測は、彗星のダスト粒子を研究する上での貴重な情報を提供する。

我々は、彗星ダストコマの活動を研究する目的で、国立天文台 (三鷹)50cm 社会教育用公開望遠鏡および偏光撮像装置 PICO を用いて、彗星塵の偏光撮像観測を継続的に行ってきた。これまでの 16 年間で 29 彗星/核のデータを取得している。

今回、この偏光サーベイ対象として、2020 年 1 月頃から急激に明るくなった ATLAS 彗星の偏光撮像観測を 2020 年 3 月 23 日 ~ 4 月 14 日の期間に実施し、位相角約 37° ~ 約 53° でのデータを得た。当初の予定では 4 月末まで観測可能な見込みであったが、3 月中?下旬より彗星核の崩壊が始まり、4 月中旬には観測ができないほど暗くなった。しかしながら、崩壊が進行中の彗星の貴重な偏光度および偏光マップを得ることができた。

発表では、これらの観測結果を報告し、さらに過去の観測と比較して C/2019 Y4 (ATLAS) のダスト粒子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](#)

P304a 高離心率オールト雲天体の高精度軌道進化計算の結果について

船渡陽子 (東京大学)

長い間、太陽系外縁部はほとんど未知の領域だった。1930 年に冥王星が発見された後、最初のカイパーベルト天体 (太陽系外縁部天体) が発見されたのが 1992 年、その後もぼつぼつと報告があるだけだった。それがここ数年の観測で膨大な発見数があり太陽系外縁部天体群の構造や統計がわかるようになってきた。

一方、太陽系の惑星形成史において近年提唱されたニースモデルでは惑星形成初期の太陽系外縁部天体の分布が重要な役割を果たしている。つまり太陽系外縁部天体の形成と軌道分布の構造の進化の解明が、重要なテーマになりつつある。

太陽系は孤立しているのではなく、銀河系の中において、銀河系他の天体、銀河系自身のポテンシャルの影響も受けている。実際オウムアムアのように太陽系外起源かもしれない天体も発見されている。そのため太陽系外縁部天体について考える際には太陽系内だけではなく太陽系外環境の影響も考える必要がある。

Higuchi (2020, AJ, 160, 134) はオールト雲天体の軌道進化に対する銀河ポテンシャルの影響を調べ、オールト雲天体の初期分布についての考察を行った。彼らは進化の解析解を導出し数値計算の結果と比較している。彼らの数値計算方法は 4 次エルミート法 (Kokubo et al, 1998, MNRAS, 297, 1067) だが、この方法には近日点に僅かではあるが永年誤差がある。

今回、我々は、8 次エルミート法を用い、銀河ポテンシャル内での高離心率のオールト雲天体の軌道進化を調べた。その結果、高精度計算においても概ね Higuchi (2020) と同じ結果を得られたので、そのことについて報告する。

[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](#)

P305a ダスト集合体の物質強度で探る太陽系小天体形成過程

辰馬 未沙子 (東京大学/国立天文台), 片岡 章雅 (国立天文台), 田中 秀和 (東北大学), Tristan Guillot (コートダジュール天文台)

太陽系小天体の形成過程は直接付着成長やペブル集積、不安定性など諸説ある。この形成過程を探るため、我々はその物質強度に着目した。数百メートルを超える天体の内部密度は自己重力と圧縮強度のつりあいで決まると考えられている。本研究ではミクロンサイズのダスト集合体の圧縮強度をダスト付着 N 体計算で求めた。その結果、氷ダスト集合体とシリケートダスト集合体について、体積充填率 0.1 以下から高密度まで、圧縮強度を連続的に求めることに成功した。さらに、ダスト集合体の自己重力とつりあうと仮定して内部密度を求め、実際の天体の内部密度と比較した。その結果、太陽系外縁天体 (TNOs) は氷ダスト集合体で、67P/Churyumov-Gerasimenko を含む彗星はシリケートダスト集合体で説明できることがわかった。一方、小惑星リュウグウや小惑星イトカワ、小惑星ベンヌの密度は、本研究のようなダスト集合体では説明できないほど高密度であることがわかった。このような高密度な天体を形成するには、まず数十キロメートル程度の天体を形成する必要がある。すなわち、リュウグウやイトカワ、ベンヌは破片の集合体であり、その母天体の大きさは数十キロメートル以上であることが理論的に示唆される。

[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](#)

P306a 周巨大惑星における Liquid Water Belt 4 : 土星系での検証

鴨川弘幸, 釜谷秀幸 (防衛大学校)

イオを除いたガリレオ衛星では、木星による潮汐加熱を主要な熱源とした内部海が存在している可能性が高い。内部海では生命の発生が期待されているが、それを維持できる衛星の存在領域についての議論は不十分であった。そこで我々は、内部海といった大量に水を有する衛星の存在領域を Circumplanetary liquid water belt (CpLWB) と呼び概念設計に取り組んでいる。

これまでの講演と同じく、CpLWB の内側境界条件を氷地殻が存在することで定義し、外側境界条件は対流による熱輸送が見込めなくなり内部海が凍結してしまうこととして定義している。そして、イオを除いたガリレオ衛星は CpLWB 条件を満たしていることを明らかにし、イオはラプラス共鳴によって期待以上に潮汐加熱が効いているため例外的な衛星であることも示唆してきた。

今回は、CpLWB モデルの妥当性を検証するために土星の 7 衛星への適用を試みた。エンセラダスとタイタンについては内部海が存在が先行研究により強く示唆されているが、これらを含む 5 衛星が CpLWB 条件を満たし内部海を持つ可能性高いことを突き止めた。CpLWB 条件を満たさなかったテティスとアイアペタスは、内部海を持たない凍った衛星であることが予測される。講演時には、これらの適用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](#)

P307a 超巨大ブラックホールを周回する岩石・氷天体 blanel の形成

和田桂一、塚本裕介 (鹿児島大学)、小久保英一郎 (国立天文台)

惑星は恒星を周回する天体であり、その形成現場は原始惑星系円盤である。しかし、我々は、この「常識」に当てはまらない新たな天体形成の可能性について提案する。

固体惑星やガス惑星の中心核は、大きさ 0.1 ミクロン、重さ 10^{-15} g 程度のダストが集積してできたと考えられている。地球サイズまでは質量にして実に 40 桁以上も成長しなければならないが、その間に理論的にはいくつもの「障壁」があるとされている。しかし、すでに 4000 を超える系外惑星が見つまっていることから、ダストから惑星に至る「正しい経路」があるはずである。近年、障壁を回避する有力なダスト集積理論が提唱されている。われわれは、これらの星の周りでの惑星形成理論を、超巨大ブラックホールを含む活動銀河核 (AGN) に豊富に存在するダストに適用し、ダストアグリゲイトの内部密度の進化や半径方向の移動について考慮した理論計算を行った。その結果、これまで全く考えられていなかった新しい天体の種族 (blanel と呼ぶ) がダストトラス赤道面付近の「スノーライン」(SMBH から数 pc) の外側に AGN の life time 程度で形成される可能性を示した。地球質量の 20 から 1000 倍程度の質量をもつ blanel が 1 万個以上、SMBH を周回している可能性がある。本講演では、blanel の形成条件や形成に適した AGN について議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P308a パルサータイミング法を用いた長周期連星ブラックホール探査の提案

林 利憲, 須藤 靖 (東京大学)

重力波で検出された連星ブラックホールは、その起源となる比較的長周期の連星ブラックホールの存在を示唆する。本研究では連星ブラックホールを内側に含む三体系を考え、三体目の天体の摂動変動を検出することで、直接観測が困難な長周期連星ブラックホールを探査する可能性を議論する。

2019 年、2020 年秋の天文学会発表では、連星ブラックホールー恒星三体系を考え、恒星の視線速度中に現れる短周期・長周期摂動変動を通じて連星ブラックホールを探査する方法の提案を行なった。今回は、恒星の代わりにパルサーを含む三体系を考え、パルサータイミング観測を通じた連星ブラックホール探査を提案する。パルサーを含む三体系の数は少ないと予想される一方で、パルサータイミング観測は視線速度観測に比べて、より遠方の系まで高精度・高ケイデンス観測を行うことができるため、視線速度法と補完的な探査手段となりうる。

本研究では、パルス遅れとして、パルサーのケプラー運動によるレーマー遅れ、相対論的遅れ (シャピロ遅れ・アインシュタイン遅れ) に加えて、連星ブラックホールの重力摂動に起因するパルス遅れを考慮し、各遅れの軌道要素依存性について調べた。その結果、摂動による遅れに加えてシャピロ遅れを高精度に検出することで、連星ブラックホールの軌道要素を縮退なく推定可能であることがわかった。

本発表では、各パルス遅れの時間曲線と予想される振幅の見積もりを提示し、各遅れの検出に伴う軌道要素の推定についての考察を行う。加えて、本手法の応用として、既知の中性子連星の伴星として不可視連星を仮定し、摂動によるパルス遅れを用いてそれに対する観測的制限を行う。合わせて、その結果として示唆される将来の衛星重力波検出器と本探査法の相補性についての考察を行う。

[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](#)

P309b 多波長トランジット測光観測による系外惑星大気の調査

石岡 千寛, 金井 昂大, 大朝 由美子 (埼玉大学), 宝田 拓也 (ABC), 高橋 隼, 伊藤 洋一 (兵庫県立大学)

系外惑星のトランジット観測では、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。また、惑星が大気を持つ場合、観測される減光の深さに波長依存性がみられるため、多波長トランジット測光観測によって系外惑星大気の推定が可能である。そこで我々は、埼玉大学 55cm 望遠鏡 SaCRA/三波長同時撮像装置 MuSaSHI と 36cm 望遠鏡、西はりま天文台なゆた 2m 望遠鏡/近赤外撮像装置 NIC を用いて、(g', r, i, z, J, H, Ks バンドの 6(最大 7) バンドでのトランジット観測を行い、系外惑星大気について研究を行なっている。

本研究では、2018 年～2020 年に SaCRA/MuSaSHI を用いて 25 天体計 33 晩の観測を行った。また、そのうち 5 天体については新たに 2020 年 5 月～11 月になゆた/NIC と同時観測を行なった。観測天体のうち、17 天体 23 イベントについて EXOFAST と Pytransit を用いて解析し、光度曲線から主星と惑星の半径比について波長依存性を調べた。可視域のデータについて、全イベントでの半径比の誤差の平均値を 1σ として、(1) 主星と惑星の半径比について波長依存性が見られない (1σ 以下) 天体、(2) 半径比の波長依存性が見られる (3σ 以上) 天体、(3) 1,2 以外の天体 (1σ 以上 3σ 未満) の 3 つのグループに分類した。グループ分けと主星・惑星の物理量との比較を行なった結果、波長依存性が見られなかった天体は、主星の金属量が高いものが多く、惑星大気と金属量に関係がある可能性が示唆された。また、可視・近赤外同時観測を行なった天体についても半径比の波長依存性を調査し、例えば、TrES-3(0.4-2.2 μm) では 0.6-1.0 μm での半径比が、それ以外の波長域 (0.4-0.6, 1.0-2.3 μm) と比べて有意に低い傾向が見られた。本講演では、これまでの可視データに加えて、可視・近赤外同時観測を行なった天体について、Planetary Spectrum Generator を用いて大気モデルを作成し、半径比との比較から惑星大気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](#)

P310b 太陽系外惑星 XO-2N b の近赤外線トランジット観測

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。この手法は太陽系外惑星の発見だけでなく、恒星からの光が惑星の大気に吸収される様子を分析し惑星大気を調べることも有効である。

XO-2 は XO-2N と XO-2S で構成された連星系であり、2007 年にホットジュピターである XO-2N b がトランジット法により発見された (Chabonneau et al. 2007)。過去の可視光 V バンドでのトランジット観測でトランジット深さが 0.0108 ± 0.0002 等級、惑星の公転周期が 2.616 日、惑星半径が 0.98 木星半径と求められている。我々は 2020 年 10 月 27 日にこの惑星系を西はりま天文台の 2m 反射望遠鏡に搭載された、近赤外 3 バンド J (1.22 μm) H (1.65 μm) K (2.16 μm) を同時に撮像できる NIC で観測した。観測時間はトランジット前後を含めて約 5 時間で、30 秒露出を繰り返し、各バンドで 260 フレームのデータが得られた。画像解析ソフト IRAF でデータを解析した結果、J バンドで 0.0125 ± 0.0013 等級、H バンドで 0.0126 ± 0.0006 等級、K バンドで 0.0147 ± 0.0012 等級のトランジット深さが見られた。

講演では近赤外線トランジット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](#)

P311b 偏光分光光度計によるスペクトルデータベースの作成

近藤綾香, 伊藤 洋一 (兵庫県立大学)

1995年に系外惑星が発見されて以来、現在に至るまで多くの系外惑星が確認されている。中には岩石を表面に持つと考えられる惑星も見つかってきた。こうした惑星の表面に存在する物質を調べる際には、地球に存在する物質の光学特性との比較を行うことになるだろう。植物は約700-750nmで反射率が急激に上昇すること (Seager 2005) や、岩石は近赤外域で反射率が高く、含有鉱物により特徴的な吸収を示すこと (Hunt 1979) 等、多くのことが分光測定によってわかってきた。一方で偏光の測定はまだ少ない。

本研究では、島津製作所の分光光度計 UV-2600 の試料室部を偏光も測定できるように改良した。試料に対して45度で入射し45度で反射する光の強度を1nmごとに185-1400nmの波長範囲で測定した。出射光の光路上に設置した偏光フィルターを45度ずつ回転させ4つの偏光成分を得た。測定対象は、石英・長石等の無色鉱物と雲母・輝石等の有色鉱物の計30種類の鉱物、ツバキ・パキラ等の樹木の葉やヒメジョオン・バジル等の草花の葉の計20種類の植物である。測定の結果、鉱物では400-500nmで13-72%の偏光度を示し、570-620nmと800-950nmで偏光度は低い値をとることがわかった。植物は400-500nmで58-96%の偏光度を示し、480-680nmと800-950nmで偏光度は低い値をとることがわかった。鉱物と異なり、レッドエッジが起こる680-750nmで偏光度が単調に減少することが特徴である。また植物の種類によらず反射率が高い波長では偏光度が低いことがわかった。

[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](#)

P312b すばる望遠鏡 HSC データを用いた既知太陽系小天体探査

大坪貴文, 高田唯史, 古澤久徳, 古澤順子, 寺居剛 (国立天文台), 吉田二美 (産業医科大), 浦川聖太郎 (日本スペースガード協会), HSC 超高速 DB グループ

小惑星や彗星などの太陽系小天体は、原始太陽系円盤中で形成され惑星に取り込まれなかった微惑星の生き残りであり、小天体のサイズ頻度分布は太陽系での天体の衝突進化の歴史を反映している。直径が小さい微小天体は個数も多く、その性質を明らかにすることが重要であるが、その一方で暗いために大口径望遠鏡が必要でありこれまでに十分制限がつけられていなかった。すばる望遠鏡の Hyper Suprime-Cam (HSC) による観測は、大口径望遠鏡と広視野撮像という太陽系小天体観測にも適した特長を持つ。2014年の科学運用開始以降、HSCを用いた観測により、太陽系外縁天体や木星トロヤ群天体、メインベルト小惑星などの研究が進められ、既に様々な成果を収めている。しかし、このような小天体集団の統計的研究には移動天体検出に適したデザインのサーベイ観測が必要であり、それに適合しない観測データを用いた太陽系小天体研究はまだ十分に進められていない。

そこで本研究では、HSCの観測データに対し、軌道が決定され位置推定が可能な既知の太陽系小天体の検出・抽出とカタログ化を目指す。まずは、HSC戦略枠サーベイ (HSC-SSP PDR2) のデータと検出天体リストに基づき既知小天体の検出・同定作業を本年度から開始した。特にこれまで着手されていない彗星の検出・同定に関する研究にも注力していく。本講演では、現時点までに得られた結果をまとめて報告する。黄道面付近であれば、既知の太陽系小天体は1視野あたりに100以上の天体が同定できることを確認している。またこれまで観測数がそれほど多くない日心距離5 au以遠での彗星も検出できており、HSCの観測データは遠方での彗星活動に関する研究にも貢献す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](#)

P313b 2019 年ふたご座流星群の多地点流星電波観測

石村周平, 野澤恵 (茨城大学), 渡部潤一 (国立天文台), 寺澤敏夫, 吉田英人, 吉岡和夫, 吉川一朗 (東京大学), 白居隆志, 矢口徳之 (日本流星研究会)

我々は流星電波観測 (HRO: **H**AM-band **R**adio **O**bservation) を応用した多地点流星電波観測を用いて、2019 年に出現したふたご座流星群の観測を行った。ふたご座流星群は三大年間流星群であり毎年安定的な活動をしているため観測を行った。

流星電波観測とは、流星が発生した時に生じるプラズマ散乱を用いて電波の反射を受け取り観測する手法であり、曇りや雨、太陽が出ている昼間の時間帯など光学観測では観測できない時間帯での観測も可能である。本観測では電波の送信局を長野県の大町市、池田町、安曇野市の 3 点に設置し、観測地を東京大学柏キャンパス、本郷キャンパス、東京大学大学院天文学教育研究センター (三鷹市)、東海大学湘南キャンパス、防衛大学、海老名市、和光市の 7 地点に設置した。通常の流星電波観測では送信局 1 つ観測点 1 つで観測するため流星が発生した時間しか得られない。しかし、多地点観測を行うことにより受信する電波の時間の差から流星の速度や方角、入射角などを求めることができる。実際に、2019 年のふたご座流星群では活発な出現が可視光で確認され、この手法でふたご座流星群の群流星とみられる群流星と見られる流星をいくつか検出した。本講演では多地点流星電波観測で観測したふたご座流星群の結果と考察する。

[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](#)

P314b SonotaCo Network のデータを用いた各流星群における放射点の離散度調査

土屋智恵, 佐藤幹哉, 渡部潤一 (国立天文台)

同一の流星が複数の地点で同時に観測されると、その流星の軌道要素、放射点などが求められる。これら個々の流星の放射点を天球図上にプロットしていくと、流星群の場合は天球図上の決まったある一点に集まるため、流星群と認識することが可能となる。

通常、流星群の放射点は小さくまとまるが、流星群ごとに放射点分布の広がり具合 (以下、離散度と呼ぶ) は異なることが以前より指摘されている。特に対地速度の遅い流星群の場合、軌道要素が似ていても同じ流星群とみなされないほど放射点の離散度が大きい。これは同じ流星群に属する流星であっても、もともとわずかに異なる軌道要素と速度を持っているという本質的な原因のほか、地球速度や天頂引力、観測誤差による影響があげられる。中でも最も大きな原因として考えられるのが地球速度による影響である。流星は流星体の地球への突入速度と地球の公転速度による合成ベクトルによってその対地速度が決まる。したがって本来の放射点を知るには、観測されたデータから地球の運動をベクトル的に差し引く必要がある。このような補正を加えることで、活動が見逃されてきた流星群の発見や、観測時のデータ評価にも役立つことが期待される。

今回は日本国内のビデオ観測ネットワークである「SonotaCo Network」のデータを使用し、速度の異なる主要な流星群の放射点の離散度への影響を調査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](#)

P315b SPART/ALMA 電波望遠鏡により探る地球型惑星/金星の大気の化学的環境

前澤裕之, 富原彩加, 米津鉄平, 濱口優希 (大阪府立大学), 佐川英夫 (京都産業大学)

地球型惑星の大気の物理・化学的環境の普遍的性質を理解する上で、金星は重要かつ貴重な観測ターゲットとなっている。近年は、金星の紫外線領域の吸収プロファイルから、硫酸エアロゾルの雲領域近傍に微生物が存在する可能性なども議論されており、地球型惑星のハビタビブルな環境が、太陽の活動や放射、大気ダイナミクス/輸送、大気化学のもとでどの様にバランスしているのか、総合的な理解が喫緊の課題となっている。

我々はこれまでに、金星の中層大気に対して、国立天文台野辺山宇宙電波観測所の口径 10m の電波望遠鏡 SPART を用いて一酸化炭素 (CO , ^{13}CO) の長期変動の観測 (100, 200 GHz 帯) と、ALMA を用いた硫化物 (SO , SO_2 など) の高解像度観測 (200, 300 GHz 帯) を推進してきた。これらミリ・サブミリ波帯のヘテロダイン分光は、惑星の昼夜の領域を問わず観測できる他、周波数高分解能を活かして成層圏・中間圏相当の高高度の微量分子を捉えることができる特色をもつ。さらにスペクトルのドップラーシフトから大気ダイナミクス/風速場の情報も得ることができる強みをもつ。SPART は、金星の高度 80 km 付近の CO (全球平均) は、太陽活動に反相関する長期スケールの変動と、数週間程度の短期変動を捉えてきた。また ALMA では、金星の夜側で CO が多く、昼側では SO が増加傾向にあり、光化学に起因する微量分子の不均一な空間分布の存在が捉えられている。近年 Lee らは、Venus Express (ESA) と「あかつき」衛星 (JAXA) の結果から、金星大気のアルベドも太陽活動と反相関している可能性を指摘している。我々の上記結果は、この Lee らの結果とも符合するものであり、特に太陽活動によって駆動される大気の大気ダイナミクスと塩素による触媒反応なども深く関わっていると推察している。本講演では、これら一連の観測結果と金星大気の化学的環境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](#)

P316a 系外惑星のスペクトル・リトリーバルコードへの非平衡化学の導入

川島 由依, Michiel Min

近年、いくつかの系外惑星について、宇宙・地上望遠鏡を用いた透過スペクトルや放射スペクトルの観測が行われるようになってきた。これまでの多くのスペクトル・リトリーバルコードでは、単純化、かつ計算の高速化のために、大気中の化学種の混合率分布は、熱化学平衡、または大気中で一定であると仮定されてきた。温度の高い大気下層では化学種の混合率は熱化学平衡にあると考えられるが、ある高度で化学反応のタイムスケールは大気混合のタイムスケールと等しくなる。そしてこれより上層では、化学種の混合率はその高度での混合率に「クエンチ」され一定となる。最近、いくつかの研究で、この非平衡の影響を取り入れるためにクエンチの高度をリトリーバルのパラメータとして導入し始めた。しかし、これらの先行研究では、物理的根拠なしに全ての化学種に対して同じクエンチの高度を仮定していた。化学反応のタイムスケールは各化学種によってそれぞれ異なるため、本来はクエンチの高度も化学種により違う。

そこで我々は、Tsai et al. (2018) で導かれた化学反応のタイムスケールを用いることで、それぞれの化学種に対して渦拡散係数をパラメータとしてクエンチの高度を計算するコードを開発し、スペクトル・リトリーバルコード ARCIS (Min et al. 2020) に組み込んだ。また今回開発したコードを用いて、ハッブル宇宙望遠鏡やスピッツァー宇宙望遠鏡などで高精度の透過スペクトル観測がなされている 10 個あまりの系外惑星に対して、スペクトルのリトリーバルを行った。その結果、HD 209458b などにおいて、大気が非平衡である示唆を得た。講演では、リトリーバルされたパラメータのトレンド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](#)

P317a スパースモデリングによる地球型系外惑星の表面組成の全球マッピング

桑田敦基, 河原創(東京大学), 逢澤正嵩(李政道研究所), 小谷隆行(アストロバイオロジーセンター/国立天文台/総合研究大学院大学), 田村元秀(東京大学/アストロバイオロジーセンター)

地球外生命の探査において、発見された系外惑星の特徴付けが行われるようになってきた。その根幹をなす観測手法として直接撮像法があるが、太陽系から比較的近い地球型系外惑星でさえ空間分解して観測するには数マイクロ秒角の分解能が必要となり、直接撮像が可能になったとしても当面は点源を観測することにすぎない。しかし惑星を空間分解せずとも、惑星の反射光の時間変動から惑星表面の二次元空間分布を得る Spin-Orbit Tomography (SOT) が提案された (Kawahara & Fujii 2010, 2011)。最近では、SOT にスパースモデリングを導入することにより高精度の空間分布マップを得ることに成功している (Aizawa et al. 2020)。

私たちは以上の手法に加え、リモートセンシングの手法である Spectral Unmixing を SOT に導入して開発された Spin-Orbit Unmixing (SOU) に注目した。SOU により複数の波長における光度変動から惑星表面の空間分布だけでなく反射スペクトルを同時に得ることも可能になっている (Kawahara 2020)。本研究では SOT に用いられたスパースモデリングを SOU にも導入した。数理最適化問題として定式化されている SOU において、推定される解にスパース性を誘導するような制約を設けること、および推定のための最適化アルゴリズムのひとつである近接勾配法を用いるために、適切な形式への再定式化を行うことにより、高精度の惑星表面分布および反射スペクトルを得ることが可能になった。本講演ではこの方法の解説、および地球のデータを用いたテスト結果を述べる。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P318a スーパーアースの巨大衝突における水素大気流出過程

黒崎健二, 犬塚修一郎

系外惑星の中には地球質量の数倍から数十倍程度ある一方で、惑星半径が地球半径よりも大きな天体も多く確認されている。これら惑星半径が大きな天体は惑星大気を多く持っている天体であることを示唆し、その大気量は惑星質量の 1 % から 30 % 程度と多様性に富んでいることがわかっている。このような惑星大気量の多様性は原始惑星系円盤内における形成過程での大気獲得量の違いによるものだけでなく、円盤が消失したあとの形成後期過程における衝突合体や惑星の進化プロセスにも影響を受けている。惑星形成過程の後期段階において、惑星の衝突合体は必ず発生する現象である。このとき、天体が原始惑星系円盤由来の大気を持っていた場合、天体衝突に伴いその原始大気を失うことが予想される。本講演では大気を持った惑星に対する衝突計算に伴う水素大気損失量を定量的に評価するために、天体衝突現象の Smoothed Particle Hydrodynamics 法による数値流体計算を行った。計算の結果、衝突に伴う大気流出の傾向には大きく分けて二種類の傾向が存在することがわかった。ターゲットとインパクターの質量比に差がある場合は衝突点付近からしか大気は流出しなかったが、衝突天体の質量比が近く大規模に大気を流出する場合は衝突点と反対側からも水素大気流出することが確認できた。衝突エネルギーと大気流出量の相関からスケール則を求めてみると、大規模な大気流出と小規模な大気流出の場合で冪乗が変化することが示唆された。また、大規模な大気流出を起こす場合についての流出をモデル化し、大気流出現象の解析的なモデルと数値計算結果の比較についても議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P319a 巨大衝突によって形成される惑星系の軌道構造の中心星質量依存性 III

星野 遙 (東京大学), 小久保英一郎 (国立天文台)

地球型惑星形成の最終段階とされる巨大衝突過程では、原始惑星が軌道交差および衝突合体を繰り返すことで個数を減らし、より安定な系へと進化していくと考えられている。現在までに発見されている多重惑星系は、太陽系の地球型惑星に比べて中心星の近くにコンパクトにまとまっているものが多く、既存の標準的な理論モデルでは説明できない。系の構造を決める要素として、原始惑星系円盤の質量や密度分布、原始惑星の分布などが議論されてきたが、中心星の質量については太陽質量に固定する 경우가ほとんどであり、影響の有無について明確な示唆はない。近年、中心星の質量を変えた理論計算も行われているが (e.g., Raymond et al. 2007, Ciesla et al. 2015)、中心星質量の違いが系の構造にもたらす影響に着目した研究は今まで行なわれていない。また、太陽の 0.1 - 0.6 倍の質量を持つ M 型星は、銀河系の恒星のうち約 75 % を占める最も多く存在する恒星であり、液体の水が表面に存在できる領域とされるハビタブルゾーンにおいて惑星を発見しやすいことから、惑星探査対象の中心になりつつある。このような観測と比較可能な理論計算を行うことは非常に重要である。そこで本研究では、巨大衝突過程において中心星の質量を太陽の 0.1 - 2.0 倍と変化させた場合の N 体シミュレーションを行い、軌道構造の中心星質量依存性を系統的に調べた。前回までは初期原始惑星の位置は、中心星から 0.1 au 付近に固定していたが、今回は Scalo et al. (2007) より見積もった各中心星のハビタブルゾーン付近に分布させた。初期質量には原始惑星の孤立質量を用い、2 億ケプラー周期の時間進化を追った。その結果、円盤質量を固定しハビタブルゾーンに着目した場合、中心星の質量が小さいほど、惑星の質量は小さくなり、軌道間隔は狭くなることわかった。これに加えて、前回導入した、より現実的な円盤モデルを用いた場合の結果についても議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P320a 進化する円盤中での岩石原始惑星からの TRAPPIST-1 系形成

荻原正博, 小久保英一郎 (国立天文台), 中野龍之介, 鈴木建 (東京大学)

低質量星である TRAPPIST-1 の周りにはこれまで 7 個の惑星が発見されている。このうち 3 個程度の惑星がハビタブルゾーン内に存在し、また全ての惑星が平均運動共鳴状態に近いという特徴を有することから、大きな注目を集めている。実際に 2016 年の発見以降、この系に関する観測的及び理論的研究が精力的に行われてきており、惑星系の特徴や形成起源が明らかになりつつある。過去 4 年にわたる観測による惑星質量及び惑星半径の測定結果によると、TRAPPIST-1 系の惑星は全てがほぼ同一の岩石組成である可能性が指摘されている。この組成の特徴は、中心星から遠く離れた低温領域で水に富む原始惑星が形成し、それが軌道移動によって中心星近傍まで移動してきたとする形成モデルで説明することは難しい。

ところで、原始惑星系円盤進化についての理論研究によると、磁気駆動円盤風の影響下で進化する円盤では、惑星の軌道移動が抑制される可能性がある。このような円盤では、中心星から離れた領域で形成した氷原始惑星の軌道移動は効率的ではなく、中心星の近傍で形成した岩石原始惑星を材料として惑星系が形成したというモデルが考えられる。本研究では、円盤風の影響下で進化する原始惑星系円盤モデルを用い、岩石原始惑星からの TRAPPIST-1 惑星系の形成を調べる。具体的には、初期に岩石原始惑星を円盤に配置し、それらの合体成長及び軌道進化を追った惑星形成シミュレーションを実行する。本講演では、原始惑星の初期分布や円盤進化に関するパラメータを変えて実行したシミュレーション結果を解析し、TRAPPIST-1 系の特徴を再現する可能性について議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P321a 分光連星が持つ未知の周期変化する視線速度の起源

加藤 則行 (神戸大学 人間発達環境学研究所), 伊藤 洋一 (兵庫県立大学 天文科学センター), 佐藤 文衛 (東京工業大学 理学院)

連星に付随する太陽系外惑星の探査を目的として、岡山天体物理観測所の 188cm 望遠鏡と高分散分光器 HIDES、ヨードセルを使用し、分光連星 33 天体の視線速度を 9 年間モニター観測した。視線速度の測定精度は 10m/s である。本研究では、精密に測定した視線速度を用いることで、これら 33 天体の公転軌道要素を精度良く決定した (Kato et al. 2013, AJ, 145, 41)。この公転軌道要素を用いることで、観測した視線速度から連星の公転運動に起因する速度成分を除去できる。

残りの速度成分を視線速度残差と呼ぶ。その起源を調べるため、分光連星 33 天体の視線速度残差を周期解析した。7 天体の視線速度残差の変動は、強い周期性を示す。この 7 天体については、恒星の表面活動に起因することを明らかにした。別の 8 天体では、少なくとも未知の伴天体の公転運動で生じたものではないと結論したが、視線速度残差が大きく変動する。残りの 18 天体は、視線速度残差の変動に周期性は見られない。本講演では、視線速度残差の変動に周期性が見られる 7 天体について、それらの視線速度残差の起源を議論する。

[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](#)

P322a 若い系外惑星の軌道傾斜角測定

平野照幸, Vigneshwaran Krishnamurthy (東京工業大), Eric Gaidos (ハワイ大), 小谷隆行 (ABC/国立天文台), 田村元秀 (東京大学/ABC/国立天文台), すばる/IRD チーム

短周期の巨大系外惑星の起源を探る上で、惑星の軌道傾斜角 (ここでは恒星の自転軸と惑星の公転軸のなす角度) は貴重な観測量である。これは、短周期系外惑星の進化を記述する異なる惑星移動モデルが、惑星の軌道傾斜角の分布に対して異なる帰結を予言するためである。これまで主にトランジット惑星系に対するロシター効果の観測によって 100 を超える系外惑星系で惑星軌道の傾きが調査されているが、軌道傾斜角は大小様々なものが観測されており、観測結果をもとに短周期惑星の進化史を統一的に記述するには至っていない。軌道傾斜角の観測結果の解釈を特に複雑にしている要因として惑星系の「潮汐進化」が挙げられ、惑星と中心星との潮汐相互作用によって惑星軌道と中心星の自転軸の関係が長時間かけて徐々に変化することで惑星が現在の場所に移動してきた当時の軌道傾斜角の情報が失われる (可能性がある) ことが以前から問題となっていた。

近年、K2・TESS などの宇宙望遠鏡によるトランジット・サーベイによって星団、星形成領域での若い恒星のまわりにトランジット惑星が徐々に見つかってきているが、特に年齢が若い系外惑星系は惑星と中心星との潮汐進化を経験していないため形成時の原始的な軌道傾斜角を保持していると考えられ、短周期系外惑星の起源を紐解く上で重要な鍵となる。そこで我々は、数年前にすばる望遠鏡に搭載された近赤外分光器 IRD を用いて AU Mic, K2-25 等のいくつかの若いトランジット惑星系を観測し、軌道傾斜角を制限した。本講演ではその観測成果について報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P323a 惑星や褐色矮星の伴星が引き起こす固有運動の加速に着目した高コントラスト直接撮像探査

葛原昌幸 (ABC/NAOJ), Thayne Currie (NASA/Subaru Telescope), Timothy Brandt (UCSB), 鶴山太智 (Caltech), Olivier Guyon (Arizona/ABC/NAOJ), Jeffrey Chilcote (Notre Dame), Tyler Groff (NASA), Julien Lozi (Subaru Telescope), 田村元秀 (東大/ABC/NAOJ), Post-SEEDS チーム

直接撮像法は軌道の大きな伴星の検出に適した手法であり、その伴星の大気を調べることにも有効である。また、8m 級望遠鏡を利用した直接撮像法による軌道の大きな惑星や褐色矮星の探査も集中的に行われてきた。近年では超補償光学を利用した探査も精力的に行われている。しかし、それらの探査からは直接撮像で検出可能な、褐色矮星や比較的質量の大きな惑星の存在度はおおそ 10%以下と低い見積もりが得られている (例: Nielsen et al. 2019)。したがって、直接撮像を用いてそのような伴星を発見するためのより効果的な方法が望まれる。

我々は Gaia と Hipparcos 衛星により得られた固有運動に着目した伴星探査を進めている。伴星はその主星の固有運動を加速させるが、これら二つの位置天文衛星のデータの比較から導いた固有運動加速はその恒星が惑星や褐色矮星を保持することの予測に利用できる。我々は加速する固有運動を示す複数の太陽近傍恒星の観測に対して、超補償光学系 SCEXAO と面分光器 CHARIS による高コントラスト撮像分光観測を行った。その初めの成果として、太陽型星 HD 33632A を公転する褐色矮星伴星 (HD 33632Ab) を発見した。さらに、固有運動加速と複数回の直接撮像により得た伴星の位置変化、Lick 天文台で過去に得られていた視線速度測定を同時に解析することで伴星の軌道を制限した。その結果、HD 33632Ab の質量を木星の $46.4^{+8.1}_{-7.5}$ 倍と力学的に導出した (Currie et al. 2020)。本発表では同発見を含む固有運動加速に着目し進めている我々の直接撮像探査について報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P324a IRD-SSP による M 型星周りの惑星サーベイ：2 年目の観測状況

大宮正士 (ABC/NAOJ), 原川紘季, 工藤智幸, Sebastien Vievard (NAOJ), 平野照幸, 佐藤文衛, Teng Huan-Yu (東工大), 葛原昌幸, 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), IRD-SSP チーム

赤外線ドップラー装置 IRD とすばる望遠鏡を用いて、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を理解することを目的とした、IRD-SSP (InfraRed Doppler - Subaru Strategic Program, 2020 年春季年会 P320a) の観測は 2 年目を迎えた。2 年目の観測では、すばる望遠鏡観測の中断もあったが、主に 1 年目に進めたスクリーニング観測を継続しつつも、そのスクリーニング観測から選ばれた天体については重点的な視線速度 (RV) モニター観測を行なっていく段階に移行してきた。本講演では、IRD-SSP による惑星サーベイ観測の 2 年目の進捗を報告する。

IRD-SSP のスクリーニング観測では、事前観測 (e.g. 2016 年秋季年会 P207a) や文献値をもとに選んだ約 150 星のターゲット候補星を対象に IRD を用いた観測を行い、実視連星、高速自転星、分光連星を同定し、ターゲットから除外する。さらに、晩期 M 型矮星には RV に固有の時間変化を与える表面活動が活発な天体が多いため、IRD での RV 観測の中で、低質量の惑星まで探索することができる、自転速度が遅く表面活動が安定している星を RV モニター観測のターゲットとして選ぶ。予稿提出時点までに、125 星を 1 回以上観測してスペクトルを取得しており、60 星に対して 4 回以上の RV 観測を行なってきた。その中には、RV の固有変化が小さいと予想される星や、惑星起因の可能性のある周期的な RV 変化を示している星が多数含まれており、今後はこのような星の観測を重点的に行なっていく予定である。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P325a 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

成田憲保, 福井暁彦, 生駒大洋 (東京大学), 平野照幸 (東工大), 小谷隆行 (ABC/国立天文台), 田村元秀 (東京大学/ABC/国立天文台), MuSCAT チーム, IRD インテンシブ観測チーム, 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、2020 年 7 月までに当初の 2 年間のサーベイを終え、現在は 3 年目の延長計画に移行している。これまでに行われた 2 年間のサーベイでは、既に 2000 個以上のトランジット惑星候補が発見されている。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、世界の複数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、この発見確認観測に取り組んでいる。MuSCAT シリーズでは、2020 年 11 月までに主星のタイプを問わず 180 個以上の惑星候補に対して多色同時の減光の観測を実施した。この観測により、実際にターゲットが減光しているか、その減光の波長依存性はどうかを調べ、惑星候補が本物のトランジット惑星かどうかの判別を行っている。一方、すばる望遠鏡の IRD インテンシブ観測では、本物と確認されたトランジット惑星のうち近赤外線での視線速度測定に適した赤色矮星周りの惑星 20 個程度をターゲットとして、視線速度法によるトランジット惑星の質量の測定、同じ主星を公転する別の惑星の探索、そして大気中のヘリウムの検出・制限を目指したトランジット分光観測を行っている。本講演ではこれまでに論文が出版された TOI488、TOI732 などの観測結果と、進行中の観測の暫定的な成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](#)

P326a 重力マイクロレンズ法による惑星系の銀河系内分布への示唆

越本直季 (東京大学, NASA Goddard Space Flight Center)

重力マイクロレンズ法は惑星の存在頻度を銀河中心からの距離の関数で測定できるほぼ唯一の手法である。個々のイベントの惑星系までの距離を測定するためには、3 つある質量-距離関係を与える測定量の内、2 つ以上を測定する必要があるが、1 つしか測定できていない場合でも、多くのサンプルを用いることで、統計的に質量や距離の分布を議論することができる。3 つの質量-距離関係のうち、アインシュタイン角半径 θ_E はほぼ全ての惑星マイクロレンズイベントで精度よく測定されているため、本研究では、 θ_E の分布から惑星系の距離の分布を統計的に引き出すことを考えた。マイクロレンズの研究によく使われる銀河系の星の分布のモデル (銀河モデル) を用いて、アインシュタイン半径通過時間 t_E が与えられたときのアインシュタイン角半径 θ_E の分布 $P_{\text{Gal}}(\theta_E|t_E)$ を計算し、それと、実際に観測された 29 個の惑星イベントに対する同分布 $P_{\text{obs}}(\theta_E|t_E)$ を比較した。その結果、 $t_E < 60$ days では二つの分布はよく一致するが、 $t_E > 60$ days の 9 イベントのうち、8 イベントの θ_E の値が銀河モデルで予想される中央値よりも大きく、統計的に有意に一致しないことがわかった。銀河円盤の星の方がバルジの星よりも惑星を持ちやすいという分布をモデルに組み込むと、この不一致は解消するため、これは惑星頻度が銀河系の場所によって異なることを示す初めての証拠かもしれない。一方で、用いた銀河モデルは単純化されすぎているという問題もあるため、円盤の速度分布を Gaia DR2 の分布と比較することでアップデートしたが、不一致は解消しなかった。本講演では、これらの解析の結果や詳細を報告・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](#)

P327a *Roman* 衛星によるザララップ効果を用いた銀河中心領域の短周期惑星の検出

宮崎翔太 (大阪大学), Samson A. Johnson (オハイオ州立大学), 住貴宏 (大阪大学), Matthew T. Penny (ルイジアナ州立大学), 越本直季 (東京大学), 山脇翼 (大阪大学)

重力マイクロレンズ現象は、背景天体 (ソース天体) の前を前景の天体 (レンズ天体) が通過する際に、レンズ天体の重力でソース天体の光が曲げられることにより一時的に増光する現象である。一般的な重力マイクロレンズ法では、レンズ天体に付随する惑星がソース天体の光に重力的に影響を及ぼした際に生じる光度曲線の偏差を観測することで惑星を発見する。そのことから、レンズ主星のアインシュタイン半径 R_E (\sim 数 au) 付近の惑星に最も検出感度が高く、そこから離れるに従って惑星の検出感度は徐々に落ちていくため、一般的に短周期惑星には検出感度がかなり低い。2020 年代に NASA が打ち上げ予定の *Roman* 衛星 (The Nancy Grace Roman Space Telescope) は、銀河中心方向のマイクロレンズサーベイ観測を行い、雪線以遠の系外惑星を約 1400 個発見すると見積もられている (Penny et al. 2019)。

ソース天体に伴星が付随していた場合、ソースはその共通重心周りを公転運動する。その結果、それが無い場合と比べて増光率の変化にズレが生じる。これをザララップ (Xallarap) 効果と呼ぶ。我々は、このザララップ効果を用いることでソース天体に付随する惑星質量の天体を検出できるのかを解析的に調べた。また、*Roman* 衛星の観測シミュレーション (Penny et al. 2019; Johnson et al. 2020) と組み合わせる事で、ミッション期間中にザララップ効果によって発見される系外惑星の検出数、及び、その物理量分布を推定した。ザララップ効果によって発見される系外惑星は、主に銀河中心領域にある短周期惑星であり、他の方法では検出する事が難しい。

本講演では、その解析手法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](#)

P328a XMM-Newton 衛星による系外惑星 HD 189733b の大気密度分布の調査

森岡夏未, 上塚奈々絵, 山内茂雄 (奈良女子大学), 信川久実子 (近畿大学)

現在の系外惑星研究は、系外惑星の発見だけでなく、その性質や環境、大気を知ることが重要とされている。惑星大気の情報を知るための有効な方法が、トランジット観測である。系外惑星が大気を持つ場合、恒星からの光は大気中の原子や分子により散乱、吸収を受ける。惑星大気を透過した光のスペクトル解析から、惑星大気の組成などの情報が得られると注目されている。

Poppenhaeger et al. (2013) は HD 189733 系を X 線観測し、初めて X 線によるトランジット観測に成功した。X 線によるトランジットの深さは、可視光によるトランジットの深さより大きくなり、惑星の大気が可視光半径よりも大きく広がっていることが指摘された。

私たちは、XMM-Newton 衛星の X 線、紫外線データを用いて、HD 189733b のトランジット観測を行った。X 線トランジットの深さは可視光よりも大きい、紫外線トランジットの深さは可視光と同程度であることを、2020 年春季年会で報告した。続いて、X 線の透過光スペクトルを用いて、広がった惑星大気による吸収の効果を調べた。Salz et al. (2016) と Odert et al. (2020) が提唱した HD 189733b の大気密度分布モデルから、H、He、重元素の柱密度を計算して、大気による吸収を考慮した透過光スペクトルモデルと観測データとの比較を行った。その結果、観測データは Salz et al. (2016) のモデルの 150–3500 倍、Odert et al. (2020) のモデルの 20–650 倍の吸収が必要であることを確認した。本講演では、X 線スペクトル解析の詳細な結果を報告する。この結果は、X 線観測が系外惑星大気の密度測定に有効であることを示している。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P329a ホットジュピターの大気蒸発過程における恒星風の影響

三谷啓人（東京大学），仲谷峻平（理研），吉田直紀（東京大学）

主星の近くを公転するガス惑星であるホットジュピターには大気が散逸するものが存在することがトランジット観測によって明らかになっている (Ehrenreich et al. 2015)。こうした大気散逸は主星からの高エネルギー放射による加熱がもたらす流体力学的散逸であると考えられている (Murray-Clay et al. 2009)。近年の1次元の流体シミュレーションによって主星が強い恒星風を持つ場合には散逸する大気が押し込められ、散逸量が減る可能性が示唆されている (Vidotto & Cleary 2020)。実際のトランジット観測の解釈には恒星風の影響を取り入れた多次元計算が必要となるが、散逸大気と恒星風を同時に計算した輻射流体計算は行われていなかった。

恒星風によるホットジュピターの惑星大気散逸過程の変化を明らかにするために非平衡化学反応を含む2次元輻射流体計算を行った。主星からの Extrem-Ultraviolet (EUV; > 13.6 eV) の輻射輸送を ray-tracing によって計算し、EUV による水素原子の光電離加熱を導入したコード (Nakatani et al. 2018a) を用いた。主星からの EUV flux 及び恒星風強度はスペクトル型や年齢に依存する。太陽型星以外にも若く EUV 放射や恒星風が強い場合についても計算を行った。

本講演では惑星大気構造への恒星風の影響及びその主星パラメータに対する依存性について発表する。惑星大気散逸率は太陽の1000倍以上の強い恒星風でない限りは恒星風によってあまり変化しない一方で、ライマンアルファ輝線の transit depth は恒星風が太陽の10倍になるとおおよそ半分になることがわかった。また、大気散逸に寄与すると考えられている上記の EUV による加熱に加えて、Lyman-Werner photons ($11.2\text{eV} < E < 13.6\text{eV}$) による水素分子の pumping に伴う加熱が与える大気散逸における影響についても議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Q01a The Location of the Western Part of the Galactic Center Lobe

M. Tsuboi (ISAS), T. Tsutsumi (NRAO), Y. Kitamura (ISAS), R. Miyawaki (J.F. Oberlin Univ.), A. Miyazaki (JSF), and M. Miyoshi (NAOJ)

The Galactic Center Lobe (GCL) is a famous peculiar object apparently protruding from the Galactic plane toward the positive Galactic latitude, which had been found in the early days of the radio observation of the Galactic Center (GC). The peculiar shape has been expected to have some relation with historical events in the GC, for example, the large explosion making “Fermi Bubble”. However, the issue whether the GCL is a single large structure located really in the GC region has not yet solved conclusively. In the previous observations, the silhouette against the low frequency emission was found only in the western part of the GCL (WPGCL). This suggests that the part is located at least on the near side of the GC region. On the other hand, the LSR velocity of the radio recombination line was reported to be $\sim 0 \text{ km s}^{-1}$. These results alone cannot determine the real position on the line-of-sight. The WPGCL can be just in the near side area of the GC region or can be neighboring us. In order to distinct these possibilities, we compared these results with the visual extinction map toward the GC and found that the distribution of the visual extinction larger than 4 mag clearly corresponds to the low frequency silhouette of the WPGCL. Therefore the WPGCL must be located at most within a few kpc from us and not in the GC region. In the case, the WPGCL would be a giant HII region in the Galactic disk.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Q02a ペルセウス座分子雲領域の視線上に重なった二成分の磁場構造

土井 靖生 (東大総文)

ペルセウス座分子雲方向の可視偏光観測では、偏光方位角の大きく異なる二成分が分子雲中に混在して観測されることが知られている (Goodman et al.1990)。我々は偏光観測された各星までの Gaia 視差に基づく距離を調べ、偏光角の二つの成分が、視線上の距離の異なる二つのダスト雲をトレースしていることを明らかにした。

二成分の内、一方の成分は偏光率が高く、距離 300 pc のペルセウス座分子雲中の磁場をトレースする。もう一方の成分は偏光率が低く、距離 150 pc の前景雲の磁場をトレースをする。前景の雲は可視減光が 1 mag 未満と薄く、同じ距離にあるおうし座分子雲の外縁に当る。

ペルセウス座分子雲とおうし座分子雲の間には、直径 100 ~ 160 pc のダストキャビティが存在し、これは一般的に Per OB2 アソシエーションと関連付けられている HI シェルに対応する。ペルセウス座分子雲の方向に観測された二成分の磁場は、このダストキャビティの表裏面の磁場方位角が互いにほぼ直角に異な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](#)

Q03a 銀河系中心領域における特異分子雲 “Tadpole” の空間速度構造

金子美由起, 岡朋治, 岩田悠平, 辻本志保, 横塚弘樹 (慶應義塾大学), 竹川俊也 (神奈川大学)

銀河系中心分子層 (CMZ) には、空間的にコンパクト (≤ 10 pc) かつ極端に広い速度幅 ($\Delta V \geq 50$ km s $^{-1}$) を有する「高速度コンパクト雲 (high-velocity compact cloud; HVCC)」が多数発見されている。それらの多くは起源が未解明であるが、一部の HVCC については、「見えない」点状重力源との遭遇によって加速されたもの、若しくはその周囲を回転しているものと解釈されている (e.g., 竹川他、日本天文学会 2018 年秋季年会 Q02a)。

我々は JCMT で取得した CO $J=3-2$ 輝線サーベイデータを精査する過程で、 $(l, b) \simeq (-0.09^\circ, -0.02^\circ)$ の位置に 1 つの HVCC 様の分子雲 (“Tadpole”) を発見した (金子他、日本天文学会 2020 年秋季年会 Q02a)。この Tadpole もまた明確な駆動源を持たず、空間的にコンパクト ($S \sim 2.3$ pc) かつ広い速度幅 ($\Delta V \geq 40$ km s $^{-1}$) を有する。その空間速度構造は一様な速度勾配によって特徴づけられ、位置-速度図上で特徴的な head-tail 構造を呈する。

今回我々は、NRO 45m 望遠鏡および JCMT で取得された CO $J=1-0$, $3-2$ 輝線データを詳細に解析し、Tadpole の詳細な kinematics の把握を試みた。速度チャンネル毎に輝線強度ピーク位置を決定し、その挙動を調べた結果、それらは天球面上で一つの円弧上に配列し、視線速度は円弧に沿って単調に変化することが分かった。この事は、Tadpole の kinematics が一つの軌道によって説明できる可能性を明確に示している。本講演では、Tadpole の詳細な解析結果を報告するとともに、得られた kinematics への Kepler 軌道のフィット結果から示唆される、この特異分子雲近傍に潜む巨大かつ「見えない」点状重力源の存在について議論する。

[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](#)

Q04a 銀河系中心部の Bania's Clump 2 における分子雲衝突の定量調査

松永健汰¹, 立原研悟¹, 榎谷玲依², 福井康雄¹ (1: 名古屋大学, 2: 慶應義塾大学)

銀河系中心部には、bar potential に起因した複数の分子雲ストリームが存在する。Kumar & Riffert (1997) は、ストリームの交差点において起こる分子雲衝突によって、数十 km s $^{-1}$ にも及ぶ大速度分散がこの領域で観測される可能性を指摘している。Bania's Clump 2 (BC 2; Stark & Bania 1986) は、質量 $3.8 \times 10^7 M_\odot$ 、サイズが ~ 120 pc で、100 km s $^{-1}$ を超える大速度分散を持つ銀河系中心部でも特に複雑な速度構造を持つ分子雲複合体である。我々は今回、大速度分散とストリームの関係を探るため、この領域に対して初めて分子雲衝突の可能性を定量的に検証した。JCMT で得られた分解能 $15''$ (~ 0.6 pc) の $^{12}\text{CO}(J=3-2)$ データ (Eden et al. 2020) を使用して解析を行った。 $b < 0$ で銀河系中心に向かって流れる分子雲ストリーム L3 (Liszt 2008) と、BC 2 の $b > 0$ 側が、銀河面をまたいで空間分布図上で 10 pc に渡るブリッジ構造で繋がった構造である事を発見した。また、 $b > 0$ 側のブリッジ先端では、BC 2 の速度帯に存在する中心速度 75 km s $^{-1}$ 分子雲と、ブリッジから流れ込んできたと考えられる 125 km s $^{-1}$ 分子雲間に、分子雲衝突の兆候と考えられる空間分布図上の相補的分布と、位置速度図上での V 字構造を発見した。CO 3-2/1-0 比は 0.7 程度で、 $^{12}\text{CO}(J=1-0)$ から導出された L3 と BC 2 分子雲の柱密度はそれぞれ 1.7×10^{22} cm $^{-2}$, 3.3×10^{22} cm $^{-2}$ 、質量は $6.8 \times 10^5 M_\odot$, $1.6 \times 10^6 M_\odot$ で、サイズは 10 pc 程度である。1.1 mm のダスト連続波では、この分子雲に付随する数 pc の広がった構造が見られたが点源としては検出されておらず、付随する HII region やメーザー点源も確認されなかった。以上の事から、この領域では分子雲ストリーム L3 由来の分子雲が、BC 2 に向かって流入した事で分子雲衝突が引き起こされたが、この衝突による星形成は誘発されなかったと考える。

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

Q05a 原始大質量星候補 IRAS 05358+3543 の形成

山田麟, 立原研悟, 福井康雄 (名古屋大学), 佐野栄俊 (国立天文台), 藤田真司, 西村淳 (大阪府立大学), 河野樹人 (名古屋市科学館)

大質量星の形成機構について多くの論争がつづいてきた。一つの立場は、大質量の高密度ガス雲を初期条件として重力収縮を数値計算し、大質量星形成に至ることを実証する手法である (e.g., McKee & Tan 2003; Krumholz et al. 2007)。この手法で仮定された初期条件は半径 0.1 pc 以内に $100 M_{\odot}$ のガスが集中した状態であり、原始大質量星候補 IRAS 05358+3543 (e.g., Beuther et al. 2009) などが観測的な根拠とされた。しかし、このような大質量ガス塊の形成機構は今まで追究されていなかった。我々は、IRAS 05358+3543 を含む Sh 2-233 領域について SMT によって得られた CO($J = 2-1$) のデータ (Bieging et al. 2017) を詳細に解析し、この領域の分子雲が 20 pc を超えるフィラメント状に分布し、その中の最も卓越した 1 pc 以下のサイズを持つ分子雲コアに IRAS 05358+3543 が付随することを見出した。さらにこのフィラメントを挟んで南西部と北東部に 3 km s^{-1} 程度の速度のギャップがあり、フィラメントがその境界に位置することを明らかにした。以上の結果は、2つの速度の異なる分子雲が衝突し、ガス雲を圧縮したことによって分子雲コアを形成したと解釈することができる。上の先行研究では考慮されなかった分子雲の衝突が IRAS 05358+3543 の形成の必要条件であることが示唆され、分子雲衝突の役割の重要性があらためて指摘される (cf. Fukui et al. 2021)。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Q06a NRO Local Spur CO サーベイプロジェクト: こぎつね座 OB アソシエーションにおける巨大分子雲と星形成

河野樹人 (名古屋市科学館), 西村淳, 藤田真司, 大西利和, 上田翔汰 (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, 鳥居和史 (国立天文台), 半田利弘 (鹿児島大)

こぎつね座 OB アソシエーションは、銀河面 $l \sim 60^{\circ}$ にある 3つの HII 領域 Sh 2-86, Sh 2-87, Sh 2-88 から構成される大質量星形成領域である。太陽系からの距離は 2.0 kpc で、天の川銀河の腕間領域である Local Spur に位置することが示唆されている。我々は、渦状腕間における巨大分子雲と星形成メカニズムの解明を目指して、NRO Local Spur CO survey プロジェクトの一環として、 ^{12}CO , ^{13}CO , C^{18}O $J=1-0$ 輝線の広域観測を行った。観測は、FOREST 受信機を用いて 2018 年 12 月から 2019 年 2 月にかけて行われた。

解析の結果、分子雲はおよそ 110 pc にわたって分布し、全分子ガス質量は $\sim 2 \times 10^5 M_{\odot}$ であった。高密度領域を捉える C^{18}O は、OB アソシエーション内部の 3つの星形成領域 Sh 2-86, Sh 2-87, Sh 2-88 に集中して存在し、速度方向の解析からこぎつね座 OB アソシエーション全体が、局所腕と、いて腕の渦状腕間に相当する Local spur に付随することがわかった。さらに分子雲と Young Stellar Object (YSO) の空間分布の比較を行った結果、YSO は、柱密度 $N(\text{H}_2) > 2 \times 10^{22} \text{ cm}^{-2}$ の値を持つ 3つの HII 領域で集中した分布を持つことから、巨大分子雲内部の 3 領域で星形成が活発に進行している可能性が高い。特に最も大質量星形成が活発な Sh 2-86 領域では、長さ $\sim 30 \text{ pc}$ 、幅 $\sim 5-10 \text{ pc}$ 、質量 $\sim 5 \times 10^4 M_{\odot}$ の速度の異なる 2つのフィラメント状分子雲を新たに発見した。本講演では、これらのフィラメント状分子雲及び OB 型星の形成起源と、銀河構造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](#)

Q07a 大質量星形成領域 Sagittarius B2 (N1) の降着円盤と双極分子流における CH₃NCO の検出

出岡恭一 (東京理科大学), 荒木光典 (東京理科大学), 大野有紀 (東京理科大学), 小山貴裕 (東京理科大学), 高野秀路 (日本大学), 久世信彦 (上智大学), 築山光一 (東京理科大学)

イソシアン酸メチル CH₃NCO はペプチド結合の骨格である NCO 構造を有することで前生物学的分子として着目されている。炭素数の少ない HNCO に対する存在量比 [CH₃NCO]/[HNCO] は彗星 67P/Churyumov-Gerasimenko では 4.33 (Goesmann et al. 2015) と大きく、分子雲では例えば Sagittarius (Sgr) B2 (N) では 0.02–0.03 (Halfen et al. 2015) と小さい。Majumdar ら (2018) のモデル計算により、CH₃NCO が塵表面生成でこの違いは説明できることが示された。大野らは野辺山 45m 望遠鏡を用いて、Sgr B2 (M) でこの存在量比を求め、モデルに対応する値を得ている (天文学会 2020 年春季年会 Q35a)。そこで今回はさらにモデルの検証を進めるため、ALMA のデータアーカイブを用いて、塵表面から脱離した CH₃NCO を捉えるため、Sgr B2(N1) の中心部のみに注目して CH₃NCO の分布と速度構造、それらに対応した温度と存在量比を調査した。94~113 GHz の帯域で $J = 11-10$ 、 $12-11$ 、 $13-12$ の回転遷移を振動基底状態から 13 本、低い内部回転振動励起状態 ($v=1$) から 11 本検出できた。解析の結果、回転温度はほとんどの部分で 40 K 以上となった。コアの外周部も含めて測定した Halfen らの結果と比較して、中心部の CH₃NCO は高温であることがわかった。コア中心部の視線速度の解析により、双極分子流と降着円盤上に CH₃NCO が分布することもわかった。コア中心部で CH₃NCO が塵表面から放出されるとする Majumdar らのモデル計算の描像と矛盾なく、CH₃NCO の塵表面生成を示唆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](#)

Q08a ASTE-10m 望遠鏡による 500 GHz [CI] 輝線の銀河系中心全面イメージング: 超新星残骸 Sgr A East に付随する [CI]-bright Ring の発見

田中邦彦 (慶應大)

中性炭素原子 (C⁰) は分子雲中で観測可能なもっとも豊富な原子/分子種の一つであり、幅広い環境下で有効な分子雲の質量トレーサーとしても期待されている。本講演では、ASTE 10-m 望遠鏡を用いて行った 500 GHz [CI] 輝線の銀河系中心全面イメージングをもとにした、銀河系最中心部 1–100 pc 領域での C⁰ 存在量測定の結果を報告する。[CI] 輝線と CO の複数輝線を用いた non-LTE 観測の結果、(1)[CI] 輝線は密度 10³ cm⁻³ 程度の低密度成分を主にトレースしている (2) 銀河系中心領域の C⁰ 存在量 (~0.3) は円盤部の 2–3 倍程度である (3) 中心核周囲円盤 (CND) では [C⁰]/[CO] 比が 1 を越え、streamer のかなりの割合が CO-dark な低密度成分に担われている、等を発見/確認した。さらに、[C⁰]/[CO] 比が 0.7 程度の領域が、超新星残骸 Sgr A East の電波シェルを取り囲むリング状に分布していることが新たに見出された。主成分解析の結果、[CI] と同様の分布傾向は CN にのみ見出され、衝撃波トレーサーや紫外線強度との明らかな相関は見られない。これをもとに、[CI]-bright Ring の起源として、超新星残骸-分子雲相互作用で加速された低エネルギー宇宙線による解離、あるいは超新星爆発によって掃き集められた分子雲シェル中での primitive な化学組成の可能性を議論する。

[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](#)

Q09a ALMA ACA 観測で明らかにする ρ Oph A PDR における [C I] 放射の 2 つの起源

山岸 光義 (ISAS), 川邊 良平, 中村 文隆, 鎌崎 剛, 島尻 芳人, 野村 英子 (NAOJ), 竹腰 達哉 (北見工大), 徳田 一起 (大阪府大/NAOJ)

炭素は宇宙における主要元素の 1 つである。そのため星間空間における炭素の振る舞いを理解することは、星間物質の進化を調べるうえで重要である。炭素の 1 階電離エネルギーは 11.3 eV であり、古典的な plane-parallel PDR モデルによると、炭素原子は PDR のみに存在し、CO 分子とは相補的な空間分布を示すと期待される。一方、これまでの銀河系内の星形成領域に対する [C I] 観測では、[C I] と CO の空間分布はよく一致しており、clumpy な構造によって分子雲内部で中性炭素が生成されていると解釈されてきた。このように、PDR 内部の構造や、[C I] 放射が PDR 内の何を反映しているのかは、いまだ十分に解明されていない。

我々は、ALMA Cycle 6 で ACA stand alone mode (7m+TP array) を用いて、 ρ Oph A PDR ($d=137$ pc) に対して [C I] を空間分解能 $2.''5$ (300 au) で観測した。 ρ Oph A PDR は、先行研究で CO 選択的光解離による層状構造が検出されており (Yamagishi et al. 2019)、plane-parallel PDR 構造を持つと期待される。解析の結果、PDR の shell 構造に付随した [C I] 放射が検出された。この放射は、Spitzer 4.5 μm (H II 領域)、 C^{18}O (分子雲) と相補的な空間分布をしており、plane-parallel PDR から期待される通りの空間構造を示すことが分かった。この結果は、[C I] 放射が確かに PDR 内の光解離反応由来であることを示している。さらに ρ Oph A PDR には、観測視野全体にわたって広がって分布する [C I] 放射も存在することが分かった。こちらの成分は、視野内で一定の強度を持ち、視線速度が shell 成分とはわずかにずれていることがわかった。よって、[C I] 放射は、PDR からだけでなく、局所的な UV の影響を受けていない、比較的低密度なガスからも放射され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](#)

Q10b NH_3 分子輝線と赤外線に基づく異なる星形成段階の星間雲の温度分布

山賀響, 濤崎智佳, 小田川琢郎, 松島理恵, 木村圭太, 本田愛莉, 栗林宏充, 亀谷彩布美, 平田真大, 横山千賀子 (上越教育大), 金子紘之 (上越教育大/国立天文台)

星形成を理解するために、星が生まれる環境を知ることは非常に重要である。星形成の場となる星間雲では星間ガスと星間微粒子 (ダスト) が存在している。これらの温度は、その性質や星形成の進化段階等と密接に関係しており、非常に重要なパラメータである。本研究では、さまざまな星形成段階にある星間雲に対して、国立天文台野辺山 45m 電波望遠鏡を用いて、20GHz 帯にある NH_3 分子輝線のエネルギー準位 (J, K)=(1, 1), (2, 2), (3, 3) の観測を行った。対象とした天体は、L134N, Orion-B, NGC7538 (2 領域), DR21, M17SW, M17SWex, M17-0 度領域, Orion-KL, W28 に付随する 10 個の分子雲 (距離は 60 – 2800pc) である。観測では、 H_2O メーザー、 $\text{H}81\beta$ も同時に取得している。この周波数での角分解能 $80''$ は各々の天体では 0.02 – 1.1pc に相当する。

取得された各観測点のピークアンテナ温度、ピーク速度、速度幅を測定し、これらの観測量から、光学的厚さ、温度、柱密度などを導出、その分布を得た。さらに、ハーシェル宇宙天文台が観測した 70 – 500 μm の赤外線データを用いて、各波長とその強度をプランクの放射式に近似することによってダストの温度分布を導出した。 NH_3 分子輝線と赤外線と求めたガスとダストの温度分布を比較すると、各天体で両者とも温度が導出できたところではほぼ同じ温度を示しており、温度の変化も同じような傾向を示していた。これは、ガスとダストは、このスケールでは、大局的には熱平衡にあることを示唆している。しかし、一部の領域、例えば NGC7538 のダスト温度が 25K を超えるような高温領域では NH_3 (1,1) が有意には検出できず、温度を求めることができなかった。これは、加熱源となるような大質量星の形成によってガスの解離・消費が起き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](#)

Q11a Kepler 超新星残骸における星周物質の非等方な空間分布

春日知明 (東京大), Jacco Vink (University of Amsterdam, API, GRAPPA), 勝田哲 (埼玉大), 内田裕之 (京都大), 馬場彩 (東京大, RESCEU)

超新星爆発の性質や当時の周辺環境の様子を探る上で、星周物質の分布や速度構造は重要な手がかりとなる。若い Ia 型の Kepler 超新星残骸 (SN1604) はその輝度分布が非一様であることに加え、爆発噴出物の運動状態についても非等方性が報告されている (Sato & Hughes 2017, Kasuga et al. 2018)。一方で星周物質も濃く分布しており (Katsuda et al. 2015)、速度構造を比較することで噴出物の非等方性の要因に近づくことができると考えられる。

我々は、窒素や酸素といった星周物質由来の K 輝線の X 線分光解析について現在のところ最も適した検出器である、*XMM-Newton* 衛星搭載の RGS 検出器を用いて、星周物質の空間分布を調べている。前回の発表 (春日 20 秋) では、検出器の特性から天体を検出器の分散軸に垂直な南北方向に短冊状に分割して速度構造を調べ、球対称な速度構造では説明できないことを明らかにした。今回は、解析方法を工夫することで天体中央の短冊を分散軸方向の東西にも分割することで、外縁構造と中心構造の速度構造を切り分けて議論し、中心構造では星周物質も噴出物も共に相対的に北西部が青方偏移し南東部が赤方偏移しているという、似た非等方性を示すことを発見した。一方で絶対的な視線速度に注目すると、噴出物のみならず赤方偏移の傾向を示すなど、二つの成分で違いも見られる。本講演では噴出物の運動状態が星周物質と相関している領域としていない領域の双方で、そ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](#)

Q12a 過電離プラズマ成因解明に向けた超新星残骸 IC 443 の空間分解解析

尾近流行, 田中孝明, 内田裕之, 鶴剛 (京都大), 瀬田益道 (関西学院大), 國生拓摩 (名古屋大)

近年の観測研究により、従来の超新星残骸 (SNR) 進化の描像に反する再結合が優勢な過電離プラズマが、10 以上の SNR から発見され、その存在は特異なものではなくなりつつある。我々は、これまでに過電離プラズマが検出された SNR に対し、プラズマの状態と相互作用する星間ガスを場所ごとの比較することで、過電離状態が分子雲からの急冷却により生成したこと (e.g., W44; Okon et al. 2020)、そして SNR の断熱膨張に伴う急冷却に起因したこと (W49B; Yamaguchi et al. 2018) を示唆する証拠を得た。SNR における過電離プラズマの生成・進化の包括的な理解のためには、より多くの過電離 SNR に対して成因を調べるとともに、それらの比較が鍵を握る。

IC 443 は、過電離プラズマが検出された SNR の一つである (Yamaguchi et al. 2009)。電波や赤外線観測 (e.g., Kokusho et al. 2020) から付随する分子雲の分布が詳細に調べられており、プラズマと周囲のガス分布の比較に適した天体である。これまでに、すざく衛星を用いた観測から、分子雲と衝突する領域でプラズマの温度が低くなる傾向を発見した (Matsumura et al. 2017)。そこで、すざく衛星 (HPD: 2 分) と比較して空間分解の良い *XMM-Newton* 衛星 (HPD: 15 秒) で取得したデータを用いて、より詳細な空間ごとの比較を行った。その結果、これまでに報告されてきた電子温度の傾向に加え、プラズマが分子雲との衝突領域で小さな再結合のタイムスケール (n_{et}) を示すことがわかった。さらに、電子温度とこのタイムスケールから求まる電離状態を調べたところ、強い過電離状態を示すことを発見した。これら事実、分子雲からの急速な冷却により過電離プラズマが形成された可能性を強く示唆する。本講演では、解析結果の詳細とそれに基づく IC 443 の過電離プラズマの成因について議論を行う。また、他の過電離 SNR との比較から過電離プラズマと SNR の進化の関連について報告する。

[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](#)

Q13a X線天文衛星「すざく」を用いた超新星残骸 W49B の再結合優勢プラズマの観測

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

W49B は、電波シエルの内側に中心集中した X 線放射が観測される複合形態型超新星残骸である。近年、多くの複合形態型超新星残骸で、通常の超新星残骸には見られない電離よりも再結合が優勢な再結合優勢プラズマ (RP) を持つことが確認されている。「すざく」衛星のデータから、RP において顕著である放射再結合連続放射 (RRC) が発見され、W49B は RP を持つことが明らかにされた (Ozawa et al. 2009, ApJ, 706, L71)。RP の起源は未だ不明であり議論が続いている。従来モデルでは、超新星爆発から十分時間を経て電離と再結合の進行度合いが釣り合った電離平衡状態から、RP へ移行したと仮定する解析が行われている (e.g., Yamaguchi et al. 2018, ApJ, 868, L35; Holland-Ashford et al. 2020, ApJ, 903, 108)。しかし、このモデルでは初期温度が 5 keV に至るほどの高温であり、これほど高い温度の電離平衡プラズマを持つ超新星残骸は見られないという問題がある。

W49B と同様に RP を持つ IC 443 では、元素ごとに初期電離状態が電離平衡ではないモデルが提案されている (Hirayama et al. 2019, PASJ, 71, 37)。私たちは、Hirayama et al. (2019) のモデルを用いて W49B のスペクトルの解析を行った。ここで、W49B の RP において重要となる鉄輝線と鉄の RRC 構造の検出のため、これらの高エネルギー帯域で高感度を持つ「すざく」衛星を解析に用いた。この衛星による W49B の先行研究では、高エネルギーバンドのみの解析が行われているが、私たちは低エネルギーバンドも含めた 0.8–12.0 keV の広範囲の解析を行った。解析の結果、このモデルでもスペクトル全体を再現できることがわかった。講演では、解析結果の詳細について報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Q14a 超新星残骸 W28 における過電離プラズマの生成機構の研究

火物瑠偉 (奈良教育大学), 信川正順 (奈良教育大学)

W28 は $(l, b) = (6^\circ.4, -0^\circ.1)$ の銀河中心近くに位置し、直径 ~ 30 pc の超新星残骸 (SNR) である。近年、W28 に付随するプラズマが再結合が優勢な過電離状態 (RP) であることが発見された (Sawada & Koyama 2012)。通常の衝撃波加熱では過電離状態になり得ないことから、その成因として、爆発衝撃波が高密度星周物質 (CSM) から希薄な星間物質 (ISM) への伝播による断熱膨張 (Sawada & Koyama 2012) や、分子雲との相互作用による熱伝導 (Zhou et al. 2014; Okon et al. 2018) が提案されており、議論が続いている。一方で、これらの研究で使われた RP モデルは、RP 遷移前に電離平衡状態 (CIE) を仮定している。SNR のプラズマは希薄であり、大半の期間は電離非平衡状態であるだろう。実際に Hirayama et al. (2018) では IC443 のスペクトルを調べ、RP 遷移時に元素間で電離温度が異なる、すなわち電離非平衡であることを示した。

そこで、我々は IC443 のモデルを用いて、W28 の RP 遷移時の電離状態を調べた。すざくのアーカイブデータを用いた。一部は先行研究で使用されている (Sawada & Koyama 2012; Okon et al. 2018)。

まず最も統計量の良い中心領域のスペクトルに従来の元素毎の電離温度 kT_e 共通モデルを用いて解析を行った。続いて、元素間で異なる kT_e を用いた新しいモデルを試したところ、フィット結果が大幅に向上した ($\chi^2/\text{d.o.f} = 3267/447 \rightarrow 588/422$)。RP 遷移時の kT_e の Ne, Mg, Si, S はそれぞれ ~ 0.4 , ~ 0.7 , ~ 1.0 , ~ 1.3 keV であった。さらに Fe は K 輝線帯域と L 輝線帯域で別々の成分が必要であり、それぞれ RP 遷移時の kT_e が ~ 0.8 , ~ 5 keV であった。これらから、元素間の電離状態に違いがあることが明らかとなった。他の領域についても解析したところ、同様の違いがあることを確認できた。本講演では解析の詳細と結果を報告し、RP の成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](#)

Q15a 付随するコンパクト天体の運動を用いた超新星残骸の年齢推定の信頼性評価

鈴木寛大、馬場彩 (東大理)、柴田晋平 (山形大)

一般の超新星残骸に対して推定できる年齢には、衝撃波速度と衝撃波半径などから求められるダイナミカルな年齢と X 線プラズマのスペクトル解析から推定できるプラズマ年齢がある。しかしこれらには進化モデルなどの仮定が必要なため、年齢推定の信頼性の定量的な評価はできなかった。信頼できる年齢が知られているのは、超新星爆発の記録が残されている歴史的超新星残骸 9 天体のみである (Green & Stephenson 2003)。

本研究では、超新星残骸にコンパクト天体が付随しかつコンパクト天体の固有運動が分かっている系 8 個に着目し (Popov & Turolla 2012; Ng & Romani 2007; Hobbs et al. 2005)、超新星残骸の爆発中心の座標を推定することにより運動学的年齢 (爆発中心から現在の座標までコンパクト天体が移動するのにかかった時間) の定量的・系統的な推定を初めて行った。この年齢推定法は単純で仮定もほとんどなく、信頼できると考えた。爆発中心の推定には、電波連続波、X 線、または赤外線で見られる超新星残骸の衝撃波の形状を楕円でモデリングする手法をとり、衝撃波シェルが欠けた天体を含めて推定に成功した。求められた運動学的年齢は ~ 13 – 350 kyr に広く分布する。運動学的年齢を求めた上記の天体と年齢が知られた歴史的超新星残骸を合わせた 18 個を用い、信頼できると考えた運動学的年齢または真の年齢に対し、超新星残骸のダイナミカルな年齢とプラズマ年齢、付随するコンパクト天体のパルス周期変化率から決まる特性年齢を定量的に比較した。その結果、超新星残骸のダイナミカルな年齢とプラズマ年齢は ~ 4 倍のファクターの範囲内で運動学的年齢または真の年齢と一致することが分かった。一方、先行研究と同じく (e.g., Nakano et al. 2015)、付随するコンパクト天体の特性年齢は他の手法で求めた年齢と比べて ~ 4 倍以上大きいケースがいくつか見られ、系統的に大きい可能性がある。

[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](#)

Q16a ティコの超新星残骸における数年単位での電子温度上昇領域の発見

松田真宗、内田裕之、田中孝明、鶴剛、尾近流行、天野雄輝、佳山一帆、小柴鷹介 (京都大学)

近年、いくつかの若い超新星残骸 (SNR) において、局所的な領域における X 線放射の時間変動が発見されており、衝撃波などが粒子にエネルギーを与える様子をリアルタイムで観測する有効な手段として注目されている。その 1 つとして、我々は Chandra 衛星の 2003 年、2007 年、2009 年、2015 年の観測データを用いて、ティコの SNR (Tycho) 西部の縞状構造に注目し、非熱的 X 線放射の時間変動を発見した (Okuno et al. 2020, Matsuda et al. 2020)。そして今回、領域を Tycho 全体に拡張して時間変動探索を行ったところ、3 箇所の knot 状の熱的放射が 2003 年から 2015 年の間に増光していることを発見した。これらはいずれも大きさが 2 秒角程度であり、SNR 北東部のリム付近に位置する。また、スペクトルは $\lesssim 1.5$ keV の低エネルギー帯域において顕著なフラックスの増加があった。knot 構造を星間物質由来と仮定したモデルでフィッティングした結果、スペクトルをよく再現することができ、一部の knot 構造の電子温度は、2003 年から 2015 年の間に ~ 0.45 keV から ~ 0.7 keV まで上昇していることがわかった。これを受け、knot 構造と H α 輝線放射のイメージを比較すると、非常に良く相関していることがわかった。この領域における H α 輝線は、順行衝撃波と星間空間の中性ガスが相互作用して放射すると考えられている (Ghavamian et al. 2000, Knežević et al. 2017)。熱的 X 線プラズマの局所的な時間変動は Cassiopeia A でも見つかっており、数年単位での電子温度上昇 (Rutherford et al. 2013) や可視光帯域との相関性 (Patnaude & Fesen 2007, 2014) という点でも類似している。本講演では、解析結果の詳細について述べ、先述の先行研究との比較を交えて時間変動の成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](#)

Q17a 超新星残骸 J0453.6–6829 における He 様酸素からの強い禁制線の発見

小柴鷹介、内田裕之、田中孝明、鶴剛、尾近洗行、天野雄輝、佳山一帆、松田真宗(京都大学)

超新星残骸 (SNR) の X 線スペクトルから元素組成比やプラズマ温度、電離状態などを正確に測定するためには、放射過程への正しい理解が必要である。近年、分子雲と相互作用している SNR において、電荷交換反応 (CX; Katsuda et al. 2012) や共鳴散乱反応 (RS; Amano et al. 2020) の兆候が示されている。本研究では、He 様酸素 $K\alpha$ (OVII He α) 線に着目し、禁制線や共鳴線を分光できるエネルギー分解能を持つ XMM-Newton 衛星搭載の反射型回折格子 (RGS) を用いて、SNR J0453.6–6829 の解析を行った。SNR J0453.6–6829 は、大マゼラン星雲に位置する重力崩壊型 SNR である (Lopez et al. 2009)。また、CX や RS が報告されている SNR と同様に、分子雲と相互作用していることが示唆されている (McEntaffer et al. 2012)。我々は RGS のスペクトル解析から、OVII He α 線の禁制線/共鳴線の強度比 (f/r 比) が $1.06^{+0.09}_{-0.10}$ を示し、多温度のプラズマのみではこの f/r 比が説明できないという結果を得た。この f/r 比を説明する物理過程として CX が有力である。CX は再結合反応により禁制線の強度が大きくなるため、SNR における標準的なプラズマの熱的放射に比べて、He 様イオンの f/r 比が大きくなる。そこで我々は、CX モデルを追加してスペクトル解析を行った。その結果、OVII He α 線の共鳴線や禁制線をよく再現したが、OVIII Ly β の輝線に大きな残差が見られた。また、今回の f/r 比を説明する他の物理過程として RS なども有力である。RS は振動子強度の大きい共鳴線が吸収されることで共鳴線の強度が小さくなるため、f/r 比が大きくなる。本講演では、RGS のスペクトル解析の結果を報告し、J0453.6–6829 において CX や RS の可能性を議論する。

[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](#)

Q18a NuSTAR 衛星による RX J0852.0-4622 の北西衝撃波の空間分離スペクトル解析

佐々木寅旭、勝田哲、寺田幸功、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。RX J0852.0-4622 は、北西と南東部分において、衝撃波加速を活発に行っている Bilaterally symmetric SNRs (BSNRs) である。SN 1006 や G1.9+0.3 といった BSNRs のエネルギースペクトルにおけるカットオフエネルギーは、対象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分かっており、この依存性は、加速効率が衝撃波と磁場のなす角 (obliquity) に依存することを新たに示唆する。また RX J0852.0-4622 の動径方向については、2-10 keV の帯域において、衝撃波内部に向かうほどスペクトルが、ソフトになることが分かっている。RX J0852.0-4622 において 20 keV までの硬 X 線帯域では、Suzaku 衛星による北西端全域に対するスペクトル形状解析があるが、空間分布はまだ調査されていない。

今回、硬 X 線帯域に感度を持ち撮像能力のある NuSTAR 衛星を使用し、RX J0852.0-4622 の衝撃波北西端の観測を行った。北西端において、主に、3-20 keV の帯域で、方位角方向と動径方向に対して空間解析を行い、分割した領域でカットオフエネルギーの変化を調査した。電波フラックスを過去の文献値に固定し、電波から X 線までのスペクトルをシンクロトロンスペクトルモデル (XSPEC srcut model) を用いてカットオフエネルギーを計測した。方位角方向では、SN 1006 や G1.9+0.3 同様のカットオフエネルギー方位角方向依存性を発見した。この依存性は、BSNRs で普遍的に見られる可能性がある。また動径方向では、20 keV までの帯域でも衝撃波内部ほどスペクトルがソフトになる傾向を確認し、衝撃波面でカットオフエネルギーが最大になることが分かった。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空間変化の原因について議論する。

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

Q19b 銀河中心超新星残骸 Sgr A East の XRISM 衛星でのプラズマ診断の検討

内山秀樹, 石神瞬 (静岡大学)

Sgr A East は、銀河中心領域に存在する超新星残骸 (SNR) である。その視線方向に超巨大ブラックホール Sgr A* が重なり、実際に非常に近い位置にあると考えられている。「すぎく」衛星は、Sgr A East が再結合優勢プラズマ (RP) 状態にある事を発見した (Ono et al. 2019)。近年、いくつかの SNR で見つかった RP の生成過程は未だ議論が続いている。しかし、Ono et al. は、Sgr A* が約 10^4 年前に $\sim 10^{42} \text{ erg s}^{-1}$ (現在の $\sim 10^9$ 倍) の X 線光度を持ち、その光電離で Sgr A East の RP が (他の RP SNR とは異なり) 作られた説を、「すぎく」の観測が必要とした高い初期電離温度 kT_{init} を元に提唱している。このシナリオの検証には、RP の kT_{init} と電離パラメータ $n_e t$ の決定が鍵となる。だが、「すぎく」の結果では、これらのパラメータの不定性は大きい。

2021 年度に打ち上げ予定の X 線分光撮像衛星 XRISM は、X 線マイクロカロリメータ Resolve により、Sgr A East の様な広がった X 線天体に対しエネルギー分解能 7 eV 以下での精密分光観測を初めて可能にする。これにより、重元素 (Fe 等) の He 状イオンからの $K\alpha$ 輝線の微細構造線が初めて分離観測できる。我々は電離非平衡状態プラズマのモデル RNEI を使い、Resolve で Sgr A East の電離状態 (kT_{init} 、 $n_e t$ 、電子温度 kT_e) を、特に系統誤差の影響を受けにくい微細構造線等の強度比からどのように決定できるのかを検討した。結果として、Fe XXV He α の禁制線/共鳴線強度比から、 kT_e に依らず RP である事は決定できると分かった。 $n_e t$ も、1 温度成分のプラズマであれば、異なる元素 (例えば Fe と S) の H 状/He 状イオンの輝線強度比の比較から kT_{init} との縮退を解いて決定できる。しかし、Sgr A East は 2 温度成分のプラズマである事が知られているので、更なる手法の検討が必要である。現実的な観測時間での統計誤差の影響も含めて、本講演では詳細を議論する。

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

Q20b ALMA によるガンマ線超新星残骸 RX J1713.7–3946 の観測

佐野榮俊 (NAOJ), 井上剛志, 犬塚修一郎, 山根悠望子, 吉池智史, 早川貴敬, 立原研悟, 福井康雄 (名古屋大学), 徳田一起 (NAOJ/大阪府立大学), 田中孝明, 内田裕之 (京都大学), 山崎了 (青山学院大学), 内山泰伸 (立教大学), F. Aharonian (DIAS/MPIK/GSSI), G. Rowell (アデレード大学), M. D. Filipović (西シドニー大学), N. Maxted (UNSW)

RX J1713.7–3946 は非熱的 X 線・TeV ガンマ線で明るい超新星残骸であり、高密度星間雲との相互作用が確認されていることから、宇宙線陽子加速の面から注目される。これまでに、付随星間雲とガンマ線の好対応から陽子加速源のひとつであることが提案され、衝撃波と粒状星間雲の衝突による磁場増幅が、非熱的 X 線増光やガンマ線スペクトル変調を引き起こすことが明らかになった。一方で、数値計算が示唆する $\sim 0.1 \text{ pc}$ 以下の分子雲構造は観測的には明らかになっておらず問題だった。今回我々は、ALMA による RX J1713.7–3946 北西部における $^{12}\text{CO}(J=1-0)$ 輝線観測 (12-m/7-m/total power) を行なったので報告する (Sano et al. 2020, ApJL, 904, L24)。空間分解能 $\sim 0.02 \text{ pc}$ (角度分解能 $\sim 4''$) を達成することで、新たに 3 つの分子雲複合体 (直径 $\sim 1 \text{ pc}$) を特定した。各分子雲複合体は、数十の小さな分子雲塊またはフィラメントから構成され、その典型的な直径は $\sim 0.06\text{--}0.1 \text{ pc}$ 、密度は $\sim 10^4 \text{ cm}^{-3}$ である。非熱的 X 線フィラメントや、年/月単位で強度変動する X 線 hot spot とも良い空間対応を示す。これらは、衝撃波と分子雲塊との相互作用が、磁場を mG 程度まで増幅した結果だと解釈できる。実際に、分子雲塊と分子雲間領域の密度コントラストは $\sim 10^5$ であり理論計算とも矛盾しない。以上の結果を踏まえ本講演では、これら粒状星間雲・フィラメントの起源に言及するとともに、RX J1713.7–3946 で加速された宇宙線からの非熱的放射やそのスペクトル形状について議論する。

[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](#)

Q21a 中性鉄輝線、電離率、ガンマ線を使った宇宙線の分子雲への浸透の解明

藤田裕 (東京都立大学), 信川久実子 (近畿大学), 佐野栄俊 (国立天文台)

低エネルギー (~ MeV) 宇宙線は分子雲を部分電離し、分子雲中で起きている星・惑星形成に強い影響を与える一方、宇宙線加速過程の初期段階を反映している。しかしガンマ線観測、地球での直接観測ができないため、その分布やスペクトルがよくわかっていない。本研究では X 線中性鉄輝線という近年注目されている新しい観測手段と、電波によるガスの電離率の観測、さらにはガンマ線の観測を組み合わせることで、低~高エネルギーの宇宙線の分子雲への浸透過程を調べることができることを示す。

具体的には移流拡散方程式を用いて各エネルギーの宇宙線がどのくらい分子雲に浸透できるかを見積もり、分子雲が中性鉄輝線、電離率、ガンマ線でどのように観測されるかを予想した。これら 3 つの観測量は対応する宇宙線のエネルギーに違いがあり、そのため 3 つの観測量の空間分布からエネルギーごとの宇宙線の浸透度合いがわかる。分子雲の浸透には「拡散型」「free streaming 型」の 2 つのケースを考えた。これは宇宙線の浸透を妨げる分子雲中の磁場のゆらぎが宇宙線の浸透に伴い増幅されるか、分子雲中の中性ガス粒子により磁場のゆらぎが減衰するか、どちらの効果が優勢かよくわからないからである。

モデル計算の結果、「拡散型」のときは中性鉄輝線は電離率が高い分子雲周辺領域で、「free streaming 型」のときはガンマ線強度が高い分子雲の中心部で観測されるべきであることがわかった。この結果を中性鉄輝線、電離率、ガンマ線の観測がある 3 つの超新星残骸付近の分子雲の観測と比較したが、観測の不定性もあり、現時点では「拡散型」か「free streaming 型」か区別はできなかった。将来的には XRISM を使って区別することを目指す (Fujita et al., ApJ in press, arXiv:2009.13524)。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Q22a 超新星残骸 W49B とその近傍分子雲からのガンマ線放射の研究

大塚駿平 (立教大学), 内山泰伸 (立教大学), 林田将明 (立教大学)

宇宙線の大部分を占める陽子は、超新星残骸の衝撃波で加速されると考えられている。しかし、加速された宇宙線が超新星残骸の外側へ逃走するプロセスはよくわかっていない。超新星残骸 W 28 と W 44 は、その周囲から空間的に広がったガンマ線放射が検出されており、超新星残骸で加速された宇宙線陽子が拡散し、周囲の分子雲と相互作用することによる放射であると考えられている。

W 49B はガンマ線で明るい超新星残骸であり、その近傍に分子雲が存在する。また、W 49B 内の宇宙線の密度が非常に高いため、硬 X 線の観測では加速された粒子による非熱的制動放射が検出されており、W 49B は宇宙線の逃走プロセスを研究する上で重要な天体である。本研究では、W 49B 近傍のガンマ線放射の空間分布を明らかにすることで、W 49B での粒子加速と加速粒子の拡散を明らかにすることを目的とした。そのために、従来の W 49B の放射モデルに加えて、新たに W49B の周囲に広がった放射モデルを追加して解析を行った。

本研究では、W 49B の周囲から広がったガンマ線放射を初めて検出した。また、電波による分子雲中の CO 輝線の観測と比較し、W 49B の周囲のガンマ線放射の空間分布が、W 49B 近傍の分子雲の分布とよく合うことを示した。これらの結果から、この広がったガンマ線放射は、W 49B で加速された宇宙線陽子と周囲の分子雲との相互作用によるものであると考えられる。本発表では、宇宙線の拡散係数と W 49B で粒子加速の始まった年齢と加速された宇宙線の量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](#)

Q23a 超新星残骸 RX J1713.7–3946 におけるガンマ線発生機構：陽子起源・電子起源ガンマ線の分離

福井康雄, 山根悠望子, 早川貴敬, 井上剛志 (名古屋大学), 佐野栄俊 (国立天文台), Gavin Rowell, Sabrina Einecke (アデレード大学)

超新星残骸 (SNR) のガンマ線発生機構として陽子起源と電子起源の可能性が議論されてきたが、これまで観測的に両者を分離して定量した例はなかった。最も注目されてきたガンマ線 SNR RX J1713.7–3946 について、H.E.S.S. によるガンマ線の測定結果が更新され、従来よりも 3 倍高い空間分解能のガンマ線イメージが公表された (H.E.S.S. Collaboration et al. 2018)。我々は、この H.E.S.S. データを用いてガンマ線起源の検証を行った。新たに用いた描像では、ガンマ線カウントが陽子起源成分と電子起源成分の和で表現できると定式化した。具体的には 100 点近い独立した観測点に対して、ガンマ線カウントを星間陽子柱密度と非熱的 X 線カウントに比例する 2 項の和で表現して 3 次元的に平面でフィットした。これによって、各観測点で両起源のガンマ線カウントがそれぞれ計算され、両者を分離することができた。その結果、RX J1713.7–3946 における陽子起源ガンマ線は全体の 70–80% を占め、残りの 20–30% が電子起源によることが導かれた。つまり、陽子起源：電子起源の割合はおおむね 3 : 1 である。Fukui et al. (2012) は、以前の H.E.S.S. イメージを用いて星間陽子とガンマ線の空間分布がよく対応することを示し、陽子起源ガンマ線が卓越する証拠であると論じた。これは当時の分解能 (約 15 分角) ではマイナーな電子起源成分が空間的に希釈され、有意に分離できなかったためと推測される。今後、他の SNR にこの手法を適用し、CTA による初期観測へも反映させ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](#)

Q24a Chandra 衛星の観測を用いた W50/SS 433 西側領域における粒子加速の研究

佳山 一帆, 鶴 剛, 田中 孝明, 内田 裕之 (京都大学), 須藤 貴弘 (東京大学), 井上 芳幸 (大阪大学), Dmitry Khangulyan (立教大学), 辻 直美 (理研)

SS 433 は超新星残骸 W50 の中心に存在する、銀河系内のマイクロクエーサーの 1 つである。東西に 0.26c の速さで相対論的なジェットを放出しており、中心から ~ 20 pc より外側でも東西に伸びる X 線で明るいジェットが見つかっている (Watson et al. 1983)。ジェットには “knot” と呼ばれる局所的に明るい構造がいくつか存在し、X 線スペクトルから、その放射がシンクロトロンで説明できることが分かっている (Safi-Harb & Ögelman 1997, Safi-Harb & Petre 1999)。この領域では、HAWC による > 25 TeV の γ 線の検出も報告されており、130 TeV を超えるエネルギーまで電子が加速されていると考えられているが、加速プロセスは明らかになっていない (Abeysekera et al. 2018)。また、ジェットからの放射や knot の成因についても確立した描像は得られていない。

ジェットからの放射の描像を明らかにするため、我々は、Chandra で観測された W50 西側領域の X 線スペクトルの解析を行った。先行研究では、knot 周辺の半径数 pc の領域のスペクトルのみを解析したのに対し、本研究では西側ジェット全域をより細かいスケールに分けて解析を行った。その結果、SS 433 から遠ざかるにつれて光子指数が大きくなり、特に knot より外側では急激に大きくなることが分かった。これは、シンクロトロン放射をする電子の最大エネルギーが小さくなることを意味しており、加速された電子がジェットを進みながらシンクロトロン放射冷却を受けている状況を仮定した Sudoh et al. (2020) のモデルと比較すると、knot は磁場が強く放射冷却の効率が良い領域だと考えると、モデルと観測結果の描像は定性的に一致する。本講演では、観測結果とモデルのパラメータを定量的に比較し、そこから推測される SS 433 での粒子加速・放射の描像について議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Q25a 超新星残骸 HB9 における衝撃波粒子加速の時間発展の測定

岡 知彦, 石崎 渉 (京都大学)

宇宙線は ~ 1 PeV までは銀河系内で生成されると考えられている。加速起源候補として、超新星残骸 (SNR) における衝撃波加速が挙げられるが、SNR で PeV まで陽子を加速している観測的証拠は未だない。これは、PeV 陽子は SNR が $\sim 10^3$ 歳より若い時のみ生成可能と考えられ、かつ、加速領域から早々に逃げ出してしまうため、観測機会が限られてしまうからだと考えられる。この可能性を検討するには、衝撃波加速による最大加速エネルギーが若い時ほど大きいことを定量化する必要がある。高エネルギー宇宙線はガンマ線でトレースでき、特に高密度ガス領域では陽子と陽子の衝突からパイ中間子が生成・崩壊され陽子起源のガンマ線放射が卓越する。ガスが SNR から離れている場合、陽子が SNR を逃げ出してからガスに到達するまでの時間分、ガンマ線放射までの時間が遅延される。従って、この離れたガスからの放射は遅延時間分若い SNR で加速された陽子によるものだと考えられる。この SNR が若い時と、現在の SNR 衝撃波にて加速された粒子からのガンマ線を比較することで、SNR 衝撃波加速の時間発展を定量化できる。ただし、ガスと SNR の位置が視線方向上に重なる場合、遅延時間が評価できない。そこで我々は HB9 SNR (G160.9+2.6、 $\sim 6.6 \times 10^3$ 歳) に着目する。この天体周辺には視線方向上に重ならない分子ガスが存在する (Sezer et al., 2019)。さらに、SNR 電波殻と空間的に相関するガンマ線放射が観測されている (Araya, 2014)。我々は、HB9 SNR 周辺の Fermi-LAT で観測された 12 年分ガンマ線データ (1-500 GeV) を解析し、SNR から離れた分子ガスからのガンマ線放射を新たに検出した。 $\sim 2.6 \times 10^3$ 年前に加速された TeV 陽子を反映すると推定されるガス領域と現在の SNR 衝撃波面での放射スペクトルを用いて上記のシナリオを検証した。本講演では、これら Fermi-LAT ガンマ線データ解析とモデリング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](#)

Q26a 超新星残骸の垂直衝撃波領域における宇宙線の加速と逃走

上島 翔真 (東京大学), 大平 豊 (東京大学)

宇宙空間に漂う高エネルギー荷電粒子である宇宙線のうち、 $10^{15.5}$ eV 以下の宇宙線は、銀河系内起源と考えられている。銀河系内起源の宇宙線を作り出す天体として、超新星残骸が最有力候補である。超新星残骸で実現する宇宙線の最高エネルギーとエネルギースペクトルの理解には、超新星残骸での加速に加え、超新星残骸からの逃走が重要である (Ohira et al. 2010)。これまで、宇宙線の逃走は、粒子の運動を拡散近似して調べられてきた。垂直衝撃波では、ジャイロ運動によって、平行衝撃波での加速と比べて、より短時間で粒子を高エネルギーに加速することが示唆されている (Takamoto & Kirk 2015, Kamijima et al. 2020)。ジャイロ運動に起因した加速が重要になる場合、粒子の運動の拡散近似は成り立たない。そのため、垂直衝撃波からの逃走過程、実現する最高エネルギーやエネルギースペクトルは未解明である。

本研究では、超新星残骸の衝撃波を球対称とし、垂直衝撃波領域での加速と逃走をテスト粒子シミュレーションによって調べた。この時、加速と逃走に重要な衝撃波上流領域では、粒子の運動を拡散近似せず、磁場に対する運動を正確に解いた。一方、衝撃波下流領域でのみ、粒子の運動を拡散近似した。衝撃波上流の磁場が一樣磁場の場合、粒子は superluminal shock 領域でジャイロ運動に起因した効率的な加速を受け、superluminal shock 領域から出ることによって加速が終了し、逃走することがわかった。本発表では、垂直衝撃波領域からの逃走過程と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](#)

Q27a 非一様媒質中を伝播する衝撃波と宇宙線加速

横山 将汰 (東京大学), 大平 豊 (東京大学)

地上に飛来する高エネルギー粒子である宇宙線は、 10^{20} eV にも及ぶ著しく高いエネルギーをもち、そのエネルギースペクトルは 10^{10} eV から 10^{20} eV にまでわたり冪関数型である。特に $10^{15.5}$ eV 以下の成分は銀河系内を起源とすると考えられており、その生成機構として「超新星残骸における衝撃波統計加速」という描像が広く受け入れられている。衝撃波統計加速では、粒子が衝撃波面の前後を繰り返し往復することでエネルギーを獲得するが、標準的な理論では衝撃波上流・下流の媒質は一様であると仮定される。しかし、現実の天体現象では衝撃波は非一様な媒質中を伝播すると考えるのが自然である。本研究では媒質の非一様性が粒子加速に及ぼす影響を調べる。

これまでの研究では、背景プラズマを流体方程式の線形解析解によって記述し、宇宙線をテスト粒子として扱う数値シミュレーションを行ってきた。その結果、媒質の非一様性と衝撃波との相互作用により衝撃波下流に生成された音波によって、粒子が下流でも加速されることを明らかにした。

上記のシミュレーションでは背景プラズマの記述として線形解を用いていたため、音波の steepening などの流体中の重要な非線形効果を取り入れられていなかった。この点を改善し、宇宙線成分を記述するテスト粒子だけでなく、流体方程式も数値的に解くというシミュレーションを今回新たに行った。本講演ではこのシミュレーションの結果を紹介し、流体場の線形解との違いや、それによるエネルギースペクトル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](#)

Q28a 宇宙線軽元素のハードニングの起源

川中宣太, 李兆衡 (京都大学)

銀河系内宇宙線に含まれるリチウム・ベリリウム・ホウ素の軽元素は、標準的には超新星残骸で加速された宇宙線原子核 (一次成分) が伝搬中に星間物質と衝突し破碎することによって生成される (二次成分) と考えられている。このとき、エネルギースペクトルは陽子やヘリウム、炭素など超新星残骸で加速されるような宇宙線原子核 (一次成分) に比べ、べきがソフトになることが予想される。2015 年以降、宇宙線観測装置 AMS-02 が陽子やヘリウム、炭素などの一次成分のスペクトルのべきが ~ 200 GeV 以上のエネルギーでハードになっていることを報告し、その起源が議論になっていたが、2018 年になり、二次成分であるはずの軽元素のスペクトルもやはり ~ 200 GeV 以上でハードニングを示していることが報告された。我々はこれを説明するシナリオとして、過去に地球近傍で起こった超新星の残骸が放出した宇宙線がこれらのハードニングを作ったというモデルを考察した。この超新星が爆発前に大量の質量放出 ($\sim 10^{-3} M_{\odot} \text{ yr}^{-1}$) を行ったと仮定すると、衝撃波で加速された一次成分の原子核がこの放出物質と衝突・破碎することによって作る二次成分の原子核が再び衝撃波に捕捉されて加速されることで、一次成分の宇宙線だけではなく、よりハードな二次成分の宇宙線が生成されるはずである。我々はこうしてできた一次成分・二次成分の宇宙線原子核がいずれも AMS-02 のスペクトルを説明できることを示した。このシナリオは TeV 以上の宇宙線原子核のスペクトルとその存在比のエネルギー依存性によって検証が可能である。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Q29a Pevatron の X 線・ガンマ線ペアハロー

井上進 (文教大/理研)

銀河系内宇宙線の起源は、大部分は超新星残骸であることが有力視されている。が、そのうちエネルギーが PeV (10^{15} eV) 領域に至るものの起源天体、いわゆる pevatron については、依然謎が多く、銀河中心のブラックホールなど、全く別種の天体である可能性も議論されている。最近、Tibet AS γ や LHAASO などによる観測から、PeV 帯域の系内ガンマ線源が複数見つかりつつあり、近い将来、pevatron の正体が突き止められることが期待されている。

ガンマ線のエネルギーが数 100TeV を超えると、宇宙マイクロ波背景放射との $\gamma\gamma$ 相互作用の平均自由行程が 10 kpc 程度になり、銀河系内でも比較的遠方の天体から伝搬してくるガンマ線は吸収される。また、銀河中心など、星間輻射場が強い領域では、星間赤外線との $\gamma\gamma$ 相互作用によるガンマ線吸収も起きる。このようなことが起きると、天体で加速された宇宙線の最高エネルギーの推定が困難になり、pevatron 探査にとって大きな障害となってしまう。

一方、上記のような星間空間中の $\gamma\gamma$ 相互作用では、高エネルギーの電子・陽電子対が生じるが、これらはシンクロトロンおよび逆コンプトン放射を通じて空間的に広がった X 線・ガンマ線の二次放射、いわゆるペアハローを引き起こす。これを観測することができれば、pevatron の同定に大きく役立つだけでなく、銀河のハロー領域における磁場など、他の方法では取得困難な貴重な情報が得られる可能性もある。本講演では、このような pevatron 起源のペアハローの X 線・ガンマ線での観測可能性とその意義を議論する。

[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](#)

Q30a ALMA ACA による小マゼラン雲超広域 CO 探査 (1): CO 分子雲の大局的分布

徳田一起, Zahorecz Sarolta (大阪府大/国立天文台), 大野峻宏, 柘植紀節, 立原研悟, 福井康雄 (名古屋大), 佐野栄俊, 河村晶子 (国立天文台), 近藤滉, 小西亜侑, 村岡和幸, 大西利和 (大阪府大), 福島肇 (筑波大), 竹腰達哉 (北見工業大)

金属量は分子雲の性質を大きく左右するため、星形成の様子もそれに依って変化すると考えられるが、太陽系近傍の天体だけでは十分にその依存性を観測的に検証することが困難なパラメータである。小マゼラン雲 (距離 ~ 60 kpc) は金属量が銀河系の 1/5 程度と分子ガスが観測可能な局所銀河群の銀河において最も低く、重要な実験場と位置付けられる。しかしながら CO 等の輝線強度は大マゼラン雲と比較しても数倍以上弱く、分子雲コアを空間分解するような観測を行うためのガイドマップがほとんど得られていなかった。この状況を改善しつつ、CO 分子雲の大局的な性質を探るため、我々は Atacama Compact Array (ACA) によるアーカイブデータの解析を推進している。本研究で用いたデータ (2017.A.00054.S) は小マゼラン雲北部領域に対する $^{12}\text{CO}(J=2-1)$ の観測であり、空間分解能は $\sim 7''$ (~ 2 pc)、総観測領域は約 0.3 平方度及び、銀河全体の約 10% を網羅する。同領域には HII 領域や超新星残骸も複数含まれており、銀河内の様々な環境における CO の振る舞いを知る上でも最適である。観測の質量検出限界は $\sim 20 M_{\odot}$ を達成し、過去の NANTEN による $^{12}\text{CO}(J=1-0)$ 観測 (質量検出限界 $\sim 10^4 M_{\odot}$) では検出できず、それら分子雲から空間的に孤立した大きさ数 pc 程度の成分が 200 個以上存在し、CO 分子雲の質量として観測領域全体の約 1/4 を占めていることが明らかになった。これらも含めて、平均的なガス密度は 1000 cm^{-3} 以下と導出されたが、温度 10 K よりは有意に低い輝度温度を示していることから beam filling factor は小さく、より内部の密度が高くコンパクトな分子雲から構成され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](#)

Q31a ALMA ACA による小マゼラン雲超広域 CO 探査 (2): CO 分子雲の性質

大野峻宏, 柘植紀節, 立原研悟, 福井康雄 (名古屋大), 徳田一起, Zahorecz Sarolta (大阪府大/国立天文台), 近藤滉, 小西亜侑, 村岡和幸, 大西利和 (大阪府大), 佐野栄俊, 河村晶子 (国立天文台), 福島肇 (筑波大), 竹腰達哉 (北見工業大)

重元素量が銀河系の 1/5 程度という特徴を持つ小マゼラン雲は、地球から ~60 kpc の距離に位置するため、低金属量環境下での星形成の母体となる分子雲の詳細な観測が可能である。我々は大局的な CO 分子雲の振舞いを統計的に解析し、他の局所銀河群のものと比較を行うため、高分解能かつ広域観測に最適な Atacama Compact Array による小マゼラン雲北部領域の $^{12}\text{CO}(J=2-1)$ 輝線データの解析を行っている (徳田他 本年会)。 ^{12}CO 輝線でトレースされる分子ガスの構造を抽出するため、階層構造解析アルゴリズム Dendrogram (Rosolowsky et al. 2008) を用い、周囲との境界が明瞭に区別可能な CO 分子雲を ~300 個、その中の内部構造を ~500 個同定した。これらのサイズ (半径, R)–線幅 (σ_V) 関係は概ね 0.5 の冪乗則に従っている。ただし銀河系の分子雲で標準的に見られる関係 ($\sigma_V = 0.72R^{0.5}$) と比較すると、同じ半径において線幅は 1.5 倍程度小さく、分子ガスの柱密度が銀河系よりも低い可能性を示している。また、比較的明るい CO 分子雲 ($L_{\text{CO}} > 100 \text{ K km s}^{-1} \text{ pc}^2$) を対象にビリアル質量と比較することで X_{CO} factor を $(8-9) \times 10^{20} \text{ cm}^{-2} (\text{K km s}^{-1})^{-1}$ と推定した。これは NANTEN (分解能 ~50 pc) 観測によって得られた X_{CO} factor よりも 2 倍程度小さい値であるが、銀河系や M33 の値よりも 4-5 倍程度大きく、小マゼラン雲の重元素量の低さと無矛盾である。この X_{CO} factor を用いて CO 分子雲の質量を求め、同銀河において初めて質量関数を導出した結果、 $50 M_{\odot}$ 以上の質量で $dN/dM \propto M^{-1.6}$ となり、銀河系や大マゼラン雲、さんかく座銀河と同程度の冪乗則に従うことがわかった。

[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](#)

Q32a ALMA を用いた大マゼラン雲 N159S 領域の観測: フィラメント状分子雲の分布

南大晴, 近藤滉, 小西亜侑, 小西諒太郎, 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), 柘植紀節, 立原研悟, 福井康雄 (名古屋大学), 南谷哲宏, 河村晶子 (国立天文台)

大マゼラン雲の南東には N159 という H II 領域が存在しており、それに付随する分子雲複合体は $10^7 M_{\odot}$ に迫る質量を持つ同銀河の中でも最も巨大な分子雲の 1 つである。これまでの原子/分子ガスの観測により、北西側からの大規模な H I 衝突流の存在が示唆されていることや、N159E/W 領域にはお互い 50 pc 以上離れた場所でフィラメント状分子雲に付随する大質量星原始星が確認されているなど、銀河規模のガスの流入から同時多発的な星形成を一貫して理解する上で極めて興味深い領域である。これら N159E/W 領域の ~100 pc 南側には、H II が全く発達していない N159S 分子雲が存在し、分子雲複合体内部の星形成史をさらに理解する上で非常に重要な天体である。我々はこの領域を N159E/W と同程度の解像度で内部の構造を探るため、ALMA アーカイブデータ (2016.1.00782.S) の解析を行った。ALMA 12 m + 7 m array により ^{12}CO , ^{13}CO , $\text{C}^{18}\text{O}(2-1)$, および 1.3 mm 連続波等が取得され、空間分解能は ~0.5 pc ($2.''1 \times 1.''5$) である。 ^{12}CO や ^{13}CO のデータより単一鏡の CO ピークを中心に ~25 pc 以上の長さに放射状に分布する Y 字型のフィラメント状分子雲の存在が明らかになった。このうち、北東側に伸びたフィラメントは ^{13}CO 輝線から求めた分子ガス質量および平均的な柱密度がそれぞれ $\sim 10^4 M_{\odot}$ 、 $\sim 3.0 \times 10^{22} \text{ cm}^{-2}$ と N159E/W で見られたものに匹敵する。さらに、1.3 mm 連続波や C^{18}O 輝線が検出できたことから同領域内で最も密度の進化が進んでいると思われる。このフィラメントの周囲には、N159 領域内の他の場所では見られないシステム速度より 20 km s^{-1} 程度赤方偏移した数 pc 程度の大きさを持つコンパクトな ^{12}CO 成分が点在していることも明らかになった。講演ではこれらフィラメントの形成と成長過程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](#)

Q33a IRSF 近赤外線減光マップで得られた大マゼラン雲 HI リッジ領域のダストの 3次元構造

古田拓也, 金田英宏, 國生拓摩, 福井康雄, 柘植紀節 (名古屋大学), 中島康 (国立天文台)

大マゼラン雲 (LMC) の HI リッジ領域では、2つの速度成分のガス衝突による大質量星形成が、その中間の速度成分をもつガスの存在から明らかとなった。さらに、これら2つの速度成分のうち、片方の速度成分は小マゼラン雲 (SMC) から流入した低金属量のガスだと示唆されている (Fukui et al. 2017)。このような SMC からの流入ガスと LMC のガスの衝突を明らかにするには、金属量の指標となるダスト/ガス比に加え、ダストやガスの 3次元構造を調べるのが重要となる。

そこで我々は、IRSF による LMC のサーベイ観測データを用いた減光 (A_V) の測定から、ダストの 3次元構造を求める新たな手法を開発した。この手法では、各空間ビン ($5' \times 5'$) における個々の星の A_V の分布をもとに、視線方向に沿ったダスト (A_V) の 3次元構造を評価する。この新たな手法を HI リッジ領域 ($2^\circ \times 4^\circ$) に適用し、3次元 A_V マップを作成した。このマップと、HI と CO の観測から求めた全水素柱密度 $N(\text{H})$ マップを、3つの速度成分ごとに比較した。そして、3次元 A_V と $N(\text{H})$ の空間分布を利用したフィッティングにより、それぞれの速度成分のガス 3次元構造と、 $A_V/N(\text{H})$ を成分分離して求めた。その結果、大質量星形成領域において、ガス衝突が進行していることを示唆するガスの 3次元構造が得られた。さらに、ガス流入が示唆される速度成分の $A_V/N(\text{H})$ が、LMC の速度成分の値に比べ約 2 倍低く、その値は天の川銀河の値の 1/5 であった。本講演では、この新しい手法について述べ、その結果をもとに LMC と SMC の銀河間相互作用による大規模ガス衝突について議論する。

[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](#)

Q34a 「すざく」と XMM-Newton 衛星の多点同時観測で探る地球周辺の太陽風電荷交換 X 線の空間分布

伊師大貴, 石川久美, 江副祐一郎 (東京都立大), 三好由純 (名古屋大), 寺田直樹 (東北大)

地球周辺では、太陽風に含まれる酸素などの多価イオンが 10 地球半径以上に広がる希薄な超高層大気である外圏の中性水素から電子を奪い、電荷交換 X 線を生じる (Solar Wind Charge eXchange, SWCX)。これは ROSAT 衛星の全天スキャン中に時間変動する増光雑音として発見され (Snowden et al. 1994)、ほぼ同時期に見つかった彗星 X 線、そして「すざく」衛星などの高感度 X 線観測により確立してきた (Fujimoto et al. 2007, Ezoe et al. 2011, Ishikawa et al. 2013, Ishi et al. 2019)。SWCX 空間分布は天体観測の前景雑音の視線方向依存性を知る上で重要であり、太陽風観測衛星のデータを併用すれば、外圏の密度分布や磁気圏内のプラズマ分布も得られる。

我々は「すざく」の全 3055 公開データから約 90 例の SWCX イベントを見つけ (石川 天文学会 秋季年会 2013, 伊師 天文学会 春季年会 2017)、さらに「すざく」検出時期と重なる XMM-Newton 衛星データから約 20 例の同時発光イベントを発見してきた (伊師 天文学会 春季年会 2020)。「すざく」は近地球軌道、XMM-Newton 衛星は長楕円軌道を周回しているため、視線方向または衛星位置の違いを利用すれば、SWCX 空間分布を推定できる。太陽風プロトンフラックスで規格化した発光強度を同時発光イベント毎に比較すると、「すざく」が昼側磁気圏を指向している時は XMM-Newton 衛星に比べて発光効率が高い傾向、逆に夜側磁気圏を指向している時は低い傾向が見られた。これは昼側磁気圏が明るいという従来の描像を示唆する。一方、既存の外圏密度モデルから発光効率を計算した結果、観測で得られた相関は特に見られず、モデル発光効率は観測に比べて 5–10 倍過小評価していた。本講演では、これらの結果をもとに SWCX 空間分布や外圏の広がりについて議論する。

[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](#)

Q35a On the Very Hot Phase of the Milky Way Circumgalactic Medium

釜谷秀幸 (防衛大学校)

銀河円盤などを覆い込んで存在する銀河ハローの形成と維持は、銀河形成及び銀河進化の詳細を詳らかにするために明らかにされなければならない。しかし、銀河ハローを含めた星間物質の輪廻は、その物理学的・化学的素過程が複雑で、ごく単純なモデルか複雑な数値シミュレーションにその理解が委ねられている。本質的なポイントを示すことは、研究推進の要請として必要とされている。周銀河環境の観測からヒントが得られる可能性もある。

さて、Das, et al. (2019) によると、周銀河環境のホットガスに典型的な相が存在することが強調されている。銀河ハローの暖かい成分やコロナ成分は研究史的にも長く、観測的にも把握されてきたが、それなりに大量の高温成分 (温度で 10 倍ほど高い成分) も明示的に検出されている。著者等は銀河の階層的構造形成論に則った成分が残存しているのとの解釈を提示している。

重要なことに、超高温度のコロナガスは、密度は小さいものの、その温度の高さから放射冷却が良く効く。しかも、銀河形成の時間尺度に比べると、その冷却時間はさほど長いものでもない。単純には銀河形成の名残が、非常に温度の高い状態で維持されるとは考えにくい。そこで、本公演では、極端な重力ポテンシャルに保持された可能性、放射冷却が効ききらない可能性などを吟味し、超高温度成分が存在できる典型的な時間尺度の短さから、その起源を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](#)

Q36a 星形成史の解明に向けた磁場・宇宙線が駆動する銀河風についての理論研究

霜田治朗, 犬塚修一郎 (名古屋大学)

銀河系における星形成率 (数 M_{sun}/yr) が単純に 1 Gyr 継続すると銀河系円盤内のガス ($\sim 10^9 M_{\text{sun}}$) は枯渇してしまう。従って、銀河系の星形成史 (> 10 Gyr) を紐解くには、星の原料たるガスの銀河円盤への流入・流出量を解明しなければならない。特に太陽系の形成から現在までの銀河系の進化を理解するには、過去 4 Gyr に渡った進化を考えなければならない。この長い時間スケールでのガス流出の主要機構として、高温ガス・磁場・宇宙線が駆動する銀河風が候補に挙がる。一方で、OVI や OVII の吸収線の観測から、銀河の周囲 ~ 100 kpc (Virial 半径程度) の領域に $> 10^{10} M_{\text{sun}}$ ものガスが、高温 ($> 10^5$ K) で存在していることが指摘されている (e.g. Tumlinson et al. 2011)。このガスは金属汚染された銀河間物質であり、 ~ 0.1 Gyr 程度の冷却時間をもつと推定されている (e.g. Faerman et al. 2017)。磁場・宇宙線はこの莫大な質量のガスを、銀河が準定常的に存在できるように支えると期待されている。また銀河風が実際に駆動されれば、銀河から ~ 100 kpc もの遠方まで効率的に金属を輸送できることも期待される。従って磁場・宇宙線と背景流体の相互作用を理解することが星形成史の解明に不可欠であるが、詳しい研究があまりない。本公演では現在の天の川銀河において定常的な銀河風が駆動するための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](#)

R01a 活動銀河 NGC 7469 における高解像度 CO 分子・C 原子輝線観測 I. X-ray Dominated Region の特性に基づくサブミリ波帯熱源診断

泉拓磨, 今西昌俊, 中西康一郎, Dieu Nguyen, 馬場俊介, 原田ななせ (国立天文台), 中野すずか (総研大), 川室太希 (Diego Portales), 河野孝太郎 (東京大), 松下聡樹 (ASIAA), + NGC 7469 チーム

活動銀河中心核 (AGN) は周囲の星間物質の物理化学的性質に特異な影響を及ぼす。たとえば、大質量星からの紫外線放射により分子雲表層に形成される photodissociation region (PDR) に比べて、AGN からの強力な X 線放射で形成される X-ray dominated region (XDR) はより高温となり、かつ、分子ガスの解離・電離も効率良く進む。その帰結として、XDR は PDR よりも一桁以上高い $[C]/[CO]$ 存在量比や輝線強度比を示すと考えられている。この予想を検証するため、我々は ALMA を用いた高解像度 ($0''.35 \sim 120$ pc 分解能) のサブミリ波 CO・C 多遷移輝線観測を、近傍銀河 NGC 7469 (距離 70 Mpc) に対して行なった。この天体には中心の高光度 AGN を円環状に取り囲む kpc 規模の爆発的星形成領域もあり、AGN vs 星形成での輝線比・化学組成の違いを探るのに適している。観測の結果、CO 輝線に比べて C 輝線は顕著に AGN 周囲の ~ 100 pc 領域に集中していた。輝線比では、たとえば $[C\ I](1-0)/^{13}CO(2-1)$ 比は AGN 周りで ~ 20 、星形成領域では ~ 2 と著しく異なる (輝度温度単位)。前者の高い比はこれまで星形成銀河では観測されておらず、AGN の影響を反映していると考えられる。非局所熱平衡計算からも、この AGN の強度比を再現するには、高い $[C]/[CO]$ 存在量比 (~ 10 ; 星形成領域の 10 倍程度) と数百 K の高温環境が要請され、XDR モデル予測とも整合する。このように、ALMA を用いて XDR の特性を反映するサブミリ波帯輝線比を測定することで、将来的には (可視光線では見通せない) 塵に埋もれた天体の熱源診断も可能になると期待している。以上の成果は Izumi et al. 2020, ApJ, 898, 75 として出版された。

[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](#)

R02a 活動銀河 NGC 7469 における高解像度 CO 分子・C 原子輝線観測 II. AGN 周りと星形成領域のガスの物理化学状態の比較

中野すずか, 泉拓磨, 今西昌俊, 中西康一郎 (総合研究大学院大学/国立天文台), 道山知成 (KIAA), 馬場俊介, 原田ななせ, Dieu Nguyen (国立天文台), 川室太希 (Diego Portales), 河野孝太郎 (東京大), 高野秀路 (日本大学), 松下聡樹 (ASIAA), + NGC 7469 チーム

活動銀河核 (active galactic nucleus: AGN) は爆発的星形成に比べて X 線放射がはるかに強いことが知られている。AGN 周囲には X-ray dominated region (XDR) という、系の物理化学的性質が X 線で決まる特異な領域が形成され、星形成領域 (photodissociation region: PDR) とは異なる化学組成や輝線強度比を示すと期待される。Izumi+20 (ApJ, 898, 75) では近傍銀河 NGC 7469 の AGN 周辺 ~ 100 pc 程度の領域で、同銀河の星形成領域に比べて 10 倍近く高い $[C\ I](1-0)/^{13}CO(2-1)$ 比が報告されている。本研究では、この特異な輝線強度比の違いを示す AGN 領域と星形成領域の物理化学状態を調べるため、 $^{12}CO(1-0)$, $(2-1)$, $(3-2)$, $^{13}CO(2-1)$ と $[C\ I](^3P_1-^3P_2)$ の 5 輝線を使った強度比の非局所熱平衡解析を行った。非局所熱平衡での輻射輸送方程式を解く RADEX コード (Van der Tak+07, A&A, 468, 627) を用い、 $[^{12}CO]/[^{13}CO]$ 存在量比は固定し、密度 (n_{H_2})、温度 (T_{kin})、 $[C]/[CO]$ 存在量比、CO の柱密度をパラメータとして観測値の再現を試みた。その結果、AGN 周りのガスは高温 ($T_{kin} \gtrsim 500$ K) で $[C]/[CO]$ 存在量比が高い (~ 10) のに対し、星形成領域のガスはより低温で ($T_{kin} \lesssim 100$ K)、 $[C]/[CO]$ の存在量比も低い (~ 1) ことが分かった。以上より、AGN 周辺と星形成領域ではその物理化学的性質が大きく異なることが定量的に示された。これは XDR モデルが予言する、AGN からの X 線放射による CO 分子の解離反応とガスの温度上昇と整合する。本講演では非局所熱平衡解析の結果の詳細と化学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](#)

R03a スターバースト銀河 NGC1808 の [CI] 観測：ガストレーサーとしての有用性の検証

保坂智哉¹, Dragan Salak¹, 久野成夫¹, 保田敦司¹, 宮本祐介²(1: 筑波大学、2: 国立天文台)

中性炭素原子の微細構造線 [CI]($^3P_1 \rightarrow ^3P_0$) (以下 [CI](1-0)) は、近年では CO で検出されない CO ダークガスや遠方銀河の分子ガスのトレーサーとして重要であると考えられてきている。本研究では、ALMA によるスターバースト銀河 NGC1808 の [CI](1-0)、CO(2-1)、600 μm 連続波のデータを用いて、[CI](1-0) のガストレーサーとしての有用性を検証した。NGC1808 は、中心の CND やスターバーストリングなど、環境が大きく異なる領域をもち、環境への依存性を調べるのに適した銀河である。600 μm 連続波がダスト質量を反映すると考え、それを基準にして CO(2-1) および [CI](1-0) との相関を調べた。600 μm 連続波の積分強度を [CI](1-0) および CO(2-1) の積分強度のべき関数でフィッティングした結果、[CI](1-0) のべきは 0.798 ± 0.015 、CO(2-1) は 0.622 ± 0.013 となり [CI](1-0) の方が 600 μm 連続波とより線形関係に近いことが分かった。また CND、500pc リング、その他の領域に分けた相関では、[CI](1-0) のべきは 0.68~0.77 となり誤差範囲内で場所によらずほぼ一定であったが、CO(2-1) のべきは、0.42~0.57 と領域によるばらつきが [CI](1-0) より大きかった。以上の解析から、[CI](1-0) の方が環境によらず 600 μm 連続波と線形に近い関係でべき乗の変化も小さく、[CI](1-0) がガストレーサーとして有用なことが期待できる結果となった。今後は、他輝線も用いてガスの物理状態を調べ [CI](1-0) と CO(2-1) の違いの原因を明らかにしていく予定である。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

R04a ALMA discovers a starburst-driven molecular outflow in NGC 1482

Dragan Salak (University of Tsukuba), Naomasa Nakai (Kwansei Gakuin University), Kazuo Sorai (Hokkaido University, University of Tsukuba), and Yusuke Miyamoto (NAOJ)

Galactic outflows are important mechanisms in the regulation of star formation. The outflows consist of multiphase gas and dust that are launched from galaxies into the circumgalactic medium as part of a process known as the baryon cycle. To understand the properties of outflows and their impact on galaxy evolution, it is important to image all phases of the interstellar medium, and especially the molecular gas, which is the fuel for star formation. In this presentation, we report on the first high-resolution ($\approx 1''$ or 100 pc) observations of the nearby early-type starburst galaxy NGC 1482 in ^{12}CO ($J = 1 \rightarrow 0$) carried out by the Atacama Large Millimeter/submillimeter Array in cycle 7. Molecular gas traced by CO is detected in a highly inclined ($i = 76^\circ$), rotating disk, and a biconical outflow extending at least 1.5 kpc perpendicular to the disk. CO is distributed approximately as a cylindrically symmetrical envelope around the warm and hot gas outflow traced by $\text{H}\alpha$ and soft X-rays. We calculated the outflow velocity, mass outflow rate, and kinetic energy to be $v_{\text{out}} \sim 100 \text{ km s}^{-1}$, $\dot{M}_{\text{out}} \sim 7 M_\odot \text{ yr}^{-1}$, and $E_{\text{out}} \sim 7 \times 10^{54} \text{ erg}$. Although the mass outflow rate is larger than that of ionized gas, the outflow velocity is significantly lower than the escape velocity. Furthermore, we find evidence of molecular clouds raining down onto the disk, possibly from a galactic fountain. On the other hand, \dot{M}_{out} is larger than the star formation rate by a factor of ~ 2 , indicating a temporary suppression of star formation. The outflow energetics and the absence of an active galactic nucleus suggest that the outflow is starburst driven.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

R05a NGC 253 中心部における非差動回転ガス成分の起源

小西諒太郎, 村岡和幸, 大西利和 (大阪府立大学), 徳田一起 (NAOJ/大阪府立大学), 榎谷玲依 (慶應義塾大学), 福井康雄 (名古屋大学)

スターバースト銀河 NGC 253 の中心部の分子ガスの約 15% は非差動回転をしており、その起源は謎とされている (Krieger et al. 2019)。本研究は ALMA アーカイブの角度分解能 $\sim 2''$ 、速度分解能 5 km s^{-1} の $^{12}\text{CO}(1-0)$ と角度分解能 $\sim 0''.2$ 、速度分解能 2 km s^{-1} の $^{12}\text{CO}(3-2)$ を用いて、NGC 253 中心から南西 $\sim 200 \text{ pc}$ に位置する非差動回転ガス成分のガスダイナミクスや分子ガスの励起状態等を調べその起源を考察した。まず、上述の $^{12}\text{CO}(3-2)$ の高角度分解能データから、片方の根元が銀河中心付近に、もう片方の根元が銀河円盤方向に接続した巨大なループ構造を発見した。ループの長さは $\sim 300 \text{ pc}$ 、幅は $\sim 50 \text{ pc}$ 、ガスの総質量は $\sim 10^7 M_{\odot}$ であった。このループは、銀河中心側から円盤方向にかけて $\sim 370 \text{ km s}^{-1}$ から 420 km s^{-1} の直線的な速度勾配を示し、両根元部において速度幅が $\sim 50\text{--}100 \text{ km s}^{-1}$ と差動回転成分 $\sim 50 \text{ km s}^{-1}$ に比べて非常に高いことがわかった。 $^{12}\text{CO}(3-2)/^{12}\text{CO}(1-0)$ 輝線強度比は、差動回転成分で ~ 0.8 程度なのに対しループでは ~ 1.0 であり、特にループの根元で ~ 1.5 と高い励起状態にあることが分かった。このような空間・速度分布は天の川銀河中心部でも 5 例程度発見されており、速度構造が超新星爆発では説明できない等の理由によりその起源はパーカー不安定性による磁気浮上であると考えられている (e.g., Fukui et al. 2006)。本天体についても、レーザー等の若い星団プローブの空間分布と比較を行い、その空間・速度分布、励起状態は超新星爆発では説明不可能であることが分かった。NGC 253 中心部においてエネルギー等分配を仮定し磁気浮上ループの形成に必要な磁場を見積もると $\sim 0.4 \text{ mG}$ と推定されるため、天の川銀河中心部の磁場 (数 mG) と同程度の磁場が NGC 253 中心部にあれば磁気浮上説で説明可能である。

[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](#)

R06a Discovery of a [CI]-faint, CO-bright Galaxy: ALMA Observations of the Merging Galaxy NGC 6052

道山知成 (KIAA), 植田準子, 但木謙一, 山下拓時, 中西康一郎, 伊王野大介 (国立天文台), 斉藤俊貴 (MPIA)

星間空間に存在する分子ガス質量は銀河を特徴付ける重要な量である。一般的に、分子ガス質量を求めるために、一酸化炭素分子 (CO) 輝線 (eg., CO (1-0) at 115 GHz) を用いる。しかし、近年の研究で金属量の低い領域等で CO が破壊されてしまうことが懸念されている。新たな指標として、炭素原子の微細構造禁制線 ($[\text{CI}] \ ^3P_1\text{--}^3P_0$ at 492 GHz) を用いる方法が提唱されている。そこで、私たちは近傍銀河 40 天体における $[\text{CI}] \ ^3P_1\text{--}^3P_0$ 輝線をアルマ望遠鏡を用いてサーベイ観測を行った。本講演では、特に面白い観測結果を示した衝突銀河 NGC 6052 について、報告する。NGC 6052 は、他の銀河と比べて CO が明るく $[\text{CI}]$ が暗いことが判明した。モデル計算等の枠組みでは予想されていなかったことである。単純な光解離モデルを仮定した場合、非常に圧縮されたガス ($> 10^5 \text{ cm}^{-3}$) が広い領域に存在すると、CO が明るく $[\text{CI}]$ が暗くなる可能性があることを示した。他の相互作用銀河 NGC 7679 でも同様に $[\text{CI}]$ が暗いことが判明している。以上の研究成果は、Michiyama et al. 2020, ApJ 897L, 19 で報告している。

[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 相互作用銀河 NGC6240 の CO 輝線比と星間ガスの物理状態について

末木里美 (日本女子大学), 奥村幸子 (日本女子大学), 斉藤俊貴 (MPIA), 川邊良平 (国立天文台)

NGC6240 は、へびつかい座の方向、距離 99 Mpc にある相互作用銀河で、銀河の合体と星形成の関係や、銀河中心核の進化と相互作用にどのような関係があるのかを明らかにするための研究対象となっている。

この銀河の中心領域について、ALMA cycle3 で異なる時期に取得された CO(J=1-0) と CO(2-1) の観測データを解析に使用した。本研究では、輝線比を求めため、2つの観測データの分解能を $0.7'' = 336 \text{ pc}$ に揃えて解析を行なった。輝度温度図を作成したところ、衝突した銀河核周辺で最も高く、2輝線とも 20~25 K 程度であった。次に、視線速度 6300~8100 km/s の範囲でそれぞれの輝線の積分強度図を作成した。輝度温度と同様に、衝突した銀河核周辺で2輝線とも放射強度が特に高いことが確認できた。また、はっきりと放射が確認できる領域は、いずれの輝線も中心から 4 kpc 以内の領域と、中心から南西方向 6 kpc 付近の領域の、2つに分かれていることがわかった。分子ガスの構造や物理状態について調べるため、これらの積分強度図から CO(2-1)/CO(1-0) 比を求めたところ、銀河中心を含む半径 3 kpc の広い領域にわたって、比が 1 あるいはそれ以上の高い値を得た。本講演では、NGC6240 の CO(2-1)/CO(1-0) 比から領域ごとの星間分子ガスの密度や温度を推定し、考えられる NGC6240 の分子ガスの物理状態について報告する。

[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](#)

R08a 銀河重力相互作用下における分子ガス中心集中度

三浦飛未来 (明星大学), 金子紘之 (上越教育大学/国立天文台), 小野寺幸子 (明星大学)

系外銀河において、恒星の原料である星間ガス、特に直接的な母体である分子ガスの性質を理解することは、銀河進化を解き明かすうえで重要である。そのため、銀河進化を促す過程のひとつである銀河間近接重力作用下で、分子ガスの分布や星形成率との関係がどのような影響を受けるのか知ることは本質的と言える。銀河間重力相互作用下における分子ガスは、過去の研究から各母銀河の中心へと輸送されることが知られている。それを受け、2019 年春季年会の講演では野辺山 45-m 電波望遠鏡に搭載されたマルチビーム受信機 FOREST を用いた近傍銀河の CO 撮像観測「COMING」プロジェクトで観測された相互作用銀河内の分子ガス・星形成活動の、孤立銀河との系統だった比較を行った。分子ガスと星それぞれについて銀河中心への集中度を、 R (K_s バンドで 20 mag arcsec⁻² となる半径) と $R_{1/2}$ (R の 1/2) 以内の光度比 C_{outer} 、 $R_{1/2}$ と $R_{1/4}$ (同 1/4) 以内の光度比 C_{inner} 、 R と $R_{1/4}$ の光度比 C_{global} の 3 つとして定義、導出した。孤立銀河と比較すると相互作用銀河の方が分子ガスの C_{inner} が高いことが示されていたが、相互作用銀河が 14 個、孤立銀河が 31 個とサンプル数が少なく、信頼性が不十分であった。そのため今回我々は分子ガスと恒星の中心集中度の値の精度を高めるため、COMING のデータから 76 天体を加えた。さらに CARMA による系外銀河 CO サーベイ「EDGE」プロジェクトのデータを加え、 R ではなく D_{25} (B バンドで 25 mag arcsec⁻² となる半径) を用いて、改めて集中度を定義、導出した。孤立銀河と比較すると、相互作用銀河の方が C_{inner} と C_{global} で分子ガスの中心集中度が高い傾向があることが確認された。これらの結果から、重力相互作用は特定の範囲の分子ガスを中心へ輸送するのではなく、銀河円盤全体のガスを中心へと輸送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](#)

R09b Whole disk mapping of molecular clouds in M83

廣田晶彦 (国立天文台), 幸田仁 (Stony Brook U.), 江草美実 (東京大学), 坂本和 (ASIAA), 澤田剛士 (国立天文台)

銀河中の星形成の大半は質量が $10^4 M_{\odot}$ 以上の巨大分子雲 (Giant Molecular Cloud; GMC) で行われるために、GMC の生成と破壊の過程を解明することが銀河進化の理解において重要となる。GMC は一般に自己重力によって弱く束縛されているために外界の影響を受けやすい。それゆえ、渦状腕起源の streaming motion による圧縮と散逸、大質量星からのフィードバックといった複数のプロセスが GMC の生成と進化において重要な働きを担うと考えられている。一連のプロセスの影響を理解するためには、高分解能、高感度での系外銀河全面の分子輝線観測によって、GMC の空間分布や質量分布の銀河構造ごとの変化を検証する必要がある。しかしながら、先行研究においては GMC 検出の completeness limit が $10^{5-6} M_{\odot}$ 程度と比較的浅い一方で、天の川銀河と同様の GMC の質量分布を仮定すると、質量が $10^5 M_{\odot}$ よりも小さな GMC が GMC 全体の質量の半数近くを占めると予想されるなど、質量感度の不足が問題となっていた。このような状況を踏まえ、我々は Atacama Large Millimeter/submillimeter Array (ALMA) を用いた近傍 ($D=4.5$ Mpc) の棒渦巻銀河 M83 の ^{12}CO ($J=1-0$) 輝線による高分解能、高感度での全面観測を行った。Atacama Compact Array とのデータ結合によって広がった成分まで落とすことなくイメージングしたデータは、質量が $10^4 M_{\odot}$ 程度の GMC 起源の放射までも検出を可能とするものとなっている。本発表では、観測とデータの概略、および GMC のカタログを生成することで得られた銀河動径方向での GMC 質量分布の変化などの結果を紹介する。

[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](#)

R10b Atacama Compact Array による渦巻銀河 M33 の ^{12}CO , ^{13}CO $J=2-1$ 広域観測 (2)

小西亜侑, 近藤滉, 村岡和幸, 西村淳, 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), 濤崎智佳 (上越教育大学), 三浦理絵, 西合一矢, 佐野栄俊, 河村晶子 (国立天文台), 小野寺幸子 (明星大学), 久野成夫 (筑波大学), 立原研悟, 柘植紀節, 福井康雄 (名古屋大学)

銀河進化を紐解く上で星間物質の循環サイクルを理解することは重要である。特に星形成に至る分子雲の時間発展を観測的に明らかにするためには銀河全体に対して均一な観測を行い統計的に調べる必要がある。M33 ($D\sim 840$ kpc) は最も近い羊毛状渦巻銀河であり、程よい傾斜角 ($i\sim 50^\circ$) を持つため、渦巻腕など銀河の大局的な構造と分子雲の進化の関係を探るのに重要な観測ターゲットである。我々は、ALMA の Atacama Compact Array (ACA) を用いて、 ^{12}CO , ^{13}CO ($J=2-1$) 輝線により空間分解能 ~ 30 pc の M33 のサーベイ観測を推進している。観測予定領域は $1180'' \times 1100''$ (4.7 kpc \times 4.4 kpc) で、現時点で全体の $2/3$ の領域で観測が完了しており、IRAM 30 m 望遠鏡では検出できなかった、銀河系の暗黒星雲に対応するような $5 \times 10^3 M_{\odot}$ 程度の分子雲を検出できたことを報告した (村岡他 2020 秋季年会)。ACA による ^{12}CO データに対して、階層構造解析アルゴリズム Dendrogram (Rosolowsky et al. 2008) を適用し、分子雲の同定を試みたところ、現在の観測領域内において 500 個程度存在し、そのうち $10^4 M_{\odot}$ 以下のものが 50 個程度あることがわかった。これらの比較的小質量な分子雲では ^{13}CO はほとんど検出されなかった。 ^{13}CO が検出された分子雲は 100 個程度であり、そのほとんどが ^{12}CO でトレースされる分子ガス質量が $10^5 M_{\odot}$ を超える巨大分子雲である。これらのうち半分程度で $24 \mu\text{m}$ source (Verley et al. 2007) の付随が見られた。講演ではこれらの分子雲の密度の進化や大質量星形成との関連について議論する。

[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](#)

R11b The enhancement of dense gas star formation efficiency in merger remnants

植田準子 (国立天文台) and Merger remnant study team

Dynamical interactions and mergers between gas-rich disk galaxies can trigger dust-obscured starbursts, resulting in galaxies bright in infrared (IR) luminosity. It has been predicted from numerical simulations that the star formation activity peaks at the final coalescence and then declines. In order to investigate the properties of molecular gas and its relation to star formation at post-merger stages, we obtained the 3 mm wavelength spectra of 28 local merger remnants with the Large Millimeter Telescope. The IR luminosities of our sample range from $10^9 L_{\odot}$ to $10^{12} L_{\odot}$. Fifteen molecular lines from 13 different molecular species and isotopologues were identified within the frequency range between 73 GHz and 111 GHz.

In this presentation, we focus on the HCN (1-0) line as the dense gas tracer. Seventeen out of 28 sources were detected in the HCN (1-0) line. We estimate the HCN (1-0)/ ^{12}CO (1-0) luminosity ratios. The HCN/CO ratios of our sample except three sources are below 0.10. This corresponds to the dense gas mass fraction of <23% by adapting the standard mass-to-luminosity conversion factors and is comparable to those of nearby galaxies. We also calculate the IR-to-HCN (1-0) luminosity ratios, which is referred to as the dense gas star formation efficiency. Although the ratios vary, the average ratio of the merger remnants is comparable to the late-stage merger and a few times higher compared to disk galaxies and non-merging LIRGs in the local universe. This suggests that the star formation efficiency has been increased by the merging process and does not decrease even after the final coalescence in some cases.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

R12b 渦状銀河の擬似観測における非等方乱流磁場の効果

田嶋裕太, 大村匠 (九州大学), 町田真美 (国立天文台)

銀河磁場は、センチ波の電波連続波の偏波観測によって測定されており、平均で数〜数十 μ ガウスと考えられている。しかし、観測値は視線方向の磁場成分と電子密度の積分値となっていることから、3次元的な空間分布の把握は非常に難しい。そこで、我々は、渦状銀河の3次元磁気流体数値計算データから、放射強度、偏波を直接計算し、実際の物理量分布と積分された観測値との比較を進めてきた (田嶋ら 2020 年春季年会 R06b, 2020 年秋季年会 R13a)。特に、銀河磁場観測で利用されるセンチ波帯の擬似観測で重要となる偏波解消の効果に着目して研究を進めている。この時に重要となるものが、数値計算の解像度以下の乱流の取り扱いであるが、これまででは等方乱流磁場を仮定し計算を行っていた。しかし、視線に垂直な乱流磁場に起因する波長非依存型偏波解消は、非等方乱流磁場があった場合、分散が最大となる方向に垂直な偏波角を持つ偏波が放出されることによって、その効果が小さくなることが知られている (Sokoloff ら 1998)。

そこで本研究では、乱流磁場の分散が最大となる方向を同定し、Sokoloff ら (1998) の非等方乱流磁場による偏波解消モデルを用いて、波長非依存型偏波解消を取り入れた。その結果、非等方乱流磁場を与えた場合には、偏波率が大きく上昇し、銀河円盤の擬似観測における非等方乱流の重要性を示した。

[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](#)

R13b 介在銀河による偏波解消の数値シミュレーション

大前陸人(九州大学), 赤堀卓也, 町田真美(国立天文台)

電波銀河やクェ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 (Bernet et al. 2008; Bernet et al. 2012; Farnes et al. 2014b)。介在銀河による偏波解消の効果は、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。事実、次世代電波干渉計である Square Kilometre Array (SKA) では、全天の偏波サーベイが計画され、この研究に大きな進展をもたらすと期待されている。そこで我々はこの偏波解消の特性を理解し、将来の観測データと比較して銀河磁場の宇宙論的進化を明らかにすることを考え、銀河のモデルを構築し、系外偏波源の疑似観測シミュレーションを行っている。

本研究では、大局磁場の効果を理解するために、まず簡単なリング磁場だけを持つ銀河のモデルを用いて、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、統計的性質を探った。その結果、これまで一般的に用いられてきた偏波率が観測周波数のべき乗に比例するという仮定が、偏波解消が大きくなる低周波では成り立たない事を示した。ここでいう低周波は、モデルによるが 2GHz 以下を示している。加えて、偏波解消は介在銀河の見込み角に強く依存し、エッジオンになるほど RM は大きく、より強い偏波解消が働く一方、ビームが大きくなると介在銀河と重ならないビームの割合が増え、結果として RM はより小さく、より弱い偏波解消が働くことが分かった。本講演では以上を報告するとともに、偏波解消された偏波スペクトルがファラデートモグラフィーを用いて適切に解析できるのかについても報告する予定である。

[スケジュール\(セッション毎\)に戻る](#)

[スケジュール\(全体\)に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

R14a Spatially and spectrally resolved HCN/HCO⁺ ratios in ultraluminous and luminous infrared galaxies from the CON-quest sample

Y. Nishimura (The University of Tokyo/NAOJ), S. Aalto, N. Falstad, K. Onishi, S. König (Chalmers University of Technology), and the CON-quest collaboration

Interacting ultraluminous and luminous infrared galaxies ((U)LIRGs) funnel large amounts of gas and dust into their nuclei and powerful activity occurs there. Particularly, massive outflows can regulate the growth of the central supermassive black hole and star formation activity in host galaxies. Some (U)LIRGs are known to host compact obscured nuclei (CONs), which is extremely dusty and thus optically thick at many wavelengths. Therefore, it is of fundamental importance to exploit molecular line tracers which can probe such extreme nuclear conditions. CON-quest is the survey conducted with ALMA to investigate the prevalence of CON in the local Universe and whether it depends on the properties of the host galaxy. The sample we focus here consists of 4 ULIRGs and 19 LIRGs. Along with the vibrationally-excited HCN line as a tracer of CON, the HCN(3-2) and HCO⁺(3-2) lines are observed with extremely high sensitivity, so that we could obtain the spatially and spectrally resolved HCN/HCO⁺ luminosity ratio maps. We found that the HCN/HCO⁺ ratio is elevated up to > 2.5 in the region which is likely to be associated with outflows, while the ratio in the rest part of the gas disk is typically ~ 1. This result suggest that the high HCN/HCO⁺ ratio could be used as a diagnostic method for molecular outflows which might otherwise not be identified. We also discuss the possible chemical mechanisms which can be responsible for the high HCN/HCO⁺ ratio.

[スケジュール\(セッション毎\)に戻る](#)

[スケジュール\(全体\)に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

R15a NGC 3627 において同定された GMC の物理状態と SFE 多様性の関係

柴田和樹 (筑波大学), 渡邊祥正 (芝浦工業大学), 久野成夫 (筑波大学), 徂徠和夫 (北海道大学, 筑波大学)

近傍銀河では、星形成効率 (SFE) が領域ごとに異なることが示されているが、その原因は明らかとなっていない (e.g. Yajima et al. 2019). 我々は棒渦巻銀河 NGC 3627 の bar-end で SFE が高い原因を調べるため、ALMA で観測された $^{13}\text{CO}(1-0)$, $\text{CO}(1-0)$ そして $\text{CO}(2-1)$ を用いて励起解析により分子ガスの物理状態を推定した。その結果、bar-end では、異なる速度の分子雲同士が衝突することで、arm に比べ高温かつ高密度の分子ガスが形成されていることが示唆された (2020 年春季天文学会 R01a).

本研究では、GMC スケールでの比較のために、bar-end, arm, bar それぞれで GMC を同定し、その性質と SFE の関係を調べた。最も空間分解能が高い $\text{CO}(1-0)$ のデータに対して、 5σ を分子雲の閾値とし、CLUMPFIND (Williams et al. 1994) を適用して GMC を同定した。GMC は bar-end で 29 個, arm で 12 個, bar で 12 個が同定された。同定された GMC のサイズ R , 線幅 σ_V , 質量 M_{mol} , 質量面密度 Σ_{mol} の平均値は、bar-end, arm, bar でそれぞれ、 $R \simeq 16.2, 15.0, 14.7$ pc, $\sigma_V \simeq 7.35, 5.42, 6.23$ km s $^{-1}$, $M_{\text{mol}} \simeq 5.13 \times 10^6, 1.67 \times 10^6, 1.71 \times 10^6 M_{\odot}$, $\Sigma_{\text{mol}} \simeq 9.94 \times 10^3, 5.42 \times 10^3, 4.40 \times 10^3 M_{\odot} \text{pc}^{-2}$ であった。同定の結果から、bar-end の南端の領域では、bar や arm よりも高密度かつ大質量の GMC が多数集中していることがわかった。また、若い大質量星の UV 放射による電離ガスからの放射である 3 mm 連続波の分布と比較すると、高密度かつ大質量の GMC は 3 mm 連続波のピーク領域の周辺に多く存在することがわかった。以上のことから、arm と bar の境界面における分子雲衝突により大質量かつ高密度な GMC が形成され、それが bar-end の南端に集中することで、SFE が高くなっ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](#)

R16a 銀河内部における分子雲衝突速度の環境依存性と星形成活動との関係

前田郁弥, 太田耕司 (京都大学), 藤本裕輔 (カーネギー研究所), 羽部朝男 (北海道大学)

銀河内部では環境によって星形成効率 (SFE) が大きく異なる。例えば、bar では arm に比べて SFE が有意に低い。このような環境間での SFE の差の原因を解明することが、銀河進化を理解する上で重要である。その解明の鍵を握るパラメータの一つとして、分子雲衝突の速度 (v_{col}) が示唆されている。分子雲衝突は大質量星形成のメカニズムの一つとして提案されてきたが、近年の分子雲衝突の流体シミュレーションによって星形成活動は v_{col} に依存することが示された (Takahira+14,18)。特に、 v_{col} が大きい (> 20 km s $^{-1}$) 場合、分子雲コアの成長が抑制されるため、大質量星形成も抑制される。また、棒渦巻銀河の高分解能 (\sim 数 pc) 流体シミュレーションでは、bar の v_{col} は arm に比べて大きく、そのため bar での SFE が低くなることが示唆されている (Fujimoto+14)。

以上の示唆を観測的に調べるため、我々は強い棒渦巻銀河 NGC1300 における巨大分子雲 (GMC) の v_{col} の推定を行った。NGC1300 は bar と arm の SFE の差が著しい (約 6 ~ 7 倍; Maeda+20) ため、 v_{col} が星形成活動を制御するのであれば、その差が顕著に見られると期待される。我々は ALMA を用いた $\text{CO}(1-0)$ の観測 (角分解能 ~ 40 pc) によって GMC をすでに同定している (Maeda+20)。そこで、カタログされた GMC の視線速度と分子ガスの平均的な速度場に基づいて v_{col} を推定した。その結果、arm に比べて bar では v_{col} が大きい傾向であることがわかった (bar : ~ 20 km s $^{-1}$, arm : ~ 11 km s $^{-1}$ 。いずれも中央値)。この結果は v_{col} が星形成活動を制御するパラメータの一つであることを示唆する。一方で、星形成活動が活発な bar-end においても、 v_{col} が bar 同様に大きい (~ 16 km s $^{-1}$) ことがわかった。これは v_{col} の他にも星形成活動を制御するパラメータが存在することを示唆している。本講演では、解析の詳細を示しつつ、そのパラメータ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](#)

R17a NGC 3627 の大局磁場ベクトル構造と星円盤の渦状腕の関係

藏原 昂平, 中西 裕之, 工藤 祐己 (鹿児島大学)

本講演では、棒渦巻き銀河 NGC 3627 の大域的な磁場ベクトル構造について調査した結果を報告する。渦巻き銀河は、シンクロトロン放射の偏波観測から、星の渦状腕に沿った数 μG オーダーの大局磁場が存在することが知られている。また、近年開発された磁場ベクトル再構築法 (Nakanishi et al. 2019) を用いた研究により、近傍渦巻き銀河 NGC 6946 の磁場ベクトル構造は、銀河の arm と inter-arm で磁場ベクトルが 180 度反転している構造を持っていることを発見した (Kurahara et al. 2019)。NGC 6946 の磁場の反転から推測した磁場のモード数 (m_B) は星円盤で星の渦状腕のモード数 (m_s) の半分になっており、磁場ベクトル構造と星円盤の構造は互いに関連していることが示唆された。これは、磁場ベクトル構造と星の渦状腕が、銀河ダイナモを用いたシミュレーションから予測される Parametric resonance の関係 (Chiba & Tosa 1990) にあることを観測的に確認したことを示している。しかし、このような星の渦状腕に関連した磁場ベクトルの反転構造は、サンプル数が少ないため詳細な理解がされていない。

そこで我々は、明確な星の渦状腕を 2 本もつ ($m_s = 2$) 近傍の棒渦巻き銀河 NGC 3627 について、磁場ベクトル再構築法を適用することで大局磁場ベクトル構造と星の渦状腕の関係の普遍性/多様性を調査した。解析の結果、NGC 3627 の磁場ベクトル構造は、銀河北側が内向き、南側が外向きの磁場ベクトルからなっており、磁場のモード数にして $m_B = 1$ が卓越していることがわかった。これは Parametric resonance で予測される $m_B = m_s/2$ の結果とよく一致した結果である。本発表では、NGC 3627 の磁場のモード数を定量的に推定する過程を示し、近傍渦巻き銀河の磁場ベクトル構造に関して議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

R18a 渦状腕の定量的分類による腕の本数と銀河パラメータの関係

赤堀美桜, 徂徠和夫 (北海道大学)

渦状腕は円盤銀河の最も顕著な構造の一つであり、本数や長さ、明瞭さなどその形状は多様である。本研究はその形状の違いがどのような原因によって生じるものなのか解明を目指している。渦状腕の分類は Elmegreen & Elmegreen (1987) によって提唱された渦状腕階級 (arm class) がよく用いられるが、多数の銀河の客観的な分類を実現するために、WISE 3.4 μm のデータを使用して同一の基準での腕の形状の定量的な分類を試みた。バルジの影響や前景の明るい恒星や背景の他の銀河が重なっている銀河があることを踏まえ、銀河中心から銀河半径の 1/4、1/2、3/4 における同心円上のフラックスの空間分布を調べ、このフラックスのピークの個数を数えて腕の本数とした。一方で、腕内部の構造や前景の恒星等の影響を小さくするために、フラックスの空間分布をフーリエ変換し、その成分からも腕の数を数えた。これらの方法から渦状腕を腕が 2 本以下、3 本か 4 本、5 本以上という 3 つの範疇に分類し、Tully (1988) の近傍銀河のカタログに掲載されている渦巻き銀河のうち銀河の傾きが大きい銀河や、見かけの半径が極端に小さいもの等渦状構造の分解が困難な銀河を除外して選出した 548 個の銀河に対してこの方法を適用した。分類された銀河について腕の本数と銀河の大域的な性質を比較したところ、力学質量やガスの割合 (HI 質量/星質量) については明確な違いが見られなかったが、腕の本数が多い銀河は少ない銀河に比べて銀河の長軸半径のサイズが小さく、星質量も小さい傾向があること、同じ星質量の銀河を比較すると星質量が大きい銀河において星形成率が下がる傾向が見られた。また、同じ銀河サイズで比較すると、腕の本数が多い銀河の方が回転速度が遅い傾向が見られた。講演では、分類方法の課題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](#)

R19a 銀河渦状腕中の星のエピサイクル位相同期 III

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)

近年の銀河渦状腕の形成過程研究により、渦状腕は形成と破壊を繰り返す物質腕であると示唆されている。差動回転がコリオリ力を相殺し、密度揺らぎの自己重力が効率よくはたらき、渦状腕が形成されるスウィング増幅機構が渦状腕形成モデルの一つとして考えられている (Goldreich & Lynden-Bell 1965; Toomre 1981)。スウィング増幅の物理的な描像について、Julian & Toomre (1966) は円盤中の質点の密度揺らぎが非軸対称な構造に成長することを示している。この論文の中で、密度揺らぎによる重力散乱によって星のエピサイクル運動が揃うことが予想されており、構造形成との関係が議論されている。また、銀河円盤の N 体シミュレーション研究では、渦状腕形成時に恒星軌道の位相が同期することが確認されており (Michikoshi & Kokubo 2016; 2018)、以上からスウィング増幅における重力散乱と運動位相同期には深い関係があることが示唆されている。

我々は銀河円盤とそこにある密度揺らぎ、星に注目して、スウィング増幅の素過程を制限三体問題に還元することで、星が重力散乱を受ける様子のシミュレーションを行い、恒星の軌道進化と位相同期を調べた。2020 年秋季学会では摂動源を質点とみなし、重力散乱前のエピサイクル振幅が小さい時と最近接距離が近い時、シアレートが大きい時に位相同期が起こりやすいことを示した。

次に我々は、質点ではなく渦状腕による重力散乱の様子を調べるために、摂動源を長楕円体とみなし、長楕円体の大きさ、軸比、ピッチ角に対する位相同期の依存性を調べた。それらの変数に対する位相同期性を調べると各変数には位相同期が良く起こる値や範囲を持つことが分かった。本発表では、これらの結果と位相同期の依存性に対する議論を行う。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

R20a Gaia による最新の位置天文観測と天の川銀河 N 体シミュレーションの比較

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

現在、ESA によって位置天文観測衛星 Gaia の運用が行われている。Gaia Data Release 2 (DR2) によって、太陽近傍 (約 200 pc 以内) の星の詳細な速度空間分布が明らかになり、Hercules stream に代表される速度空間サブ構造の起源が活発に議論されている。我々の先行研究では、天の川銀河の大規模 N 体シミュレーション (Fujii et al. 2019) と Gaia DR2 のデータ比較することで、4:1 outer Lindblad resonance (OLR)、5:1 OLR と corotation resonance というバーの 3 種類の共鳴に束縛された星が Hercules stream を形成しているというモデルが観測をよく説明することを示した (Asano et al. 2020, 日本天文学会 2020 年秋季年会)。

本研究では、シミュレーション内で太陽近傍の速度空間分布に類似した分布が見られる場所を Kullback-Leibler divergence という尺度を用いて選びだした。選ばれた場所は、共通して Hercules stream に対応する構造が見られ、それらはバーの共鳴に起因していた。さらに、その周囲約 2 kpc の範囲内でも観測に類似した速度空間構造が見られることがわかった。本講演では、そうした広い領域での速度空間構造と共鳴軌道の対応関係などを議論する。また、2020 年 12 月 3 日には、Gaia の最新のデータ公開 Gaia Early Data Release 3 (EDR3) が予定されていることから、この結果も踏まえて観測とシミュレーションの比較を行う。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

R21a アンドロメダ銀河の広がった X 線放射 I: 放射メカニズム

石塚雅身, 角田祐希, 松下恭子, 小林翔悟 (東京理科大学)

アンドロメダ銀河の中心には広がった X 線放射が検出されており、高温ガスの存在が示唆されている (Takahashi+04) もの、その正体や起源については明らかになっていない。この放射からの X 線スペクトルは 1 温度の衝突電離平衡プラズマ放射のみでは再現することができない (Liu+10)。エネルギー分解能が高い回折格子検出器である XMM 衛星搭載 RGS (Reflection Grating Spectrometers) の観測によると、O VII He α 輝線の禁制線強度が非常に高いことから、衝突電離平衡プラズマに加え、電荷交換反応 (Liu+10) や過去の活動銀河核の影響 (Zhang+19) などが考えられている。

本研究では、すぎく衛星搭載の CCD 検出器である XIS (X-ray Image Spectrometer) の観測時間が 100 ks、XMM 衛星搭載の CCD 検出器である MOS (Metal Oxide Semi-conductor) の合計観測時間が 500 ks、RGS の合計観測時間が 720 ks の公開データを解析した。RGS は中心 0.4 kpc 以内の領域、すぎく衛星はバルジと円盤の内縁領域、MOS は星形成領域であるダストリングまで観測している。CCD では中心から 2.6 kpc 以内の放射、RGS では中心から 0.4 kpc 以内の放射は共に 1 温度の衝突電離平衡プラズマからの放射では再現できなかった。先行研究同様に RGS のスペクトル、特に強い O VII He α 禁制線を説明するためには、1 温度 (0.4 keV) の衝突電離平衡プラズマ成分に加え電荷交換反応が必要である。CCD のスペクトルは、全領域にわたって 0.2 keV と 0.4 keV の 2 温度の衝突電離平衡プラズマ成分でも、0.4 keV の衝突電離平衡プラズマ成分と電荷交換反応の和でも再現できた。中心から離れるに従い X 線輝度は低下するが、2 成分の比はバルジ、円盤、ダストリングの全ての領域でほぼ一定であり、冷たいガスが多いダストリングでも、電荷交換反応成分の強度増加は見られなかった。

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

R22a アンドロメダ銀河の広がった X 線放射 II. 重元素組成比

角田祐希, 石塚雅身, 松下恭子, 小林翔悟 (東京理科大学)

渦巻銀河からは広がった高温星間ガスから放射される X 線が検出されている。星形成が活発でない渦巻銀河、例えば NGC 4258 の高温星間ガスの組成比は太陽組成とほぼ一致する (Konami et al. 2009)。一方で、スターバースト銀河からの銀河風の組成比は重力崩壊型超新星により合成される元素組成比に近い (e.g. Konami et al. 2011)。以上のように、高温ガスの元素組成比は、過去から現在の超新星爆発による元素合成史を反映している。ここで、アンドロメダ銀河はスターバースト活動が活発ではない銀河であり、銀河系に近い空間的に詳細に調べることが可能である。

我々はすぎく衛星と XMM 衛星の公開データよりアンドロメダ銀河からの X 線放射成分を調べた (2021 年春季年会 石塚講演)。本講演では同じデータを用いて調べた衝突電離平衡成分の重元素組成比の結果を報告する。1 温度の衝突電離平衡プラズマと電荷交換反応からの放射、または 2 温度の衝突電離平衡プラズマからの放射の 2 つのモデルを仮定して重元素組成比を求めた。その結果、2 つのモデルにおいてどちらも CCD 検出器と回折格子検出器の結果を問わず、おおむね誤差の範囲で一致する重元素組成比が得られ、全ての領域で重元素組成比は誤差の範囲で一致した。各重元素の鉄に対する存在比は平均すると O/Fe, Ne/Fe, Mg/Fe = 1.1 ± 0.1 , 1.8 ± 0.1 , 0.9 ± 0.1 solar となり、O/Fe, Mg/Fe はほぼ太陽組成となったものの、高い Ne の組成比が得られた。また N の組成比も高い傾向が見られている。講演では他の系統誤差の影響についても報告し、また、重元素の起源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](#)

R23a Cherenkov Telescope Array による星形成銀河からのガンマ線検出の見込み

下野直弥、戸谷友則、須藤貴弘 (東京大学)

星形成銀河は銀河系外のガンマ線源の一つであり、Fermi-LAT による GeV 帯での観測では近傍の多くの星形成銀河からガンマ線が検出されている。一方で、TeV で検出されている星形成銀河の数は少なく、H.E.S.S. や VERITAS による TeV ガンマ線望遠鏡によってスターバースト銀河として知られる NGC 253 と M82 が検出されているのみである。しかし、現在進行中の Cherenkov Telescope Array (CTA) 計画は、これら既存の TeV ガンマ線望遠鏡よりもおよそ 10 倍高い感度を持つため、より多くの星形成銀河から TeV ガンマ線が検出される可能性があり、このことは銀河内での宇宙線の生成・伝播の物理を解き明かす鍵となる。

そこで、本研究では銀河の物理量 (星形成率、星質量、ガス質量、有効半径) からガンマ線のスペクトルを求める事ができる先行研究 (Sudoh et al. 2018) のモデルを使い、物理量のよく知られている近傍銀河に対し CTA による TeV ガンマ線の検出可能性や他の物理量との関係について論じた。予言される TeV ガンマ線光度はガンマ線光度の推定方法としてよく用いられる星形成率比例するという手法よりも典型的に 10 倍小さくなり、CTA で検出される可能性のある銀河の数は単純な予測よりもずっと小さくなる。その中で、我々は検出可能性の高い銀河として NGC 5236, M33, NGC 6946, IC 342 を挙げた。また、TeV ガンマ線の特徴をスペクトル指数及びガンマ線光度-星形成率比の観点から論じ、NGC 1482 がハードなスペクトルを持ち CTA で検出できる可能性があること、ガス面密度がガンマ線光度を見積もる上で良い指標となることを示した。

[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](#)

R24a Mining strong lensing surveys

Anton T. Jaelani (Kindai Univ.)

The present and upcoming surveys will increase the number of galaxy- to cluster-scale strong lensing candidates by several (3 - 5) times orders of magnitudes beyond the number known today. Gravitational lens systems itself require a foreground lens and a background source to be almost perfectly aligned along a line of sight from us. Lensing is a unique probe of the (dark) matter distribution at large-scale and also can act as a natural telescope that magnifies the background sources, allowing for detailed studies of their properties at high resolution. Hence, gravitational lenses are quite rare. The lens systems are needles in a haystack but thousands are expected to be discovered from ongoing large imaging surveys in the optical. At the present, about 500 definite or probable strong gravitational lens systems have been discovered from the early data release of the HSC Survey including highly compact galaxies. We discuss some finding results from the Survey of Gravitationally-lensed Objects in HSC Imaging (SuGOHI).

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

S01a State Transition of SMBH Accretion Studied with X-ray and UV Monitoring

Hirofumi Noda (Osaka U.), Chris Done (Durham U.), Kazuo Makishima (U. of Tokyo, RIKEN)

Recently, some AGNs have been reported to change their types in months–years between type 1 and 2, in which broad lines plus a strong blue/UV continuum are present and absent, respectively. They are now called “changing-look AGNs (CLAGNs)”. In a CLAGN Mrk 1018, we found that a “soft X-ray excess” which is a spectral upturn toward lower energies below ~ 1 keV (Noda et al. 2011; 2013; Petrucci et al. 2018) disappeared along with the broad lines and UV continuum when the source changed from type 1 to 2, and suggested that the SED change corresponds to the soft-to-hard state transition of Galactic X-ray binaries (Noda & Done 2018).

We next focused a bright Seyfert NGC 6814, which was monitored by *Swift* at its faint phase with $L/L_{\text{Edd}} \sim 0.3\%$ in 2012 and its bright phase with $L/L_{\text{Edd}} \sim 2\%$ in 2016 (Noda et al. 2017 ASJ fall S21a). In the XRT and UVOT spectra, a strong soft X-ray excess can be confirmed with a strong UV continuum only at the bright phase. With detailed spectral fits, we successfully found that the faint-phase SED is explained by only a disk black body and a hot Comptonization continuum, while the bright phase requires a strong warm Comptonization with $kT_e \sim 0.15$ keV and $\tau \sim 20$ in addition, to explain both soft X-ray excess and UV continuum. The SED variations are similar to those of CLAGNs, and probably correspond to the hard-to-soft state transition of the Galactic X-ray binaries. Furthermore, we found that warm absorbers appeared at the bright phase, making the X-ray–UV correlation weaker. In this talk, we introduce these results, and discuss the state transition of SMBH accretion flows in terms of SED changes and X-ray, UV, and optical flux variability.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

S02a AGN における準周期的な短時間変動の 3 次元大局的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)

最近、セイファート銀河において数時間程度で準周期的に突発的な X 線増光を示す QPE (Quasi Periodic Eruption) と呼ばれる現象が観測された (GSN 069; Miniutti et al. 2019, RX J1301.9+2747; Giustini et al. 2020.)。QPE は、AGN における X 線放射機構を解明する新たな手掛かりになる現象として注目されている。これらの天体では、 ~ 1 keV 程度の軟 X 線放射に対して他のエネルギー帯の放射が遅れて観測されること (Giustini et al. 2020) がわかっており、軟 X 線放射が放射源であることが示唆される。

Igarashi et al. (2020) では、超巨大ブラックホール周囲の降着流の輻射磁気流体シミュレーションにより、降着率がエディントン降着率の 10% 程度の時、ブラックホール近傍の高温降着流 (RIAF) と遠方の標準円盤の間に軟 X 線放射領域が形成されること、その領域の放射が卓越することを示した。さらに、軟 X 線放射領域内で輻射圧が卓越すると、この領域が動径方向に振動し準周期的な光度変動を生じることが示した。シミュレーション結果をもとに 1 keV 以上で観測した場合の光度曲線を作成したところ、RX J1301.9+2747 で観測された X 線光度変動に類似した光度変動を再現することができた。本講演では、QPE の起源が軟 X 線放射領域の振動によ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](#)

S03a VLBI インバンドファラデー回転を用いた狭輝線セイファート 1 型銀河 1H0323+342 の中心核領域の探査

高村美恵子 (東京大学), 秦和弘 (国立天文台), 本間希樹 (国立天文台)

狭輝線セイファート 1 型銀河 (NLS1) は、可視光の分光観測において $\text{FWHM}(\text{H}\beta) < 2000 \text{ km s}^{-1}$ で $[\text{OIII}]/\text{H}\beta < 3$ の特徴を持ち、一般的にエディントン限界を上回る高い質量降着率で比較的軽いブラックホールを持つ ($M_{\text{BH}} \sim 10^{6-8} M_{\odot}$) 成長中の活動銀河核である。NLS1 はそれゆえ超臨界降着流を持つ SMBH の有力候補と考えられており、中心核は密度の大きなインフローやアウトフローに晒された環境にある可能性がある。しかしながら、他の AGN 種族と比較して観測的には検証が不十分であった。そこで我々が今回着目したアプローチが高解像度 VLBI による Faraday Rotation Measure (RM) の測定である。RM は電子密度と磁場の積を視線に沿って積分した量である。特に、NLS1 の中心核が本当に dense な環境にあるならば、非常に大きな値の RM が期待されるはずである。そこでこの仮説を検証すべく、我々は今回最近傍で VLBI によって pc スケールまで空間分解可能な 1H0323+342 を対象に観測を行った。更に今回は従来のバンド間で RM を測定するのではなく、各バンド内 (インバンド) で偏波角の変化を測定することで、これまで測定が難しかった大きな RM も測定できるよう工夫した。その結果、12,15,23GHz 帯において 1H0323+342 のコアの RM の大きさは $10^5 \text{ [rad/m}^2\text{]}$ と求められた。この値は、Hovatta らによる VLBA の先行研究で報告されている BLLac 型天体やクエーサーの RM ($\sim 10^{2-3} \text{ [rad/m}^2\text{]}$) と比較して 1 桁以上も大きな値であり、1H0323+342 のパーセクスケール領域では NLS1 より質量降着率が小さな AGN 種族よりも非常に濃いガス環境にあることを示唆している。本講演では、中心核の磁場と電子密度やその空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](#)

S04a Circinus 銀河中心核の空間的に広がった鉄輝線放射領域の詳細解析

澤上拳明, 林田清, 野田博文, 朝倉一統, 松本浩典 (大阪大)

近傍 AGN を対象とした高い空間分解能 (数 10 pc より小さいスケール) のサブミリ波、赤外の観測がすすむにつれ、統一描像も従来の想定よりはるかに複雑な構造であることが明らかにされつつある。中心の巨大ブラックホール (SMBH) 近傍まで見通せる X 線観測は、一次放射としての連続成分と、それが周囲の物質に当たり生じる蛍光 X 線、特に Fe-K 輝線が重要である。多くの場合、これらの X 線放射は空間分解できない点源からの放射として取り扱われてきたが、0.5 秒角の角度分解能をもつ Chandra 衛星により、数 10-数 100 pc にひろがった領域からも、Fe-K 輝線が生じていることが、複数の近傍 AGN の観測でわかってきた。我々も、NGC1068 の解析結果を報告している (2019 年秋季年会; Nakata et al., 2020 submitted to PASJ)。最近傍のセイファート 2 型 AGN、Circinus 銀河に関して Kawamuro et al. (2019) で、100 pc 以内の領域で等価幅が特に強い領域 (Fe-K クランプ) を報告している。また、その位置が ALMA によって観測されている分子雲分布と反相関していることを X 線による分子解離で議論している。

本講演では、同じく Chandra 衛星による Circinus 銀河の観測データを用いて、中心領域での Fe-K 輝線の分布を詳細に調べる。Kawamuro et al. (2019) で使用した 2010 年のグレーティング (HETG) 挿入なしの 2 観測のデータに加えて、HETG を挿入した 4 観測分の 0 次光データを用いて、同時に、パイルアップの影響も独立に評価する。また、Fe-K 輝線の等価幅マップに加え、中心からの漏れ込みも考慮したスペクトル解析を行うことで、空間的にひろがった Fe-K 輝線強度の空間分布を求め、Fe-K 輝線発生領域のガス密度を推定する。さらに、この情報を使い HETG 一次光のスペクトルで求められている Fe-K 輝線の速度幅への影響を評価する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

S05a Fe-K α 輝線反響マッピング法を用いた NGC 3516 活動銀河核構造の研究

峯田大靖、野田博文 (阪大)、峰崎岳夫、鮫島寛明 (東大天文センター)、小久保充 (東北大)、深沢泰司 (広大)、林田清、松本浩典 (阪大)

活動銀河核 (AGN) の X 線スペクトル中で一般に見られる細い中性 Fe-K α 輝線は、中心に存在する超巨大ブラックホール (SMBH) 周辺からの連続 X 線が周囲の物質に光電吸収されて放射されると考えられている (e.g., Nandra & Pounds 1994)。この輝線の主要な放射源については未だ議論が続いているが、現在までに速度幅を H β ラインなどの広輝線のものと比較する手法によって、トーラス内縁部から広輝線領域周辺に分布していることが示唆されている (e.g., Shu+2010; Minezaki & Matsushita 2015)。Fe-K α の放射源は AGN 構造を強く反映するため、放射源を特定することは空間分解が困難な SMBH 周辺のジオメトリを探るために重要である。

放射源を探る別の方法として、我々は連続 X 線と Fe-K α の時間変動を用いた反響マッピング法に着目し、I 型セイファート NGC 4593 に適用した結果、Fe-K α が SMBH から ~ 500 シュバルツシルト半径以上離れた領域で生成されることを明らかにした (2020 年秋季年会 S07a)。本研究では「すぎく」によるセイファート銀河 NGC 3516 の 2013 年 4 月から 2014 年 4 月の歴史的に暗い期間 (Noda+2016、野田 2016 年年会 W102a) に行われた全 7 回の観測 (平均露光時間 ~ 46 ksec) に着目し、2–10 keV のスペクトルフィットの結果から数週間のタイムスケールでの Fe-K α の有意な変動を検出した。さらに *Swift*/XRT による観測を加えた約 3 年間のライトカーブに対し相互相関解析 (e.g., Peterson+1998) を用いた結果、Fe-K α が連続 X 線に対して ~ 50 日未満の遅延を持って変動している可能性を見出した。NGC 3516 のダスト昇華半径は 50–70 光日と見積もられているため (Koshida+2014)、本結果は Fe-K α の主要な放射源がダスト昇華半径よりも内側に存在し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](#)

S06a AGN 反響マッピング応答関数のベイズ推定

小久保充 (東北大学)

活動銀河核 (AGN) 降着円盤の紫外可視光の光度変動と、広輝線およびダスト連続光の光度変動の間の時間遅延を測定することにより、広輝線/ダスト放射領域のサイズを間接的に測定する手法を「AGN 反響マッピング」と呼ぶ。AGN 反響マッピングによって測定される広輝線/ダスト放射領域サイズ R と、降着円盤の紫外可視光光度 L との間には非常に強い相関関係があることが知られている ($R-L$ 関係)。 $R-L$ 関係を用いることで、反響マッピングによる時間遅延測定から AGN までの光度距離を推定することが可能になり、AGN ハッブルダイアグラムを通じて宇宙論パラメータを直接制限することが可能になることが期待されている (e.g., TAO 望遠鏡 *Super-MAGNUM* project)。このような宇宙論への応用を考える場合、近傍 AGN における $R-L$ 関係の精密測定および反響マッピング現象の物理的理解が必要不可欠である。

我々は、降着円盤光度変動と広輝線/ダスト光度変動の間の線形応答関数を、観測された光度曲線から推定するベイズモデルを定式化した。本手法では、降着円盤光度変動をよく説明する数理モデルとして知られている指数カーネルガウス過程を採用し、線形応答関数を multi-step 関数によってモデル化することで、任意のサンプリング間隔・測定誤差を持つ光度曲線を入力とするデータ尤度関数を解析的な多変量正規分布で表現する。適当な事前分布を用いることで、一般的なマルコフ連鎖モンテカルロ法によるパラメータ事後分布推定が可能であり、multi-step 関数で柔軟にモデル化された応答関数をデータから再構成することができる。本講演では、上記手法を近傍 AGN NGC5548 のダスト反響光度曲線データに適用し、再構成された応答関数をダストトーラスモデルから期待される値と比較することで、反響マッピング現象に寄与しているダストの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](#)

S07a CO 振動回転遷移吸収線の成分分離による IRAS 08572+3915 AGN トーラス内部構造の研究

大西崇介 (東大理, ISAS/JAXA), 中川貴雄 (ISAS/JAXA), 馬場俊介 (国立天文台), 松本光生, 道井亮介 (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)

活動銀河核 (AGN) 統一モデルにおいて、分子トーラスを見込む角度が AGN のタイプを分けると言われており、その内部構造理解が重要である。しかし、その内部構造は空間分解が困難であり直接観測されてこなかった。そこで我々は新たに、ダスト昇華層を光源としたトーラス内分子雲 (Clumps) による吸収線と考えられる、CO 振動回転遷移吸収線 ($\Delta v = 1 \leftarrow 0$, $\Delta J = \pm 1$, $\lambda_{\text{rest}} \sim 4.67 \mu\text{m}$) を、超高光度赤外線銀河 IRAS 08572+3915 の AGN に対して観測 (速度分解能 $\sim 30 \text{ km s}^{-1}$) し、吸収線の成分分離を行った。その結果、吸収線の中に、トーラス内 Clumps に由来し、互いに速度幅の異なる 2 つのアウトフロー成分 (成分 1, 2, それぞれ速度分散 $\sigma_{V,1} \sim 170 \text{ km s}^{-1}$, $\sigma_{V,2} \sim 80 \text{ km s}^{-1}$) と 1 つのインフロー成分 (成分 3, 速度分散 $\sigma_{V,3} \sim 40 \text{ km s}^{-1}$) が存在することを見出した。トーラスを静水圧平衡の円盤と考え、回転半径と高さの比が $H/R_{\text{rot}} \sim \sigma_V/V_{\text{rot}}$ で一定だと仮定し、トーラス内の速度場を速度分散 σ_V の乱流と回転速度 $V_{\text{rot}} \propto R_{\text{rot}}^{-0.5}$ のケプラー回転との合成だと仮定すれば、 $\sigma_V \propto R_{\text{rot}}^{-0.5}$ の関係から、各成分間の R_{rot} 比を求めることができる。これにより、各成分の R_{rot} 比は、内側から $R_{\text{rot},1} : R_{\text{rot},2} : R_{\text{rot},3} \approx 1 : 5 : 17$ となり、トーラス内速度場が内側でアウトフロー、外側でインフローする描像を提示する。一方、アウトフロー成分 1, 2 の励起温度はそれぞれ $T_{\text{ex},1} \sim 720 \text{ K}$, $T_{\text{ex},2} \sim 25 \text{ K}$ であり、両成分間の温度勾配は $T \propto R_{\text{rot}}^{-2.1}$ となる。X-ray Dominated Region モデルによると、この温度勾配は $n_{\text{H}} = 10^{5.5} \text{ cm}^{-3}$ の一様ガスでは再現できず、トーラス内がより高密度な Clumpy 構造を持つことを支持する。

[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](#)

S08a AGN トーラス内部の CO ガスの励起機構と吸収線形成の理論

松本 光生 (東京大学, ISAS/JAXA), 渦尾 泰成 (鹿児島大学), 馬場 俊介 (国立天文台), 和田 桂一 (鹿児島大学), 大西 崇介 (東京大学, ISAS/JAXA), 中川 貴雄 (ISAS/JAXA)

活動銀河核 (Active Galactic Nuclei, AGN) 周囲に存在する AGN トーラスは、AGN からの放射を遮蔽する役割を持つ幾何学的に厚い重要な構造であるが、内部構造まで直接空間分解して温度・密度構造を調べる事は困難である。そこで、我々のグループでは光源の小さなダスト昇華層を背景光とした CO 振動回転遷移吸収線 (波長 $\sim 4.67 \mu\text{m}$, $v=0-1$, $\Delta J=\pm 1$) の観測を行う事で、トーラス内部の微細なガスの物理状態に迫っている。過去の CO 吸収線観測では、Outflow な CO ガスによる吸収を発見し、高温な励起温度 (数百 K) を持つ CO ガスがトーラス内に存在する事を示した。しかし、このような高温の CO ガスの励起機構について (1) 高密度で高温なガスによる衝突励起であるか、(2) トーラス内のダスト放射による放射励起であるかについては未だ議論中である。

そこで、本研究では AGN 輻射によって厚みのあるトーラス構造を再現した 3 次元輻射流体計算 (Wada et al. 2016) の CO ガス、ダスト分布に基づいて、CO 輝線・吸収線に関する 3 次元 non-LTE 輻射輸送計算を行い、トーラス内部の CO ガスの準位分布の決定を行った。輻射輸送計算では、これまでの回転遷移のみの計算ではなく振動回転遷移とダスト再放射も考慮している。その結果、トーラス内壁 (中心から 0.75 pc) では、ガスの密度は小さく ($n \sim 10^3 \text{ cm}^{-3}$), 高温なダスト ($T \sim 500 \text{ K}$) の放射により CO ガスが励起されている事が明らかになった。また、それらの高い励起温度を持った CO ガスは Outflow な CO 吸収線として、観測角度 60-80 度の範囲で観測可能である事を示した。これらの結果は CO 吸収線観測と整合的であり、(2) ダスト放射による高温な CO ガスの放射励起機構を支持する。本講演ではトーラス内部の CO ガスの励起温度構造とダスト温度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](#)

S09a 超高光度赤外線銀河 IRAS 17208–0014 の深く埋もれた中心核の構造

馬場俊介, 今西昌俊, 泉拓磨, Dieu D. Nguyen (国立天文台), 川室太希 (ディエゴ・ポルタレス大), 中川貴雄, 磯部直樹 (ISAS/JAXA), 大西崇介, 松本光生 (ISAS/JAXA, 東京大)

超高光度赤外線銀河 ($L_{\text{IR}} > 10^{12} L_{\odot}$) IRAS 17208–0014 は $z = 0.0428$ の後期合体銀河である。その中心の活動銀河核は、振動励起した HCN の輝線を示していることなどから、非常に深く埋もれていると考えられている。我々はこの中心核の構造を、ALMA による CO $J = 6 - 5$ とダスト連続波の高分解能 ($0.04'' \sim 40 \text{ pc}$) 観測、および、「あかり」による CO 振動回転近赤外吸収線 ($v = 1 \leftarrow 0, \Delta J = \pm 1$) の分光観測の結果から議論する。ALMA で観測した $436 \mu\text{m}$ ダスト連続波は明るく (輝度温度 107 K)、また、この点において CO(6–5) は吸収として受かった。CO(6–5) が放射として見えている周囲の拡がった成分の輝度温度と、吸収として見えている中心での輝度温度とを、非局所熱平衡輻射輸送計算と比較したところ、中心ビーム ($r \sim 20 \text{ pc}$) 内には周囲より集中した高密度のガスの分布が存在することが示唆された。この分布は、温室効果によって振動励起 HCN 放射を生み出す「熱い中間赤外線コア」に相当するものだと考えられる。一方、近赤外線領域の CO 振動回転吸収線のスペクトルは、柱密度 $N_{\text{H}_2} = (0.7-2) \times 10^{23} \text{ cm}^{-2}$ 、励起温度 $\sim 1000 \text{ K}$ の局所熱平衡のガスから予測される吸収とよく一致した。加熱源として最も蓋然性が高いのは X 線であることから、この近赤外線吸収はおそらく熱い中間赤外線コアで生じていると思われる。本講演では、近赤外線、サブミリは領域における背景光源のサイズ、中間赤外線コア、周囲の拡がったガス分布といった、観測結果を説明する構造の描像を示す。また、この銀河の中心領域に対して報告されている他の構造 (stellar disks, outflow, star-forming region, OH megamaser) との位置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](#)

S10b NGC1068 トーラスにおける逆回転コアの形成過程

齊部和樹 (鹿児島大学), 和田桂一 (鹿児島大学)

活動銀河核 (AGN: Active Galactic Nucleus) と降着円盤を取り巻くようにガス・ダストから成る吸収体 (トーラス) が存在していると考えられている。しかし、そのトーラスの構造は未だ詳細に解明されていない。Impellizzeri et al. (2019) と Imanishi et al. (2020) では、ALMA による近傍の Seyfert 銀河 NGC1068 の回転分子ガストーラスにおける高空間分解能観測が行われ、HCN ($J = 3 \rightarrow 2$) 分子輝線の moment1 map (視線速度図) から、トーラスの内側、外側領域で回転方向が逆向き (counter-rotation) を示していることが明らかになった。この原因として、minor merger によるトーラスへの massive gas clump の流入が考えられている (Imanishi et al. 2020)。

本研究では、N-body/SPH (Smoothed Particle Hydrodynamics) コード、ASURA (Saitoh et al. 2008, 2009) を用いて、トーラスへ gas clump が流入する状況について 3 次元計算を行い、counter-rotation が起きるのかを検証した。その結果、moment1 map と P-V 図 (位置-速度図) から、counter-rotation を確認することができた。さらに、トーラスに対して同程度もしくはそれより大きい角運動量を持つ massive gas clump の流入が counter-rotation の形成に必要であることが分かった。このことから、NGC1068 中心部の複雑な分子ガスの速度構造にはガス流入過程が関わっている可能性が示唆される。講演では、今回のモデルで HCN の輻射輸送計算を行い観測結果との比較も行う予定である。

[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](#)

S11b Subaru/HSC 深撮像観測による NGC 1068 のマイナーマージャーの形態的証拠

川瀬真喜子、村山卓 (東北大学)、田中壺、八木雅文 (国立天文台)、谷口義明 (放送大学)

活動銀河の中でも比較的光度の低い活動銀河核 (Active Galactic Nucleus; AGN) を持つセイファート銀河の場合、主銀河とそれよりも質量の小さな銀河間の合体 (マイナーマージャー) によって AGN 活動が引き起こされると考えられている (Taniguchi 1999) が、その形態的証拠を直接捉えるには深い撮像観測が必要である。実際、Tanaka et al. 2017 (T17) は有名なセイファート銀河の一つである NGC 1068 を限界表面輝度 $28.9 \text{ mag arcsec}^{-2}$ の r バンドデータから調査し、NGC 1068 まわりに 3 つの淡い構造 (Ultra Diffuse Objects; UDOs) や銀河外縁のリップル構造などを発見した。SDSS のカラー情報からは、UDO は G - K 型星のレベルであることが予想され、NGC 1068 は過去にマイナーマージャーを経験したというシナリオを支持するものであった (Tanaka et al. 2019; T19)。

我々は淡い痕跡のさらなる詳細や AGN と銀河合体の関係の統計的調査のため、すばる望遠鏡 HSC を用いて近傍のセイファート銀河の深い撮像観測を行なっている。現時点で取得されている NGC 1068 の $i2$, $r2$, g バンドデータはそれぞれ限界表面輝度 28.7 , 28.7 , $30.3 \text{ mag arcsec}^{-2}$ に達しており、T17 で捉えられた淡い特徴はもちろん、3 バンドを重ね合わせた画像からは一部の UDOs でループを構成している様子がより明らかになった。また、測光結果では UDOs のカラーは T19 によって求められたものとおおよそ一致していた。UDO の色とモデルとの比較から UDOs の年齢を推定し、その年齢を仮定して星質量を見積もった。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

S12a Hungry black hole: 銀河衝突による AGN の活動停止と duty cycle との関係

三木洋平 (東京大学)、森正夫 (筑波大学)、川口俊宏 (尾道市立大学)

巨大ブラックホール (MBH) は銀河中心に普遍的に存在し、十分な量のガスが降着すれば活動銀河核 (AGN) として明るく輝く。MBH へのガス供給は角運動量 (遠心力) により妨げられ、トーラスがガスの “ため池 (reservoir)” の役割を担うと考えられている。AGN 活動性の点火は銀河の進化過程において頻繁に起こる現象である銀河衝突が主要因と考えられているものの、活動停止機構はいまだ定説が無い。AGN として明るく輝く期間は 10^8 年程度と宇宙年齢に比べて非常に短く (duty cycle)、多くの銀河中心 MBH はガス欠状態にある。また、急激に活動性が停止した痕跡を示す銀河 (fading AGN) も近年多数見つかってきており、活動停止機構の特定が待たれている。

近傍銀河 M31 はかつて銀河中心を衛星銀河が突き抜けていく head-on collision を経験した (Miki et al. 2014 など) と考えられており、破壊された矮小銀河の残骸がストリームやシェル構造として観測されている (Ibata et al. 2001 など)。また中心 MBH の X 線光度は、Eddington 光度の 10^{-10} 以下と非 AGN の通常銀河の中心部に比べても非常に暗い (Li et al. 2009)。そこで M31 を例に、銀河衝突による銀河中心 MBH 周辺のトーラス状ガスを剥ぎ取り AGN 活動を停止させる可能性を調べてきた。その結果、衝突した矮小銀河ガスの柱密度がトーラス状ガスの柱密度よりも高い場合には、矮小銀河ガスからの運動量輸送により、ほぼ全てのガスが剥ぎ取られることを示した (2011 年春季年会予稿集, 2011 年秋季年会)。今回一般の AGN の活動停止機構への拡張性を検証した結果、多くの AGN トーラスの柱密度は銀河衝突によって剥ぎ取り可能な範囲であった。さらに、位置天文観測衛星 *Gaia* DR2 を用いた衛星銀河の精密軌道計算によって、銀河の中心領域に強い影響を与えられる head-on collision が 10^8 年程度に 1 回の頻度で起きたと推定され、AGN の duty cycle とも矛盾しないことが分かった。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

S13a クランピートーラスモデルの適用による活動銀河核の中心構造の統一理解

小川翔司 (京都大学), 上田佳宏 (京都大学), 谷本敦 (東京大学), 山田智史 (京都大学)

活動銀河核 (Active Galactic Nucleus; AGN) を理解するために、中心の超巨大ブラックホールと降着円盤を取り囲むようにトーラスが存在する「統一描像」が考えられている。トーラスは近年、多波長観測結果からクランプ状にガス・ダストが分布する「クランピートーラス」が示唆されている。しかしながら、トーラスの空間分解は困難であり、幾何構造などその基本的な性質は未解明である。これまで我々は、赤外線観測からトーラス構造が調べられている近傍 AGN の広帯域 X 線スペクトルに対して、クランピートーラスからの X 線スペクトルモデル (XCLUMPY; Tanimoto et al. 2019) を適用し、赤外線観測と比較することでトーラスの性質を調べてきた (Ogawa et al. 2019; Tanimoto et al. 2020)。Tanimoto et al. (2020) は 12 天体の 2 型 AGN に関して赤外線の結果 (Ichikawa et al. 2015) との比較から、赤外線観測ではトーラスの立体角を過剰に見積もってしまうことを示した。これは近年、赤外線干渉計観測などから示唆されている「ポーラーダスト」からの赤外線放射の影響と考えられる。また視線方向の水素柱密度と減光量の比 ($N_{\text{H}}/A_{\text{V}}$) は平均的に銀河系における値と等しい結果を得ている。

今回我々は新たに Ichikawa et al. (2015)、García-Bernete et al. (2019) から 12 天体の 1 型 AGN と 4 天体の 2 型 AGN に対して同様に解析し、合計 28 天体にサンプルを拡充した。まずトーラスのカバーリングファクターとエディントン比の関係を調べたところ、Ricci et al. (2017) で統計的手法から得られた関係に従うことが確かめられた。赤外線観測と比較したところ、立体角と 2 型 AGN の $N_{\text{H}}/A_{\text{V}}$ に関しては Tanimoto et al. (2020) と整合する結果を得た。また 1 型 AGN の視線方向の $N_{\text{H}}/A_{\text{V}}$ は、銀河系の値より小さいという結果が得られた。これらの結果は従来の AGN 統一描像では説明出来ず、ポーラーダストまで含めた新たな統一描像の必要性を示唆する。

[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](#)

S14a 硬 X 線観測で探る超/高光度赤外線銀河中の AGN の構造と降着機構の進化

山田智史, 上田佳宏, 鳥羽儀樹 (京都大学), 谷本敦 (東京大学), 今西昌俊 (NAOJ)

銀河と巨大ブラックホールの共進化を理解する上で、銀河同士の合体が着目されてきた。その多くは超/高光度赤外線銀河 (Ultra-/luminous Infrared Galaxy; U/LIRG) として観測され、その中心の活動銀河核 (Active Galactic Nucleus; AGN) の性質を調査することが合体におけるブラックホール進化の鍵である。活動の最盛期である合体末期では中心部がダストに深く覆われるため、高い透過力を持つ硬 X 線 (>10 keV) 観測が有用である。Ricci et al. (2017b) では合体末期で中心核が埋もれる傾向が示唆された。しかし、個々のトーラス構造や降着機構を解明するには、高質な広帯域スペクトルに現実的なトーラスモデルを適用した系統的な調査が不可欠である。

本研究では、X 線衛星 *NuSTAR* (3–79 keV) と *Swift*/BAT (14–195 keV) で観測されている様々な合体段階の近傍 U/LIRG 85 天体に対し、多様な X 線データ (*Chandra*, *XMM-Newton*, *Suzaku*, *Swift*/XRT) も用いて系統的に広帯域 X 線スペクトル解析 (~ 0.1 –150 keV) を行った。さらに、クランプ状構造を反映した最新のトーラスモデル (XCLUMPY; Tanimoto et al. 2019) を適用することで、約 40 もの AGN を特定し、それらの水素柱密度、X 線光度、トーラス立体角を推定した。その結果、まずは合体が進むにつれて水素柱密度が大きくなり、トーラスが発達していく傾向が得られた。次に、赤外線からも AGN 光度を推定することで、エディントン比も大きくなるが、一方で X 線光度は赤外線光度に比べて相対的に小さくなることを示された。最後に、合体末期の AGN では、星形成が活発で強い分子ガスアウトフローを持つことに加え、エディントン比から予測される値 (Ricci et al. 2017c) よりもトーラス立体角は大きいことが判明した。以上の結果は、晴れ上がり期にある合体末期では、中心核も深くダストに埋もれると共に、強いアウトフローを伴う激しい質量降着が生じている描像を示唆する。

[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 超高速アウトフローと近赤外 [Fe II]/[P II] 輝線強度比との関係

水本岬希 (京都大学), 鮫島寛明, 小林尚人 (東京大学), 他 WINERED チーム

超高速アウトフロー (UltraFast Outflow; UFO) とは活動銀河核の降着円盤表層から電離ガスが非常に高速に吹き出す現象であり, X 線で観測される。超高速アウトフローは莫大な運動エネルギーを有しているため, 母銀河の物理的・化学的進化に影響を及ぼすいわゆる AGN quasar mode feedback を引き起こすと考えられているが, X 線で観測できる範囲はせいぜい sub-pc スケールであり, エネルギーが周辺環境へと至るまでの具体的な道筋は明らかになっていない。

今回我々は「超高速アウトフローの影響によって 100 pc スケールの衝撃波が作られる」という仮説を検証するため, 超高速アウトフローを持つセイファート銀河 14 天体に対して近赤外線分光観測を行い, [Fe II] 輝線 ($\lambda 12570$) と [P II] 輝線 ($\lambda 11886$) の比を測定した。鉄はリンと比べてダストへの吸着率が高いため, 衝撃波によってダストが破壊されると鉄の存在比が大きくなり, 輝線比も大きくなると期待される (Oliva et al. 2001, A&A, 369, L9; 具体的な適用例として Terao et al. 2016, ApJ, 833, 190)。観測は 2017 年 12 月および 2018 年 3 月に, La Silla 天文台の New Technology Telescope (NTT) に WINERED 分光器を搭載して行われた。観測波長域は 9,100–13,500Å, 波長分解能は $R = 28,000$, 典型的なシーイングは 1 秒であった。結果として, 超高速アウトフローを持つ天体では持たない天体と比べて [Fe II]/[P II] 輝線比が大きい, すなわち衝撃波を有しているらしいことが明らかとなった。また, 輝線の速度幅は狭輝線のものと同じであった。このことから, 超高速アウトフローは衝撃波を介して狭輝線領域を電離させるという形でエネルギーを渡している可能性が高いことが示唆される。

[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](#)

S16a merger driven DOGs の形成と進化

油谷直道 (鹿児島大学), 和田桂一 (鹿児島大学), 鳥羽儀樹 (京都大学)

可視で暗く赤外で明るい銀河である DOGs (Dust-Obscured Galaxies) は, 銀河や AGN (Active Galactic Nuclei) の進化に重要な天体であると考えられている。我々は DOGs の 2 色図上や SED (Spectral Energy Distribution) の時間進化を理論計算に基づき調べた。DOGs は観測的には可視から近赤外での SED の振る舞いにより星形成が支配的だと考えられる Bump DOGs と AGN が支配的だと考えられる Power-law DOGs に大別される。

Hopkins et al. (2008) は, 銀河合体による ULIRG/LIRG (Ultra Luminous InfraRed Galaxy/Luminous InfraRed Galaxy) の形成後, AGN からの feedback により AGN 周囲のダストやガスを吹き飛ばしクェーサーに至るシナリオを提案している。我々は巨大ブラックホール (SMBH) を含む galaxy-galaxy merger の疑似観測を行い, このシナリオの検証を試みた。銀河衝突の計算では N 体/SPH コード ASURA (Saitoh et al 2008, 2009) を用いた。この計算はトラススケールを分解した高分解能シミュレーションである。ASURA による計算結果を用いて, 輻射輸送シミュレーションコード RadMC3D (Dullemond et al 2012) による疑似観測を行い SED の時間進化を得た。

その結果, merger driven DOGs の疑似観測に成功した。更に, 疑似観測結果より Bump DOGs や Power-law DOGs の定量的評価を行った。Bump DOGs から Power-law DOGs へ進化すると考えられていたが (Narayanan et al 2010), 本研究では AGN が支配的な Power-law DOGs であっても視線方向 (水素原子の柱密度) によって Bump DOGs として観測される可能性を示した。加えて, DOGs の時間進化について水素原子の柱密度と L_{IR} の図を用いて DOGs のタイムスケール等の議論を可能にした。本講演では, DOGs の形成における銀河衝突時の軌道の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](#)

S17a SXDF の多波長データを用いた $z \sim 1.4$ における超巨大ブラックホールと銀河の共進化の研究

瀬戸口 健太, 上田 佳宏, 鳥羽 儀樹 (京都大学), 秋山 正幸 (東北大学)

超巨大ブラックホール (SuperMassive Black Hole; SMBH) と銀河バルジとの共進化を理解する鍵は、SMBH の成長の現場である活動銀河核 (Active Galactic Nuclei; AGN) である。特に、宇宙史において SMBH の成長と銀河の星形成とが最も活発な時代 ($\sim 1 - 3$) の AGN を探査し、その母銀河の性質を解明することが重要である。そこで、本研究では Subaru XMM-Newton Deep Field (SXDF) に着目した。SXDF では、X 線で検出された $z \sim 1.4$ の AGN 116 天体に対し、SMBH 質量と質量降着率が推定され (Nobuta et al. 2012)、星質量と星形成率の推定に必要な多波長観測データ (Akiyama et al. 2015) が得られている。我々は、星形成率を正確に見積もるため、Herschel の遠赤外線観測データ (Oliver et al. 2012) とクロスマッチを行い、X-CIGALE code (Yang et al. 2020) を用いた遠紫外線から遠赤外線までのスペクトルエネルギー分布解析により、85 天体の星質量と星形成率の推定に成功した。その結果、以下のことが分かった。(1) SMBH 質量と星質量の比が近傍宇宙 ($z \sim 0$) における SMBH 質量とバルジ質量の比に近い値 ($\log M_{\text{BH}}/M_{\text{stellar}} = -2.2$) である。(2) 星質量と星形成率の分布は、ほぼ主系列の関係に沿う。(3) 星形成率と AGN のボロメトリック光度 (質量降着率に対応) に強い正の相関がある。これらの結果は、 $z \sim 1.4$ のバルジの支配的な銀河では、すでに $z \sim 0$ における SMBH 質量とバルジ質量の関係が確立し、かつ SMBH とバルジが共進化し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](#)

S18a ガンマ線を発する電波銀河の X 線統計解析 (2)

眞武寛人, 深澤泰司 (広島大学)

活動銀河核 (AGN) の 1 つである電波銀河は強い電波ジェットを持つ天体として知られており、Fermi 衛星により blazar 天体に加え電波銀河もガンマ線を発する天体であることがわかった。Fermi 衛星は 1 年目の観測で電波銀河を 10 天体観測し、X 線の調査 (Fukazawa et al. 2015) も報告されている。また 2020 年に公開された 4FGL カタログでは、電波銀河の検出数は 1 年目発表された約 10 天体から約 50 天体に大幅に増加し、統計的な議論が可能となった。

本研究で用いる電波銀河や blazar は電波の弱い AGN に比べジェット放射が明るい。blazar 天体はジェット放射をほぼ正面から観測することから、ビーミング効果によりコア部分が卓越してガンマ線帯域で観測される。これに対して電波銀河はジェットが受けるビーミング効果が弱く、このためジェットのコア以外の降着円盤やコロナからの放射も見えていると考えられており、ジェットの放射構造を探る上で重要な天体である。

これまでの研究では、Swift 衛星の XRT 検出器による X 線データと Fermi 衛星のガンマ線データとの相関を調べることで、X 線帯域がジェット放射であるのか降着円盤関連の放射であるのかの区分を行った。その結果、電波帯域で観測されるジェットの光度による Fanaroff-Riley 分類 (FR 分類) と降着円盤からの可視光スペクトルによる分類 (HERG/LENG) を X 線とガンマ線のプロットに適用することで、X 線帯域の放射のパラメータがジェット放射由来か降着円盤由来かで傾向を持つことがわかった。本講演ではこれらの結果とジェットパワーを含めての議論を報告する。

[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](#)

S19a Cygnus A ホットスポットの赤外線スペクトルの折れ曲がりを用いた磁場推定

砂田裕志 (埼玉大), 田代信 (埼玉大, ISAS/JAXA), 磯部直樹, 中原聡美 (ISAS/JAXA), 紀基樹 (工学院大), 小山翔子 (ASIAA)

FR II 型の電波銀河のジェット終端にみられるホットスポットは、非熱的な放射スペクトルが観測されており、ジェットが形成した衝撃波による宇宙線加速の現場と考えられている。ホットスポットでの粒子加速では、磁場が粒子の閉じ込めや冷却といった重要な役割を果たす。磁場強度の推定には、シンクロトン放射冷却によるスペクトルの折れ曲がりを見つけることが有効であるが、観測帯域の不足から折れ曲がりの周波数を定めることが難しい。近傍に位置し、観測条件の良い Cygnus A のホットスポットでさえ、遠赤外線スペクトルの欠落から放射冷却による折れ曲がり確認できず、磁場強度が正確に求められていない。この Cygnus A ホットスポットでのスペクトルの折れ曲がりを探るために、遠赤外線帯域に感度を持つ *Herschel* の撮像データを解析し、 $(0.8-4) \times 10^{12}$ Hz の放射を初めて検出した。この帯域を含む、電波から近赤外線のスペクトルを放射冷却を考慮したモデルでフィッティングし、折れ曲がりか $2.0_{-0.8}^{+1.2} \times 10^{12}$ Hz にあることがわかった。この結果から磁場強度と放射領域のサイズに制限を与えることができた。さらに、Stawarz et al.(2007) のシンクロトン自己コンプトンモデリングの制限と合わせ、磁場強度を $120_{-40}^{+60} \mu\text{G}$ と、先行研究 ($\sim 200 \mu\text{G}$) に比べ精度良く決定することができた。なお、放射領域の半径は $1.3_{-0.4}^{+0.5}$ kpc と決まり、電波撮像と X 線撮像による値 (それぞれ 0.8, 2.0 kpc) と大きく矛盾しなかった。得られた磁場強度を最小磁場強度 ($180 \mu\text{G}$) と比較することで、非熱的電子と磁場の間でエネルギー等分配、あるいは非熱的電子優勢になっていることがわかった。また、今回の結果は Brunetti et al.(2003) が示す、他のホットスポットで見られた、折れ曲がりの周波数と磁場強度の関係とよく一致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](#)

S20a Swift/BAT と Fermi/LAT を用いた硬 X 線、ガンマ線のカタログマッチ

辻直美 (理研), 井上芳幸 (大阪大学), 小高裕和 (東京大学), 米田浩基 (理研)

本研究では、Swift 衛星と Fermi 衛星による最新のカタログのクロスマッチを行なっている。双方で検出されている天体は、中間領域である MeV ガンマ線帯域でも明るい可能性があり、このような天体をリストアップしておくことは MeV ガンマ線観測の将来計画において重要である。カタログのクロスマッチには、Swift 衛星の BAT 検出器による 105 ヶ月カタログ (エネルギー帯 14–195 keV; 全 1632 天体) と、Fermi 衛星の LAT 検出器による 10 年カタログ (0.05–1000 GeV; 全 5788 天体) を用いた。空間情報をもとにマッチングを行った結果、135 個の点源がマッチした。また、Fermi カタログの 75 個の広がった天体のうち、32 個がその空間的広がり内に BAT 天体を持つことが分かった。今回マッチした天体のうち、6 割以上を活動銀河核が占め、次いでパルサー、パルサー星雲が 2 割程度、超新星残骸と連星系が 1 割以下であった。活動銀河核の中でも大多数はブレーザーであり、FSRQ 型が 42%、BL Lac 型が 29% の割合を占めている。さらに本講演では、マッチした天体の光子指数やフラックスの分布の特徴について報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

S21a MeV ガンマ線観測気球実験 SMILE-2+による系外拡散ガンマ線観測

高田淳史, 谷森達, 池田智法, 吉川慶, 阿部光, 荻尾真吾, 津田雅弥, 吉田有良, 竹村泰斗, 中村優太, 小野坂健, 齋藤要, 窪秀利 (京都大), 水村好貴 (JAXA), 黒澤俊介 (東北大), 身内賢太郎 (神戸大), 澤野達哉 (金沢大), 濱口健二 (GSFC/NASA)

100 keV~100 MeV の MeV ガンマ線領域においても、全天に様に広がるガンマ線背景放射が観測されており、遠方銀河からの放射の重ね合わせと予想されている一方、その起源は Seyfert 銀河や FSRQ などの活動銀河核、遠方銀河での Ia 型超新星爆発といった天体起源だけでなく、暗黒物質の対消滅や原始ブラックホールの蒸発といった物質起源まで様々あり、未解明のままである。系外拡散ガンマ線の放射起源を解明するには、詳細なスペクトルや非一様性の観測が必要であるが、MeV ガンマ線は波長が短く集光が困難な上、透過力も高く、コンプトン散乱が主な相互作用となる為、エネルギーや到来方向という天文学で不可欠な情報を失いやすい。さらに、宇宙線と筐体との相互作用から多量の雑音ガンマ線が生成される為、観測の SN 比も悪くなりやすい。我々は、コンプトン散乱後の散乱ガンマ線と反跳電子の運動情報を全て捕らえることで、入射ガンマ線の運動量を測定する、電子飛跡検出型コンプトン望遠鏡 (ETCC) を開発してきた。この ETCC は、粒子識別と運動学テストという強力な雑音除去能力により高い SN 比の観測を実現し、従来の MeV ガンマ線よりも格段に良い PSF により、困難だった MeV ガンマ線の撮像分光を可能とする。2018 年に豪州で実施した SMILE-2+ では、26 時間の水平浮遊の間に銀河中心領域およびかに星雲の有意な検出に成功した。この SMILE-2+ の観測データには、背景事象として多量の系外拡散ガンマ線が含まれる為、大気ガンマ線や宇宙線由来の雑音ガンマ線と切り分ける事で、スペクトルの取得が可能となる。本講演では、SMILE-2+ の観測データを用いた系外拡散ガンマ線の解析について報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

S22a EHTC はなぜ $40 \mu\text{as}$ サイズのリング像を誤って得たか? - DIFMAP チームの不適切なデータ解析について

Makoto Miyoshi (NAOJ), Yoshiaki Kato (RIKEN), & Junichiro Makino (Kobe Univ.)

2020 年春・秋季年会で、the Event Horizon Telescope Collaborators (EHTC) の公開デモデータの独立解析からジェットを含む広域構造が存在すること、EHTC 報告の約 $40 \mu\text{as}$ サイズのリングがブラックホール像ではなく、データ較正不足と EHT のデータサンプリングバイアスによる artifact であることを示した。今回、EHTC の公開解析レシピのうち DIFMAP チームの hybrid mapping (self-calibration と CLEAN の反復使用) による較正・撮像過程を調査した結果を示す。そこには 3 つの不適切な点がある。一番目は位相のみの self-calibration を大気コヒーレンスタイムを大幅に超える積分によって得ている点である。コヒーレンスタイムを超えた較正解では、それより短期の大気位相変動は較正できず、位相誤差が残留するので撮像は信頼できない。二番目は、その信頼度の低い像をモデルに、振幅・位相双方の self-calibration を始め、しかも反復を 20 回も行っている点である。self-calibration での振幅解の安定性は位相解のみに比べて低い (Fomalont 1999) ので、振幅の self-calibration を多数回反復するのは危険である。最後に、これが最大の問題であるが、全ての CLEAN で狭い BOX 掛けを行い、実効的視野を直径わずか $60 \mu\text{as}$ の円内に制限していることである。しかも BOX 設定位置はマップの中心ではなく、北に $22 \mu\text{as}$ 偏心させている。これに dirty beam (PSF) を重ねると、BOX 内の南側にメインローブ、北側にサイドローブが位置し、中央は負の値になる。つまり、dirty beam 自体に EHTC リングに近い構造があり、それを切り出したためリングが作られた。我々は、上記の不適切な較正と狭い BOX 使用でリングを作れること、BOX の拡大でリングは消えることを確認した。EHTC のリングは不適切な像合成による人為的なものである。

[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](#)

T01a 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

福一誠、北本俊二 (立教大)

XMM-Newton 衛星によるペルセウス銀河団の観測から、3.5keV 付近に未知の輝線が見つかった (Bulbul et al. 2014)。これはダークマターの候補であるステライルニュートリノが崩壊した時に出る X 線の可能性がある。しかし「すざく」と「ひとみ」でペルセウス銀河団の解析からは、3.5keV 輝線は検出されず、上限として等価幅でおおよそ 1.5eV と 1.6eV が与えられた (Tamura et al. 2015, Hitomi collaboration 2017)。「すざく」の検出器である XIS は観測時間が長く、視野と有効面積が広いので統計精度が良いが、エネルギー分解能の限界から等価幅が 1eV 以下の弱い輝線の検出は難しい。「ひとみ」の検出器である SXS は XIS の 20 倍近くの高いエネルギー分解能を持ち、幅が狭く等価幅の小さい輝線にも感度が高い。しかし、視野と有効面積が小さく観測時間が短いため、統計精度が XIS よりも悪く、3.5keV 輝線にも厳しい制限を与えることができない。また、幅が広い輝線には感度は高くない。今回の研究では、「ひとみ」と「すざく」のデータを同時フィットすることで、ペルセウス銀河団の 3.5keV 輝線についてより厳しい制限が与えられることを期待して解析を進めた。「ひとみ」に搭載された CCD 検出器である SXI も同時にフィットした。銀河団ガスの放射モデルとして BAPEC モデルを仮定し、3.5keV 輝線が報告されているエネルギー範囲 (3.51 ± 0.03 keV) でガウス関数を仮定して等価幅の 3σ の上限を計算した。ガウス関数の幅が狭い場合と広い場合で、それぞれ標準偏差として 2.4eV と 15eV と仮定して「すざく」と「ひとみ」を同時フィッティングした結果、3.5keV 輝線の等価幅の 3σ の上限として、幅の狭い輝線で 0.8eV、広い輝線で 1.0eV を得た。同時フィッティングをすることで先行研究より厳しい上限を与えることができた。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

T02a ケンタウルス座銀河団中心領域における高温ガスの元素組成比

福島光太郎, 松下恭子, 小林翔悟 (東京理科大学)

銀河団クールコアの高温ガスは中心銀河から供給された重元素で汚染されている。ペルセウス座銀河団などの銀河団では、クールコアの銀河団ガスにおける元素と Fe との個数比が O, Mg から鉄族元素 (Cr, Mn, Ni) まで太陽組成比での値とよく一致する (e.g., Hitomi Collaboration+17, Mernier+18)。ケンタウルス座銀河団 (赤方偏移 $z = 0.0114$) はクールコアの高温ガスが特異的に高い Fe 組成比をもつ銀河団である (e.g., Mernier+16)。また中心部 ~10 kpc に分布する高温ガスでは巨大銀河からの元素供給にも関わらず、より外側に比べて元素組成比が減少する傾向があり、冷たい星間塵による元素貯蔵などが原因として提唱されている (e.g., Liu+19)。

我々は XMM-Newton, Chandra の CCD、より高精度分光可能な XMM-Newton の回折格子分光器 RGS によるそれぞれ 500 ks 以上の X 線観測データから、ケンタウルス座銀河団における元素組成比を調べた。中心 25 kpc の Fe 組成比は太陽の 1.7 倍程度、O/Fe, Ne/Fe, Mg/Fe は太陽組成比の 0.8–1 倍程度、鉄族元素は Mn/Fe が太陽の 1.5 倍、Ni/Fe が 2 倍程度とあらたに高い値をえた。これらの組成比は CCD, RGS とともに同程度であり、高い Fe, Mn, Ni 組成比はとくに重い白色矮星を親星とする Ia 型超新星の寄与が高いことを示唆する。Chandra と RGS で求めた中心 5 kpc の組成比は、O, Si, Fe などが顕著に減少し Ne/Fe も太陽の 0.7 倍程度であった。貴ガス元素である Ne が O などと同様に減少することから、組成比減少は星間塵だけで説明できるわけではない。また最中心部のガス ($kT < 1$ keV) では Fe L 輝線から Fe 組成比が決まるため、元素組成比減少の議論ではとくに Fe L 輝線の慎重な評価が必要である。Fe 組成比が中心で減少しないと仮定しスペクトルをフィットしたところ、C 統計値は若干悪化するものの、おおむねスペクトルを再現することができ、他の元素の減少も解消された。

[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](#)

T03a 銀河団ガスの鉄のアバダンスの赤方偏移依存性

米山理可子, 松下恭子, 小林翔悟 (東京理科大学)

銀河での超新星爆発によって合成された鉄がいつ銀河団ガスに供給されたかを調べることは、銀河団の星形成史や化学進化の理解のために重要である。今までの研究において、*Chandra* や *XMM-Newton* で観測された $z \sim 1$ までの天体で鉄のアバダンスと赤方偏移に負の相関があることが発見され (e.g. Balestra et al. 2007)、銀河団中心から $\sim r_{500}$ まで複数の領域に分けてアバダンスが調べられるようになった (e.g. Maughan et al. 2008, Baldi et al. 2012)。その後、クールコアを持つ銀河団の中心領域でのアバダンスと赤方偏移に負の相関があり (e.g. Ettori et al. 2015, McDonald et al. 2016)、それより外側の領域でのアバダンスは誤差の範囲で赤方偏移によらず一定となることが報告されている (e.g. Liu et al. 2020)。

本研究では、銀河団中心銀河の質量が測定されている天体 (Bellstedt et al. 2016) のうち、*XMM-Newton* で観測された $z < 0.7$ の 48 天体、 $z > 1.0$ の 1 天体の公開データを解析し、アバダンスと鉄の質量を求めた。中心から $0.7 r_{500}$ 以内の領域を 3 分割した結果、銀河団中心領域である $0.15 r_{500}$ 以内の領域ではアバダンスの分散が最も大きかった。またいずれの領域でも赤方偏移との相関は見られなかった。さらに $0.15 r_{500}$ 以内の領域でのアバダンス、鉄の質量、鉄の質量/中心銀河の質量はエントロピーとよく相関していた。つまりエントロピーが低くクールコアが強い天体ほど、中心に多くの鉄を含んでいることになる。またこれらの相関に赤方偏移依存性が見られなかったことから、先行研究で報告されていた中心領域でのアバダンスの赤方偏移依存性は、全天体に対するクールコアを持つ天体の割合の赤方偏移依存性を反映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](#)

T04a 大質量銀河団サンプル (CLASH) を用いた冷却コアの系統解析

上田周太朗 (ASIAA), 一戸悠人 (立教大学), Molnar, Sandor M. (ASIAA), 梅津敬一 (ASIAA), 北山哲 (東邦大学)

銀河団内のバリオンは暗黒物質の作る深い重力ポテンシャルに閉じ込められ、その大半は高温で電離状態のガス (以下、銀河団ガス) で存在している。力学的に緩和している銀河団の中心には、周囲よりも低温で高密度の銀河団ガスで構成される冷却コアの存在が X 線観測から示唆されている。X 線放射による冷却によって低温になっていると考えられているが、単純な冷却モデルが示唆するほどの低温ではなく、温度低下は極大値の 30 ~ 50 % 程度になっている。この観測事実は、冷却と絶妙につりあう加熱源が冷却コアに存在していることを示唆する。加熱源の有力な候補として考えられているのが、銀河団中心に位置する巨大楕円銀河の活動銀河核から噴き出るジェットである。しかし、X 線天文衛星「ひとみ」によるペルセウス銀河団の冷却コアの観測から、銀河団ガスの速度場は音速と比較して非常に遅いことがわかり、この説には再考の必要性がでてきた。

本研究では、大質量銀河団で構成された Cluster Lensing And Supernova survey with Hubble (CLASH) サンプルの冷却コアに着目し、系統解析によってガスの揺らぎを検出・X 線スペクトル解析することで加熱源の解明を試みた。すべての冷却コアでガスの 20 % 以上の揺らぎを発見し、揺らぎ内の銀河団ガス密度の濃淡によってガス温度は異なるが、全体として圧力平衡になっていることがわかった。これらは揺らぎが銀河団衝突によるスロッシングで作られたことを示唆する。さらに、銀河団衝突の数値シミュレーションを行い、系統解析の手法の検証するとともに揺らぎの持つ性質を調べ、それらは観測結果と整合していることを確認した。スロッシングによって誘発される冷却コア内のガスの運動が加熱源の有力な候補となりうることを明らかにした。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

T05a 銀河団のガス質量比-ガス温度関係とそのばらつきについて

松下友亮, 林田清, 松本浩典, 野田博文 (阪大), 藤田裕 (東京都立大)

銀河団において、暗黒物質を含めた総質量に対する高温ガスの質量の割合、ガス質量比 (f_{gas}) は重要なパラメータである。外縁部まで含めた f_{gas} は、宇宙におけるバリオン比に漸近することが期待される他、高温ガスの温度 (T_X) との関係 ($f_{gas} - T_X$ 関係) は、X線光度 (L_X) と T_X の関係 ($L_X - T_X$ 関係) とともに銀河団のスケールリング則として重要である。Fujita & Aung 2019 では、AGN feedback と質量の小さい天体ほど密度が高くなるという階層的構造形成の特徴を考慮することで、単純な自己相似則で期待される $f_{gas} \propto T_X^{0.45}$ ではなく、 $f_{gas} \propto T_X^{0.6}$ となることを予想している。ここで温度と質量は、NFW プロファイルの r_s での値を想定している。我々は、これを観測的に検証することを当初の目的に、重力レンズ観測、X線観測が充実している、CLASH-X 銀河団サンプル (Donahue et al. 2014) に着目した。ところが、同論文に掲載されている各種情報から、 r_s での f_{gas} 、 T_X を抽出すると、ファクタ 2 以上の (統計誤差を大きく超える) ばらつきがあり、仮説の検証は現段階では困難であることがわかった。同時に、ばらつきの主な原因が、 $f_{gas}(< r)$ (半径 r 以内での f_{gas}) の r (銀河団の中心からの距離) の関数としてのプロファイルの差異にあることに気が付いた。つまり、 r に依らずほぼ一様な銀河団と、 r の小さい内側に向かって $f_{gas}(< r)$ が下がる銀河団である。両者の違いの起源を探るため、X線観測の元データに立ち返った解析を行い、系統誤差を評価する作業を行っている。本講演では、その結果を報告する。理論シミュレーションでは、中心部でのガスの冷却や加熱を無視したモデルで平らな $f_{gas}(r)$ プロファイルが予想されている (e.g. Young et al. 2011)。 $f_{gas}(< r)$ プロファイルの異なる銀河団を比較した際に、この視点で説明可能かどうかの検討も行う。

[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](#)

T06a Optically-detected galaxy clusters in the AKARI North Ecliptic Pole field

Ting-Chi Huang (SOKENDAI/ISAS), Hideo Matsuhara (SOKENDAI/ISAS), Tomotsugu Goto (NTHU), Daryl J. D. Santos (NTHU), Simon C.-C. Ho (NTHU), Seong Jin Kim (NTHU), Tetsuya Hashimoto (NTHU), and the AKARI NEP team

Galaxy clusters provide a good laboratory for studying galaxy evolution and cosmology. However, the number of galaxy clusters identified in the AKARI North Ecliptic Pole (NEP) field was limited due to the lack of optical data. Recently, deep observations by Subaru/HSC have been carried out in the AKARI NEP field. This work provides the detection of galaxy clusters in the AKARI NEP field mainly using the HSC 5-band photometry. Our method based on only the positional information of galaxies to select galaxy clusters without any further assumptions, in order to maximize the number of potential clusters. We calculated the local density around every galaxy by 10th-nearest neighborhood method, and defined over-densities. The over-densities were used to determine cluster candidates by the friends-of-friends algorithm. As the result, 112 clusters have been found in 5.4 deg^2 below redshift 1.2, and among them there are 5721 cluster galaxies. 8 X-ray clusters have been reported in literature in the AKARI NEP field, and half of them were detected through our method. We have studied the properties of clusters, for example, red galaxy fraction, and richness. The analyses of completeness and false detection have been performed to test the reliability of our cluster finding method.

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

T07a Dilution 効果を軽減する弱重力レンズ銀河団検出法の開発と HSC サーベイ初年度データへの応用

浜名崇, 白崎正人 (国立天文台), Yen-Ting Lin (ASIAA)

銀河団の重力場がその背景銀河におよぼす弱重力レンズ効果を用いることで銀河団探査が可能である。この方法は、他の方法 (可視赤外による銀河集中、X 線による hot gas からの制動放射、電波によるスニヤエフ・ゼルドビッチ効果など) と異なり銀河団の総質量が検出信号 (弱重力レンズ密度場中の密度超過) と強く結びついているので、銀河団研究においてそれらの方法と相補的な役割を果たすと期待されている。

弱重力レンズ効果による銀河団探査には、可視光域における広域かつ深い撮像観測および銀河形状の精密測定のための高精度撮像が必要とされるため必然的に長時間を要するサーベイ計画となる。そのような計画は現在進行中の HSC サーベイで実現されており、さらに近い将来に開始される予定の LSST 計画や Euclid 衛星によるさらに大規模なサーベイによってより大規模な銀河団サンプルが得られることが期待される。

将来的に弱重力レンズ効果による銀河団検出がますます重要な役割を果たすことが期待されるため、その手法の改良は急務の課題である。本研究では銀河団による重力レンズ効果を受けていない銀河 (銀河団より手前の銀河と銀河団のメンバー銀河) が重力レンズ解析を行う銀河サンプルに混入することによる dilution 効果に着目し、多バンド測光データを用いた photometric redshift を用いることでその影響を軽減する方法を開発した。

開発した手法を実際に HSC サーベイの初年度データに応用し、約 120 平方度のサーベイ領域中に 124 の銀河団候補を検出した。これは従来の方法に比べおよそ倍の検出率である。本講演では、新たに開発した手法を解説したのち、検出した銀河団候補の性質や、検出の成功率について報告する。

[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](#)

T08a HSC-SSP 領域内の可視光で選択された衝突銀河団の X 線フォローアップ計画 (3)

田中桂悟, 藤本龍一 (金沢大学), 岡部信広 (広島大学), 三石郁之, 志村拓馬, 作田皓基 (名古屋大学), 赤松弘規 (SRON), 太田直美, 美里らな (奈良女子大学), 他 HSC 銀河団コラボレーション

銀河団は複数の銀河群の衝突合体を繰り返して成長して来たと考えられている。衝突によるエネルギーは銀河団ガスに衝撃波や乱流を引き起こし、その描像は時間と共に変動する。このため銀河団の力学的な進化過程を明らかにする上では様々な衝突段階の銀河団を X 線で観測することが重要である。しかしながら銀河団ガスの温度、光度は衝突による断熱圧縮によって上昇し、その後の断熱膨張で下降するため、衝突銀河団の X 線観測は衝突中期のサンプルに偏っていた。一方で可視光データを用いてメンバー銀河の密度分布から選択した衝突銀河団サンプルは、衝突段階によるバイアスを受けない (Okabe et al, 2019, PASJ, 71,79)。我々は Subaru HSC-SSP 領域内の銀河団カタログである CAMIRA カタログ (Oguri et al, 2018, PASJ, 70, S20) を用い、メンバー銀河の密度分布から衝突銀河団の候補を選択した。その内の 1 つである $z \sim 0.2$ の衝突銀河団 HSC J085024+001536 について詳細な X 線データ解析を行い、銀河団中心から ~ 550 kpc の位置に表面輝度の不連続と内側 $kT_{\text{in}} = 1.47^{+0.15}_{-0.14}$ keV, 外側 $kT_{\text{out}} = 2.82^{+0.54}_{-0.37}$ keV の温度上昇が生じていることを明らかにした (田中他, 2020 年秋季天文学会, T03a)。これは観測例の乏しい銀河団外縁部の cold front の兆候とみられ、可視光で選択された衝突銀河団の X 線観測の重要性を示す結果である。本講演ではその他の衝突銀河団候補も用いた系統的な X 線、可視光解析の結果についても報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

T09a HSC-SSP サーベイ領域 Weak Lensing 銀河団の X 線フォローアップ計画 (7)

作田皓基, 山口友洋, 三石郁之 (名古屋大), 浜名崇, 宮崎聡 (国立天文台), 大栗真宗 (東京大), 太田直美 (奈良女子大/AIfA ボン大学), 岡部信広 (広島大), 赤松弘規 (SRON), 上田周太朗 (ASIAA), 田中桂悟 (金沢大学), 他 HSC 銀河団コラボレーション

すばる望遠鏡 HSC を用いた戦略的観測プログラム (HSC-SSP) による ~ 160 平方度領域をカバーした弱い重力レンズ (Weak Lensing: WL) 観測により、 $10^{14}h^{-1}M_{\odot} < M_{500} < 10^{15}h^{-1}M_{\odot}$ の幅広い質量レンジで 65 もの WL 同定銀河団が検出された (Miyazaki et al., PASJ, 2018)。我々はこのサンプルを用いて銀河団スケール則などを調べることを目的に、X 線アーカイブデータを用いて系統的な解析を行い、WL 同定銀河団は規則型を多く含む X 線同定銀河団と比較し系統的にガス構造が乱れていることを明らかにした (吉田他 日本天文学会 2019 年秋季年会)。次に我々は本研究を発展・展開するため、検出アルゴリズムを改善し、より大きな 124 もの WL 同定銀河団候補を含む新たなカタログを作成した (Hamana et al., PASJ, 2020)。この中から、過去の WL・X 線同定銀河団カタログに載っておらず、かつ有意にその広がりが見出された 5 サンプルに着目しイメージ解析を試みたところ、複雑な輝度分布や複数のクランプ構造などが見られた (作田他 日本天文学会 2020 年秋季年会)。

今回我々はこれらの天体に対し分光解析を実施し、温度は $\sim 1-4$ keV 程度、光度は $\sim 3 \times 10^{43-44}$ erg s $^{-1}$ の範囲にあり、X 線の温度 - 光度関係には過去の X 線同定銀河団を含む先行研究からの大きな逸脱は見られなかった。また X 線光度と WL 質量関係は、これまでの WL 同定銀河団サンプル同様、X 線同定銀河団サンプルからの外挿から逸脱し、同質量に対し系統的に X 線光度が低い傾向が見られた。本講演では、さらには詳細な X 線イメージ・分光解析結果とをあわせ、WL 同定銀河団のスケール則について議論する。

[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](#)

T10a BARYON BUDGET IN THE XXL CLUSTERS III

秋野大知 (広島大学), 岡部信広 (広島大学), 梅津敬一 (ASIAA), 大栗真宗 (東京大学), 田中賢幸 (国立天文台), 宮崎聡 (国立天文台), 西澤淳 (名古屋大学), Dominique Eckert (Geneva University), Mauro Sereno (INAF-OAS Bologna), Fabio Gastaldello (INAF-IASF Milano)

本講演ではすばる望遠鏡 Hyper Suprime-Cam (HSC) Survey と XXL Survey の共通領域にある 136 個の XXL 銀河団のバリオンフラクションの研究について報告する。銀河団が完全に閉じた系であるとする、その中に占められるバリオンフラクションは宇宙平均 Ω_b/Ω_m に近づくことが予想されるが、放射冷却、星形成、AGN などのフィードバックのバリオン物理の影響があるため、必ずしも自明ではない。X 線衛星 XMM-Newton を用いた XXL Survey によって発見された X 線銀河団の質量はバリオン物理が無視できない低質量側の $M_{500}^{WL} \sim 10^{13} M_{\odot}$ から高質量側の $6 \times 10^{14} M_{\odot}$ までと約 2 桁に渡る広い質量範囲を網羅しており、バリオンフラクションを研究することに最適なターゲットであると言える。

我々は HSC により弱い重力レンズ (WL) 質量 (Umetsu+20) と星質量を求め、XXL Survey からガス質量を求めた。銀河の星総質量、BCG の星質量、ガス質量のスケール関係と同時にフィットし、それらの intrinsic covariance を制限した。その結果、星質量と BCG 星質量の質量依存性を表すスロープは 1 より小さく、ガス質量のスロープは 1 より大きいことがわかった。また intrinsic covariance については BCG 星質量と星質量の間に正の相関があること、星質量とガス質量との間に弱い正の相関があることがわかった。そしてバリオンフラクションは、銀河団の低質量 $\sim 10^{13} M_{\odot}$ で Ω_b/Ω_m の約 60 % から徐々に増加し高質量領域 $\sim 10^{15} M_{\odot}$ で Ω_b/Ω_m に近づいていくことがわかった。

[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](#)

U01a 重力場中における光の全曲がり角の新たな定義と宇宙定数による光の曲がりへの応用

荒木田英禎 (日本大学)

重力場中における光の曲がりに対する宇宙定数 Λ の寄与は未だ決着を見ない古くて新しい問題である。Islam (Phys. Lett. A, 97, 239-241, 1983) 以来、宇宙定数は光の曲がりには寄与しないと考えられてきたが、Rindler and Ishak (Phys. Rev. D, 76, id. 043006, 2007) による宇宙定数が光の湾曲に寄与するという論文をきっかけに、多くの研究がなされるようになってきた。だが、未だに意見の一致に至っていない。

この問題が解決に至らない大きな理由の 1 つは、曲がった時空上における光の全曲がり角とは何か、どのように定義されるべきかが曖昧な点にある。例えば、漸近的平坦ではない宇宙定数を含む Schwarzschild-de Sitter 時空はユークリッド幾何学の平行線公準 (公理) が成り立たず、Schwarzschild 時空で行うような無限遠の光源・観測点における光の曲がり角の 2 倍を全曲がり角とおくことはできない。

この問題を解決する 1 つの方法として Gauss-Bonnet の定理を用い、曲がった空間に四角形を考えることで光の全曲がり角を定義・計算する方法 (H. Arakida, Gen. Relativ. Gravit. (2018) 50, 48) を報告した (2017 年秋季年会)。だが、この方法では四角形を構成する 4 辺のうちの 1 辺の取り方に課題を残していた。本研究では LATOR などで提案されているように宇宙空間に 3 本のレーザー基線で三角形を構成し、曲がった時空と背景時空における三角形の内角の和の差を取ることで光の全曲がり角を新たな定義し、Gauss-Bonnet の定理を元に計算方法を導出する。Schwarzschild 時空では、漸近的平坦な極限で Epstein-Shapiro の公式を再現する。Schwarzschild-de Sitter 時空の場合、宇宙定数は $O(\Lambda/m)$ の形ではなく $O(\Lambda m)$ の形で現れ、 $O(\Lambda)$ の項は現れない。

[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](#)

U02a 銀河スピン分布 III : SDSS 銀河サンプルの双極子異方性

家正則 (国立天文台)、福本英也 (放送大)、八木雅文 (国立天文台)

2019 年秋季年会 (R01a) で、我々は渦巻銀河の (1) 天球面上での渦巻の向き (S 型か Z 型か)、(2) 銀河長軸上のどちらが近づく回転運動をしているか、(3) 銀河短軸上のどちらに吸収が著しいか、の 3 情報を確認できた 146 個の近傍渦巻銀河の調査から、吸収の著しい側が手前側であるとすれば、全ての渦巻銀河が Trailing 渦巻であることを再確認したことを発表した。吸収の著しい側が傾いた銀河円盤の手前側であることは唯一 M31 の球状星団の非対称な星間赤化から確認されている (Iye and Richter 1985) だけだが、数値シミュレーションからも Trailing 渦巻が普遍的と考えられる。この場合、渦巻銀河が S 型か Z 型を判定するだけで、その銀河のスピン角運動量の視線方向成分の正負を判定できる。銀河のスピン分布がランダム分布に従うのであれば、S 型と Z 型の数比やその空間分布に大局的な対称性の破れは生じないはずである。これまで、銀河の軸比や長軸の方位角分布の調査から宇宙の大規模構造と銀河のスピンとの関係が議論されてきたが、軸比や方位角測定は誤差要因が多い。渦巻の向きは 1 ビットの情報でしかないが、誤差要因が少なく統計解析に適した指標となる。

今回、我々は双極子強度の測定法とランダム分布シミュレーションに基づく、測定値の統計的有意度評価の手法を確立したので発表する。この手法を SDSS の渦巻銀河 ($z \leq 0.1$) の S/Z 判定データ (Shamir 2017) に適用したところ、Shamir 2020 で報告された値に近い 4σ の双極子成分を検出した。だが、同カタログにデータ重複があることが判明し、重複除去後の評価では有意な双極子成分は確認できなかった。現在 PanStarrs, DES, HSC の銀河画像データベースから深層学習の手法 (Tadaki et al. 2020) を用いて、S/Z 判定カタログの拡張を実施中であり、銀河群、銀河団、フィラメント構造などに着目した解析を進める計画とその意義について述べる。

[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](#)

U03a 重力レンズクエーサーで切り拓く小スケール宇宙論 -レンジングパワースペクトルの測定-

井上 開輝 (近畿大), 峰崎 岳夫 (東京大), 松下 聡樹 (ASIAA), 中西 康一郎 (国立天文台)

銀河より小さいスケール (<10 kpc) において、宇宙の質量密度揺らぎによる弱い重力レンズ効果を観測的に検出することは極めて困難である。しかし、光源が多重像としてみえる強い重力レンズ系を使えば、視線方向の質量密度揺らぎに起因する弱い重力レンズ効果を著しく強めることができるため、像の歪みを用いて観測的に検出することが可能になる。これまでの研究では、少数のハローによる重力的摂動が考慮されていたが、実空間でモデリングが定式化されているため、特定の空間周波数に対するレンジングパワースペクトルを求めることは困難であった。我々は、ハロー、フィラメント、ボイドといった非線形構造に起因する重力ポテンシャルや、収束、位置シフトの摂動を観測的に求めるため、重力ポテンシャルの摂動をフーリエモード関数の重ね合わせで表し、観測画像から特定の空間周波数のモード関数の情報を求められるような、全く新しいアルゴリズムを開発した。さらに、我々は、4 重像重力レンズクエーサー MGJ0414+0534 を ALMA で観測し、その連続波画像の歪みを我々の開発した新しいアルゴリズムで解析することによって、特定の小角度スケール (1.2~1.8 秒角) におけるレンジングパワースペクトルを測定することにはじめて成功した。本発表では、それらの結果と共に小スケールにおける CDM モデルの妥当性について述べる。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

U04a 銀河・ハローの相関関数に現れる重力赤方偏移効果とその検出可能性

樽家篤史 (基礎物理学研究所), 嵯峨承平, Yann Rasera (Observatoire de Paris), Michel-Andr es Breton (Laboratoire d'astrophysique de Marseille)

銀河赤方偏移サーベイにもとづく銀河の 3 次元地図は、統計的に様々な宇宙論的情報を有している。ただし、光の伝搬に伴う観測的な相対論効果によって、作成された 3 次元地図は、必ずしも実際の銀河分布を反映していない。よく知られているのが、「赤方偏移空間ゆがみ」である。その主成分は、銀河の特異速度によるドップラー効果であり、これにより、銀河の位置は、観測者の視線方向に沿って見かけ上ずれ、銀河の統計量は非等方になる。赤方偏移空間ゆがみは、近年、宇宙論的スケールでの一般相対論のテストで注目されているが、本来、このゆがみには、ドップラー効果以外に、重力赤方偏移などの一般相対論効果も含んでいる。将来の高精度観測でそうした効果の影響を検出できれば、新たな宇宙論の検証手段を切り拓くことも可能となる。

これまで、我々は、 N 体シミュレーションを用いて観測的相対論効果を考慮した銀河ハローカタログを作成、銀河ハローの相関関数に現れる非等方性について調べてきた (M-A. Breton et al. '19)。さらに、準線形理論にもとづく解析的モデルを構築、シミュレーションで得られたふるまいを定量的に再現することにも成功した (Taruya et al. '20; Saga et al. '20)。その結果、相対論効果によって双極子的非等方性が現れ、特に準非線形領域で、重力赤方偏移効果が他を卓越することがわかった。これを踏まえ、本講演では、重力赤方偏移による双極子的非等方性の検出可能性について議論する。解析的モデルを用いて、具体的な将来観測におけるシグナル・ノイズ比 (S/N) を評価し、DESI, SKA などの観測プロジェクトでは、 $S/N \sim \mathcal{O}(10)$ の高い統計的有意性で、重力赤方偏移に由来する双極子的非等方性の検出が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](#)

U05a 光子 = 「始粒の交互配列二重鎖構造・自力走行体」のモデルで考える光子の屈折・反射・干渉挙動

藤原 ケイ

筆者は 2020 秋の本大会で 太陽黒点、光子の屈折挙動および物性値の特徴などの研究・考察から新たな物質（電子、陽子、中性子）、光子、ニュートリノ（反物質含む）のモデルを提案して紹介した。ここから言える事の一つに 光子モデルが妥当なものとすると、ハッブルの法則の解釈見直しが必然となる、点がある。具体的には、光子には寿命があることになり、時間とともに光子は減衰する。すなわち赤方偏移の大部分が光子の年齢となる。言い方を変えると 遠くから届く光子は赤方偏移しているということであり、赤方偏移の多くは距離そのものとなり、光ドップラー効果の割合は小さく、宇宙論的效果等は不要となる。

物質、光子、ニュートリノ等のモデルを再確認し、具体的な物理現象を取り上げてモデルの妥当性を考えて見たい。今回は 光子の屈折・反射・干渉現象を取り上げる。

*今回は主に光子についてなので、モデルの全体概要を示す。

(1) 原流体が存在する。＜光子の速度抵抗となる”何か”があるはずである＞

(2) 土の始粒が生成し、直ぐ消える。＜原流体＝”何か” から最初に生成するもの＞

(3) 物質、光子、ニュートリノ、各中間子及びこれらの反物質は”始粒の動的構造体”であり、安定構造のものが物質、不安定なものが中間子で、光子・ニュートリノは末端が破裂して徐々に短くなる準安定の存在である。

(4) 物質等（元素を含む）の全ての物性、重力などの全ての作用、場・運動・状態等は 物質等及びその集合体から発現する現象であり、原流体・始粒・物質等が混合した存在状態である。

[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](#)

U06a 原子核はどのようなものであるか、とその検証方法

小堀しづ

原子核の大きさは約 $10 - 14$ m です。どうして原子核の大きさは $10 - 14$ m であるか。原子核の大きさは陽子のラブの公転軌道を示す。陽子のラブの質量エネルギーは $1.503 \times 10 - 10$ J です。陽子のラブの公転軌道は、 $8.665 \times 10 - 24$ Jm \div 陽子のラブの質量エネルギー = $8.665 \times 10 - 24$ Jm \div ($1.503 \times 10 - 10$ J) = $5.765 \times 10 - 14$ m です。この公転軌道を全ての陽子のラブがランダムに自転しながら公転している。陽子のラブの大きさは、 $1.233 \times 10 - 41$ Jm \div 陽子のラブの質量エネルギー = $1.233 \times 10 - 41$ Jm \div ($1.503 \times 10 - 10$ J) = $8.204 \times 10 - 22$ m ですから、十分に大きい軌道です。陽子のラブの比重は 5.779×1083 で、とても重い。全ての陽子のラブが $5.675 \times 10 - 14$ m の公転軌道をランダムに回転しているので、硬い凹凸のない球体である。この内側を中性子のラブが公転している。中性子のラブは陽子のラブと電子のラブが結合したもので電荷はないです。中性子のラブの公転軌道は、 $8.665 \times 10 - 24$ Jm \div 中性子のラブの質量エネルギー = $8.665 \times 10 - 24$ Jm \div ($1.5038 \times 10 - 10$ J) = $5.762 \times 10 - 14$ m です。この軌道を全ての中性子のラブが左に公転している。(特願 2019 - 119178) 従来、原子核の中には、陽子と中性子が混合して存在すると考えられている。これを検証するには、原子核に電磁気を当て、反射光の方向を調べる。一定方向に反射するはずで、従来考えの場合、反射光は不規則の方向に反射する。(特願 2019 - 127350)

[スケジュール\(セッション毎\)に戻る](#)

[スケジュール\(全体\)に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V101a Update on ALMA Operations and Development Program - Spring 2021

A. Gonzalez, M. Fukagawa, D. Iono, S. Sakamoto, G. Kosugi, T. Kojima, K. Kikuchi, M. Hiramatsu (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 started in October 2019, and planning of Cycle 8 operations have been heavily affected by the COVID-19 situation worldwide. Due to the spread of the virus in Chile, the ALMA site was shut down from late March 2020, and started to be recovered from October 1st 2020. The Cycle 8 Call for Proposals was originally opened in March 2020 as planned, but suspended afterwards due to the impossibility to offer Cycle 8 as expected. An update on the situation with respect to Cycle 7 and 8 will be presented in this talk.

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 wideband receiver technology towards ALMA2.

Future Plan: ALMA2 has been included in the MEXT Roadmap 2020 after the recommendation of the Science Council of Japan in the Masterplan 2020. The ALMA2 Project will strengthen observation capabilities at the same time as operations of the ALMA telescope continue through international collaboration.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V102a Demonstration of a Millimeter-wave Multibeam Receiver Implemented with Superconducting MMICs

Wenlei Shan, Shohei Ezaki, Keiko Kaneko, Akihira Miyachi, Takafumi Kojima, Yoshinori Uzawa, Haoran Kang, Alvaro Gonzalez(NAOJ)

Coherent focal plane array receivers are employed in radio astronomical observations for imaging celestial objects with high frequency resolution. At mm/sub-mm regime the complexity of coherent receiver frontends, which are conventionally constructed with metal waveguide circuits, imposes a limit on the number of pixels arrayed in the focal plane of a radio telescope and results in a narrow field of view. 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 silicon membrane-based waveguide probes, which allows superconducting monolithic microwave integrated circuits (MMICs) to couple signal and LO from CNC-machined waveguides through multiple paths. A 2 x 2 dual-polarization balanced SIS mixer array has been implemented with this scheme and assessed at 2 mm wavelengths. This compact array has demonstrated uniform LO distribution and low crosstalk between pixels. The RF performance of component pixels has been confirmed to be little affected by the high degree integration. The potential implementation of the HPI scheme at THz frequencies is also implied.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V103a 325-500 GHz 帯誘電体材料評価システムの開発と評価

坂井了, 金子慶子, 大田原一成, 今田大皓, 小嶋崇文, 鶴澤佳徳, Alvaro Gonzalez (国立天文台), 酒井剛 (電気通信大学)

国立天文台では、光学材料のミリ波・サブミリ波特性を正確に把握し、受信機光学系の設計精度を向上させることを目的として、誘電体材料評価システムの開発を推進している。本学会 2020 年秋季年会では、以前に開発した ALMA Band 2 観測周波数帯 (67-116 GHz) 誘電体材料評価システムにより得られた誘電率測定結果の妥当性を実証した。今回、我々は 325-500 GHz 帯におけるフリースペース法誘電体材料評価システムの開発と測定結果の妥当性検証を実施した。材料評価システムの開発において、光学系の各設計パラメータはガウシアンビーム計算で決定した。各設計パラメータを用いて、電磁界解析ソフトウェア GRASP で解析し、光学系に起因する誘電率の測定誤差を求めた。測定試料に入射するガウシアンビームの平面波近似に起因する誘電率の計算誤差、交差偏波成分や Beam distortion の影響などを評価して、これらが十分に小さいことを確認した。また、実際に構築した材料評価システムにより得られた誘電率の妥当性を検証するため、テラヘルツ時間領域分光法 (Terahertz Time-domain Spectroscopy: THz-TDS) を用いて同一材料の測定と比較を実施した。我々が開発した材料評価システムと THz-TDS により得られた誘電率は良好に一致し、構築した材料評価システムの妥当性を実証した。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V104a パブリッククラウドを活用したアルマ望遠鏡データのアーカイブおよび解析処理の実証実験

森田 英輔, 小杉 城治, 中里 剛, ミエル ルノー, 林 洋平 (国立天文台), 吉田 浩, 合田 憲人 (国立情報学研究所)

近年、多くの分野にてクラウドサービスの利用が進んでいるが、大学・研究機関におけるデータアーカイブや各種解析処理等での実績はまだ少なく、実施例やベストプラクティスが求められている。国立天文台 ALMA コンピューティングチームは、国立情報学研究所 (NII) との共同研究として、国立天文台のオンプレミス環境で運用されている ALMA 望遠鏡のデータアーカイブシステムおよびデータ解析環境の擬似環境を Amazon Web Services (AWS) のパブリッククラウド上に構築して実証実験を行い、オンプレミス環境との比較を行うことで、天文データアーカイブおよび解析処理におけるパブリッククラウド利用の可能性を調べた。具体的には、公開済み観測データの一部を用いて、パブリッククラウドのコールドストレージへの観測データのアーカイブおよび取り出し処理の性能の調査およびコストの算出を行い、Amazon Elastic Compute Cloud (Amazon EC2) インスタンス上でデータ解析ソフトウェア CASA を用いたパイプライン処理を実行して処理にかかった時間やリソース使用状況の調査およびコストの算出を行った。また、これらの結果をもとに、オンプレミス環境とパブリッククラウド環境の両方を組み合わせたハイブリッド構成として、アクセス頻度が低いデータをパブリッククラウドのコールドストレージに保管することによりデータアーカイブの運用コストを最適化する構成やオンプレミスの解析環境のリソースを抑えつつ、必要に応じてパブリッククラウド環境を活用する構成についても検討した。本発表では、これまでにを行った実証実験の概要および現在まで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](#)

V105a The Next Generation Very Large Array - Spring 2021

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 and the current status of the Next Generation Very Large Array (ngVLA), including the recent scientific and technical activities of the ngVLA study group which is managed by the NAOJ along with the members of the science community. A series of workshops and meetings were held in the mid-late 2020 organized by the five Science Working Groups, discussing the new science enabled by the ngVLA with particular emphasis on the scientific interests of the Japanese community. The outcome of these discussion will be articulated in the ngVLA-J memo series.

The ngVLA will be composed of 214 18-m antennas placed around the current JVLA site in New Mexico, USA. This will provide large collecting surface with baselines up to 1000 km, which will translate into unprecedented sensitivity and milli-arcsecond angular resolution at frequencies from 1.2 to 116 GHz, covering the atomic hydrogen line to the lowest rotational transition of carbon monoxide. The array will be complemented with the Short Baseline Array, which will comprise 19 antennas of 6-meter diameter, and 4 antennas of 18-meter diameter operating as single dish telescopes. The highest angular resolution will be achieved by the Long Baseline Array, which will consist of 30 antennas of 18-meter diameter with a longest baseline of 8860 km. The construction led by NRAO begins in the mid 2020's, and the full operation is expected in the mid 2030's.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V106a スパースモデリングによる画像合成と天体構造の関係

中村友音, 奥村幸子 (日本女子大学), 塚越崇, 川邊良平 (国立天文台)

電波干渉計で観測されたデータから画像を合成するための新しい手法として、スパースモデリングを用いた手法が着目されている。この手法は、画像の再現性が天体の分布によって影響を受けることが知られている。疎な分布で表現できる天体放射に対する再現度は高いものの、広がった放射に対する再現度についてはあまり検証されておらず、特に、実際の天体構造で期待されるような、両者が混在する場合についての検証が必要とされている。

そこで本研究では、スパースモデリングによる天体画像復元手法が、天体放射分布の再現にどのような影響を与えているかを調査するため、モデル画像と観測シミュレーションを用いた検証を行った。ノイズを含まないモデル画像を作成し、CASA の simobserve タスクを使用して実際の ALMA の観測配列を用いた観測シミュレーションを行った。得られたモデルビジビリティに対し、スパースモデリングによる画像合成のほか、一般に用いられている CLEAN を用いた画像作成も行い、両者の比較を行った。スパースモデリングの画像作成には、CASA のモジュールとして公開されている PRIISM を使用した。本研究では、ガウシアン分布をベースにしたモデル画像を採用しており、コンパクトなシングルガウシアンと、それに広がった成分を加えたダブルガウシアンの二つの構造について、画像内の強度分布と積分強度の比較を行った (シングルガウシアンの半値幅はビームサイズの約 2.5 倍)。比較の結果、スパースモデリング画像は両モデル構造について、CLEAN よりも積分強度をより正確に再現することがわかった。また、広がった放射の強度分布についても、よりモデルを再現することがわかった。

講演では、スパースモデリングを使用して得られた画像がどのような特徴を示すかさらに詳しく報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V107a ミリ波補償光学の開発 V. 野辺山 45 m ミリ波望遠鏡における開口面干渉法波面センサの実証実験

田村陽一, 谷口暁星, 戸上陽平, 萩本将都, 中野寛矢, 松田慧一 (名古屋大), 川邊良平, 川口則幸, 南谷哲宏, 大島泰 (国立天文台), 深作悠平, 久野成夫 (筑波大), 木村公洋, 岡田望 (JAXA), 中村友子, 奥村幸子 (日本女子大), 小川英夫, 大西利和 (大阪府立大), 栗田光樹夫 (京都大), 竹腰達哉 (北見工大), 河野孝太郎 (東京大)

電波望遠鏡において、鏡面精度を担保したままアンテナを大口径化・高周波化することは、あらたな天文学領域を開拓するうえで重要だ。大気の高周波化が波面劣化の原因になる可視赤外領域と異なり、(サブ)ミリ波領域ではおもに望遠鏡光学系の予測不可能な変形が波面劣化を引き起こす。そこで我々は、風負荷・熱変形・重力変形による主鏡面精度の低下を実時間で補償する光学システム「ミリ波補償光学(MAO)」の創出を推進している。近年、メキシコ LMT 50 m 鏡や上海天馬 65 m 鏡など、能動主鏡面制御系を備えた大型単一鏡の登場により、実時間の波面制御が次第に現実味を帯びる一方、いまだ波面計測センサは存在しない。

そこで我々は、電波天文学のネイティブな波面計測法である干渉計を利用した 5 素子 20 GHz 帯波面センサの開発を推進している。2020 年 11 月、野辺山 45 m ミリ波望遠鏡にまずは 2 素子の試作機を搭載し、ミニマムな実証実験を実施した。この結果、フリッジの検出に成功し開口面干渉法による波面計測が可能なることを示した。さらに、参照信号出力の測定、位相安定性試験、2 素子のスイッチングによる 2 点波面計測試験を実施した結果、 $< 100 \mu\text{m}$ の統計的精度で超過経路長変化を計測できることがわかった。風負荷、熱・重力変形と見られる実時間の超過経路長変化を検出するとともに、別途設置した加速度センサーによる振動計測と整合する結果を得た。

[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](#)

V108a 南極テラヘルツ干渉計による原子輝線の観測計画

松尾 宏, 江澤 元, 鎌崎 剛 (国立天文台), 新田冬夢, 橋本拓也, 丹羽綾子, 久野成夫 (筑波大学), 瀬田益道, 中井直正 (関西学院大学)

テラヘルツ波および遠赤外線領域の原子輝線は、大質量星形成領域や活動銀河核にある原子ガスの物理状態を探る指標として重要である。しかし衛星搭載望遠鏡によるテラヘルツ波観測は、ミリ波サブミリ波や近赤外線に比べ角度分解能が劣るため、この活動領域を詳細に観測することは困難である。一方で、南極内陸部の標高 3800m 以上のサイトではテラヘルツ波帯の大気透過率が高く、大気の安定度も高いことが分かっている。本研究では、高解像度のテラヘルツ原子輝線観測を実現するため、南極高地に設置するテラヘルツ干渉計を構築し、南極新ドームふじ基地からの初期観測を目指す。これは、将来のテラヘルツ超長基線干渉計およびスペース赤外線干渉計の実現に向けての技術開発および試験観測でもある。干渉計として口径 30cm 望遠鏡 2 台に 500GHz 帯 SIS ミクサと 1.5THz 帯の SIS 光子検出器を搭載したヘテロダイン干渉計および強度干渉計を採用する。強度干渉計では高感度広帯域の直接検出器を用いて長基線干渉計が実現可能であり、本研究により初めての天体画像合成を行う。南天の大質量星形成領域(カリナ星雲および大マゼラン雲の 30Dor)を観測対象とし、500GHz 帯では中性炭素輝線 CI 492GHz、1.5THz 帯では電離窒素輝線 [NII]205um の観測により、大質量星形成領域における重元素ガスの分布と物理状態を調べる。国立極地研究所の南極地域観測第 X 期 6 年計画に応募し、2025 年度より新ドームふじ基地からの試験観測に挑む計画である。

[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](#)

V109a テラヘルツ強度干渉計用光子計数型検出器のための 0.8 K 小型吸着式冷凍器の開発

丹羽綾子(筑波大学), 松尾宏, 江澤元, 福嶋美津広, 岡田則夫, 森野潤一(国立天文台), 黒澤里沙(東邦大学), 守屋潤一郎(株式会社プレテック)

本研究ではテラヘルツ強度干渉計での使用を目的として、0.8 K で 200 μ W 以上の冷却能力をもつ小型吸着式冷凍器の開発を行った。

我々の提案するテラヘルツ強度干渉計は、光子バンチを用いて遅延時間を測定し、強度相関による高解像高感度の開口合成の実現を目指している。単一光子を読み出すため、1 ns 程度の時間分解能をもち、リーク電流 1-2 pA 程度の低雑音の光子検出器を開発中である。検出素子は Nb/Al/AlO_x/Al/Nb ベースの大きさ 3 μ m \times 3 μ m の SIS 接合であり、0.8 K ($<$ Nb の臨界温度 $T_c/10$) の極低温で低リーク電流が実現される。読み出し回路素子は高速読み出しのために検出素子と同じステージに置く必要があり、200 μ W 程度の発熱を生じる。

本冷凍器は 4 K ステージ上で動作し、ヒーターとヒートスイッチの電源操作によって 0.8 K に冷却可能である。使用予定のクライオスタットに合わせて、全長は 8.5 cm 程度と短く 4 K 冷凍機に対する熱負荷も小さい。しかし、それによって熱負荷 200 μ W での 0.8 K 持続時間は 2 時間程度になるため、冷凍器 2 台の交互運転による 0.8 K 連続冷却を検討している。本講演では冷凍器の性能評価の結果に加えて、交互運転の試みについても報告する。

[スケジュール\(セッション毎\)に戻る](#)

[スケジュール\(全体\)に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V110a 超伝導ミキサ素子によるダストプラズマのテラヘルツ波ヘテロダイナミクス分光診断

前澤裕之, 米津鉄平(大阪府立大学)

超伝導ミキサ検出素子を搭載したミリ-テラヘルツ (THz) 波帯のヘテロダイナミクス分光は、その高感度性能かつ周波数高分解能を武器に、星間分子の観測や地球・惑星大気に含まれる微量分子のリモートセンシング、実験室分光などにおいて威力を発揮している。我々はこれまでにミリ波帯では SIS 超伝導ミキサ検出器、THz 帯では超伝導ホットエレクトロニクスボロメータミキサ検出器を用いて、地球・惑星の成層圏・中間圏相当の大気環境や、星間物質や原始の地球・惑星大気環境、彗星などを模してプラズマ放電した際に生じる微量分子ガスの分光診断を推進してきた。特に後者のようなプラズマの診断では、チャンバー内で大量の有機分子が舞い、観察窓や鏡面ミラーなどが Tholin 同様の茶褐色のダストで覆われてしまうため、可視分光や赤外域のレーザー吸収/キャビティリングダウンやフーリエ変換分光法などの手法が通用しない。一方、波長の長いミリ-テラヘルツ (THz) 波はダストの吸収・散乱の影響を受けにくく、ダストストーム発生時の火星の下層大気や、チャンバー内のダストプラズマ内部を見透すことができる。我々の装置では、例えばダストプラズマ内で形成されたシアン化水素 (HCN) や一酸化炭素 (CO) のスペクトル分光なども可能であり、それらの混合比やガスの温度は、放射輸送モデルに基づきスペクトルのリトリーバル解析により算出できる。母ガスなどの衝突相手の分子種 (主に水素など) とその密度は、ダストプラズマ計測専用開発した四重極質量分析システム (QMS) の測定値やプラズマ装置の圧力値を参照してクロスチェックしている。Line-by-line パラメータは Cologne Database for Molecular Spectroscopy (CDMS) や HITRAN Databaseなどを参照している。THz ヘテロダイナミクス分光診断の結果は、QMS のマススペクトルから推測される分子の存在量とも良く合致しており、本講演では、これら一連の計測の手法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](#)

V111a SKA プロジェクトへの参加計画 3

小林秀行, 赤堀卓也, 河野裕介, 廣田朋也, 小山友明, 寺家孝明, 砂田知良, 永山匠, 亀谷收, 本間希樹 (国立天文台 SKA1 検討グループ)

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。SKA1 計画は、2019 年 9 月に建設計画 (Construction Proposal, CP) と 2030 年までの運用計画 (Observatory Establishment and Delivery Plan, OEDP) が提案され、理事会において承認された。これを踏まえ参加メンバー間での貢献分担の策定と建設開始のための最終的な仕様書の策定などが進められており、2021 年半ばから建設が開始される予定である。また国際機関設立の条約の批准も進み、2020 年末には新たな国際機関としての SKA Observatory が設立される予定である。その理事会 (Council) の組織化も進んでおり、日本はオブザーバとして代表 2 名が参加する。日本は建設期においては、Assembling, Integration, Verification (AIV) と Science Validation (SV) に参加する予定である。AIV 活動の初期の Preliminary System Integration (PSI) には inkind で参加を開始している。その他にも VLBI システムの開発、科学データを解析・アーカイブする科学地域センター (SRC) のシステム検討にも参加している。国立天文台における SKA1 プロジェクトの設立に向けた提案を行うために、日本のプロジェクト参加計画の策定を日本のコミュニティとともに検討を進めている。科学面ではキーサイエンスへの参加、SRC への貢献、予備研究の推進計画など、技術面では、MID と LOW の AIV への参加計画、VLBI システム構築への貢献計画、高周波・広帯域受信機などの将来の開発計画への参加などを検討している。さらに予算、人員計画を含む日本のプロジェクトのマネージメント計画も検討しており、これらをまとめて 2021 年半ばに国立天文台のプロジェクト申請を行う予定である。

[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](#)

V112a SKA プロジェクトに向けた科学検討 4

赤堀卓也, 廣田朋也, 永山匠, 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、科学作業部会 (SWG) の参加者はこの期間も増え続け、40 カ国 900 名を超えた。個別のサイエンスでは Nature 論文の複数同時掲載など FRB が活況にある。国際 SWG では SKA Observatory Development Program (SODP) を意識した望遠鏡性能拡張の検討が始まっている。たとえば VLOW (20–50 MHz) の拡張、Band 3/4 (2–5 GHz) の充足、Band 6/7 (15–50 GHz) の拡張、最大基線長 300 km への拡張、広視野化が項目に挙がる。データチャレンジは第 2 回のエントリーが始まり、模擬 HI 観測の大容量 (TByte 級) イメージキューブの解析に挑む。SKA 地域センター (SRC) については国際的な作業部会 (SRC-WG) が結成され、SRC のあり方の議論が本格化する。いわゆるメガ・コンステレーション衛星の電波障害 (RFI) については影響が評価され、ごく稀に影響があることが分かった。

国内でも、SKA に関連する研究業績は引き続き増加傾向にある。SWG の日本人参加者は約 2.5% を占め、また SRC-WG には代表者 7 名が加わった。国内に 10 ある科学検討班は日本版サイエンスブック 2020 を 463 ページ・106 名 (重複除く) の著者を加えて出版し、現在は英語化を進める。また VLBI や ALMA とのシナジーを精力的に検討し、次年度は Subaru/TMT とのシナジーを検討する予定。LOW EoR に関してはリスク評価が行われ、その解決にむけた技術開発が動き出した。磁場解析パイプラインも SKA の先行機に参画し開発中。SKA1 検討グループは科学部門のメンバーを増員しながら、引き続きこれらの国際情勢の調査やコミュニティの活動をサポートしている。SRC への日本の参加のあり方について、タスクフォースを組織し議論を進めている。

[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](#)

V113a SKA プロジェクトに向けた技術検討状況

河野裕介, 小林秀行, 小山友明, 砂田知良, 寺家孝明 (国立天文台) ほか国立天文台水沢 VLBI 観測所 SKA1 検討グループ

Square Kilometre Array (SKA) 計画は、最終的に 1 平方キロメートル (百万平米) の集光面積を持つ、世界最大の電波望遠鏡を建設する計画である。国立天文台は 2019 年度より SKA1 検討グループを組織し SKA への参入計画について検討している。SKA に貢献する技術に関する検討は EWG での検討結果をふまえて現在のところ SKA-VLBI、受信機、AIV (Assembly, Integration, and Verification) の 3 つの分野を集中的に進めている。SKA-VLBI はビームフォームされた信号を記録し SKA 外の電波望遠鏡と VLBI を構成する。日本の貢献として広帯域データ記録装置の開発や VLBI 観測スケジュール変換、SKA 運用ソフト API 開発、先行的 VLBI 試験評価などが挙げられ SKA-JP に VLBI サブグループを構成し検討を行っている。受信機は 15GHz 以上の高周波帯での検討を行っている。この帯域は今後 ODP (Observatory Development Program) をベースに進められる予定で、それに向けたブリッジング活動にも参加し、国際協調開発の準備を進めている。AIV では、システム要求・サイエンス要求に対応したバリフィケーション・コミッショニング計画の策定が SKA の実現において特に重要である。また 2020 年 9 月からは SKA の国際アジャイル開発チームに参加している。LOW のプロトタイプシステムの評価試験設計などを担当している。電波干渉計の評価において相関器は評価試験の中心となるコンポーネントであり、これまでの日本の電波干渉計の開発の経験を十分生かし SKA に貢献することが可能である。本講演では日本が SKA に参加した際の現時点での貢献案などについて示す。

[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](#)

V114a 広帯域受信機のための高温超伝導マルチバンド帯域通過フィルタの検討

關谷 尚人, 上江洲 安祐 (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), その実現には広帯域受信機が必要である。しかしながら、国内での観測には携帯電話や衛星通信による電波干渉 (RFI) が多いため、複数の静かな周波数帯を束ねて広帯域化しなければならず、複数帯域を持つ小型・高性能 (低損失、急峻な遮断特性) マルチバンド帯域通過フィルタ (MB-BPF) の開発が求められる。これら要求をすべて満たせるのは唯一超伝導体を使った MB-BPF だけである。

そこで、目的の帯域の MB-BPF を実現する前段階として、我々は MB-BPF の設計技術を確立するために、これまで報告されている MB-BPF のなかでも最も多い 6 つの帯域 (2 GHz~4 GHz) を持つ超伝導ヘキサバンド帯域通過フィルタ (HB-BPF) の開発を行ったので報告する。HB-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 3 つ用いて構成されており、設計の自由度とフィルタ全体のサイズの小型化を実現している。特に給電部と初段と最終段の共振器構造を工夫することで 6 つの帯域すべてで良好な周波数特性を実現できるようにした。講演では超伝導 HB-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 Kilometre 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](#)

V115a 広帯域フィードの開発 (XIX:終句)

氏原秀樹, 関戸衛, 市川隆一 (情報通信研究機構)

NICT 鹿島では測地 VLBI の VGOS (VLBI2010) や SKA などへの応用を意識しつつ、VLBI による遠隔地間の光格子時計の精密周波数比較のための広帯域 VLBI システム「Gala-V」を開発した。このフィードと OMT の帯域は 3GHz から 15-17GHz 程度であり、カセグレン光学系用としては世界初であった。メタノール・メーザの 6.7GHz/12.2GHz 同時受信や人工衛星を利用した 34m アンテナのホログラフィなど幅広く利用され、プロジェクト開始時とは RFI 環境が異なっても周波数配列を変えて実験を継続できた。OMT は 3GHz 以下の RFI 遮断特性を急峻化するともに反射損失の低減と広帯域化などの改良を行い、片側のポートは上限 17GHz 程度まで使用できる。鹿島 34m アンテナを主局としてイタリアに移設した 2.4m の小型局 MARBLE1 と小金井の MARBLE2 の間で周波数比較実験を行い 10^{-16} の比較精度を得た。その結果は 2020 年 10 月 5 日付の Nature Physics に掲載された。今後の幅広い応用を目指してフィードと OMT は最大・最小周波数の比が 10 程度を目指して開発を続けているが鹿島 VLBI グループの活動としては今年度で終了となる。

その傍ら 2018 年度から科研費 (代表: 市川) で次世代マイクロ波放射計の開発を始めている。これは KEK の開発したマイクロ波放射計「KUMODEs」を 15-60GHz の広帯域受信系 1 本で小型化・高機能化するもので、水蒸気だけでなく誤差要因となる雨滴と酸素も同じ受信機系で測れるのが特徴である。2020 年度は 34m 用広帯域フィードを高周波化した広帯域フィードと OMT を開発し、受信機系を製作した。2019 年度のような沖縄 3.7m での試験はできない見込みだが、代替実験として大阪府大 1.8m や MARBLE の活用やへら絞りの 90cm パラボラによる移動局の製作を考えている。これら NICT 鹿島での広帯域アンテナシステムの開発・実験状況を報告する。

[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](#)

V116a 大学 VLBI 連携観測事業の現状と将来計画

藤沢健太 (山口大学)

大学 VLBI 連携観測事業は、国立天文台と 6 大学の連携により VLBI 観測網 (JVN) を構築・運用して、新しい VLBI 天文学の研究を生み出そうとする研究計画である。この事業自体は 2005 年度に始まり、観測網はすでに 16 年間運用されている。この間に、主に 6.7 GHz メタノール・メーザおよび活動銀河核の観測において特色のある研究が行われ、また大学を拠点とする電波天文学の発展に貢献してきた。2020 年度から東アジア VLBI 観測網 EAVN にも参加している。

2019 年度から研究体制を刷新することになり、3 か年の研究計画が進行している。現在、開始から 2 年が経過しており、この間に大質量原始星形成直後の熱的領域を狙った VLBI の探査観測、ガンマ線を放射する天体の電波による同定、6.7 GHz メタノール・メーザの周期的な強度変動の系統探査などの研究が行われている。2019 年 - 2020 年の 1 年間の観測実績は、合計観測回数が 33 回、総 VLBI 観測時間が 238 時間であった。

2022 年度からは第 4 期中期計画が始まるので、これに合わせて大学 VLBI 連携観測事業も新たな研究を実施するための計画を立案中であり、2021 年度半ばには方針を決める予定である。JVN には VERA の望遠鏡も含まれているので、VERA の次期計画とも歩調を合わせて議論が行われている。議論の母体はユーザーコミュニティである VLBI 懇談会に設置されたワーキンググループである。

次期計画の議論では、大質量星の形成初期にみられる現象、高エネルギー・ニュートリノ等のマルチメッセンジャー観測、パルサーを含む銀河系内コンパクト天体、光赤外線・X線など他波長との連携観測等が重視されている。

[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](#)

V117a 高萩 / 日立 32 m 電波望遠鏡の整備状況 2021A

米倉 覚則, 田辺 義浩, 上地 康仁, 川上 泰輝, 平原 慶裕, 渡辺 雅人, 伊藤 美穂, 高木 奏人, 永野 稜大, 百瀬 宗武 (茨城大), 小川 英夫 (大阪府大), 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 観測運用 (山口-茨城 1 基線電波干渉計観測を含む) を年間 1,000 時間程度 6.7 GHz、8.4 GHz、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、パルサーなどの時系列データ取得観測、日立-高萩電波干渉計による連続波高感度観測を、保守や VLBI 観測などが行われない限り毎日実施している。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、6.7 GHz メタノールメーザー源の単一鏡モニター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]) の共同利用観測に対応するとともに、それ以外の時期には 6-9 GHz 帯受信機を搭載し、6.7 GHz メタノールメーザー源の高感度観測や新メーザー源探査などを行なっている。

EAVN では、2018 年後期から 22 GHz 帯と 43 GHz 帯で共同利用観測を開始した。2021 年前期からは、6.7 GHz 帯でも共同利用観測を開始する。茨城観測局は、2020 年前期から高萩アンテナが 22 GHz 帯で参加を開始し、2021 年前期から日立アンテナが 6.7 GHz 帯で参加予定である。半年につき、22 GHz 帯で 50 時間、6.7 GHz 帯で 50 時間の観測時間を提供している (年間合計 200 時間)。22 GHz 帯については、2020 年前期、2020 年後期、2021 年前期の茨城観測局に対する観測要求時間は、それぞれ 127, 72, 57 時間であった。6.7 GHz 帯については、2021 年前期に 109.8 時間の要求があった。これらから、茨城観測局に対する利用要求が非常に高い事が伺える。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V118a 臼田 64m 鏡を用いた L 帯 OH 輝線観測にむけた整備

山本宏昭 (名古屋大学)、村田泰宏、坪井昌人 (JAXA/ISAS)、中西裕之、今井裕、中川亜紀治、蔵原昂平 (鹿児島大学)、須藤広志 (岐阜大学)

我々は深宇宙探査機との通信に使用されている JAXA 臼田宇宙空間観測所の口径 64m の電波望遠鏡 (臼田 64m 鏡) による電波天文観測に向けた整備を行っている (村田他 2016 年春季年会など)。これまで特に L 帯 (1.4-1.7GHz) において、中性水素原子 (HI) ガス 21cm 線の観測にむけた整備を行ってきた (蔵原他 2017 年春季年会)。L 帯には HI21cm 線の他に OH(${}^2\Pi_{3/2}$, $J=3/2$) の 1612、1665、1667、1720MHz の輝線 (OH18cm 線) が存在する。OH18cm 線は CO 輝線ではトレースできない低密度分子雲をトレースできる可能性が議論されている (Tang et al. 2017 など)。また、1612、1720MHz の OH メーザー線は AGB 星の恒星風や超新星残骸のショック領域などで検出されている。さらに 1665、1667MHz 線はゼーマン因子が大きく、ゼーマン効果による磁場強度の測定も可能など、様々な天体現象、物理をトレースできる星間分子である。我々は OH18cm 線の観測もできるよう整備を行ってきた。

L 帯のフロントエンドは左右円偏波を同時受信可能なシステムである。VLBI Video Converter、VLBI 用サンプラ K5/VSSP、K5/VSSP32 を使用することで、OH18cm 線の 4 周波の左右円偏波、計 8 輝線をサンプルビットが 4 ビット、サンプル周波数が 4MHz で同時観測を可能とした。また、新たに高速 A/D サンプラ ADS3000+ も導入し、サンプルビットが 4 ビット、サンプル周波数が 8MHz での 8 輝線の同時データ取得ができるようにした。周波数スイッチ法を用いた長時間積分において 7200 秒積分においても rms が時間の 0.5 乗で減少し続けることを確認した。現在は分子雲形成に関する観測を主としているが、銀河系内の分子雲に対するゼーマン効果を用いた磁場強度の測定も検討している。講演では OH18cm 線観測の整備の現状および観測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](#)

V119a 次世代太陽風観測のための汎用デジタルフェーズドアレイ装置の開発

岩井一正 (名古屋大学)

多数のアンテナでアレイを形成することで、大きな集光力と広い視野を両立するフェーズドアレイ技術は電波天文観測にとって有効である。国内では名古屋大学の太陽風観測装置などで運用され、次世代装置の開発も進んでいる。本研究では、太陽風観測用の次世代望遠鏡に搭載することを念頭に、電波天文観測向けの汎用デジタルフェーズドアレイ装置の開発を行った。本装置に内蔵するために新たに設計されたデジタルボードは、8つのアナログ入力ポート、8つのAD変換、1つのFPGA、1つの10Gbit Ethernet出力が実装されている。このボードを搭載した本装置の大きさは37cm x 27cmで、ボード自体はその半分程度と小型なことから、各種観測装置に容易に収納できる。8系統の入力信号はデジタル変換部で12bitのデジタル信号に変換される。デジタル変換部は約500MHzまでの入力信号に応答し、エイリアシングを用いることで動作クロックよりはるかに高周波の入力信号を処理できる。例えば、77Mspsの動作クロックを入力することで測定できる38.5MHzバンド幅は、前段に適切なバンドパスフィルタを付加することで、308-346.6MHzなどの測定が可能になる。デジタル化された信号はFPGA内部で最大16384点のFFT処理がなされ、8つの複素スペクトルに任意の異なる遅延フィルタをかけ、加算することでビームフォーミングができる。加算後の複素スペクトルからパワースペクトルを作り、積算し、10ms毎に出力する。異なる複数の遅延フィルタを用意し、並列にビームフォーミング処理をすることで、複数のビームを同時に形成できる。本装置に既知の信号を使って試験した結果、適切な遅延フィルタを設定することで、想定した方向にビームを形成できることがわかった。本装置は多数接続することで、大規模なアレイを構成することが可能であり、多様な将来計画に応用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](#)

V120b 野辺山45m電波望遠鏡における3帯域同時VLBI観測システム構築と試験観測

堤稔喜, 清水祐亮, 藤澤健太, 新沼浩太郎, 澤田-佐藤聡子(山口大学), 小川英夫, 西村淳, 上田翔汰, 増井翔, 近藤滉, 山崎康正, 松本健(大阪府立大学), 今井裕, 濱江勇希(鹿児島大学), 金子紘之(上越教育大学/NAOJ), 高橋茂, 高橋敏一, 宮澤千栄子(NRO), 木村公洋, 岡田望(JAXA)

我々は野辺山45m電波望遠鏡(NRO45)にてHINOTORI(Hybrid Installation project in NObeyama, Triple-band ORiented)を進めている。このプロジェクトはNRO45へ3帯域(22, 43, 86 GHz)同時VLBI観測システムの構築を目的としている。このプロジェクトが達成されることによりEAVN(East Asian VLBI Network)の観測効率や感度(特に43, 86 GHz帯)が数倍向上すると期待されている。開発、試験項目は1. 周波数分離フィルタ(以降フィルタ)の開発, 2. 22, 43 GHz同時受信システムの性能評価, 3. 86 GHz受信機(TZ)の改修及び移設, 4. 86 GHz帯性能評価, 5. VLBIバックエンドの増設及び動作試験, 6. 偏波変換観測システム(PolariH)の開発, 7. VLBIフリッジ試験, 8. VLBI撮像試験観測があり、2019年度までに項目1-3と4の一部を完了している。2019年11月8日には単一鏡での3帯域同時受信に成功している(甘利他、2020年春季年会)。2020年度に入り項目4の続きとして受信機や単一鏡の性能評価試験を行っている。その結果として受信機評価では $Trx = 87\text{ K}$, 129 K (フィルタ込み)、 $IRR = 9.9\text{ dB}$ を得ることができた。また、単一鏡評価試験のBeam squint測定ではフィルタの有無によらずNRO45の基準となっている43 GHz受信機とのpointingの差を $3''$ 以内に収めることができ、能率測定では開口能率 $= 43 \pm 4\%$, $32 \pm 2\%$ (フィルタあり)を得た。beam pattern測定ではフィルタの有無によらずほぼ円形であり、beam size $= 19.0''$, $20.7''$ (フィルタあり)であることを確認できた。また、また項目5がほぼ完了した上で項目7に着手した。本発表ではNRO45における評価試験及びフリッジ試験の結果を報告する。

[スケジュール\(セッション毎\)に戻る](#)

[スケジュール\(全体\)に戻る](#)

[講演者索引 TOPに戻る](#)

V121b VLBI 将来計画ワーキンググループ検討報告

新沼浩太郎 (山口大学)、河野裕介 (国立天文台)、寺家孝明 (国立天文台)、中川亜紀治 (鹿児島大学)、永山匠 (国立天文台)、秦和弘 (国立天文台)、廣田朋也 (国立天文台)、藤澤健太 (山口大学)、ほか VLBI 将来計画ワーキンググループ

VLBI はその圧倒的な角度分解能によって測地地球物理や天文学といった観測的研究において今なお独自性を発揮し続けている。また目的を共有した国際協力を生み出しやすいという側面も併せ持つとともに、科学的研究と技術開発研究との間でも大きなシナジーを生み出し続けている。加えて、日中韓の連携により立ち上がった東アジア VLBI 観測網によって、東アジアの若い研究者の人的交流も活発になり東アジアにおける VLBI コミュニティは発展し続けている。一方で、20 年近くにわたり国内の VLBI 研究の中核を担ってきた国立天文台水沢 VLBI 観測所主導の VERA プロジェクトが第 3 期中期計画の終了に向け成果を取りまとめる時期になるなど、日本の VLBI コミュニティにとって大きな節目の時期を迎えている。

このような状況において、我々は次期中期計画だけでなく長期的な視点で国内のコミュニティが柱に据えるべきサイエンスと将来計画を集中的に議論するべく、VLBI 懇談会の中にワーキンググループを立ち上げ 10 ヶ月近くにわたり検討を進めてきた。ワーキンググループのメンバーはコミュニティの推薦をもとに、国内の大学や国内外の研究機関を含む幅広いユーザーコミュニティから選ばれている。検討の結果、これまで日本のコミュニティが培ってきたテーマに加え、VLBI を用いたコンパクト天体の観測的研究の必要性なども提案されている。本講演では、サイエンスの柱を中心にワーキンググループにおいて取りまとめた将来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](#)

V122b JAXA 深宇宙探査用 54m 地上局の完成

○村田泰宏、沼田健二、内村孝志、大西徹、木村公洋、田淵豪、坪井昌人、戸田知朗、冨木淳史、中原聡美、湯地恒次、吉永昌志 (JAXA 深宇宙探査用地上局 (GREAT) プロジェクト)、長谷川豊 (JAXA, 大阪府立大学)

JAXA は長野県佐久市で運用されている白田 64m 地上局の機能を引き継ぐ口径 54m の美笹地上局の建設プロジェクトを 2015 年度から開始し、2017 年度から工事が開始した。その状況は、2018 年春季年会以降、2018 年秋季年会、2019 年春季年会にて報告してきた。

2019 年度は受信系まで完成し、性能試験が開始した。2019 年 10 月には「はやぶさ 2」からの X 帯 (8.4GHz) 信号の受信に成功、2020 年 4 月には Ka 帯 (32 GHz 帯) 信号の受信に成功した。2020 年 9 月には世界初の半導体増幅器を使った約 20kW 級の X 帯深宇宙用高出力増幅器が整備され、10 月には「はやぶさ 2」へのコマンド送信に成功している。周辺の仕上げ工事も終了し、「はやぶさ 2」を使った試行運用試験を経て、申し込み時点で地上局は完成し、各種の性能試験を継続している状況である。並行して指向精度、利得、受診雑音等の性能の評価を行っており、当初設定した仕様値はクリアし、X 帯の性能は白田 64m を越え、さらに高性能な地上局となっている。また、軌道決定や局位置の維持のために VLBI 観測機能が必要であり、すでに整備された VLBI 受信系により白田 64m や NASA DSN 局との間で X 帯および Ka 帯での VLBI 観測も成功している。

完成した美笹地上局は白田宇宙空間観測所に所属する。美笹地上局も白田を管轄する JAXA 追跡ネットワーク技術センターに管理を移し、建設プロジェクトチームは 2020 年度いっぱい解散する予定である。講演では、性能評価および開発の結果も報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V123a 野辺山 45m 鏡 7 ビーム 3 帯域両偏波受信機の開発 I : 目的

立松健一, 宮澤千栄子, 高橋敏一, 前川淳, Alvaro Gonzalez, 金子慶子 (国立天文台), 小川英夫, 長谷川豊, 山崎康正, 増井翔, 川下紗奈, 米山 翔, 横山 航希, 大西利和 (大阪府大), 酒井剛 (電通大)

科研費の基盤研究 (S)「重水素分子で探る星形成の極初期」を用いて、野辺山宇宙電波観測所 45 m 電波望遠鏡に搭載する新受信機の開発を始めた。周波数 72-116 GHz をカバーする 7 ビーム両偏波受信機であり、初段は HEMT 増幅器である。

本研究の目的は、星形成の未解決問題、星形成の始動条件 (安定な分子雲コアがどのように不安定になり、星形成に至るのかを重水素を用いた分子雲コアの年代測定という新しい技法を用いて探求することである。重水素の割合は、星の誕生前では単調増加し、誕生後は単調減少することが知られているが (Crapsi+05; Hirota & Yamamoto 06; T. Sakai+12)、暗黒星雲コアやオリオン座コアを用いて化学進化指標 (CEF) として定量化した (Tatematsu+17; Kim+20)。星形成がどのように始動するかは、実はまだわかっていない。安定な星なしコアが、不安定になって星形成を開始するメカニズムとしては、乱流の散逸、磁場の減少、質量の降着、などの可能性が指摘されているが、どれが正しいかは、まだ不明である。

本開発により、受信機雑音温度を従来受信機の約半分、1 ビームあたりのマッピング速度を 4 倍にできると期待し、重水素の観測周波数の 72-80 GHz においては現行機 (T70) の約 30 倍、CO 輝線などを含む 80-116 GHz でも現行の FOREST の約 8 倍のマッピング性能となり、45m 鏡をミリ波単一鏡の世界最前線に位置させようと期待できる。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V124a 野辺山 45m 鏡 7 ビーム 3 帯域両偏波受信機の開発 II : 受信機概要

長谷川豊, 山崎康正, 増井翔, 川下紗奈, 米山翔, 横山航希, 小川英夫, 大西利和 (大阪府大), 立松健一, 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」ではその科学的目標を達するための新たな 72-116 GHz 帯 7 ビーム受信機が開発される。この新受信機のフロントエンドを主としたシステムの大部分は、野辺山観測所と大阪府立大学で共同開発しており、2021 年冬季の試験運用開始を目標として現在のところ順調に進捗している。本講演では、本受信機開発の概要と進捗状況について報告する。

本受信機システムの最大の特徴は、その出力数にある。7つのフィードホーンアンテナ出力のそれぞれに直交両偏波分離器 OMT を設け、分離された両偏波観測信号のそれぞれを冷却 LNA で増幅した後、導波管周波数フィルタを高度に応用した 3 帯域分離出力フィルタを用いることにより、変動がなく高い IRR (20 dB 超目標) でサイドバンド分離された合計 42 の片サイドバンド観測信号を同時に出力することが可能である。なお、分離される 3 つの観測帯域はそれぞれ、EL band (72-77 GHz) : 重水素分子群, EU-band (86-93 GHz) : 軽水素分子群および SiO MASER, CO-band (109-116 GHz) : CO 分子群に対応している。

現在までの進捗としては、7 ビームすべてで高い開口能率が得られるレンズ光学系の設計試作や、OMT, 3 帯域分離フィルタといった導波管デバイス類の最適化設計/試作評価を進めるとともに、1 ビーム分の必要コンポーネントを試験調達してのシステム単体性能評価の準備を進めている。また、これと並行して、10 K 大型 Cryostat の熱的・構造的設計や配線設計についても 4 ビーム受信機 FOREST 開発などで得られた技術的知見を活かして開発を進めている。

[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](#)

V125a FPGA のみで実現するシングルチップ電波分光計：1. 基礎概念と PYNQ-Z1 の性能限界：60 GSaps 1 bit ADC の試験的な実装と評価

西村淳, 松本健, 米津鉄平, 中尾優花, 藤田真司, 前澤裕之, 大西利和, 小川英夫 (大阪府立大学)

電波天文学のヘテロダイン受信機は、合計 IF 出力の広帯域化が急速に進んでいる：例えば、ALMA = 16 GHz beam⁻¹; NRO45/FOREST = 128 GHz; NRO45/7 ビーム = 224 GHz; ALMA2 = 68 GHz beam⁻¹ (提案中)。SKA など干渉計も状況は同様であり、分光計を含むバックエンド帯域が電波観測性能の新たな制約となっている。

電波分光計はサンプリング部 (ADC) と演算部 (FPGA) からなり、広帯域な部品は流通しているが、リアルタイムで欠損なく集録できる完成品は少なく、最新技術の採用には独自開発が必要となる。超広帯域を実現する上で帯域当たりの費用が重要であるが、最もそれが低いのは RPG 社の XFFTS (2012) の ~ 80 万円/GHz である。

この現状を打破する新しいアイデアとして、独立した ADC を必要とせず FPGA のみで実現されるシングルチップ電波分光計を提案する。本分光計は、部品点数が少なく、ADC-FPGA 間的高速配線も存在せず本質的に安い。さらに大量生産の FPGA 評価ボードで実現でき、劇的な費用改善が見込まれる。完全デジタルな ADC として知られる傾斜型 ADC を FPGA に実装する。傾斜型 ADC は参照信号 (正弦波等) と入力信号の電位が一致したタイミングを TDC で時間計測し入力波形を再現する。性能は TDC の時間分解能 dt に制約され、サンプリング周波数 f と量子化ビット数 m との関係は、 $dt = \frac{1}{2mf}$ となる。市販で最も安価な FPGA 評価ボードである PYNQ-Z1 (2.5 万円) の場合、 $dt = 16.7$ ps であり、 $(f, m) = (60 \text{ GSaps}, 1 \text{ bit})$ や $(600 \text{ MSaps}, 6 \text{ bit})$ などが理論上は構築可能である。これを用いて 60 GSaps, 1 bit の ADC を実装し性能を測定した。その結果、2 GHz までの CW 入力を検出でき、検出可能な最大周波数は I/O や FF の駆動時間が制約している事が分かった。

[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](#)

V126a FPGA のみで実現するシングルチップ電波分光計：3. PYNQ-Z1 による分光計 (600 MSaps, 6 bit, 512 ch) の実証試験：性能評価と試験観測

松本健, 西村淳, 米津鉄平, 中尾優花, 藤田真司, 前澤裕之, 大西利和, 小川英夫 (大阪府立大学)

シングルチップ分光計は、傾斜型 ADC を FPGA 内に実装することで、独立した ADC が不要であり、安価に実現できる。一方で、アナログ/デジタル回路が混在することによるノイズの影響などが懸念され、試作機による性能評価と、電波望遠鏡での実際の試験観測を通じて実証することが重要である。

我々は、試作機として、600 MSaps のリアルタイム分光計を開発した (西村他本年会)。本分光計は使用前に、(1) 参照信号の位相と内部クロックの同期と、(2) TDC カウントから電圧への較正テーブルの取得、を行う。FFT は 3.4 μ s 毎に計算され、32768 回積分されたのち、112 ms 毎に AXI バスを通して取得される。これら一連のキャリブレーションや分光計を制御する python モジュールを開発した。

この分光計を用いて、(a) スプリアスの確認、(b) 周波数応答の評価、(c) SG 出力とノイズソースを用いた線形性評価、などを行った。a: スプリアスはいくつか確認されたが、入力した CW 信号に対して -20 dB 以下であり、観測には影響のないと思われる。b: 周波数分解能は 494 kHz と実測された。これは、周波数間隔 586 kHz で矩形窓を用いた場合の理論値とほぼ一致した。c: 連続波の入力強度 -25 ~ -15 dBm の範囲で線形性が保たれている事を確認した。今後、さらにラン分散測定など短期の安定性や、どれぐれいの頻度でキャリブレーションが必要となるかなど長期の安定性の、確認を進めていく。また、実験室での受信機の Y-factor 実験や実際の電波望遠鏡での試験観測を通して電波分光計として問題なく運用できるかを確認する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V127a 1.85 m 電波望遠鏡による 230 GHz, 345 GHz 帯 CO 同位体 6 輝線同時観測のファーストライト

増井翔, 山崎康正, 近藤滉, 横山航希, 松本健, 南大晴, 大川将勢, 上田翔汰, 長谷川豊, 藤田真司, 西村淳, 大西利和, 小川英夫 (大阪府大), 小嶋崇文, 上水和田典, 金子慶子, 坂井了, Alvaro Gonzalez (NAOJ)

我々はこれまで、国立天文台 野辺山宇宙電波観測所に設置された口径 1.85 m 電波望遠鏡を開発・運用し、230 GHz 帯 CO 同位体 3 輝線の観測を進めてきた。そして現在、これまで観測してきた 230 GHz 帯 CO に、さらに高励起線である 345 GHz 帯 CO を加えた同位体 6 輝線の広帯域同時観測を目標とし開発を進めてきた。

広帯域観測のための受信機システムとして、200 GHz 帯/300 GHz 帯分離 導波管フィルタと、CO 輝線観測に焦点を当てた 2 種類の導波管フィルタを組み合わせ、4 帯域フィルタを開発した。さらに、210-375 GHz 帯コルゲートホーン (山崎他 2020 年秋季年会) や、広帯域 IF 出力を持った SIS-Mixer (Kojima et al. 2020) などを使用し、200 GHz, 300 GHz 帯において広帯域観測可能な受信機を開発を進めてきた。上記のコンポーネントを接続し、実験室にて冷却試験を行い、200 GHz 帯にて 70-100 K 程度、300 GHz 帯にて 100-250 K 程度の雑音温度を得られた (増井他 2020 年秋季年会)。

我々は 10 月に、開発した同時観測用受信機および新光学ビーム伝送系を大阪府大 1.85 m 電波望遠鏡へ搭載し、野辺山にて Orion-KL 領域に存在する 230 GHz, 345 GHz 帯 CO 同位体 6 輝線の同時観測に世界で初めて成功した。野辺山の大气は 11 月においても 345 GHz で $\tau = 0.5-1.0$ 程度であり、観測が可能であることがわかった。観測システム等の詳細については、松本他本年会にて紹介する。本講演では、望遠鏡の立ち上げや受信機の位置アライメント、ファーストライトに関する内容について発表する。

[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](#)

V128a SIS 受信機に付加される信号発生器 (SG) 由来の過剰雑音の原因

横山航希, 増井翔, 川下紗奈, 山崎康正, 南大晴, 大川将勢, 米山翔, 長谷川豊, 西村淳, 大西利和, 小川英夫 (大阪府立大学), 小嶋崇文, 上水和田典 (NAOJ)

我々は野辺山観測所に設置されている口径 1.85m 電波望遠鏡を用いて、230GHz 帯で CO 同位体 3 輝線を観測し、星形成過程を探ってきた。現在では、230/345GHz 帯の CO 同位体 6 輝線の同時観測へ向け、広帯域 IF (4-21GHz) 出力の SIS Mixer (Kojima et al. 2020) を搭載した受信機を開発を進めている (増井他 本年会)。

LO 系では Gunn 発振器よりも信号発生器 (SG) と逡倍器を用いたものが汎用性も高く、我々もこの逡倍器系へのシフトを検討しているが、これらは受信機雑音温度を上昇させる可能性があることが知られている (Fujii et al. 2017, e.g. Bryerton et al. 2008)。我々は比較的安価な SG の運用を考えているが、SIS 受信機での測定により SG の違いが雑音温度に大きく影響することを確認した (横山他 2020 年秋季年会)。そこで、この原因を調査するために SG 単体のノイズフロアや逡倍後のキャリア (200GHz 帯) を測定し、次の結果を得た。(1) SG のキャリアから $\pm 4-8$ GHz の周波数帯 (キャリアが 12.5GHz の場合、4.5-8.5GHz, 16.5-20.5GHz の範囲) にある振幅雑音の強度の違いが雑音温度に影響することを確認した。この周波数帯は、IF 帯域 (キャリアが 225GHz の場合、217-221GHz, 229-233GHz の範囲) に対応しており、我々は SG の振幅雑音の影響が IF 帯域まで入り込んでいると考えている。(2) そこで SG のノイズフロアを測定すると、SIS 受信機で雑音温度が高い SG ではノイズフロアの強度も強いことを確認した。(3) 逡倍後の 200GHz 帯の信号を測定するために、情報通信研究機構にあるリアルタイムスペアナモード搭載 VNA を用いると、キャリア付近の振幅雑音の強度が SG によって大きく異なることを確認した。本講演では、これらの測定結果を報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V129a 南極 30cm サブミリ波望遠鏡計画

久野成夫, 新田冬夢, 橋本拓也, 齋藤弘雄, Dragan SALAK, 瀧口風太, 小山 徹, 加藤良寛 (筑波大), 瀬田益道, 中井直正 (関西学院大), 徂徠和夫, 八嶋 裕, 清水一揮 (北海道大), 永井 誠, 梅本智文, 小嶋崇文, 鶴澤佳徳, 伊王野大介 (国立天文台), 長崎岳人 (KEK), 他南極天文コンソーシアムメンバー

筑波大学を中心とする南極天文コンソーシアムでは、30cm サブミリ波望遠鏡を南極内陸部の高地に輸送し、CO($J=4-3$) と [CI]($^3P_1-^3P_0$) による銀河面サーベイを行う計画を推進している。500GHz 帯でのビームサイズは、CfA と CTIO1.2m 鏡による CO($J=1-0$) や東大 60cm 鏡による CO($J=2-1$) での銀河面サーベイと同じおよそ 9' なので、それらと CO($J=4-3$) の直接比較が可能となり、星形成領域における高温高密度分子ガスの物理状態を明らかにできる。また、CO で観測することが困難な CO ダークガスの観測や遠方銀河の分子ガストレーサーとしても期待されている [CI]($^3P_1-^3P_0$) が、銀河のどのような領域から放射されているかを理解するために貴重なデータが得られると期待される。30cm 望遠鏡は、南極での観測を想定して開発されたものであり、南米チリの標高 4800m での観測実績もある (Ishii et al. 2014, 2016)。現在、CO($J=4-3$) と [CI]($^3P_1-^3P_0$) の同時観測のための 500GHz 受信機広帯域化、日中での光学ポインティング対応、分光計プログラムの Python 化と 2 チャンネル化などのアップグレードを行っている (瀧口他、小山他、八嶋他 本年会)。30cm 望遠鏡の設置場所としては、ドーム C のコンコルディア基地またはドームふじを想定している。まずは、夏季での観測を行い、将来的には冬季での観測、さらに高周波のテラヘルツ帯での観測も計画している。本計画は、南極における大型望遠鏡によるテラヘルツ天文学を推進していくための足掛かりとなる計画である。

[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](#)

V130a 南極 30cm サブミリ波望遠鏡 受信機広帯域化

瀧口風太, 久野成夫, 新田冬夢, 齋藤弘雄 (筑波大), 瀬田益道, 中井直正 (関西学院大), 小嶋崇文, 鶴澤佳徳, 伊王野大介 (国立天文台), 長崎岳人 (KEK), 他南極天文コンソーシアムメンバー

我々は、30cm サブミリ波望遠鏡を南極内陸部の高地に輸送し、銀河面サーベイを行う計画を進めている。CO($J=4-3$)461GHz と [CI]($^3P_1-^3P_0$)492GHz を同時観測し、CO($J=1-0$) や CO($J=2-1$) との強度比較を行うことで高温高密度領域の分子ガスの物理状態 (密度・温度) 及び、遠方銀河の分子ガストレーサーとして期待される CI の銀河系での分布を明らかにできる。500GHz 帯では周波数や時間に対する連続波成分の変動が激しいので、強度校正の精度向上と観測効率の改善のために、サイドバンド分離型受信 (2SB) を用いて 2 輝線を同時にシングルサイドバンド (SSB) 観測する。

今回、低雑音増幅器 (LNA) と一体化した超伝導 (SIS)2SB ミキサを新たに搭載し、ミキサ~LNA 間のコンポーネントによる損失をなくすことで受信機雑音を低減するとともに、中間周波数 (IF) 帯域を 18GHz へと拡大して、CO($J=4-3$) と [CI]($^3P_1-^3P_0$) の同時観測を実現する。受信機後段の常温アンプに関しては冷却受信機の高い観測感度を妨げないようなものを選定している。目標としている南極での運用は、電力の制限が厳しいため (1.2kW) 消費電力の小さな小型冷凍機を用いているが、最高で 3.4K の到達温度の実績のある熱設計を踏襲している。広帯域化においては、アイソレータの帯域や伝送過程での利得偏差の増大が課題であるが、CO, CI それぞれの専用機なため狭い帯域でも問題ない。また、CO と CI の系は独立させており、減衰器やイコライザーを挿入することで個々に調整可能とする。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V131a 南極 30cm サブミリ波望遠鏡用光学ポインティングシステムの開発

小山 徹, 齋藤弘雄, 加藤良寛, 久野成夫, Dragan SALAK (筑波大), 瀬田益道 (関西学院大), 永井 誠, (国立天文台), 他南極天文コンソーシアムメンバー

南極天文コンソーシアムでは、 $\text{CO}(J=4-3)$ と $[\text{CI}](^3P_1-^3P_0)$ による銀河面サーベイを行うため、500GHz 帯での観測が可能な 30cm サブミリ波望遠鏡を南極内陸部に設置する計画を進めている (久野他、瀧口他、八嶋他、本年会)。500GHz 帯には適切なポインティング天体が少なく、電波でのポインティングが困難であるため、星を用いて光学ポインティングを行い、その後、電波軸と光学軸のずれを補正する、二段階のポインティングを行う予定である。しかし、夏の南極は白夜で日が沈まないため、日中に可視光のカメラを用いた光学ポインティングを行う必要がある。そこで、我々は新たな光学ポインティングシステムの開発を行っている。

まず我々は光学ポインティング用のカメラの選定を行った。日中に星を観測するためには、1pixel に入射する星の輝度に対して空の輝度を下げる必要がある。カメラに要求される条件として、星が視野に入りやすく、かつ高分解能も維持できる視野 1° 程度、望遠鏡本体に設置できるほどに小さいことなどが挙げられ、Baumer 社製 VCXG-124M というモノクロ CMOS カメラを選定した。このカメラに焦点距離 325mm の BORG 望遠レンズと、焦点距離を 2 倍にするエクステンダーを付けることによって、視野 $1.06^\circ \times 0.78^\circ$ を確保した。観測時は 660nm 以下の波長をカットする赤フィルターをレンズに装着することで、空の青色を抑えて日中でも星を観測しやすくする。試験観測を行ったところ日中に北極星を観測することができ、その結果を用いて PSF や何等星まで観測できるかなどを評価した。シーイングや太陽の位置に大きく左右されるが、半値全幅は $3.83''$ で、スペクトルタイプが B0 であれば 2.36 等星、F0 であれば 2.93 等星まで日中でも観測できるという結果を得られた。

[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](#)

V132b 野辺山 45m 鏡 7 ビーム 3 帯域両偏波受信機の開発 III : 光学系

山崎康正, 長谷川豊, 増井翔, 川下紗奈, 米山翔, 横山航希, 大西利和, 小川英夫 (大阪府大), 木村公洋 (ISAS/JAXA), 立松健一, 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)

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 45m 電波望遠鏡に搭載する新 7 ビーム受信機 (72 – 116 GHz) の開発を始めた。これらを実現するためには、比帯域 $\sim 50\%$ に渡って給電可能なフィードホーンが必要である。ALMA Band2 (67 – 116 GHz) において、 -20 dB 以下の反射損失、 -25 dB 以下の交差偏波損失で、軸対称なビームを放射するコルゲートホーンが達成されている (A. Gonzalez et al. 2017, P. Yagoubov et al. 2020)。

我々は ALMA Band2 用のコルゲートホーンに基づいて設計を行う予定である。ホーンと 45 m 鏡光学系とのカップリングを成立させるためには、楕円鏡または誘電体レンズを新たに導入する必要がある。楕円鏡を用いる場合は部品点数が多くなり、さらにそれらのアライメントが複雑である。一方レンズの場合、コンパクトで位置調整も簡便であることから後者を採用した。しかし、一般的に誘電体レンズは反射損失が大きな問題点となる。その解決のためには表面に $1/4$ 波長程度の長さの彫り込みを入れる等の Anti-Reflection (AR) コーティングが必須となる。その目標値を -20 dB 以下として、AR コーティングの最適化を行う。一方、物理光学ソフトを用いてコルゲートホーンからアンテナまでのシミュレーションを行ったところ、全ての周波数で開口能率 0.6 以上であり、中心から 100 mm 外れたビームの開口能率の低下は中心に対して最大 6% 程度であった。ビーム伝送系の評価としては、ホーンとレンズを合わせたビームパターンを測定し、設計値と比較する予定である。

[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](#)

V133b 野辺山 45 m 鏡 7 ビーム 3 帯域両偏波受信機の開発Ⅳ：導波管回路

増井翔, 川下紗奈, 米山翔, 山崎康正, 横山航希, 長谷川豊, 大西利和, 小川英夫 (大阪府大), 立松健一, 宮澤千栄子, 高橋敏一, 前川淳 (NAOJ), 酒井剛 (電通大)

野辺山宇宙電波観測所 45 m 電波望遠鏡に新たに搭載する 72–116 GHz 帯 7 ビーム 3 帯域両偏波受信機の開発を進めている。本受信機により、72–80 GHz 帯が観測可能な T70 受信機や 80–116 GHz 帯が観測可能な FOREST 受信機を大きく上回るマッピング速度が達成でき、重水素や CO の観測帯域において広視野、高分解能な観測が可能となる。本講演では、上記の受信機を構成する 72–116 GHz 帯の直交偏波分離器 (OMT) と、72–77 / 86–93 / 109–116 GHz 帯の 3 帯域を同時観測可能にするための導波管型 Triplexer の現状の開発状況について講演する。

採用する初段冷却 HEMT 増幅器の入力反射損失が大きいため、観測周波数である 72–116 GHz 帯において、極力小さな反射損失を持つ OMT の設計を進めている。OMT には、挿入損失が小さく、コンポーネントもコンパクトに製作できる Double Ridge Boifot-Junction 型を採用し、現在 72–116 GHz 帯において反射損失が 25 dB 以下の設計を得ている。また、導波管型 Triplexer の設計も進めており、Branch Line Coupler (BLC) と Band Pass Filter (BPF) を組み合わせた導波管フィルタを使用した構造を検討している。具体的には、LO 周波数を 68.61, 83.95, 107.05 GHz と設定し、BLC に続く BPF の通過帯域を 72–82 GHz、109–116 GHz の仕様とすることで、Image Rejection Ratio が 20dB 以上で 72–77 / 86–93 / 109–116 GHz 帯の 3 帯域を分離可能な Triplexer の設計を達成した。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V134b 南極 30cm サブミリ波望遠鏡のデジタル分光計の整備

八嶋裕, 俣徂和夫, 清水一揮 (北海道大), 久野成夫 (筑波大), 永井誠 (国立天文台), 瀬田益道 (関西学院大), 他南極天文コンソーシアムメンバー

南極天文コンソーシアムでは、テラヘルツ波を地上から観測するために最適な場所である南極の高原地帯に 30cm サブミリ波望遠鏡を設置する計画を進めている (久野他、本年会)。我々は、その望遠鏡に搭載する電波分光計の整備を行っている。この望遠鏡に搭載する分光計は Acqiris 社製の AC240 であり、1GHz の帯域を最大 16384 チャンネルで分解することが可能な FPGA をベースにしたリアルタイム FFT 分光計である。これは、500GHz 帯で 500km s^{-1} 程度の速度範囲を最高で約 0.03km s^{-1} の速度分解能での観測が可能である。

この望遠鏡はチリの高地での稼働実績があり (Ishii et al. 2014, 2016)、分光計のプログラムは C 言語が用いられていた。今回プログラムの記述を簡単にし改良や機能の追加が容易にできるようにするために C 言語で記述された FPGA の関数を Python から呼び出せるようにするなどして分光計本体のプログラムの Python 化を行った。また、これまでポジション-スイッチング法による ON-OFF 観測で用いられていたが、 $[\text{CI}](^3P_1 - ^3P_0)$ と CO ($J = 4 - 3$) の同時観測による銀河面サーベイを行うにあたって新たに OTF (On The Fly) での観測モードに対応するためにアンテナ駆動と同期した制御と 2 チャンネル化の機能の拡張を行っている。加えて、元の仕様は空冷であったので高地のような空気の密度が低い環境では発熱部品の放熱性が劣化するため、別の効率的な分光計の冷却方法を検討している。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V135b 1.85 m 電波望遠鏡の新制御システム開発および CO ($J=2-1, 3-2$) の同時 OTF 観測

松本健, 近藤滉, 小西亜侑, 中尾優花, 西本晋平, 上田翔汰, 西村淳, 藤田真司, 増井翔, 山崎康正, 横山航希, 南大晴, 大川将勢, 川下紗奈, 米山翔, 大西利和, 小川英夫 (大阪府立大学)

我々は、国立天文台野辺山宇宙電波観測所に設置した口径 1.85 m の電波望遠鏡を開発、運用し、これまで CO ($J=2-1$) の広域サーベイなどを推進してきた。230 GHz 帯に加え、345 GHz 帯の同時観測に向けて開発を進め、2020 年 10 月に新受信機を搭載、同年 11 月に、CO ($J=2-1, 3-2$) の同時観測を達成した (増井他本年会)。また、将来の自動観測に向けて、より柔軟な望遠鏡システムを実装すべく、Robot Operating System (ROS) を用いた分散型システムを構築した (松本他 2020 年秋季年会)。本システムでは、分光データを独自の形式で保存し、解析ツールも新たに作成しており、座標計算 (天球面の座標, 視線速度) には、astropy.coordinate を採用した。標準天体の試験観測により、従来の SLALIB と同等の精度を実現できていることを確認している。

これらの新受信機と新制御システムを用いて、2020 年 11 月から Orion KL 領域で CO ($J=2-1$) と CO ($J=3-2$) の同時 OTF 観測を試験的に進めており、観測時のポインティング精度は、 $10''$ 未満で、11 月での気象条件の良い日において、230 GHz 帯と 345 GHz 帯の大気的光学的厚みは 0.23 と 0.86、EL = 80 度における大気込みの雑音温度はそれぞれ 150 K と 640 K であった。今後、本望遠鏡をさらに気象条件の良いチリ・アタカマに移設することで、 ^{12}CO , ^{13}CO , C^{18}O ($J=2-1, 3-2$) 6 輝線のより広域な同時観測が可能となる。本講演では、観測システムの更新内容を示し、試験観測を通じて駆動・解析ソフトの評価結果を報告する。また、これまでの OTF 観測の結果を議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V136b FPGA のみで実現するシングルチップ電波分光計 : 2. PYNQ-Z1 による分光計 (600 MSaps, 6 bit, 512 ch) の実装

西村淳, 松本健, 米津鉄平, 中尾優花, 藤田真司, 前澤裕之, 大西利和, 小川英夫 (大阪府立大学)

超広帯域観測を実現しつつある電波受信機に対し、分光計を含むバックエンド (BE) は広帯域化が進んでおらず、受信機出力のうち大半は捨てられている。例えば、(受信機出力帯域 BW_{Rx} , BE 帯域 BW_{BE}) は、ALMA で (16 GHz, 7.5 GHz)、NRO45/FOREST に至っては (128 GHz, 32 GHz) である。そこで、我々は超広帯域分光計を実現すべく、FPGA のみで実現できて安価なシングルチップ電波分光計の研究開発を進めている。

実用性を兼ね備えた最初の試作として、市販の FPGA 評価ボード PYNQ-Z1 (~2.5 万円; Xilinx ZYNQ XC7Z020-1CLG400C 搭載) を用いて、サンプリング周波数 600 MSaps、量子化ビット数 6、分光点数 512 ch のリアルタイム分光計を開発した。帯域当たり費用は 8 万円/GHz である。本分光計は、傾斜型 ADC と FFT 演算器、読み出し回路からなり、傾斜型 ADC は、参照信号、電圧比較器、TDC (Time Digital Converter)、時間-電圧変換テーブル、からなる。参照信号は、FPGA の内部クロック (矩形波) を GPIO 経由で出力し、RC フィルタを経由させ三角波にし再度 GPIO から入力した。入力信号はインターフェースボードを自作し、インピーダンス整合をとりながら GPIO から供給し、FPGA に内蔵の LVDS を 50 Ω 終端無しで電圧比較器として駆動した。比較器出力は遅延器 IDELAYE2 を経由したのち、TDC へ接続される。TDC は、同一のクロック領域にあるキャリーチェーン (CARRY4) 50 個を連結する事で、200 素子 TDC とし、BRAM を用いて時間-電圧変換をしている。FFT は、まずは実装の容易さを優先し、FPGA で提供されている DSP48E1 スライスと 36 Kb BRAM を用いて最も簡単に実現できる、25 bit 固定小数点で入力し 32 bit 固定小数点で出力する 1024 点 FFT とした。

[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](#)

V137a POLARBEAR 実験の観測における半波長板の特性評価

高倉理 (Kavli IPMU), 藤野琢郎 (横浜国大), 他 POLARBEAR コラボレーション

POLARBEAR 実験は、チリ・アタカマ砂漠に建設した 2.5m 鏡の望遠鏡を用いて、宇宙マイクロ波背景放射 (CMB) の直線偏光ゆらぎを精密観測し、インフレーションやニュートリノ質量などの調査を行う実験である。2014 年からは連続回転半波長板による偏光変調装置を主焦点に搭載した。偏光変調装置は低周波数ノイズや系統誤差を低減する効果が期待されるが、逆に偏光変調装置自体がノイズを生む可能性がある。特に、半波長板の透過率の偏光依存性や、鏡の反射率、熱放射の偏光依存性により、半波長板の回転周波数の 2 倍、4 倍の高調波が生まれる。POLARBEAR 実験の観測データを用いて、連続回転半波長板が生む信号の特性を評価した。様々な水蒸気量、仰角の観測データを解析することで、大気放射が光学系を透過することで生まれる 2 倍波/4 倍波の大きさ、偏光角を求める、また、様々な気温の観測のデータを解析することで、光学系自身の放射による寄与を推定する。本発表では、それらの大きさ、起源、影響について発表する。

[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](#)

V138a POLARBEAR-2/Simons Array 実験 -観測サイトでの観測機器準備状況

長谷川雅也 (KEK 素核研), 秋葉祥希 (総研大), 安達俊介 (京都大), 井上優貴 (National Central University), 片山伸彦 (Kavli IPMU), 金子大輔 (KEK 素核研), 菊地修平 (横国大) 日下暁人 (東京大/LBNL), 鈴木有春 (LBNL), 鈴木純一 (KEK 素核研), 瀬川優子 (総研大), 田島治 (京都大), 高倉理 (Kavli IPMU), 高取沙悠理 (総研大), 田邊大樹 (総研大), 茅根裕司 (東京大), 都丸隆行 (天文台), 西野玄記 (東京大), 羽澄昌史 (KEK 素核研), 濱田崇穂 (東北大), 服部香里 (産総研), 廣瀬開陽 (横国大), 藤野琢郎 (横国大), 松田フレドリック (Kavli IPMU), 松村知岳 (Kavli IPMU), 南雄人 (大阪大), 他 POLARBEAR collaboration

宇宙マイクロ波背景放射の偏光観測を通して宇宙誕生及び進化の謎の解明を目指す POLARBEAR は、現在、望遠鏡を 3 台に増設し、それぞれに新型のレーザーシステム (POLARBEAR-2 レシーバ) を搭載して観測を行う「Simons Array 計画」を進めている。POLARBEAR-2 レシーバには、これまでの 6 倍にあたる 7588 個の TES ボロメータを搭載して統計感度の向上をはかると共に、シニアアンテナを用いた、90/150GHz (3 台目のみ 220/270GHz) の 2 バンド同時観測を実現し、前景放射のより高精度な分離が期待できる。

1 台目のレシーバは、2020 年 1 月に観測サイトにおいて惑星を用いたファーストライトを達成し、現在 (コロナ禍による運用停止を挟んで) コミッショニング作業の再開に向けた準備とハードウェアのアップグレード作業を行っている。本講演では Simons Array 計画の概要と共に、本観測に向けた 1 台目レシーバのコミッショニング作業の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](#)

V139a POLARBEAR-2 実験における温度モニターデータを用いた較正手法の開発

田邊大樹 (総研大), 片山伸彦 (Kavli IPMU), 金子大輔 (Kavli IPMU), 菊地修平 (横国大), 日下 暁人 (東京大/LBNL), 高倉理 (Kavli IPMU), 茅根裕司 (東京大), 西野玄記 (東京大), 羽澄昌史 (KEK 素核研), 長谷川雅也 (KEK 素核研), 松田フレドリック (Kavli IPMU), 他 POLARBEAR collaboration

POLARBEAR-2 実験は、チリのアタカマ砂漠に建設した望遠鏡を用いて宇宙マイクロ波背景放射 (CMB) の偏光を精密観測することを目指す実験である。中でも科学目標の一つであるインフレーション仮説の検証のためには、低周波ノイズを低減し、大角度スケールの偏光を精密に測定する必要がある。代表的な低周波ノイズ源として、観測装置の温度変化がある。CMB 偏光観測実験では低温検出器を用いた観測が一般的であるが、次世代の CMB 実験の目指す感度に対しては、常温部に設置された反射鏡や読み出し回路の温度不安定性も無視できないノイズ源となる。本発表では、観測と同時に高精度でモニターした温度データを用いて検出器の信号を較正する新たな手法と、それがテンソル・スカラー比をはじめとする宇宙論パラメータの測定に与える影響について発表する。

[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](#)

V140a CMB 偏光観測衛星 LiteBIRD 概念検討の進展

小栗秀悟 (JAXA), ほか LiteBIRD Joint Study Group

LiteBIRD は、初期宇宙を記述するインフレーション宇宙論の検証を目指して検討が進められている科学衛星で、JAXA 主導の国際プロジェクトである。宇宙マイクロ波背景放射 (CMB) の偏光観測に特化し、衛星の強みを生かして大角度スケール・多波長での観測を実現する。ラグランジュ点 (L2) にて 3 年間観測を行い、インフレーション起源の重力波の痕跡である B モード偏光パターンを、テンソル・スカラー比 $\Delta r < 0.001$ の精度で観測する計画である。JAXA 宇宙科学研究所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標としている。現在、JAXA のプロジェクト準備審査に向け、準備を進めている。

観測周波数帯は 34–448GHz で、低周波側の 34–161GHz を日本グループが、高周波側の 89–448GHz を EU グループが担当する。検出器はいずれも US グループの超伝導検出器 TES、読み出し用エレクトロニクスはカナダグループのものを用いる。これらの望遠鏡は、JAXA がミッション部としてとりまとめ、バス部と組み合わせて、衛星として打ち上げる。ここ半年は、各グループとの議論を重ね、装置を組み合わせる際のインターフェースの仕様策定を進めてきた。また、国内ではミッション部やバス部の熱・構造検討、1/4 スケールモデルでの実測定に基づいた偏光角の系統誤差の評価、宇宙線が検出器に与える影響のシミュレーションを用いた定量的な評価、など、様々な研究開発が進められている。本講演では、ミッション部の構造検討の詳細を含めた、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](#)

V141a スケールモデルを用いた LiteBIRD 低周波望遠鏡の広視野での偏光角の測定

高倉隼人, 関本裕太郎 (東京大学・ISAS), 稲谷順司 (JAXA/ISAS), 鹿島伸悟, 杉本正宏 (NAOJ)

宇宙マイクロ波背景放射 (CMB) の 2 種類の偏光パターン (E -mode と B -mode) のうち、大角度スケールで見られる B -mode 偏光はインフレーションにより生じた原始重力波に由来するとされ、検出が期待されている。LiteBIRD は宇宙からの全天観測によりこ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 に搭載する低周波望遠鏡 (観測周波数 34–161 GHz) は $18^\circ \times 9^\circ$ の広い視野を持つ Crossed-Dragone 型望遠鏡であり、日本が開発を担当する。 E -mode 偏光と B -mode 偏光の分離には望遠鏡の偏光角の精密な較正が必要であり、低周波望遠鏡の較正要求精度は $2.7'$ となっている。

我々は、実機サイズでの試験の前段階として低周波望遠鏡の $1/4$ スケールモデルを製作し、電磁氣的に等価となるように同じくスケールした波長のミリ波を用いて、アンテナの光学特性評価を行っている (Takakura et al, IEEE TST 2019)。低周波望遠鏡と同程度の大きさの光学系を参照波源として用いるコンパクトレンジ測定装置を開発し (2019 年秋季天文学会 V138a, 2020 年春季天文学会 V119a)、視野内における偏光角の分布を $0.1'$ の分解能で測定した。これにより、視野の中央と端で偏光角に 1 度前後の差が見られる、光学系の対称軸に直交する偏波面では対称軸に平行な偏波面よりも偏光角の差が大きい、周波数により偏光角が $10'$ 程度変化する、などの結果が得られた。本発表では、これらの測定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](#)

V142a 宇宙マイクロ波背景放射 B モード偏光観測衛星 LiteBIRD における宇宙線による影響の評価

富永 愛侑 (東京大学、宇宙航空研究開発機構/宇宙科学研究所), 辻本 匡弘 (宇宙航空研究開発機構/宇宙科学研究所), Samantha Lynn Stever (岡山大学、Kavli IPMU), Tommaso Gigna (University of Oxford, Kavli IPMU), 石野 宏和 (岡山大学), 海老沢 研 (宇宙航空研究開発機構/宇宙科学研究所)

LiteBIRD 衛星は、インフレーション理論から予想される宇宙マイクロ波背景 (Cosmic Microwave Background; CMB) の大角度スケール B モード偏光観測に特化した観測衛星である。LiteBIRD 衛星は 2020 年代後半に打ち上げ予定であり、太陽-地球系の第 2 ラグランジュ点で 3 年間の全天観測を行う。衛星は宇宙空間で常に宇宙放射線 (Cosmic Rays; CR) に晒される。焦点面検出器に照射した CR は、熱的なゆらぎを生じ、数千個の超電導遷移端ポロメータ (Transition Edge Sensor; TES) を通してノイズとして検出される。これは、B モード偏光測定における最も大きな系統誤差の要因の 1 つと考えられているが、まだ定量的な評価はなされていない。そこで我々は、物理モデルを構築し、宇宙線の入射から検出器面上での熱拡散、TES と検出器面の電熱結合、時系列データの作成と軌道上デジタルフィルタリング、マップ作成、角度パワースペクトルの作成まで、end-to-end のシミュレーションを実行した。その結果、偏光を測定する 2 つの TES ペアの差分ノイズが $1 \text{ aW}/\sqrt{\text{Hz}}$ なら、角度パワースペクトルの BB のパワーが $10^{-6} \mu\text{K}_{\text{CMB}}^2$ 程度 (1 年、3 個の検出器) と定量的に見積もることができた。

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

V143a NASCO 計画の開発進捗：受信機の改修による5ビーム同時観測の実現

松英裕大¹、大浜晶生¹、藤城翔¹、阪本茉莉子¹、松永健汰¹、逆井啓佑¹、奥田想¹、塩谷一樹¹、山田麟¹、堤大陸¹、小林和宏¹、山本宏昭¹、立原研悟¹、水野 亮¹、福井康雄¹、松本健²、山崎康正²、南大晴²、西村淳²、小川英夫²、榎谷玲依³、藤田真司^{1,2}、林克洋^{1,4}、佐野栄俊^{1,5}、藤井泰範⁵、他 NANTEN2 メンバー (1:名古屋大、2:大阪府立大、3:慶應義塾大、4:JAXA、5:国立天文台)

我々はチリアタカマにある NANTEN2 望遠鏡を用いて、全天の 70% の領域における CO 輝線をマッピング観測する NASCO (NANTEN2 Super CO survey as legacy) 計画を推進している。本計画を遂行するためには高感度な受信機で効率の良い観測をする必要があるため、我々は 100 GHz 帯で 4 ビーム/両偏波/SSB、200 GHz 帯で 1 ビーム/両偏波/2SB のマルチビーム受信機である NASCO 受信機を開発した。2019 年 9 月のファーストライト時点では受信機初段の冷却アンプ複数台の性能が出ておらず、観測に使用できるのは 100 GHz 帯で全 16IF のうち 4IF のみだった (山本・藤城他 2020 年春季年会)。今回我々はその後の NASCO 受信機の改修とその結果について報告する。まず、現地で受信機初段の冷却アンプが故障しているのを突き止めメーカーでの修理を行なった。次に、IF 系の最終段に使用していた帯域 0-2GHz の自作アンプ数台が故障したこと、分光計への入力パワーが不十分であったことから常温アンプを 20 台程度追加製作した。2020 年 3 月にこれらのコンポーネントを NASCO 受信機に搭載した結果、良い IF では 150 K 程度の T_{sys} を得られるなど性能が向上し、200 GHz 帯と合わせた全 5 ビームでの CO 輝線の同時観測に成功した。今後は SIS 素子の不足で使用できていない 200GHz 帯の 2IF の修繕や、本観測に向けた受信機の安定性評価を進めていく予定である。

[スケジュール\(セッション毎\)に戻る](#)

[スケジュール\(全体\)に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V144a NASCO 計画の開発進捗：試験観測による性能評価

西岡丈翔、山田麟、松英裕大、阪本茉莉子、松永健汰、西川薫、谷口暁星、山本宏昭、立原研悟、福井康雄 (名古屋大学理)、西村淳、藤田真司 (大阪府立大学)、榎谷玲依 (慶應義塾大学)、小林和宏 (名古屋大学全学技術センター)、水野亮 (名古屋大学 ISEE)、佐野栄俊、藤井泰範 (国立天文台)、他 NANTEN2 メンバー

NASCO (NANTEN2 Super CO survey as legacy) 計画は NANTEN2 を用いて全天の 70% における CO マップを取得する計画である。本計画は既に NANTEN2 望遠鏡に 100 GHz 帯 4 ビーム、230 GHz 帯 1 ビームのマルチビーム受信機 (NASCO 受信機) を開発・搭載し、ファーストライトを達成した (山本他 2020 年春季年会; 松英他本年会)。また、600 秒角/秒の速度で On-the-Fly (OTF) 観測を行う高速駆動モードを実装した。

2020 年 3 月には NASCO 計画完遂のために要求される受信機の性能評価を目的とした試験観測を実施し、skydip 法によるシステム雑音温度測定、木星と IRC +10216 の観測によるビームパターン測定、太陽のエッジ検出によるビームスクイントの測定を行った。測定結果の解析には、我々が新たに開発した NASCO 計画用データ解析ソフトを用いた (山田他本年会)。その結果、システム雑音温度は、SIS 素子や冷却アンプに問題のあるいくつかの IF を除き、概ね目標の 200 K 程度以下を達成した。ビームパターン測定からは、非軸対称な構造や目立ったサイドローブがないことを確認した。これらの測定結果より、NASCO 受信機が概ね科学観測に耐えうる性能を有していると考えられる。さらに、Orion-KL および M17SW の OTF 観測データを解析した。本受信機はビームローテータ不使用であるが、全ビームの回転補正を行うことで、各マップに矛盾はなく、合成することで S/N 比が向上することを確認した。本講演では NASCO 受信機による科学観測に向けた現状と、今後の課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](#)

V145b NASCO 計画の開発の進捗：データリダクションソフトの開発

山田麟, 塩谷一樹, 谷口暁星, 西川薫, 西岡丈翔, 松英裕大, 山本宏昭, 立原研悟 (名古屋大学), 西村淳, 藤田真司 (大阪府立大学), 他 NANTEN2 チーム

本講演では、今回開発した NASCO (NANTEN2 Super CO survey as legacy) 計画用データリダクションソフトの仕様について、その詳細を報告する。NASCO 計画は、NANTEN2 望遠鏡に新たにマルチビーム受信機 (110 GHz 帯で 4 ビーム/両偏波/SSB, 230 GHz 帯で 1 ビーム/両偏波/2SB, 合計 20 IF) を搭載し (松英他本学会)、全天の 70 % の一酸化炭素分子輝線マップを取得する計画である。この計画では、20 IF の信号を同時受信するため、これらを合成するソフトウェアの開発が必要となる。また、5 ビームのうち 100 GHz 帯の 4 ビームは設計上ビーム中心がアンテナの光軸中心からずれるため、観測時に天球面上でビームが回転する。NASCO 計画では、ハードウェアの設計上ビームローテーターを使用しないため、この補正もソフトウェアで行う必要がある。

そこで、我々はこれらの要求に対応した新たな Python ベースのデータリダクションソフトの開発を行っている。開発には、多次元配列と付随するメタデータを同時に処理できる、xarray (Hoyer et al. 2017) を用いた。NASCO 受信機によって取得される分光データは、時間軸と XFFTS 分光計から出力されるチャンネル軸の二次元配列で表現される。本ソフトウェアでは、このデータの時間軸にアンテナ座標値やヘッダー情報を付加することで観測データを 1 つの Python オブジェクトとして扱う。これによって、簡潔で直感的なコードでビームの合成と回転の補正を行うことが可能となった。我々はこのソフトウェアを用いて 2020 年 3 月に行われた試験観測のデータを解析し、評価を行った。その結果、ビーム合成と回転補正が正常に行われていることを確認した。なお、解析結果の詳細は西岡他本年会で発表される。

[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](#)

V146b 多ビーム軸対称双反射鏡アンテナの中心ビーム開口能率

永井 誠, 今田 大皓 (国立天文台)

開口能率は、電波望遠鏡の性能評価に使われる重要な特性の 1 つである。入射する一様平面波と給電部のガウス型ビームが円形開口において理想的に結合する場合の開口能率はよく知られているが、広視野化・高周波数化・広帯域化していく次世代電波望遠鏡の開発においては、より一般の状況で開口能率の振る舞いを理解し設計に反映させていくことが望まれる。この動機の下に我々は、一般の開口アンテナの開口能率が、入射瞳スピルオーバー効率・ビーム結合効率・射出瞳スピルオーバー効率の 3 つの幾何学的因子と損失の因子の積で与えられること (2015 年秋季年会 V143b)、カセグレン式アンテナに代表される軸対称な双反射鏡アンテナの中心ビームの開口能率が 3 つの独立変数 (主鏡径と副鏡径の比、主鏡の F 値 N_1 と視野半径 ϕ_{FoV} の正接の積 $N_1 \tan \phi_{\text{FoV}}$ 、ガウス型ビームのエッジテーパ) で定まること (2018 年春季年会 V148a) を見出ししてきた。

軸対称な双反射鏡アンテナでは、副鏡による遮蔽が最小になる条件 (最小遮蔽条件) によって、主鏡・副鏡・焦点面の位置と大きさを関係付けられる。今回、焦点面に給電部を並べたアレイを置く多ビームの場合の最小遮蔽条件を書き下した。また、焦点面アレイの大きさと視野半径 ϕ_{FoV} の関係式が得られた。これらを用いると、要求される視野径を持つように系の大きさを決め、その系の収差が無い場合の開口能率の値を知ることが出来る。本講演ではこの手順と計算例を報告する。この手法によって、双反射鏡アンテナを用いた広視野電波望遠鏡の設計において、要求を満たす解を構成したり開口能率の現実的な最良の値を求めたりすることが、解析的に可能になる。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V147b 多色サブミリ波カメラ用多段型多孔質膜赤外線フィルターの開発

長沼桐葉, 吉岡佳輔, 酒井剛 (電気通信大学), 大島泰 (国立天文台), 竹腰達哉 (北見工業大学), 丹羽佑果 (東京工業大学), 宇野慎介, 陳家偉, 井上修平 (東京大学)

我々は宇宙構造形成史・星形成史の解明を目標に、極低温検出器を用いた多色同時撮像型の超広視野ミリ波サブミリ波カメラの開発を進めている。広視野光学系と極低温環境 (<250 mK) の両立には、光学開口から侵入する 300 K の輻射を遮断する赤外線フィルターが不可欠である。フィルター材として、波長より大きな粒径の空孔による散乱を活用した樹脂系多孔質材が入手性の良さから広く用いられている。また、多孔質材は屈折率が低いため、フィルター界面での観測帯における反射損失を抑えられる利点がある。ミリ波帯では、超低屈折率 ($n < 1.05$) により低反射損の多孔質材を利用することで赤外線遮断を実現しているが、その大きな空孔径 (> 100 μm) から、サブミリ波帯 (波長 1 mm 程度以下) では透過率が急激に低下する。そのため、サブミリ波帯では、空孔径の小さい多孔質ふっ素樹脂 (PTFE) 材 (屈折率 $n \sim 1.2$, 空孔径 $\sim 10\mu\text{m}$) が利用されている。しかし、比較的大きな屈折率による反射損失が無視できないことに加え、薄いことで熱伝導が悪くフィルターを十分冷却できないため、1 枚では赤外線再輻射が十分に抑制できない。そこで我々は、多孔質 PTFE 膜を多段にし、かつ、膜間距離を観測波長以下にして干渉させることで高透過率を実現する最適化を行い、低損失と赤外線遮断を両立する多層フィルターの開発を行った。まず、厚さ、空孔率、空孔径が異なる様々な多孔質 PTFE 材の光学特性を測定した。さらに、このデータベースを用いて、多色カメラの観測帯域 (120-720GHz) で平均反射損 < 2% を実現する多層フィルターを設計した。本講演では、製作した多層赤外線フィルターをテラヘルツ時間領域分光法や赤外線フーリエ分光器により評価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](#)

V201a SuMIRe-PFS[21]: プロジェクト概要と装置開発進捗状況まとめ 2021 年春季

田村直之(東京大学カブリ IPMU), PFS プロジェクトオフィス, PFS コラボレーション

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一つで、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。PFS と Hyper Suprime-Cam でなす SuMIRe(“すみれ”: Subaru Measurement of Images and Redshifts)計画で、遠方銀河と星の広天域巨大統計からダークマター、ダークエネルギーの正体や、多種多様な銀河の形成進化の物理過程に迫る。PFS の開発は東京大学カブリ IPMU を中心とした国際チームにより 2021 年の試験観測開始と 2023 年の科学運用開始に向け進行中である。望遠鏡上での夜間試験を通し 2019 年 8 月に性能確認を完了したメトロロジカメラ、2019 年 12 月に山頂で組上が完了した分光器 1 台目 (SM1) に続き、望遠鏡に敷設するファイバーケーブル 4 本のうち 1 本目が 2020 年 10 月に輸送前審査を通過、ブラジル国立天文台からハワイへ出荷された(同時に 2 本目のケーブルの最終組上作業を開始した)。分光器はマルセイユ天文物理研究所 (LAM) にて 2 台目 (2021 年初旬納入を目標) と 3 台目の組上試験が進められ、真空冷却系検出器系の組上試験を進めている Johns Hopkins 大学では近赤外カメラ 1 台目が組み上がりつつある。主焦点装置の開発は台湾中央研究院天文及天文物理研究所を中心に進められており、2020 年 9 月始めに全て (42 個) の fiber positioner module 搭載を完了した。今後、残りの機器搭載作業や最終統合試験が 2021 年春にかけ行われる。解析パイプラインの開発は、Princeton、LAM、NAOJ、IPMU の合同で SM1 で取得したデータと疑似データを併用し進められ、大量のデータを自動的に処理解析するメカニズムも構築中である。また、装置制御、ファイバー配置等観測準備、観測後の情報管理の統合についても議論、開発が進行中である。本発表では、こうした装置開発の状況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](#)

V202a MOIRCS に搭載された広帯域高効率な新グリズムの開発と性能評価

田中壱 (Subaru Telescope)、海老塚昇 (理研)、本原顕太郎 (国立天文台)、児玉忠恭 (東北大学)、服部 堯、小俣浩司、田中陽子 (Subaru Telescope)、高橋英則 (東大木曾観測所)、小西真広 (東大天文センター)

すばる望遠鏡の近赤外多天体分光観測装置 MOIRCS に搭載された、新中分散グリズムの開発について報告する。この新グリズムは LightSmyth Technologies/Finisar 社によって開発された、高効率広帯域を誇る極めて高性能のグレーティングを用いたもので、天文用としては初めての応用となる。

H バンド用のグレーティングは、最適な性能を求めてデザインし特注で製作してもらった。その結果、実験室におけるグリズム単体のピーク効率は 96% 以上を記録し、H バンド帯の大部分を 90% 以上の超高効率でカバーできるという素晴らしい性能のものとなった。また、我々は J バンドグリズムの開発にも着手したが、限られた予算の都合から、こちらはカタログ品の H バンド用グリズムを J バンド用の入射角で使用することとした。そのため、ピーク効率は 93% 程度となったが、それでも J バンドの大半を 80% 以上の効率でカバーする性能とする事ができた。

グリズムとして組み上げた後、安定性の確認のために姿勢変化や冷却に伴う波面誤差の変化を評価した。その結果、Natural Seeing の元では、変化がほぼ見えないレベルに抑えられてる事が確認できた。

新グリズムのオンスカイテストは 2020 年の 7 月に無事行われ、現行の中分散グリズムである VPH-J、VPH-H グリズムの性能を大幅に改善する高い総合効率と美しいまでの平坦な特性を確認できた。S20B セメスターから既に共同利用への使用が開始され、既に成果も得られつつある。

[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](#)

V203a 近赤外高精度視線速度測定のための地球大気吸収線の影響評価

笠木結 (総研大), 小谷隆行 (ABC/総研大), 平野照幸 (東工大), 葛原昌幸 (ABC/NAOJ), 田村元秀 (東大/ABC), 佐藤文衛 (東工大), IRD 装置チーム/IRD-SSP チーム

現在すばる望遠鏡赤外ドップラー装置 IRD (InfraRed Doppler) を用いた系外惑星探査が、すばる戦略枠観測 (SSP) として行われている。これは視線速度法によるサーベイであり、晩期 M 型星まわりのハビタブルゾーンにある地球質量惑星を発見することが主な目標である。ターゲットである M 型星は近赤外で明るい、この波長域のスペクトルに多く混在する地球大気吸収線は、安定した視線速度測定を妨げる要因のひとつとされている。スペクトルから大気吸収線が完全に除去していない場合、星の吸収線形状が変化し、惑星由来ではないドップラーシフトが生じてしまうからである。先行研究では 1–2% 程度の大気吸収線の引き残りがあがる場合、近赤外視線速度測定に $\sim 0.5 \text{ m s}^{-1}$ の影響が生じるとされている。そこで本研究では、IRD の視線速度解析で使われる二つの大気吸収スペクトルに着目した。ひとつは高速自転星 (大気吸収標準星) の観測から作成したスペクトル、もうひとつは観測に合う理論モデルをフィットさせて作成したスペクトルである。これらは IRD の解析において、最終的な視線速度を導出するときと、そのフィッティングに使う恒星テンプレートスペクトルを作成するときの二つのステップで大気吸収線を取り除くために使われる。本講演では、二つの大気吸収スペクトル間の違いと、その違いが観測条件に対してどう依存性するかを調べた結果を報告する。高速自転星を観測した時の airmass や相対湿度によって吸収線の深さ等が変化し、最大で $\sim 2\%$ 程度の差が生じていることが分かった。また、それらの大気吸収スペクトルの違いが最終的に導出される測定値にどの程度影響するか評価し、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](#)

V204a 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, 遠藤立樹, 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, G. Sanders 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現地建設工事に着手できていないが、状況の改善に向け、同年秋より国立天文台や TIO 関係者が建設に反対する主要メンバーを含めた地元との直接協議を開始した。現在は新型コロナウイルスの影響で中断しているが、再開に向けた準備を進めている。ハワイ州議会でも先住民問題についての和解委員会の設置が提案され、NSF や先住民代表などを含む様々な関係者による協議が行われている。ハワイ大学では 2033 年に期限を迎えるマスターリース更新に向けて、マウナケア管理改善の検討を進めている。NSF の TMT 参加に向けては、米国の研究者が南北両半球での超大型望遠鏡による研究を可能にするために TMT と GMT を含めたプログラム (US-ELT プログラム) が Astro2020 に提出され、2021 年前半に結果が公表される。

TMT 計画の国内の進捗状況としては、主鏡は量産再開に備えて、技術難易度の高い外形加工や支持機構搭載等の開発や試験を進めている。望遠鏡本体も製造に向けた準備として製造図面の作成を進めている。計画遅延の期間を活用し、試作試験を実施して完成度を高め、技術的リスクの低減に成功している。第一期観測装置 (IRIS, WFOS, MODHIS) は、日本の分担箇所の設計・開発を先端技術センターを中心に進めている他、人的貢献も進めている。ハワイ観測所と協力し、すばる望遠鏡と連携した科学研究を一体運用として進めるため検討も進めている。広報普及活動では、新型コロナウイルス感染症拡大による制約を受けつつも、オンラインでの活動などを工夫して継続している。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](#)

V205a TMT 計画 - 超大型望遠鏡本体の製造 その2

齋藤正雄、杉本正宏、寺田宏、田澤誠一、楠本弘、小俣孝司、岩田生、白田知史 (国立天文台)

TMT (Thirty Meter Telescope) 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。日本は望遠鏡本体構造とその駆動制御システムの製作を担う。2011 年度から開始した概念設計、基本設計を経て、詳細設計審査が完了した。2018 年度から製造フェーズに入り、製造図面作成を開始した。本講演では前回講演 (2019 年春季年会 V236a) 以降の進展を報告する。

実際の製造を始めるにあたり、望遠鏡構造はスケジュールリスクや業務の過度の集中を避けるため、複数にわけて製造前準備審査をすることになっている。そのうち、2020 年 3 月の第一回は方位角、仰角構造の主要 3 部位 (Az ピントル、El ジャーナル、下部チューブ構造) を対象とし実施した。製造図面の確認および、対象部品に対する、安全、品質などの審査が行われた。その結果、レーザーガイドシステムのインストール時の機械インタフェースを最終系にし、一部の図面を最新のものにする修正を実施するという条件でパスした。これらの条件を解決をはかり、第二回の製造準備審査へむけた作業をつづけている。

今年度は TIO 側でサブシステムの基本、最終設計審査会が複数あり、望遠鏡本体構造とのインターフェースを製造図面作成のため確定する作業が続いた。特に、配線や配管の最終設計審査会その 1 は設計と製造の担当が異なるという特殊な事情の中開催された。これらの状況についても報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V206a TMT 計画 - 主鏡セグメントの量産 IV

大屋 真、山下卓也、林左絵子、白田知史、家 正則、遠藤立樹 (国立天文台)、ほか TMT 関係者

Thirty Meter Telescope (TMT) は対角が 1.44m の六角分割セグメント鏡を 492 枚組み合わせた口径 30m の次世代超大型望遠鏡である。国立天文台は TMT International Observatory (TIO) の一員としてこの計画を進めている。主鏡製作は日本の貢献の大きな柱の一つである。全セグメントの硝材を製造し、表裏球面研削しメニスカス形状に加工した状態で提供する。その後の非球面研削・研磨、そして六角形への外形加工・支持機構搭載は米国、インド、中国と分担し、日本は全体の 30% のセグメントを担当する。

主鏡の量産工程は現在非球面研磨まで進んでいる。この工程を完了した鏡材 (ラウンドル) について TIO による技術適合審査に正式合格の見込みである (投稿時点で仮合格済み)。合格に至るまでの経緯についてまとめて報告する。その次に続く工程としてはラウンドルの外形を六角形にして裏面に支持機構やエッジセンサーの取り付け部分の加工を行う外形加工工程、外形加工完了後の鏡材の支持機構搭載工程がある。これらの各工程が開始される際には審査が必要になるので、そのための準備も整えつつある。外形加工については加工中の鏡面の保護、支持機構搭載については取り付け金具を鏡材に接着する際の精度確認・改善、万が一接着結果が規格を外れた場合に剥離する方法の検討を行っている。これらの進捗に加えて硝材製造工程や球面研削工程の状況も含めて、主鏡セグメント量産工程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](#)

V207a 東京大学アタカマ天文台 TAO 6.5m 望遠鏡計画 現地建設進捗状況

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, 田中培生, 本原顕太郎, 峰崎岳夫, 酒向重行, 田辺俊彦, 諸隈智貴, 廿日出文洋, 小西真広, 上塚貴史, 高橋英則, 青木勉, 征矢野隆夫, 樽沢賢一, 加藤夏子, 鮫島寛明, 浅野健太朗 (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 計画の最大の特徴はそのサイトにある。我々は 6.5m 望遠鏡設置に向け、サイト開発を 2018 年より開始した。標高 5080m 以上の地下に凍土層が発見されるなど、いくつかの困難に見舞われたが、2020 年 3 月までに道路工事はほぼ完了、山頂も整地を終えることができた。日本人の工事関係者も 2020 年 1 月に現地での作業をスタートさせた。しかし世界的な新型コロナウイルス感染症の拡大はサイト建設に大きな影響を与えている。TAO では、作業員・スタッフの健康安全を守るため、2020 年 3 月にすべてのサイト工事を中断することとした。6 か月にもわたる中断期間中は、最低限の安全確認のみを実施した。幸いチリでの感染状況が 8 月以降安定してきたため、十分な感染対策のもと、サイト工事を 2020 年 9 月より順次再開してきている。2020 年 11 月末現在まで感染者は出ておらず、山頂工事も 2020 年 11 月より開始、11 月末現在は基礎の設置作業を進めている。また、エンクロージャーおよび観測運用棟などの日本製作の部品はすでにチリへの輸送を終えており、標高 5000m に設定したヤードにて保管中である。また望遠鏡架台も既に日本を出港、2020 年 12 月中旬にチリ到着の予定である。状況は予断を許さないが、今後問題がなければ、2022 年初頭に完成の見込みである。

本講演では現地工事の進捗を中心に計画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](#)

V208a 木曾 Tomo-e Gozen の広域動画サーベイのデータ公開に向けた開発

酒向重行, 大澤亮, 諸隈智貴, 新納悠, 瀧田怜, 土居守, 茂山俊和, 小林尚人, 小西真広, 高橋英則, 近藤莊平, 森由貴, 青木勉, 紅山仁 (東京大学), 渡部潤一 (国立天文台), 富永望 (甲南大学), 田中雅臣 (東北大学), 奥村真一郎 (日本スペースガード協会), 池田思朗 (統計数理研), Tomo-e Gozen コラボレーション

Tomo-e Gozen は東京大学木曾 105cm シュミット望遠鏡の焦点面を 84 枚の CMOS イメージセンサーで覆う視野 20 平方度の動画カメラと、それに直結した大規模計算機からなる広視野観測システムである。2019 年 9 月の完成後、我々は Tomo-e Gozen の広視野と高時間分解能を活かした 2fps の広域動画サーベイを進めている。2020 年 12 月現在は、各視野で 18 フレーム (計 9 秒露光, 加算時に深さ 18.5 等級) を取得し 7,000 平方度 (高度 35 度以上) を 1 夜に 1 回スキャンする広域動画サーベイと、深夜に南中する 2,000 平方度を 30 分間隔で反復する高頻度動画サーベイを組み合わせて実施している。リアルタイムに一次処理と位置較正がなされた 3D FITS データからは逐次に機械学習モデルによる高速移動天体の検出がなされる。また、時間方向に加算した 2D FITS からは機械学習モデルによる突発天体の検出がなされる。3D FITS データは大量なため指定した一部を残して 10 日後に消去されるが、加算した 2D FITS の全ては所内のアーカイブストレージに保存される。2019 年 10 月から現在までの 14 か月間に計 1.0PB の 3D FITS が取得され、計 85TB の 2D FITS がアーカイブに長期保存されている。現在、3D FITS データの各フレームに検出されるソースの測光テーブルを逐次生成するソフトウェアの開発を進めている。木曾観測所と 4Gbps で高速に接続された東京大学本郷のサーバシステムを通して、検出天体、2D FITS、測光テーブルを段階的に共同研究者および一般に対して公開していく予定である。本講演では Tomo-e Gozen が実施した特定の対象の広域サーベイ、広域フォローアップ、高速モニタリング等の科学成果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](#)

V209a 光赤外線大学間連携事業の活動報告

山中雅之(京都大学), 高木聖子(北海道大学), 高橋隼(兵庫県立大学), Malte Schramm, 大朝由美子(埼玉大学), 中岡竜也(広島大学), 永山貴宏(鹿児島大学), 野上大作(京都大学), 村田勝寛(東京工業大学), 楠根貴成(名古屋大学), 諸隈智貴(東京大学), 花山秀和, 堀内貴史, 関口和寛(国立天文台), 他光赤外線大学間連携事業メンバー

光赤外線大学間連携事業は中小口径クラスの望遠鏡を持つ 10 機関の大学と国立天文台から成る有機的連合体であり、現在第二期の 4 年目にある。マルチメッセンジャー天文学を推進し、重力波・ニュートリノの光学対応天体探索や追観測、超新星爆発などの突発現象や変動現象を含む時間領域天文学分野で成果を挙げつつある。今年度も突発・変動現象の連携観測を継続させ、11 月 29 日時点で 9 件もの観測を実行してきている。定例ワークショップは「連携観測の新機軸」というテーマで 11 月 10-12 日に 3 日間に亘って開催された。11 件の招待講演を含む 57 件の発表が行われた。今年度は連携観測による成果として 5 編の論文が受理されるなど、多くの成果が出版されている。ワークショップの発表数・連携観測による出版論文数はこれまでで最多であった。PASJ にて特集号を来年 2 月に出版予定である。教育事業としては、短期滞在実習・初心者向け IRAF 講習会を実施している。また将来的な教育に関連して、GROWTH astronomy school の教材を使って「Python もくもく会」という astropy の勉強会を 5 回実施している。その他に対外的な活動として、2020 年天文学会春季年会企画セッション「突発現象天文学と大学教育における大学望遠鏡のシナジー」を企画した。また、現在将来のサイエンス検討を進めており、講演では本事業で中小口径望遠鏡で推進する時間領域天文学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](#)

V210b Hyper Suprime-Cam Legacy Archive

田中賢幸(国立天文台), 村田一心(国立天文台), 峯尾聡吾(国立天文台), 小池美知太郎(国立天文台), 原沢寿美子(国立天文台), 池田浩之(和歌山高専), 瀧田怜(東京大学), ほか HSC チーム

すばる望遠鏡では 2014 年から Hyper Suprime-Cam (HSC) が稼働している。HSC 観測時間の大きな割合を割いて、すばる戦略枠プログラムが現在も進行中だが、それ以外の観測時間は一般共同利用観測に充てられている。一般共同利用観測のデータも当然高い科学的価値を有するため、戦略枠データと同様に一括で処理・公開すれば HSC のデータをさらに活用できる。そこで国立天文台では、サイエンスにすぐに使えるデータを公開する計画、HSC Legacy Archive (HSCLA) を推進している。本発表では、2020 年末に公開の HSC 科学運用初年(2014 年)の解析データを紹介する。戦略枠プログラムで用いているデータ取得ツール一式をオンラインで公開し、巨大なカタログデータから画像データまで容易に取得できるようなシステムになっている。HSCLA の全体的なスコープから、データ解析の内容、さらには今後の目標まで議論したい。

[スケジュール\(セッション毎\)に戻る](#)

[スケジュール\(全体\)に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V211b 近赤外高分散分光器 ESPRIT 搭載の検出器駆動と冷却システムの開発

神原歩、坂野井健、鍵谷将人、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、開発中の近赤外分光器 ESPRIT (Echelle Spectrograph for Planetary Research In Tohoku university) 搭載の検出器駆動回路と分光器低温環境の設計について報告する。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 [Hill et al, 1983]、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・マウイ島のハレアカラ観測所 (標高 3040m) に口径 60cm 望遠鏡 (T60) を擁しており、ESPRIT はこれに設置する。将来的には、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。本装置稼働によって近赤外帯において惑星大気の高分散分光 ($\lambda/\Delta\lambda \sim 20,000$) 連続観測を目指す。

検出器には波長 1-5.5 μm に感度をもつ InSb 256x256 アレイを採用する。本装置は日本-ハワイ間での遠隔運用を目指しており、検出器の遠隔運用での安全性と低ノイズ化のための分光器筐体の低温環境の確立をする必要がある。以上目的のため、本装置の検出器駆動回路に検出器バイアス電圧入力ラインの電流測定回路や電源投入順序確立のための電源投入制御回路を実装し、また冷凍機-分光器筐体間の冷却パスの設計・製作と評価を行った。電流測定回路ではバイアス入力ラインで想定される数 μA 数 100 μA の電流を約 0.021 μA の分解能で測定できる。さらに設計した熱バスを用いて分光器筐体の冷却試験を行い、分光器筐体内部を近赤外波長帯の観測で分光器自身の熱輻射を無視できる 100K 以下、検出器周辺を検出器駆動に必要な 35K 以下に十分なバッファをもって冷却可能であることが示された。今後、検出器とハーネスを設置したうえで検出器駆動試験を行う。

[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](#)

V212a 系外惑星トランジット観測のための可視 4 色同時撮像装置 MuSCAT3 の開発

福井曉彦, 成田憲保, 生駒大洋, 森万由子, 栗田誠矢, John Livingston, 川内紀代恵, Jerome de Leon, 小玉貴則 (東京大), 日下部展彦 (ABC), 西海拓, 渡辺紀治 (総研大/東京大), 磯貝桂介 (京都大), 田村元秀 (東京大/ABC), 山室智康 (オプトクラフト), Daniel Harbeck, Mark Bowman, Mark Elphick, Jon Nation, J.D. Armstrong, Jacqueline Han, Matt Daily (LCO), ほか LCO チーム

現在、太陽系近傍のトランジット系外惑星探索を目的として NASA の TESS 衛星による全天サーベイが進められている。一方、TESS で発見される惑星候補は偽陽性率が高く、地上フォローアップによる検証観測が不可欠である。我々は TESS で発見される惑星候補のフォローアップ観測を主目的として、2018 年度より可視 4 色同時撮像装置 MuSCAT3 の開発を進めている (資金: 新学術領域「星惑星形成」計画研究 A03 および ABC)。同装置を用いて惑星候補のトランジットを多色で観測することで、偽陽性の効率的な排除および惑星の詳細観測 (半径や軌道の詳細決定および惑星大気の詳細観測など) が可能となる。現在運用中の姉妹機である MuSCAT (岡山) および MuSCAT2 (カナリア諸島) とともに連携することで、TESS で発見される惑星候補を網羅的に観測する計画である。

MuSCAT3 を搭載する望遠鏡は、複数機関との交渉の末、2019 年に米国・ラスクンブルス天文台 (LCO) が運用するハワイ・ハレアカラ観測所の 2m 望遠鏡に決定した。その後、2019 年度中に装置の設計および製作が完了し、2020 年 4 月より国内にて装置の組立および調整・試験を行なったのち、8 月末に現地に発送した。同年 9 月に現地スタッフの協力のもとファーストライトを実施し、試験調整期間を経て 2020 年 11 月より (一部機能を除き) 定常運用を開始した。本講演では、装置の概要および試験観測で得られた性能評価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](#)

V213a 南アフリカ望遠鏡用近赤外高分散分光器の開発：装置概要と進捗状況

高橋葵 (ABC), 小谷隆行 (ABC), 西川淳 (NAOJ), 上田暁俊 (NAOJ), 葛原昌幸 (ABC), 田村元秀 (東大), 永山貴宏 (鹿児島大), 栗田光樹夫 (京大), 住貴宏 (阪大), 山室智康 (オプトクラフト), 佐藤文衛 (東工大), 平野照幸 (東工大), 大宮正士 (ABC)

若い星周りに存在する巨大ガス惑星の軌道分布を調査することは、惑星形成段階の軌道進化を知る上で重要である。可視域の視線速度法による若い星周りの惑星探索では、活発な恒星活動によるスペクトル変化が惑星の擬検出を引き起こすため、若い星に対して恒星活動の影響が弱まる近赤外域で視線速度観測を行う必要がある。また、ハビタブル惑星の探索は宇宙生命科学における重要課題であるが、存在頻度が高い上にハビタブル惑星の重力的影響を受けやすい M 型星の周りで探索を行うのが効率的である。M 型星は近赤外域で放射強度のピークを持つため、M 型星周りのハビタブル惑星探索においても近赤外域の視線速度観測が有効である。しかしこのような観測が可能な装置は未だ数が限られており、特に南半球では若い近傍のアソシエーションや星団が多く観測できるにも関わらず、望遠鏡の観測時間の多くを占有して近赤外域の視線速度観測ができる装置が極めて少ない。

そこで我々は、近赤外域での視線速度法による惑星探索を南天で行うため、南アフリカ望遠鏡用近赤外高分散分光器 (the South Africa Near-infrared Doppler; SAND) を開発している。SAND は $0.83 \mu\text{m} - 0.11 \mu\text{m}$ (z, Y-band) の波長域を $R=\lambda/\Delta\lambda=55,000$ で分光可能なファイバー導入型の分光器であり、阪大のグループが開発中の PRIME 望遠鏡に加えて IRSF, SALT といった複数の望遠鏡に対してファイバー接続・運用される予定である。2022 年度中の試験観測を目指して、現在は光学系の設計・製作や真空チャンバーの製作を進めている。本講演では、SAND の科学的意義および装置概要を紹介するとともに、開発状況について述べる。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V214a 高コントラスト観測システムテストベッド EXIST の開発 2

米田謙太, 村上尚史, 一圓光, 小池隆太, 須藤星路 (北海道大), 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)

地球型系外惑星の直接観測には、惑星の検出を妨げる明るい恒星光を除去するための高コントラスト観測システムが必要である。観測システムは主に、コロナグラフとダークホール技術から構成され、恒星光が強力に除去された領域 (ダークホール) において惑星探査が可能となる。現在、地球型系外惑星探査に向けて、高コントラスト観測システムを搭載した将来スペースミッションが提案されており、米欧を中心に専用テストベッドにおける技術開発が進められている。我々は、独自の技術を試験する新たなテストベッド EXIST (EXoplanet Imaging System Testbed) の開発を進めている (米田他, 2020 年秋季年会 V220a)。

テストベッド EXIST では、複数タイプのコロナグラフや、空間光変調器 (SLM) を用いたダークホール技術などの開発を目指す。複数タイプのコロナグラフとして、焦点面位相マスク型やナル干渉計型コロナグラフの開発を進める。SLM とは、液晶を利用した光波面制御デバイスであり、可変形鏡 (DM) に比べ制御素子数が圧倒的に多い利点を有する。これまでに、SLM の制御素子数を活かすことで、巨大ダークホール形成の実証に成功している (河合他, 2018 年秋季年会 V246a)。我々は、将来の地球型系外惑星探査に向けて、テストベッド EXIST を開発し、独自技術による極限高コントラストの実証を目指している。現在、テストベッドのためのクリーン環境の整備や、光学系の設計および構築を進めている。本講演では、EXIST で開発を進める要素技術と、テストベッド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](#)

V215a 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

小池隆太, 米田謙太, 村上尚史 (北海道大), 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)

系外惑星は、主に間接的な観測によってこれまで数多く発見されており、連星系の周りにも存在することが明らかとなっている。連星系周りの系外惑星をより詳細に調査するためには、系外惑星を直接観測する技術が必要である。しかし、莫大な光強度をもつ恒星からの光が障害となり、系外惑星光を検出することは容易ではない。さらに連星系においては、複数の恒星が存在することから、系外惑星の直接観測はより困難となる。連星系における系外惑星を直接観測するためには、複数の恒星光強度を同時に低減する技術が必要である。

恒星光強度を低減する技術として、ダークホール技術がある。ダークホール技術は、コロナグラフで除去できない恒星散乱光 (スペckル) を光波面制御によって除去し、惑星観測が可能な暗い領域 (ダークホール) を作り出す技術である。連星系において一方の恒星近傍にダークホールを作り出すためには、同時に他方の恒星遠方で光波面制御を行う必要がある。我々は、空間光変調器 (SLM) を用いたダークホール技術を、連星系に応用することを試みている。SLM は、可変形鏡 (DM) に比べ制御素子数が圧倒的に多く、恒星遠方でもダークホールの形成が可能という特長がある。そのため、SLM は連星系における系外惑星探査に有効であると期待される。我々は、光波面測定法として Speckle Area Nulling 法 (Oya et al. 2015, Opt. Rev., 22, 736) を導入した計算機シミュレーションを行い、連星系ダークホール技術の原理実証に成功した。また、本手法の実証実験のための室内シミュレータ構築にも着手している。本講演では、計算機シミュレーションおよび実証実験の現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](#)

V216a 大型低温重力波望遠鏡 KAGRA: 全体報告

阿久津智忠 on behalf of the KAGRA collaboration

大型低温重力波望遠鏡 KAGRA は、岐阜県飛騨市神岡の山岳部の地下に埋設された基線長 3 km のレーザー干渉計である。トンネル掘削が 2014 年 5 月に完了して以来、配電、排水、換気などインフラストラクチャーの整備や、望遠鏡本体の建設や性能出し、各種の試験運転を 6 年でこなし、2020 年春には初めて国際的な同時観測運転を行うに至った。観測中の感度は、中性子星連星合体の可観測距離換算で平均 0.5 Mpc 程度であった。コロナ禍で米国 LIGO と欧州 Virgo が観測運転を早期停止していく中、幸運にも独国 GEO600 と同時観測を実施できた。

現在 KAGRA では、更なる感度向上のためアップグレードを進めている。2022 年の 6 月以降には、LIGO、Virgo、KAGRA による第 4 期国際共同観測運転 (Observation- 4; O4) が予定されており、それに 25 Mpc 以上の感度で参加することを目指している。そのような距離を伝搬して微弱になった重力波をとらえるには、あらゆる雑音源を想定して対策を施さねばならない。たとえば、干渉計を構成する鏡が地面振動でゆらぐのも雑音となるため、KAGRA は地面振動の小さな地域を設置場所とし、さらに多段の防振系で対策している。また、鏡の熱雑音によるゆらぎも抑えるため、メインの鏡を 20K 付近まで冷却する。

これらの原理的な雑音源のほか、実際の運用上で問題になるのが迷光雑音である。迷光雑音の振る舞いは複雑で、世界でいくつか提案されている次世代の重力波望遠鏡計画においても問題となるであろうことが認識されている。また、鏡の冷却にともなう諸問題に対処する必要があることが分かってきた。本講演では、これら KAGRA が観測運転中に直面した問題をふまえ、今後の対策やアップグレードの現状と予定について報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V217a スペース重力波望遠鏡 LISA のための機器開発：フォトレシーバ

和泉究, 小森健太郎, 福邊健次 (JAXA 宇宙研), 岡坂洋輝, 内藤隆人 (法政大)

LISA は宇宙空間にレーザー干渉計を構築することで重力波観測を行う国際計画である。LISA は地上では観測の困難な低周波数 (0.1-100mHz 程度) に感度を持つよう設計されており、超大質量ブラックホール連星合体や銀河内に存在する白色矮星を含むコンパクト連星系といった系からの重力波を観測できると期待される。したがって LISA は地上検出器とは相補的な重力波源探索計画と位置付けられる。LISA は ESA の推進する大型ミッションの 1 つ (L3) として、現在 2034 年の打ち上げを目指してその開発が進められている。

本計画では 250 万 km 隔てられた 3 機の衛星間で計 6 つのレーザーリンクを構築し、これらをレーザー干渉計として動作させる。重力波信号はその各レーザーリンクの位相変化として記録される。このような長基線長レーザーリンクは、重力波成分を光学距離の大ききで積分増幅できる反面、回折広がりにより受信時に pW レベルの微弱光となってしまうことが予想されている。LISA ではこれを高い信号雑音比で読み出すために光ヘテロダイン方式を採用している。このような背景のなか、日本グループでは LISA への機器開発検討項目の 1 つとして、衛星相対運動からのドップラーシフトを受けた場合でも、要求される信号雑音比で微弱光に対してヘテロダイン測定が可能な低雑音 ($2 \text{ pA}/\sqrt{\text{Hz}}$), 広帯域 (5-25 MHz), かつ広受光面 (1 mm 口径以上) の光検出器 (フォトレシーバ) の開発検討を進めている。本講演では LISA 計画全体の最新状況を簡単に報告したうえで、上述のフォトレシーバの検討・開発状況について詳述する。

[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](#)

V218a 超伝導カロリメータを用いた低温下の星間分子計測実験 (2)

須田博貴, 早川亮大, 石崎欣尚, 大橋隆哉, 竜野秀行 (都立大理), 中野祐司, 山田真也, 一戸悠人 (立教大理), 岡田信二 (中部大), 橋本直 (原研), 奥村拓馬, K. Chartkunchand, 木村直樹, 久間晋, 東俊行 (理研), 野田博文 (阪大理), D.A. Bennett, W. B. Droiese, J.W. Fowler, J. Hays-Wehle, G.C. Hilton, J. N. Ullom, G.C. O'Neil, C.D.Reintsema, D.R. Schmidt, D. S. Swetz (NIST)

本研究では、高分解能 X 線検出器である超伝導移端マイクロカロリメータ (TES) を、中性分子の質量分析に応用し、宇宙空間での分子の生成・崩壊ダイナミクスを解明することを目標としている。具体的には理研の極低温静電型イオン蓄積リング RICE に TES システムを導入し、低温で振動回転準位を制御した蓄積イオンと中性ビームの合流衝突実験により、直線炭素鎖分子の生成・崩壊ダイナミクスを明らかにする。TES を使用することで、それらの生成物を高精度で質量分析できると見込まれる。TES 分子検出応用に向けた技術的な懸念は、通常は X 線入射窓ありで動作させるが、分子を通すために窓を取り去り、それにより生じる磁場、熱輻射、電磁ノイズを抑えることである。以前、我々はこの困難をシールド方法や窓材の工夫により解決する事に成功し、粒子信号の初検出にも成功した ('18 春 P116a)。RICE に TES を導入するにあたって、TES は RICE のビームポートから 50cm 以上離れた場所に設置する必要があり、輻射などの外部からの熱流入の影響を少なくすることが必須である。さらに、TES 部分の真空度は $\sim 10^{-6}$ Torr、RICE 部分は $\sim 10^{-10}$ Torr 以下となっているのでこの真空度の差にも対策が必要である。そのため我々は TES と RICE の間に長さ約 100cm 半径 1cm の筒状の輻射シールドを設置し、これを GM 冷凍機で冷却することで TES に入る輻射熱の減少を図った。差動排気を行うことで真空度の差による影響も少なくしている。本発表では前述のシステム構築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](#)

V219a LAPYUTA 計画 (Life-environmentology, Astronomy, and Planetary Ultraviolet Telescope Assembly) の検討

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), 鎌谷将人 (東北大学), 大内正己 (NAOJ/東京大学), 田中雅臣 (東北大学), 成田憲保 (東京大学), 亀田真吾 (立教大学), 生駒大洋 (東京大学), 益永圭 (コロラド大学), 堺正太郎 (東北大学), 埜千尋 (NICT), 古賀亮一 (名古屋大学), 桑原正輝 (ISAS), 鳥海森 (ISAS), LAPYUTA WG 検討チーム

LAPYUTA (Life-environmentology, Astronomy, and Planetary Ultraviolet Telescope Assembly) は、2029 年打ち上げを目指して準備を開始した日本の紫外線望遠鏡計画である。主鏡口径 60cm 級の望遠鏡と惑星分光観測衛星「ひさき」で培った紫外線分光観測技術を組み合わせ、ハッブル宇宙望遠鏡並みの高い感度・空間分解能を備えつつ、特定の観測対象を継続的に観測する監視性能を持つ。

木星・土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いている。現在の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。この惑星大気散逸の知見は系外惑星に拡張できる。系外惑星の紫外線トランジット分光観測から、惑星大気形成・進化の理解へと踏み込む。惑星・衛星に関するこれらの重要課題に取り組み、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大きく進展したが、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、宇宙論におけるミッシングサテライト問題や、マルチメッセンジャー・時間領域天文学に取り組む。

[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](#)

V220a 深宇宙における宇宙背景放射観測に向けた可視光近赤外線望遠鏡の開発

佐野圭 (金沢大学), 松浦周二, 橋本遼, 小倉颯太, 安竹彦馬, 猪裕太, 田中怜奈 (関西学院大学), 津村耕司 (東京都市大学)

可視光から近赤外線の宇宙背景放射は、初代星や原始ブラックホールからの放射を含むため、宇宙初期の天体形成を探るために重要な観測量である。地球軌道における従来の観測では、惑星間塵による太陽光散乱成分である黄道光が強く、その除去方法における不定性が大きいため、宇宙背景放射の測定精度が制限されてきた。この問題を克服するためには、黄道光が微弱になる日心距離 5 au 以遠の深宇宙空間からの観測が必要である。そのような観測の実現に向けて、我々は可視光近赤外線観測装置 EXo-Zodiacal Infrared Telescope (EXZIT) の開発を進めており、本研究ではその試作光学系の開発に取り組んだ。観測装置は宇宙空間で放射冷却により冷却されるため、熱ひずみを低減するために反射鏡のみから成り、宇宙背景放射の観測に特化した広い視野を有する光学系を設計した。その結果、有効口径 90 mm × 50 mm、視野 16 deg × 8 deg の仕様で、10 次の非球面鏡 3 枚によって取差を低減した光学系を設計することに成功した。焦点面での像サイズは、全視野角にわたって 90% 径で 60 μm × 60 μm 以下になる設計とした。アルミニウム合金 A6061 の切削加工により、非球面鏡を成型するとともに、背面はハニカム状に掘削し、剛性を維持しつつ全体で約 30% の軽量化を実現した。位置決めピンを用いて光学アライメントをとって光学系を組み立てた後、常温において様々な入射角で平行光を入射し、可視光検出器によりそれぞれの結像位置付近で撮像を行った。各像の点像分布関数は非対称であるため、エンサークルドエナジーによって像サイズを評価した。測定された像サイズを光学シミュレーションからの予測値と比較したところ、同程度の大きさであることが分かった。本研究によって、非球面金属鏡の精密加工と試作光学系の常温での光学性能が実証された。

[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](#)

V221b 金属蒸着アルミニウム鏡の異種金属接触腐食による反射率低下現象の検証

佐野圭, 米徳大輔 (金沢大学), 猪裕太, 大橋秋聡, 木田有咲, 瀧本幸司, 田中怜奈, 橋本遼, 松浦周二 (関西学院大学), 津村耕司 (東京都市大学), 秋田谷洋, 川端弘治 (広島大学), 内山瑞穂, 松岡萌, 和田武彦 (ISAS/JAXA)

アルミニウム合金は軽量で加工性に優れるため、望遠鏡の材料として用いられてきた。また、可視光赤外線において高い反射率を得るために、アルミニウムよりも高い反射率を示す金または銀のアルミニウム鏡への蒸着がなされてきた。特に可視光の $0.5\ \mu\text{m}$ よりも短波長側で高い反射率を得るためには、銀膜を用いるのが望ましい。一方で、金属蒸着を施した望遠鏡では、イオン化傾向の異なる金属間に電位差が生じることによって腐食が発生することが報告されてきた。また、金属蒸着に二酸化ケイ素等の保護膜を加えることで、腐食の発生が抑えられることが示唆されている。そこで我々は、腐食の影響を軽減して今後のアルミニウム望遠鏡開発を進めるために、各金属蒸着の腐食に対する耐性を調査した。まず、アルミニウム合金 A6061 製の $3\ \text{cm} \times 3\ \text{cm}$ 角のアルミニウム鏡基板を複数個製作した。それぞれに金、銀、アルミニウム膜の蒸着を行ったのち、それらを異なる湿度環境に保管し、定期的に反射率を測定した。フーリエ分光器を用いて近赤外線の $1.0\text{--}2.5\ \mu\text{m}$ における反射スペクトルを測定することにより、相対反射率の時間変化を定量的に評価した。我々はこれまで、約 2 ヶ月にわたって基板の表面状態と反射率を継続的にモニターしてきた。湿度約 90% の高湿度環境で保管した、銀膜に二酸化ケイ素保護膜を施した基板は、表面に腐食が発生し、反射率が約 4% 低下した。一方、湿度約 20% の低湿度環境で保管した基板では、明確な反射率の低下は見られなかった。この結果から、低湿度環境で保管することにより、腐食を抑制できることが期待される。本講演では、約 6 ヶ月にわたる各基板の反射率の時間変化を報告する。

[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](#)

V222b 宇宙赤外線背景放射観測ロケット実験 CIBER-2 : 感度校正光源の評価

橋本遼, 松浦周二, 瀧本幸司, 鈴木紘子, 古谷正希, 木田有咲, 河野有哉, 虎尾祐介 (関西学院大学), 津村耕司 (東京都市大学), 佐野圭 (金沢大学), 高橋葵 (ABC), 松本敏雄, 和田武彦 (ISAS/JAXA), Michael Zemcov (RIT), James Bock (Caltech), Daehye Lee (KASI), Shiang-Yu Wang (ASIAA), CIBER-2 チーム

これまでの衛星やロケット実験 Cosmic Infrared Background Experiment (CIBER) などによると宇宙背景放射には $1\text{--}5\ \mu\text{m}$ の波長域で既知の銀河積算光を超過する未知の放射成分を含むことが明らかとなり、その原因解明が重要課題である。CIBER-2 は CIBER から感度を 10 倍向上するとともに観測波長帯を近赤外だけでなく可視域に拡張した実験である。COVID-19 の影響により打上げが遅延したため、観測装置は 2021 年の打ち上げまで NASA の射場に保管されている。CIBER-2 では黄道光に埋もれている宇宙赤外線背景放射を詳細に議論するため、CIBER での精度の制限であった感度校正精度 (5%) を大きく改善させることを目標としている。そのため、打ち上げ直前におこなう感度校正試験にむけて、基準光源の性質を十分に評価しておくことが不可欠である。感度校正は基準光源を CIBER-2 に入射させることで成立する。可視域の基準光源には、ハロゲンランプが接続された大口径の積分球の開口部からの拡散光を用いる。したがって開口における拡散光照射度を絶対感度校正したスペクトロメータにより測定しておく必要がある。近赤外域には高温黒体炉を用いることで可視・近赤外全域における相対感度校正で補完する。高い校正精度を保証するため、スペクトロメータや積分球の受光および放射パターン、スペクトロメータの線形性、適切な調光を行う減光フィルタの透過率など、あらゆる測定コンポーネントに起因する系統誤差を洗い出した。講演では校正システムとそれによって得られた精度評価を示す。

[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](#)

V223a SPICA(次世代赤外線天文衛星): 検討中止の経緯とこれまでの成果

山村一誠 (ISAS/JAXA), 金田英宏 (名古屋大), 小川博之, 中川貴雄, 松原英雄, 山田 亨, 鈴木 仁研 (ISAS/JAXA), 尾中 敬 (明星大), 河野孝太郎 (東京大), 他 SPICA チームメンバー

SPICA は、宇宙が誕生以来、現在の多様な物質に富む姿に至る過程を、またその中で生命を育む惑星が形成される過程を明らかにすることを目的としたスペース赤外線ミッションである。口径 2.5 m の望遠鏡を温度 8 K 以下まで冷却し、波長 10–350 μm において超高感度な赤外線観測を可能にする。SPICA は、日欧協力を軸に推進され、日本が主導する中間赤外線観測装置 SMI (SPICA Mid-infrared Instrument) と、欧州が主導する二つの遠赤外線観測装置 (分光: SAFARI、偏光撮像: B-BOP) を搭載する計画だった。

SPICA は、欧州では ESA Cosmic Vision 中型クラス 5 号機の枠組みで、日本では JAXA 戦略的中型宇宙科学ミッションの枠組みの中で概念検討・設計が行われてきた。2020 年 4–6 月に ESA の Mission Consolidation Review が行われ、衛星システムとしての成立性が確認されたが、7 月になって ESA 側担当部分の大幅なコスト超過が判明した。その後、望遠鏡口径縮小などコスト削減を目的とした計画見直しと技術検討が進められたが、2021 年春に予定されている最終選抜までに成立解を得ることが困難であると判断され、2020 年 10 月にミッション検討を中止することとなった。

本講演では、中止に至った経緯を説明するとともに、これまでの検討を通じて科学面・技術面で SPICA がもたらした知見について概観する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V224a 将来計画に向けた無冷媒冷却方式による赤外線望遠鏡の熱検討

○鈴木仁研, 中川貴雄, 小川博之, 北本和也, 篠崎慶亮, 竹内伸介, 内田英樹, 後藤健, 西城大, 佐藤洋一, 澤田健一郎, 東谷千比呂, 松原英雄, 松本純, 水谷忠均, 山田亨, 山村一誠 (JAXA), 金田英宏 (名古屋大学)

高感度な赤外線観測を実現するためには、観測装置からの熱放射を極力抑える必要がある。特に宇宙空間からの赤外線観測の場合、こうした熱放射強度が自然背景放射強度 (黄道光, 銀河系の星間塵, 宇宙背景放射) よりも十分小さくなるように、望遠鏡を含む観測装置全体を極低温まで冷却することが必要不可欠である。

「あかり」などの従来の赤外線天文衛星では、大きな真空断熱容器に望遠鏡と観測装置を入れ、冷媒を用いてこれらを極低温まで冷却していた。しかし、この冷却方式は真空断熱容器のスペースを確保するために望遠鏡の口径を最大限まで大きくできないこと、観測期間が冷媒の枯渇で決まるために 1–2 年程度の短期間になってしまうというデメリットがある。こうした制限を大幅に緩和する方法が無冷媒冷却方式の導入である。

次世代赤外線天文衛星 SPICA は、無冷媒冷却方式によって口径 2.5 m の望遠鏡を含む観測装置全体を 8 K 以下の極低温まで冷却し、約 5 年間にわたって超高感度な赤外線観測 (波長 10–350 μm) を行う計画であった。この挑戦的な極低温を実現するために、SPICA では断熱放射冷却機構 (受動的冷却) と機械式冷凍機 (能動的冷却) とを組み合わせた冷却方式を採用した。

SPICA の熱・構造検討の結果、熱的成立解を得ており、技術的にも高い実現性を示した。つまり、SPICA の冷却方式が今後のスペース赤外線望遠鏡におけるモデルケースとして適用可能である。SPICA における熱検討を活かして、熱設計における極低温ステージへの熱負荷に対する望遠鏡口径や熱シールドのコンフィギュレーションなどのパラメータ依存性を調べ、将来計画に向けた赤外線望遠鏡への適用を議論する。

[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](#)

V225a 冷却宇宙望遠鏡を構成する低温要素技術開発

東谷千比呂, 中川貴雄, 松原英雄, 鈴木仁研, 磯部直樹, 篠崎慶亮, 西城大, 松本潤, 澤田健一郎, 安藤麻紀子, 内田英樹, 北本和也, 佐藤洋一, 水谷忠均, 巳谷真司, 後藤健, 竹内伸介, 小川博之 (JAXA), 金田英宏 (名古屋大)

冷却宇宙望遠鏡が大型化し、観測感度が向上するにしたがい、より大きなものをより静かに冷やす技術の開発が必要となる。機械式冷凍機を用いた望遠鏡や観測装置の冷却が主流になりつつある今、冷凍機の冷却能力と排熱に基づく熱バジェットへの制約、観測感度向上のための冷凍機からの機械振動の制約、また大きく軽い衛星を実現するための質量への制約、など厳しいバジェット管理が行われている。これらをクリアするためにいくつかの低温要素技術開発を行ってきた。本講演ではおおむね 4K 程度までの低温環境を想定した要素技術について報告する。

SPICA では、冷凍機の圧縮機を搭載する常温の台座が、衛星で最大の発熱源かつ振動源となっている。このため、圧縮機の台座は打ち上げ後に衛星から構造的に浮かせ、振動吸収機構を持つアイソレータを経由して支持する。また望遠鏡を支える主構造であるトラスも、常温バス部からの熱伝導を大幅に低減するために、打ち上げ後に熱的に切り離しつつ構造的には支持する。これらのアイソレータやトラス分離機構は、試作を行い振動低減や熱伝導低減の測定を行って最適化をすすめてきた。熱伝導パスについても、振動を吸収し効率よく適切な温度勾配で熱接続するために、低温域で高純度銅に代わる熱伝導特性を持ち軽量化が可能な高純度アルミニウムを用いたシールドやストラップの試作・試験を行い実用化に向けて開発を行ってきた。これらの要素技術は大型の冷却宇宙望遠鏡の実現に不可欠のものである。

[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](#)

V226a SPICA 搭載中間赤外線観測装置 SMI: Phase-A 技術開発・検討結果報告

和田武彦 (ISAS/JAXA), 金田英宏 (名古屋大学, ISAS/JAXA), 石原大助, 長勢晃一, 内山瑞穂, 伊藤哲司 (ISAS/JAXA), 國生拓摩, 平原靖大, 土川拓朗 (名古屋大学), 前嶋宏志, 大西崇介, 松本光生 (東京大学, ISAS/JAXA), Huang Ting-Chi, 榎木谷海 (総研大, ISAS/JAXA), 海老原大路 (東工大, ISAS/JAXA), 笠羽康正, 坂野井健 (東北大学), 大藪進喜 (徳島大学), 鈴木仁研, 中川貴雄, 松原英雄, 山岸光義 (ISAS/JAXA), Shiang-Yu Wang, 大山 陽一 (ASIAA), 他 SMI コンソーシアム

SMI (SPICA Mid-infrared Instrument) は、次世代赤外線天文衛星 SPICA に搭載される三つの焦点面観測装置の一つであり、波長 $\lambda = 10 - 36 \mu\text{m}$ の中間赤外線での観測を担当する。SMI は、低分散 LR ($R = \lambda/\Delta\lambda = 60-160, \lambda = 17-36 \mu\text{m}$)、中分散 MR ($R = 1400-2600, \lambda = 18-36 \mu\text{m}$)、高分散 HR ($R \sim 29000, \lambda = 10-18 \mu\text{m}$) の三つの分光器と広視野カメラ CAM (中心波長 $\lambda = 34 \mu\text{m}$ 、視野 $10' \times 12'$) で構成される。日本の主要大学、ISAS/JAXA、ASIAA(台湾) などからなる SMI コンソーシアムが、SMI の開発を担当し、2021 年春の ESA Cosmic Vision M5 の最終選抜に向けて、開発・検討を進めていた。SPICA は 2020 年 10 月に M5 候補から取り下げられたが、将来ミッションへの技術ヘリテージとするため、Phase-A における技術開発活動を続けている。

本講演では、Phase-A での SMI 技術要素検討・開発を総括した後、今後主流となる無冷媒冷却ミッションへの技術ヘリテージとして特に重要な、低雑音・低発熱な読出集積回路、低温バッファアンプ、および検出器モジュール (熱アニーリング) について報告する。その他の重要な技術ヘリテージとして、多画素検出器の新しい分光感度特性測定手法について土川等が、光学素子 (CZT イメージョン回折格子, KRS-5 prism) 開発の詳細について、前島等、榎木谷等がそれぞれ講演する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V227a 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), 今田晋亮 (名古屋大), 原弘久, 末松芳法, 都築俊宏, 勝川行雄, 久保雅仁, 石川遼子, 渡邊鉄哉 (国立 天文台), 川手朋子 (核融合研, 国立天文台), 鳥海森, 鄭祥子, 松崎恵一 (ISAS/JAXA), 横山央明 (東京大), 一本潔, 永田伸一, 浅井歩 (京都大), 草野完也 (名古屋大), 渡邊恭子 (防衛大), 飯田佑輔 (新潟大), 他国際 Solar-C(EUVST) チーム

Solar-C(EUVST) は、太陽から届く紫外線を分光観測することで、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、次期太陽観測衛星計画である。「ひので」等の観測は、太陽大気へのエネルギー入力(太陽表面での磁場活動)と最終的なエネルギー出力(解放)の振る舞いを明らかにしたが、Solar-C(EUVST) は、その中で働くブラックボックスな物理過程の解明を極端紫外線(EUV)分光観測により行う。搭載する分光望遠鏡 EUVST は、太陽大気の色層からコロナにわたる温度領域を隙間なく、かつ今まで成し得なかった高空間・高時間分解能でプラズマのダイナミクスを追跡できる能力を世界で初めて実現し、日本主体で米欧との国際協力のもとで開発する。当初から予定された2019年末の公募型小型計画4号機選定プロセスとして、候補の一つであるSolar-C(EUVST)に対して、2019年12月のコスト評価、2020年1-2月のダウンセレクション前審査が行われた。その審査結果を基に、宇宙科学研究所は2020年4月にSolar-C(EUVST)を公募型小型計画4号機に選定、2020年6月に政府宇宙基本計画工程表にSolar-C(EUVST)が明記された。現在、ミッション定義フェーズ(Pre Phase A2)における科学検討、技術検討、および国際協力構築を進めている。米国ではPhase A検討が進められ、NASAはPhase A概念検討書に基づき最終選定プロセスにある。また欧州各国から参加表明の書面が順次届けられている。本講演では、本衛星計画の最新状況を報告する。

[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](#)

V228b 中間赤外線アレイ検出器の高精度較正に向けた全素子のスペクトル感度評価

土川拓朗, 金田英宏 (名古屋大学), 石原大助 (ISAS/JAXA), 大藪進喜 (徳島大学), 國生拓摩 (名古屋大学), 鈴木仁研, 和田武彦 (ISAS/JAXA)

一般的な中間赤外線分光観測であるスリット分光では一方向を空間方向、もう一方向を波長分散方向として、分散させた光をアレイ検出器全面に投影する。従来、このような観測で得られた天体スペクトルを較正する際には、検出器ピクセル間のスペクトル感度の一様性が仮定されてきた。本研究では、中間赤外線アレイ検出器の全ピクセル一つ一つに対するスペクトル感度の測定手法を開発し、スペクトル感度の一様性を検証する。これは次世代赤外線天文衛星 SPICA/SMI で期待された天体スペクトルの高精度化を目指したものである。

測定に使用するのは、波長 5-27 μm に感度を持つ中間赤外線 Si:As 検出器 (256 \times 256 ピクセル) であり、赤外線天文衛星「あかり」搭載検出器と同タイプのものを用いた。スペクトル感度の取得には面分光を行うことができるフーリエ分光法を採用した。実験室環境は 300 K 背景熱放射により高背景環境となるが、低温光学系を工夫することで十分な S/N 比での測定を可能とした。さらに、独自のアレイ検出器読み出し方法を採用することで測定の効率化を行い、全 65536 ピクセルのスペクトル感度の取得に成功した。測定の結果、スペクトル感度の勾配とカットオフ波長の指標となる 2 波長間の感度比 $R(23 \mu\text{m})/R(20 \mu\text{m})$ と $R(27 \mu\text{m})/R(20 \mu\text{m})$ が、アレイの行方向と列方向に沿ってそれぞれ系統的に 0.5% と 0.8% の有意な変動を示すことがわかった。加えて、入射光の光量が多いほどカットオフ波長が短波長となる傾向が示された。これらはピクセルに印加されるバイアス電圧の違いや温度むらに起因すると考えられる。以上得られた知見は、将来衛星で搭載される同様の検出器に対して応用できるだけでなく、既存の Spitzer や「あかり」データに対しても適用でき、スペクトル較正の改善が見込まれる。

[スケジュール\(セッション毎\)に戻る](#)

[スケジュール\(全体\)に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V229b 中間赤外線で高感度・広帯域分光を実現するためのプリズム表面加工精度測定

榎木谷海、Ting-Chi Huang (総合研究大学院大学/宇宙科学研究所)、内山瑞穂、伊藤哲司、石原大助、和田武彦、松原英雄 (宇宙科学研究所)、SMI コンソーシアム

我々は高感度な中間赤外線低分散分光観測 (波長 17-36 μm 、 $\lambda/\Delta\lambda = 100$) の実現のため、次世代赤外線天体衛星 SPICA の観測装置 SMI に使用する予定の KRS-5 プリズムの表面形状精度が性能要求を満たしているかどうかについて検討した。KRS-5 は臭化タリウムとヨウ化タリウムの混晶であり、中間赤外線において透過率が高く、屈折率の波長分散が大きいので、プリズムの素材として有望である。しかし、比較的柔らかく脆い点から研磨が難しい。SMI の光学性能の実現には 90 nm (1σ) の表面形状精度が必要とされている。

KRS-5 プリズムの表面形状精度を、(1) デジタルマイクロスコップと (2) HeNe レーザー (632.8 nm) ZYGO 干渉計により測定した。測定 (1) では、プリズムの表面に nm サイズの細かい傷はあるものの、全体形状は平坦であることが確認できた。測定 (2) では、表面形状の標準偏差が要求性能の約 2 倍~4 倍であること、プリズムの裏表で形状に有意な差があることが分かった。そこで、この形状誤差を持つプリズムを実装した場合の、SMI/LR チャンネルの結像性能を、光学シミュレーションソフトを用いて評価し、プリズムの形状誤差要求及び、アライメント調整によりこれを補償する方法を考察する。

[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](#)

V230b 中間赤外線用 Immersion grating の開発: 極低温での低抵抗/高抵抗型 CdZnTe の吸収係数評価

前嶋宏志、松本光生 (ISAS/JAXA, 東京大学)、平原靖大、古賀亮一、花村悠祐 (名古屋大学)、中川貴雄、和田武彦、長勢晃一 (ISAS/JAXA)、大藪進喜 (徳島大学)、鈴木仁研 (ISAS/JAXA)、國生拓摩 (名古屋大学)、金田英宏 (名古屋大学、ISAS/JAXA)、石川大智 (名古屋大学)

我々は、中間赤外線高分散分光観測 (10-18 μm 、 $R = \lambda/\Delta\lambda = 29,000$) の実現のため、次世代赤外線天文衛星 SPICA の観測装置 SMI への搭載を目指した Immersion grating (IG) の開発を進めてきた。IG は回折面が高屈折率物質 (n) でできており、従来の回折格子の $1/n$ サイズに小型化可能な回折素子である。極低温用 10-18 μm IG 材料候補は低抵抗/高抵抗 CdZnTe である (Kaji et al. 2014, Sarugaku et al. 2017)。低抵抗/高抵抗 CdZnTe 結晶 ($10^2, 10^{10} \Omega\text{cm}$) の吸収係数を極低温で調べるため、(1) 収束光 FT-IR 測定と (2) ランプ光源コリメート光とバンドパスフィルタでの透過率測定を行なった。高屈折率の厚いサンプルのため、収束光実験 (1) では焦点ずれによる系統的な誤差が生じる。実験 (2) は限られた波長での測定だが、焦点ずれによる誤差がない。この 2 つの実験の組み合わせで、高確度で吸収係数を推定する。今回は前回発表 (前嶋ら 2020 年春季年会) と比べ、レーザー多重反射干渉のモデルを用いないため、より極低温で吸収係数が評価できる点 (前回: 数十 K. 今回: 8.6 ± 0.1 K)、フィルタの切り替えで 4 波長 (6.45, 10.6, 11.6, 15.1 μm) でコリメート光測定ができる点で、測定手法が向上した。

吸収係数評価の結果、低抵抗 CdZnTe は低温ほど吸収率が大きく、IG 材料として不適であることが判明した。これは、低温ほど不純物準位に束縛されたホールの密度が増大し、不純物準位-価電子帯遷移吸収が増えるためだと考えられる。また、高抵抗 CdZnTe は温度によらず低吸収であることを確認した。

[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](#)

V231b Solar-C (EUVST) 主鏡アセンブリ設計進捗

末松芳法, 原弘久, 勝川行雄, 納富良文, 篠田一也 (国立天文台), 清水敏文 (JAXA/ISAS), 川手朋子 (核融合研), 今田晋亮 (名大), 一本潔, 永田伸一 (京大)

Solar-C (EUVST) は、太陽用極端紫外線高感度分光望遠鏡 (EUVST) を搭載する JAXA 公募型小型衛星計画で、2018 年の公募機会に提案し、2020 年に 2020 年代半ば打上げ予定の小型 4 号機の唯一の候補として選定されている。EUVST は、これまでになく高空間分解能、高時間分解能を達成するため、2つの結像光学系 (有効径 28cm 主鏡及び UV(47-125nm)・EUV(17-21nm) 用 2 分割楕円回折格子) で構成される。彩層からフレアコロナまで広い温度域のスペクトル線観測をスリット分光器で太陽面 2 次元分光データを得るため、主鏡を連続的に傾けることでスリット上の太陽像 280 秒角のスキャンを実現する。このため主鏡アセンブリは、軽量の像安定 Tip-Tilt 及びスリットスキャン機構を持ち、軌道上での温度変化等に対応する焦点調節機構を持つ。また主鏡は、可視光遮断フィルターなしで太陽光を受け、可視・赤外光の反射率が低い UV・EUV 反射多層膜コーティングによる吸熱 (約 60W) が大きいので、主鏡下部設置のコールドプレートとラジエターをヒートパイプで結合する積極的な排熱機能を有する。高い空間分解能要求から、主鏡鏡面の熱変形を抑制する主鏡構造及び支持機構、熱設計が必須である。主鏡アセンブリ傾斜・焦点調節機構設計、熱設計の進捗を報告する。

[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](#)

V232b Solar-C (EUVST): EUVST 構造設計の進捗報告

原 弘久, 末松芳法, 勝川行雄, 納富良文, 篠田一也 (国立天文台), 清水敏文, 備後博生, 峯杉賢治, 後藤 健, 太刀川純孝, 小川博之, 木本雄吾 (JAXA), 川手朋子 (核融合研), 今田晋亮 (名大), 一本 潔, 永田伸一 (京大)

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う JAXA 小型衛星計画である。高感度要求の実現のために、そ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、これらの光学系には EUV 域で高反射率をもつコーティングを施すこととしている。このような反射枚数の少ない光学系で高い空間分解能を実現することから、観測装置は 4m 長程度と小型衛星の搭載観測装置としてはひじょうに長い構造となる。観測装置は多数の国際協力で開発され、その主構造部を日本が担当することとなっている。低軌道で運用される小型衛星へ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、観測装置は軽量の構造で構成することが必須となる。

日本が開発する観測装置 EUVST の主構造は、CFRP 表皮・アルミハニカムコアの CFRP パネルや CFRP のパイプ構造材で構成され、日本が開発する主鏡アセンブリ、海外協力機関が開発する多数の光学コンポーネント、および太陽センサといった一部の衛星システムコンポーネントは、この主構造に設置される。本講演では、小型の衛星バスに結合され、光学系を構成するコンポーネントを高解像性能を保証して支持し、構造材のアウトガス放出に対して厳しい汚染管理要求を課される長身構造の設計について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](#)

V233b Solar-C(EUVST) 光学設計の最新状況および公差解析結果報告

川手朋子(核融合研/国立天文台), 都築俊宏, 末松芳法(国立天文台), 清水敏文(宇宙研), 今田晋亮(名古屋大), 原弘久, 勝川行雄(国立天文台), 一本潔(京都大), 服部友哉, 桧崎翔太(三菱電機), Harry P. Warren, Clarence M. Korendyke, Charles Brown(米国海軍調査研究所), Luca Teriaca(マックスプランク研究所), Frederic Auchère(フランス国立科学研究センター)

Solar-C(EUVST)は極端紫外・真空紫外線において、 $0.4''$ の高空間分解能による広い波長帯域を観測する次期太陽観測衛星である。EUVSTでは短波長(SW)バンドで $170\text{--}215\text{ \AA}$ 、長波長(LW)バンドで $465\text{--}1220\text{ \AA}$ という波長範囲を、4台の検出器により分光計測する。その全ての計測波長範囲に対し、 $0.4''$ の高空間分解能を $100''\times 100''$ の視野で達成するため、我々は光学系を改定し、 $0.4''$ 分解能へのマージンを確保した。さらに改定した光学系に対し公差解析を行い、設置誤差や調整誤差・製作誤差に起因する空間分解能・波長分解能の劣化を推定した。

公差解析では各光学素子の並進・回転による誤差を仮定して理想光学系から変化させた際、空間方向・波長方向にどれほど像が劣化するかについて、Zemaxを用いた光線追跡により像面における点像分布関数の半値幅を評価した。また楕円面不等間隔回折格子の面形状および溝間隔の関数のパラメータを変化させ、同様に空間・波長分解能劣化を調査した。要求する分解能を広い視野・波長範囲で同時に満たすため、4台ある各検出器ごとに9波長点・9視野点に対し解析を行い、その最悪値を誤差バジェットの参照値として採用した。公差解析の結果から、光学系および組立誤差による空間分解能の誤差バジェットは $0.4''$ に対しLW, SWでそれぞれ15%, 5.8%であった。

本講演では光学設計の最新状況および感度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](#)

V234b Solar-C (EUVST) 海外機関担当コンポーネントの検討状況

永田伸一(京都大学), 川手朋子(核融合研), 清水敏文(ISAS/JAXA), 今田晋亮(名大), Vincenzo Andretta(Osservatorio Astronomico di Capodimonte), Giampiero Naletto(University of Padova), Luca Poletto(CNR-Istituto di Fotonica e Nanotecnologie), Frederic Auchere(CNRS/Universite Paris-Sud), Sarah Matthews, David Long, William Thomas, Hamish Reid(UCL-Mullard Space Science Laboratory), Clarence M. Korendyke, Harry Warren(Naval Research Laboratory), Clarence M. Korendyke, Harry Warren(NRL), Bart De Pontieu, Paul Boerner(LMSAL), ほか Solar-C(EUVST) プリプロ準備チーム

Solar-C (EUVST)は、これまでにない高空間分解能(0.4 秒角)、高スループットで極端紫外線・真空紫外線の分光計測を行い、太陽の彩層上部から高温コロナまでの幅広い温度帯域をくまなく観測することを目的とした装置である。結像光学系は、EUV域で高反射率をもつコーティングを施した軸外し放物面主鏡と分光器部の凹面回折格子からなり、分光観測用検出器と Slit Jaw Imager を搭載する。また、主鏡アセンブリは焦点調節機構と、像安定化・スリットスキャン機構を持つ。像安定化・スリットスキャン機構は、EUVSTに同架するガイド望遠鏡が提供する信号により制御される。この装置の実現のため、検討・開発は日米欧の国際協力により進められている。本講演では、海外機関担当機器のうちで、分光器を構成する、(1)スリットアセンブリ、(2)回折格子、(3)極端紫外線・真空紫外線用カメラ、および(4) Slit Jaw Imager、さらに(5)ガイド望遠鏡について検討進捗状況を報告する。このうち、ガイド望遠鏡に関しては、像安定化・スリットスキャン機構と結合しての、制御系としての検討を中心に報告する。

[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](#)

V235b 超高精度太陽センサ「UFSS」：Solar-C (EUVST) に向けた試作品によるバイアス誤差補正法の検討

鄭祥子 (ISAS/JAXA), 長谷川隆祥, 清水敏文 (東京大学, ISAS/JAXA), 津野克彦 (理化学研究所), 久保雅仁 (国立天文台), 伊藤琢博, 岡田則夫, 中坪俊一, 西野徹雄 (ISAS/JAXA)

超高精度太陽センサ「UFSS」(Ultra Fine Sun Sensor) は、太陽の方向(角度)を高精度で検知する2次元検出器であり、直交する2つの1次元センサで構成される。1次元センサの基本原理は次の2段階で説明できる。(i)16本の整列したスリットで構成されるレティクルを通して太陽光を取り込み、レティクルが生み出す太陽光の明暗模様を1次元CCDで検出する。(ii)検出された信号が、基準信号と一定の位相差になるように基準信号の位相を調整することで太陽角度を導出する。UFSSを衛星に搭載し、検出した太陽角度を衛星の姿勢制御系に入力することで指向安定を図ることができる。UFSSは観測衛星「あかり」や「ひので」に搭載された実績があり、今後も様々な宇宙機に活用できる。2020年代中頃の打上げを目指す太陽観測衛星「Solar-C (EUVST)」では、高解像度の分光観測を実現するため、高精度指向制御にUFSSを用いる。我々はこれまでUFSSの試作品を用いてその性能を評価してきた(長谷川他 2020年春年会 V242b等)。本講演では、検出角度を軌道上で補正することで実質的なバイアス誤差を低減する方法の検討状況について報告する。我々は今回、実験で得たバイアス誤差を3次Bスプライン関数でフィッティングすることで検出角度の補正関数を決める方法を検討した。バイアス誤差は補正後の最大変動幅が2秒角以下となることが要求される中、現在の試作品では3秒角以下となることを確認した。補正後のバイアス誤差の最大変動幅をもたらす要因には目処がついており、今後この要因を取り除くことでさらなる精度向上を図る。また、フライト品を評価するための試験系の確立に向けた取り組み状況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](#)

V236b SUNRISE-3 大気球太陽観測実験：高精度近赤外線偏光分光装置 SCIP による高速偏光変調・偏光復調の同期精度の検証

久保雅仁、勝川行雄、篠田一也 (国立天文台)、大場崇義、清水敏文 (ISAS/JAXA)、日本-スペイン SCIP チーム

大気球実験 SUNRISE-3 に搭載され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と高速の偏光変調を実現することで、太陽彩層の高精度な磁場観測を目指している。波長板を一定の速度で連続的に回転させる偏光変調ユニット (2020年春年会 V240a) から撮像同期信号が SCIP-E(エレクトロニクス) に送られる。SCIP-E は、撮像同期信号を使って CMOS カメラを同期制御する。512 ms で波長板が一回転する間に、カメラは 32 ms 毎に合計 16 回の露光を行う。SCIP-E の FPGA に実装された偏光復調処理で、カメラで取得された 2048x2048 画像を、係数をかけて積算することでストークスパラメータを取得する。上記の同期制御が崩れると、偏光変調と復調で位相差が生じ、疑似偏光が生じる。偏光変調ユニットの前後に偏光板を設置し、偏光変調ユニットで変調された直線偏光の強度を同期制御されたフライトカメラで測定することで同期性能を検証した。CMOS カメラはローリングシャッター方式で露光しているため、画素(ライン)ごとに露光開始のタイミングが異なる。その間に波長板が回転するため、ライン毎に偏光変調の位相が異なる。測定された偏光変調の位相差から、ローリングシャッターの動作タイミングが仕様通りであることを確認した。ローリングシャッターや波長板の回転誤差で生じる偏光変調の位相差を補正することで、要求される偏光測定精度を達成できることを実証した。また、機上偏光復調を実施しない生のデータから導出したストークスパラメータと比較することで、機上偏光復調が想定通りに実施されていることを確認した。

[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](#)

V237b 国際大気球太陽観測実験 SUNRISE-3：近赤外線偏光分光装置 SCIP の光学アライメント・光学性能評価

川畑佑典, 勝川行雄, 都築俊宏, 浦口史寛, 三ツ井健司, 篠田一也, 田村友範, 納富良文, 原弘久, 久保雅仁 (国立天文台)

SUNRISE-3 は口径 1m の大型光学望遠鏡を用いた国際大気球太陽観測実験で、2022 年に飛翔予定である。日本は SUNRISE-3 に搭載する焦点面装置として、Sunrise Chromospheric Infrared spectroPolarimeter (SCIP) を開発中である。SCIP は高空間分解能 (0.21 秒角) で多波長偏光分光観測を行い、太陽光球から彩層に至るシームレスな 3 次元磁場・速度場情報を取得することで、恒星のプラズマ加熱・加速機構の理解を目指している。本講演では科学要求を満たす光学性能を達成するために行った、光学アライメントの手法・結果について報告を行う。

SCIP はエッセル回折格子と二つの非球面鏡を主として構成される準リトロ型偏光分光装置で、850nm と 770nm の二つの波長帯を同時に観測する。また偏光ビームスプリッターを用いて、P 偏光と S 偏光の同時測定を行う。口径 1m 望遠鏡の回折限界を達成するためには SCIP 単体の波面誤差として 48nm RMS が要求されている。

三次元測定器 (LEGEX-910) による機械精度での光学素子の調整を行った後に、光学測定によるアライメントを行った。回折格子と非球面鏡の調整では波長可変レーザーを光源とした。回折格子では、5 点の波長点を測定し、波長方向のスリット像の傾きを評価してチルト調整を行った。非球面鏡 (カメラ鏡) の調整では、ターゲットとして、SCIP のスリットと直交するようにスリットを設置し、スポットの測定を行った。カメラをデフォーカスさせて、空間方向はコントラストを、波長方向はスポットの幅を計測することで、非点収差を評価した。また白色光光源とロンキールリングターゲットを用いた、SCIP の変調伝達関数の評価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](#)

V238a JASMINE 計画の全体概要と進捗

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 (国立天文台), 片坐宏一, 白井文彦 (宇宙研/JAXA), 山田良透 (京大理), 河田大介 (UCL), 西 亮一 (新潟大), 河原 創 (東大), ほか JASMINE チーム, exo-JASMINE チーム一同

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」(以降、JASMINE と記載する) 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。JASMINE の科学目標は、1. 赤外線による超高精度位置天文観測による天の川銀河の中心核バルジに位置する星の距離と運動の測定をもとにした銀河中心考古学の遂行、2. 銀河構造の進化過程の解明を通しての人類誕生にも関わる天の川銀河全体の形成史の探求、3. 高精度な測光能力を活かした時間軸天文観測による生命居住可能領域にある地球に似た惑星の探査、である。これらの科学目標を達成するために、星の年周視差、固有運動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。さらに、JASMINE の測光能力を活かし、トランジット手法により低温星周りの生命居住可能領域にある地球型惑星を探査する。JASMINE の実現を目指して、科学検討、および観測装置とデータ解析ソフトウェアの開発を進めている。科学検討やデータ解析に関する JASMINE コンソーシアムの活動の状況、そして赤外線検出器開発 (国産検出器搭載に関する検討開始) や国産検出器を搭載することになった場合の衛星システムの要求仕様変更、および期待される観測個数の変更の検討など、最近の進捗状況の全体的な概要を報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V239a 国産 InGaAs 近赤外イメージセンサーの宇宙用化と、JASMINE 計画への適用検討

鹿野良平, 郷田直輝, 上田暁俊, 小宮山 裕, 満田和久, 中屋秀彦 (国立天文台), 片坐宏一, 白井文彦 (JAXA/ISAS), 山田良透 (京都大学)

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、科学観測衛星への搭載へ適用範囲を拡大することを想定しており、そのまず第一候補として、赤外線位置天文観測衛星 JASMINE に対する検討を行っている。JASMINE は、地球周回の太陽同期極軌道を取り、3 年間観測を継続する計画の天文観測衛星であるが、そこで曝される放射線への耐性評価を始めている。センサーへのトータル・ドーズは、アルミ換算で少なくとも 2mm 厚の遮蔽が周囲にあると想定すると 12 krad となる。これに 2 倍の安全係数をとって、24 krad 以上の放射線を受けてもセンサーの機能と性能が著しく劣化しないことを耐性の指標とする。一方、シングル・イベント効果 (Single Event Latch-up (SEL) や Single Event Upset (SEU)) に対しては、これらを起こしうる部分が合計 1cm^2 だと想定して、2 倍の安全係数をとった 6 年間に 1 回しかイベントが起きない条件 (1str 当たり) から、 $\text{LET}_{th} \geq 30\text{MeV}/(\text{mg}/\text{cm}^2)$ を指標とする。

トータル・ドーズ効果の評価として、まず、東工大コバルト 60 照射施設を利用した ^{60}Co ガンマ線照射試験を 2020 年 9 月に 26 krad まで行い、良好な結果を得ている (中屋ほか, 2021 年宇宙科学シンポジウム)。但し、 ^{60}Co ガンマ線 (1.17 MeV, 1.33 MeV) は透過性が強く、センサー表面の InGaAs フォトダイオード部への影響は過小評価されている可能性があるため、追加して、2021 年度に量研・高崎量子応用研究所にて 8MeV 陽子線の照射試験を計画している。講演では、現在の評価結果とともに、今後の評価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](#)

V240a JASMINE 望遠鏡の基本パラメータ再設定

片坐宏一, 白井文彦 (JAXA/ISAS), 山田良透 (京都大学), 郷田直輝, 鹿野良平, 矢野太平, 上田暁俊, 三好真, 辰巳大輔, 鹿島伸悟, 小宮山 裕 (国立天文台), ほか JASMINE チーム

赤外線位置天文観測衛星の JASMINE ではこれまで想定していた検出器 (Teledyne H4RG) に加えて、予てより国立天文台で開発が行われて来た国産の検出器の搭載を視野に入れた開発を進めている。

H4RG が画素数が $4\text{k} \times 4\text{k}$ で画素間隔が $10\mu\text{m}$ であったのに対し、新しく候補にした検出器では画素数が 1280×1280 で画素間隔が $15\mu\text{m}$ である。画素数の大幅な減少に対して、この検出器を 3×3 の 9 個並べて焦点面に置くことを検討している。検出器の違いに応じて、観測要求を満たすための望遠鏡の主要パラメータである開口径と焦点距離を変更しなければならない。

そこで、本講演では新しく候補とした検出器に対応した、望遠鏡の開口径と焦点距離の設定について報告する。

位置天文測定を行う上で、基本的な要求は、星の位置決定精度である。検出器に張り付いた座標系 (検出器座標系) における星の位置決定精度を決めるのは Point Spread Function (PSF) の広がり、その中に含まれる光子数と検出器ノイズである。そして、検出器座標系と天球座標系の関係を決める中では画像の貼り合せ誤差、座標系の歪みの推定誤差が効く。H4RG に対するこれまでの検討から、座標系の関係に対する誤差の中で大きいのは、単純な貼り合せ誤差であった。そこでこの貼り合せ誤差と望遠鏡のパラメータ、観測可能時間、検出器パラメータ、さらに望遠鏡製造上避けられない波面収差と衛星の指向精度についても仮定した上で、望遠鏡の基本パラメータを新しい検出器に対応するように求め、開口径を 40cm、焦点距離を 7.3m とすることとした。本講演では仮定したパラメータ、位置決定精度の推定方法について述べる。

[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](#)

V241a JASMINE 望遠鏡新規光学系設計検討

○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 (JAXA/ISAS), ほか JASMINE チーム

JASMINE 望遠鏡では、これまで想定していた検出器 (Teledyne H4RG) に加えて、予てより国立天文台で開発が行われて来た国産の検出器の搭載を視野に入れた開発を進めている。この検出器は、ピクセルサイズもピクセル数も H4RG とは異なる為、この検出器に最適な光学系を新規設計 (設計変更) することとなった。

光学仕様上の変更点は開口径と焦点距離、及び画角 (像面サイズ) であるが、口径が ϕ 30cm から 40cm、焦点距離が 3.9m から 7.3m となったため、そのままスケール倍するとかなり大きくなってしまい、先端フードも係数倍すると到底フェアリングに納まらない。そのため、先端フードの長さを最適化し、その際に許される望遠鏡本体の大きさを見積もり、その中に収まるように設計した。また、全長が長い平面ミラーで何度か光路を折り曲げる必要があるが、スペース的に高さ方向は厳しいため、横方向に折り曲げる構成に変更した。その際、瞳から離れているため、ローカル変形の PSF に及ぼす影響が大きな平面ミラー (M6) をなくし、瞳に近い 2 枚の平面ミラーで折り曲げる構成とした。

本発表では、迷光解析による先端フード長の最適化、光学系の設計変更とその結果、全体のレイアウトとフェアリングサイズの比較等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](#)

V242a 小型 JASMINE の解析ソフトウェアの構築

山田 良透 (京都大学), Wolfgang Löffler (ARI Heidelberg), 郷田 直輝 (国立天文台), 矢野太平 (国立天文台), 辰巳大輔 (国立天文台), 片坐宏一 (宇宙科学研究所), 吉岡諭 (海洋大)

小型 JASMINE は現在公募型小型 3 号機の Pre Phase A2 にいるが、2019 年春に PrePhase A2 終了審査を通過し、2021 年内くらいには Δ MDR とプロジェクト準備審査を受け、Phase A へ上がることを目指している。位置天文データを作成するには、データ解析は重要な要素の一つである。これまで、ISO/IEC/IEEE 15288:2015 や ISO/IEC 12207 に従った開発手法を取り入れ、ソフトウェアメーカーに開発を委託してきた。基本的な要素プログラムの構築とパイプラインの実装を終了している。

衛星計画は長期にわたるため、保守性が高いコードを作るためにはメーカーに委託が効果的である。一方、本格的に観測ノイズを扱うには、研究者の知見や試行錯誤が必要になってくる。このため、2020 年 9 月より、研究者有志の開発チームを立ち上げた。解析ソフトウェア開発と並行して、シミュレーション画像の詳細化もすすめている。

位置天文解析では、誤差要因のモデル化を行って誤差を除去することが重要である。そこで、現在、より現実的な誤差を取り入れたシミュレーションと精度評価を行うための、プログラムの改良を進めている。ここ数カ月間で、WFIRST など他のミッションのために評価された検出器のノイズに関する評価の論文が出ており、これらを精査し、シミュレーションに取り入れることは、精度評価にとって重要である。本公演では、その進捗状況について報告する。

本講演では、開発状況と結果を報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V243a 国産検出器を搭載した場合の仕様変更と観測データへの影響

矢野太平, 郷田直輝, 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 (宇宙研), 他 JASMINE チーム

赤外線での位置天文観測衛星 JASMINE は、これまで 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視野に入れた開発を進めている。こうした検出器の変更を行った場合、積分時間、観測波長など様々なパラメータが変更され、取得される観測データも影響を受ける。

これまでの HgCdTe 検出器を用いる場合には、観測波長は $1.1 \mu\text{m}$ から $1.7 \mu\text{m}$ までをカバーする帯域を考えていたが、新しい検出器が採用となった場合、観測する波長はこれまでの帯域よりも若干短くなり、 $1.1 \mu\text{m}$ から $1.6 \mu\text{m}$ となる。このような観測波長域が変更されることに伴い、ディスク領域やバルジ領域で観測される天体個数がいろいろと変更を受ける。また、JASMINE はミラ型変光星の観測を行う事も予定しているが、周期や明るさと個数の関係も影響を受ける。

新たな観測波長における等級と観測天体見込み数をディスク星、バルジ星に分類し、どの程度の天体が観測できるのかを VVV や 2MASS といったこれまでの既存のカタログから定量的に見積もった。また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を定量化した。他、仕様変更にもなう観測精度、観測頻度の変更など種々の観測データへの影響の詳細を報告する。

[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](#)

V244a Exo JASMINE: JASMINE による系外惑星探査

○河原 創 (東京大学)、増田賢人 (大阪大学)、小谷隆行 (ABC/NAOJ)、小玉貴則 (東京大学)、平野照幸 (東工大)、福井暁彦 (東京大学)、葛原昌行 (ABC/NAOJ)、大宮正士 (ABC/NAOJ)、ほか Exo JASMINE チーム

Exo JASMINE 検討チームでは、JASMINE の主要なサイエンス目標の一つである宇宙からの近赤外域精密測光観測による系外惑星探査を検討している。M 型星のハビタブルゾーン付近のトランジット探査をはじめ、Spitzer の代替となるような宇宙からの測光フォローアップ、若い恒星まわりのトランジット探査、マイクロレンズ・系外惑星アストロメトリ等のサイエンスを、測光性能シミュレーションや観測戦略の策定を含め、JASMINE を用いた系外惑星探査を総合的に検討している。

本講演では、特に近赤外精密測光による M 型星のハビタブルゾーン付近の地球型惑星トランジット惑星探査の検討を中心に紹介したい。Exo JASMINE では、軌道上の約半分の時間をしめる非バルジ観測時を利用して、内側に惑星が発見済みであり、ハビタブルゾーン付近の惑星がトランジットする可能性が高い M 型星の個別惑星探査を行うこと想定している。一口に M 型星といっても恒星質量・半径のレンジは FGK 星全体に匹敵するほど広く、トラピスト系に代表される地上探査で有利な晩期 M 型、TOI-700 に代表される TESS のような宇宙からの精密測光で有利な早期 M 型の間に、未開拓領域が広がっている。TESS より大きい口径・地上望遠鏡より精密な測光を実現することでこの領域を探索し、将来の生命探査につながる系外惑星の発見を目指したい。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V301a 多重化コード化マスクの導入による MIXIM の有効面積拡大 (2)

石倉彩美, 林田清, 朝倉一統, 佐久間翔太郎, 米山友景, 澤上拳明, 鴨川航, 岡崎貴樹, 野田博文, 花岡真帆, 服部兼吾, 松下友亮, 峯田大靖, 善本真梨那, 大出優一, 袴田知宏, 松本浩典 (阪大)

我々は、格子とピクセル検出器からなる、新たな原理の X 線撮像システム多重化 X 線干渉計 (MIXIM; Multi Image X-ray Interferometer Module) を発案し、その実用化に向けて開発を進めている。放射光施設 SPring-8 BL20B2 における X 線照射実験の結果は、これまでの年会で報告してきた。2019 年の実験で、実現した X 線天文撮像系として世界最高の 0.1 秒角を切る分解能の二次元撮像もそのひとつである (2020 年春季年会)。ただし、この際に用いた格子は、開口率 0.2 の一次格子を 2 枚直交させたものであり、有効面積が幾何学面積の 4% 以下になってしまうという問題があった。そこで、我々が発案したのが、単純なスリットあるいはピンホールの代わりにコード化マスクパターンを周期的に並べた多重化コード化マスクである。計 4 種類 (12.5 μm 周期の 5×5 パターンが 3 種類、27.5 μm 周期の 11×11 パターンが 1 種類) の多重化コード化マスクを LIGA プロセスにより製作し、これらを用いた実験を SPring-8 BL20B2 において 2020 年 2 月と 7 月に実施した。2020 年秋季年会では、多重化コード化マスクでも、確かに Talbot 干渉が起こることをはじめて実証した結果を報告した。また、像再合成の一例と、有効面積が直交格子の場合に比べて 15-26 倍になることも報告した。本講演では、像再合成方法の最適化の試み、入射 X 線エネルギーに対する像コントラストの依存性 (撮像に利用できるバンド幅に対応)、2 点源を分離して再合成できるかの検証、に関して報告する。2020 年 7 月の実験で実施した、多重化コード化マスクと検出器の距離を最大 10.2 m まで伸ばした実験の結果も報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V302a 可視光用微小ピクセル CMOS 検出器の荷電粒子に対する応答評価

朝倉一統, 林田清, 佐久間翔太郎, 澤上拳明, 米山友景, 野田博文, 松本浩典 (大阪大), 小高裕和, 丹波翼 (東京大), 高橋弘充 (広島大), 中嶋大 (関東学院大), 羽鳥聡, 久米恭, 水嶋慧 (若狭湾エ研セ)

近年、可視光科学観測用 CMOS の急速な発展に伴い、この CMOS の X 線分光撮像への応用に注目が集まっている。実際の X 線観測にむけた CMOS の開発も着実に進んでおり、2018 年には太陽 X 線観測ロケット実験で用いられたほか (Ishikawa et al. 2018, NIM A)、将来の X 線観測衛星の焦点面検出器にも採用されている (Wang et al. 2018, SPIE proc.)。我々も昨年、高位置分解能を有する X 線分光撮像検出器の開発を目的に、グローバルシャッターとしては世界最小のピクセルサイズ (2.5 μm) である科学観測用 CMOS、GMAX0505 に着目し、この素子が常温で X 線分光撮像 (FWHM = 176 eV @ 5.9 keV)、及び光電子追跡による X 線偏光検出が可能であることを実証した (Asakura et al. 2019, JATIS)。

将来的にこの素子を衛星に搭載する際、考慮しなければならないのが、軌道周回中に入射してくる様々な荷電粒子の影響である。X 線観測中に混入してくる荷電粒子はバックグラウンドの原因となるが、X 線の場合と比べて空乏層内で発生する信号の飛跡が長いことから、その飛跡を空間分解できれば荷電粒子によるバックグラウンドの除去が可能となる。そこで、我々は研究室内で ^{207}Bi を用いた電子線照射試験を行い、GMAX0505 の電子線に対する応答を調査した。また、軌道上での長期にわたる運用は、荷電粒子による半導体の格子欠陥等に由来する検出器の性能劣化を引き起こす。我々は GMAX0505 の放射線耐性を調査するため、2020 年 10 月に若狭湾エネルギー研究センターにおいて低軌道での運用数年分に相当する陽子線の照射を行い、素子の性能劣化を評価した。本講演ではこれらの実験、及び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](#)

V303a CMOS イメージセンサを用いた硬 X 線撮像偏光計の開発 IV

畠内康輔, 渡邊泰平, 丹波翼, 春日知明, 高嶋聡, 鈴木寛大, 南木宙斗, 谷本敦, 小高裕和, 馬場彩 (東大), 成影典之 (国立天文台), 佐久間翔太郎, 朝倉一統, 林田清 (阪大), 高橋忠幸 (東大 Kavli IPMU)

X 線帯域の偏光観測は、天体の磁場や散乱体の構造に対して強力な観測手段である。特にブラックホール周辺の時空構造や中性子星表面付近の強磁場環境、粒子加速のメカニズム解明に必要な情報を提供し、多くのサイエンスが期待される。我々は非熱的放射が卓越し、光子フラックスが十分な 10–30 keV 帯域における偏光撮像を目指した超小型撮像偏光計を開発している (小高 19 秋、畠内 20 春・秋)。偏光測定には光電吸収に伴う光電子が到来光子の偏光方向に放出されやすい性質を利用し、撮像系には符号化開口マスクを使用する。

本講演では 2020 年 11 月に SPring-8 で行った 16 keV 単色光に対する偏光撮像実験の結果を速報する。本実験では偏光と撮像の同時測定を行い、検出器の撮像偏光計としての性能を評価した。ステージを一定角度範囲で走査させ、センサに対するビームの相対位置を変化させながらデータ取得を行い、広がった天体からの X 線を模擬したデータセットを作成した。また偏光角の異なる複数の偏光データセットを組み合わせることで解析し、任意の偏光角を持つビームに対する偏光撮像の評価を行った。偏光撮像実験における取得データの解析結果に加え、従来までは解析に使用されていなかった 3 ピクセル以上に広がるイベントを用いた検出器モジュールの測定手法も紹介する。

[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](#)

V304a HiZ-GUNDAM に向けた CMOS イメージセンサの高速読み出しシステムの開発

荻野直樹, 有元誠, 澤野達哉, 米徳大輔, 後藤初音, ワンヒョンスン, 平賀純子, 坂本貴紀, 盛顯捷, 谷津陽一

ガンマ線バースト (Gamma-ray Burst: GRB) は 10^{53} erg ものエネルギーをガンマ線として放射する宇宙最大の爆発現象であり、初期宇宙を探る有力なプローブとして利用されている。HiZ-GUNDAM は、低エネルギー X 線帯 (0.4–4 keV) での GRB 観測を用いた初期宇宙・極限時空探査計画である。特に継続時間の短い GRB の検出および位置同定を主目的としており、0.1 s 程度の時間分解能と 5 arcmin 程度の角度分解能および 10^{-10} erg/cm²/s (100 s 積分) の検出感度が要求される。そこで我々は、これらを同時に満足する検出器として Lobster-eye-optics と呼ばれる特殊な X 線光学系と焦点面検出器に CMOS イメージセンサー (CMOS) を組み合わせた次世代広視野 X 線検出器の開発を進めている。これまでの研究により、CMOS は低エネルギー X 線に対する高い検出能力と、HiZ-GUNDAM の運用期間に耐えうる高い放射線耐性を有していることが明らかになっている。

本研究では、0.1 秒以下の高い時間分解能で観測を行うために必要不可欠な Field Programmable Gate Array (FPGA) を用いた読み出しシステムの開発を行った。読み出しシステムのサイズは、2U cube sat にも搭載可能な 90×110 mm² である。また、読み出しシステムは以下のような機能が実装されている。(1) ~1M ピクセルの読み出しを行い、(2) 現在と直前のイメージの差を取り、(3) その差分イメージから X 線イベント抽出を行い、(4) イベントデータをバケットにまとめ、(5) 外部の PC (CPU) に転送を行う。本発表では、より詳細なシステム構成と、機能検証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 高温塑性変形技術を用いた Si 湾曲ブラッグ反射型偏光計の開発

内野友樹, 伊師大貴, 江副祐一郎, 石川久美, 福島碧都, 鈴木光, 湯浅辰哉, 作田紗恵, 稲垣綾太, 上田陽功, 廣本悠透 (都立大), 沼澤正樹 (理研), 満田和久 (国立天文台), 森下浩平 (九州大), 中嶋一雄 (東北大)

我々は、湾曲 Si 結晶を用いたブラッグ反射型偏光計を開発している。X 線偏光観測の最も簡単な手法がブラッグ反射であり、これは最初の宇宙 X 線偏光観測でも用いられた (M.C.Weisskopf et al. ApJ 1978)。Si(100) 結晶における鉄輝線 (6.4 keV 付近) のブラッグ角は 45.5° となり、反射面に垂直な偏光成分の反射率がほぼ 0 となるため、検出器の偏光性能の指標であるモジュレーションファクター (M 値) が大きくなる。しかし、ブラッグ反射型偏光計は、ブラッグ条件を満たすエネルギーでなければ偏光を検出することができず、さらに集光できないという欠点があった。

そこで我々は超軽量 X 線望遠鏡 (Ezoe et al. 2010 MST, Ogawa et al. 2017 MST など) で使用している、Si 高温塑性変形技術 (Nakajima et al. 2004 Nat. Mater.) という手法を用いて、結晶面を湾曲させることで、エネルギー帯域の拡大と集光が可能になると考えている。変形後の形状が保たれるため、構造上安定であり、また厚い Si 結晶にも使えるので衛星の打ち上げ環境にも耐えうる。我々はまず、Si(100) 結晶の平板 (直径 100 mm 厚み 300 μm) に、Ge(220) 二結晶分光器で直線偏光させた Fe K α 6.4 keV の X 線を照射した。Si (100) 結晶の理論的な M 値はモザイクまたは完全結晶の場合 0.963 - 0.999 となるため、光源の偏光度が 64.2 - 66.6% と求まる。次に、曲率半径 1000 mm に球面変形した Si(100) 結晶に対して、同様の X 線を照射した。その結果、平板で求めた光源の偏光度を考慮すると、湾曲 Si(100) 結晶の M 値が 0.730-0.757 と求まり、世界で初めて Si 高温塑性変形による湾曲結晶で偏光度測定に成功した。本講演では、我々の手法と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](#)

V306a 湾曲 Si 結晶を用いたブラッグ反射型偏光計の偏光性能評価 (2)

芳野史弥, 坪井陽子, 岩切渉, 井上諒大 (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は、これまでにかに星雲からのみしか成功していない。その理由は X 線偏光検出器の開発の困難さにある。X 線偏光が観測できるようになれば、ブラックホール近傍の幾何構造の解明ができるなど、期待できるサイエンスは多い。我々は、鉄の蛍光 X 線 (6.4 keV) に着目し、5.5 - 8.1 keV 帯域の 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、Si(100) 結晶と炭素繊維強化プラスチック (CFRP) から成る反射鏡を考案し、開発を行っている。我々の反射鏡は、X 線の偏光面と結晶の反射面のなす角に応じて反射率が減衰する特徴を持つブラッグ反射の原理を利用している。9 枚の Si 結晶鏡を結晶面の角度を変化させながら回転放物面形状に配置することで、X 線が反射した鏡ごとの強度の差から偏光度が測定できる。さらに、ブラッグ反射を満たす角度とエネルギーは 1 対 1 で対応するため、結晶を湾曲させ反射角に幅を持たせることで連続エネルギー帯域で偏光測定を可能とした。我々の反射鏡における偏光性能の指標であるモジュレーションファクター (M 値) は反射角、つまりエネルギーに依存している。現在の設計では、鉄の蛍光 X 線 (6.4 keV) を 45° で反射し、この時 M 値は最大値 100% をとる。また反射鏡作成時の鏡の位置により銅の蛍光 X 線 (8.05 keV) も約 35° で反射することができ、M 値は 55% となる。

6.4 keV における M 値は 89.9% 以上と測定したため (2020 年春季年会 V320a)、今回は 8.05 keV における M 値を評価するために中央大学 X 線ビームラインを用いて実験を行った。このビームラインは X 線の偏光面を 180° 回転させることができ、検出器を回転させずに偏光測定可能という利点がある。二結晶分光器により理論上 99.9% 偏光させた銅の蛍光 X 線を反射鏡に照射し、反射カウントの最大値と最小値から M 値を算出した。

[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](#)

V307a 像再構成型 X 線光学系に用いる前置スリットの開発

鈴木 瞳, 中庭 望, 武尾 舞, 宮本 明日香, 石崎 欣尚, 江副 祐一郎 (都立大), 石田 学, 前田 良知, 三田 信 (宇宙研), 宮地 晃平 (国立天文台), 森井 幹雄 (DATUM STUDIO 株式会社)

X 線天文学において望遠鏡の角度分解能を向上させる一つ的手段として、我々は像再構成型 X 線光学系 (Maeda et al. 2018) の開発を行っている。これは、角度分解能向上の役割を担う前置型マスク 2 枚と、信号ノイズ比向上を担う集光鏡、二次元検出器からなり、取得したイメージから像の再構成をすることで高角度分解能を得る。前置マスクのパターンが微細なほど、マスク間距離の大きいほど角度分解能が良くなる。今回は新たに製作した 2 枚の前置型マスクと二次元検出器を用いて、3 種類の X 線光源の像再構成を試みた。X 線光源の像はピンホール ($\phi = 0.1 \text{ mm}$) を用いて事前に取得し、半分の光量が入る像の直径はそれぞれ 7.6, 3.6, 1.1 秒角であった。前置型マスクとしては 1 次元による再構成を目標に $40 \mu\text{m}$ から $1280 \mu\text{m}$ までの 2 倍刻みのスリット幅で 50% の透過率をもつ 6 種類のスリットを製作した。製作はフォトリソグラフィと電鍍の組み合わせで行い、素材は加工可能である中で X 線遮蔽能力が高い 18 金とした。X 線光源の撮像はスリット間距離 4.66 m として宇宙科学研究所 X 線ビームラインで行った。像の再構成には、天球の任意の方向に光源がある場合のスリットを通した像 (応答関数) が必要である。その製作には Geant4 によるモンテカルロシミュレーションを用いた。最後に X 線エネルギー 8 keV で得られた実験データと応答関数を用いて、Morii et al. (2018) のアルゴリズムによって像の再構成を行った。その結果、6 種類の各スリットで 3 種類の光源の大きさの違いを確認することができた。一番大きい光源は 9 秒角離れた 2 つのピークを持っているが、それも解像できた。また、6 種類のスリットのデータを同時並行処理することでより精度の高い像が得られることがわかった。本講演ではこれら一連の結果について報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V308a ALD 技術を取り入れた全反射鏡の開発および X 線反射率測定による性能評価

武尾 舞, 中庭 望, 江副祐一郎, 石川久美, 伊師大貴 (都立大), 石田 学, 前田良知 (宇宙研), 沼澤正樹 (理研)

我々は、角分解能を飛躍的に高める可能性を秘めた、シリコン高温塑性変形による X 線望遠鏡の開発に取り組んでいる。これまでの多重薄板望遠鏡がもつ軽量大面積という特徴を生かしつつ、反射鏡基板をシリコンとすることで形状精度を大幅に高め、10 秒角に迫る角分解能を達成する計画である。一方で、大きな斜入射角でも高い反射率を得るためには一般的に薄膜や多層膜などが利用されるが、CVD (Chemical Vapor Deposition: 真空化学蒸着) 技術の場合、曲面に一樣に成膜することは困難である。しかし、原子層 1 層ずつを成膜する ALD (Atomic Layer Deposition) 技術では、膜厚や構造を緻密にコントロールできるため、塑性変形後の鏡面にも一樣な成膜が可能である。そこで我々は、この ALD 技術を取り入れ、X 線反射率の向上を目指した。塑性変形済みの基板にプラズマ ALD 方式で Al_2O_3 を $\sim 100 \text{ \AA}$ 、Pt を $\sim 200 \text{ \AA}$ 成膜し、宇宙科学研究所先端宇宙科学実験棟 1 階の X 線ビームラインにて成膜後の基板の X 線反射率測定を行なった。ここで、X 線の全反射を得るには、成膜後の基板の表面粗さを 1 nm rms 以下に保つ必要がある。本研究で取り入れたプラズマ ALD 方式では、従来のサーマル ALD 方式と比べて滑らかな膜が期待できるため、Pt 膜の表面粗さの増加は数 \AA 程度に抑えられるとされている (Ishi et.al 2020) が、塑性変形後の基板については未だ検証例がない。反射率測定により、変形前後の基板、変形後に成膜された基板の表面粗さおよび Al_2O_3 、Pt それぞれの膜厚の評価を初めて行なった。本発表では、詳細な測定結果と今後の課題について報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V309a 直入射型補償光学 EUV 望遠鏡によるサブ秒角撮像

北本俊二、福一誠、八木駿介、松本典(立教大)

我々は、高角度分解能の EUV(軟 X 線)望遠鏡の開発を行っている。EUV は、可視光に比べて波長が短いので、小さな望遠鏡でも回折限界分解能を小さくできる。我々は 13.5nm の EUV を 100mm 直径の主鏡を用いて実験しているので回折限界は 33 ミリ秒角である。望遠鏡は Mo/Si の多層膜を使用し主鏡、副鏡共に直入射で、球面と平面による光学系である。さらに、副鏡を可変形鏡とし、補償光学の手法で収差を小さくすることで、回折限界に近づけようとしている。主鏡は 4 m の曲率半径を持つ。実験室実験としておよそ 4m 離れたところから、直径 50 μ m または 25 μ m のピンホールを通した光源を照射し、直径 10cm の主鏡で反射、直径 55mm の副鏡でさらに反射させ、ピクセルサイズ 12 μ m の裏面照射 CCD で撮像している。一方、上記ピンホールの近くから直径 2 μ m の別のピンホールを通した可視光レーザー光を発生させ、同じ主鏡、副鏡で反射させて、波面センサーで波面測定を行う。測定した波面形状をもとに、副鏡の形状を変化させて、収差を取り除いた後、像のサイズから望遠鏡の分解能を測定している。EUV はレーザープラズマ光源を用いて発生させており、Zr フィルターにより可視光の遮断を行う。さらに多層膜の反射を使い、13.5nm の EUV を選択している。実験時は望遠鏡内を真空にしている。

EUV の十分な強度を得ることができる直径 50 μ m のピンホールの CCD で撮像された像から、直径 50 μ m のピンホール像の寄与を差し引き、レイリーの基準に相当する分解能に換算したところおよそ 0.3 0.5 秒角の分解能を得た。さらに、取得している像は、CCD の画素による量子化による影響を吟味する必要がある。直径 25 μ m のピンホールによる実験結果と、CCD のピクセルの量子化の影響の評価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](#)

V310a ロブスターアイ光学系による X 線突発天体検出アルゴリズムの研究

澤野 達哉(金沢大), 米徳 大輔(金沢大), 有元 誠(金沢大), 李 晋(青学大), 三原 建弘(理研), 荻野 直樹(金沢大), 坂本 貴紀(青学大), 芹野 素子(青学大)

高感度、広視野かつ撮像能力をもつ X 線検出器は、重力波源の X 線突発対応天体の同定や、ガンマ線バーストを用いた初期宇宙探査など、時間領域天文学の開拓にとって重要である。従来の符号化マスクによる X 線撮像検出器と異なり、ロブスターアイ光学系(LEO)による X 線撮像検出器は、集光能力があるために天体視野外からの X 線背景放射(CXB)の影響を受けず高感度を達成することができる。この利点を活かして LEO は、将来の Einstein Probe、HiZ-GUNDAM、THESEUS などの衛星計画に搭載予定である。一方で、LEO の点源に対する焦点面上の像である Point Spread Function (PSF) は、LEO の細孔の壁面での反射回数によって複雑な形状をもつ。主成分は、反射回数が 1 または 2 回で作られる十字状の成分である。少数統計となる限界感度近くの暗い天体に対しては、LEO の結像領域(Region of Interest, ROI)をどのように仮定するかで、信号である天体からの X 線光子検出数と雑音事象である CXB の検出数の両方が変化しながら、天体の検出効率が変化する。

本研究では、異なる ROI の取り方による 3 つ天体検出アルゴリズムを検討する。十字形を構成する 2 つの一字形の ROI 両方で検出光子数の超過を要求する coincidence 法、十字形の 1 つの ROI を用いる cross-shape 法、2 回反射による焦点中心の ROI を用いる focus-center 法の 3 つである。これらの手法に対して、同じ偽天体検出頻度と天体検出効率を要求し、信号と雑音がそれぞれポアソン分布に従うとして到達感度を定式化した。本講演では、定式化について紹介し、HiZ-GUNDAM 計画のノミナルな条件に応用した場合の検出方法ごとの到達感度を比較し、最適な検出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](#)

V311a 30 m X線ビームラインを用いたロブスターアイ光学系の地上試験及びシミュレーション

李 晋, 坂本 貴紀, 芹野 素子 (青学大), 澤野 達哉, 米徳 大輔 (金沢大), 三原 建弘 (理研), 三石 郁之 (名古屋大)

ロブスターアイ光学系 (LEO) とは、X 線を反射できる細かな直方体の筒が球面に沿って並べられた光学系である。LEO は軟 X 線を集光することができ、筒を並べた分だけ広い視野を獲得することができる。この光学系を用いれば、現状の広視野 X 線観測装置よりも 1 桁以上高い感度で軟 X 線領域で広視野観測を行うことができ、小さく軽いため、軟 X 線での高視野サーベイを目的とした様々な衛星ミッションでの利用が検討されている。

我々は、大きさ $4 \times 4 \text{ cm}^2$ 、焦点距離が 30 cm の Photonis 社製の LEO (PLEO) と、大きさ $4.3 \times 4.3 \text{ cm}^2$ 、焦点距離が 37.5 cm の NNVT 社製の LEO (NLEO) を入手し、宇宙科学研究所の 30 m X 線ビームラインを用いて、集光実験を行った。実験は、C、Al、Ti、Cu の 4 つのターゲットを用い、平行度が約 1 分角の $8 \times 8 \text{ mm}^2$ のビームを LEO 全体に当たるように 25 回照射し、CMOS を用いて焦点面でのイメージを取得した。その結果、その集光した像が Angel (1979) で示されているような、中心、十字、そして散乱成分となっている事を確認した。1.5 keV での中心成分の大きさは、PLEO が 11 分角、NLEO が 4 分角となった。1.5 keV での中心成分の有効面積は、PLEO が 1.4 cm^2 、NLEO が 2.6 cm^2 となった。また、光子のエネルギーが高くなるほど結像性能がよくなることがわかった。次に、実験によって得られた集光イメージの結像性能や有効面積をなるべく再現できるシミュレータを GEANT4 を用いて作成した。作成したシミュレータを用いて、PLEO と NLEO の有効面積のエネルギー依存性と、位置決定精度を評価した。

[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](#)

V312a Kanazawa-SAT³ 搭載広視野 X 線撮像検出器フライトモデルの性能評価 (2)

橘建志, 米徳大輔, 有元誠, 澤野達哉, 佐野圭, キムソンヨン, 鈴木大晴 (金沢大学), 三原建弘 (理研), 池田博一 (ISAS/JAXA)

短時間ガンマ線バースト (SGRB) の発生源の一つである中性子星を含む連星の衝突・合体はそれと同時に重力波を発生させる。しかし重力波干渉計のみでは重力波源の位置を高い精度で即座に同定することは難しい。そこで私たちの研究グループは SGRB の X 線観測に着目し、母天体の位置・時刻同定および地上への即時アラートをすることで重力波源の早期多波長観測を促進するための超小型衛星 (Kanazawa-SAT³) を開発している。重力波源の電磁波対応天体を観測することで、ブラックホールの形成メカニズムや放出されるジェット機構の解明などを目指している。この超小型衛星には、広い視野で X 線突発天体をモニターし、SGRB から放出される電磁波を X 線帯域で観測することで、その発生位置と時刻を即座に同定・アラートする広視野 X 線撮像検出器 T-LEX を搭載する。T-LEX の要求性能は、エネルギー帯域 4-20 keV、視野 1 ステラジアン以上、方向決定精度 15 分角である。私たちはこれらの要求を達成するように設計したランダムな開閉パターンを持つコーデッドマスクとストリップ型シリコン半導体検出器による撮像を採用している。

本研究では、実際に宇宙に打ち上げるフライトモデルに対して、X 線の入射角を変えながら方向決定精度を検証した。また、複数の X 線源を用いて、エネルギー較正を行った。本講演では金沢大学超小型衛星の概要をはじめ、撮像性能試験と分光較正試験の結果、およびその評価・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](#)

V313a 速報実証衛星 ARICA のプロジェクト進捗状況 (2020 年度後半)

畑泰代, 坂本貴紀, 芹野素子, 段毛毛, 合摩裕貴, 渡辺智也, 高橋暉, 上田裕貴, 永峯優斗 (青山学院大学), 榎戸輝揚, 和田有希 (理化学研究所), 谷津陽一 (東京工業大学)

突発天体の速報システムとして民間衛星通信を利用できるかを実証するため、我々は 10 cm 角の超小型人工衛星 (1U CubeSat) に通信端末を搭載したプロジェクトを進めている。この ARICA (AGU Remote Innovative CubeSat Alert system) プロジェクトは、JAXA 革新的衛星技術実証 2 号機として選定され、2021 年度に打上げ予定である。

本プロジェクトでは、開発期間を短縮するため、衛星のバス部 (衛星構体部、電源部、太陽電池パネル) はフライト実績のあるものを AAC-Clyde Space 社から購入しており、ミッション部のみの開発を行っている。電源部と各基板や各部品の接続を 10cm 角という限られたスペースに収める必要があるため、通信端末や検出器を搭載する基板の開発が重要となってくる。現在は FM 基板を製作中であるが、前回の発表からここに至るまで、主に 3 つの設計変更があった。1 つ目として、通信端末のアンテナを搭載する側面パネルと太陽電池パネルの配置を決定した。それに伴い、基板をアンテナなどの接続を考慮した仕様に変更した。2 つ目として、内部の FPGA を守るために鉛を追加した。3 つ目として、地球に電波を発信しないための赤外線センサーを新たに加えた。その際、基板に電圧のレベル変換を設置し、I2C 通信で複数端末の制御ができる回路に変更した。また、3 つの変更点を反映した基板で動作確認の試験も行った。本発表ではこれらの衛星設計変更の概要と基板の開発を中心に ARICA プロジェクト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](#)

V314a 超小型衛星による、宇宙空間からの太陽中性子の観測 (III)

山岡和貴, 田島宏康, 宮田喜久子, 稲守孝哉, 野橋大輝, 宇佐見雅己, 中澤知洋, 増田智, 伊藤和也, 松下幸司 (名古屋大), 高橋弘充 (広島大), 渡邊恭子 (防衛大)

太陽フレアに伴って粒子加速がおきていることは分かっているものの、特にイオンについていつ・どこで・どのように加速が起きているかは自明ではない。その加速機構解明のため、我々はこれまであまり注目されてこなかった中性子に着目している。中性子は磁場の影響を受けず、太陽表面での情報が直接得られるメリットがあるが、一方で地球大気の影響を受けるため、あまり精度の良い観測が行われてこなかった。そこで我々は 2018 年度から大学レベルで開発ができる 3U キューブサットを打ち上げて、太陽中性子を観測するプロジェクト (名古屋大学発太陽中性子ガンマ線分光ミッション NU-SONGS) をスタートさせた。2016 年にも ChubuSat-2 衛星に太陽中性子・ガンマ線検出器を搭載した実績から、さらに低消費電力化・軽量化・コンパクト化し、キューブサットに搭載する見込みを得ている。検出器は棒状のプラスチックシンチレータを多層に並べて、半導体光センサ MPPC で読み出す。また下部にはガンマ線をコンプトンカメラで検出するための GAGG シンチレータアレイが置かれる。この構成により中性子は弾性散乱で、ガンマ線はコンプトン散乱+光電吸収を通して検出できる。粒子の飛跡を 3 次的にトラックするため、数 100 チャンネルにも及ぶ信号処理が必要となり、集積回路 (ASIC) を用いる構成である。本講演では NU-SONGS プロジェクトの現状、サイエンス、センサ開発状況について述べる。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V315a 明るいX線源の柔軟な観測を狙う超小型X線衛星 NinjaSat

沼澤正樹, 榎戸輝揚, 玉川徹, 北口貴雄, 加藤陽, 三原建弘 (理研), 内山慶祐, 武田朋志, 吉田勇登, 大田尚享, 林昇輝 (理科大/理研), 佐藤宏樹 (芝浦工大/理研), 岩切渉 (中央大), 内山秀樹 (静岡大), Chin-Ping Hu (National Changhua University of Education/理研), 高橋弘充 (広島大), 小高裕和, 丹波翼 (東大)

キューブサット衛星 NinjaSat は、2022 年に国際宇宙ステーションからの放出を目指している 6U サイズ ($10 \times 20 \times 30 \text{ cm}^3$) の超小型な X 線衛星である。2-50 keV に感度をもつ 2 台のガス検出器と放射線帯モニターを搭載し、高い運用上の自由度を武器に、全天 X 線監視装置 MAXI が発見する突発天体のフォローアップ観測や、可視光や電波と連携した明るい X 線源の長期観測、アマチュア X 線天文台としてのアウトリーチ活用も検討している。たとえば、全天で最も明るい X 線源のひとつで、大型衛星で専有観測が難しい「さそり座 X-1」をモニタリング観測し、定常重力波源と期待される高速自転する中性子星の自転周期の情報を含む準周期変動の測定を狙う。また、可視光の高速測光と連携し、降着円盤の変動に由来する秒スケールの多波長同時観測の機会も提供する。現在、搭載機器のエンジニアリングモデルの開発がほぼ完了し、2021 年 6 月以降の衛星組み上げに向けてフライトモデルの製作を進めている。これまで、若狭湾エネルギー研究センターにおいて、軌道運用 1 年以上に相当する陽子ビームを照射し、電子回路基板のシングルイベント効果など放射線耐性を評価した。今後、名古屋大学において、軌道上および打ち上げ環境を模擬した熱真空試験や振動試験を実施し、KEK-PF での地上較正や放射線医学総合研究所 HIMAC などを利用した放射線耐性の追試験を進める予定である。

本講演では衛星全体の設計概要と運用計画、開発状況を報告する。科学目標と MAXI など他衛星データに基づく見積もりを交えた観測戦略を紹介するとともに、搭載機器コンポーネントの環境試験の結果について述べる。

[スケジュール\(セッション毎\)に戻る](#)

[スケジュール\(全体\)に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V316a 超小型X線衛星 NinjaSat に搭載のガスX線検出器の開発 (2)

武田 朋志 (理科大/理研), 玉川 徹, 榎戸 輝揚, 北口 貴雄, 加藤 陽, 沼澤 正樹, 三原 建弘 (理研), 岩切 渉 (中央大), 内山 秀樹 (静岡大), 内山 慶祐, 吉田 勇登, 大田 尚享, 林 昇輝 (理科大/理研), 佐藤 宏樹 (芝浦工大/理研), Chin-Ping Hu (National Changhua University of Education/理研), 高橋 弘充 (広島大), 小高 裕和, 丹波 翼 (東大)

我々は明るい X 線天体の長期モニタや、全天 X 線監視装置 MAXI などが発見した明るい突発天体の追観測を主な目的とする、超小型 X 線衛星 NinjaSat の開発を行っており、2022 年に国際宇宙ステーションから放出予定である。衛星全体は 6U サイズ ($10 \times 20 \times 30 \text{ cm}^3$) で、そのうちの 2U は 1U サイズの非撮像型ガス X 線検出器 2 台が占める。装置はガス電子増幅器を内蔵した Al 製チェンバー、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る。加えて、Si-PIN 放射線帯モニターも 2 台搭載する。

サイズおよび質量に対する CubeSat 特有の厳しい制限から、X 線センサー部である Al 製ガスチェンバーは、直径 9.5 cm、高さ 3.4 cm の円筒形で、重さ約 500 g と非常にコンパクトかつ軽量の設計である。充填ガスには 2-50 keV に感度を持たせるため、1.2 atm の Xe/CO₂ (95%/5%) 混合ガスを採用した。2020 年秋季大会では、チェンバー試作品に対して行った熱サイクル試験の結果と、エンジニアリングモデル (EM) の製作状況について報告した。その後、EM チェンバーの製作は完了し、センサーとの組み上げ、真空引き、およびガス封入を行った。本講演では EM チェンバーの製作、電場強度の最適化や、検出器較正試験の結果について述べる。また、EM チェンバーの製作過程で洗い出した、ガスリークなどの問題点を踏まえた上で、フライトモデル (FM) の製作もスタートしており、その現状についても述べる。

[スケジュール\(セッション毎\)に戻る](#)

[スケジュール\(全体\)に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V317a 超小型 X 線衛星 NinjaSat 搭載の高電圧印加/アナログ信号処理基板の開発(2)

吉田勇登(理科大/理研), 玉川徹, 榎戸輝揚, 北口貴雄, 加藤陽, 沼澤正樹, 三原建弘(理研), 岩切渉(中央大), 内山秀樹(静岡大), 内山慶祐, 武田朋志, 大田尚享, 林昇輝(理科大/理研), 佐藤宏樹(芝浦工大/理研), Chin-Ping Hu(National Changhua University of Education/理研), 高橋弘充(広島大), 小高裕和, 丹波翼(東京大)

超小型 X 線観測衛星 NinjaSat は 30 cm×20 cm×10 cm の 6U 規格の衛星で、かに星雲やさそり座 X-1 等の X 線で明るい天体の観測や、全天 X 線監視装置 MAXI の発見した突発天体の連続観測を目的としている。衛星にはガスと X 線の光電効果を利用したガス検出器を 2 台搭載する。ガス X 線検出器は、光電子により生成した電子雲を、強電場を利用した電子雪崩現象で増幅し、信号の検出を行う。NinjaSat では検出器への高電圧印加とアナログ信号処理を、9 cm×9 cm のフロントエンドカード (FEC) が行う。前秋季年会では試作試験用モデル (BBM) の性能評価を報告した (2020 年秋季年会 V312a)。今回はエンジニアリングモデル (EM) とフライトモデル (FM) の開発状況について紹介する。高電圧印加には最大出力 2 kV の DC-DC コンバータを採用している。アナログ信号処理には、X 線と荷電粒子の信号を飛跡長に起因する信号の立ち上がり時間の違い (50 ns と 500 ns) を捉えるため、十分速い応答速度を持つ電荷アンプを用いる。高電圧印加回路とアナログ信号処理回路が同一基板上にあることから、DC-DC コンバータのスイッチングに起因する放射ノイズの影響を電荷アンプに与えないため、導体シールドを用いて遮蔽し、その強度を 200 分の 1 に落とした。EM を宇宙環境を模擬した 1.0×10^{-5} torr 以下の常温真空中で 60 分間、最大出力の 2 kV で放電が起こることなく動作することを確認した。加えて、検出器との統合試験として組み上げや X 線取得を行い、EM の試験結果をもとにした 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](#)

V318b 超小型 X 線衛星 NinjaSat に搭載する小型で軽量の X 線コリメーターの開発

岩切渉, 戸枝純哉, 芳野史弥, 井上諒太, 長谷川航平, 坪井陽子(中央大), 玉川徹, 榎戸輝揚, 北口貴雄, 加藤陽, 沼澤正樹, 三原建弘(理研), 内山慶祐, 武田朋志, 吉田勇登, 大田尚享, 林昇輝(理科大/理研), 佐藤宏樹(芝浦工大/理研), 内山秀樹(静岡大), Chin-Ping Hu(National Changhua University of Education/理研), 高橋弘充(広島大), 小高裕和, 丹波翼(東大)

NinjaSat 衛星は、2022 年度前半に打ち上げ予定の 6U CubeSat 衛星 (10 × 20 × 30 cm) であり、さそり座 X-1 を始めとする、X 線で明るいコンパクト天体の長期モニター観測や、突発現象への柔軟なフォローアップ観測を目的としている。センサー部は、金属の X 線コリメーター (XC) と、ガス電子増幅器 (GEM) を用いた Xe のガスカウンターで構成される。XC は、1 : 視野を絞り 2-20 keV での宇宙 X 線背景放射を 10 mCrab 以下に抑える、2 : 高さは 1.5 cm 以下、3 : 重さは 200 g 以下、という条件を満たし、できるだけ開口率を大きくすることが要求される。今回我々は、GEM の製作技術を応用して、50 μm 厚の穴径 600 μm 、棧が 100 μm のハニカム構造 (開口率 73.5%) をしたステンレス (SUS304) のメッシュを 300 枚製作し、これを積層して拡散接合によって一体化させることで、高さ 1.5 cm、直径 7.0 cm の円筒型 XC の製作を行った。また、ステンレス由来の Fe や Cr の輝線バックグラウンドを抑えるために、厚さ 3 μm の金メッキを施し、重量は 163 g となった。中央大学の X 線ビームライン (ターゲット Cu) と X 線 CCD カメラで取得した X 線イメージによる性能評価の結果、製作した XC の視野 (FWHM) はハニカム構造の長径方向に 2.1 度、短径方向に 2.0 度で、開口率は 69.0% であった。開口率の理想値とのずれから、拡散接合時に生じた開口部の交差は $\sim 20 \mu\text{m}$ 程度であると考えられる。さらにエネルギースペクトル解析から、金メッキによって輝線バックグラウンドの寄与を期待通り軽減できていることを確認した。

[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](#)

V319b 炭素繊維強化プラスチック (CFRP) への X 線反射面形成法の開発 V

粟木久光, 相田望, 亀谷紀香, 今村竜太, 久保実生 (愛媛大学), 松本浩典 (大阪大学), 石田 学, 前田良知 (ISAS/JAXA)

CFRP(炭素繊維強化プラスチック) は、炭素繊維と樹脂から構成される複合材料であり、その物理特性は望遠鏡の大型化軽量化に適したものである。CFRP は成型性の良さも特徴であり、我々は宇宙観測用望遠鏡の候補として Wolter 1 型形状をもつ CFRP 反射鏡の開発を進めてきた。具体的には、精密加工した金型を準備し、その上にプリプレグシートを積層し、CFRP を成形するというものである。出来上がった CFRP の母線形状誤差は $\sigma \sim 1\mu\text{m}$ に達し、金型の精度の高さと金型を写し取ることでこの精度まで成形可能なことを示すことができている。

2020 年春季年会では、この上に平滑な ($\sigma \sim 0.4 \text{ nm}$) 超薄板ガラスを貼り付ける方法を報告した。前回の試作から CFRP 成形時に使用した精密金型を用いたハウジングへの CFRP 基板の格納を行なっており、今回はハウジングとして精密加工したものを使用した。また、現有の形状測定システムを改良することでサブミクロンの精度での形状評価が可能となった。今回試作したタングステンで成膜した CFRP 反射鏡の母線形状誤差は、基板と同程度 ($\sigma \sim 1\mu\text{m}$) であり、レプリカ法よりも容易に鏡面形成可能であることを確認した。しかし、表面にはサブミクロンの凹凸が存在し、その傾きから予想される結像性能は 150 秒角程度 (HPD) となる。この HPD は SPring-8 での X 線評価の結果と一致していた。現在、凹凸の原因として、金型の形状精度、ガラス貼り付け時に発生する凹凸、反射面形成時に発生する内部応力による凹凸を考えており、前者の 2 候補についての対策を検討している。本講演では開発の現状と対策について報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V320b 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

三石郁之, 柏倉一斗, 丹羽由実, 小川ともよ, 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。これら飛翔体搭載用薄膜光学素子の実体は、アルミが成膜されている百ナノからミクロン厚程度の高分子フィルム、支持材としての金属メッシュ、および機械強度部材としての金属フレームである。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フィルム材質では両者の両立は難しく、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 ($>95\% @ 10\text{--}1000 \text{ eV}$) を実現す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工程の確立や緻密なアルミ成膜、音響試験や原子状酸素照射試験などを実施し、宇宙環境耐性評価試験を進めてきた (三石他, 日本天文学会 2020 年春・秋季年会)。

現在は高性能化を図るため、より高い開口効率を実現するための基板デザイン的设计・試作までを終え、より大きなフリースタANDING面積を目指した新たな製作工程や複数層の検討を進めている。また、大気圧下における耐久試験も実施し、二層であれば二日間以上の耐久性を有することを確認した。本講演では、紫外線・X 線透過率評価試験や様々な厚さのグラフェンに対する耐久試験、およびグラフェンのユニークな物性を利用した地上機器への応用展開の現状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](#)

V321b 硬 X 線偏光検出気球実験 XL-Calibur 用 X 線望遠鏡の開発

松本浩典, 服部兼吾, 峯田大靖, 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, 鴨川航, 袴田知宏, 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 (名古屋大学), 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 (広島大学) 今村竜太, 栗木久光 (愛媛大学), 古澤彰浩 (藤田医科大学), 田村啓輔 (NASA/GSFC), Henric Krawczynski (ワシントン大学), 他 XL-Calibur チーム

XL-Calibur 計画は、硬 X 線帯域での高感度な偏光観測を目標とする、国際協力気球実験である。この気球実験では、大集光能力を実現するために、焦点距離 12 m、口径 45 cm、角度分解能 2.0 分角程度の硬 X 線望遠鏡を搭載する。この望遠鏡は、もとは FFAST 計画用に日本で開発・製造されたものであり、デザインはひとみ衛星用硬 X 線望遠鏡とほぼ同一である。Wolter-I 型の 2 回反射斜入射光学系であり、213 シェルの薄板反射鏡を搭載する。反射鏡は櫛の歯状のアライメントバーで位置が保持されており、良い結像性能を得るためには、X 線を当てながら、像が最も鋭くなるようにアライメントバーの位置をミクロンの精度で調整する必要がある。この作業を光学調整と呼ぶ。望遠鏡は円周方向に 3 セグメントに分かれており、そのうちの 1 セグメントに関して、アライメントバーを新規に製作した。そこで、このセグメントの光学調整を、2019 年 1 月、7 月、12 月に大型放射光施設 SPring-8 の BL20B2 にて行った。2019 年 7 月までの二段目の光学調整では、目標の結像位置からのずれは 0.5 分角以下におさまるように、アライメントバーの位置を調整することが出来た。本講演では、2020 年 12 月の一段目の光学調整の結果も含めて、X 線望遠鏡の開発状況を説明する。

[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](#)

V322a 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 VII

佐藤浩介 (埼玉大)、大橋隆哉、石崎欣尚、江副祐一郎、藤田裕 (都立大)、山崎典子、石田学、前田良知 (ISAS/JAXA)、満田和久 (NAOJ)、中島裕貴 (産総研)、三石郁之、田原譲 (名古屋大)、藤本龍一 (金沢大)、鶴剛 (京大)、太田直美 (奈良女子大)、大里健 (IAP)、永井大輔 (Yale 大)、吉川耕司 (筑波大)、河合誠之 (東工大)、松下恭子 (東京理科大)、山田真也、一戸悠人 (立教大)、内田悠介 (広島大)

「XRISM」や「Athena」衛星に搭載される X 線マイクロカロリメータ検出器の高エネルギー分光能力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が飛躍的に進むと期待される。しかし、宇宙の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、空の広い領域をサーベイして銀河、銀河団、ひいては宇宙の大規模構造に付随するバリオンを定量的に観測し、その存在形態及び物理状態を明らかにする必要がある。また、2020 年代に計画されている可視光や電波でのサーベイデータや、過去の星生成活動を含めた銀河の進化、非熱的な過程の考慮など、多波長観測を視野にいたした議論が必要となる。

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」を用いて議論を進めている。酸素輝線の感度マップやこれまで実際の観測結果との比較など、シミュレーションモデル等の検証も行っている。並行して、観測器の基礎技術開発を行っており、多画素 TES マイクロ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/都立大で進めており、名古屋大学が広視野かつ高空間撮像能力を実現する X 線望遠鏡の開発をリードしている。本講演では、衛星計画の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](#)

V323a 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 (4)

瀧川歩, 竹原佑亮, 叶哲生, 山口隆正, 石田直樹 (名古屋大学), 田村啓輔 (NASA/GSFC, メリーランド大学), 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。これまで我々は、従来の実績値に対し口径が 6 倍もの $\phi 60$ mm の Wolter-I 型形状の反射鏡開発に取り掛かり、原盤については円周方向にて非常に高い形状精度 ($\sim 0.3 \mu\text{m}$ (rms) / ~ 0.03 秒角 @ 焦点距離 2 m) を達成していることを確認した。また支持機構については、基本設計を終え、模擬部品に対し振動耐性評価試験までを実施した (瀧川他 日本天文学会 2020 年春季年会)。

現在、Wolter-I 型反射鏡の試作を終え、原盤同様円周方向について非常に高い形状精度 ($\sim 1 \mu\text{m}$ (典型値) / ~ 0.1 秒角 @ 焦点距離 2 m) を達成した。また母線方向の形状についても 2 枚の反射鏡全面 200 mm スケールに対し、原盤形状と比較し $0.1 \mu\text{m}$ レベルで一致していることも確認している。支持機構についても試作品が完成し、すでに $20 G_{\text{rms}}$ (Z 軸) もの振動耐性を有することを確認しており、詳細な反射鏡位置調整方法の検討を進めている。本発表では、反射鏡の X 線照射試験を含む各種評価の結果を報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V324a X 線偏光観測衛星 IXPE への参加現状 (6)

玉川 徹, 北口貴雄, 榎戸輝揚 (理研), 内山慶祐 (理科大/理研), 三石郁之, 山口友洋, 柏倉一斗, 田原譲 (名古屋大), 郡司修一, 渡邊瑛里, 寺島政伸, 齋藤 耀 (山形大), 深沢泰司, 水野恒史, 高橋弘充, 内田和海, 山本龍哉 (広島大), 岩切 涉 (中央大), 林田 清, 朝倉一統 (大阪大), Martin Weisskopf, Brian Ramsey, Stephen O'Dell (NASA/MSFC), Paolo Soffitta (IAPS/Rome), Luca Baldini (INFN/Pisa) ほか IXPE 衛星チーム

X 線偏光観測は、高エネルギー天体の幾何構造や磁場を探るすぐれた手段として期待されてきたが、可視光や電波に比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 (NASA/MSFC) がイタリアと共同提案した IXPE (Imaging X-ray Polarimeter Explorer) が採択され、2021 年の打ち上げが決まった。これにより、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 衛星には日本からも国際協力により参加しており、JAXA 小規模プロジェクトの枠組みでハードウェア貢献を進めてきた。名古屋大学が開発・提供する、受動型熱光学素子である X 線望遠鏡サーマルシールド、理化学研究所が開発・提供する、X 線偏光計のコア部品であるガス電子増幅フォイル (GEM) は、いずれもフライト品の納品が完了した。2020 年 11 月には Phase D (衛星組み立て&テスト) 審査を通過し、現在米国において、X 線望遠鏡と X 線偏光計を衛星に組み込み中である。本講演では、IXPE 衛星計画の現状、ハードウェア準備・試験状況、観測天体検討状況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](#)

V325a X 線偏光観測衛星 IXPE 搭載 X 線望遠鏡用受動型熱制御素子サーマルシールドの開発 (8)

三石郁之, 山口友洋, 柏倉一斗, 瀧川歩, 志村拓馬, 田原譲, 大西崇文, 立花一志 (名古屋大学), 宮田喜久子 (名城大学), 田村啓輔 (NASA/GSFC, UMBC), 玉川徹 (理研), 立花正満, 村島健介 (株式会社カネカ)

NASA/MSFC が主導する X 線偏光観測衛星 IXPE は、2021 年に打ち上げが予定されている。我々は IXPE 搭載 X 線望遠鏡の軌道上での温度環境維持のため、あすか、すざく、ひとみ衛星と同タイプの受動型熱制御素子であるサーマルシールドを開発している。サーマルシールドの実体は、シールド本体のアルミ薄膜付きプラスチックフィルム、フィルムを支持するための金属メッシュおよび機械強度部材である金属枠からなる。IXPE ではその観測エネルギー帯や打ち上げ時の空力加熱等を考慮し、初の国内産ポリイミドフィルムを使用する。これまで我々はフライトモデル (FM) ユニットの製作およびスぺア品を含めた計 12 枚の納品を 2020 年 4 月に終えた (山口他, 日本天文学会 2020 年秋季年会)。

現在は FM ユニット同等品を用いた X 線透過率試験およびピンホール頻度調査を実施し、その評価を進めている。X 線透過率試験では Al K α 1.5 keV, Ti K α 4.5 keV を用いて評価し、前者では ~77-86%、後者では >95% 程度であることを確認した。これらはおおむね機械的厚さから予想される値と一致していた。またピンホール頻度については、20 mm 角領域でのピンホール面積の割合を調べ、全てのサンプルが面積比にて <0.1% であることを確認した。これらは十分に要求値を満たす。本講演では上記の詳細結果に加え、熱光学特性評価を含めた、FM 相当品に対する各種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](#)

V326a 軟 X 線から硬 X 線の広帯域を高感度で撮像分光する小型衛星計画 FORCE の現状 (11)

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), 榎戸輝明 (理研), 馬場彩, 小高裕和 (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 (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), 大橋隆哉 (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, 田中孝明, 内田裕之 (京都), 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 (愛媛), 深沢泰司, 水野恒史, 高橋弘充, 大野雅功 (広島), 赤松弘規 (SRON), Hornschemeier, A.E., 岡島崇, Zhang, W.W. (NASA/GSFC), 他 FORCE WG

我々は 1–80 keV の広帯域 X 線を高感度で撮像分光する小型衛星計画 Focusing On Relativistic universe and Cosmic Evolution (FORCE) を提案している。FORCE の科学目的は、「ミッシングブラックホールの探査を通じて、現在の宇宙を構成する天体の形成史を紐解くこと」、「超新星残骸や銀河団の観測を通じて、相対論的粒子の起源と総量を測定すること」、および、「若い超新星残骸の観測を通じて、超新星爆発における爆発メカニズムと元素合成を理解すること」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、広がった硬 X 線天体にも高い感度を実現する。現在我々は、次回の公募型小型提案にむけて、FORCE-US チームと連携しながら、サイエンス検討とシステム・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](#)

V327a SOI 技術を用いた新型 X 線撮像分光器の開発 46:現在の到達点と今後の開発

鶴 剛, 田中孝明, 内田裕之, 佳山一帆, 児玉涼太, 松田真宗, 天野雄輝 (京都大学), 川人祥二, 安富啓太 (静岡大学), 亀濱博紀 (沖縄高専), 新井康夫, 倉知郁生 (KEK), 森浩二, 武田彩希, 西岡祐介, 行元雅貴, 三枝紀嵐, 米村修斗, 安藤大雅, 石田辰徳, 前野立樹 (宮崎大学), 幸村孝由, 萩野浩一, 林田光揮, 北島正隼 (東京理科大)

私達は次世代広帯域 X 線撮像分光 FORCE 衛星に搭載予定の X 線 SOI (Silicon-On-Insulator) ピクセル検出器「XRPIX」を開発している。SOI ピクセル検出器は SOI 半導体プロセスを応用した日本独自の検出器であり、一体型でありながら厚い空乏層と高速の CMOS 回路を同時に実現可能である。私たちは、X 線 CCD に匹敵する高い撮像分光能力を持った上で、各ピクセルに閾値回路とトリガ出力機能を備えることで、 $10\mu\text{sec}$ よりも高い時間分解能を実現する。今年度は、(1) PDD 構造の改良, (2) 暗電流の振る舞いと削減への方策の検討, (3) 軌道上放射線に対する SEE の評価実験, (4) 常温での分光性能の評価, (5) オンチップでの非 X 線判定ロジックの検討と検証, (6) XRPIX 素子内蔵の AD 変換回路の製造, (7) 同じく素子内蔵の DA 変換回路と定電流発生回路の設計, (8) 衛星搭載品に向けた検出器トレイ及びフロントエンドの検討, を行った。講演では、今年度の開発のまとめと今後の見通しを述べる。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V328a SOI 技術を用いた新型 X 線撮像分光器の開発 47:X 線 SOI ピクセル検出器の SEE 耐性評価

林田光揮, 幸村孝由, 萩野浩一, 北島正隼, 角町駿, 土居俊輝, 藤森蒼天, 前川航輝 (東京理科大学), 鶴剛, 田中孝明, 内田裕之, 佳山一帆, 児玉涼太, 松田真宗 (京都大学), 森浩二, 武田彩希, 西岡祐介, 行元雅貴, 米村修斗, 三枝紀嵐, 安藤大雅, 石田辰徳, 前野立樹 (宮崎大学), 新井康夫, 倉知郁生 (KEK), 北村尚 (QST), 川人祥二, 安富啓太 (静岡大学), 上野宗孝, 尾崎正伸 (JAXA), 中嶋大 (関東学院大学)

我々は次世代 X 線天文衛星「FORCE」への搭載を目的とし、SOI(Silicon On Insulator) 技術を用いた X 線半導体検出器「XRPIX」の開発を行なっている。半導体検出器を軌道上で運用した際、検出器は宇宙線等による損傷を受ける。放射線損傷は、放射線の総量に応じて性能が劣化するような損傷と、荷電粒子 1 個が入射した際に確率的に引き起こされる損傷 (SEE: Single Event Effect) の二つに大きく分けられる。前者について、我々は過去に調査を行い、最も良いスペクトル性能を持つ新型構造を導入した XRPIX で、衛星軌道上約 100 年の損傷量でもスペクトル性能に問題なく動作させることができることを明らかにした。後者の SEE については、SOI を用いている XPPIX では SEE の発生確率が小さいことが予想されているが、衛星搭載品の設計や軌道上での運用を考える必要があるため、SEE の発生頻度を事前に知っておく必要がある。そこで、我々は XRPIX では初めて LET(Linear Energy Transfer) が $0.0220 \sim 66.5 \text{ MeV}/(\text{mg}/\text{cm}^2)$ の様々な粒子線を用いた SEE 耐性評価実験を行った。その結果、 $3.7 \pm 0.7 \text{ MeV}/(\text{mg}/\text{cm}^2)$ という SEE の LET Threshold を求めることができた。本講演では、SEE 耐性評価実験の結果を報告し、今後の衛星搭載品の設計や軌道上運用への SEE による制約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](#)

V329a 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 (5)

林田清 (大阪大学), 富田洋 (ISAS/JAXA), 森浩二 (宮崎大学), 野田博文, 松本浩典, 常深博 (大阪大学), 内田裕之, 田中孝明, 鶴剛 (京都大学), 中嶋大 (関東学院大学), 村上弘志 (東北学院大学), 幸村孝由, 萩野浩一, 小林翔悟 (東京理科大学), 平賀純子 (関西学院大学), 内山秀樹 (静岡大学), 信川正順 (奈良教育大学), 信川久実子 (近畿大学), 岡島崇 (NASA/GSFC), 吉田鉄生, 石田学, 前田良知, 堂谷忠靖, 尾崎正伸 (ISAS/JAXA), 山内誠, 廿日出勇 (宮崎大学), 山岡和貴 (名古屋大学), 他 XRISM/Xtend チーム

2022 年度に打ち上げ予定の X 線分光撮像衛星 (XRISM) には、軟 X 線撮像装置 Xtend が搭載される。Xtend は、X 線ミラー (XMA) と CCD カメラ (SXI) で構成され、4 枚の素子を 2×2 に配置することで 0.4–13 keV のエネルギー範囲で、38 分角四方の広視野分光撮像を実現する。2020 年秋季年会で報告した通り、SXI のハウジングやエレクトロニクスなどの製作および機能検証試験はほぼ完了し、最終組み立ての状態にある。2020 年 12 月にサブシステム全体での機能・性能評価試験を実施予定で、その後、熱真空試験も予定している。並行して、CCD のフライトモデル (FM) 4 素子に関して、ゲイン・電荷転送非効率 (CTI) 等の各種パラメータの決定や応答関数の構築をすすめ、キャリブレーションデータベース (CALDB) としてとりまとめている。今回の講演では、Xtend/SXI の製作・試験・解析の最新状況および、衛星試験に向けた今後の見通しについて報告する。

[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 XRISM 搭載 Xtend の応答関数の調査 (3)

花岡真帆, 林田清, 野田博文, 米山友景, 朝倉一統, 岡崎貴樹, 佐久間翔太郎, 石倉彩美, 服部兼吾, 松本浩典 (大阪大学), 金丸善朗, 佐藤仁, 高木駿亨, 寺田裕大, 住田知也, 森浩二 (宮崎大学), 齋藤真梨子 (奈良女子大学), 信川久実子 (近畿大学), 迫聖, 信川正順 (奈良教育大学), 天野雄輝, 尾近流行, 田中孝明, 内田裕之, 鶴剛 (京都大学), 榎村晶, 中嶋大 (関東学院大学), 富田洋, 吉田鉄生 (ISAS/JAXA), 卜部夕希乃, 平賀純子 (関西学院大学), 村上弘志 (東北学院大学), 内山秀樹 (静岡大学), 小林翔悟, 萩野浩一, 幸村孝由 (東京理科大学), 山内誠, 廿日出勇 (宮崎大学), 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) 他 XRISM/Xtend チーム

我々は 2022 年度打ち上げ予定の X 線分光撮像衛星 (XRISM) に搭載する軟 X 線撮像分光装置 (Xtend) の X 線 CCD カメラ (SXI) の開発を行っている。本研究の目的は、SXI に単色 X 線が入射した際に得られる波高スペクトルの形状であるラインプロファイルを再現する応答関数の構築である。Xtend 用フライト素子の応答は「ひとみ」の応答関数でおおよそ再現可能であることを確認したが、F-K α と Al-K α のメインピークよりも低い所にピークを持つ成分である Secondary Gaussian が「ひとみ」に比べて広がっており、 ^{241}Am スペクトルは 2 keV 以下で連続成分の寄与が大きいことがわかった。Secondary Gaussian の幅が広い輝線は、応答関数のパラメータを調整することで改良した。また、連続成分の評価は SDD を用いて取得したスペクトルを合わせて解析し、入射 X 線由来の連続 X 線成分と CCD 検出器での応答による一定成分の切り分けを行い、応答関数の一定成分のパラメータに反映させた。本講演では、完成した Xtend 用応答関数によるフィッティング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](#)

V331a X線分光撮像衛星 XRISM 搭載 Resolve の開発の現状 VI

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, T. Horiuchi^I, 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. Ohashi^A, T. Okajima^B, S. Paltani^F, F.S. Porter^B, K. Sato^O, T. Sato^M, 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 デュワについて 2019 年 11 月より FM センサと断熱消磁冷凍機を組み込みを開始し、12 月にセンサを組み込んだ状態で性能を確認した。2020 年 1-2 月に遮光/断熱フィルタを組み込んで一旦、デュワ内部はフライト状態となったが、液体ヘリウムのリークが発生したため対応中である。この講演では *Resolve* の開発の現状を報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V332a Cherenkov Telescope Array (CTA) 計画：全体報告 (19)

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 (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 1400 名の国際共同実験で日本から約 130 名が参加している。南北両半球に一つずつ (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、宇宙線起源や極限天体の非熱的放射機構の解明、銀河外背景放射や銀河間磁場など宇宙の構造に関わるパラメータの測定、ダークマターの検出やローレンツ不変性の検証などが期待されている。北サイト、ラパルマ島においては、大口径望遠鏡の初号機が 2018 年 12 月にファーストライトを迎え、2019 年にかに星雲からのガンマ線を確認し、2020 年から定常シフト観測が開始されている。今後 2023 年までに大口径望遠鏡がさらに 3 台建設され、合計 4 台での観測が始まる予定である。並行して建設される中口径望遠鏡とともに、2025 年からのフルアレイでの観測を目指している。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。本講演では稼働中の LST 初号機の観測状況や 2-4 号機の建設状況に加え、MAGIC ガンマ線望遠鏡や Fermi 天文衛星との結果比較、望遠鏡の性能評価、SiPM を使った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](#)

V333a CTA 大口径望遠鏡における DRS4 波形記録チップのサンプリング時間幅較正

野上優人, 片桐秀明, 鈴木萌, 吉田龍生 (茨城大), 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, Daniela Hadasch, Daniel Mazin, 手嶋政廣, 野田浩司, 深見哲志 (東大宇宙線研), 岡知彦, 窪秀利, 野崎誠也 (京都大), 奥村暁 (名古屋大), 折戸玲子 (徳島大), 川島翔太郎, 川村孔明, 塚本友祐, 山本常夏 (甲南大), 櫛田淳子, 生天目康之, 西嶋恭司, 古田智也 (東海大), 郡司修一, 中森健之 (山形大), 佐々木寅旭, 砂田裕志, 立石大, 寺田幸功 (埼玉大), 田中真伸 (KEK 素核研), 他 CTA-Japan Consortium

Cherenkov Telescope Array (CTA) 計画は、超高エネルギーガンマ線を観測する国際計画である。大口径望遠鏡 (LST) は、20 GeV 以上のエネルギーをもつガンマ線を観測するように設計されている。2018 年 10 月には LST 初号機がスペイン・ラパルマ島に完成し、現在は試験運転中である。LST2-4 号機の建設の準備も進められている。LST のカメラは 1855 本の光電子増倍管 (PMT) と 265 枚の読み出し回路で構成されている。各 PMT からの信号波形は読み出し回路に搭載した Domino Ring Sampler version 4 (DRS4) チップにて 1 GHz サンプリングされる。各 DRS4 チップにおける各サンプリング時間幅は不均一であることが知られており、この特性を補正することにより電荷分解能を良くすることができる。現在この特性の補正方法を開発している。本講演では、LST 初号機における DRS4 サンプリング時間幅の較正および準備を進めている LST2-4 号機用カメラの現状について報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V334a 高エネルギーガンマ線精密観測実験 GRAINE : 2018 年気球実験の最新結果および次期気球実験の展望

高橋寛, 青木茂樹, 東崇史, 尾崎圭太, 小田美由紀, 加藤拓海, 烏野絢花, 呉坪健司, 佐藤良紀, 柴山恵美, 鈴木州, 立石友里恵, 中村崇文, 中村元哉, 原俊雄, 松田菖汰, 松本稔樹, 松本明佳, 丸嶋利嗣, 水谷深志, 藪美智, 山下真優, 山田恭平, 山本知己 (神戸大学), 児玉康一 (愛知教育大学), 池田忠作, 濱田要 (ISAS/JAXA), 伊代野淳, 松川秋音, 山本紗矢 (岡山理科大学), 仲澤和馬, 吉本雅浩 (岐阜大学), 白田育矢, 大塚直登, 岡田晟那, 河原宏晃, 駒谷良輔, 小松雅宏, 小宮山将広, 佐藤修, 杉村昂, 鳥井茉莉, 長縄直崇, 中野敏行, 中野昇, 中村光廣, 中村悠哉, 西尾晃, 丹羽公雄, 宮西基明, 森下美沙希, 森島邦博, 六條宏紀 (名古屋大学)

我々は世界最高角度分解能 ($0.1\text{deg}@1-2\text{GeV}$)、世界初偏光有感、世界最大口径面積 ($\sim 10\text{m}^2$) を実現するエマルジョンガンマ線望遠鏡の長時間気球フライト繰り返しによる宇宙ガンマ線 ($10\text{MeV}-100\text{GeV}$) 精密観測を目指す (GRAINE 計画)。これまでに地上における様々な研究開発やテスト実験、2011 年気球実験 (JAXA 大樹大気球実験、口径面積 125cm^2 、総フライト時間 4.3 時間)、2015 年気球実験 (JAXA 豪州大気球実験、口径面積 3780cm^2 、総フライト時間 14.4 時間) によって、エマルジョン望遠鏡気球実験による宇宙ガンマ線観測の実現可能性を拓いてきた。望遠鏡の大幅な改善を達成した 2018 年気球実験 (JAXA 豪州大気球実験、口径面積 3780cm^2 、総フライト時間 17.4 時間) では、既知ガンマ線源である Vela パルサーを検出し、望遠鏡の総合的な性能実証 (目標結像性能 $1\text{度} (>100\text{MeV})$) を目指す。本講演では 2018 年気球実験の最新結果を報告するとともに、得られた成果を基に採択された 2022 年次期気球実験 (JAXA 豪州大気球実験) 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](#)

V335a 硬X線偏光観測実験 XL-Calibur 気球実験計画

前田 良知, 石田 学, 斎藤 芳隆 (宇宙研), Abarr Quin, Bose R., Braun D., Dowkontt P., Errando M., Gau E., Guarino V., Hossen A., Lisalda L., Krawczynski H., Pastrani I., Rauch B., Simburger G., West A. (WUSTL), 栗木 久光, 今村 竜太 (愛媛大), Baring M. (RU), de Geronimo G. (SUNY), Elliot J., Gadson T., Hall K., Harmon K., Heatwole S., Kotsifakis D., Lanzi J., 岡島 崇, Peterson Z., Purdy C., Snow C., Stuchlik D., 田村 啓輔, Shreeves C., Vincent B. (NASA), 榎戸 輝揚, 北口 貴雄, 玉川 徹 (理研), 眞武 寛人, 深沢 泰司, 今里 郁弥, 今澤 遼, 水野 恒史, Poon H., 高橋 弘充, 内田 和海, 内田 悠介, 山本 龍哉, 楊 冲 (広大), 古澤 彰浩 (藤田医大), 郡司 修一 (山形大), 朝倉一統, 服部 兼吾, 袴田知宏, 花岡真帆, 林田 清, 石倉彩美, 井出峻太郎, 鴨川航, 松本 浩典, 松下友亮, 峯田 大晴, 野田博文, 岡崎貴樹, 大出優一, 佐久間翔太郎, 澤上拳明, 常深 博米山友景, 善本真梨那 (阪大), 石橋 和紀 (名大), Iyer Nirmal K., Mozsi K., Ryde F., Stana T.-A., Pearce M. (KTH), Kislak F., 宮本 明日香, 中庭 望, 鈴木 瞳, 武尾 舞 (都立大), Spooner S. (UNH), 宮澤 拓也 (OIST), 武田 朋志, 内山 慶祐, 吉田 勇登 (東理大), Wulf E. (NRL)

XL-Calibur は、20-80 keV の硬X線域で高感度な偏光観測を目指す気球実験計画 (日米瑞の国際協力) である。日本製の大型 FFAST 望遠鏡を搭載する。合わせて、CZT 検出器の厚みを 2mm から 0.8mm へと硬X線に最適化し、シールド部の回路定数を調整して不感時間を低減させるなどして、2018 年度に打ち上げた X-Calibur 実験よりも約 1 桁の感度を向上させる。当講演では、プロジェクトの現状を報告する。2019 年末より望遠鏡のくみ上げを開始しており、2020 年末に予定している放射光施設 SPring-8 での調整を経て、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](#)

V336a GRAMS 計画 2: MeV ガンマ線観測・ダークマター探索気球実験

小高裕和, 高嶋聡 (東京大), 井上芳幸 (大阪大), 米田浩基, 辻直美 (理研), 一戸悠人 (立教大), Georgia Karagiorgi (Columbia U), Tsuguo Aramaki (Northeastern U), Reshmi Mukherjee (Barnard College), GRAMS コラボレーション, 木村真人, 田中雅士, 寄田浩平 (早稲田大)

観測天文学における未開拓の電磁波帯域である中間エネルギーガンマ線、すなわち 0.1-10 メガ電子ボルト (MeV) の帯域には、原子核が放出するラインガンマ線が存在し、超新星爆発や連星中性子星の合体、ブラックホールなどの高エネルギー天体における核反応の唯一の直接的プローブを提供する。われわれは、MeV ガンマ線天文学開拓のため、液体アルゴン Time Projection Chamber (LArTPC) を気球搭載し、同一検出器で反重陽子検出によるダークマター間接探索とコンプトンカメラによる MeV ガンマ線観測を同時に行なう GRAMS 実験を推進している。検出器媒体に液体を用いることで、高密度かつ大容量の充填が可能となり、これまでになく有効面積の実現を目指す。

2020 年秋季大会の講演で本計画の目的とコンセプトについて述べたのに続けて、本講演では日米国際協力のもと進めている GRAMS 計画立ち上げのための取り組みの現状を報告する。GRAMS のコンプトンカメラは液体アルゴン検出器のみを用いた新しい構成を採用している。これを機能させるには、多重コンプトン散乱を効率よく再構成することが必要であり、現在の解析アルゴリズムの開発を進めている。これと並行して、気液 2 相アルゴン TPC の実機データを用いて GRAMS に必要な要求性能の評価を行なっている。これらの結果に加えて、現在設計を進めている概念実証機とその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](#)

V337a 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 (CdTe 半導体焦点面検出器の開発)

渡辺伸 (JAXA 宇宙研), 成影典之 (国立天文台), 長澤俊作, 南喬博, 高橋忠幸 (東大カブリ IPMU)

FOXSI-4 ロケット実験は、米国 NASA のロケット実験プログラムに、Excellent の評価 (最高評価) で採択された太陽 X 線集光撮像分光観測ロケット実験計画であり、FOXSI-3 まで 3 回に渡り実施されてきた実験に引き続いて、実施されるものである。我々は、FOXSI-1 から参画しており、焦点面の半導体撮像分光検出器の提供を行ってきた。FOXSI-4 においても、我々は、焦点面検出器の CdTe 半導体両面ストリップ型検出器 (CdTe DSD) の提供を担当する。FOXSI-4 には、7 セットの望遠鏡、焦点面検出器が搭載されるが、CdTe DSD は、そのうちの 4 台に搭載予定で、5-30 keV の X 線・硬 X 線領域での撮像分光観測を担う。FOXSI-4 では、太陽の静穏期の観測を行なった FOXSI-3 までとは異なり、太陽フレアの発生に即応して、観測ロケットを打ち上げ、太陽フレアの X 線集光撮像分光観測を目指す。そのため、CdTe DSD にも高いカウントレート耐性が望まれ、FOXSI-3 までは、検出器あたり毎秒 500 カウントまでであったところ、FOXSI-4 では、10 倍の毎秒 5000 カウントが取得可能なことが要求される。

FOXSI-4 の観測要求に対応するため、FOXSI-3 のものを改良する形で、CdTe DSD の設計を行い、主要コンポーネントの試作を行なった。高いカウントレート耐性向上のほか、歩留まりの向上、位置分解能の向上、エネルギー分解能の向上、低エネルギー側の検出効率向上を目指した設計、試作を実施した。評価測定を通して、これらの性能向上の検証を実施していく計画である。

本講演では、この FOXSI-4 の焦点面検出器となる CdTe DSD の開発の現状について、報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

W01a TeV ガンマ線バースト GRB 190829A の残光の Off-axis ジェットモデルによる理論的解釈

佐藤 優理, 大林 花織, 山崎 了 (青学大), 村瀬 孔大 (Penn. State Univ.)

ガンマ線バースト (GRB) は、ローレンツ因子が 100 以上の相対論的ジェットの放射であると考えられているが、その起源天体や放射機構の詳細は未解明である。昨年、大気チェレンコフ望遠鏡 MAGIC と H.E.S.S. により TeV 帯域の超高エネルギーガンマ線放射を伴う GRB が 3 イベント報告された (GRB 180720B, 190114C, 190829A)。その中で、GRB 190829A については、発生後およそ 2 万秒後に H.E.S.S. によって 5σ レベルで超高エネルギーガンマ線が検出されたが、ガンマ線即時放射の全放射エネルギーが通常の GRB よりも一桁以上小さく、さらに、X 線と可視・赤外の残光の光度曲線は GRB 発生後 1500 秒後という少し遅い時期にほぼ同時にピークをもつという珍しい特徴を持つ (Chand et al. 2020, ApJ)。そこで我々は、相対論的ジェットを真正面から観測せずに斜め方向から見たとした場合に、GRB 190829A の上述の観測結果を説明できるかどうか調べた。この Off-axis jet モデルによれば、相対論的ビーミング効果により、即時放射のエネルギーはジェットを真正面から見た場合よりも低くなる。同時に、このモデルでは残光の光度曲線のピーク時間も波長に依存せずに 1500 秒くらいになることも説明できると期待される。本発表では、このイベントの観測結果を無矛盾に説明可能なジェットの物理量を推定した結果を紹介する。GRB 190829A はジェットローレンツ因子が 300–500 程度、ジェット開口角が 0.01–0.02 rad と狭いジェットによって、初期の X 線・可視光残光の観測を説明可能であることがわかった。さらに、即時放射や後期 X 線残光、電波残光といった他の観測事実を説明するためには、少なくとももう 1 成分のジェットが存在すると良いことがわかった。

[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](#)

W02a 若い強磁場中性子星 PSR J1208–6238 の X 線光度への強い制限

馬場 彩 (東京大学), 渡邊 瑛里 (山形大学), 森浩二 (宮崎大学), 寺田幸功 (埼玉大学), 佐野 栄俊 (国立天文台), Miroslav D. Filipović (Western Sydney U.)

双極子磁場が $(1-4.4) \times 10^{13}$ G である強磁場中性子星は、マグネターと回転駆動型中性子星をつなぐ key target として注目されている。実際、PSR J1846–0258 や PSR J1119–6127 といった若い強磁場中性子星は、パルサー星雲を持つなど回転駆動型パルサーの特徴を持つ一方、マグネター特有のバースト活動も示す (Gavriil et al. 2008, Camilo et al. 2000)。しかし、まだサンプルは数天体しかなく、さらなる探査が必要である。

PSR J1208–6238 は、双極磁場 3.84×10^{13} G、スピンドウン光度 1.5×10^{36} erg s⁻¹ を持つ非常に若い (2.14×10^3 yrs) パルサーである。実際強磁場中性子星としては、3 番目に若く、磁場も 4 番目に強い。また、ガンマ線光度から推定される距離は 3 kpc と非常に近く (Clark et al. 2016, Abdo et al. 2013)、強磁場中性子星の研究には最適である。しかし、なぜか今まで X 線での探査は全く行われていない。

我々は PSR J1208–6238 を *Chandra* 衛星で 9.9 ks 観測した。天体該当位置には有意な X 線放射は見つけられなかった。様々なスペクトル型を検討した結果、0.5–7 keV での X 線放射の 3σ 上限値は $(2.2-10.0) \times 10^{-14}$ erg s⁻¹ cm⁻² と求められた。距離 3 kpc を仮定すると、X 線光度上限値は 0.3–10 keV で $(2.6-14) \times 10^{31}$ erg s⁻¹ と小さく、スピンドウン光度に対する比 η は 0.1% 以下となった。マグネターは 10^{34-36} erg s⁻¹ で輝くため、PSR J1208–6238 はマグネターの兆候を見せていないことになる。さらに、通常の回転駆動型中性子星としても小さい η である。また、我々は、パルサー星雲や対応超新星残骸を電波連続波および X 線で探査したが、いずれも発見されなかった。

なお、この結果は Bamba et al., Ap&SS, 365, 178 (2020) として出版された。

[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](#)

W03a FRB 131104 硬 X 線対応候補天体の *Swift*/BAT データを用いた再解析

坂本貴紀 (青学大), E. Troja (GSFC/UMCP), A. Lien (GSFC/UMBC/CRESST), B. Zhang (UNLV), S. B. Cenko (NASA/GSFC), V. Cunningham (UMCP), E. Berger (Harvard-Smithsonian)

高速電波バースト (FRB) は、数十ミリ秒以下という非常に短い間に、電波の低周波数帯において Jy レベルで明るく輝く正体不明なバースト現象であるが、バーストを繰り返す FRB の多波長での詳細観測やマグネター SGR 1935+2154 の硬 X 線でのバーストと同期した、電波での FRB のような放射の検出などの発見が近年相次ぎ、その正体が徐々に明らかになりつつある。

FRB 131104 は 2013 年 11 月 4 日 18:04:11.2 にパークス電波望遠鏡で検出された FRB である。DeLaunay et al. (2016) は、FRB 131104 が検出された時間帯の *Swift* 衛星 BAT による硬 X 線の観測データを解析し、FRB 131104 の硬 X 線での対応天体候補を発見したと報告した。その硬 X 線候補天体は BAT の視野の端に位置し、検出の有意度も 4.2σ と BAT のデータとしては高くなく、その検出には疑問が残る。我々は、独立に FRB 131104 の検出時間帯の BAT のデータを再解析した。その結果、我々の時系列データ、そして、イメージデータの解析では、DeLaunay et al. (2016) の硬 X 線対応天体候補の時間帯や天体の位置において、有意な信号は BAT では検出されていないと結論づけた。積算時間 300 秒での 5σ 上限値として、冪指数 -1.2 のべき型スペクトルを仮定すると 3.3×10^{-6} erg cm $^{-2}$ 、また、冪指数 -2.0 のべき型スペクトルを仮定すると 2.7×10^{-6} erg cm $^{-2}$ (15-150 keV) を求めた。

我々の結果は、多くの FRB がガンマ線バーストのような突発天体との関連は薄いという最近の観測から示唆されている結果をサポートするものである。本講演では、我々の解析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](#)

W04a MAXI J1820+070 のスペクトル・時系列解析にもとづくハード状態におけるブラックホール連星の降着流の性質

河村天陽 (東京大学 Kavli IPMU), Magnus Axelsson (ストックホルム大学, 東京都立大学), Chris Done (ダラム大学, 東京大学 Kavli IPMU), 高橋忠幸 (東京大学 Kavli IPMU)

ハード状態におけるブラックホール連星の降着流の性質、幾何学構造については、複数の見解が存在し、決着がつかない。連続スペクトルの構造と、放射の短時間変動から、降着円盤が内側で高温降着流に遷移する描像が提唱されている一方で、広がった鉄輝線の構造からは、降着円盤が最終安定円軌道まで伸びる描像が提唱されている。これらのモデルの検証を行うには、降着流の性質を深く知る必要があるが、観測技術の制約のもと、光度変動については主に、高温降着流が卓越する 3 keV 以上の領域に議論が限られてきた。

そこで我々は、0.5 keV にまで感度を持つ NICER による、ハード状態のブラックホール連星 MAXI J1820+070 の観測データの解析を行った。この天体は非常に明るく、また星間吸収が小さいため、光度変動解析のターゲットとして適している。我々は、パワースペクトルを互いに異なる周波数帯に対応する光度変動成分の和としてモデル化し、各光度変動成分のエネルギー依存性を調べた (frequency-resolved spectroscopy)。得られた変動成分の性質とスペクトル解析を組み合わせることで、降着円盤が低周波数帯に広がる変動成分に大きく寄与する結果を得た。本講演では、MAXI J1820+070 のスペクトル・時系列解析の結果を示し、降着流の幾何学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](#)

W05a 矮新星 KIC 9406652 における、公転軌道面から傾いた降着円盤の性質の調査 II. super-orbital signals

木邑真理子 (理化学研究所), 尾崎洋二 (東京大学), 加藤太一 (京都大学)

IW And 型矮新星は、通常の矮新星とは異なり、減衰振動を伴う中間的な明るさの状態 (quasi-standstill) と小規模な増光 (brightening) を繰り返す。この特殊な光度変動の原因は良く分かっていないが、いくつかの IW And 型矮新星で連星の公転軌道面から傾いた円盤の観測的証拠が発見されたため、Kimura et al. (2020, PASJ, 72, 22) では、傾いた円盤で働く熱不安定により特殊な光度変動が生じる可能性を示した。このモデルを評価するためにも、矮新星における傾いた円盤の性質を観測的に調べるのが重要である。

そこで私達は、KIC 9406652 という IW And 型矮新星の Kepler 衛星の可視光データを解析した。前回の年会では、傾いた円盤の証拠の一つである negative superhumps について発表した (講演番号:W10a)。今回は、傾いた円盤のもう一つの証拠である super-orbital signals について発表する。super-orbital signals は、軌道周期 (~6 時間) よりずっと長い 4 日程度の周期の光度変動であり、傾いた円盤の歳差運動により観測者に対する円盤の投影面積が変化することで見えるとされている。この光度変動の周期変化は、negative superhumps の周期変化と同期しており、両者の起源が同じ「傾いた円盤」にあることを再確認できた。また、super-orbital signals の振幅から、円盤の傾き角が常に 3 度以下であることも推算できた。さらに、brightening 中、orbital signals の profile は傾いた円盤による伴星の照射効果でほぼ説明できること、super-orbital phase と共に orbital signals の振幅と peak phase が変化することも発見した。これは、公転軌道面から傾き、連星の軌道運動と逆方向に歳差運動している円盤の直接の証拠である。本講演の内容は、Kimura et al. (2020, doi:10.1093/pasj/psaa088) に出版済である。

[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](#)

W06a 特異な X 線トランジェント Swift J0840.7–3516 の観測

志達めぐみ (愛媛大学)、岩切渉 (中央大学)、根来均 (日本大学)、三原建弘 (理化学研究所)、上田佳宏 (京都大学)、河合誠之 (東京工業大学)、中平聡志 (宇宙科学研究所)、Jamie Kennea (ペンシルベニア州立大学)、Phil Evans (レスター大学)、Keith Gendreau (NASA)、榎戸輝揚 (理化学研究所)、Francesco Tombesi (メリーランド大学)

Swift J0840.7–3516 は、2020 年 2 月に Swift/BAT で発見された X 線トランジェントである。発見直後には X 線強度が 1 Crab 程度にまで達し、その後数日で 5 桁以上もの急減光を示した。減光後は、3 か月間以上にわたりほぼ一定の X 線強度を示した。その間、Swift や MAXI で変動のモニタが行われ、急減光中には NICER、NuSTAR でも観測された。それらのデータを解析したところ、急減光中には、 $1-10^4$ 秒の短い時間スケールで、数倍から 1 桁程度の激しい強度変動が起こっていたことがわかった。発見直後の Swift/XRT による観測では、8.96 秒の弱い (準) 周期的変動も検出された。このときの X 線スペクトルは、 ~ 30 keV に指数関数型カットオフを持つ、photon index (Γ) が 1 程度のべき型モデルで再現された。減光とともに軟 X 線の割合が増加し、最終的に $\Gamma \sim 2$ のべき型スペクトルとなった。急減光中には、3–4 keV 付近に吸収構造も検出された。これらの観測結果は、典型的なガンマ線バーストや X 線連星、激変星、恒星フレア、活動銀河核の特徴とは異なっている。

本講演では、上記の結果について報告し、この天体の正体について議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

W07a 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

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)

最近 Cygnus X-3 の電波活動が活発化している。2020 年には 2 月と 6 月に Cygnus X-3 からの巨大フレアが那須電波干渉計によって観測された。ここではこれらのデータを中心に報告を行う。

那須電波干渉計では、東西方向に並んだ直径 20 m の 8 基のアンテナが一体で機能する。8 基のアンテナからの出力を空間フーリエ変換 (空間 FFT) することにより、1.4 GHz において角度分解能 0.1° が実現される。この分解能は直径 160 m のアンテナの性能に匹敵する。一方で、20 m アンテナのもつ 0.8° という広視野が維持される。このような空間 FFT 型電波干渉計はトランジェントな電波源の探査に適している (Asuma et al. PASJ(2020))。

マイクロクエ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である。最近 Cygnus X-3 からの強い電波フレア放出の頻度が増えていることがわれわれの観測等からわかってきた。2019 年には 4 月と 6 月に、2020 年になってからは 2 月と 6 月にフレアが観測されている。今後電波、X 線・ガンマ線での観測結果を総合的に解析することにより、マイクロクエーサーにおける降着円盤やジェットの物理的解明が進むと期待される。

現在、Deep Learnig(DL: 深層学習) を利用したアンテナ出力中の信号・雑音判別法の研究開発を進めている。これまでに DL により accuracy 95% で自動判別が可能となっているが、これをさらに向上する研究を行っている。これらについても進捗状況を報告する予定である。

那須電波観測所 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](#)

W08a 定常重力波初検出に向けた低質量 X 線連星 Sco X-1 の X 線パルス探索

御堂岡拓哉, 海老沢研 (東京大学, ISAS/JAXA), 和泉究 (ISAS/JAXA)

2015 年以降、コンパクト連星合体による突発的な重力波は数多く検出されているが、パルサーや低質量 X 線連星 (LMXB) からの定常重力波 (CW) はこれまで一度も検出報告がなされていない。LMXB は低質量の伴星と弱磁場の中性子星からなる連星系であり、伴星からの降着物質に伴い中性子星のスピンの速くなるが、ある速度でスピン平衡に達することが知られている。その際、スピンアップを抑制している主な機構が CW 放射によるエネルギー減衰と考えられている。LMXB の CW 放射は質量降着率が大きいほど、また天体までの距離が近いほど強いいため、X 線フラックスと正の相関を持つ。よって全天で最もフラックスの大きい定常 X 線源である Sco X-1 は LMXB の中で最も CW 振幅が大きいと期待されている。しかし、CW 検出に際して大きな障壁の一つに、自転周期が観測されていないため CW 周波数が未知なことが挙げられる。広い周波数帯域での CW 探査は広帯域で良好な信号雑音比を達成するため計算機コストが莫大にかかり、現状では検出に至っていない。

そこで我々は X 線データ解析から Sco X-1 の自転周期への制限を目指している。これまでに X 線パルスが見つかっているミリ秒 X 線連星パルサー (e.g. PSR J0218+4232, SAX J1808.4-3658) のアーカイブデータを用いて、最適なパルス探索アルゴリズムを検証した。そこで確認された手法を RXTE や NICER で観測された Sco X-1 データに適用して、パルス探索を行っている。本講演では既知パルサーに対するパルス探索手法の検証結果と Sco X-1 のパルス探索の現状を報告する。

[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](#)

W09a かにパルサーの巨大電波パルスに伴う X 線超過の発見

榎戸輝揚 (理研), 寺澤敏夫 (東京大, 国立天文台), 木坂将大 (広島大), Chin-Ping Hu (National Changhua Univ. of Education, 理研), 村田泰宏, 竹内央 (ISAS/JAXA), 岳藤一宏 (UDSC/JAXA, NICT), 関戸衛 (NICT), 米倉覚則 (茨城大), 三澤浩昭, 土屋史紀 (東北大), 青木貴弘 (山口大), 徳丸宗利 (名古屋大), 本間希樹, 亀谷收, 小山友明 (国立天文台), 浅野勝晃 (東京大), 柴田晋平 (山形大), 田中周太 (青山学院大), Zaven Arzoumanian, Keith C. Gendreau (NASA/GSFC), and the NICER collaboration

巨大電波パルスと呼ばれる、通常の電波パルスに比べ数桁も明るく、マイクロ秒の時間スケールの突発的な電波バーストがパルサーの一部から見つかっている。これは、宇宙論的な距離で発生している高速電波バーストの発生源として有力な候補であり、中性子星の磁気圏活動を理解する上でも重要な現象である。長らく電波でのみ巨大電波パルスが観測されてきたが、巨大電波パルスに同期した可視光の超過が 2003 年に見つかり [1]、X 線やガンマ線でも超過を検出する多くの試みが行われたが上限値にとどまっていた [2]。私たちは、国際宇宙ステーションに搭載された大集光面積を誇る X 線望遠鏡 NICER と、NICT 鹿島の 34 m 電波望遠鏡および JAXA 白田の 64 m 電波望遠鏡による、かにパルサー同時観測を 2017 年から 2019 年まで合計 126 ks 行った。その結果、メインパルス位相の巨大電波パルスを 2.5×10^5 個検出し、それに同期する $3.8 \pm 0.7\%$ の X 線超過を 5.4σ の有意性で検出することに成功した。巨大電波パルスに同期した放射が X 線帯域まで伸びていることが明らかになったため、この現象に伴う放出エネルギーは 1-2 桁も高かったことが明らかになった。電波観測の詳細 (寺澤敏夫他) と理論的な示唆 (木坂将大他) は別講演で行う。[1] Shearer et al., Science 2003, [2] e.g., Hitomi Collaboration, PASJ 2018

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

W10a かにパルサーの巨大電波パルスに伴う X 線超過の理論モデル

木坂将大 (広島大), 榎戸輝揚 (理研), 寺澤敏夫 (東京大, 国立天文台), Chin-Ping Hu (National Changhua Univ. of Education, 理研), 村田泰宏, 竹内央 (ISAS/JAXA), 岳藤一宏 (UDSC/JAXA, NICT), 関戸衛 (NICT), 米倉覚則 (茨城大), 三澤浩昭, 土屋史紀 (東北大), 青木貴弘 (山口大), 徳丸宗利 (名古屋大), 本間希樹, 亀谷收, 小山友明 (国立天文台), 浅野勝晃 (東京大), 柴田晋平 (山形大), 田中周太 (青山学院大), Zaven Arzoumanian, Keith C. Gendreau (NASA/GSFC), and the NICER collaboration

X 線望遠鏡 NICER と NICT 鹿島および JAXA 白田の電波望遠鏡によるかにパルサーからの巨大電波パルスの多波長同時観測の結果、巨大電波パルスに同期した X 線パルスのフラックスに対して $3.8 \pm 0.7\%$ の超過が発見された (詳細は榎戸輝揚他, 寺澤敏夫他他講演)。本講演では、巨大電波パルスに同期した X 線超過に対する理論的解釈を報告する。最も単純な解釈の一つとして、電波と X 線の増光は放射する粒子の数の増加に起因する粒子数増加モデルを適用する。巨大電波パルスはコヒーレント放射、X 線パルスはインコヒーレント放射であることから、フラックスの粒子数依存性が異なる。この違いと観測される X 線と電波の増光率の比から、ある単一の領域で電波と X 線の放射粒子の増加率が同じと仮定した場合、電波放射領域の大きさは X 線放射領域の $\sim 6 \times 10^{-4}$ 倍程度であることがわかった。これは X 線の増光が起こる位相幅が X 線ピークの幅の一部に対応することとも整合的である。この他、プラズモイド衝突モデル、電波のサイクロトロン共鳴吸収モデルによる理論解釈も紹介する。また、高速電波バーストを系外パルサーからの巨大電波パルスと解釈した場合に対して、今回の X 線超過の検出から得られた示唆についても議論を行う。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

W11b Ray-tracing 法に基づく、空間 3 次元一般相対論的輻射輸送コードの開発

高橋幹弥 (筑波大学), 大須賀健 (筑波大学), 高橋芳太 (国立高専機構苫小牧高専), 小川拓未 (筑波大学), 梅村雅之 (筑波大学)

ブラックホール近傍での輻射輸送計算は、イメージングやスペクトル計算など、最新の観測結果の解釈には不可欠である。また、輻射圧がガス圧と同程度かそれ以上となる高光度降着円盤では、輻射とガスの相互作用が無視できなくなり、構造やダイナミクスにおいて輻射が本質的な役割を果たす。これらを正確に調べるには、一般相対論的輻射輸送方程式を解かなければならない。しかしながら、一般相対論的輻射輸送方程式を厳密に解くことは一般に容易ではない。計算法の一つがモンテカルロ法による一般相対論的輻射輸送計算であるが、光子の分布に偏りが生じることで精度が下がる可能性が指摘されている。また、光の波面を追跡することや流体場が時間変化する場合の計算に適した方法とは言えない。そこで、Takahashi & Umemura 2017 (以降 TU2017) は、空間 2 次元の範疇ではあるが、ブラックホール時空中の測地線に沿って一般相対論的輻射輸送方程式を直接解く新たな計算手法を開発した。この方法は、光の波面を正確に追跡することができ、流体場が時間変動する問題にも適用可能である。

我々は、TU2017 で開発されたコードを、光子数が保存し、輻射エネルギーが精度良く求められるように改良した。空間 3 次元への拡張も行い、散乱についても光子数保存が保証される手法を実装した。ブラックホール周囲の輻射伝播テストの結果、波面を正確に追跡しつつ、光子数を保存させることに成功した。その他のテスト計算の結果や今後の展望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](#)

W12b W50/SS 433 の構造形成に関する磁気流体計算 IV

大村匠, 酒見はる香, 田嶋裕太, 大前陸人 (九州大学), 町田真美 (国立天文台)

電波星雲 W50 は、球状のシェルと東西に引き伸ばされたウイングの複合構造を持つ天体である。球状シェルの中心に X 線連星 SS433 が位置していること、SS433 ジェットの噴出軸と東西のウイングを結んだ軸とが一致していることから、W50 は超新星残骸 (SNR) とジェットの共進化によって形成されたという見方が強い。近年、数多くのガンマ線検出が報告されている W50/SS433 は、宇宙線加速源の一つとして着目されている。東ウイングに位置する X 線ホットスポット (e1, e2) からは TeV ガンマ線が検出されており、ジェットの軸と一致している。従って、TeV ガンマ線はジェットを起源とする加速電子からの放射であると示唆されている。一方で、シェル北部からは MeV ガンマ線が検出されているが、こちらは SNR が加速源であると指摘されている。しかし、Li et al. (2020) では、MeV ガンマ線の強度変動の周期とジェットの歳差周期との相関関係が報告されるなど、SS433 の活動性と MeV ガンマ線放射が関係している可能性が浮上してきた。これら粒子加速機構を考える上で、我々はまず第一に W50 の構造形成の成因について明らかにする必要があると考えた。

そこで我々は、磁気流体シミュレーションを用いてジェットのみでの W50 構造形成モデルを考案してきた (2020 年春季年会 W22b)。周辺物質よりも密度の軽いジェットのプラズマ流は、先端衝撃波によって熱化された後、バックフローとして中心天体方向へと流れる込む。このバックフローが定常的なエネルギー供給源としての役割を果たすことで、SS433 を中心として球状に膨張するシェルが形成される。その結果、10 万年程度のジェットの持続的な活動を必要とするが、観測される W50 のウイングとシェル構造の再現に成功した。本講演では、加えて SNR ジェット共進化モデルとの相違点やバックフローによる X 線ホットスポット形成機構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](#)

W13b かにパルサーの巨大電波パルス：X線との相関解析のためのデータベース概要

寺澤敏夫(東京大, 国立天文台), 榎戸輝揚(理研), 木坂将大(広島大), Chin-Ping Hu(National Changhua Univ. of Education, 理研), 村田泰宏, 竹内央(ISAS/JAXA), 岳藤一宏(UDSC/JAXA, NICT), 関戸衛(NICT), 米倉覚則(茨城大), 三澤浩昭, 土屋史紀(東北大), 青木貴弘(山口大), 徳丸宗利(名古屋大), 本間希樹, 亀谷收, 小山友明(国立天文台), 浅野勝晃(東京大), 柴田晋平(山形大), 田中周太(青山学院大), Zaven Arzoumanian, Keith C. Gendreau(NASA/GSFC), and the NICER collaboration

我々は、Crabパルサーの巨大電波パルス (GRP) について、Nicerによる大集光面積 X線望遠鏡と日本の地上電波望遠鏡 (2GHz帯、JAXA 白田局 64m パラボラ、NICT 鹿島局 34m パラボラ) を用いた同時観測を行った (2017.8~2019.8 に 15 回)。電波のみの観測時間は合計 374ks (約 104 時間) で、その間に検出された GRP 数は、Main pulse (MP)、Interpulse (IP) に属するものが、それぞれ、約 7 万 5 千個、約 5 千個であった。これらの GRP 数は現在最大の Crab GRP データベース (Mickaliger+2012, 1.2GHz 帯と 330MHz 帯の GRP 合計約 9 万 5 千個) に準じ、2GHz 帯に限れば最大であると思われる。我々の GRP データベースを用いた GRP に相関した X線増光の発見とその理論解釈は榎戸他、木坂他の講演で述べるが、電波だけの結果として、(1) GRP 発生数が fluence のべき乗に比例することを確認した。(MPGRP、IPGRP それぞれのべき指数 -3.02 ± 0.19 、 -2.61 ± 0.28)。 (2) 観測された MP GRP の fluence 最大値は $700 \text{kJy} \cdot \mu\text{s}$ に達した。(3) 観測期間中に発生した過去 50 年で最大の Crab パルサーのグリッチ (Shaw+2019) と、GRP の発生頻度に相関は見出されなかった。講演ではこれらの結果とともに、データ処理手法の概要についてもまとめる。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

W14a 一般相対論的輻射磁気流体計算を用いたカー・ブラックホールへの超臨界降着の研究

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、狭輝線セイファート銀河、潮汐力破壊現象などの高輝度天体や超巨大 BH の形成過程において重要な役割を担っていると考えられている。しかし、これまでの超臨界降着円盤の研究はそのほとんどがシュヴァルツシルト BH 周囲のものであり、BH の回転による効果はあまり調べられていない。単純な理論モデルによると、BH が回転している場合円盤の内縁半径 (いわゆる ISCO 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通して円盤や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、ジェットのパワーやその組成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シミュレーションを実施した。

その結果、全ての a^* の場合において、回転軸から 30° 以下の領域でガスの平均速度が光速の 40% を超える高速なアウトフローが発生することがわかった。また、このアウトフローの密度および質量噴出率は、 $a^* > 0.5$ の場合に大きくなることもわかった。ジェット領域内において卓越しているエネルギーの成分は、 $|a^*| > 0.5$ のときは運動エネルギー、 $|a^*| < 0.5$ のときは輻射エネルギーとなった。また、全エネルギーは $|a^*|$ が増加するに従って増加する傾向がある。 $|a^*|$ の増加とともに BH 近傍領域でのポインティングフラックスが上昇する様子が見られるため、この全エネルギーの増加傾向は BZ 機構によるものと推測される。

[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](#)

W15a How much SNR fallback can invade newborn pulsar wind and magnetosphere?

Yici ZHONG (THE UNIV. OF TOKYO) with Kazumi KASHIYAMA, Toshikazu SHIGEYAMA and Shinsuke TAKASAO

Young Neutron Stars (NSs) in the Galaxy with ages of $t_{\text{age}} < 1\text{-}10$ kyr are categorized into three classes: non-recycled pulsars, magnetars and central compact objects (CCOs), where the reason for this diversity is still unknown. A peculiar point of CCO is its significantly small dipole magnetic field, while one of the important processes that may be responsible for this is the fallback accretion onto the newborn NS: If the fallback accretion proceeds down to the near surface region, the magnetosphere of the newborn NS can be strongly disturbed. But meanwhile, its rotation energy can be extracted by the unipolar induction as a strongly magnetized relativistic outflow, which confronts with the fallback matter. If the outflow repulses the fallback matter, the central NS successfully evolves into a rotation-powered pulsar; otherwise a CCO with buried magnetic field is expected. In this research, we will focus on the bifurcation between CCO and other types of NSs by investigating a collision between a marginally bounded inflow and a relativistic fireball outflow, resembling to supernova fallback accretion onto newborn pulsar wind through 1-D Relativistic Hydrodynamics simulation. We found that the inner-most position the fallback matter could reach $r_{\text{fb,min}}$ mainly depends on the energy flux ratio between fireball outflow and falling-back inflow ζ , and the minimum outflow luminosity the central NS needs to produce a non-CCO decreases with the encounter radius r_{enc} of in- and outflow increases. We apply this results to the Crab-like Pulsar and point out that it may at around the bifurcation point of NS sequences.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)[スケジュール \(全体\) に戻る](#)[講演者索引 TOP に戻る](#)**W16a 爆発的質量放出により駆動される突発天体モデル:可視・紫外域で明るい潮汐破壊現象への適用**

宇野 孔起, 前田 啓一 (京都大学)

恒星が超巨大ブラックホール (SMBH) の近傍を通過する際、BH の潮汐力により恒星が破壊される。これが潮汐破壊現象 (TDE) である。これまで、TDE は X 線などの高エネルギー波長で発見・観測され、現象の理解が進んできたと思われていた。しかし、近年の大規模サーベイ観測によって可視・紫外域で非常に明るく光る TDE(Optical/UV TDE) が報告され始めている。

典型的な Optical/UV TDE の特徴は、非常に高い光度 ($\sim 10^{44}$ erg/s)、 $\sim 10^4$ K の黒体温度、 $\sim 10^4$ km/s に対応する H・N・He の broad な輝線などがあげられる。これらの特徴は、X 線で明るい TDE で考えられている SMBH 周りに形成された降着円盤からの放射を直接観測しているという描像では説明できず、Optical/UV TDE の放射機構は謎のままである。近年では放射モデルの一つとして、破壊された星の残骸が wind のように放出され光球を形成するというモデルが議論されているが、そうしたモデルを実際の TDE へ適用した例はまだ少ない。

今回我々は、KU&Maeda(2020a) で考案した爆発的質量放出により突発天体を説明する 'Wind-Driven Model' を 21 個の Optical/UV TDE へ適用し、Optical/UV TDE の観測的特徴を説明することを試みた。その結果、TDE では peak 時に $\sim 10 M_{\odot}/\text{yr}$ を超える激しい質量放出が起きていることを示した。また、これまで提案された類似のモデルでも議論されている wind が放出される半径について、我々は TDE の典型的な半径の一つである self-interaction 半径 ($\sim 10^{14}$ cm) から wind が放出される可能性が高いことを示した。本講演ではこれらの結果を解説する。

[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](#)

W17a Super-Eddington 天体に対する dusty-gas の Hoyle-Lyttleton 降着:角度依存性と定常構造

尾形絵梨花, 大須賀健, 矢島秀伸 (筑波大学)

多数の恒星質量ブラックホール (BH) が X 線連星として発見されている。一方で、近年の観測により未発見の BH が星間空間中を単独で浮遊し存在している可能性が示唆されている。こうした単独の BH が星間ガスに突入すると、Hoyle-Lyttleton 過程で質量を獲得すると考えられる。しかしながら、BH 周囲に降着円盤が形成されると、輻射による力によって降着流の構造が変化する可能性がある。このような背景のもと、Fukue & Ioroi(1999) は BH が降着円盤を持つ場合の異方的な輻射力を考慮した Hoyle-Lyttleton 降着過程を調べた。この先行研究では光学的に薄く、ダストを含まないガスを想定していたが、BH が光学的に厚い dusty-gas に突入することも考えられる。

そこで本研究はダストによる減光効果を考慮した dusty-gas の Hoyle-Lyttleton 降着機構を調べる。具体的には、重力と BH 降着円盤が生成する異方的な輻射力を取り入れたガス粒子の運動方程式を 4 次の Runge-Kutta 法で解く。この際、輻射力がダスト吸収によって弱まる効果を考慮している。この結果、減光効果によって輻射力が減衰することで、dusty-gas に対する光度が Super-Eddington 以上であっても降着可能であることが分かった。さらに、ガス降着が不可能となるような極めて光度が大きい状況を除くと、BH に対して円盤の回転軸方向からガスが流入する場合は、他の方向から流入する場合と比較して最も大きな降着率になることがわかった。また、星間ガスに突入した BH 降着円盤が、定常状態に到達した場合の降着率および光度を求めた。講演では、予想される系の進化や観測的性質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](#)

W18a 巨大ブラックホール Sgr A* の強重力場での重力理論の選別

齊田浩見 (大同大), 西山正吾 (宮城教育大), 齋藤亮 (大同大学), 大神隆幸 (甲南大), 孝森洋介 (和歌山高専), 高橋真聡 (愛知教育大), 美濃和陽典 (NAOJ), 他すばるプロポーザル/科研費基盤 A, B 構成員

銀河系中心の巨大 BH を周回する星 S0-2 の測定を、すばる望遠鏡で続けている。この測定データにより、2018 年に、ニュートン重力は棄却できた。現在、測定データの精度の範囲で、一般相対論と他の重力理論の区別に制限をつけることを考えている。(補足: 一般相対論の代替理論は様々なものが提案されており、それらの選別を考えることが『重力理論の検証』である。銀河系中心における重力理論の検証は、2018 年に始まったばかりであり、現在進行中である。)

そこで、Parametrized Post-Newton (PPN) の方法を使って時空計量を構成し、PPN 係数を測定データとのベイズフィッティングで決めようとしている。決めるべきパラメータの数が多いので、ハミルトニアン・モンテカルロ法による尤度分布の計算を進めたい。PPN とう手法の紹介も含めて、この研究の途中経過を報告する。

[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](#)

W19a 一般相対論的輻射圧駆動ブラックホール風の再考

山本凌也, 福江純 (大阪教育大学)

定常球対称のもとで、一般相対論的な輻射圧駆動ブラックホール風について、理論的な解析を行った。輻射流体力学の輻射モーメント定式化ではクロージャー関係が必要になる。しばしばガスの温度と輻射の温度を等しいと近似する平衡拡散近似でモーメント式を閉じるが、熱パルスが光速を超えて伝わってしまうという物理的な問題が生じることが Thorne et al. (1981) で指摘されている。さらには、臨界点近傍に解が重なり、方程式が硬い状態となる結節点型の臨界点が現れる原因にもなる (Fukue 2014)。そこで本研究では、輻射温度とガス温度が異なる (輻射圧を独立変数とする) 非平衡拡散近似を仮定し、クロージャー関係としてエディントン近似を用いた。ただし、エディントン因子は $f = 1/3$ とする単純な形は相対論的領域で使えないので、運動する流体にも適用できるように提案された $f(\beta, \tau)$ で表される変動エディントン因子を導入した (Akizuki and Fukue 2008, 2009)。ここで、 β は光速で規格化した流速で、 τ は光学的厚みである。

いくつかの典型的なパラメータで臨界点解析を行った結果、鞍点型、結節点型、そして渦状点型の3種類の臨界点が現れることが分かった。そしてたとえば、遷音速半径-ベルヌーイ定数などのパラメータ空間で、3つタイプが綺麗に分離することも分かった。遷音速解の臨界点として最も相応しいのは鞍点型の臨界点で、ブラックホールの比較的近くに現れる。そして、典型的なパラメータで遷音速解を数値計算すると、ガスは比較的ブラックホールの近傍で一気に加速され、終端速度は光速の1割から3割程度にまで達することが分かった。また、終端での光度はエディントン光度に匹敵する。この一般相対論的輻射圧駆動ブラックホール風の結果は、多くの活動銀河核で観測されている超大質量ブラックホールから吹く超高速アウトフロー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](#)

W20a 回転駆動型パルサーからの角運動量放出について

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は中性子星の自転のエネルギーを解放することによって輝いている。当然の帰結として星は角運動量を失っており、星の角速度を Ω とすると、角運動量の解放率はエネルギーの解放率の $1/\Omega$ 倍に等しい。この角運動量・エネルギー関係は、系が矛盾なく解かれているときは自動的に満たされるので、とくに注意を払わなくても良い。しかし、中性子星磁気圏や内部構造は極めて複雑であるため、系全体を矛盾なく解くことは非常に難しい。どの理論も系の一部を取り扱い、与えられた境界条件の下で解くことになる。この場合は角運動量・エネルギー関係に注意を払う必要があるが、これまでの研究ではそれがなされてこなかった。

次の二つの従来のモデルで角運動量・エネルギー関係を考慮する必要があることを指摘する: (1) ポーラーキャップモデル (粒子加速、それに続く電子・陽電子対生成、電波放射がある) では、エネルギーのみを系外に放射するが角運動量をほとんど放出しない、(2) 磁気圏電流が中性子星内部で閉じて中性子星に減速トルクを与える機構を考えたモデルでは有限の電気抵抗を考えているが、ジュール発熱ではエネルギーのみを放出し角運動量を放出しない。本研究では、(1) の結果として、外部磁気圏で有効な光円柱が広がることによって角運動量放出率を高める機構が働き、システム全体として角運動量・エネルギー関係を満たすことを証明する。(2) については内部が早く回転する差動回転を生むことを示す。電気抵抗がゼロの時の星の内部の電流を計算するための新しいアルゴリズムを提唱し、簡単な数値解を示す。

[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](#)

W21a Mass-gap Mergers in Active Galactic Nuclei

Hirofumi Tagawa (Tohoku), Bence Kocsis (Oxford), Zoltan Haiman (Columbia), Imre Bartos (Florida), Kazuyuki Omukai (Tohoku), Johan Samsing (Niels Bohr)

The recently discovered gravitational wave sources GW190521 and GW190814 have shown evidence of BH mergers with masses and spins outside of the range expected from isolated stellar evolution. These merging objects could have experienced previous mergers. Such hierarchical mergers are predicted to be frequent in active galactic nuclei (AGN) disks, where binaries form and evolve efficiently by dynamical interactions and gaseous dissipation. Here we compare the properties of these observed events to the theoretical models of mergers in AGN disks, which are obtained by performing one-dimensional N-body simulations combined with semi-analytical prescriptions. The high BH masses in GW190521 are consistent with mergers of high-generation (high-g) BHs where the initial progenitor stars had a high metallicity, 2g BHs if the original progenitors were metal-poor, or 1g BHs that had gained mass via super-Eddington accretion. Other measured properties related to spin parameters and possible high eccentricity in GW190521 are also consistent with mergers in AGN disks. Furthermore, mergers in the lower-mass gap or those of low-mass ratio as found in GW190814 and GW190412 are also reproduced by mergers of 1g-2g or 1g-1g objects with significant accretion in AGN disks.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

W22a ULX としての Be 型大質量 X 線連星系

鷹野重之 (九州産業大学)

2014 年に Ultra-luminous X-ray source (ULX) からの 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, なぜ中性子星がエディントン限界光度以上の明るさで輝くのかについては明らかでなく, また中性子星の磁場強度やビーミングの度合いなどについても統一見解は得られていない. 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おり, またいくつかの PULX はスピン周期と軌道周期の関係を示すコルベット図上で Be 型の大質量 X 線連星系 (HMXB) と同じ領域に位置することがわかっている. このことから少なくとも一部の PULX は Be 型 HMXB の特殊な例であることが推測される. そこで, 本研究では, 連星進化コードと Be 型 HMXB の質量降着モデルを組み合わせることにより, Be 型 HMXB が ULX として観測される条件を探る. 中性子星磁場や Be 星円盤の密度などが一定の条件を満たせば, Be 型 HMXB は PULX となり得る可能性がある. 一方で観測される一部の PULX には Be 型ドナーでは説明できない連星パラメータを示すものもある. 現在はまだ PULX の観測例が少ないが, 将来的に観測例が増えることで, PULX の更なるサブカテゴリが見えてくる可能性を議論する.

[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](#)

W23a Synchrotron Boilers in Embryonic Neutron-Star Wind Nebulae

檜山和己 (東京大学)、Omand Conor (東京大学)、村瀬孔大 (Penn State)、浅野勝晃 (東京大学)

The rotation and magnetic energy of fast-spinning strongly-magnetized newborn neutron stars are a promising energy source of energetic transients including gamma-ray bursts, hypernovae, super-luminous supernovae (SLSNe), and fast radio bursts (FRBs). In general, these energies are extracted by a relativistic wind, shocking into the surrounding ejecta to form a wind nebula, which can be a smoking gun of the neutron-star central engines. Here we focus on the radio and submm emission from such a wind nebula with an age less than ~ 100 year. We calculate how the emission spectrum evolve with time depending on the history of injection, heating, and cooling of the parent electrons/positrons in the nebula. In particular, we clarify the importance of the synchrotron self-absorption heating or the so-called synchrotron boiler mechanism. We apply the model to the radio counterparts of SLSN PTF10hgi and FRB 121102, and discuss the implications.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

W24a Fast Radio Burst Breakouts from Magnetar Burst Fireballs

井岡邦仁 (京大基研)

高速電波バースト (FRB) は、その名の通り、ミリ秒程度しか輝かない電波のバーストで、宇宙論的な距離からやってくる。その起源やメカニズムはほとんど分かっておらず、謎の天体である。その放射の輝度温度は 10^{30} K を超え、極限的な物理状態が実現されていると考えられている。ミリ秒という短い時間からコンパクト星が関係している可能性が高く、バーストを繰り返すものに関しては、磁場の強い中性子星が有力な候補になっている。

最近、銀河系にあるマグネター (強磁性中性子星) SGR 1935+2154 から、短い X 線バーストと同時に MJy もの明るい電波バーストが発見された。これは、宇宙論的な FRB の起源の一つがマグネターであるという仮説の決定的な証拠である。我々は、 $T \gtrsim 30$ keV の高温の X 線バーストには火の球からの電子・陽電子 (e^\pm) アウトフローが伴い、FRB 放出の前にマグネターの磁気圏を汚染していることを示す。この e^\pm アウトフローは FRB 光子に対して不透明であり、X 線バーストによって強いコンプトンドラッグを受けている。それにもかかわらず、FRB が中性子星半径の数十倍より外で起これば、FRB 光子は放射力で e^\pm アウトフローを突き破る (ブレイクアウト) ことができる。このブレイクアウトの成否が、巨大フレア時に FRB が観測されない問題や、弱い FRB を持つ X 線バーストが存在しない問題の理由なのかもしれない。また、 e^\pm アウトフローは FRB が起こるために不可欠である可能性があり、なぜ高温の X 線バーストでしか FRB が発生しないのかという問題も解決する。ブレイクアウトの機構は、FRB の発光メカニズムや電磁波対応天体を制約する上で重要である。

[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](#)

W25a 重力波事象 S200224ca におけるすばる/HSC での追観測

大神隆幸, 富永望 (甲南大学), 吉田道利, 柳澤顕史 (国立天文台), 田中雅臣 (東北大学), 笹田真人 (広島大学), 諸隈智貴, 新納 悠, 鹿内みのり (東京大学), 内海洋輔 (スタンフォード大学), 伊藤亮介 (美星天文台), 森鼻久美子 (名古屋大学), 村田勝寛 (東京工業大学), 松林和也 (京都大学), 宝田拓也 (アストロバイオロジーセンター), 小野里宏樹 (兵庫県立大学), 関口雄一郎 (東邦大学), J-GEM Collaboration

中性子星連星合体による重力波事象 GW170817 に対して電磁波対応天体が同定されたことで、マルチメッセンジャー天文学の新しい扉が開いた。我々は J-GEM (Japanese Collaboration for Gravitational-Wave Electro-Magnetic Follow-up) を組織し、日本の国内外の可視・近赤外線望遠鏡での重力波源の即時追観測を行っている。その中でも視野 1.8 平方度のすばる望遠鏡 Hyper Suprime-Cam (HSC) は、10~100 平方度にも及ぶ重力波望遠鏡の位置決定精度に対して必要不可欠な広視野観測を実現する 8m 級望遠鏡唯一の装置として注目される。

我々は重力波干渉計の 3rd Observing Run (O3) で検出された計 56 事象の 1 つである S200224ca に対して、すばる望遠鏡/HSC を用いた対応天体の探査観測を 2020 年の 2 月 25 日、28 日および 3 月 23 日の計 3 回実施した。本重力波事象は 1575Mpc 離れたブラックホール連星合体に分類されており、その 90% 信用領域は 72 平方度と他の事象と比較しても小さく、すばる望遠鏡 HSC を用いた半夜の観測でそのほとんどを網羅することができる。最初の観測は重力波の検出から約 12.3 時間後に行われ、観測領域は 90% 信用領域の約 80% を覆う 57.8 平方度にわたる。また 3 月 23 日の画像を参考画像として画像減算を行うことで短期間の変動を示す突発天体を検出し、光度曲線をいくつかの超新星モデルとフィッティングすることで正体を調査した。本講演では重力波事象 S200224ca でのすばる望遠鏡/HSC の観測とデータ解析および光学対応天体の候補選出の結果を報告する。

[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](#)

W26a 可視光静穏時における矮新星の境界層の X 線観測

中庭望, 武尾舞, 鈴木瞳, 宮本明日香 (東京都立大学), 林多佳由 (GSFC, UMBC), 石田學, 前田良知 (ISAS), 榎戸輝揚, 木邑真理子 (理化学研究所), 山田真也 (立教大学)

矮新星は磁場の弱い白色矮星 (White Dwarf: WD) を主星に持つ激変星の一種である。WD の周りには伴星から輸送されたガスが降着円盤を形成し、円盤内で熱不安定が起こると急激にガスが降着、可視光領域で増光 (アウトバースト) する (Osaki 1996)。一方、円盤内縁と WD 表面間の境界層では、ケプラー回転するガスと自転する WD との速度差による強い摩擦で高温プラズマが生まれ、X 線を放射している。我々は天文衛星 XMM-Newton (XMM) で観測した 19 天体、全 25 データの静穏時の矮新星について X 線スペクトル解析を行った。静穏時の X 線スペクトルは光学的に薄い多温度プラズマモデルで再現できる。我々はこのモデルに円盤や WD 表面によるプラズマの反射成分を加えてスペクトルフィッティングを行い、WD への質量降着率とプラズマ最高温度を算出した。求めたパラメータと各天体の公転軌道周期 (P_{orb}) との関係調べた結果、激変星の周期ギャップ ($2 \text{ hr} \leq P_{\text{orb}} \leq 3 \text{ hr}$) より P_{orb} の短い矮新星では P_{orb} の長い矮新星よりも質量降着率、プラズマ最高温度ともに下がる傾向を示した。

また、XMM の他に、すざく衛星、NICER 衛星で静穏時を観測している U Gem 型矮新星 SS Cyg のデータを使い、境界層の振る舞いをアウトバースト後の経過日数という指標に対して評価した。多くの矮新星アウトバーストの数値シミュレーションでは (e.g., Lasota 2001)、静穏時の WD への質量降着率は時間経過とともに増加すると予測されているが、我々は静穏時の質量降着率が経過日数に対して減少する関係を見出した。この関係は SU UMa 型矮新星 VW Hyi でも観測されており (Nakaniwa et al. 2019)、降着円盤がアウトバーストまでガスを溜める間、白色矮星への質量降着は時間経過とともに減少するという描像を得た。

[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](#)

W27a マグネター 1E 1547.0–5408 のパルス位相変調における強いエネルギー依存性

牧島一夫 (東大 Kavli IPMU), 榎戸輝揚 (理研白眉), 米田浩基 (理研仁科), 小高裕和 (東大理)

我々はこれまで 4U 0142+61 [1], 1E 1547.0–5408 [2], および SGR 1900+14 [3] という 3 例のマグネターで、周期 P の硬 X 線パルスが、 $T \sim 10^4 P$ の長い周期で位相変調されるという、新しい現象を検出して来た。これは中性子星が、内部に潜む $\sim 10^{16}$ G のトロイダル磁場により縦長に変形し、自由歳差周期 ($= P$) と軸周り自転周期が微妙にずれ、それらのビートの長周期 T でパルスの到着時間が変調される結果と解釈される [1,2]。

2 例目の 1E 1547.0–5408 は $P = 2.07$ 秒の最速自転マグネターで、2009 年の X 線増光時に「すぎく」により、硬 X 線パルスの位相変調が $T = 36$ ks に発見され [2,4,5]、静穏状態に戻った 2016 年に行った *NuSTAR* の観測でこの T が追認されていた。今回その *NuSTAR* データの詳しい解析を通じ、以下の結果を得た [6]。(i) 個々の硬 X 線光子の到着時刻 t が $\delta t = A \sin(2\pi t/T - \psi)$ と変調されると考えた時、軟 X 線成分の卓越するエネルギー $E < 8$ keV では変調振幅が $A \sim 0$ 、硬 X 線成分が支配的な $E > 10$ keV では $A \sim 0.1P$ だった。(ii) $E \sim 22$ keV を中心に幅 ± 7 keV にわたり、振幅が $A \sim 0.25P$ まで共鳴的に増大した。(iii) 変調位相 ψ は $10 \sim 27$ keV の範囲で 60° ほど変化し、 $E > 27$ keV では ψ の符号が反転した。(iv) 変調周期 $T = 36$ ks はエネルギーによらず一定だった。(v) A と ψ にエネルギー依存性まで含め時刻補正 δt を計算した結果、 > 10 keV でパルス振幅が増大し、乱れていたパルス波形もエネルギーによらず良く揃った。このうち (ii) と (iii) は予期しない不思議な現象で、超強磁場における光子分裂過程や、陽子サイクロトロン共鳴の現われとして解釈できるかもしれない。

[1] Makishima, K. *et al.* 2019, *PASJ*, **71**, id.15 [2] Makishima, K. *et al.* 2016, *PASJ*, **68**, id.S12

[3] 牧島ほか日本天文学会 2019 秋の年会, W30a [4] 牧島ほか日本天文学会 2015 春の年会, J125a

[5] 牧島ほか日本天文学会 2015 秋の年会, J135a [6] Makishima, K. *et al.* 2020, *MNRAS*, submitted

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

W28a マイクロクエーサー SS433 からの高エネルギーガンマ線放射

木村成生 (東北大学), 村瀬孔大 (Penn State), Peter Meszaros (Penn State)

SS433 は銀河系内にあるマイクロクエーサーの一つであり、輝線のドップラーシフトの観測により歳差運動をしているジェットが存在が確認されている。ジェットは数十 pc スケールまで広がっており、広がったジェットには X 線で明るく輝くノットが点在している。2018 年、HAWC 実験が SS433 の X 線ノットから TeV ガンマ線の検出を報告し、複数の研究チームからフェルミ衛星による GeV ガンマ線の検出も報告されている。これまでは、ノットで加速された電子がシンクロトロン過程により X 線を放射し、同じ電子成分が宇宙マイクロ波背景放射を逆コンプトン散乱して TeV ガンマ線を説明するレプトンモデルが議論されてきた。一方、ガンマ線の放射領域は可視光で光っている密度の高いフィラメント構造とも重なっている。ジェット中で電子とともに陽子も加速されていた場合、陽子がフィラメントの物質と相互作用してパイ中間子を生成し、それが崩壊することで明るいガンマ線が生成される。我々はフィラメントの高密度領域を考慮に入れた上でハドロン起源のガンマ線放射を計算し、レプトンモデルとハドロンモデルのどちらの場合も現在の観測と無矛盾な結果が得られることを示した。SS433 の広がったジェットの構造は活動銀河核で観測されているジェットと類似性があるため、それを用いてハドロンモデルとレプトンモデルのどちらが尤もらしいかも議論する。

[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](#)

W29a 2018 outburst of black hole candidate: MAXI J1727–203

WANG Sili (Tokyo Tech), KAWAI Nobuyuki (Tokyo Tech), SHIDATSU Megumi (Ehime Univ), MURATA Katsuhiko (Tokyo Tech), HANAYAMA Hidekazu (NAOJ), HORIUCHI Takashi (NAOJ), MORIHANA Kumiko (Nagoya Univ)

We report on the X-ray spectral analysis and time evolution of MAXI J1727–203 based on NICER/XTI and MAXI/GSC observations. Over the course of the outburst, a state transition from low/hard to the high/soft state and then back to the low/hard state was seen, and a non-thermal component is always required to represent the hard tail in spectral fitting. During the high/soft state, the innermost radius estimated with the multi-color disk model remained constant at $\sim 132.2 \left(\frac{D}{10 \text{ kpc}}\right) \left(\frac{\cos i}{\cos 0^\circ}\right)^{-1/2}$ km, where D is the source distance and i is the inclination of observation. Assuming the central object is a Schwarzschild black hole and the inclination is $0^\circ - 60^\circ$, in combination with the empirical ratio between the transition luminosity to the Eddington luminosity, the black hole mass is constrained to be $4.0 M_\odot - 33.3 M_\odot$ for a distance of 2.3 – 13.1 kpc. From the fitting results of multi-wavelength spectra including near-infrared, optical and X-ray data, we discussed black hole mass and source distance assuming both accretion disk and companion star fill up their Roche lobe. A faint companion star is preferred suggested by the fact that PanSTARRS didn't observe it.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

W30a 「すざく」衛星のデータを用いたブラックホール連星 V4641 Sgr の X 線放射領域の研究

伊藤 穂乃花, 堂谷 忠靖 (JAXA 宇宙科学研究所, 東京工業大学)

X 線天文衛星「すざく」のアーカイブデータを用いた、銀河系内のマイクロクエーサー V4641 Sgr の X 線解析結果について報告する。我々の銀河系には、ブラックホールを含む X 線連星系が数十天体知られており、その多くが突発的に増光する transient 天体である。V4641 Sgr は 1999 年に発見された transient ブラックホール連星で、相対論的ジェットを伴うことからマイクロクエーサーと呼ばれている。

2014 年の増光時、「すざく」衛星は 3 月 25 日から約 3 日間にわたってこの天体を観測しており、観測期間中、factor 6 程度の光度変動が見られた。エネルギースペクトルの解析から、降着円盤からの放射が卓越しブラックホールのごく近傍まで降着円盤が延びていることがわかった。また 6.4-8.3keV 付近に非常に鋭く複雑なスペクトル構造が存在し、光電離プラズマからの鉄輝線等と考えられる。観測期間中の光度の違いにより輝線の構造も変化し、光度の高い時間帯では鉄の K α 線だけでなく K β 線あるいは Ni 輝線と考えられる構造が見つかっている。

これらの解析をもとに、X 線放射領域の構造や特徴について考察を行っ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](#)

W31a 食を用いた IW And 型矮新星のアウトバースト機構の検証

柴田真晃, 反保雄介, 小路口直冬, 若松恭行, 加藤太一, 野上大作 (京都大学), 木邑真理子 (理化学研究所)

矮新星は白色矮星 (主星) と低質量星 (伴星) からなる近接連星系であり, ロッシュローブを満たした伴星から輸送されたガスが主星の周囲に降着円盤を形成する。矮新星では準周期的に outburst が観測され, これは円盤が高温状態と低温状態を行き来する円盤不安定モデル (Osaki 1996) で説明されてきた。しかし, 近年, 減衰振動を伴う中間的な明るさの状態 (standstill) の後に減光せず outburst を起こす, 矮新星としては特異な挙動を示す天体が見つかっており, IW And 型矮新星と呼ばれている。現在この光度変動を説明するものとしては, 伴星からの質量輸送率が急激に増加するモデル (Hameury & Lasota 2014), 円盤光度が変動するモデル (Kato 2019, Kimura et al. 2020) の 2 つが考えられている。円盤半径の時間変化に注目することでモデルの判別ができる。

本研究では食を持つ IW And 型矮新星 AC Cancri の光度曲線解析を行った。AC Cancri は Kepler 衛星の K2 mission により集中した観測がなされており, その期間の食の時間変化を調べた。食のモデル計算を行った結果, 円盤半径が standstill 期間で次第に増加し, outburst 中は増加した後に減少することがわかった。これは質量輸送率の急激な変動では説明できず, 円盤光度が変動するモデルを支持する結果である。しかし, standstill 期間中に円盤半径が増加することは自明ではなく, 既知の円盤不安定モデルでは円盤半径の変化を正しく扱えていない可能性がある。本講演では, 上記の結果について報告し, IW And 型矮新星の理論モデルの検証も含めて議論する。

[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](#)

W32a 高速電波バーストの正体

橋本哲也 (NTHU), 後藤友嗣 (NTHU)

「高速電波バースト」が今天文学で大きな注目を集めている。高速電波バーストは天体が電波波長で突然明るくなる現象で, この電波信号は遠方の銀河からやってきている事がわかっている。ところが, 50 以上もの理論モデルが提唱されているにもかかわらず, その正体は明らかになっていない。高速電波バーストの正体を明らかにする事は天文学の大きな課題となっている。今年, マグネターと呼ばれる強力な磁場を持った中性子星が高速電波バーストを生み出している一例が報告されている。しかし, 現在見つかっている残り 100 以上の高速電波バーストについては, その正体は全く明らかになっていない。この問題を解決するために, 我々は独自の統計的手法を用いて高速電波バーストの起源を強く制限する事に初めて成功した。我々は, 一度しかバーストの起こらない「単発型」とバーストを繰り返す「リピート型」について, (単位時間あたりの) 数密度を宇宙年齢の関数として初めて計算した。単発型は過去 100 億年にわたってほぼ一定の数密度であり, この傾向は宇宙全体の星質量の平均密度の傾向とよく一致している事が明らかになった。これに対し, リピート型の数密度は 100 億年前には現在の値に比べ, およそ 10 倍も高く, 宇宙全体の星形成活動があるいは超巨大ブラックホールの活動性とリンクしている事が明らかになった。これらの結果は, 単発型が中性子星をはじめとする年齢の古い天体種族を起源としている事を示している。一方, リピート型はマグネターあるいは超巨大ブラックホールなどの「銀河の活動性」と結びついた年齢の若い天体種族を起源としている事を示している。我々のこの結果は, 銀河系内で発見されたマグネター由来のリピート型高速電波バーストの一例とも一致する。統計的に高速電波バーストの正体を強く制限したのはこの研究が初めてである。

[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](#)

W33a MAXI/GSC が検出した 2020 年度後半の突発現象 – ミニアウトバーストの検出 –

根来 均, 中島基樹 (日大), 芹野素子 (青学), 三原建弘 (理研), 岩切 渉 (中央大), 安達 稜, 河合誠之 (東工大), 小川翔司 (京大), 中平聡志 (JAXA), 松岡 勝 (理研) 他 MAXI チーム

全天 X 線監視装置 MAXI/GSC により、2020 年度後半に発見検出した突発現象について報告する。12 月 1 日現在までに新天体の発見はない。9 月 5 日にブラックホール候補天体 MAXI J1348-630 からの 5 もしくは 6 回目の数日続くミニアウトバーストを検出し (Negoro+ ATel 13994)、9 月 25 日には再帰型 X 線新星 RX J1709.5-2639 からの約 3 年ぶりのアウトバーストを検出した (Adachi+ ATel 14047)。10 月 8 日には、MAXI では 2 度目の検出となる、Aql X-1 からの 6 時間以上続くスーパーバーストを検出した (Iwakiri+ ATel 14079)。過去最大級の明るさとなった、ジャイアントアウトバースト中の Be/X 線連星パルサー A 0535+262 の最大光度前のハードネスレシオの変化を捉え、11 月 14 日に ATel に報告した (Nakajima+ ATel 14173)。これら以外に、X 線バーストや恒星フレアなどの 9 件の突発現象を MAXI メーリングリストを通じて速報した。

また、本期間に GRB 200903D (Ogawa+ GCN Circ. 28363) と GRB 201021B (Nakahira+ GCN Circ. 28726) の 2 つのガンマ線バーストを捉えた。これら 2 つの GRB は MAXI のみの検出である。

講演では、これらの突発現象に加え、3 月の講演までに MAXI が発見・検出した突発現象について報告する。また、MAXI J1348-630 以外の MAXI が発見した新天体でも検出されているアウトバースト後のミニアウトバーストの特徴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](#)

W34a 大質量 X 線連星 GX 301-2 における増光時の円盤降着の幾何構造

高橋弘充 (広島大学)、硬 X 線集光偏光計 X(L)-Calibur 気球実験チーム

大質量 X 線連星 GX 301-2 は、強磁場の中性子星と青色極超新星 BP Crucis からなり、41.5 日の軌道周期を持つ。中性子星は約 680 秒のパルサーであり、通常はスピン周期の変化率が小さく、星風降着が起こっていると考えられている。これまでの 20 年にわたる長期モニターから、近星点以外の位相において、近星点と同程度の X 線光度に増光することが数回観測されている。この軌道位相と相関のない増光時には、顕著なスピニアップが検出され、角運動量が中性子星に効率的に輸送されていることから、これは円盤降着に起因すると推定されている。

GX 301-2 は、2018 年 12 月末から 2019 年 1 月にかけて、硬 X 線集光偏光計 X-Calibur 気球実験による観測が計画されていたため (偏光観測については Abarr et al. 2020 参照)、X 線の光度変動をモニターするため、Swift 衛星と NICER 検出器により、1 日 1 回のポインティング観測が数 10 回実施された。この際、上記の「軌道位相と相関のない増光 ($> 10^{36}$ erg/s)」が偶然検出されている。Fermi 衛星 GBM 検出器のモニター観測により、スピン周期は 12 月末には 684 秒であったものが、3 月頭には 672 秒になり、約 60 日で 12 秒スピニアップした (ただし一定のスピニアップではなく、前半 30 日での変化が約 9 秒とより顕著である)。本講演では、各観測の X 線エネルギースペクトルの変化を調べ、偏光の観測結果との比較を行った。

増光初期と 1 桁暗い次の軌道周期におけるスペクトル比較では、吸収強度 (水素柱密度) が共に $2-3 \times 10^{23}$ cm⁻² と変化がないことが分かった。これは、降着円盤が X 線放射領域を隠すようなエッジオンではなく、円盤による追加の吸収成分は強くないため、と考えられる。この描像は、偏光観測 (今回は短時間だったため上限値しか求まっていない) において、ファンビーム型の放射を仮定した際に推定される幾何構造とも一致する。

[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](#)

W35b Magnetically Arrested Disk の発現条件に関する理論研究

高棹真介 (大阪大学), 檜山和己 (東京大学)

M87 のようなジェットを駆動する降着円盤では、円盤を貫く大局磁場が円盤構造を変えてしまうほど強いのではないかと考えられている。そのような円盤は Magnetically Arrested Disk (MAD) と呼ばれており (Narayan et al. 2003)、降着円盤中心で駆動されるジェットやフレアのような爆発現象を議論する上でよく土台にされている。近年、3次元磁気流体シミュレーションによる数値的研究が発展しており MAD の研究も進んでいる。しかし、MAD の発現条件や MAD が発現した時の円盤構造に関する理論的理解は乏しいのが現状である。理解を進めるには、MAD が発現する円盤最内縁部分が外側のより大きなスケールの円盤とどのように関連しているのかを明らかにする必要がある。この点を 3次元シミュレーションで幅広いパラメータ領域で調査することは困難であるため、MAD の解析的な理論が求められている。そこで我々は Takasao et al. (2019) で議論された 3次元磁気流体シミュレーションによる MAD の結果や他グループによる 3次元シミュレーションの結果を踏まえた上で、MAD の発現条件を半解析的に求める理論的枠組みを構築してきた。我々のモデルでは、外側の円盤構造を与えるとその中心部分で MAD が発現するのか、そして MAD が発現するときはどのような円盤構造を取るのかを予言するものになっている。たとえば、降着率と外側円盤の大局磁場に対するプラズマ β が与えられた時に、MAD が発現するかなどを議論することができる。我々のモデルは外側円盤と中心領域を磁束輸送によって関連づけている点で新しく、これによりスケール間接続が可能となっている。本講演では、理論的枠組みの概観や得られた円盤構造の基本的性質について概説する。

[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](#)

W36b 京都大学 3.8m せいめい望遠鏡による矮新星アウトバーストの初期分光観測

反保雄介, 磯貝桂介, 小路口直冬, 若松恭行, 田口健太, 加藤太一, 野上大作 (京都大学), 前原裕之 (国立天文台), 木邑真理子 (理化学研究所), VSNET Collaboration, VSOLJ Collaboration

矮新星は白色矮星と低質量星からなる連星系であり、白色矮星周りに降着円盤を形成している。この系では準周期的な増光現象 (アウトバースト) が観測されるが、これ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からとされる (円盤不安定モデル; Osaki 1996)。矮新星の中でも、アウトバースト頻度が 10 年以上に 1 回程度と低く、また、アウトバーストの増光幅の大きい天体は、WZ Sge 型矮新星と呼ばれる。WZ Sge 型矮新星のアウトバースト初期の分光観測では、He II 4686Å, C III/N III の Bowen Blend など高階電離輝線が観測されることがあり、特に He II の円盤内輝度分布とアウトバースト初期に見られる微小な光度周期変動の間に関係性があることが示唆されている (Baba et al. 2002)。

我々は、京都大学岡山天文台 3.8m せいめい望遠鏡を用いて、17 の矮新星アウトバーストの分光観測を行った。加えて、京都大学 40cm 望遠鏡及び、VSNET, VSOLJ Collaboration を通じて測光観測を行った。これらのうち 11 天体は測光観測から WZ Sge 型矮新星及びその候補天体であることがわかった。また、うち 11 天体は新規発見天体である。WZ Sge 型矮新星とその候補天体のうち、He II は 3 天体で検出された一方、十分な S/N で観測された 5 天体では、有意に観測されなかった。Bowen Blend についても 2 天体でその輝線が検出されたが、他の天体では有意に観測されず、WZ Sge 型矮新星であることと、これら高階電離輝線が観測されることに直接的な関係性は得られなかった。また、光度変化から見積もられる系の傾斜角と Balmer 線の状態を比較し、一般に傾斜角が大きいほど輝線が強く、Balmer 線の輝線/吸収線の状態が系の傾斜角に依存していることを確認した。

[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](#)

W37b 超臨界磁化中性子星降着流のアウトフロー；構造と起源の磁気圏半径依存性

井上壮大 (筑波大)、大須賀健 (筑波大)、高橋博之 (駒澤大)、朝比奈雄太 (筑波大)

近年、恒星質量ブラックホールの Eddington 光度 ($\sim 10^{39}$ erg/s) を超える光度を有する X 線パルサーが続々と発見されている (e.g. Bachetti et al. 2014)。これらの天体は超高光度 X 線パルサー (ULXP) と呼ばれ、その正体は中性子星だと考えられている。中性子星の質量は太陽と同程度なので、ULXP では超臨界降着現象 (Eddington 限界降着率を超えた現象) が実現されているはずである。

そこで我々は、一般相対論的輻射磁気流体力学シミュレーションコード (UWABAMI, Takahashi & Ohsuga 2017) を駆使し、中性子星周囲の超臨界降着流について調べている。2020 年秋季年会では、主に輻射圧によって発生するアウトフローの噴出角度が、磁気圏半径によって異なることを報告した。

本研究では、アウトフローの構造と発生源、およびそれらの磁気圏半径依存性を調査した。その結果磁気圏半径の大きなモデルでは、片方の磁軸方向により大きな質量降着が生じるためにその付近に降着柱が形成されること、そしてこの降着柱がアウトフローの主たる発生源となることがわかった。噴出ガスの一部はそのまま磁極方向に、残りは赤道面を横切って反対側に吹き出すことになる。後者は比較的大きな開口角のアウトフローとなる。一方、磁気圏半径が小さい場合、磁極だけでなく円盤内縁付近からも効果的にガスが吹き出すことがわかった。講演では、質量噴出率の角度依存性や、噴出ガスの角運動量分布、光球面の位置についても報告する。パルスの検出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](#)

W38a ショートガンマ線バーストジェットからの光球面放射の輻射輸送計算

伊藤裕貴 (理化学研究所), Oliver Just (GSI), 武井勇樹 (東京大学), 長瀧重博 (理化学研究所)

近年、重力波イベント GW170817 とガンマ線バースト GRB170817A が同定されたことによって、(少なくとも一部の) ショートガンマ線バーストの起源が連星中性子星合体であることが確実視されている。それに伴い、多くの研究グループによって連星中性子星合体エジェクタ中を伝搬し突き破る相対論的ジェットの流体シミュレーションが盛んに行われてきている。特にエジェクタとの衝突に起因するジェットの構造形成や、それが残光やキロノヴァに与える影響が精力的に調べられてきている。その一方で、合体後に中心に形成されると考えられる降着トーラスの影響や、プロンプト放射の研究はほとんど行われていない。

そこで本研究では、連星中性子星合体後に形成されるブラックホールとトーラス、及其の周囲に放出されるエジェクタ (ダイナミカルエジェクタとウィンドの二成分) を初期条件として採用し、中心から相対論的ジェットを注入する流体シミュレーションを行った。そして、その計算結果を背景流体とした輻射輸送計算を実行することによって、プロンプト放射期に放出されるジェットからの光球面放射を評価した。その結果、トーラスはジェットの時間変動や収束性に強く影響し、それが放射にも反映されることが明らかになった。また、我々の計算は GRB170817A のような特異で暗いガンマ線バーストは再現できない一方で、典型的なショートガンマ線バーストのスペクトルピークと光度の相関関係などとは大まかに整合することが分かった。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

W39a The role of the nuclear equation of state on Type-I X-ray burst models

土肥明 (九大理、理研)、西村信哉 (理研)、橋本正章 (九大理)、野田常雄 (久留米工大)

Near the surface of an accreting neutron star, the Type-I X-ray burst, which is the thermonuclear explosion induced by the unstable burning of light nuclei, is known to occur. More than 100 bursters have been observed so far (Galloway et al., 2020). The light curve is characterized by several parameters, e.g., recurrence time, peak luminosity, and burst duration. Many numerical simulations to examine their parameters have been performed (e.g., Woosley et al., 2004, Heger et al., 2007, Fisker et al., 2008, Meisel 2018, Meisel et al., 2019, Johnston et al., 2020), focusing on the effect of the nucleosynthesis (e.g., rp-process). However, these calculations only cover the accreted layer and the micro physical effects inside the neutron star such as the equation of state (EOS), neutrino Urca processes occurring in the core, are not considered.

In this presentation, we focus on the EOS dependence on X-ray burst light curves. The neutron-star EOS affects the parameters to characterize light curves mainly because the ignition condition of the H or He layer is determined through the surface gravity when considered in the simple plane-parallel model (Fujimoto et al. 1981). So, numerical simulations for the whole neutron star are needed to describe the light curves exactly. In this work, we calculate the burst light curves using a general relativistic evolutionary code (Fujimoto et al. 1984) with an adaptive nuclear reaction network with 88 nuclei. Based on the calculations, we will show the relationship between EOS and some characteristic parameters of light curves in outburst.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

W40a r-process 元素の崩壊熱の影響を考慮した中性子星連星合体における Fall-back accretion

石崎 渉, 井岡 邦仁 (京都大学 基礎物理学研究所), 木内 健太 (マックス・プランク重力物理学研究所, 京都大学 基礎物理学研究所), 和南城 伸也 (マックス・プランク重力物理学研究所, 理化学研究所)

連星中性子星合体からの重力波イベント GW170817 に同期して発見された kilonova の存在は、連星合体にともなう放出物質が r 過程元素の崩壊熱によって加熱されていることを強く示唆する。数値相対論を用いた連星中性子星合体のシミュレーションによると、放出物質の一部は依然重力的に束縛されていることが分かっている。つまり放出物質の一部は、しかるのちに合体後の星に向かって fallback accretion していく。標準的な fallback accretion の理論モデルでは、物質の有限温度効果が考慮されていないが、実際の連星中性子星合体では放射性元素の崩壊熱によって放出物質の温度は有限に保たれている。我々は、加熱の効果を考慮した球対称の相対論的流体力学の方程式を解くことで、r 過程元素の加熱が放出物質の fallback accretion にどのような影響を与えるのかを評価した。今回は、その結果とそこから得られる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](#)

W41a 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

冨田 沙羅 (東北大学 学際科学フロンティア研究所), 大平 豊 (東京大学)

ガンマ線バースト (GRB) 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、非一様な密度媒質中を伝播する相対論的衝撃波の磁気流体 (MHD) シミュレーションによると、磁場は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、GRB で生成される衝撃波は無衝突衝撃波であり、非熱的粒子も生成されるため、MHD 近似が十分満たされているかどうかは自明ではない。乱流ダイナモ機構が働く場合に、GRB 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。そのため、衝撃波下流で密度揺らぎが維持されるかどうか自明でない。本講演では、非一様密度分布をもつ磁化プラズマ中を伝播する相対論的無衝突衝撃波の Particle-in-Cell シミュレーションの結果を報告する。星間乱流で期待される典型的な密度揺らぎでは、粒子拡散が効くために、MHD 計算で見られる乱流ダイナモによる磁場増幅が起きないことがわかった。GRB 残光が示唆する乱流ダイナモを駆動するためには、典型的な星間空間とは異なる大きな振幅をもつ密度揺らぎが必要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](#)

W42a 最大質量・半径を適切に予言する中性子星 EoS の探査

渡邊 千夏 (埼玉理工)

中性子星は観測される天体の中で、最も高密度な物質でできている。物質の大半は中性子でできていると考えられている。平均質量は太陽質量の 1.4 倍程度であるが、その半径は 10~15km と非常に小さい。そのため、中心密度が (10^{15} g/cm³) にも達する超高密度状態になる。また、回転周期は最大で 1ms 程度と高速であると考えられている。中性子星の表面は中性子過剰の原子核や電子からなり、内部に進むにつれて原子核が融けて一様な物質になると考えられているが、その内部構造の詳細は未だに謎に包まれている。しかし、中性子星を半径が 10km 程度にも及ぶ巨大原子核と見ることもできる。そのため、中性子星を理解するうえで核物理の理解は不可欠である。2010 年に白色矮星との連星系を成している中性子星 PSR J1614-2230 の質量が $1.94 \pm 0.04 M_{\odot}$ と測定され、2013 年には中性子星 PSR J0348+0432 の質量が $2.01 \pm 0.04 M_{\odot}$ と測定された。さらに、2019 年には中性子星 MPS J0740+6620 の質量が $2.14^{+0.10}_{-0.09} M_{\odot}$ と測定され、太陽質量の 2 倍程度の質量をもつ中性子星の存在が確認されている。また、2017 年には連星中性子星合体の重力波イベント GW170817 の観測から中性子星平均質量 $1.4 M_{\odot}$ での半径 R_{NS} の上限が決まり、 $R_{NS} \leq 13.7$ km であるとわかった。このような非常に重い中性子星や平均質量での半径は、状態方程式 (Equation of State; EoS) に対して強い制限を与える。

本研究では、クォークの核を中心に持つ、ハイペロンを含む中性子星 (Hybrid star) を考えた。11 個の EoS に対して、Hybrid star の全質量と平均質量での半径を調べ、比較を行った。EoS に関しては、どちらも相対論的平均場を使用し、クォーク物質に関しては MIT Bag model を使用した。

[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](#)

W43a 連星中性子星からの放出物質の長期進化とキロノヴァ

川口恭平 (東京大学), 藤林翔 (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), 柴田大 (マックスプランク研究所), 田中雅臣 (東北大学)

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。その中でも赤外線～可視光域において明るく光る Kilonova という現象からは、連星合体の極限環境物理に迫ることができると期待されている。Kilonova の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 Kilonova 予測を目指す研究が盛んに行われるようになってきた。

しかし、これまでの Kilonova 予測研究の多くは、簡便化のためシミュレーションで得られた密度・元素組成分布を直接ではなく、単純な解析的モデルでフィットするなどして用いており、こうした取り扱いでは詳細な放出物質構造の情報が失われてしまっている。また、放出された物質はその形成後も、互いに衝突・圧力によって加減速するなどしてその密度構造を変化させうるが、異なる放出機構による成分間の相互作用を考慮した放出物質の長期的流体進化を調べ、光度曲線を予測に取り組んだ例はほとんどない。

本研究では、連星中性子星の数値相対論シミュレーション結果を元に多成分の放出物質の長期的流体進化を追う事で、Kilonova 時における密度、元素分布を明らかにし、これら連星合体から一貫した計算のもと光度曲線の予測を行った。本講演ではその結果と、得られた今後の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](#)

W44a 一般相対論的ボルツマン輻射輸送による超臨界降着流の輻射スペクトル計算

小川拓未 (筑波大学), 大須賀健 (筑波大学), 牧野芳弘, 嶺重慎 (京都大学)

光子 Boltzmann 方程式を直に解く一般相対論的 6 次元輻射輸送計算コードを開発し、輻射スペクトルや観測イメージといったブラックホールの観測的性質の解明を目指すのが本研究の目的である。特に、ブラックホール近傍には高温プラズマが存在するため、コンプトン散乱による輻射とガスの密接な相互作用が、観測的性質だけでなく、ガスダイナミクスにも影響を与える。多重コンプトン散乱を精緻に扱うことも本研究の特徴である。

現在、多くの研究で行われている輻射流体計算では Boltzmann 方程式を直接解くような方法ではなく、そのモーメント方程式を解く手法 (FLD 法や M1 法など) が採用されている。また、降着円盤の円盤風やジェットなどの高温アウトフロー領域において特に非常に重要になるコンプトン散乱も振動数依存性や方向依存性を仮定して近似的に解く手法が採用されている。これらの近似は必ずしも正確とは言えないにも関わらず、それらの妥当性の検証は未だになされていない。また、輻射の振動数依存性が考慮された輻射流体計算も未だ発展途上にあり、振動数依存性がガスのダイナミクスにどれほど影響を与えるのかということも不明瞭なままである。

そこで我々は、振動数依存性を考慮した一般相対論的輻射流体力学計算を実現するための第一歩として、Boltzmann 方程式に従って輻射を解き、かつ多重コンプトン散乱を解くことができる一般相対論的輻射輸送計算コードを開発した。本研究では、多重コンプトン散乱がより効きやすい超臨界降着流をターゲットに一般相対論的輻射流体計算で得られた円盤の物理場を背景に輻射輸送計算を行い、輻射スペクトルを計算した。その結果、観測角度が大きくなるにつれて輻射スペクトルがよりソフトになる傾向を確認した。さらに、フレア現象を模擬した計算により観測スペクトルの時間変化を計算し、一部の超高光度 X 線源に見られる時間変動との関連を議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

W45a The Post-Breakout Cocoon in Binary Neutron Star Mergers

Hamid Hamidani¹, and Kunihiro Ioka¹ ¹ Yukawa Institute for Theoretical Physics, Kyoto University, Kyoto 606-8502, Japan

We present 2D numerical simulations of jet propagation in the dynamical ejecta of Binary Neutron Star (BNS) mergers, similar to GW170817. We follow the jet dynamics for a relatively long period of ~ 10 s from its launch. We focus on the properties of the cocoon, from its breakout until the system becomes fully ballistic. One interesting finding is that in BNS mergers, a significant fraction of the cocoon (in terms of mass and energy) is trapped inside the dynamical ejecta. This is due to the fact that the surrounding medium is expanding at substantial velocity ($\sim 0.2 - 0.3c$). This is in contrast with the case of collapsars where the medium (stellar envelope of a massive star) is static, and most of the cocoon is able to breakout. We estimate the mass, energy and velocity of the cocoon that breaks out of the medium, both analytically and numerically. Finally, we estimate the cocoon's electromagnetic counterparts using a one-zone model.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

W46a 原子中性子星におけるミューオンとそのニュートリノシグナルに与える影響

杉浦健一 (早稲田大学), 山田章一 (早稲田大学)

原始中性子星は、大質量星が最期におこす重力崩壊型超新星爆発の後に中心部に形成され、大量のニュートリノを放出しながら冷えていき、中性子星へと進化していく。そのため超新星ニュートリノは原子中性子星内部の物質の状態を探る手がかりを与えると期待される。

超新星シミュレーションにおいては、ミューオンの存在は、その質量 ($m_\mu \sim 106$ MeV) が超新星の典型的な温度 (高々数 10 MeV) を大きく上回るために無視されてきた。しかしながら、最終生成天体である中性子星内部にはミューオンが存在することは古くから知られており、また近年、超新星爆発におけるコアバウンス直後からコア内部にミューオンが生成され、爆発に寄与を与える可能性が議論されている。

そこで本研究では、ミューオンの関わるニュートリノ-物質反応を様々な温度、密度に対して計算し、数十秒にわたるタイムスケールの原始中性子星冷却において、寄与を及ぼす反応を詳細に調べた。また、これらの新たに加わった反応がニュートリノシグナルに与える影響についても議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

W47a Binary Black Boles from First Stars: Dependence on Initial Conditions and Stellar Models

Ataru Tanikawa¹, Hajime Susa², Takashi Yoshida¹, Alessandro A. Trani¹, Tomoya Kinugawa¹, Kotaro Hijikawa¹, Hideyuki Umeda¹ (¹U. Tokyo, ²Konan U.)

Recently, mergers of binary black holes (BH-BHs) have been discovered by gravitational wave (GW) observations. However, the origins of these BH-BHs have been under debate. One of promising candidates is massive star binaries. First star binaries are also promising, since they tend to form BH-BHs with $30M_{\odot}$ BHs frequently observed by GW observations.

We examine the dependence of first star BH-BHs on initial conditions and stellar models. We adopt 10 and $200R_{\odot}$ for initial minimum pericenter distances (a_{\min}), and 0.0 and 0.9 for initial minimum mass ratios (q_{\min}). We also investigate stellar models with and without stellar winds and supernova kicks, and stellar models with large and small convective overshooting. The fiducial model has $a_{\min} = 10R_{\odot}$, $q_{\min} = 0.0$, no stellar wind nor supernova kick, and the larger convective overshooting. In the fiducial model, the current merger rate density is $0.1 \text{ yr}^{-1} \text{ Gpc}^{-3}$. The merger rate density weakly depends on initial conditions and stellar models. However, BH mass distributions are largely changed. If we adopt $a_{\min} = 200R_{\odot}$, the presence of stellar winds, or the smaller convective overshooting, first star binaries are hard to form $30M_{\odot}$ BHs. Moreover, if we choose the smaller convective overshooting, we find first star binaries can easily form GW 190521-like BH-BHs, which should be hard to form due to pair instability supernovae.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

W48a SS433 ジェット先端領域における宇宙線粒子加速の可能性

酒見はる香, 大前陸人, 大村匠 (九州大学), 町田真美 (国立天文台)

X 線連星ジェットは銀河系内の宇宙線粒子加速源の 1 つと考えられている。理論研究により、ジェット内に形成される衝撃波で宇宙線粒子を 10^{17} eV 程度まで加速できると示唆されている。これは銀河系内の主要な加速源と考えられている超新星残骸で加速可能な最高エネルギー $10^{15.5}$ eV を上回る。銀河系外起源の宇宙線エネルギーは 10^{18} eV 以上と考えられており、X 線連星ジェットは、超新星残骸と系外天体で加速される宇宙線の間のエネルギー帯を説明する加速源として注目されている。そこで、X 線連星ジェットが加速しうるエネルギーを観測的に明らかにする必要がある。

近年、銀河系内で最も活発な X 線連星ジェット天体であるマイクロクエーサー SS433 からの TeV ガンマ線検出が報告されている。この観測から、SS433 ジェットにより高い効率で宇宙線粒子加速が起こっていることが確認された。また電波観測では、SS433 を取り囲む電波星雲 W50 の東端領域に、ジェットの先端衝撃波と関連があると考えられるフィラメント状の構造が確認されている。SS433 ジェットの先端で衝撃波加速によって宇宙線粒子が加速されると仮定すると、先端衝撃波付近の磁場強度とジェット流速速度を明らかにすることで、加速可能な最高エネルギーを推定することができる。そこで我々は、SS433 ジェット先端領域の電波帯域のシンクロトロン放射強度から、フィラメント構造の磁場強度が $30 \mu\text{G}$ 以上と見積もった。さらにフィラメント構造の位置が 33 年間でほとんど変化しないことから、進行速度上限が $0.023 c$ であることを明らかにした。これらの結果に基づき、ジェット噴出源に比べて十分にジェットが減速している先端領域でも、宇宙線を 10^{16} eV 以上まで加速可能であることを示した。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](#)

W49a *Swift*/XRT の X 線残光の光度曲線を用いた FRB 対応天体の探査

盛 顯捷, 坂本 貴紀, 芹野 素子 (青学大)

近年、Fast Radio Bursts (FRB) という継続時間が数ミリ秒程度で主に電波領域で放射する突発天体现象が発見されている。FRB の起源としては、大質量中性子星がブラックホールに崩壊する時に発生するモデル (Falcke & Rezzolla 2013) や、マグネター電波フレアによる説など様々あるが、発生機構や起源は未だに不明である。

Zhang (2014) が提示した FRB モデルでは、大質量中性子星が誕生したと同時に Gamma-ray Bursts (GRB) が発生し、その 100 s~1000 s 後につぶれてブラックホールとなるが、その時 FRB が発生し、GRB の X 線残光にその兆候が見られるはずであると主張している。このモデルでは、X 線残光光度曲線の緩慢減衰期の後に t^{-3} から t^{-9} で急激に強度が下がると考えられている。

我々はそこに着目し、*Swift* XRT の X 線残光から、緩慢減衰期の後に急激に減衰する光度曲線を探し出し、更にその急速な減光が起こった時刻と、既知の FRB の発生時刻と位置を照合する事で、このモデルと一致した FRB の発見及び GRB と FRB の関連性の解明を目標にしている。

現在、*Swift* XRT の GRB カタログには約 1300 個ほどの X 線残光の光度曲線データがある。目標とする光度曲線を探し出すために、全ての光度曲線の折れ曲がりの数および減衰する冪を判別基準として 11 種類に分類した。その 11 種類の光度曲線から、*Swift* 衛星チームの自動解析の結果を参考に、全部で 22 個の候補を選定した。また、選定した光度曲線を緩い減衰から急激な減衰に折れ曲がる冪関数でフィッティングを行い、折れ曲がりの時刻と FRB の発生時刻との相関を調べた。本講演ではこれらの解析結果を発表し、GRB と FRB の関連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](#)

W50a NICER による単独中性子星 RX J1856.5–3754 の解析

米山友景, 林田清, 野田博文, 松本浩典

X 線単独中性子星 (X-ray Isolated Neutron Star; XINS) は、軟 X 線帯域における熱的放射が支配的な中性子星種族である。電波放射を伴わないことが特徴で、1990 年代に ROSAT によって 7 天体が発見されている。従来、その X 線スペクトルは単温度の黒体放射と幅の広い吸収線で再現できるとされてきた。しかし近年、大統計の解析によって全天体のスペクトルが 2 温度の黒体放射成分を持つことが明らかとなり、中性子星表面の温度勾配が確認された (Yoneyama et al., PASJ, 2017, 2019)。また、連続成分と強く相関する吸収線についても、2 温度目の成分の存在によって従来の結果から変わり、幅と深さが中性子星磁場と相関していることが明らかとなった (米山他, 2020 年秋季年会)。RX J1856.5–3754 (J1856) は、XINS の中でも最も明るく、近傍 (~ 120 pc) の天体である。ROSAT 以来、伝統的に軟 X 線観測装置の較正天体として複数の X 線天文衛星で観測されてきたが、XINS 中で唯一吸収線が発見されていないことが特徴の一つである (Burwitz et al. 2003, Hohle et al. 2012 他)。

本発表では、国際宇宙ステーション搭載の Neutron Star Interior Composition Explorer (NICER) による J1856 の観測結果を報告する。スペクトル解析においては、従来の観測と同様の連続成分を得た他、270 eV 付近に幅 30 eV 以下、等価幅 8 eV の吸収線を検出した。この吸収線について、NICER の較正の不定性を考慮した解析を行ったが、有意度は 4.7σ 以上であった。これを受け、Yoneyama et al. 2019 で使用した XMM-Newton のデータについても再解析を行ったところ、同様の吸収線が有意度 4σ で検出された。タイミング解析においては、従来の周期 ~ 7.055 s と周期変化率 $\sim 3 \times 10^{-14}$ s s $^{-1}$ を確認した。しかし、波形解析からその倍の ~ 14.11 s が真の周期である可能性が示唆された。これ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](#)

W51a 矮小銀河 IZw18 に存在する超高光度 X 線源の長期変動

善本真梨那, 林田清, 古市拓巳, 米山友景, 野田博文, 松本浩典 (大阪大学)

青色コンパクト矮小銀河 (Blue Compact Dwarf galaxy; BCD) は活発な星形成状態にある矮小銀河で、重元素比が非常に低いという特徴をもつ。我々は近傍の代表的な BCD である VII Zw403 (重元素比 1/22-1/15) と IZw18 (重元素比 1/50) に着目し、それぞれに存在する X 線源のスペクトルとその長期変動を調査した (2019 年春季年会 古市講演)。いずれも超高光度 X 線源 (Ultra-Luminous X-ray source; ULX) の基準となる $10^{39} \text{ erg s}^{-1}$ を超える光度に達しており、X 線スペクトル変動を既知のブラックホール (BH) 連星系のスペクトル遷移と比較することで VII Zw403 の ULX は $20 M_{\odot}$ の BH, IZw18 の ULX は $60\text{--}200 M_{\odot}$ の BH と推測した。それぞれの銀河の質量は 10^7 程度と小さく、スターバースト銀河 M82 を基準としても、星形成率で規格化した ULX 出現頻度は 20-100 倍高い。重元素比の低い環境下では恒星質量 BH の質量上限値が上昇することが示唆されており (e.g. Belczynski et al. 2010)、ULX の起源と関連して重要な結果である。

本講演では IZw18 に関してさらに解析をすすめる。2019 年講演では Chandra 衛星による 2000 年の観測, XMM-Newton 衛星による 2002 年の 2 回の観測, Suzaku 衛星による 2014 年の 2 回の観測のデータを解析していた。IZw18 は ROSAT/PSPC, HRI によっても 1992 年, 1997 年に観測されている。Martin (1996) では前者のデータに関して広がった放射を想定した結果を報告しているが、我々は ULX としてスペクトルフィットを行い、強度に制限をつける。また、今回 Suzaku 衛星のデータにおいて X 線源の位置を視野内の他の天体を基準に校正し、Chandra, XMM-Newton 衛星が観測した天体と矛盾のない位置であることを確認した。この点も考慮してスペクトル抽出領域を最適化し、再解析を行った結果をまとめて報告する。

[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](#)

W52a 電波望遠鏡 CHIME によるショートガンマ線バーストからの残光の観測可能性

鹿内みのり (東京大学), Kipp Cannon (東京大学), Haoxiang Lin (東京大学), 戸谷友則 (東京大学)

ショートガンマ線バーストとは、2 秒以内という短時間で高エネルギーを放出する爆発現象である。相対論的ジェットをエネルギー源としており、即時放射には指向性がある。相対論的ジェットが周辺物質と相互作用することで、次第にジェットは開口角を保てなくなり、ほぼ等方的にシンクロトロン放射が起こる。これが残光として観測されることがある。これまでに観測されている残光は、即時放射が観測された後の追観測によって観測されたものである。観測者がジェットの開口角よりも外側にいる場合には、即時放射は観測できないが、残光のみ観測できる可能性がある。このような残光を「親なし残光」という。親なし残光を検出することができれば、ショートガンマ線バーストからの残光の観測数を数百から数千倍に増やすと理論的に予想されている (Feng+2014)。

本研究では、電波望遠鏡 CHIME で残光観測を行うために、これまでに観測されているショートガンマ線バーストからの残光から予想されるパラメータ分布 (Fong+2015) と残光の光度曲線の解析解 (Lin+2019) を用いて理論曲線を計算し、観測可能性を見積もった。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

W53a Binary model による FRB121102 の周期性の解釈

和田知己, 井岡邦仁 (京大基研), Bing Zhang (UNLV)

高速電波バースト (FRB) とは電波でミリ秒のタイムスケールで輝く突発天体であり、その起源やメカニズムはわかっていない。FRB の中には、複数回のバーストが観測されている repeating FRB と、単発のバーストのみ観測されている non-repeating FRB の 2 種族が存在する。さらに、repeating FRB のうち FRB180916 と FRB121102 の 2 天体については、繰り返すバーストに周期性が報告されている。FRB180916 は 16 日の周期性をもち、16 日のうち 5 日の間のみバーストが観測されている。同様に FRB121102 は 159 日の周期性が報告されており、そのうちの 75 日の間バーストが観測されている。

FRB180916 の周期を説明するモデルの一つに binary comb model (Ioka and Zhang 2020) がある。このモデルでは、FRB のソースとしてパルサーを含む連星系を考える。FRB は連星中のパルサーから放出されるが、この FRB はコンパニオンの星風による誘導散乱に対して光学的に厚いため我々には観測できない。FRB を放出するパルサーのパルサー風により、コンパニオンの星風に穴が開くと、その穴を通ってきた FRB を我々は観測することができる。FRB180916 の 16 日の周期は連星の軌道周期で説明され、5 日間の FRB が観測可能な期間はパルサーの開ける穴の大きさで説明される。本講演では、この binary comb model を FRB121102 に適用し、期待される連星のパラメータ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](#)

W54a Fast collective neutrino oscillations in core-collapse supernovae and neutron star mergers

Milad Delfan Azari, Shoichi Yamada and Kohsuke Sumiyoshi

Neutrinos (ν 's) are copiously generated in supernova explosions and neutron star mergers. In supernovae, neutrinos are the key players as almost all of the energy released by the gravitational collapse of a massive star is emitted in the form of neutrinos and the kinetic energy of ejected materials in the explosion is only about one percent of the neutrino energy. In neutron star mergers, similar to the supernova explosions, neutrinos play an important role as they dominate the cooling of the merger remnants. They may change the composition of the ejecta, which may have an impact on the nucleosynthesis in that region.

In this presentation, I will report my latest results on the occurrence of fast neutrino oscillations by performing a thorough survey of the electron lepton number (ELN) crossing in our realistic Boltzmann simulations in two spatial dimensions under axisymmetry for the existence of the crossings between electron-type neutrino (ν_e) and anti-electron neutrino ($\bar{\nu}_e$) angular distributions, or the ELN crossing for both cases; core-collapse supernovae and neutron star mergers.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

W55a ブラックホール・中性子星連星合体におけるエネルギー・角運動量相空間上の物質分布

林航大 (京都大学), 川口恭平 (東京大学), 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)

ブラックホール・中性子星連星の合体は連星中性子星や連星ブラックホールと並んで、地上重力波検出器の主なターゲットである。また、ブラックホール・中性子星連星は合体に伴う物質放出や降着円盤の形成に起因する電磁波対応天体によって観測されることも期待される。

本研究では 2-5 太陽質量を持つ低質量ブラックホールと典型的な中性子星との連星系について数値相対論シミュレーションを行い合体現象のダイナミクスを調べた。具体的には、中性子星を構成する物質の合体における振る舞いを、エネルギー・角運動量相空間上での分布に注目して解析した。その結果、合体直後の物質は合体開始時の連星の軌道角速度で決定される軌道半径から動径方向初速度ゼロで合体後のブラックホール時空上を測地線に沿って運動すると仮定することでモデル化できることがわかった。また、合体後に形成される降着円盤について、ブラックホールの質量が大きい場合は大部分が圧力と回転によって支えられることが、ブラックホールの質量が小さい場合は回転のみによって支えられる部分と圧力と回転によって支えられる部分が存在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](#)

W56a 散開星団起源連星ブラックホールの有効スピンパラメータ分布

熊本淳, 藤井通子, 谷川衝 (東京大学)

近年、LIGO と Virgo による重力波イベントの検出が続いている。これまでの観測期間 O1、O2 では連星ブラックホール合体起源と思われる重力波が 10 イベント検出されていた。2019 年から行われていた O3 の結果の一部が公開され、これまでに検出された連星ブラックホールの合体イベントの数は約 50 個まで増加した。これらの結果により今まで以上に詳細な統計的研究が行われ、近傍宇宙における連星ブラックホールの合体率や質量分布等が推定されている。さらに、連星ブラックホールの観測から得られるパラメータの一つに有効スピンパラメータ χ_{eff} がある。連星ブラックホールの有効スピンパラメータの分布についても推定が行われており、 $\chi_{\text{eff}} \sim 0$ 付近に小さな正負の値を持って分布していることが予想されている。このようなスピン分布の理解が連星ブラックホールの起源を考える上で重要な要素の一つとなる。

我々はこれまでの研究において、散開星団における連星ブラックホール形成について研究を行って来た。金属量が異なる散開星団について、重力 N 体シミュレーションコード NBODY6++GPU を用いて計算を行い、銀河の金属量進化史を考慮することで、近傍での合体率への寄与を推定した。そこで、これらシミュレーションから得られた散開星団起源の連星ブラックホールは観測から推定されるスピン分布を説明しうるか解析を行った。シミュレーション内で形成される連星について、連星の軌道長半径、星の質量、半径を用いて common envelope 後の Wolf-Rayet がブラックホールに進化するまでに伴星からの潮汐力によりどの程度スピンアップするかを計算し、最終的な連星ブラックホールの有効スピンパラメータの分布を見積もった。本講演では、これらの結果と観測結果の比較を行い、連星ブラックホール形成における散開星団の寄与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](#)

W57a 中性子過剰ウラン同位体の核分裂が r プロセス元素合成に与える影響

西村 信哉 (理化学研究所), 奥林 瑞貴 (近畿大学), 田中 翔也 (近畿大学/JAEA), 有友 嘉浩 (近畿大学)

r プロセス元素合成では、速い中性子捕獲により元素合成の「経路」が安定核から遠く離れた中性子過剰過剰領域に達し、質量数が 200 を大きく越える原子核が生成される。r プロセスによって生成されうる超ウラン元素は核分裂を起こすことが知られており、場合によっては、r プロセス時の中性子捕獲や β 崩壊などよりも核分裂による崩壊のタイムスケールが速い。従って、r プロセスにおいては、核分裂の性質を決めることが、ウランを超える領域での元素合成の振る舞いや元素合成の終点を決める上で重要である。また最近では、中性子星合体に伴うキロノヴァについても核分裂による崩壊熱の影響が大きいという指摘もある。さらに、分裂後の生成物が元素組成に与える影響も大きく、 $A \sim 120$ の前後、r プロセスの $N = 82$ 対応ピーク (第 2 ピーク) 周辺の元素分布も核分裂の不定性が無視できない。

本研究では、ランジュバン法による動力学模型を用いた新しい核分裂計算を用いて r プロセスへの影響を調べる。これまでのところ、実験で得られる核分裂のデータは原子核の β 安定核線上から大きく離れたものがなく、r プロセス計算においてはほとんど理論予言値に依拠している。我々は、従来よりもより現実的な核分裂の動力学計算の枠組みで、新たに U から Fm 付近の中性子過剰同位体についての計算を行った。これまで測定されている分裂の実験値をよく再現した上で、さらにそれぞれの元素に対して、理論的に予言されている「非対称分裂から対称分裂の遷移」もみられた。本研究では、新たに計算で得られた核分裂分布が r プロセスに与える影響を元素合成ネットワーク計算に基づいて議論する。

[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](#)

X01a HSC-SSP による銀河 SED 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)

銀河のスペクトルエネルギー分布 (SED) を種族合成モデルと比較することによって、銀河の年齢や銀河内の星種族、ダスト吸収量について推定することができる。銀河の SED を調べる最も良い方法は分光観測であるが、分光観測ができる銀河は明るいものに限られる。一方、撮像観測では SED の波長分解能は悪いものの、広い波長かつ赤方偏移到わたって多くの銀河を統計的に調べることができる。そこで、本研究では様々な銀河種族に対して測光データを用いて SED を構築し、その時間変化から銀河の星形成史をさぐることを目標とする。HSC-SSP の測光データと COSMOS2020 カタログの高精度な赤方偏移を使い、広い赤方偏移レンジにおいて比星形成率や星質量が異なる様々な銀河種族の SED を作成した。具体的には、ある狭い赤方偏移レンジにある銀河を選択し、それらについて観測波長から静止波長に変換し、各銀河の広帯域測光と狭帯域測光の両方を規格化することで、各種族に対して連続的な平均 SED を作成している。その結果、赤方偏移が大きい集団ほど全体的に青い SED を示し、また、星質量が大きい集団ほど赤い SED を示すことが分かった。さらに、星形成銀河の SED は分散が大きいが、一方 quiescent 銀河の SED は分散が少なくどれも似たような SED をしていることが明らかになった。作成した SED に対して Prospector というコードを用いて SED fitting を行い、銀河の年齢やダストの減光量、金属量などの物理量も測定している。講演ではその結果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](#)

X02a Galaxy SED Fitting using Nonparametric Star Formation History Model

Shuo Huang (UTokyo/NAOJ), Ryohei Kawabe (NAOJ), Bunyo Hatsukade, Kotaro Kohno (UTokyo), Hideki Umehata (RIKEN)

Spectral energy distribution (SED) modeling is a powerful tool for deriving stellar masses of galaxies. However, recent studies suggest the inferred stellar masses are sensitive to assumption of star formation history (SFH). We report results of implementing the nonparametric SFH model (Leja et al. 2019) in CIGALE SED fitting code (Boquien et al. 2019) and tests of the model. Tests using mock observations show that input SFHs are reasonably well recovered by using a fixed parameter grid which is common in traditional SED fitting codes. The inferred stellar masses are systematically lower than the true values due to underestimation of the contribution from oldest stars in the posterior. To study the missing stellar mass problem, especially in dusty star-forming galaxies, we fit catalog of 90 EAGLE mock galaxies (Camps et al. 2018) with $850\mu\text{m flux} > 1\text{mJy}$, $z > 0.5$ and median $\text{SFR} = 71 M_{\odot} \text{yr}^{-1}$ and pixel-by-pixel photometric catalog at 0.3 arcsec resolution of 9 ALMA 1.2 mm-selected galaxies with median $\text{SFR} = 288 M_{\odot} \text{yr}^{-1}$ in the ASAGAO survey. The underestimation of stellar mass are on average 0.43dex for EAGLE mock galaxies and 0.11dex for ASAGAO galaxies, and the relation between specific star formation rate (sSFR) and missing stellar mass is similar to Sorba et al. 2018 results of galaxies detected in Hubble eXtreme Deep Field. With current results we are unable to determine the sSFR-missing mass relation of dusty star-forming galaxies due to lack of high resolution mid-infrared 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](#)

X03a Star Formation Rate Function at $z \sim 4.5$ from Rest FUV to Optical

浅田喜久, 太田耕司 (京都大学)

星形成率関数 (SFRF) は銀河の形成進化を知る上で極めて重要な物理量である。特に高赤方偏移の宇宙において SFRF を正しく知ることは、その時代の星形成率密度を見積もるだけでなくその時代の銀河の典型的性質を理解することにつながる。高赤方偏移 $z \gtrsim 4-5$ においては、銀河の星形成率や星形成率密度 (SFRD) の推定は静止座標系 (rest) で可視光 (optical) での観測が非常に困難であるため、遠紫外線 (FUV) 光度を用いた方法がほとんどで、これに対してダスト減光の補正をやはり FUV でのスペクトルの傾きから評価するなどして SFRF や SFRD を推定している。しかし、Spitzer IRAC による深い撮像データが得られた領域では rest FUV から optical までの測光データを含めた解析を行って推定する方法も試みられつつある。FUV のみの情報から求める SFRF については incompleteness を統計的に補正するなどして求められているが、rest FUV から optical までのデータを含めた解析では統計的補正を行った SFRF は未だにないと思われる。

そこで本研究では CANDELS GOODS-S のアーカイブデータを用いて $z \sim 4.5$ の銀河の rest FUV から optical の測光データに対して SED fit を行い、incompleteness を統計的に補正した SFRF を構築した。その結果、rest FUV のみから求めた SFRF と比較して SFR が大きな銀河が多く存在することがわかった。さらに SFRD は Madau & Dickinson (2014) での値に対しておよそ ~ 0.2 dex 程度大きくなった。この原因として、SFR が大きな銀河からの寄与が効いていることがわかった。講演では、この結果の信頼性を確認する為に行った 2 成分モデルなどのテストも含めて紹介する予定である。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

X04a Search for Optically Dark Infrared Galaxies without Counterparts of Subaru Hyper Suprime-Cam in the AKARI North Ecliptic Pole Wide Survey Field

Yoshiki Toba (Kyoto Univ.), Tomotsugu Goto (NTHU), Nagisa Oi (Tokyo Univ. of Science), Ting-Wen Wang, Seong Jin Kim, Simon C.-C. Ho (NTHU), and the AKARI-NEP team

We present the physical properties of AKARI sources without optical counterparts in optical images from the Hyper Suprime-Cam (HSC) on the Subaru telescope. Using the AKARI infrared (IR) source catalog and HSC optical catalog, we select 583 objects that do not have HSC counterparts in the AKARI North Ecliptic Pole wide survey field ($\sim 5 \text{ deg}^2$). Because the HSC limiting magnitude is deep ($g_{AB} \sim 28.6$), these are good candidates for extremely red star-forming galaxies (SFGs) and/or active galactic nuclei (AGNs), possibly at high redshifts. We compile multi-wavelength data out to $500 \mu\text{m}$ and use them for fitting the spectral energy distribution with CIGALE to investigate the physical properties of AKARI galaxies without optical counterparts. We also compare their physical quantities with AKARI mid-IR selected galaxies with HSC counterparts. The estimated redshifts of AKARI objects without HSC counterparts range up to $z \sim 4$, significantly higher than for AKARI objects with HSC counterparts. We find that (i) $3.6 - 4.5 \mu\text{m}$ color, (ii) AGN luminosity, (iii) stellar mass, (iv) star formation rate, and (v) V-band dust attenuation in the interstellar medium of AKARI objects without HSC counterparts are systematically larger than those of AKARI objects with counterparts. These results suggest that our sample includes luminous, heavily dust-obscured SFGs/AGNs at $z \sim 1-4$ that are missed by previous optical surveys (Toba et al. 2020c, ApJ, 899, 35).

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

X05a 分光データに基づく最遠方低光度クエーサーの種族推定

高橋歩美, 松岡良樹 (愛媛大学), and the SHELLQs collaboration

宇宙に存在する天体の中で恒常的に最も明るい種族であるクエーサーは、宇宙誕生から現在に至るまで数多く発見されてきた。現代においては $z \geq 5$ のクエーサーは珍しい存在となりつつある。しかし、クエーサー中心に潜む超巨大ブラックホールがそのような短いタイムスケールでどのようにして膨大な質量を獲得していったのかは注目され続けている問題の一つである。すばる望遠鏡の Hyper Prime-Cam (HSC) を利用した最遠方・低光度クエーサーを探査する SHELLQs プロジェクトでも、およそ 100 天体のサンプル構築に成功している。これまで遠方クエーサーについては光度関数が求められており、低光度側でかなり平坦になることなどが明らかにされた。さらに、 $z \geq 6$ でのクエーサー数密度は $4 \leq z \leq 5$ よりも急激に減少することも分かっている。

クエーサーおよび超巨大ブラックホール進化の謎を解き明かすためには、最遠方クエーサーの詳細を調査する必要がある。本研究では SHELLQs で発見された $5.6 \leq z \leq 7.1$ の約 100 天体の最遠方・低光度クエーサーが近傍クエーサーと比べ性質に違いがあるのか、あるいは同じ種族として分類できるのかを調査している。両者を比較するために、SHELLQs クエーサーに対して約 10 万天体の SDSS 近傍クエーサー大サンプルからスペクトルの形が最も良く似ているクエーサー (対応天体) を抽出した。実際に近赤外線スペクトルが得られている一部の SHELLQs 天体でテストを行い、この方法を使って高い精度で対応天体から遠方クエーサーの性質が類推できることが分かった。その上で対応天体が近傍クエーサーサンプルの様々な物理量分布の中で、どのように位置付けられるか調べた。本講演では、この調査の結果を報告し、そこから得られる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](#)

X06a A morphological study of galaxies with optical variability selected AGN

Yuxing ZHONG, A. K. Inoue, S. Yamanaka (Waseda U.), T. Yamada (JAXA/ISAS)

Morphological study plays an important role to investigate the connections between AGN activities and the evolution of galaxies. For example, Kocevski et al. (2012) found a large fraction of undisturbed disk-like hosts in their visual inspection of X-ray-selected AGNs in the COSMOS field, questioning the merger-driven AGN fueling mechanism. In this study, we investigated the morphology of AGN hosts at $0 < z < 4.3$ through Sersic index and non-parametric parameters. The samples are taken from a catalog of 491 variability-selected Type 1 AGNs based on Subaru HSC g, r, i, z bands in the COSMOS field. We analyzed HST ACS/WFC F814W images by using a public code, statmorph, to measure the morphological parameters. Most of these AGNs are visually point or PSF-like sources. We could successfully measure the morphological parameters for only 46% of the sample. We examined the obtained morphological information as a function of redshift and compared literature data. As a result, we find that (1) at $0.2 < z < 1.0$, these Type 1 AGN hosts have larger flux distribution (Gini), smaller offsets of the brightest core (M20) and are more concentrated (larger Concentration), (2) with the increase of the redshift, the AGN hosts tend to have smaller Gini, larger M20 and smaller Concentration, but also almost invariant asymmetric structures, (3) these hosts are more likely to be Ellipticals or Spirals rather than mergers. On the other hand, they are more merger-like compared to those with more luminous hard X-ray, especially at higher redshifts. They also have higher probabilities to reside in disk galaxies, suggesting that the sample AGNs are fueled by secular processes of disk 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 The molecular gas fraction of radio galaxies at $z \sim 5$

Kianhong Lee, Kotaro Kohno (University of Tokyo), Takuji Yamashita (NAOJ), Malte Schramm (Saitama University), Hideki Umehata (RIKEN), Takuma Izumi, Masatoshi Imanishi (NAOJ), Kohei Ichikawa (Tohoku University), Tohru Nagao (Ehime University), Yoshiki Toba (Kyoto University)

High-redshift radio galaxies are among the most massive objects with active star formation activity, containing stellar masses of more than $10^{11} M_{\odot}$, and exhibiting powerful radio jets in the early universe. Recent studies have found that the star formation rates of these objects are not as high as that of galaxies on the main sequence, suggesting that they are on the road to being quenched, due to the jet-induced positive feedback loop, which can deplete the gas reservoirs in the galaxies, leading to the negative feedback ultimately. It appears that the molecular gas fraction f_g , which is defined as $M_{H_2}/(M_* + M_{H_2})$, plays a key role in this scenario. And indeedly, previous CO observations show that f_g of radio galaxies at $2 < z < 4$ are < 0.3 , appearing to support this scenario. However, in the literature, the only CO observation of a radio galaxy, J0924–2201 at $z = 5.2$, shows a $10^{11} M_{\odot}$ gas reservoir, corresponding to a high f_g of 0.5, which is similar to those on the main sequence at similar redshifts. In order to resolve this discrepancy, we conducted a CO(1–0) survey of seven most distant radio galaxies at $4.5 < z < 5.7$ with the Jansky Very Large Array. Our results show that except for J0924–2201, the molecular gas fractions of all radio galaxies at $z \sim 5$ are low (< 0.3), supporting the scenario suggested by the previous study.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

X08a LMT/B4R の初期科学成果：極高光度サブミリ波銀河の一酸化炭素輝線観測

萩本将都, 田村陽一, 谷口暁星, Tom Bakx, 松田慧一, 戸上陽平 (名古屋大学), 吉村勇紀, 廿日出文洋, 河野孝太郎 (東京大学), 酒井剛 (電気通信大学), 田中邦彦, (慶應義塾大学), 竹腰達哉 (北見工業大学), 大島泰, 川邊良平 (国立天文台), D. Hughes, D. Sánchez-Arguelles, A. Gómez-Ruiz, I. Rodríguez-Montoya, M. Chavez-Dagostino (INAOE), P. Schloerb, M. S. Yun (UMass) 他 LMT/B4R チーム

本講演では、2019 年に Large Millimeter Telescope (LMT) に搭載された新型 2 mm 帯受信機、B4R の性能評価試験 (川邊他, 2020 年春季年会, V106a) の一環として観測された、赤方偏移 $z \sim 2-4$ に位置するサブミリ波銀河のスペクトル解析の結果を発表する。本観測の対象は *Planck*、*Herschel*、*WISE* で発見された、見かけの赤外線光度が極めて大きい ($L_{IR} \gtrsim 10^{14} L_{\odot}$)、分光赤方偏移が既知の 7 つのサブミリ波銀河の CO($J = 4-3, 5-4, 6-5$) および [C I](1–0) 輝線である。また、観測におけるシステム雑音温度は $T_{sys} = 95-200$ K であった。

スペクトル解析の結果、初検出のものも含め、5 天体で信号対雑音比 $SNR = 6-10 \sigma$ (速度分解能: $\sim 50 \text{ km s}^{-1}$) での検出に成功した。一方で、有意な検出が認められなかった 2 天体についても $2-4 \sigma$ 程度の marginal な検出を得た。本観測から得られた分光赤方偏移は先行研究と矛盾がない。また、全天体で積分時間は 5–15 分であった。これらのことから、LMT/B4R が高赤方偏移に位置するサブミリ波銀河のサイエンスを効率的に推進するのに十分な感度を達成していることを確認できた。さらに、輝線が検出された 5 天体は多くの星形成銀河に見られる光度–線幅関係から外れており、増光率 $\mu \gtrsim 10$ の強い重力レンズ効果を受けていることが示唆された。このうちの 1 天体については、先行研究で重力レンズ効果を解いて求めた増光率と無矛盾である。また、複数の輝線が検出された天体では CO SLED の測定から内部に ~ 80 K の暖かいガス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](#)

X09a 重力レンズクェーサー Cloverleaf における CO($J=3-2$) 輝線の像復元とクェーサー母銀河の分子ガス分布および速度構造

小田川琢郎, 濤崎智佳 (上越教育大学), 西村優里 (東京大学天文学教育研究センター/国立天文台), 石田剛, 河野孝太郎 (東京大学天文学教育研究センター)

宇宙史のなかで最も星形成が活発な $z \sim 2$ の時代において銀河の性質やその中のガスの運動を詳細に調べることは銀河進化を理解するために重要である。遠方銀河の内部構造の研究にはフラックスの増光や解像度の向上が期待できる強い重力レンズ効果を受けた天体が有用なターゲットとなる一方、そのような天体では像の歪曲が起こるために、観測された画像から本来の像を復元するには重力レンズモデルの構築が必要である。本研究では $z \sim 2.56$ に存在する重力レンズクェーサー Cloverleaf を対象として、ALMA で得られた CO(3-2) の高分解能 ($\sim 0.3''$) 観測データに基づいて像復元を行い、Cloverleaf クェーサー母銀河における分子ガスの分布と速度構造を得た。

本研究では重力レンズ解析ソフトウェア GLAFIC (Oguri 2010) を使用して、Akhunov et al. (2017) のモデルを参考にしつつ ALMA で得られた CO(3-2) 積分強度図を再現する新たなレンズモデルと光源モデルを同時に導出した。得られた CO(3-2) 輝線の光源半径は約 700 pc で、先行研究で報告されている CO(7-6) 輝線の光源サイズ (半径約 785 pc) とほぼ同じであった。CO(3-2)/CO(1-0) 輝線比=1 (輝度温度比)、また ULIRG 的な CO-to-H₂ 変換係数 ($\alpha_{\text{CO}} = 0.8 M_{\odot} (\text{K km s}^{-1} \text{pc}^2)^{-1}$) を仮定して求めた分子ガス質量は $3.3 \times 10^{10} M_{\odot}$ 、分子ガスの面密度は $1.9 \times 10^4 M_{\odot}/\text{pc}^2$ に及ぶ高い値であった。新たに得たレンズモデルを用いて速度チャンネルマップの像復元を行い CO(3-2) 輝線の 3D cube を導出した。得られた 3D cube からピーク位置に南東から北西への速度勾配が確認でき、近傍 ULIRG と同様な kpc スケールのコンパクトで濃い回転ガス円盤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](#)

X10b 重力レンズクェーサー Cloverleaf における 350 GHz 帯分子輝線サーベイ

西村優里 (東京大学/国立天文台), 原田ななせ (国立天文台), 渡邊祥正 (芝浦工業大学), 下西隆 (新潟大学), 中島拓 (名古屋大学), 高野秀路 (日本大学), 小田川琢郎, 濤崎智佳 (上越教育大学), 石田剛, 河野孝太郎, 相川祐理, 山本智 (東京大学)

銀河進化を理解するには、cosmic noon ($z \sim 2$) にあつて活発に星形成している銀河、とりわけ急速に成長中の巨大ブラックホールを宿したものの理解は欠かせない。このような銀河のひとつで、強い重力レンズ効果を受けて明るい Cloverleaf クェーサー ($z \sim 2.56$, 8.2 kpc $''$) は、これまでに CO や HCO⁺ をはじめとする複数の分子輝線の検出が報告されている希少な天体であり (e.g., Weiß et al. 2003, Riechers et al. 2011)、分子ガスの組成や分布を詳細に調べる上で格好のターゲットである。本研究では、ALMA Band 3 で、この Cloverleaf クェーサーにおける初めての系統的な分子輝線サーベイとなる静止周波数 340 – 363 GHz 帯の観測を、高空間分解 ($\sim 0.3 - 0.6''$) かつ高感度 (50 $\mu\text{Jy}/\text{beam}$) で行った。その結果、CO(3-2) に加え、高い S/N 比で HCO⁺(4-3), HCN(4-3), CN(3-2) を、さらに Cloverleaf において初めて HNC(4-3), CCH(4-3) の輝線を検出することができた。一方、近傍 LIRG で一般に検出される CS(7-6) や、ダストに埋もれた環境でたびたび見られる赤外線振動励起された HCN($v_2 = 1$) は未検出に留まった。これらの輝線の空間分布は分子種によって違い、CO や HCO⁺ に対して HCN や CN は異なる場所にピークを持つなど、銀河内の領域ごとに分子ガスの組成が異なることが示唆された。提案されている重力レンズモデル (小田川ほか, 2021 年春季年会) を用いて歪曲を差し引いた像でも同様の傾向が見られた。HCN や CN が相対的に明るくなるのは、近傍 LIRG のアウトフローで見られ (e.g., García-Burillo et al. 2014, Ciccone et al. 2019)、Cloverleaf でも特定の領域に固有の化学が生じている可能性が考えられる。

[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](#)

X11b Poor Property of Rest UV Luminosity as a SFR Indicator in High- z Universe

浅田喜久, 太田耕司 (京都大学)

静止座標系 (rest) で遠紫外 (FUV) における光度密度はしばしば星形成銀河の星形成率 (SFR) の指標として用いられる。特に高赤方偏移 (high- z) の宇宙においては、観測機器の問題から rest FUV における観測データのみから SFR を推定することが幅広く行われており、rest FUV の光度密度に換算係数をかけて SFR を求めている。しかし、年齢が 10 Myr 以下などの若い銀河に対してこの FUV の光度密度が SFR の指標として適していないことが従来より指摘されており (Madau et al. 1998)、近年では rest FUV の光度密度から求める SFR と $H\alpha$ から求める SFR の不一致を用いて直近の星形成活動に迫る研究なども行われている (e.g. Faisst et al. 2019)。このような不一致は特に high- z において顕著に見られる可能性がある。High- z では宇宙年齢が短いためそれより短い時間スケールの星形成史 (SFH) が重要になることがありえて、このような場合における FUV と SFR の関係について詳細に調べる必要があると考えられる。

そこで、本講演では SFR の変化の時間スケールが短い場合の rest UV の光度密度と SFR の関係について報告する。時間スケールが短い場合では rest UV の光度密度は年齢が若いフェーズのみならず、年齢が数 100 Myr 程度の場合でも、SFR が通常用いられる換算係数から求められる値と大きく異なることがわかった。講演では、様々な星形成史や金属量での rest FUV の光度密度と SFR の関係について紹介する予定である。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

X12b すばる望遠鏡 HSC 撮像データを用いた、2 型 AGN を宿す銀河の形態解析

岩本凌, 松岡良樹, 佐衛田祐弥 (愛媛大学), 小山舜平 (国立天文台)

宇宙にある銀河には活動銀河核 (Active Galactic Nucleus: AGN) を宿しているものが存在するが、どのような条件が揃うことで発現するかは解明されていない。現在、超大質量ブラックホール (Super Massive Black Hole) へのガスの流入が引き起こされる有力な要因として、銀河合体や相互作用、または銀河円盤の重力擾乱などが考えられている。そのため、母銀河の形態の調査は AGN 発現メカニズムを紐解く手がかりの 1 つとなり得る。

銀河の形態解析を行う上で、Hubble Space Telescope の撮像データを用いるのが理想だが、サンプル数は制限されてしまう。そのため本研究では AGN 母銀河の形態を解析するため、高い感度と角度分解能、広視野を持つ、すばる望遠鏡 Hyper Suprime-Cam の i バンドの撮像データを用いた。サンプルには Sloan Digital Sky Survey 天体の内、広い輝線幅が観測されていない輝線銀河を選出している MPA-JHU カタログの銀河を用いた。サンプルを赤方偏移 $z < 0.41$ に限り、BPT 図によって判断した 2 型 AGN を宿す銀河と星形成銀河に対して、3 つのパラメーター、C: 中心集中度、A: 非対称度、S: 非一様度 (Conselice 2003) を用いて形態解析を行った。得られた CAS の値を比較した結果、2 型 AGN を宿す銀河は星形成銀河に比べ、C の値が高い側に分布していることがわかった。また、2 型 AGN を宿す銀河は S の値が低い側に集中しているのに対し、星形成銀河は S の値にばらつきが見られた。本講演では、これらの結果について報告し、そこから示唆される AGN 発現メカニズムについて考察を行う。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

X13a 赤方偏移 4.6 の大規模構造におけるサブミリ波銀河の性質

三橋一輝(東京大学), 松田有一(国立天文台), 早津夏己(Ecole Normale Supérieure), 梅畑豪紀(理化学研究所), 五十嵐創(Durham University), 但木謙一, 伊王野大介, 植田準子, 阪本成一(国立天文台), 矢島秀伸(筑波大学), 播金優一, 廿日出文洋(東京大学), 稲見華恵(広島大学), 斎藤智樹(兵庫県立大学)

遠方宇宙で爆発的に星形成を行っていると考えられているサブミリ波銀河は $z = 2 - 3$ で最も観測されており、その星形成の起源については銀河合体やガス降着等の可能性が議論されてきている。その中でも、爆発的星形成が短期的なものであるのか長期的なものであるのかについてはいまだに判明していない。特に $z > 4$ を超えるような高赤方偏移においては赤方偏移の同定されているサブミリ波銀河も少なく、その性質について議論するためにはより大規模なサブミリ波銀河の観測が必要である。

本研究では非常に広く、多波長で観測が行われている COSMOS 領域に存在する 160 個の明るい ($S_{870\mu\text{m}} \geq 6.2\text{mJy}$) SCUBA-2 検出のサブミリ波源に対し、ALMA Band7 で追観測を行い $z = 4.6$ の [C II] 輝線天体と候補天体を 5 つ検出した。5 天体はすべて回転ガス円盤をもち、等温球モデルを用いて推定した各銀河のハロー質量は非常に大質量 ($2 - 8 \times 10^{12} M_{\odot}$) であった。各銀河のハロー質量とハロー質量関数との比較と、ガス円盤の観測から、大質量ハローにおけるサブミリ波銀河の長期的星形成を支持する結果が得られた (duty cycle = 50-100%)。 $z > 3$ の大質量ハローにおいては連続的ガス降着も活発であるため、その寄与は重要である可能性が高い。また、これら 5 天体の天球面上での分布のスケール ($l' \simeq 15\text{cMpc}$) と、星形成率を全ガス降着率で割った星形成効率 (~ 0.1) は、先行研究において $z = 0$ で $M_h \sim 10^{15} M_{\odot}$ となる大質量ハローが $z \sim 4 - 5$ で持つと示唆されている値と一致しており、 $z = 0$ で大質量銀河団となる原始銀河団の最も星形成の効率的な時代を観測したと考えられる。

[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](#)

X14a ALMA Deep Field in SSA22:A near-infrared-dark submillimeter galaxy at $z=4.0$

Hideki Umehata (RIKEN), Kotaro Kohno, Bunyo Hatsukade, Tao Wang (U. Tokyo), Kouichiro Nakanishi (NAOJ), Yoichi Tamura (Nagoya U.), Mariko Kubo (Ehime U.), Natsuki N. Hayatsu (Ecole Normale Supérieure), Ian Smail, A.M. Swinbank (Durham U.), Yiping Ao (PMO)

Deep surveys with Atacama Large Millimeter Array (ALMA) have uncovered a population of dusty star-forming galaxies which are faint or even undetected at optical to near-infrared wavelengths. Their faintness at short wavelengths makes detailed characterization of the population challenging. Here we present a spectroscopic redshift identification and characterization of one of such near-infrared-dark galaxy discovered by an ALMA deep survey. Detection of [C I](1-0) and CO(4-3) emission lines determines the precise redshift of the galaxy, ADF22.A2, to be $z = 3.9913 \pm 0.0008$. On the basis of multi-wavelength analysis, ADF22.A2 is found to be a massive, star-forming galaxy with stellar mass $M_* = 1.1_{-0.6}^{+1.3} \times 10^{11} M_{\odot}$ and $\text{SFR} = 430_{-150}^{+230} M_{\odot} \text{ yr}^{-1}$. The molecular gas mass is derived to be $M(H_2)^{[\text{CI}]} = (5.9 \pm 1.5) \times 10^{10} M_{\odot}$, indicating a gas mass fraction ($f_{\text{gas}} = M(H_2)/(M_* + M(H_2))$) of $\approx 35\%$, and the ratios of $L_{[\text{CI}](1-0)}/L_{\text{IR}}$ and $L_{[\text{CI}](1-0)}/L_{\text{CO}(4-3)}$ suggests that the nature of the interstellar medium in ADF22.A2 is in accordance with those of other bright submillimeter galaxies. The properties of ADF22.A2, including redshift, star-formation rate, stellar mass, and depletion time scale ($\tau_{\text{dep}} \approx 0.1 - 0.2 \text{ Gyr}$), also suggest that ADF22.A2 has the characteristics expected for the progenitors of quiescent galaxies at $z \gtrsim 3$. Our results demonstrate the power of ALMA contiguous mapping and line scan to obtain an unbiased view of galaxy formation in the early Universe.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

X15a A massive quiescent galaxy confirmed in a protocluster at $z=3.09$

Mariko Kubo (Ehime University), Hideki Umehata (RIKEN), Charles C. Steidel (California Institute of Technology), Yuichi Matsuda (NAOJ), Masaru Kajisawa (Ehime University), Toru Yamada (JAXA/ISAS), Ichi Tanaka (NAOJ), Kotaro Kohno (University of Tokyo, IoA), Yoichi Tamura (Nagoya University), Kouichiro Nakanishi (NAOJ), Bunyo Hatsukade, Kianhong Lee (University of Tokyo, IoA), Keiichi Matsuda (Nagoya University)

Protoclusters are important laboratories to study the evolution history of giant ellipticals dominating clusters of galaxies today. We report a massive quiescent galaxy confirmed in a protocluster at $z = 3.09$ in the SSA22 field by detecting the Balmer absorption features with near-infrared spectroscopic observations with MOSFIRE on Keck telescope. Its redshift is $z_{\text{spec}} = 3.0922^{+0.008}_{-0.004}$ which is the most distant quiescent galaxy in a protocluster to date. We fitted the optical to mid-infrared broad-band photometries and spectrum simultaneously with spectral energy distribution models and found that this object is a quiescent galaxy formed most of the stars by a short starburst at ≈ 0.7 Gyr ago. Together with its compact size (effective radius = 1.01 ± 0.04 kpc) and large stellar mass ($\log(M_*/M_\odot) = 11.27^{+0.04}_{-0.01}$), it likely had an extremely high star formation surface density where star formation can be quenched by the radiation pressure on dust solely. Along the quiescent galaxy, we newly found three plausible [OIII] $\lambda 5007$ emitters at $3.0791 < z_{\text{spec}} < 3.0833$. The redshifts and spatial positions of two are just between this quiescent galaxy and its nearest massive galaxy. They are possible clues of their interaction. They suggest the future size and mass evolution via minor/major mergers after 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](#)

X16a HI Tomographic survey in the SSA22 field (SSA22-HIT) (II): tomographic map at $2.7 < z < 3.55$

馬渡健 (東京大学), 井上昭雄 (早稲田大学), 山田亨 (JAXA/ISAS), 大塚拓也, 林野友紀 (東北大学), 山中郷史, 菅原悠馬 (早稲田大学), Khee-Gan Lee (IPMU), Nicolas Tejos (PUCV), David Schlegel (Berkeley), Xavier Prochaska (UCSC), 柏川伸成, 松田有一, 岩田生 (国立天文台), Joseph Hennawi (MPIA), 梅畑豪紀 (RIKEN), 田村陽一 (名古屋大学), 向江志郎, 大内正巳 (東京大学)

近年、銀河を背景光源としたスペクトル吸収線解析から銀河間物質 (Inter-galactic medium; IGM) の空間分布を調べる研究が盛んに行われている (IGM トモグラフィ; Lee et al. 2018; Mukae et al. 2020 など)。我々はこれまでに、SSA22 原始銀河団領域 (Steidel et al. 1998, Hayashino et al. 2004, Yamada et al. 2012, Mawatari et al. 2017 など) における中性水素 (HI) トモグラフィを目的として、Keck/DEIMOS 分光器を用いた大規模な赤方偏移サーベイを行った (SSA22-HIT サーベイ; 2018 年春季年会 Z113a)。我々は過去に同領域で行われた約 20 の観測結果も合わせて、750 個程度の様々な種類の $z > 2$ 天体を含む巨大な赤方偏移カタログを構築した。その中から特に良質なスペクトルが利用可能な約 170 の銀河・QSO を選び、前景 HI ガスによる Ly α 吸収線の定量化解析に使用した。それらの背景視線スペクトルに対して Wiener filtering 手法を適用することで、最終的に $2.7 < z < 3.55$ にわたる体積 = 1.2×10^6 Mpc³、空間分解能が 5 Mpc (視線方向には ~ 21 Mpc) の HI 3次元マップが得られた。これはこれまでに構築されたものの中で最遠方の HI マップである。赤方偏移が分かっている銀河が HI ガス密度が高い場所に存在することが統計的に示され、特に $z = 3.1$ 原始銀河団周辺ではその傾向が顕著であった。本講演では、SSA22 領域での HI ガスと銀河の 3次元分布について詳細な結果を報告し議論する。

[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](#)

X17a 大質量銀河団 SPT-CL J0615-5746 に属する CO 分子輝線銀河が示す環境効果による星形成活動の抑制

中野覚矢, 田村陽一, 谷口暁星, 萩本将都, 竹内努, T. Bakx (名古屋大学), 井上昭雄 (早稲田大学), 橋本拓也 (筑波大学), 松尾宏 (国立天文台), 梅畑豪紀 (理化学研究所), B. Salmon, D. Coe, L. Bradley (STScI), P. Oesch (U. Geneva), V. Strait, M. Bradač (UC Davis), 他 ALMA/SPT0615 観測チーム

宇宙全体の星形成率は低下し続けており、そのメカニズムとして、環境効果による星形成活動の抑制 (quenching) が先行研究によって示唆されている。環境効果による quenching のプロセスとして複数のシナリオが提案されているが、個別の天体ごとにいずれのシナリオを辿るかは不明である。その解明のために、まさに環境効果によって quenching が起こっていると思われる銀河の物理情報が多く必要となる。

本研究では、ALMA により観測された、 $z = 0.972$ に存在する大質量銀河団 SPT-CL J0615-5746 の中心部 ($\sim 0.2R_{200}$) に位置する 4 つのメンバー銀河の物理的性質を解析した。SPT0615 は高温の銀河団ガスで満たされていると考えられるため、中心部では環境効果による quenching が見られることが期待される。解析の結果、4 つの銀河でダストによる連続波が検出され、更に 3 つの銀河では CO ($J = 5-4$) 輝線が 5σ 以上の有意性で検出された。星形成率と分子ガス質量は計算より $\text{SFR} \sim 10^1-10^2 M_{\odot}/\text{year}$ 及び $M_{\text{H}_2} \sim 10^9 M_{\odot}$ と得られ、これらの銀河が活発な星形成活動を示すことを明らかにした。さらに、CO の放射と phase-space diagram (縦軸に銀河の相対速度、横軸に銀河団中心からの距離をプロットした図)、そして *HST* による可視光-近赤外線での画像から、1 つの銀河で銀河団ガスとの相互作用による分子ガスの剥ぎ取りが見られることが分かった。この銀河では剥ぎ取られたガスにおいても星形成が付随している兆候が見られ、環境効果を議論する上で重要なサンプルを提供している。

[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](#)

X18a Dust, gas, and metal content in star-forming galaxies at $z \sim 3.3$

鈴木智子 (東北大学/国立天文台), 小野寺仁人 (国立天文台), 児玉忠恭 (東北大学), 小山佑世, 林将央, 嶋川里澄, 田中壱 (国立天文台), Emanuele Daddi (CEA Saclay), Ian Smail (Durham Univ.), David Sobral (Lancaster Univ.), Sandro Tacchella (CfA)

Sub-mm/mm observations over the past decade revealed the dust and gas properties of not only sub-mm bright galaxies but also UV/optical-selected galaxies at high redshifts. At $z > 3$, however, the number of UV/optical-selected galaxies with individual gas measurements is still small and how the gas properties of galaxies evolve at $z > 3$ is not conclusive yet. We conducted sub-mm observations with ALMA of 12 star-forming galaxies at $z \sim 3.3$ with the individual gas-phase metallicity measurements. We investigate the dust and gas masses of the galaxies at $z > 3$. We then study how galaxies are interacting with their circumgalactic/intergalactic medium at this epoch by probing their gas mass fractions and gas-phase metallicities. We find that the estimated gas mass fractions and gas depletion timescales show a wider spread at a fixed stellar mass than expected from the scaling relations. This result suggests a diversity of fundamental gas properties among star-forming galaxies on the main sequence. Comparing gas mass fraction and gas-phase metallicity between our sample and samples at lower redshifts from the literature, star-forming galaxies at $z \sim 3.3$ appear to be more metal-poor than local galaxies with similar gas mass fractions. Using the gas regulator model, we find that this offset can be explained with the model tracks assuming higher mass-loading factors, which suggests that the mass-loading factor in outflows increases at earlier cosmic times.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

X19a Relationship between dust distribution and galaxy formation history in SMGs using ALMA

小山紗桜 (新潟大学/国立天文台), 伊王野大介, 但木謙一 (国立天文台), 山本卓 (総合研究大学院大学)

$z = 1 - 3$ の遠方宇宙に多く存在し爆発的に星形成を行う Submillimeter Galaxies (SMGs) について、その爆発的星形成の要因やプロセスなどの詳細は未解明な部分が多い。 $z = 1 - 3$ の宇宙は星形成が最も活発で、この頃の星形成活動により銀河進化が急速に進行したと考えられているため、SMGs について理解を深めることは銀河の形成/進化を理解することに繋がる。SMGs の性質について理解するためには非常に高い分解能で観測し細部を研究する必要があり、近年 ALMA 観測によってようやくその内部構造が明らかになりつつある。今までは high- z の高分解能画像が少なかったため一天体に着目して議論するということが可能であったが、今後はサンプルが増えていくことが予想され、そのような大規模なサンプルを議論する際には銀河の構造をパラメータ化して統計的に議論する必要がある (例; CAS parameters)。CAS parameters という structural function は光赤外分野で用いられている手法であるが、この手法を ALMA の電波画像に適用することができれば high- z 天体の特徴を掴むことができ、銀河の形成や進化を解明する端緒となることが期待される。

本講演では CAS parameters を ALMA の high- z データに対して適用した結果を報告する。その際に使用したサンプルは ALMA/Band 7 ($\sim 0''.08$) で観測された $z = 1.5 - 4.9$ の SMGs 9 天体である。その結果、Concentration (C) と Asymmetry (A) に関しては全天体とも同程度の値となったが、Clumpiness (S) に関しては天体によって大きく値が異なるという結果が得られた。また、 S と SFR の関係は弱い負の相関をとることが分かり、SMGs においては星形成の強度と銀河の clumpy さは無関係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](#)

X20a アルマとハッブル宇宙望遠鏡の協調観測で探る銀河の形態進化

但木謙一, 林将央, 小山佑世 (国立天文台), 児玉忠恭, 鈴木智子 (東北大学), 河野孝太郎 (東京大学), A. Burkert, N. M. Förster Schreiber, R. Genzel, M. M. Lee, D. Lutz, L. J. Tacconi, H. Übler (MPE), S. Belli, E. J. Nelson (CfA), A. Dekel (Hebrew University), R. Herrera-Camus (Universidad de Concepción), L. Mowla (Yale University), A. Renzini (INAF), E. Wisnioski (ANU), S. Wuyts (University of Bath)

銀河形成の最盛期 ($z = 1 - 3$) において、星形成が活発な銀河の形態は主に有効半径が 2-4 kpc の大きなディスクで特徴づけられるのに対して、星形成を止めた銀河の形態は有効半径が 1-2 kpc のコンパクトなバルジが卓越している。大きなディスクをもつ銀河が星形成によってその形態をどのように変えるのか知るために、私達は CANDELS/3D-HST 領域で $z = 1.9 - 2.6$ にある 85 個の大質量 ($M_* > 10^{11} M_\odot$) 星形成銀河に対して、アルマを用いて $0.2''$ 分解能に相当する $870 \mu\text{m}$ の連続光観測を行った (Tadaki et al. 2020, ApJ, 901, 74)。このような観測は先行研究ですで行われているが、1) 銀河が星質量で選択されていること、2) サンプル数が 85 個と多いこと、3) 2 種類のアレイ配列で観測を行っていること、この 3 つが本探査の独創的な点である。その結果、 $870 \mu\text{m}$ での連続光放射の有効半径は、静止系可視域での有効半径より平均で $2.3^{+1.9}_{-1.0}$ 倍小さいことがわかった。 $870 \mu\text{m}$ での連続光放射は今作られている星の空間分布を反映しており、現在の星形成活動が 300 Myr 続いた場合、多くの星形成銀河の有効半径は 1-3 kpc に小さくなることがわかった。これらの銀河の形態は「大きなディスク」から「コンパクトなバルジ」へと遷移しつつあるのかもしれない。

[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](#)

X21a 面分光データ MaNGA で探る銀河内部の星形成の銀河形態依存性

小山舜平 (国立天文台), 小山佑世 (国立天文台), 山下拓時 (国立天文台), 林将央 (国立天文台), 本原顕太郎 (国立天文台, 東京大学), 竝木茂朗 (総合研究大学院大学)

近傍銀河の星形成活動と銀河形態に強い相関があることから、銀河形態が星形成活動に影響する可能性が議論されているが、その真の役割を観測的には明らかにできていない。これを明らかにするためには、様々な銀河形態、星形成活動にある銀河について、内部の物理状態がどう変化しているのかを詳細に調べる必要がある。

そこで本研究では、4000 天体近くの近傍銀河を可視面分光観測した MaNGA データを用いて、銀河内部の物理状態を調べた。ここで、銀河形態は目視と機械学習により決定された銀河形態カタログに基づいて分類し、様々な銀河形態、星形成活動にある銀河についてその活動分布を比較した。結果として、銀河形態は異なるが星質量や星形成率が等しいサンプルの比較により、円盤の卓越した銀河よりもバルジの卓越した銀河はより中心に集中した星形成活動をもつことを明らかにした。また、銀河全体の星形成活動の増減に伴う活動分布の変化も形態によって異なり、円盤の卓越した銀河の方がより中心部での星形成活動の変化量が大きい傾向にあることがわかった。これら結果は、星形成の材料となる分子ガスの分布が形態に依存していること、また、銀河全体の星形成活動が変化するメカニズムも銀河形態と関係している可能性を示唆している。本講演ではこれら結果をふまえて、銀河形態と星形成活動の関係について議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

X22a Identification and Investigation of Interacting Galaxies Using Spatially Resolved Kinematic Indicators

Kiyooki Christopher Omori, Tsutomu T. Takeuchi (Nagoya University)

Galaxy interactions and mergers are a fundamental and important process in galaxy evolution. However, we have a limited understanding of the process. One of the reasons of this is due to a lack of an accurate identification method, resulting in a lack of the complete catalogue of interacting galaxies. Previously used methods such as visual identification of images suffer from incomplete data and misclassifications.

We present a physically motivated method, focusing on galaxy kinematics. Galaxy interactions can cause disturbances in a galaxy's kinematic structure. Thus, in interacting galaxies, we expect to find complex and disturbed kinematics such as asymmetries and distortions. We have visually inspected the spatially resolved kinematic maps of galaxies in the Mapping Nearby Galaxies at Apache Point Observatory (MaNGA: Bundy et al. 2015) catalogue, identified and investigated galaxies with disturbed kinematics. We were able to find numerous interacting galaxies that were classified as uninteracting using visually based methods, however we also encountered limitations with using only kinematic indicators. We discuss our findings and future prospects for this method.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

X23a 銀河形成の「ロゼッタストーン」：Hバンドドロップ $z \sim 13$ 銀河探査

播金優一 (東京大学, University College London), 井上昭雄 (早稲田大学), 札本佳伸 (早稲田大学), 橋本拓也 (筑波大学), 松尾宏 (国立天文台), 田村陽一 (名古屋大学), 山中郷史 (早稲田大学)

最遠方銀河の探索は、宇宙初期において銀河がいつできたのかという問いに直接的な制限を加える。これまでのハッブル宇宙望遠鏡などによる探査により、赤方偏移 $z = 11$ までの銀河が報告されてきた。我々はさらに遠方の銀河を探すために、 $z \sim 13$ があると予想される、Hバンドで暗く Kバンドで明るい H-dropout 銀河を探査した。深い近赤外画像の存在する COSMOS と UDS の領域で H-dropout 銀河を選択したところ、3つの銀河候補が見つかった。これらの天体は K-バンドから $4.5\mu\text{m}$ までの連続光の SED はフラットな一方、可視光から Jバンドまでの画像ではいずれも 2σ 以下で非検出であり、 $z \sim 13$ 銀河の条件を満たしている。Herschel や ALMA の遠赤外-サブミリバンドの非検出も合わせて SED fitting を行うと、いずれの天体も $z \sim 13$ が最適解であった。本講演ではこれらの銀河候補の紫外線光度関数や明るい大質量銀河の形成過程について考察し、さらにこれらの結果を踏まえて将来計画による $z \sim 13$ 銀河の観測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](#)

X24a ALMA 微細構造線と電離平衡モデルを用いた $z > 6$ BPT 図の推定

菅原悠馬 (国立天文台/早稲田), 井上昭雄 (早稲田), 橋本拓也 (筑波), 山中郷史 (愛媛)

ALMA の高感度な観測により、遠赤外域の微細構造輝線 [OIII]88 μm と [CII]158 μm が続々と遠方銀河で検出されている。 $z > 6$ では、これまでに 9 個の星形成銀河 (LAE/LBG) で両方の輝線が検出された。前回の年会ではそのうちの一つ、 $z = 7.15$ の B14-65666 で [NII]122 μm が非検出だったという観測結果を報告した (天文学会 2020 年秋季年会 X23a)。報告のなかで、[OIII]88 と [CII]158 のフラックス測定値と [NII]122 の上限値を組み合わせることで、電離平衡モデル Cloudy を使って銀河の星雲パラメータを推定し、この銀河の窒素-酸素比 (N/O) や可視域の [OIII]5007/H β -[NII]6583/H α 輝線診断図 (BPT 図) 上の位置を制限できることを示した。本講演では N/O と金属量の関係を仮定することで、上に記した 9 個の $z > 6$ 銀河の BPT 図上の分布を推定した。これらの銀河の金属量はあまり制限されていないため、星雲パラメータや可視光輝線強度は金属量の関数とした。金属量を $0.1 Z_{\odot}$ から $1.0 Z_{\odot}$ まで動かしたところ、[NII]6583/H α は 2 桁以上増加した一方、[OIII]5007/H β の変化は $\lesssim 0.6$ dex に留まった。これら 9 天体の分布から、 $z > 6$ における BPT 図上の平均的関係を導出した。この平均的関係を使い、電離平衡モデル中の仮定の違いが結果へ与える影響や、BPT 図上の分布から推定される $z = 0, 2, > 6$ の星間物質の物理状態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](#)

X25a 重力レンズ効果を考慮した回転円盤モデルフィッティングコードの開発

徳岡剛史 (早稲田大学), 井上昭雄 (早稲田大学), 橋本拓也 (筑波大学), 山中郷史 (早稲田大学), 菅原悠馬 (早稲田大学), 札本佳伸 (早稲田大学), 田村陽一 (名古屋大学), 松尾宏 (国立天文台), 吉田直紀 (東京大学) 他

近年、ALMA を使って、重力レンズ効果を利用した高赤方偏移銀河 ($z > 7$) の [OIII] $88 \mu\text{m}$ や [CII] $158 \mu\text{m}$ の分光観測が進んでいる。重力レンズ効果は、ALMA 本来の高分解能、高感度をさらに向上させ、高赤方偏移銀河の運動学の解析を可能としている。よって、重力レンズ効果を利用した高赤方偏移銀河の観測は、今後も重要である。

今回は、3次元分光データから得られた輝線の強度分布と速度分布に対して、重力レンズ効果を考慮して、輝線分布モデルと回転円盤モデルを同時にフィッティングするコードを開発した。輝線分布モデルでは指数関数的な動径分布を仮定し、モデルから分布のスケール長などを見積もることができる。一方、回転円盤モデルでは、フリーマンによって求められた回転速度 (K. Freeman et al. 1970) で物質が回転する円盤を仮定し、モデルから円盤質量や円盤のスケール長などのパラメータの見積もりが行える。このとき、これらのモデルは本来の座標系に設定してあるので、重力レンズ効果を受ける前の本来の物理量が得られる。そして、得られたモデルから分光画像、ALMA Moment map (0次:積分強度図、1次:視線速度図、2次:視線速度分散図) のイメージングも観測の座標系と本来の座標系の両方で行える。講演では、コードの説明に加えて、ある重力レンズ天体 (Hashimoto et al. 2018) に重力レンズモデルを使用してコードを適用した結果についても報告したい。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

X26a Dust at high redshift; an observational perspective

Tom Bakx, Y. Tamura (Nagoya University), E. Zackrisson, I. Shimizu, T. Hashimoto, H. Umehata, A. Inoue, H. Matsuo, T. Okamoto, N. Yoshida, Y. Taniguchi, B. Hatsukade, Y. Matsuda, K. Mawatari, T. Shibuya, K. Kohno, K. Ota, M. Lee

Forming a complete picture of star-formation through cosmic time is one of the main challenges of galaxy evolution studies. Our current understanding of star-formation at high redshifts ($z > 7$) is mostly formed through rest-frame ultraviolet (UV) observations of Lyman-Break Galaxies (LBGs), which directly probe their stellar light and ionized hydrogen. Complementary to this, the Atacama Large Millimeter/submillimeter Array (ALMA) has detected UV-selected high-redshift galaxies in sub-mm colours, tracing dust-obscured regions and far-infrared spectral lines (e.g. [OIII] at $88 \mu\text{m}$ and [CII] at $158 \mu\text{m}$) out to redshifts around 8 to 9.

I will report on what we have learned about a few of these high redshift sources in the sub-mm, all within the 'cosmic dawn', using observations of both spectral lines and dust emission. By comparing the sources *coherently* to one-another, and to models (hydrodynamical simulations and semi-analytical models), I aim to show the current limits of our understanding and how intrinsic biases shape our view of the high- z Universe. Here, I will place a focus on where JWST and further ALMA observations can help us understand these sources at 'cosmic dawn'.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

X27a The ALPINE-ALMA [CII] survey: Dust attenuation properties and obscured star formation at $z \sim 4.4-5.8$

Yoshinobu Fudamoto (Waseda University), P. Oesch (Geneva Observatory), and ALPINE collaboration.

Over the past decades, several important steps have been taken to understand the formation and evolution of first generations of galaxies. Thanks to deep multi-wavelength observations by Hubble Space Telescope (HST), studies of early galaxies have now been pushed well into the Epoch of Reionization, i.e. up to $z \sim 10-11$ only 500 Myr after the Big Bang (e.g. Bouwens+15, Oesch+16, Atek+18). However, our current knowledge beyond $z \sim 2-3$ is significantly biased to the rest-frame ultraviolet observations as it's only accessible by deep optical/near-infrared observations, and dust-obscured properties of high-redshift galaxies has remained mostly unknown. This situation was revolutionized by extremely sensitive and high-resolution far-infrared (FIR) interferometers such as ALMA and NOEMA. First ALMA observations showed us surprises by finding fainter FIR emission than expected from low-redshift galaxy observations, suggesting an evolution of dust-obscured galaxy properties at high-redshift (e.g. Capak+15, Bouwens+16). To understand this potential evolution with statistical sample and with wide range of galaxy parameters, large ALMA observations were required. In this talk, I will discuss the evolution of dust attenuation and dust-obscured star-formation of galaxies at $z \sim 3$ to $z \sim 6$ revealed by ALMA, including a recent ALMA large program: ALPINE.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

X28a [C II] Halo in the early Universe

S. Fujimoto (DAWN), J. Silverman (IPMU), M. Béthermin (LAM), M. Ginolfi (ESO), G. Jones (U. Cambridge), O. Le Fèvre (LAM), and the ALPINE collaboration

Recent ALMA studies find the existence of $\sim 10-15$ kpc scale [C II] 158 μm line halo surrounding early galaxies in deep stacking measurements. Individual experiments are further required to understand the physical mechanisms of the [C II] halo. Here we present the physical extent of [C II] line-emitting gas from 46 star-forming galaxies at $z=4-6$ from the ALMA Large Program to INvestigate CII at Early Times (ALPINE). Using exponential profile fits, we measure the effective radius of the [C II] line ($r_{e,[CII]}$) for individual galaxies and compare them with the rest-frame ultraviolet (UV) continuum ($r_{e,UV}$) from *Hubble Space Telescope* images. The effective radius $r_{e,[CII]}$ exceeds $r_{e,UV}$ by factors of $\sim 2-3$. We identify $\sim 30\%$ of isolated ALPINE sources as having the > 10 -kpc scale [C II] halo detected at $4.1-10.9\sigma$ beyond the size of rest-frame UV and FIR continuum. One object has tentative rotating features up to ~ 10 kpc, where the 3D model fit shows the rotating [C II]-gas disk spread over 4 times larger than the rest-frame UV-emitting region. Galaxies with the extended [C II] line structure have high star formation rate, high stellar mass (M_{star}), low Ly α equivalent width, and more blueshifted (redshifted) rest-frame UV metal absorption (Ly α line), as compared to galaxies without such extended [C II] structures. Including the latest theoretical predictions, we will discuss possible physical origins of the [C II] halo.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

X29a すばる望遠鏡/HSC による $z = 7.3$ Ly α 光度関数と宇宙再電離への制限

五島雛子, 嶋作一大 (東京大学), 山中郷史 (早稲田大学), 他 HSC Project 85

宇宙再電離の歴史を探るため、これまで様々な手法で宇宙空間の中性水素の割合 (x_{HI}) が求められてきた。そのうちの一つに、Ly α 輝線銀河 (LAE) の Ly α 光度関数の赤方偏移方向の進化を全銀河の UV 光度関数の進化と比べることで x_{HI} を見積もる手法がある。 x_{HI} が大きいと、銀河から出た Ly α 光子がそれだけ高い確率で散乱され、Ly α 光度関数が暗くなることを利用したものである。この方法による実質的な最遠方の測定は Konno et al. (2014) による $z = 7.3$ のものだが、この観測はサーベイ面積が狭いため、明るい (したがって数密度の低い) LAE に対して十分な制限を与えることができなかった。そこで我々は、すばる望遠鏡 Hyper Suprime-Cam (HSC) の戦略的サーベイで得られた合計約 3.0 平方度の狭帯域フィルター NB1010 のデータを用いて、他の赤方偏移の観測と同等の宇宙体積で $z = 7.3$ の LAE を探査し、Ly α 光度関数の明るい側 ($L_{\text{Ly}\alpha} \gtrsim 10^{43.2}$ erg/s) に初めて制限を与えた。探査の結果、LAE の検出個数は 0 個であった。この結果から明るい側の Ly α 光度関数も $z = 7.0$ から 7.3 の間で有意に光度低下していることが分かった。また本研究では、Ly α の IGM 透過率 (T) の計算は、系統誤差を避けるため、先行研究で用いられていた光度密度を用いる方法ではなく、Ly α 光度関数の光度方向の低下の割合から直接見積もる方法を用いた。その結果、今回の $z = 7.3$ の探査の結果から $T \lesssim 0.75$ を得た。同様に、Konno et al. (2014) からは $T \sim 0.52$ を、 $z = 6.6$ と 7.0 の先行研究の光度関数からは $T \sim 1$ を得た。講演ではこれらの T の値に基づく宇宙再電離への制限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](#)X30a Ly α Luminosity Function at $z = 1.9 - 3.5$ determined by the HETDEX Survey

Yechi Zhang, Masami Ouchi, Yoshiaki Ono, and the HETDEX Collaboration

We investigate galaxy formation and evolution with Ly α emitters (LAEs) at $z = 2 - 3.5$ by the Hobby Eberly Telescope Dark Energy eXperiment (HETDEX) blind spectroscopic survey. We obtain $\sim 20,000$ spectroscopically identified LAEs on the sky of 13 deg^2 . With our LAE sample, we derive the Ly α luminosity function (LF) in the Ly α luminosity ($L_{\text{Ly}\alpha}$) range of $10^{43.0-45.2} \text{ erg s}^{-1}$ with great accuracy. At the bright end ($L_{\text{Ly}\alpha} > 10^{43.5} \text{ erg s}^{-1}$), our Ly α LF has a significant hump, spectroscopically confirming the claims given by previous photometric surveys. Exploiting our spectra, we find that this bright-end hump is composed of type 1 AGNs that have broad Ly α emission lines with $\text{FWHM} > 1000 \text{ km s}^{-1}$. We show that our Ly α LF can be fitted with the linear combination of the Schechter function and the power law. Combining with previous results at other redshifts, we find a possible redshift evolution of α at $z \sim 2 - 6$ such that α steepens towards high redshift. We also derive the UV continuum LF (UV LF) of type 1 AGNs in our LAE sample, reaching the very faint absolute UV continuum magnitude (M_{UV}) of ~ -18 . The number densities of our bright UV continuum ($M_{\text{UV}} < -21$) type 1 AGNs agree well with those from previous studies at the similar redshift. On the other hand, our faint AGNs with $-21 < M_{\text{UV}} < -18$ have number densities smaller than those previously reported. Comparing with the type 1 AGN UV LF at $z \sim 0$, we find that the number densities of faint UV continuum ($M_{\text{UV}} > -21$) type 1 AGNs increases from $z \sim 2$ to $z \sim 0$. This represents the direct identification of the downsizing of faint UV continuum AGNs at $-20 < M_{\text{UV}} < -18$.

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

X31a Do UV-bright galaxies universally have a Ly α halo?

Haruka Kusakabe (日下部晴香)¹, A. Verhamme^{1,2}, J. Blaizot², T. Garel^{1,2}, F. Leclercq^{1,2}, J. Kerutt^{1,3}, E. Vitte¹, R. Bacon², J. Richard², S. Gallego⁴, E. C. Herenz⁵, L. Wisotzki³, T. Urrutia³ and MUSE collaboration. 1:Univ. of Geneva, 2: CRAL, 3: AIP, 4: ETH, 5: ESO Vitacura

While integral field units like Multi-Unit Spectroscopic Explorer (MUSE) have made it possible to study individual Ly α haloes (LAHs) of high-redshift Ly α emitters (high- z LAEs; e.g., Wisotzki+16; Leclercq+17, 20), LAHs of UV-selected galaxies have been only studied with narrow-band stacks in overdense regions (e.g., Steidel+11; Xue+17). It is still unknown whether UV-selected galaxies universally have a Ly α halo. Following our talk in the last ASJ meeting (X17a), we have individually searched for LAHs of UV-bright spec- z galaxies at $z = 2.9$ – 4.4 , using MUSE adaptive optics data in MUSE Extremely Deep Field with ≈ 100 to 140-hour integration (MXDF; Bacon+20 in prep.). Among 21 galaxies, 16 LAHs were confirmed. The LAH fraction is about 80% for both Sample 1 ($M_{1500} \leq -18.4$ and $z = 2.9$ – 3.9) and Sample 2 ($M_{1500} \leq -18.7$ and $z = 2.9$ – 4.4). Interestingly, the LAH fraction for galaxies with Ly α absorption (abs.) at the central part is $100.0^{+0.0}_{-12.5}\%$ ($100.0^{+0.0}_{-16.7}\%$) for Sample 1 (Sample 2), which is higher than that for galaxies without Ly α abs., $71.4^{+13.1}_{-18.8}\%$ ($66.6^{+15.6}_{-28.4}\%$). We also find that the LAHs of galaxies with Ly α abs. are typically more extended than those of galaxies without Ly α abs., though other UV and SED properties are similar. In this talk, we will also show properties of the host galaxies and Ly α for LAHs and non-LAHs, and discuss the physical mechanisms of LAHs.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

X32a Gaia データに基づく天の川銀河ハローの広域構造の構築

佐藤 元太, 千葉 柊司 (東北大学)

Gaia DR2 は天の川銀河 (MW) の恒星の運動データを有しており、ここから多くの MW の部分構造が発見されている (Naidu et al. 2020)。しかし、恒星を個々に観測できる領域は MW 全体で見ると非常に狭く、したがって Gaia DR2 によって発見された部分構造の内部分布も、その狭い領域内しか判明していない。そこで本研究では、恒星ハローやその部分構造に属する天体が、MW 内でどのように軌道運動するかを計算した。そして得られた各恒星の軌道を足し合わせることで、観測可能範囲を越えた広領域での恒星ハローの分布を再現した。

本研究は Gaia DR2 の運動データに加え、分光データとして SDSS SEGUE カタログも併用した。この分光データから各恒星の金属量 [Fe/H] を取得し、その値が低い星をハローの恒星と定義した。その恒星の軌道確率密度をそれぞれ計算し、観測されなかった星の分布を含められるよう、軌道密度を適切な重み付きで足し合わせることで、ハローやその部分構造の密度を再現した。

その結果、再現された MW 恒星ハローの密度分布は、金属量によって異なる特徴を持つ分布となった。金属量が低いハロー恒星の分布は楕円体状になり、一方金属量が高いハロー恒星は、二つの楕円体分布の重ね合わせで表現された。この二成分分布は、MW の進化過程の初期から存在していた恒星成分と、銀河進化の途中で外部から降着してきた恒星成分にそれぞれ由来すると考えられる。金属量が低い分布が単一の成分となることは、これが外部降着の成分のみを有することを示している。さらに、Gaia-Sausage-Enceladus (Belokurov et al. 2018, Helmi et al. 2018) (GSE) という部分構造を再現したところ、一般のハローとは異なる特徴を有する分布となり、GSE の起源となる降着イベントに対する示唆を含む結果となった。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

X33a 銀河系矮小銀河ダークマター密度分布の多様性

林航平, 千葉柁司 (東北大学), 石山智明 (千葉大学)

冷たいダークマター理論 (CDM) は宇宙マイクロ波背景放射などの宇宙の大局的な観測事実を非常に良く再現する一方で、銀河や矮小銀河などの非線形領域では観測事実との相違がみられ、小スケール問題として長年議論されている。その中でも、矮小銀河中心のダークマター密度分布の不一致は「コア-カスプ問題」と呼ばれ、これを解決するためにバリオンフィードバック機構や新たなダークマター理論模型が提唱されている。一方で観測から得られる矮小銀河のダークマター密度分布は、様々な不定性に埋もれているのが現状である。つまり、コア-カスプ問題は本当に問題なのか？という問題が生じている。

本研究では、これまで取り入れられていなかった不定性を考慮した動力学解析モデルを構築し、最新の観測データに適用することで、銀河系矮小銀河ダークマター分布の推定およびコア-カスプ問題の再検討を行った。その結果、銀河系矮小銀河にはカスプ構造を持つ銀河やコア構造を持つ銀河があり、その分布の多様性を発見することができた。また、このダークマター密度分布の多様性の起源について調べたところ、銀河形成シミュレーションが予言するものと概ね一致することがわかった。つまりダークマター密度分布の多様性は CDM 理論とバリオンフィードバック機構によって説明できることを示唆する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

X34a ダークマターサブハロー衝突によるダークマター欠乏銀河の形成過程

大滝恒輝, 森正夫 (筑波大学)

銀河形成の標準模型であるコールドダークマターによる階層的構造形成論では、銀河には恒星質量の約 100 倍以上のダークマターが存在していると考えられている。しかし、楕円銀河 NGC1052 に付随する衛星銀河 NGC1052-DF2 が、理論的に予測されるダークマター質量の 1/400 程度しかないダークマター欠乏銀河であることが発表された (van Dokkum et al. 2018)。この銀河は大きい effective 半径 (> 1.5 kpc) に対して、低い表面輝度 (> 24 mag arcsec⁻²) を特徴とする Ultra Diffuse Galaxy (UDG) に分類される。また、その近傍の NGC1052-DF4 もダークマター欠乏銀河であることが確認された (van Dokkum et al. 2019)。さらには、H_I リッチな 6 つの UDGs (Mancera Piña et al. 2019) や、バリオンが支配的な 19 個の矮小銀河 (Guo et al. 2020) が報告されている。このような銀河が存在することは、現在のコールドダークマターを基本にした標準銀河形成論では非常に困難であり、それらの形成シナリオを検討する必要がある。

そこで我々は、ガスとダークマターの物理的性質の違いに着目し、ガスを含んだダークマターサブハロー同士の衝突によってダークマター欠乏銀河が形成される可能性を調査している。2020 年秋季年会では、一次元流体モデルを用いた解析によって、通常の矮小銀河が形成される衝突速度条件とダークマター欠乏銀河が形成される衝突速度条件を見出したことを報告した。

本研究では、これまでの解析モデルを発展させるとともに、三次元銀河形成シミュレーションを実行することにより、その正当性について検証を行った。発表では、シミュレーションで形成されたダークマター欠乏銀河と観測結果とを比較し、ダークマター欠乏銀河の形成進化の物理過程を詳細に報告する。

[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](#)

X35a Dark Matter Sub-halo の衝突頻度計算

数野優大, 森正夫 (筑波大学)

コールドダークマターモデルを基礎とした銀河形成シナリオでは、天の川銀河ほどの大きさを持った銀河 (Host Halo) に付随する矮小銀河 (sub-halo) の総数に関する理論予測が、実際の観測と大きく食い違っている、いわゆる Missing Satellite Problem が未解決問題として指摘されている。この解決案として、観測が不可能なほどに暗い sub-halo (Dark Satellite) の存在が考えられており、先行研究からこの Dark Satellite の存在を観測可能な Bright Satellite との衝突から間接的に示せる可能性が示唆された。

これまで我々は、宇宙論的 N 体シミュレーションの 1 つである Phi-1 (Ishiyama et al. 2015) の結果を用いて、Milky Way サイズの Host 銀河に付随した (Bright, Dark を含む) sub-halo 同士の二体衝突の頻度を、Host 銀河が時間進化する系の中で詳細に調べた。その結果、宇宙年齢の間に sub-halo 同士の正面衝突が数回以上、また弱い相互作用は少なくとも数千回は生じていることを突き止め、矮小銀河の観測を通して Dark Satellite の存在を観測的に見極める可能性を示した。しかし Phi-1 から選び取られた Milky Way like な Host 銀河はモデル数が 6 つしか無く、サンプル数が少ないことが課題として残っていた。

そこで今回 Phi-1 より更に大規模な宇宙論的 N 体シミュレーションである Uchuu Simulation (Ishiyama et al. 2020) の結果から選び出された 50 個ほどの Milky Way like な Host 銀河をもとに、sub-halo 衝突頻度の再解析を行った。本発表ではその結果と、Phi-1 で示された衝突回数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](#)

X36a Age dating the Galactic Bar with the nuclear stellar disk and BPX bulge

馬場淳一 (NAOJ), 河田大介 (MSSL/UCL), Ralph Schönrich (MSSL/UCL)

近年、天の川銀河の形成進化過程において注目されているのが「棒状構造 (バー) の形成進化過程」である。バーの重力トルクは銀河円盤広域におよび、星や星間ガスの運動を大きくかき乱すことに加え、星間ガスを銀河中心領域に落下させ、爆発的星形成を誘発する。さらに、バーの形成と永年の力学進化は、銀河円盤の内側領域で誕生した太陽系の軌道移動にも密接に関連している可能性がある (Baba et al. 準備中; Tsujimoto & Baba 2020, ApJ)。このように大きな影響を及ぼすバー形成イベントは、天の川銀河進化史の中でも初期の Gaia-Enceladus 銀河合体イベントと並ぶ「二大イベント」の一つであると言えよう。2018 年以降、地上大規模サーベイと位置天文観測衛星 Gaia による星の位相空間情報から「現在」のバーの動力学性質は明らかになりつつあるものの、バーがいつ形成され、どのように進化してきたのかは未だに明らかになっていない。これらを明らかにするには、バー形成進化の動力学的履歴が、天の川銀河にどのように記録されているのかを理論的に調べる必要がある。

そこで本研究では、 N 体/流体シミュレーションを用いてバーの「形成時期」の情報が、中心核ディスク (NSD) やバルジの星の運動学情報や星形成史に、どのように刻まれるのかを調べた。その結果、(1) NSD はバー形成直後に形成されるため、NSD 星の年齢の頻度分布はバー形成時期に急激に増加することがわかった (Baba & Kawata 2020, MNRAS)。一方、(2) バー形成直後にバー領域で誕生した星は鉛直共鳴現象により鉛直方向に跳ね上げられ boxy/peanut/X 型 (BPX) バルジを形成することがわかった。バー形成後の数 Gyr に生じる buckling 不安定とは異なる力学現象である。さらに、バー形成後にはバー領域の星形成活動は急低下するため、BPX バルジ星の年齢の頻度分布はバー形成時期以降に急激に減少することがわかった (Baba, Kawata & Schönrich 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](#)

X37a 銀河中心領域の質量分布変化が内部バー構成軌道群に与える影響の解析

中津野侃貴 (東京大学/国立天文台)、馬場淳一、郷田直輝、矢野太平 (国立天文台)

銀河中心に存在する Super Massive Black Hole(SMBH) の質量と、バルジの質量や速度分散は相関を持つが、なぜ相関を持つかは銀河進化における大きな謎である。ガスを銀河中心へ供給するメカニズムとして、kpc \rightarrow 100pc スケールでは棒状構造 (バー)、pc \rightarrow AU スケールでは乱流や輻射抵抗などが有力とされ、間の領域である 100pc \rightarrow pc スケールでは内部棒状構造 (内部バー) が、その有力な候補である。数値シミュレーションでは、内部バーのガス供給が SMBH 成長を促し、成長した SMBH が内部バーを力学的に破壊するシナリオが提唱されている (Guo et al. 2020)。結果、内部バーは SMBH の成長に上限を設け、バルジの形態をより高密度かつ高速度分散に変化させることが数値実験的に示唆された。また、テスト粒子計算により、バーと内部バー (二重バー) を構成する軌道群が示され (Maciejewski & Sparke. 2000)、二重バーを形成する物理的メカニズムの理解が進みつつある。しかし、SMBH 成長が二重バー構成軌道群に及ぼす影響や内部バーを破壊する物理的メカニズムは解明されていない。特に星の軌道運動に基づき SMBH が二重バーに及ぼす力学的効果を理解することは、赤外線位置天文観測衛星「JASMINE」による観測的検証へとつながる可能性がある。

本研究では、SMBH 成長が二重バーに及ぼす力学的影響を明らかにするため、Maciejewski & Sparke (2000) によって軌道群の研究が行われた二重バーの重力場に対し、ガス流入によって成長した中心質量 (SMBH や中心核星団など) を Plummer 球でモデル化し導入することにより、二重バーにおける軌道構造の性質的变化をテスト粒子計算で調べた。結果、中心質量なしでは内部バーを構成する規則的な軌道群が卓越するが、中心質量の成長でカオスな軌道群が増加し、さらに成長させると Plummer 球に従う規則的な軌道群が卓越することが分かった。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

X38a [OIII] 輝線比によるブラックホール理論モデルへの制限

井上 茂樹 (筑波大学/国立天文台)、松尾 宏 (国立天文台)、吉田 直紀 (東京大学)、矢島 秀伸 (筑波大学)

2 階電離酸素が放射する波長 $52\mu\text{m}$ と $88\mu\text{m}$ の微細構造線遷移線は大質量性周囲の H_{II} 領域から放射されるが、それらの輝線強度比 ($[\text{O}_{\text{III}}]52/88$) は放射源のガス密度にのみ依存するため、星形成領域のガス密度を推定する観測的手法として用いられる。本研究では、大質量ブラックホールを持つ銀河に対して $[\text{O}_{\text{III}}]52/88$ を観測することで、活動銀河核のフィードバック効果を探る方法について議論する。

活動銀河核によるフィードバック効果は、大質量銀河において星形成活動を止めるメカニズムとされる。しかし現在の銀河形成シミュレーションでは、各々で大きく異なる理論モデルを採用しており、それらの多くは多数のパラメータで操作された複雑なモデルになっている。活動銀河核による星形成の鎮静化は銀河中のガスを吹き飛ばす過程であるため、銀河中心のガス密度はシミュレーション中のブラックホールのフィードバックモデルの詳細に強く依存すると期待される。そのため、もしもシミュレーション中の銀河に対して $[\text{O}_{\text{III}}]52/88$ を観測したとすると、その理論モデルごとで大きく違った結果になるだろう。

我々はブラックホールの理論モデルにおいて大きく異なる 2 つのシミュレーション、IllustrisTNG と Illustris シミュレーションの結果を用い、輻射輸送コードを適用することで $[\text{O}_{\text{III}}]52/88$ をモデル化し、これらのシミュレーションにおいてどのような差が見られるかを調べた。上述の理論モデルとガス密度の関係を反映して、IllustrisTNG シミュレーションでは、およそ $10^8 M_{\odot}$ のブラックホールを持つ銀河では、 $[\text{O}_{\text{III}}]$ 輝線比が著しく下がるという結果を得た。これを観測的に確認することで、現在の理論モデルが正しいのかどうかを検証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](#)

X39a 超新星残骸の時間発展を考慮し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)

観測から得られる銀河での星形成効率を説明するためには、星形成活動を抑制するフィードバック機構が必要である。超新星爆発が星形成領域のガスを吹き飛ばす働きは、星質量 $10^{10} M_{\odot}$ 以下の銀河における主要なフィードバック機構であると考えられており、銀河形成の物理プロセスを理解する上で超新星フィードバックの働きを調べることは重要である。超新星爆発を空間分解するためには数 pc 程度の分解能が必要であり、数十～数百 Mpc の計算領域で銀河の形成過程をシミュレーションするためには、超新星フィードバックをモデル化して扱う必要がある。

本研究では、流体シミュレーションコード Athena++ を用いた 3 次元計算によって超新星残骸の時間発展を調べ、その結果を銀河形成シミュレーションに応用する。超新星フィードバックの環境依存性を調べるために、密度と金属量の異なる環境下で超新星残骸が星間空間に与える運動量の時間変化を調べた。また、複数の超新星爆発が起こった場合を考え、その爆発間隔に対する依存性も調べた。その結果、密度、金属量、爆発間隔の 3 つのパラメータから決まるシェル形成時間とその時点での物理量で規格化することによって、超新星残骸の時間発展を統一的にモデル化できることが分かった。本講演では、この超新星残骸の時間発展モデルとこのモデルを実装した銀河シミュレーションの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](#)

X40a AGN Feedback Model for Galaxy Simulation

Abednego Wiliardy, Kentaro Nagamine (Osaka U.), Renyue Cen (Princeton U.)

It has been widely accepted that a supermassive black hole (SMBH) resides in the center of almost every galaxy and it is called active galactic nucleus (AGN) when observed as a luminous source. The feedback released by an AGN through radiation, wind and jet, is believed to be important for shaping galaxy mass function and star formation quenching. We study these effects of AGN feedback on galaxy evolution using hydrodynamic simulations. In large scale galaxy simulations, the resolution is insufficient to resolve the sub-parsec scale accretion disk around black hole and we need to develop a subgrid model for AGN feedback. Following previous work, we implement two modes of AGN feedback depending on SMBH accretion rate, i.e. quasar mode and radio mode. When the accretion rate is high, quasar mode takes place using geodesic dome bins to assign energy isotropically, but considering the obscuration angle by a dusty torus. On the other hand, radio mode takes place when the accretion rate is low, and we introduce ghost particle treatment to distribute thermal heat from collimated jet, producing outflow and low density lobes emanating from galaxy center following the features of observed jet. We find that the simple thermal feedback from radio mode is inadequate to reproduce massive molecular outflows from AGN. Therefore, we introduce a kinetic feedback and compare against Fermi bubble of Milky Way and extragalactic AGN outflows.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

X41a 原始銀河団領域での星形成・化学組成比進化

福島啓太, 長峯健太郎 (大阪大学)

銀河団の前駆体と考えられている原始銀河団領域が高赤方偏移 ($z \geq 2$) にて見つかってきている。原始銀河団領域は高赤方偏移の宇宙において特に高密度な領域であるため、周囲に比べ活発な星形成が起こると考えられており、宇宙の星形成密度に大きな寄与を与えると示唆されている。活発な星形成により生まれた星々は、超新星爆発や Asymptotic Giant Branch (AGB) 星による金属放出によって金属汚染を引き起こす。そのため原始銀河団領域では周囲に比べ金属量が高く、化学組成比の進化も早く進むと考えられる。そこで我々は、運動量フィードバックを考慮した超新星爆発モデルを取り入れた宇宙論的流体シミュレーションコード GADGET3-Osaka により、zoom-in 手法を用いて原始銀河団形成の計算を行った。この際化学進化ライブラリ CELib を用いて、II 型、Ia 型超新星爆発と AGB 星による金属生成を流体計算と同時に解いた。原始銀河団領域の全星形成率は $z = 3$ で $3000 M_{\odot} \text{yr}^{-1}$ に達しており、その中でも中心のコア領域では $z \sim 2$ で原始銀河団全体の星形成の約半分を行っていることが分かった。金属組成比進化を調べることで、 $z \geq 2$ では II 型超新星爆発の影響が見られ、 $z \sim 2$ では Ia 型超新星爆発と AGB 星の効果が現れることが分かった。また個々の銀河ハロー内のガスの化学組成比を観測と比較し、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](#)

X42a 超矮小銀河の s 過程元素生成について

垂水勇太 (東京大学), 須田拓馬 (東京工科大学), 井上茂樹 (筑波大学), 吉田直紀 (東京大学)

s 過程元素合成は、低中質量星の進化後期段階、とりわけ漸近巨星分枝 (AGB) 段階で起こるとされる。前回の天文学会では、超低光度矮小銀河 (UFD) での s 過程元素合成を銀河形成シミュレーションで計算し、AGB 星からの寄与では十分な量のバリウム (Ba)、ストロンチウム (Sr) を生成できないことを示した。星形成時間が十分でないこと、及び金属量が低いため s 過程の効率が悪いことが原因であった。

本講演では、Ba と Sr の起源として具体的に回転大質量星 (RMS)、電子捕獲型超新星 (ECSNe) を考えて議論を行う。天の川銀河の窒素量を用いて較正した回転速度分布を仮定して計算を行ったところ、Ba, Sr 量がよく再現された。RMS の元素合成にはまだ不定性が大きいため、Ba と Sr の比や窒素量を用いて RMS の元素合成量や回転速度分布に示唆を与える。ECSNe では一度に多量の Sr が合成されるため、特に Sr が多く観測される UFD の量を説明できる可能性がある。また ECSNe は一度で $[\text{Sr}/\text{H}]$ を大きく上げるため、Sr 量の少ない UFD では一度も起きていないと考えられる。ここから低金属量での ECSNe の発生レート、従って質量範囲に制限を与える。

UFD の計算を行う際、各星粒子の質量は $20 M_{\odot}$ 程度である。この高い質量解像度では、星の初期質量関数を十分にサンプリングしているとは言えない。このランダム性は特に s 過程元素の分散を議論する上で重要である。我々は AGB, RMS, ECSNe それぞれについて、各星粒子に確率的に数を与えるモデルを採用した。また超矮小銀河の内部構造を 100 個 / cc 程度まで解像するため、illustris シミュレーション等のような低解像度用の ISM モデルは使用せず、高密度のガス雲中でのみ星形成が起こる、より現実的な ISM/星形成モデルを採用した。このような数値計算上の工夫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](#)

Y01a インターネット天文学辞典：利用状況調査に基づく運用・コンテンツの改良

縣秀彦（国立天文台），桑田敦基（東京大学），岡村定矩（東京大学），半田利弘（鹿児島大学），インターネット天文学辞典編集委員会

インターネット天文学辞典は公開以来アクセス数は増加し、現在は毎月 30 万回近くのアクセス数となっている。利用状況を把握し、今後の改良に役立てることを目的に、公開から 2 年が過ぎた 2020 年 6 月 10～30 日に 2 種類のウェブ・アンケートを実施した。日本天文学会会員、日本天文教育普及研究会会員等、利用経験があると思われるユーザー層に、使い心地や改善要望などを聞いた（回答数 237）。利用経験者からの総合評価は、4 段階評定で好意的印象（とても良い＋良い）が 92 %であった。一方、天文に関心はあるが、利用経験の有無が不確実な市民層に対し、PR を兼ねて利用経験の有無等を聞いた（回答数 578）。利用の有無を尋ねたところ、使ったことがある人は本調査群においては 4 人に一人の割合で、天文コミュニティの外では、まだ知名度が低いと推察される結果となった。

編集委員会は、本調査に寄せられた要望・意見などを参考に委員の増員や、諸機能の追加、コンテンツの改良等を順次行っている。また、IAU を通じての海外への波及効果についても本講演では紹介する。

[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](#)

Y02a 高等学校「課題探究型授業」における天文分野の調査結果

石田光宏（横浜市立戸塚高等学校）

講演者が 2020 年 3 月まで勤務した横浜市立横浜サイエンスフロンティア高等学校には、2 年次の授業で、選択した分野で自分のテーマを定めて探究活動を 1 年間かけて行う、「サイエンスリテラシー II(以下 SLII)」というものがある。前任校は理数科であり、SLII の履修をもって、文部科学省が定める「課題研究」の履修に替えている。生徒が選択できる分野には、生命科学、環境、ナノテク材料・物理、情報通信・数理、天文・地球科学があるが、定員の関係で希望通りの分野にならないこともある。講演者は天文分野を担当していた。2017 年秋季年会で、2013 年度から 2016 年度までの 4 年間に天文分野で探究活動を行った生徒 47 名を調査したところ、本分野に所属になった生徒の 65%が本分野を第 1 希望にしていたにも拘らず、高校卒業後に天文学や天体物理学を学べる大学に進学した生徒の割合は配属者全体の 12%に留まったことを報告した。この要因の一つとして、実際に天体を観測する手法で探究活動を行わなかった生徒が多いことが挙げられた。前任校には天文台があり、30 cm 望遠鏡や冷却 CCD カメラがあったが、それらを使用する、生徒の興味を高めるテーマが不足していた。

この問題を解決すべく、低分散分光器を購入したり、測光に関するテーマ例を増やしていったところ、2016 年度以降は天体を観測する手法を選ぶ生徒が増加した。改めて 2013 年度から 2018 年度までの 6 年間に天文分野に所属した生徒 60 名を調査したところ、天文学を学べる大学に進学した生徒の割合は配属者全体の 22%まで上昇していた。また、2016 年度以降は高校生の学会である日本天文学会ジュニアセッションへの参加率も高まっていた。本発表では、天文分野における課題探究型授業について、6 年間の調査から分かったこと、進学先への影響など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](#)

Y03a 高校生向け天文学実習「銀河学校」のオンライン実施報告

坂井郁哉 (サイエンスステーション, 東京大学), 丹羽佑果 (サイエンスステーション, 東京工業大学), 大島由佳, 宮田隆志, 吉井謙 (サイエンスステーション, 東京大学), 大澤亮, 高橋英則, 森由貴 (東京大学), 他銀河学校 2020 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 月末に全国から 25 名程度の高校生を長野県の木曾観測所に招き 3 泊 4 日の天文学実習「銀河学校」を実施している。2020 年 3 月も例年通りの実施を予定していたが, 新型コロナウイルス感染症の感染拡大に伴い 8 月に延期の上, オンラインでの開催となった。

例年の銀河学校は観測・解析・議論・発表という研究において最も重要な 4 要素を実習できるようにデザインされている。参加者は実際に木曾観測所の望遠鏡を動かし自ら観測を行う。これらのデータを用いて他の参加者と解析・議論を重ね, 最後に研究成果を発表することで研究全体を体験することができる。

オンラインでこの実習を行うにあたり, 可能な限り学習効果を失わずに実施できる方法を模索した。例年のように観測を参加者に体験してもらうことは難しい。代わりに参加者から天体のリクエストを受け, 観測の様子をオンラインで演示した。19 人の参加者は 4, 5 人の少人数の班に分かれ, 事前に観測されたデータを用い, Web 会議システム Zoom を用いてスタッフらの指導のもと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観測データの解析を行い, 複数人で同時に編集できる Google スプレッドシートを用いて得られた数値データの解析やその共有が行われた。実習終了後に参加者に対して取ったアンケートでは, 研究をしっかりと行えたと評価する声が多かった一方で, 他の班の人との交流が難しいといった問題点も確認された。

本講演ではオンラインで実施された天文学実習「銀河学校」の内容, 及びその課題について報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Y04a 今年はおうちで特別公開 ～野辺山特別公開 2020～

衣笠健三, 宮澤和彦, 井出秀美, 林満, 依田千津子, 他野辺山観測所スタッフ (国立天文台野辺山)

野辺山特別公開 2020 は、「今年はおうちで特別公開」というテーマで, オンラインにて実施しました。初めての、また、他にもあまり前例のないなかでのオンラインイベントの開催となりました。

国立天文台野辺山では, 野辺山宇宙電波観測所開所の翌年である 1983 年より毎年, 観測所の活動を多くの方々にお知らせする機会をとらえ, 特別公開を実施してきました。2020 年で 38 回目を数え, このような研究所としては歴史ある特別公開と言えるでしょう。参加者は平均で 2400 人程度と, 地方にある施設としては多くの方が参加されています。2020 年度の開催にあたっては, 本館の閉所, 45m 観測棟のオフィス化, 人員の減少などの運用体制の変化とともに, 2 月から顕在化した COVID-19 の感染拡大防止を考慮する必要性がありました。緊急事態宣言下で, 長野県内でも多くのイベントが中止される状況において, オンラインにて実施することを決定しました。

このオンライン特別公開は, 事前に作成した多様な録画コンテンツと講演会を含むライブコンテンツでの構成としました。2020 年 8 月 29 日 (土) の公開日当日は, 複数のライブ講演会に加え, 特別公開ガイドチャンネルを設け録画コンテンツの紹介や見どころの案内を行うとともに, 45m 電波望遠鏡を実際に動かす内容の番組をライブにて実施しました。さらに, 講演会や録画コンテンツにキーワードを埋め込んでおいて, 用意した複数の動画を視聴することで集めたキーワードを応えるとプレゼントがもらえるという企画も用意しました。

本公演では, オンラインイベントの一例として, イベントの決定から準備状況, 当日のライブの様子, そして, その後の反響と今後について, 紹介します。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Y05a 科学ライブショー「ユニバース」オンライン上演の実施報告

亀谷和久, 伊藤哲也, 平松正顕 (国立天文台), 矢治健太郎 (核融合研), 野本知 理 (千葉大), 木村将人 (東京理科大), 布施虎太郎 (横浜国立大), 他科学ライブショー「ユニバース」関係者一同

科学ライブショー「ユニバース」は科学技術館 (東京都千代田区) において 1996 年の開演以来毎週土曜日に 2 回ずつ上演を続けている定期プログラムである。その特徴は、ドームシアター「シンラドーム」において科学の研究者が案内役として進行し、立体視ができる科学シミュレーションソフトを駆使して最先端の科学を伝えることであり、天文学を中心として科学の様々な話題を取り上げてきた。しかし、新型コロナウイルス感染症の感染拡大防止のため、2020 年 3 月から科学技術館が臨時休館となり、6 月から限定的に開館は再開されたものの、シンラドームは現在 (2020 年 12 月) に至るまで閉室が続いているため、会場での「ユニバース」は休演している。そこで、案内役を務める研究者と運営を担う学生団体「ちもんず」により 5 月から YouTube Live 上でオンライン上演を開始した ([https://universe.chimons.org /live/](https://universe.chimons.org/live/))。科学技術館と理化学研究所の協力を得て毎週土曜日の 14 時から 1 回ずつ上演を続けており、12 月までに約 30 回の上演を実施した。上演の方式は、案内役 1 人と映像・音声や配信の操作を担当するアシスタント 2 人、およびゲストが出演する回はゲストがそれぞれ自宅等から Zoom に接続し、そのミーティング画面と音声を YouTube Live へ配信する。これまでの上演では案内役は 5 人で分担しゲストによるトークは 5 回実施した。また、10 月にはノーベル物理学賞に関する特別番組も上演した。視聴者は各回数十人程度が生配信を視聴し、アーカイブ動画は最大 700 回を超える視聴がある。アンケート等によると、科学技術館での上演への参加経験に依らずオンライン上演を視聴されており、好評を得ている。本講演ではこの他上演方法やアンケート結果等を示しオンライン上演の成果を報告する。

[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](#)

Y06a 木星・土星”超”大接近観測プロジェクト：惑星で星空視力大実験！！

内藤博之 (なよろ市立天文台), 綾仁一哉 (Astronomers Without Borders), 井上毅 (明石市立天文科学館), 植松淳子 (北大総合博物館), 大西浩次 (国立長野高専), 大沼一彦 (千葉大), 衣笠健三 (国立天文台野辺山), 鳴沢真也 (兵庫県立大), 福澄孝博 (北大大学院/札幌市青少年科学館), 福原直人, 福原佳子 (星が好きな人のための新着情報), 村上恭彦 (なよろ市立天文台), 渡部義弥 (大阪市立科学館)

日食や肉眼彗星といった珍しい天文現象は、人々の関心を喚起し天体観察へといざなう。2020 年 12 月に起こる木星と土星の”超”大接近 (本稿では離角が 10 分以下となる接近を”超”大接近と呼ぶ) もまた、極めて稀な天文現象であり、多くの人々が観察すると期待される。最接近時には約 6 分角まで接近するが、これほど近づくのは 1623 年以来、397 年ぶりのことである。我々は、世界中の多くの方々にこの珍しい現象を一層楽しんでもらうために「木星・土星”超”大接近観測プロジェクト：惑星で星空視力大実験！！」を立ち上げた。木星と土星がどのように見えたか、その観測結果をオンラインで簡単に報告できる投稿フォームを公開し、観測証明書を発行するなど、継続観測を促す工夫を施した。また複数の言語にも対応させた。他方、今回の木星と土星の”超”大接近はほぼ世界中で観測可能であるため、日々離角が変化する木星・土星の見え方を多くの人々が観測・報告することで、「星空視力」についての情報を大量に集めることができる。星空視力の理解は、観望会など多くの市民を対象とした天文普及活動において有益な情報となる一方、「なぜ、昼間に星 (一等星) は見えないのか」といった、一見当たり前のようではあるが、説明が簡単ではない「星空観察のふしぎ」の解明に糸口を与えると期待される。本講演では、プロジェクトの取り組みを紹介し、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](#)

Y07a Raspberry Pi High Quality Camera による夜空の明るさ測定可能性

小野間 史樹, 野村 詩穂 (星空公園)

「夜空の明るさ」とは人間活動に伴う照明の上方漏れ光により、夜空のバックグラウンドが自然光以上に明るくなることである。この夜空の明るさの測定手法として、専用の測定器である Sky Quality Meter を用いる方法や、デジタル一眼カメラを用いる方法が知られている。デジタル一眼カメラを用いる方法は、Sky Quality Meter と比較して市街地の照明や天の川の影響を受けない一方、カメラ自体が高価である点や消費電力が大きいという課題があった。

このため我々は、消費電力の小さい Raspberry Pi Camera Module の評価を行い、夜空の明るさ測定への適用可能性を検討してきた。2019 年秋季年会で報告した Raspberry Pi Camera Module V2 は、その感度不足により暗い夜空での測定結果にばらつきが見られた。本講演では、V2 よりもセンササイズやビット深度の大きい Raspberry Pi High Quality Camera が入手可能となったことから、その評価結果を報告する。評価の結果、V2 よりもノイズが低減されているとともに、感度が向上していることが確認され、21 等級以下の暗い夜空での測定可能性が示された。講演では、デジタル一眼カメラの測定結果との比較を行い、その有効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](#)

Y08b 学習投影における博学連携の課題と可能性 — 平塚市博物館を事例として —

石井菜摘 (東京学芸大学大学院 教育学研究科), 塚田健 (平塚市博物館), 西浦慎悟 (東京学芸大学・理科), 君塚仁彦 (東京学芸大学・教育・生涯学習)

『プラネタリウムデータブック 2015』(日本プラネタリウム 協議会編)によると、設置目的が「学校教育の補助」であるプラネタリウムは「科学・天文学の普及」に次いで多い。そこで多くのプラネタリウムには「学習投影」という学校の授業としての利用を想定した投影があり、子どもの学習に対する有効性が過去の多くの研究によって明らかにされている(田中, 1984, 平塚市博物館研究報告「自然と文化」No.7, 117. など)。本研究では特に博物館・プラネタリウムと学校の協働について注目する。片山・坂本(2009, 日本科学教育学会研究会研究報告, Vol.29, No1, 59.)において、福岡県内の 2 館に対する学習投影の現状と課題が報告され、両者の協働の不十分さが指摘されている。

本調査では、日本プラネタリウム協議会に加盟する施設を対象とした学習投影に関するアンケートの実施を通して、大規模な調査を行った。さらに、平塚市博物館を過去に利用したことのある学校教員を対象に同様のアンケート調査を行った。本調査の結果、以下のような点が明らかとなった。(1) プラネタリウムを利用した学習のメリットはプラネタリウムが有する空間的・時間的な自由度の高さや気象条件に左右されない機能的要因であった。(2) そのデメリットはプラネタリウムの立地条件や授業時間の確保の困難さであった。(3) 学習投影の内容に対して学校教員から希望が見えにくい。当日はより詳細な報告を行う。

[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](#)

Y09b 「長野県は宇宙県」 キーワードラリー 2020

衣笠健三 (国立天文台野辺山), 大西浩次 (長野高専), 青木勉 (東大木曾観測所), 吉住千亜紀 (飯田市美術博物館), 宮地美由紀 (塩尻星の会), 川村晶, 他「長野県は宇宙県」連絡協議会

「長野県は宇宙県」では、「宇宙県」としてふさわしい美しい星空と自然環境、天文学の研究教育活動、そして星空観光など、多くの魅力をたくさんの方々と共有するため、2017年より毎年スタンプラリーを企画してきました。今年は、COVID-19 感染拡大防止のため、これまでのようなオンラインでのスタンプラリーではなく、キーワードラリー 2020 としてオンラインで実施するイベントを実施します。長野県内の各施設や団体から提供頂いた動画コンテンツを視聴してもらい、コンテンツに出てくるキーワードやクイズの回答を 5 個以上集めて、オンライン上のウェブフォームにて回答してもらいます。回答者の中から抽選にて当選者を選出し、当選者に賞品を送付するという内容です。オンラインで繋がる多くの方々に、「長野県は宇宙県」の魅力を伝えつつ、長野県内の天文・宇宙に関する施設や団体を紹介することを目的として実施します。

イベントの開催期間は、2020 年 12 月 12 日 (土) ~ 2021 年 2 月 28 日 (日) の 79 日間です。イベントの内容や動画コンテンツへの案内、回答フォームなどについては、<https://uchuuken.jp/2020keyword/> となります。なお、12 月 12 日にはキックオフイベントとして、ライブ中継でふたご座流星群をみるイベントを行います。

本講演では、イベントの参加者数や参加年齢などの結果をお知らせする予定です。「with COVID-19」におけるオンラインイベントの一例として紹介したいと思います。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Y10b 東京学芸大学の新しい 40cm 鏡と制御システムの開発 1

川崎優太, 土橋一仁, 西浦慎悟, 富田飛翔 (東京学芸大学)

2020 年 3 月、東京学芸大学に新しい 40cm 光学望遠鏡 (以後、新 40cm 鏡) が納入された。鏡筒は Orion Optics 社製のカセグレン式望遠鏡 (ODK16) であり、架台は Mathis Instruments 社製のフォーク式赤道儀 (MI-500) である。制御用のコントローラとして、Sidreal Technology 社製の Servo2 を搭載している。CCD カメラとしては、Finger Lakes Instrumentation 社製の ML8300-GPS を装備している。画角は 22.7×17.0 分角であり、ピクセル分解能は 0.409 秒角である。フィルターは、Johnson-Cousins システムに準拠した Astrodon 社製の BVRcIc フィルターを用意した。また、新 40cm 鏡や CCD カメラ等の制御用ソフトウェアとして、MSB Software 社製の Astroart7 と Borland 社製の C++ Builder (以降、BCB) がインストールされている。

昨年度まで本学で愛用されてきた旧 40cm 鏡は、長年、多くの学生の卒業研究や観望会等に活用されたが、設置後 40 年以上の歳月が経過し、老朽化が激しかった (天体望遠鏡博物館に寄贈済み)。また、視野内への天体導入や天体の撮像などは、全て手動であった。新 40cm 鏡は、天体の導入から撮像までソフトウェアで制御することができるため、観望会や観測の効率が飛躍的に高まることが期待されるが、現段階ではドームの回転やスリットの開閉、雨天時の観測中断などを手動で行う必要がある。そこで、観測の際に必要なハードウェアを一元的に制御できるシステムの開発を行うことにした。これまでに、Astroart7 を用いて複数天体を連続して撮像するシステムを整えた。今後は、BCB から Astroart7、ドーム、気象観測装置を制御することで、新 40cm 鏡の挙動に合わせてドームを回転させるシステムや、雨天時に観測を中断させるシステムを開発し、学部・社会教育を念頭においた観測に対応できるよう整備する。この講演では、新 40cm 鏡の開発の現状について報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Y11b 国立天文台天文データセンターが運用する多波長データ解析システム利用状況

亀谷和久, 田中伸広, 磯貝瑞希, 小澤武揚, 巻内慎一郎, 山根悟, 市川伸一, 高田唯史, 小杉城治 (NAOJ)

国立天文台天文データセンター (ADC) では、近年の膨大な情報量をもつ天文観測データの効率的な解析および科学成果を生産する研究活動を支援するため、主に大学院生以上の研究者を対象とする共同利用計算機システムとして「多波長データ解析システム (MDAS)」を運用している (田中ほか, 2018 年春季年会 Y15b)。本システムは 2018 年に更新された対話型解析サーバ群 (32 台)、バッチ型解析サーバ群 (2 台)、端末ワークステーション群 (35 台)、リモートログイン用端末計算機群 (13 台) の 4 種類の計算機とその周辺機器から構成され、解析サーバ群には総計 544 コアの CPU、同約 8.4TB のメモリ、同約 2.6PB のストレージが搭載されている。利用者は対話型解析サーバ群に SSH 接続でログインした上で、インストールされた 100 種類以上のソフトウェアを利用して様々な波長域の天文観測データを解析したり、バッチ型解析サーバへ解析ジョブを投入したりすることができる。2020 年 12 月現在、本システムの利用者は国内外の研究機関等に所属する約 330 名である。解析するデータが観測された望遠鏡あたりの利用者数としてはアルマ望遠鏡が約 150 人と最も多く、すばる望遠鏡 (約 100 人)、野辺山 (約 45 人)、ひので (約 30 人) と続く。例えばアルマ望遠鏡関連に着目すると、インストールされている全ソフトの中で最も多くの利用者に使用されているのは CASA であり、利用者一人あたりの使用ストレージ容量もアルマ望遠鏡ユーザが最も多いことから、アルマ望遠鏡のデータ解析環境として大きく貢献していると推察される。実際、本システムをアルマ望遠鏡のデータ解析に利用した論文数はアルマ望遠鏡東アジア地域で出版された全論文数の約 4 割を占めている。本講演では、その他にも本システムの近年の利用状況および今後の増強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](#)

Y12a 岡山天体物理観測所乾板データアーカイブ構築の進捗

根本しおみ (有限会社天窓工房/国立天文台天文情報センター), 古荘玲子 (都留文科大学/国立天文台天文情報センター), 石村周平 (茨城大学), 中桐正夫, 長山省吾, 渡部潤一 (国立天文台天文情報センター)

天文観測データは「その時その天域」の情報をとらえた貴重なデータであり、当初の観測者以外の第三者による研究・教育においても重要な資産である。

国立天文台では、光学赤外線観測拠点の整理統合の一環として、平成 29 年度に岡山天体物理観測所を廃止しハワイ観測所岡山分室としてその機能を整理縮小した。岡山天体物理観測所の開所した昭和 35 年以来、半世紀にわたって残された 2 万 1 千枚ほどの膨大な数の写真乾板は、同観測所の貴重な観測データである。したがって、この写真乾板データを後世の研究に活用できるようにするために、デジタル化してアーカイブし公開する必要がある。我々はすでに、明治時代の古い観測装置で撮影された天体写真乾板類についても、スキャンによりデジタル化し、データベースを作成した経験がある。同様の手法で、岡山天体物理観測所で得られた写真乾板についてもデジタル化し、観測原簿と照合した情報 (観測日、観測天体名、視野の赤経・赤緯、露出時間、観測者、等) とあわせて Web で公開するという作業を行ってきた。

今回の発表では、ニュートン焦点のデータのうち作業を完了しつつある「手札」と呼ばれる乾板約 3000 枚について、現状を報告する。さらに、過去に行った明治時代の天体写真乾板のアーカイブについてもあわせて紹介する。

[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](#)

Y13a 市民科学による「長野県は宇宙県」の近代天文学史 100 年の構築に向けて

大西浩次（国立長野高専）、陶山徹（長野市立博物館）、早川尚志（名古屋大学）、衣笠健三（国立天文台野辺山）、青木 勉、小林尚人、森由貴（東大木曾観測所）、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）、岩田重一、是枝敦子（しなの星空散歩会きらきら）、長野県天文文化研究会メンバー、「長野県は宇宙県」連絡協議会メンバーほか

「長野県は宇宙県」の活動で作られてきた研究者や市民の全県（全国）規模のネットワークを生かして、ここ 100 年間の天文学史・天文文化史を研究者と市民の協働作業で明らかにする企画を進めている。この研究のスタートとして、2022 年に 100 周年を迎える諏訪天文同好会を中心に、ここに関わった県内外の多くの研究者やアマチュア天文家との相互作用や市民への天文普及活動などを調査する事で、日本の近代天文学やその普及活動の歴史を明らかにしたい。この過程で、長野県内には、1921 年から現在に至る 100 年間、長期にわたる太陽黒点観測を行った観測者が多数輩出していることが分かっている。このような観測データは、過去数万年に渡る太陽活動の復元に非常に重要であり、現在、近代 100 年間の太陽黒点数のデータの改正はトピックスのテーマの 1 つである。たとえば、(i) 日本初の長期継続の観測者である三澤勝衛（観測:1921 年～1935 年）、(ii) 世界最長継続観測の田中静人（観測:1926 年～2000 年）、(iii) 現在も継続されている藤森賢一（観測:1953 年～現在）等の観測が知られるが、彼らのデータやメタデータの整備は進んでいない。そこで、彼らの重要な観測データと観測手法（メタデータ）を整理・アーカイブし、過去 100 年間の太陽黒点数を検討する際の基礎データとするため、市民と共にデータの整備を開始した。これらの今後の研究展開は、「長野県は宇宙県」ネットワークを生かした研究者・教育者・学芸員・市民の協働作業による天文学・社会科学分野における「市民科学」の一例となるであろう。

[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](#)

Y14a 行方不明だった 1887 年の内務省回収分の日食観測記録の発見

福島薫（川崎天文同好会）

1887 年 8 月 19 日に起こった我が国での皆既日食に際して、アメリカ日食観測日本遠征隊が来日し、隊長 D.P. トッド教授と明治政府との協力により、一般市民による日食観測も実施された。参加者より提出された観測記録は文部省、内務省により回収され、文部省回収分は現在国立天文台三鷹図書室に保存されているが、内務省回収分は、長い間行方不明であった。

2019 年、アメリカ・エール大学図書館に所蔵されている「D. P. トッド文書」を調査し、1887 年のトッド教授日本遠征に関する膨大な未公開資料データを調べたところ、その中に内務省回収分の一般市民による日食観測記録が含まれていることを発見した。その他別ルートからの回収分数点も含め、10 県より合計 83 点のコロナスケッチ、105 点の皆既時間観測記録が見つかった。中でも、十代前半の少年による観測記録が 2 点確認できたことは特筆すべきである。これで文部省、内務省回収分が揃ったこととなる。

本発表では入手した資料の分析から明らかになった、日本で初の「一般市民参加型天文イベント」の全体像を紹介する。

[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](#)

Y15a 緯度観測所と水沢の公立女学校

馬場幸栄 (一橋大学)

国立天文台は昭和 63 年に東京天文台、緯度観測所、名古屋大学空電研究所第三部門の統合改組により誕生した。そのうちのひとつである緯度観測所は文部省直轄の組織として明治 32 年に岩手県の水沢に設立されたが、地域と親しい関係を形成し、観測所と地域とが互いに支え合うことで発展してきた天文台である。そのことは緯度観測所と水沢の公立女学校との関係からもうかがえる。水沢の公立女学校は明治 44 年に胆沢郡立実科高等女学校 (明治 44 年—大正 12 年) として誕生し、その後、岩手県立水沢実科高等女学校 (大正 12 年—大正 15 年)、岩手県立水沢高等女学校 (大正 15 年—昭和 23 年) と名称を変え、昭和 23 年に共学の岩手県立水沢高等学校に改組されるまで続いた。この女学校は一貫して緯度観測所と親しく交流した。特に緯度観測所の初代所長・木村栄 (在職：明治 32 年—昭和 16 年) は同校の校長と親しく、同校における講演や寄稿だけでなく課外活動の指導まで行った。また、第 2 代所長・川崎俊一 (在職：昭和 16 年—昭和 18 年) および第 3 代所長・池田徹郎 (在職：昭和 18 年—昭和 38 年) は同校校長のひとりと偶然にも広島高等師範学校時代からの知り合いであった。大正 11 年に緯度観測所が国際緯度観測事業中央局となり、事業の遂行により多くの人手が必要になると、翌大正 12 年より緯度観測所は地域の女性たちを積極的に雇用し始めた。なかでも特に多かったのが、この水沢の公立女学校の卒業生たちである。緯度観測所にとって同校は必要な人材を確保するための重要な存在であり、また女学校にとっても緯度観測所は卒業生の就職先として重要な存在だったのである。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Y16a 明治初期の教科書における天文学の記述

玉澤春史 (京都市立芸術大学／京都大学)

現代の教育現場において、どのタイミングで、どの教科で天文に関する内容を扱うかは学習指導要領改訂のタイミングに限らず常に議論されている。この問題は日本だけでなく、IAU (国際天文学連合) の OAE でも各国のチームが教科書の記述について情報収集をしており (富田他, 天文学会 2020 年春季年会 Y07a), 一部国でも天文分野のカリキュラム変遷が見て取れる (玉澤, 天文学会 2020 年春季年会 Y02a) 科目変遷は近代教育制度の発足段階でも見受けられ、明治期の教科書では天体力学や日月食に関する内容は『物理階梯』などの物理の教科書に、また地理の枠内では『芸子地文学』は導入部分の地球の形状から太陽、月、惑星などに触れられている。「遊星」など定訳が議論中のもの、「光学」など現在の用いられ方とは必ずしも一致しないように見えるもの、またオーロラの訳語として「極光」と同時に「北光」が使われていたりするなど、日本における科学知識の受容と理解変遷が単語の変遷にも見て取れ、一部は近世以前からの理解変遷が含まれる。知識・理解の増強により記載すべきと考える内容が増え、その結果それまでの記述分配ではやりにくくなるというのは明治からも見受けられ、常に見直しが必要とされる。

[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](#)

Y17a 歴史資料からたどる江戸時代の天文遊歴家朝野北水の活動範囲

陶山徹(長野市立博物館)

江戸時代は、西洋の科学技術が流入し、日本の天文学は大きく変わった時代である。この時代に全国各地を歩き、人々に星を教えた男がいた。名を朝野北水という。北水に関係していると思われる資料が全国各地に残されているが、彼の活動範囲と講義内容については謎が多い。北水の講義の特徴は、初等的な内容を工夫して分かりやすく伝える点にある。そのため、彼の講義が当時の人々に広く受け入れられ、今でも全国各地に北水関連資料が残っていると考えられる。そうであるとすれば、北水関連資料を調べ、彼の足跡と講義内容を明らかにすることは、江戸時代の人々の天文への興味・関心について知ることにつながる。江戸時代の天文学史としては、幕府天文方の改暦やそれに関係した観測、当時の観測機器についての研究が重要視されることが多い。科学としての天文学を考える上では、これらが重要であるのは、誰もが認めるところだろう。しかし、当時の人々が天文をはじめとする身のまわりの自然についてどのように興味を持っていたのかを知ることが、当時の天文学の裾野の広さを知るという意味で重要であろう。本研究では全国各地に残る史料を調べ、その内容と署名などから北水関連資料の同定を行なった。さらに、このようにして作った北水関連資料リストの内、由来が明らかな資料群に注目することで、北水がいつ、どこで、どのような講義を行ったかを知ることができた。具体的には、朝野北水は、文化文政期を中心に、東北、北陸、長野、近畿など国内の広い範囲で活動をしていたことがわかった。

[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](#)

【2020 年秋季年会講演取消一覧】

- Z116a Multiphase AGN jet feedback
Wagner Alexander (筑波大学)
- P225a 二次元数値流体計算による巨大惑星へのガス降着モデルの検証
中澤佐穂 (東北大学)

講演者索引
(50音順)

【A】 – 【Z】

Tom Johannes Lucinde Cyrillus Bakx (Bakx Tom).....	X26a
Gianni Cataldi (Cataldi Gianni).....	P202a
Suchetha Cooray (Cooray Suchetha).....	Z113a
Milad Delfan Azari (Delfan Azari Milad).....	W54a
Yoshinobu Fudamoto (Fudamoto Yoshinobu).....	X27a
Alvaro Gonzalez (Gonzalez Alvaro).....	V101a
HAMID HAMIDANI (HAMIDANI HAMID).....	W45a
Tetsuo Hasegawa (Hasegawa Tetsuo).....	P126a
Shuo Huang (Huang Shuo).....	X02a
Ting-Chi Huang (Huang Ting-Chi).....	T06a
Anton Timur Jaelani (Jaelani Anton Timur).....	R24a
Kianhong Lee (Lee Kianhong).....	X07a
Lee, Seokho (Lee Seokho).....	Z203a
Kiyooki Christopher Omori (Omori Kiyooki).....	X22a
Nirmit Deepak Sakre (Sakre Nirmit Deepak).....	P129a
Dragan Salak (Salak Dragan).....	R04a
Wenlei Shan (Shan Wenlei).....	V102a
Masato Tsuboi (Tsuboi Masato).....	Q01a
Hideki Umehata (Umehata Hideki).....	X14a
Long Wang (Wang Long).....	Z310a
Sili WANG (WANG Sili).....	W29a
Yikang Wang (Wang Yikang).....	M19a
Abednego Wiliardy (Wiliardy Abednego).....	X40a
Zhang Yechi (Yechi Zhang).....	X30a
Sarolta Zahorecz (Zahorecz Sarolta).....	P110a
Shaoshan Zeng (Zeng Shaoshan).....	P123a
Yichen Zhang (Zhang Yichen).....	P108a
Ziwei E. Zhang (Zhang Ziwei).....	P109a
YICI ZHONG (ZHONG YICI).....	W15a
Yuxing ZHONG (ZHONG Yuxing).....	X06a

【あ】

相川祐理 (あいかわ ゆり).....	P201a
逢澤正嵩 (あいざわ まさたか).....	P205a
青木和光 (あおき わこう).....	N14a
縣秀彦 (あがた ひでひこ).....	Y01a
赤穂龍一郎 (あかほ りゅういちろう).....	Z319a

赤堀卓也 (あかほり たくや).....	V112a
赤堀美桜 (あかほり みお).....	R18a
秋野大知 (あきの だいち).....	T10a
阿久津智忠 (あくつ ともただ).....	V216a
朝倉一統 (あさくら かずのり).....	V302a
浅田喜久 (あさだ よしひさ).....	X03a
浅田喜久 (あさだ よしひさ).....	X11b
朝野哲郎 (あさの てつろう).....	R20a
朝比奈雄太 (あさひな ゆうた).....	Z316a
阿左美進也 (あざみ しんや).....	P137a
荒木田英禎 (あらきだ ひでよし).....	U01a
有馬宣明 (ありま のりあき).....	N11b
粟木久光 (あわき ひさみつ).....	V319b

【い】

飯野孝浩 (いいの たかひろ).....	P301a
家正則 (いえ まさのり).....	U02a
井岡邦仁 (いおか くにひと).....	W24a
伊王野大介 (いおの だいすけ).....	V105a
五十嵐太一 (いがらし たいち).....	S02a
幾田佳 (いくた かい).....	N01a
伊師大貴 (いし だいき).....	Q34a
石井菜摘 (いしい なつみ).....	Y08b
石岡千寛 (いしおか ちひろ).....	P309b
石城陽太 (いしがき ようた).....	Z313a
石川裕之 (いしかわ ひろゆき).....	N06a
石川遼太郎 (いしかわ りょうたろう).....	M06a
石倉彩美 (いしくら あやみ).....	V301a
石崎欣尚 (いしさき よしたか).....	V331a
石崎渉 (いしざき わたる).....	W40a
石田光宏 (いしだ みつひろ).....	Y02a
石塚雅身 (いしづか まさみ).....	R21a
石原卓 (いしはら たかし).....	Z315a
石村周平 (いしむら しゅうへい).....	P313b
出岡恭一 (いずおか きょういち).....	Q07a
和泉究 (いずみ きわむ).....	V217a
泉拓磨 (いずみ たくま).....	R01a
泉拓磨 (いずみ たくま).....	Z219r
伊藤裕貴 (いとう ひろたか).....	W38a

伊藤穂乃花(いとう ほのか).....	W30a
井上壮大(いのうえ あきひろ).....	W37b
井上開輝(いのうえ かいき).....	U03a
井上茂樹(いのうえ しげき).....	X38a
井上進(いのうえ すすむ).....	Q29a
井上大輔(いのうえ だいすけ).....	M30a
井上剛志(いのうえ つよし).....	Z322a
伊庭幸人(いば ゆきと).....	Z121r
岩井一正(いわい かずまさ).....	V119a
岩上わかかな(いわかみ わかな).....	Z317a
岩切渉(いわきり わたる).....	V318b
岩崎一成(いわさき かずなり).....	Z312a
岩崎巧実(いわさき たくみ).....	N13a
岩崎啓克(いわさき ひろよし).....	Z105a
岩本凌(いわもと りょう).....	X12b

【う】

上田周太朗(うえだ しゅうたろう).....	T04a
植田準子(うえだ じゅんこ).....	R11b
上田翔汰(うえだ しょうた).....	Z110a
植田高啓(うえだ たかひろ).....	Z212b
植村誠(うえむら まこと).....	Z119a
氏原秀樹(うじはら ひでき).....	V115a
臼田知史(うすだ とものり).....	V204a
内野友樹(うちの ともき).....	V305a
内山秀樹(うちやま ひでき).....	Q19b
内海碧人(うつみ あおと).....	W14a
宇野孔起(うの こうき).....	W16a
馬屋原拓也(うまやはら たくや).....	Z103a
浦郷陸(うらごう りく).....	N15a
浦田裕次(うらた ゆうじ).....	Z208a

【え】

榎木谷海(えのきだに うみ).....	V229b
榎谷玲依(えのきや れい).....	Z218a
榎戸輝揚(えのと てるあき).....	W09a
遠藤いずみ(えんどう いずみ).....	N16a

【お】

大朝由美子(おおあさ ゆみこ).....	P117b
大出康平(おおいで こうへい).....	P118b
大内竜馬(おおうち りょうま).....	N21a
大神隆幸(おおがみ たかゆき).....	W25a
大木平(おおぎ たいら).....	Z302a
大小田結貴(おおこだ ゆき).....	P102a
大滝恒輝(おおたき こうき).....	X34a
大塚駿平(おおつか しゅんぺい).....	Q22a
大坪貴文(おおつぼ たかふみ).....	P312b
大西浩次(おおにし こうじ).....	Y13a
大西崇介(おおにし しゅうすけ).....	S07a
大沼伊織(おおぬま いおり).....	M08a
大野峻宏(おおの たかひろ).....	Q31a
大場崇義(おおば たかよし).....	M02a
大橋聡史(おおはし さとし).....	Z204a
大前陸人(おおまえ りくと).....	R13b
大宮正士(おおみや まさし).....	P324a
大村匠(おおむら たくみ).....	W12b
大村匠(おおむら たくみ).....	Z320a
大屋真(おおや しん).....	V206a
大屋瑠子(おおや るこ).....	P101a
岡知彦(おか ともひこ).....	Q25a
尾形絵梨花(おがた えりか).....	W17a
小形美沙(おがた みさ).....	N07a
岡谷貴之(おかたに たかゆき).....	Z106r
岡本壮師(おかもと そうし).....	N05a
小川翔司(おがわ しょうじ).....	S13a
小川拓未(おがわ たくみ).....	W44a
荻野直樹(おぎの なおき).....	V304a
荻原正博(おぎはら まさひろ).....	P320a
奥裕理(おく ゆうり).....	X39a
奥住聡(おくずみ さとし).....	Z210b
小栗秀悟(おぐり しゅうご).....	V140a
尾近洸行(おこん ひろみち).....	Q12a
小高裕和(おだか ひろかず).....	V336a
小田川琢郎(おだがわ たくろう).....	X09a
小野智弘(おの ともひろ).....	P224a
小野遥香(おの はるか).....	P133a

小野間史樹(おのま ふみき).....Y07a
折原龍太(おりはら りゅうた).....P207a

【か】

角田祐希(かくた ゆうき).....R22a
笠木結(かさぎ ゆい).....V203a
鹿島伸悟(かしま しんご).....V241a
樫村博基(かしむら ひろき).....Z328a
樫山和己(かしま かずみ).....W23a
春日知明(かすが ともあき).....Q11a
数野優大(かずの ゆうだい).....X35a
片坐宏一(かたざ ひろかず).....V240a
加藤則行(かとう のりゆき).....P321a
加藤晴貴(かとう はるき).....P210a
金井昂大(かない たかひろ).....P120b
金川和弘(かながわ かずひろ).....P220b
金子岳史(かねこ たかふみ).....Z324a
金子美由起(かねこ みゆき).....Q03a
鹿野良平(かの りょうへい).....V239a
釜谷秀幸(かまや ひでゆき).....Q35a
上島翔真(かみじま しょうま).....Q26a
亀谷和久(かめがい かずひさ).....Y05a
亀谷和久(かめがい かずひさ).....Y11b
亀山真典(かめやま まさのり).....Z327a
鴨川弘幸(かもがわ ひろゆき).....P306a
佳山一帆(かやま かずほ).....Q24a
鴈野重之(かりの しげゆき).....W22a
川勝望(かわかつ のぞむ).....Z221a
川口恭平(かわぐち きょうへい).....W43a
川崎優太(かわさき ゆうた).....Y10b
川島由依(かわしま ゆい).....P316a
川瀬真喜子(かわせ まきこ).....S11b
河田大介(かわた だいすけ).....Z306r
川手朋子(かわて ともこ).....V233b
川名好史朗(かわな こうじろう).....N22a
川中宣太(かわなか のりた).....Q28a
川畑佑典(かわばた ゆうすけ).....V237b
河原創(かわはら はじめ).....V244a
川邊良平(かわべ りょうへい).....P204a

河村天陽(かわむら てんよう).....W04a
神原歩(かんばん あゆむ).....V211b
神原永昌(かんばん ながあき).....M33a

【き】

木坂将大(きさか しょうた).....W10a
北古賀智紀(きたこが さとき).....M35a
北本俊二(きたもと しゅんじ).....V309a
衣笠健三(きぬがさ けんぞう).....Y04a
衣笠健三(きぬがさ けんぞう).....Y09b
木下真一(きのした しんいち).....P131a
木村成生(きむら しげお).....W28a
木邑真理子(きむら まりこ).....W05a
桐原崇亘(きりはら たかのぶ).....P142a

【く】

日下部晴香(くさかべ はるか).....X31a
葛原昌幸(くずはら まさゆき).....P323a
国吉秀鷹(くによし ひでたか).....M27a
久野成夫(くの なりお).....V129a
久保雅仁(くぼ まさひと).....V236b
久保真理子(くぼ まりこ).....X15a
熊本淳(くまもと じゅん).....W56a
藏原昂平(くらはら こうへい).....R17a
倉本圭(くらもと きよし).....Z326r
黒崎健二(くろさき けんじ).....P318a
桑田敦基(くわた あつき).....P317a

【こ】

胡博超(こ はくちょう).....Z206a
小池隆太(こいけ りゅうた).....V215a
郷田直輝(ごうだ なおてる).....V238a
高妻真次郎(こうづま しんじろう).....N09a
河野海(こうの かい).....Z114a
河野樹人(こうの みきと).....Q06a
河野裕介(こうの ゆうすけ).....V113a
古賀駿大(こが しゅんた).....P113b

小久保充(こくぼ みつる).....	S06a
小柴鷹介(こしば ようすけ).....	Q17a
越本直季(こしもと なおき).....	P326a
古谷侑士(こたに ゆうじ).....	M31a
五島雛子(ごとう ひなこ).....	X29a
小西亜侑(こにし あゆ).....	R10b
小西諒太郎(こにし りょうたろう).....	R05a
小林秀行(こばやし ひでゆき).....	V111a
小林浩(こばやし ひろし).....	P217a
小林将人(こばやし まさと).....	P130a
小堀しづ(こぼり しづ).....	U06a
駒木彩乃(こまき あやの).....	P212a
小松耀人(こまつ あきと).....	M07a
小山紗桜(こやま さお).....	X19a
小山舜平(こやま しゅうへい).....	X21a
小山徹(こやま てつ).....	V131a
近藤綾香(こんどう あやか).....	P311b

【さ】

雑賀恵理(さいが えり).....	P103a
斉田浩見(さいだ ひろみ).....	W18a
斎藤貴之(さいとう たかゆき).....	Z307a
齋藤正雄(さいとう まさお).....	V205a
齊部和樹(さいべ かずき).....	S10b
坂井南美(さかい なみ).....	Z201r
坂井郁哉(さかい ふみや).....	Y03a
坂井了(さかい りょう).....	V103a
坂本貴紀(さかもと たかのり).....	W03a
坂本茉莉江(さかもと まりえ).....	P121b
作田皓基(さくた こうき).....	T09a
桜井隆(さくらい たかし).....	M15a
櫻井祐也(さくらい ゆうや).....	P139a
酒見はる香(さけみ はるか).....	W48a
酒向重行(さこう しげゆき).....	V208a
佐々木真旭(ささき のぶあき).....	Q18a
佐々木亮(ささき りょう).....	M34a
佐藤元太(さとう げんた).....	X32a
佐藤浩介(さとう こうすけ).....	V322a
佐藤優理(さとう ゆり).....	W01a

佐藤諒平(さとう りょうへい).....	N19a
佐野圭(さの けい).....	V220a
佐野圭(さの けい).....	V221b
佐野栄俊(さの ひでとし).....	Q20b
佐野栄俊(さの ひでとし).....	Z215a
澤上拳明(さわがみ けんめい).....	S04a
澤田涼(さわだ りょう).....	N28a
澤野達哉(さわの たつや).....	V310a

【し】

施文(し ぶん).....	Z112a
塩田大幸(しおた だいこう).....	M17a
鹿内みのり(しかうち みのり).....	W52a
志達めぐみ(しだつ めぐみ).....	W06a
柴崎清登(しばさき きよと).....	M37a
柴田和樹(しばた かずき).....	R15a
柴田晋平(しばた しんぺい).....	W20a
柴田雄(しばた たかし).....	Z314a
柴田真晃(しばた まさあき).....	W31a
柴山良希(しばやま よしき).....	P111a
島和宏(しま かずひろ).....	P136a
清水公彦(しみず きみひこ).....	M18a
清水敏文(しみず としふみ).....	V227a
下条圭美(しもじょう ますみ).....	Z222a
霜田治朗(しもだ じろう).....	Q36a
下野直弥(しもの なおや).....	R23a
正島涼希(しょうじま すずき).....	M24a
庄田宗人(しょうだ むねひと).....	Z325a
白崎正人(しらさき まさと).....	Z104a
沈有程(しん ゆうてい).....	P141a

【す】

末木里美(すえき さとみ).....	R07a
末松芳法(すえまつ よしのり).....	M04a
末松芳法(すえまつ よしのり).....	V231b
菅原悠馬(すがはら ゆうま).....	X24a
杉浦健一(すぎうら けんいち).....	W46a
杉谷朱泉(すぎたに あやみ).....	P208a

杉森加奈子(すぎもり かなこ).....X01a
 鈴木昭宏(すずき あきひろ).....N25a
 鈴木大輝(すずき たいき).....P125a
 鈴木智子(すずき ともこ).....X18a
 鈴木仁研(すずき とよあき).....V224a
 鈴木那梨(すずき なり).....Q13a
 鈴木瞳(すずき ひとみ).....V307a
 鈴木寛大(すずき ひろまさ).....Q15a
 須田博貴(すだ ひろたか).....V218a
 砂田裕志(すなだ ゆうじ).....S19a
 陶山徹(すやま とおる).....Y17a

【せ】

盛顯捷(せい けんしょう).....W49a
 関大吉(せき だいきち).....M25a
 關谷尚人(せきや なおと).....V114a
 瀬戸口健太(せとぐち けんた).....S17a
 銭谷誠司(ぜにたに せいじ).....M36a

【た】

高石大輔(たかいし だいすけ).....P222a
 高倉理(たかくら さとる).....V137a
 高倉隼人(たかくら はやと).....V141a
 高棹真介(たかさお しんすけ).....P219a
 高棹真介(たかさお しんすけ).....W35b
 高田淳史(たかだ あつし).....S21a
 高橋葵(たかはし あおい).....V213a
 高橋歩美(たかはし あゆみ).....X05a
 高橋一郎(たかはし いちろう).....Z101a
 高橋覚(たかはし さとる).....V334a
 高橋実道(たかはし さねみち).....P214a
 高橋隼(たかはし じゅん).....P302a
 高橋弘充(たかはし ひろみつ).....W34a
 高橋幹弥(たかはし みきや).....W11b
 高橋龍一(たかはし りゅういち).....Z305a
 高畑憲(たかはた けん).....M13a
 高村美恵子(たかむら みえこ).....S03a
 田川寛通(たがわ ひろみち).....W21a

瀧川歩(たきがわ あゆむ).....V323a
 瀧口風太(たきぐち ふうた).....V130a
 竹内努(たけうち つとむ).....Z117a
 竹内媛香(たけうち ひめか).....P119b
 武尾舞(たけお まい).....V308a
 武田朋志(たけだ ともし).....V316a
 武田芽依(たけだ めい).....N23a
 竹広真一(たけひろ しんいち).....Z329a
 田嶋裕太(たしま ゆうた).....R12b
 但木謙一(ただき けんいち).....X20a
 橋健吾(たちばな けんご).....N12a
 橋建志(たちばな たけし).....V312a
 辰馬未沙子(たつうま みさこ).....P305a
 立松健一(たてまつ けんいち).....V123a
 田中壺(たなか いち).....V202a
 田中邦彦(たなか くにひこ).....Q08a
 田中圭(たなか けい).....Z216a
 田中桂悟(たなか けいご).....T08a
 田中賢(たなか さとし).....Z303a
 田中宏樹(たなか ひろき).....M20a
 田中賢幸(たなか まさゆき).....V210b
 田中賢幸(たなか まさゆき).....Z107a
 田中佑希(たなか ゆうき).....P218a
 田邊大樹(たなべ だいき).....V139a
 谷竜太(たに りょうた).....M16a
 谷川衝(たにかわ あたる).....W47a
 谷口暁星(たにぐち あきお).....Z118a
 谷口琴美(たにぐち ことみ).....P124a
 玉川徹(たまがわ とおる).....V324a
 玉澤春史(たまざわ はるふみ).....Y16a
 田村直之(たむら なおゆき).....V201a
 田村陽一(たむら よういち).....V107a
 垂水勇太(たるみ ゆうた).....X42a
 樽家篤史(たるや あつし).....U04a
 反保雄介(たんぼ ゆうすけ).....W36b

【ち】

鄭昇明(ちよん すんみよん).....P132a

【つ】

塚越崇(つかごし たかし).....	P206a
塚本裕介(つかもと ゆうすけ).....	P223a
辻直美(つじ なおみ).....	S20a
土川拓朗(つちかわ たくろう).....	V228b
土屋智恵(つちや ちえ).....	P314b
土屋史紀(つちや ふみのり).....	V219a
堤稔喜(つつみ としひさ).....	V120b
津名大地(つな だいち).....	N27a
坪野公夫(つぼの きみお).....	W07a
鶴剛(つる たけし).....	V327a

【て】

鄭祥子(てい あきこ).....	V235b
寺澤敏夫(てらさわ としお).....	W13b

【と】

土井靖生(どい やすお).....	Q02a
東谷千比呂(とうこく ちひろ).....	V225a
當村一朗(とうむら いちろう).....	M12b
戸上陽平(とがみ ようへい).....	Z116a
徳岡剛史(とくおか つよし).....	X25a
徳田一起(とくだ かずき).....	Q30a
鳥羽 儀樹(とば よしき).....	X04a
土肥明(どひ あきら).....	W39a
富田賢吾(とみだ けんご).....	Z311a
富田沙羅(とみた さら).....	W41a
富永愛侑(とみなが まゆ).....	V142a
富永遼佑(とみなが りょうすけ).....	P215a
鳥海森(とりうみ しん).....	N04a

【な】

内藤博之(ないとう ひろゆき).....	Y06a
永井誠(ながい まこと).....	V146b
長澤俊作(ながさわ しゅんさく).....	M32a
永田伸一(ながた しんいち).....	V234b

仲谷峻平(なかたに りょうへい).....	P213a
中津野侃貴(なかつの なおき).....	X37a
中庭望(なかにわ のぞみ).....	W26a
長沼桐葉(ながぬま とうよう).....	V147b
中野覚矢(なかの さとや).....	X17a
中野すずか(なかの すずか).....	R02a
中村航(なかむら こう).....	N26a
中村友音(なかむら ともね).....	V106a
行方宏介(なめかた こうすけ).....	N03a
成田憲保(なりた のりお).....	P325a
成影典之(なるかげ のりゆき).....	M01a

【に】

新沼浩太郎(にいぬま こうたろう).....	V121b
西亮一(にし りょういち).....	P112a
西岡丈翔(にしおか たける).....	V144a
西澤淳(にしざわ あつし).....	Z102a
西塚直人(にしづか なおと).....	M26a
西道啓博(にしみち たかひろ).....	Z111a
西村淳(にしむら あつし).....	V125a
西村淳(にしむら あつし).....	V136b
西村信哉(にしむら のぶや).....	W57a
西村優里(にしむら ゆり).....	R14a
西村優里(にしむら ゆり).....	X10b
西本将平(にしもと しょうへい).....	M10b
丹羽綾子(にわ あやこ).....	V109a

【ぬ】

沼澤正樹(ぬまざわ まさき).....	V315a
---------------------	-------

【ね】

根來均(ねごろ ひとし).....	W33a
根本しおみ(ねもと しおみ).....	Y12a

【の】

野上優人(のがみ ゆうと).....	V333a
--------------------	-------

野田博文(のだ ひろふみ).....S01a
 野津翔太(のつ しょうた).....Z202a
 野津湧太(のつ ゆうた).....N02a

【は】

萩本将都(はぎもと まさと).....X08a
 橋本拓也(はしもと たくや).....Z220a
 橋本哲也(はしもと てつや).....W32a
 橋本遼(はしもと りょう).....V222b
 長谷川隆祥(はせがわ たかひろ).....M21a
 長谷川雅也(はせがわ まさや).....V138a
 長谷川幸彦(はせがわ ゆきひこ).....P216a
 長谷川豊(はせがわ ゆたか).....V124a
 畑泰代(はた やすよ).....V313a
 畠内康輔(はたうち こうすけ).....V303a
 服部公平(はっとり こうへい).....Z120a
 花岡真帆(はなおか まほ).....V330a
 馬場淳一(ばば じゅんいち).....X36a
 馬場俊介(ばば しゅんすけ).....S09a
 馬場幸栄(ばば ゆきえ).....Y15a
 浜名崇(はまな たかし).....T07a
 林航大(はやし こうた).....W55a
 林航平(はやし こうへい).....X33a
 林利憲(はやし としのり).....P308a
 林田清(はやしだ きよし).....V329a
 林田光揮(はやしだ みつき).....V328a
 原弘久(はら ひろひさ).....V232b
 原田了(はらだ あきら).....Z318a
 原田直人(はらだ なおと).....P105a
 播金優一(はりかね ゆういち).....X23a
 馬場彩(ばんば あや).....W02a

【ひ】

東翔(ひがし しょう).....P134a
 火物瑠偉(ひもの るい).....Q14a
 平居悠(ひらい ゆたか).....Z308a
 平井遼介(ひらい りょうすけ).....N18a
 平野信吾(ひらの しんご).....P138a

平野照幸(ひらの てるゆき).....P322a
 平野佑弥(ひらの ゆうや).....P310b
 廣瀬重信(ひろせ しげのぶ).....P225a
 廣田晶彦(ひろた あきひこ).....R09b
 廣田朋也(ひろた ともや).....P107a

【ふ】

深谷紗希子(ふかや さきこ).....P127a
 福井暁彦(ふくい あきひこ).....V212a
 福井康雄(ふくい やすお).....Q23a
 福井康雄(ふくい やすお).....Z214r
 福一誠(ふくいち まこと).....T01a
 福島薫(ふくしま かおる).....Y14a
 福島啓太(ふくしま けいた).....X41a
 福島光太郎(ふくしま こうたろう).....T02a
 福島肇(ふくしま はじめ).....P140a
 福原修平(ふくはら しゅうへい).....P211a
 藤井通子(ふじい みちこ).....Z309a
 藤沢健太(ふじさわ けんた).....V116a
 藤田真司(ふじた しんじ).....Z109a
 藤田裕(ふじた ゆたか).....Q21a
 藤林翔(ふじばやし しょう).....N24a
 藤本征史(ふじもと せいじ).....X28a
 藤原ケイ(ふじわら けい).....U05a
 船渡陽子(ふなと ようこ).....P304a
 古莊玲子(ふるしょう れいこ).....P303a
 古田拓也(ふるた たくや).....Q33a
 古家健次(ふるや けんじ).....Z211b

【ほ】

保坂智哉(ほさか ともや).....R03a
 星野遥(ほしの はるか).....P319a
 堀田英之(ほった ひでゆき).....M09b
 堀田英之(ほった ひでゆき).....Z323r
 仏坂健太(ほとけざか けんた).....Z207r

【ま】

前澤裕之(まえざわ ひろゆき).....	P315b
前澤裕之(まえざわ ひろゆき).....	V110a
前嶋宏志(まえしま ひろし).....	V230b
前田啓一(まえだ けいいち).....	Z209a
前田郁弥(まえだ ふみや).....	R16a
前田良知(まえだ よしとも).....	V335a
牧島一夫(まきしま かずお).....	W27a
牧野淳一郎(まきの じゅんいちろう).....	Z301r
正木寛之(まさき ひろゆき).....	M05a
増井翔(ますい しょう).....	V127a
増井翔(ますい しょう).....	V133b
増田智(ますだ さとし).....	M28a
眞武寛人(またけ ひろと).....	S18a
松英裕大(まつえ ゆうだい).....	V143a
松尾宏(まつお ひろし).....	V108a
松木場亮喜(まつこば りょうき).....	P135a
松下友亮(まつした ゆうすけ).....	T05a
松田真宗(まつだ まさむね).....	Q16a
松永健汰(まつなが けんた).....	Q04a
松本光生(まつもと こうせい).....	S08a
松本仁(まつもと じん).....	N20a
松本琢磨(まつもと たくま).....	M22a
松本健(まつもと たける).....	V126a
松本健(まつもと たける).....	V135b
松本倫明(まつもと ともあき).....	P221a
松本浩典(まつもと ひろのり).....	V321b
松本洋介(まつもと ようすけ).....	Z321a
馬渡健(まわたり けん).....	X16a

【み】

三浦飛未来(みうら ひびき).....	R08a
三木洋平(みき ようへい).....	S12a
三杉佳明(みすぎ よしあき).....	P128a
水本岬希(みずもと みさき).....	S15a
三谷啓人(みたに ひろと).....	P329a
道藤翼(みちふじ つばさ).....	N17a
道山知成(みちやま ともなり).....	R06a

三石郁之(みついし いくゆき).....	V320b
三石郁之(みついし いくゆき).....	V325a
三橋一輝(みつはし いっき).....	X13a
御堂岡拓哉(みどおか たくや).....	W08a
南大晴(みなみ たいせい).....	Q32a
峯田大靖(みねた たいせい).....	S05a
宮崎翔太(みやざき しょうた).....	P327a
宮田隆志(みやた たかし).....	V207a
宮良碧(みやら あおい).....	M23a
三好真(みよし まこと).....	S22a

【む】

武藤恭之(むとう たかゆき).....	Z205a
村田一心(むらた かずみ).....	Z115a
村田泰宏(むらた やすひろ).....	V122b

【も】

元木業人(もとぎ かずひと).....	Z217a
百瀬宗武(ももせ むねたけ).....	Z213b
森浩二(もり こうじ).....	V326a
森井嘉穂(もりい かほ).....	P115b
森岡夏未(もりおか なつみ).....	P328a
森田英輔(もりた えいすけ).....	V104a
森塚章恵(もりつか あきえ).....	M14a
森脇可奈(もりわき かな).....	Z108a

【や】

八木恵(やぎ めぐみ).....	P116b
八嶋裕(やしま ゆう).....	V134b
安井千香子(やすい ちかこ).....	P209a
保田悠紀(やすだ ゆうき).....	N08a
矢野太平(やの たいへい).....	V243a
山岡和貴(やまおか かずたか).....	V314a
山賀響(やまが ひびき).....	Q10b
山岸光義(やまぎし みつよし).....	Q09a
山口正行(やまぐち まさゆき).....	P203a
山崎大輝(やまさき だいき).....	M29a

山崎康正（やまさき やすまさ）.....	P106a
山崎康正（やまさき やすまさ）.....	V132b
山下真依（やました まい）.....	N10b
山田智史（やまだ さとし）.....	S14a
山田良透（やまだ よしゆき）.....	V242a
山田麟（やまだ りん）.....	Q05a
山田麟（やまだ りん）.....	V145b
大和義英（やまと よしひで）.....	P122a
山中雅之（やまなか まさゆき）.....	V209a
山村一誠（やまむら いっせい）.....	V223a
山本常夏（やまもと とこなつ）.....	V332a
山本宏昭（やまもと ひろあき）.....	V118a
山本凌也（やまもと りょうや）.....	W19a

【わ】

和田桂一（わだ けいいち）.....	P307a
和田武彦（わだ たけひこ）.....	V226a
和田知己（わだ ともき）.....	W53a
渡邊恭子（わたなべ きょうこ）.....	M03a
渡邊恭子（わたなべ きょうこ）.....	M11b
渡辺伸（わたなべ しん）.....	V337a
渡邊千夏（わたなべ ちなつ）.....	W42a

【ゆ】

油谷直道（ゆたに なおみち）.....	S16a
---------------------	------

【よ】

横山航希（よこやま こうき）.....	V128a
横山将汰（よこやま しょうた）.....	Q27a
吉川耕司（よしかわ こうじ）.....	Z304a
吉田大輔（よしだ だいすけ）.....	P104a
吉田雄城（よしだ ゆうき）.....	R19a
吉田勇登（よしだ ゆうと）.....	V317a
芳野史弥（よしの ふみや）.....	V306a
善本真梨那（よしもと まりな）.....	W51a
米倉覚則（よねくら よしのり）.....	V117a
米田謙太（よねた けんた）.....	V214a
米津鉄平（よねつ てっぺい）.....	P114b
米山友景（よねやま ともかげ）.....	W50a
米山理可子（よねやま りかこ）.....	T03a

【り】

李晋（り しん）.....	V311a
---------------	-------

2021年2月20日発行

年会実行委員会

委員長	酒井剛	(電気通信大学)	
委員	和泉究	(宇宙航空研究開発機構)	
	岩切涉	(中央大学)	
	鈴木知治	(中部大学)	
	成田憲保	(東京大学)	
	廿日出文洋	(東京大学)	
	古澤久徳	(国立天文台)	
	堀田英之	(千葉大学)	
	松岡良樹	(愛媛大学)	
	町田真美	(国立天文台)	保育室担当

年会開催地理事

佐藤文衛 (東京工業大学)