

2024年 秋季年会

講演予稿集

電子版

於 関西学院大学

2024年9月11日（水）～ 9月13日（金）

日 本 天 文 学 会

日本天文学会 2024年 秋季年会プログラム

期 日 2024年9月11日(水)～9月13日(金)
場 所 関西学院大学神戸三田キャンパス／オンライン
電 話 090-4387-6893(学会事務局) <使用期間 2024年9月10日(火)～9月13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	
9月9日 (月)										理事会			
9月10日 (火)							記者会見						
9月11日 (水)	A	受付	M. 太陽		昼 休 み 11:40 - 13:00	M. 太陽		ポスター 15:20 - 16:20	天文教育 フォーラム 16:20 - 17:50				
	B		Q. 星間現象			Q. 星間現象							
	C		S. 活動銀河核			S. 活動銀河核							
	D		P2. 原始惑星系円盤			P2. 原始惑星系円盤							
	E		Y. 教育・広報・他			Y. 教育・広報・他							
	F		V1. 観測機器(電波)			V1. 観測機器(電波)							
	G		R. 銀河			V2. 観測機器(光赤・重)							
	H		Z1. 超小型衛星			Z1. 超小型衛星							
	I		W. コンパクト天体			W. コンパクト天体							
	J		T. 銀河団 / X. 銀河形成・進化			X. 銀河形成・進化							
9月12日 (木)	A	受付	M. 太陽		昼 休 み 11:40 - 13:00 (代議員総会)	M. 太陽		ポスター 15:20 - 16:20	会員 全体集会 16:20 - 17:20		受賞 記念講演 17:20 - 18:20		
	B		Q. 星間現象			Q. 星間現象							
	C		P1. 星形成			P1. 星形成							
	D		P2. 原始惑星系円盤			P3. 惑星系							
	E		N. 恒星・恒星進化			N. 恒星・恒星進化							
	F		V1. 観測機器(電波)			V1. 観測機器(電波)							
	G		V2. 観測機器(光赤・重)			V2. 観測機器(光赤・重)							
	H		V3. 観測機器(X線・γ線)			V3. 観測機器(X線・γ線)							
	I		W. コンパクト天体			W. コンパクト天体							
	J		X. 銀河形成・進化			X. 銀河形成・進化							
9月13日 (金)	A	受付	U. 宇宙論		昼 休 み 11:40 - 13:00	U. 宇宙論		特別 セッション 15:30 - 17:00					
	B		Q. 星間現象										
	C		P1. 星形成			P1. 星形成							
	D		P3. 惑星系										
	E		N. 恒星・恒星進化			N. 恒星・恒星進化							
	F		Z2. XRISM			Z2. XRISM							
	G		V2. 観測機器(光赤・重)			V2. 観測機器(光赤・重)							
	H		V3. 観測機器(X線・γ線)			V3. 観測機器(X線・γ線)							
	I		W. コンパクト天体										
	J		X. 銀河形成・進化			X. 銀河形成・進化							
9月14日 (土)							公開講演会						
		9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	

- ・ 現地の受付は9:00から開始します。
- ・ セッションの開催時間は午前の部 9:30～11:40、午後の部 13:00～15:10 です。
- ・ 定員が超過した場合は、予備室からオンラインでご参加ください。

A 会 場 : VIII 号 館 3 F - 3 0 1 講 義 室	I 会 場 : VIII 号 館 4 F - 4 0 4 講 義 室
B 会 場 : VIII 号 館 3 F - 3 0 2 講 義 室	J 会 場 : VI 号 館 2 F - 2 0 1 講 義 室
C 会 場 : VIII 号 館 3 F - 3 0 3 講 義 室	K 会 場 : VI 号 館 1 F - 1 0 1 講 義 室
D 会 場 : VIII 号 館 3 F - 3 0 5 講 義 室	予 備 室 : IV 号 館 4 F - 4 0 2 講 義 室
E 会 場 : VIII 号 館 3 F - 3 0 6 講 義 室	受 付 : VIII 号 館 1 F ロビー
F 会 場 : VIII 号 館 4 F - 4 0 1 講 義 室	展 示 コーナー : VIII 号 館 1 F ロビー
G 会 場 : VIII 号 館 4 F - 4 0 2 講 義 室	ポ ス タ ー : 体 育 館 / オンライン公開
H 会 場 : VIII 号 館 4 F - 4 0 3 講 義 室	

◎講演数

講演数：合計 638

(口頭講演 (a)：512、ポスター講演 (b)：112、ポスター講演 (c)：14)

◎参加申込について (参加希望者は、必ず事前に参加申込をしてください)

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

○参加費用

	会 員	非 会 員
参 加 費	正会員学生:2,000 円 (不課税) 正会員一般:5,000 円 (不課税) 準 会 員:5,000 円 (不課税)	5,000 円 (消費税込み)
講演登録費	2,000 円 (不課税) (1 講演につき) 但し事前支払がない場合は、会員 3,000 円 / 非会員 6,000 円	5,000 円 (消費税込み・企画セッション)
年会予稿集	2,000 円 (消費税込み) ※購入希望者のみ	

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

○参加申込受付期間：2024 年 7 月 30 日(火)正午～8 月 27 日(火)正午

※直前参加申込受付期間：9 月 4 日(水)正午～9 月 13 日(金)正午 (会員限定、オンライン参加のみ)

※講演者の方も講演登録費支払期間に参加申込・参加費支払が必要です

※原則として講演登録費・参加費の返金はいたしません

◎講演に関する注意

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

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

- ポスター (添字 b、c) はオンライン上で公開します。ポスターは現地での掲示も行います。オンライン公開用にポスターファイルの提出をお願いいたします。提出の締切は 9 月 6 日 (金) 正午です。分野毎に Slack チャンネルをご用意しますので、質疑応答にご活用ください。
- 口頭講演者 (添字 a、b、r) は原則として現地会場で発表していただきますが、講演登録費支払の際に申請のあった方々についてはオンラインで発表していただきます。
セッション 開始 5 分前から座長が講演方法の説明をいたします。講演者にご参加ください。
また、口頭講演は原則としてご自身の PC を用いて講演いただきます。万一のトラブルに備えて、PDF 形式の講演ファイルもご用意ください。講演方法に関する最新の情報は、ホームページで必ずご確認ください。
- オンライン聴講者は、セッション開始時刻の 5 分前から Zoom にアクセスいただけます。
また入室の際には、下記の命名規則に従って「参加者名」を設定してください。

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

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

◎会期中の行事

月 日	時 間	会 場	行 事 名
9月10日(火)	13:00 ～ 14:30	オンライン	記者会見
9月11日(水)	16:20 ～ 17:50	K 会場 / オンライン	天文教育フォーラム
9月12日(木)	16:20 ～ 17:20	K 会場 / オンライン	会員全体集会
9月12日(木)	17:20 ～ 18:20	K 会場 / オンライン	受賞記念講演（欧文研究報告論文賞）
9月13日(金)	15:30 ～ 17:00	K 会場 / オンライン	特別セッション「みんなで天文学の未来を語ろう！ ～ 日本天文学白書委員会発足 ～」
9月14日(土)	13:00 ～ 15:30	三田キッピーモール 6 階 多目的ホール	公開講演会

◎会合一覧表

月 日	時 間	会 場	会 合 名	参加可否※
9月9日(月)	16:00 ～ 17:30	オンライン	理事会	D
9月11日(水)	11:50 ～ 12:50	A 会場	太陽研究者連絡会 2024 年度第一回報告会	B
9月11日(水) 9月13日(金)	11:50 ～ 12:50	D 会場	Star Formation Boardgame Project: 天文学普及ボードゲームのテストプレイ	A
9月11日(水)	11:50 ～ 12:50	I 会場	理論天文学宇宙物理学懇談会報告会	C
9月12日(木)	11:50 ～ 12:50	現地：関係者に個別連絡 / オンライン	代議員総会	D
9月13日(金)	11:50 ～ 12:50	H 会場	高エネルギー宇宙物理連絡会総会	D

※年会参加者の参加可否の説明（オープン化の程度）

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

◎天文教育フォーラム：「天文教育を支えるエコシステム」

日 時：2024年9月11日（水）16：20～17：50

場 所：K会場（VI号館 1F-101 講義室）/ オンライン（オンライン参加は学会 HP から事前申込が必要。天文教育フォーラムのみ参加の場合、参加費は無料）

概 要： 日本の「天文教育」の特徴のひとつは、それを支える豊かな生態系（エコシステム）が構築されている点です。小中高校での学校教育（初等中等教育）、大学での高等教育、公開天文台や科学館、プラネタリウムなどによる社会教育や生涯学習、天文愛好家や星空案内人などによる市民活動など、さまざまな場が存在しています。

そこには特別な中心は存在していませんが、互いに影響を及ぼし合い、全体としてひとつの体系を成しています。このような天文教育を支える生態系は日本各地に存在していますが、木々のような要素ごとに焦点を当てられることが多く、森全体をシステムとして把握する試みはあまりなされていません。今回の天文教育フォーラムでは、関西という地域をひとつのケースとして取り上げ、その生態系がどのように成立しているのかを読み解くとともに、近隣の森との関係やより大きな視点から見たシステムについても議論したいと思います。

話題提供：(1) 吉岡克己（大阪市立科学館）

(2) 中串孝志（甲陽学院中学校・高等学校）

(3) 川村教一（兵庫県立大学）

パネルディスカッション：話題提供者に加え、富田晃彦（和歌山大学）、柴原由果（兵庫県立大学附属中学校）が登壇

実行委員：高梨直紘、玉澤春史、松本佳也、矢治健太郎、日下部展彦、大朝由美子

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

◎特別セッション：「みんなで天文学の未来を語ろう！ ～ 日本天文学白書委員会発足 ～」

日 時：2024年9月13日（金）15：30～17：00

場 所：K会場（VI号館 1F-101 講義室）/ オンライン

概 要： 観測技術や計算機の発達とともに、天文学はこれまでにない速度で急速に発展し続けています。今後さらに進化し、星や惑星の誕生、銀河やブラックホールの進化、宇宙や生命の起源、極限的な天体現象など、ワクワクする宇宙の謎が我々を待ち受けています。この進化をさらに加速させ、真のブレークスルーを達成するためには、共に夢を語り合い、知識や経験を共有し、多様な視点から議論できるコミュニティを築いていくことが重要です。

そこで、この度「日本天文学白書委員会」が設置されました。この委員会の目的は、日本の将来の天文学や関連する事項について議論し、それを「日本天文学白書」としてまとめることです。また天文学コミュニティ全体での議論や交流を促進するため、年会などで全体集会を開催していくこともこの委員会の任務です。今回はそのキックオフイベントとして、日本天文学白書委員会の趣旨を説明し、基調講演やパネルディスカッションなどを通してさまざまな世代や分野の天文学者に未来の展望や夢を語っていただきます。ぜひご参加ください！

プログラム：1. 日本天文学白書委員会について

2. 基調講演

3. パネルディスカッション

世 話 人：日本天文学白書委員会

赤堀卓也（国立天文台）、石川遼子（国立天文台）、岡本桜子（国立天文台）、河原創（JAXA 宇宙科学研究所）、高橋慶太郎（熊本大学、委員長）、田中雅臣（東北大学）、富田賢吾（東北大学）、野田浩司（千葉大学）、野田博文（大阪大学）、米徳大輔（金沢大学）

◎日本天文学会公開講演会

日 時：2024 年 9 月 14 日（土）13：00～15：30（開場 12:30）
形 式：対面
場 所：三田キッピーモール 6 階 多目的ホール（まちづくり協働センター）
住所：〒669-1528 三田市駅前町 2 番 1 号三田駅前一番館
対 象：中学生以上・一般向け
テ ー マ：「南極から探る宇宙の姿」
講師・タイトル：下記をご参照ください。
参 加 費：無料
定 員：200 名（先着順）

<講演内容の紹介>

講演 1：「南極天文台から銀河と宇宙の謎に挑む」

講師：中井直正（関西学院大学 フェロー）

地上最高の天文観測環境にある南極内陸部の高原地帯に新しい基地を作り、口径 12m 高精度電波望遠鏡を設置して遠い宇宙の観測から銀河と巨大ブラックホールの誕生と進化、宇宙の膨張率と宇宙年齢の謎に挑む。

講演 2：「南極の氷からひもとく地球と宇宙とのつながり」

講師：望月優子（理化学研究所 仁科加速器科学研究センター 雪氷宇宙科学研究室 室長、埼玉大学大学院 理工学研究科 連携教授）

東南極の内陸に位置する南極高原に、日本南極地域観測隊によって建設された観測基地「ドームふじ」がある。このドームふじ周辺域は、過去から現在にわたって、雪や氷が天体現象の影響を強く受けてきたと考えられる地域である。ドームふじの地下深くの氷を分析すると、雪氷学者らが長らく調べてきた地球の過去の気候変動や火山活動に加えて、過去の太陽活動をも探ることができる。さらには、天の川銀河内で発生した「超新星爆発」と呼ばれる、重い星の一生の最後の爆発の痕跡を捉えることができる可能性もある。本講演では、これらの研究を紹介し、私たちの住む地球と宇宙とのつながりについて考える。

主 催：公益社団法人 日本天文学会

共 催：関西学院大学

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

交通のご案内

■ 主な交通手段と所要時間

神戸三田キャンパス（KSC） までのアクセス

大阪方面から：

【電車】（約 80 分）JR 大阪駅・新大阪駅 →（JR 宝塚線）→ 三田駅・新三田駅 →（神姫バス）→ KSC

【飛行機】（約 80 分）伊丹空港 →（モノレール）→ 蛍池駅 →（阪急電鉄）→ JR 宝塚駅 →（宝塚線）→ 三田駅・新三田駅 →（神姫バス）→ KSC

※ JR 新大阪駅北口、大阪梅田から KSC までのバスもありますが、便数が限られています

三田駅から：【バス】 70、73 系統

新三田駅から：【バス】 11、45、46、48、145 系統

※ 大学が夏休み期間中のため、バスの運行状況にご注意ください

神戸方面から：

【電車・バス】（70～80 分）神戸三ノ宮バスターミナル・JR 新神戸駅 →（神姫バス）→ KSC

【電車・バス】（約 70 分）湊川駅・谷上駅 →（神戸電鉄）→ 南ウディタウン駅 →（神姫バス）→ KSC

【徒歩】（30～40 分）神戸電鉄公園都市線ウディタウン中央駅より

【自動車】学生駐車場をご利用ください（来客駐車場の利用はご遠慮ください）

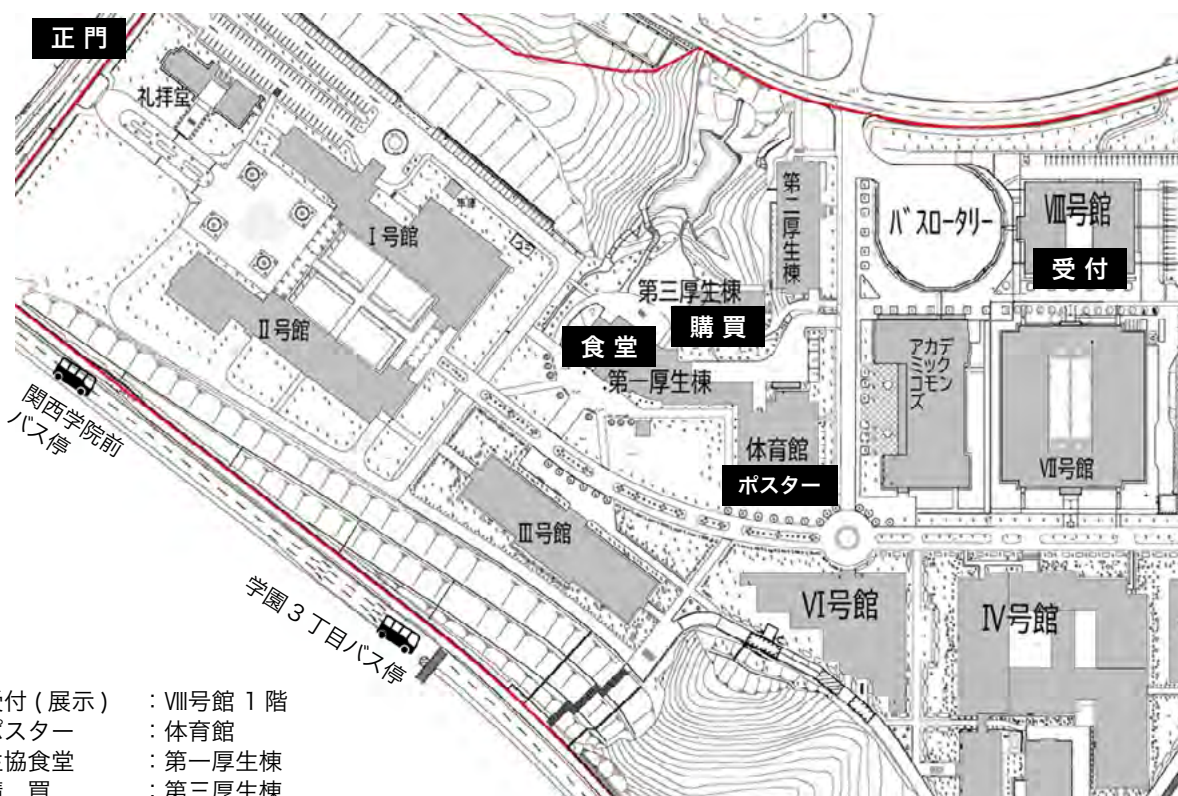
神戸三田キャンパス（KSC）の最寄りのバス停

* 学園 3 丁目：キャンパスまで約 100 段の石段あり

* 関西学院前：正門から入り、遠回りになるが段差なし

* 関西学院大学：キャンパス内のバスロータリー（すべてのバスがここに停車するわけではありません）

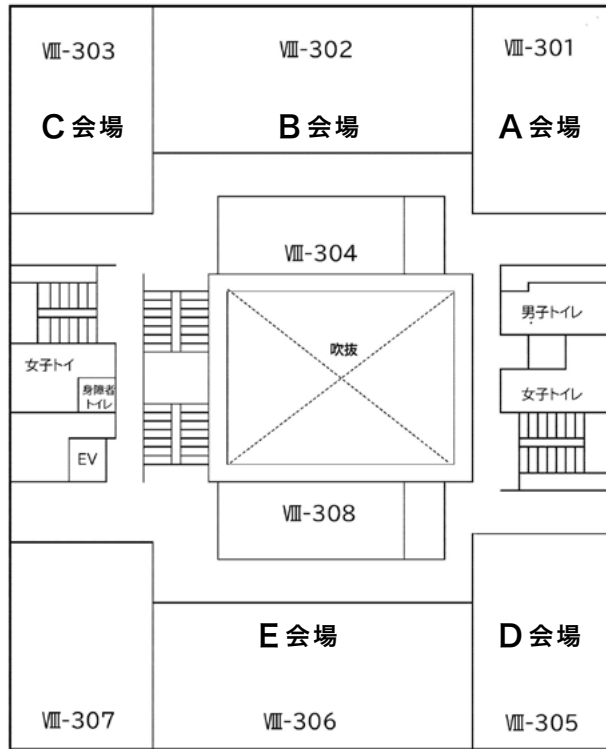
■ 関西学院大学 神戸三田キャンパス キャンパスマップ



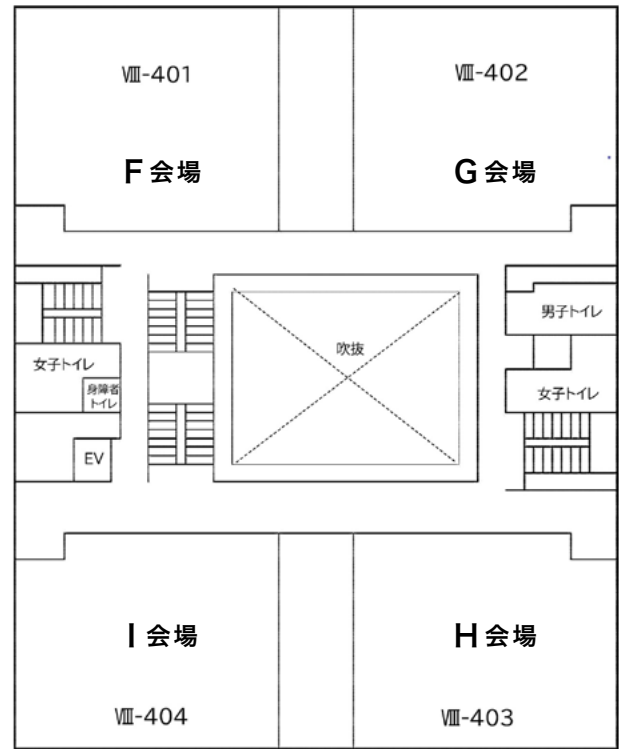
セッション会場のご案内

VIII号館

3 階



4 階

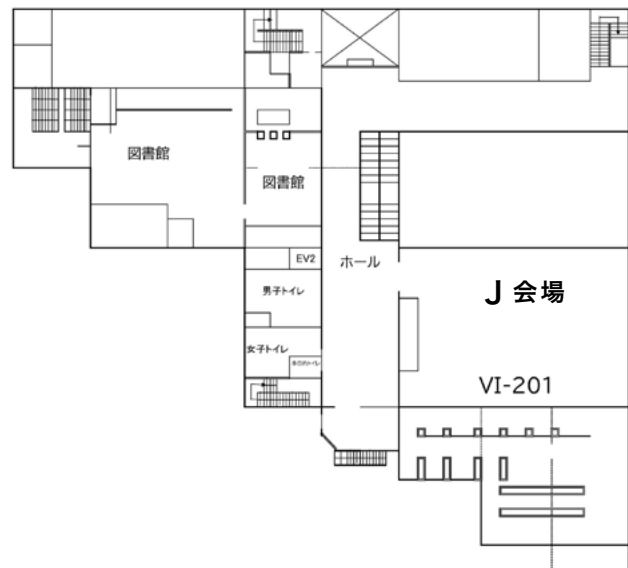


VI号館

1 階

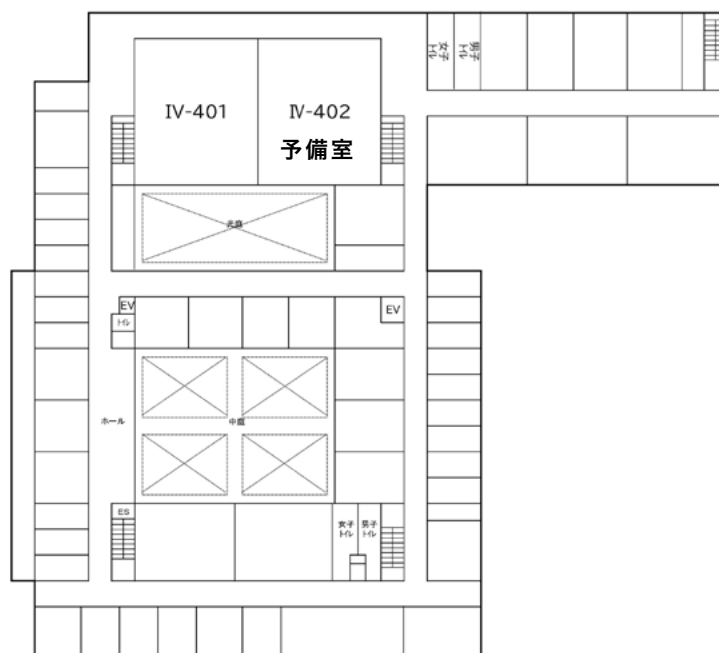


2 階



IV 号 館

4 階



- ◎ 来場初日に VIII 号館 1 階にて QR コード受付後、必ず参加証を受け取ってください。
- ◎ 定員が超過した場合は、予備室からオンラインでご参加ください。
- ◎ ポスター会場は体育館です。年会最終日 14 時まで掲示可能です。
- ◎ 構内での飲食は、決められた場所をお願いいたします。
食堂は第一厚生棟 1 階です。
- ◎ 下記の部屋は待機室として利用可能です。
アカデミックコモンズ 1 階のクレセントラウンジ、アクティブラーニングゾーン
※ただし、飲食は「飲食可能ゾーン」のみでお願いします。

座 長 一 覧 表

2024 年秋季年会

日 時 会 場	9 月 11 日 (水)		9 月 12 日 (木)		9 月 13 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
A 会場	M. 太陽 下条圭美 (国立天文台)	M. 太陽 山崎大輝 (宇宙航空研究開発機構)	M. 太陽 鳥海 森 (宇宙航空研究開発機構)	M. 太陽 草野亮也 (名古屋大学)	U. 宇宙論 並河俊弥 (東京大学)	U. 宇宙論 樽家篤史 (京都大学)
B 会場	Q. 星間現象 立原研悟 (名古屋大学)	Q. 星間現象 勝田 哲 (埼玉大学)	Q. 星間現象 鈴木寛大 (宇宙航空研究開発機構)	Q. 星間現象 佐野栄俊 (岐阜大学)	Q. 星間現象 田中孝明 (甲南大学)	
C 会場	S. 活動銀河核 道山知成 (周南公立大学)	S. 活動銀河核 三好 真 (国立天文台)	P1. 星形成 渡邊祥正 (芝浦工業大学)	P1. 星形成 徳田一起 (九州大学)	P1. 星形成 元木業人 (山口大学)	P1. 星形成 百瀬宗武 (茨城大学)
D 会場	P2. 原始惑星系円盤 塚本裕介 (鹿児島大学)	P2. 原始惑星系円盤 逢澤正嵩 (茨城大学)	P2. 原始惑星系円盤 田中 圭 (東京工業大学)	P3. 惑星系 飯野孝浩 (東京大学)	P3. 惑星系 大野和正 (国立天文台)	
E 会場	Y. 教育・広報・他 林左裕子 (東京大学)	Y. 教育・広報・他 山岡 均 (国立天文台)	N. 恒星・恒星進化 高橋 亘 (国立天文台)	N. 恒星・恒星進化 茂山俊和 (東京大学)	N. 恒星・恒星進化 守屋 亮 (国立天文台)	N. 恒星・恒星進化 鈴木昭宏 (東京大学)
F 会場	V1. 観測機器 中島 拓 (名古屋大学)	V1. 観測機器 今井 裕 (鹿児島大学)	V1. 観測機器 高倉 理 (KEK)	V1. 観測機器 米倉寛則 (茨城大学)	Z2. XRISM 山口弘悦 (宇宙航空研究開発機構)	Z2. XRISM 松下恭子 (東京理科大学)
G 会場	R. 銀河 太田耕司 (京都大学)	V2. 観測機器 馬場俊介 (宇宙航空研究開発機構)	V2. 観測機器 森谷友由希 (国立天文台)	V2. 観測機器 津村耕司 (京都市大学)	V2. 観測機器 山田 亨 (宇宙航空研究開発機構)	V2. 観測機器 永田伸一 (京都大学)
H 会場	Z1. 超小型衛星 中川貴雄 (宇宙航空研究開発機構)	Z1. 超小型衛星 玉川 徹 (理化学研究所)	V3. 観測機器 佐藤浩介 (QUP/KEK)	V3. 観測機器 寺田幸功 (埼玉大学)	V3. 観測機器 桂川美穂 (京都大学)	V3. 観測機器 沼澤正樹 (東京都立大学)
I 会場	W. コンパクト天体 中島基樹 (日本大学)	W. コンパクト天体 小嶋康史 (広島大学)	W. コンパクト天体 鴈野重之 (九州産業大学)	W. コンパクト天体 志達めぐみ (愛媛大学)	W. コンパクト天体 坂本貴紀 (青山学院大学)	
J 会場	T. 銀河団/X. 銀河形成・進化 藤田 裕 (東京都立大学)	X. 銀河形成・進化 菅原悠馬 (早稲田大学)	X. 銀河形成・進化 長尾 透 (愛媛大学)	X. 銀河形成・進化 伊藤 慧 (東京大学)	X. 銀河形成・進化 後藤友嗣 (清華大学 (台湾))	X. 銀河形成・進化 稲見華恵 (広島大学)

口頭セッション 9月11日(水)

	A 会場	B 会場	C 会場	D 会場	E 会場	F 会場	G 会場	H 会場	I 会場	J 会場
開始時刻	太 陽	星間現象	活動 銀河核	原始惑星 系円盤	教育・他	観測機器 (電波)	銀 河	超小型 衛星	コンパクト 天体	銀河団 / 銀河形成
9:30	M01a	Q01a	S01a	P201a	Y01a	V101a	R01a	Z101r	W01a	T01a
9:42	M02a	Q02a	S02a	P202a	Y02a	V102a	R02a		W02a	T02a
9:54	M03a	Q03a	S03a	P203a	Y03a	V103a	R03a	Z102r	W03a	T03a
10:06	M04a	Q04a	S04a	P204a	Y04a	V104a	R04a	Z103a	W04a	X01a
10:18	M05a	Q05a	S05a	P205a	Y05a	V105a	R05a	Z104a	W05a	X02a
10:30	M06a	Q06a	S06a	P206a	Y06a	V106a	R06a	Z105a	W06a	X03a
10:42	M07a	Q07a	S07a	P207a	Y07b Y08b	V107a	R07a	Z106b Z107b Z108b	W07a	X04a
10:54	M08a	Q08a	S08a	P208a	-	V108a	R08a	Z109a	W08a	X05a
11:06	M09a	-	S09a	P209a	-	V109b V110b V111b	R09a	Z110a	W09a	X06a
11:18	M10a	-	S10b S11b S12b	P210b P211b	-	V112b V113b	R10a	Z111b Z112b Z113b	W10b W11b W12b	X07a
11:30	M11b M12b M13b	-	S13b S14b S15b	-	-	-	R11b R12b R13b	Z114b Z115b Z116b	W13b	X08b X09b X10b
11:40	昼休み									
開始時刻	太 陽	星間現象	活動 銀河核	原始惑星 系円盤	教育・他	観測機器 (電波)	観測機器 (光赤・重)	超小型 衛星	コンパクト 天体	銀河形成
13:00	M15a	Q09a	S16a	P212a	Y09a	V114a	V201a	Z117r	W14a	X11a
13:12	M16a	Q10a	S17a	P213a	Y10a	V115a	V202a		W15a	X12a
13:24	M17a	Q11a	S18a	P214a	Y11a	V116a	V203a	Z118r	W16a	X13a
13:36	M18a	Q12a	S19a	P215a	Y12a	V117a	V204a	Z119a	W17a	X14a
13:48	M19a	Q13a	S20a	P216a	Y13a	V118a	V205a	Z120a	W18a	X15a
14:00	M20a	Q14a	S21a	P217a	Y14a	V119a	V206a	Z121b Z122b Z123b	W19a	X16a
14:12	M21a	Q15a	S22a	P218a	Y15b Y16b	V120a	V207a	Z124a	W20a	X17a
14:24	M22a	Q16a	S23a	P219a	-	V122b V123b V124b	V208a	Z125b Z126b Z127b	W21a	X18a
14:36	M23b M24b M25b	Q17b Q18b Q19b	S24a	P220a	-	V125b V126b V127b	V209a	Z128a	W22a	X19a
14:48	-	-	S25a	P221a	-	V128b V129b V130b	V210b V211b V212b	Z129a	W23b W24b W25b	X20a
15:00	-	-	S26a	P222b P223b	-	-	-	Z130b Z131b Z132b	-	X21b X22b
15:12	-	-	S27a	-	-	-	-	-	-	-
15:20	ポスター									
16:20	天文教育フォーラム									

※各セッション(午前/午後)の最後に質疑応答(10分)があります

口頭セッション 9月12日(木)

	A 会場	B 会場	C 会場	D 会場	E 会場	F 会場	G 会場	H 会場	I 会場	J 会場
開始時刻	太 陽	星間現象	星形成	原始惑星系円盤	恒星進化	観測機器 (電波)	観測機器 (光赤・重)	観測機器 (X線・γ線)	コンパクト 天体	銀河形成
9:30	M26a	Q21a	P101a	P225a	N01a	V131a	V213a	V301a	W26a	X23a
9:42	M27a	Q22a	P102a	P226a	N02a	V132a	V214a	V302a	W27a	X24a
9:54	M28a	Q23a	P103a	P227a	N03a	V133a	V215a	V303a	W28a	X25a
10:06	M29a	Q24a	P104a	P228a	N04a	V134a	V216a	V304a	W29a	X26a
10:18	M30a	Q25a	P105a	P229a	N05a	V135a	V217a	V305a	W30a	X27a
10:30	M31a	Q26a	P106a	P230a	N06a	V137a	V218a	V306a	W31a	X28a
10:42	M32a	Q27a	P107a	P231a	N07a	V138b V139b V140b	V219a	V307a	W32a	X29a
10:54	M33a	Q28a	P108b P109b P110b	P232a	N08a	V141b V142b V143b	V220b V221b V222b	V308a	W33a	X30a
11:06	M34a	Q29a	P111b P112b P113b	P233a	N09a	-	V224b V225b V226b	V309a	W34a	X31a
11:18	M35a	Q30a	P114b P115b	-	N10b N11b N12b	-	V230b	V310a	W35a	X32a
11:40	昼休み									
開始時刻	太 陽	星間現象	星形成	惑星系	恒星進化	観測機器 (電波)	観測機器 (光赤・重)	観測機器 (X線・γ線)	コンパクト 天体	銀河形成
13:00	M36a	Q31a	P116a	P301a	N13a	V144a	V231a	V311a	W36a	X33a
13:12	M37a	Q32a	P117a	P302a	N14a	V145a	V232a	V312a	W37a	X34a
13:24	M38a	Q33a	P118a	P303a	N15a	V146a	V233a	V313a	W38a	X35a
13:36	M39a	Q34a	P119a	P304a	N16a	V147a	V234a	V314a	W39a	X36a
13:48	M40a	Q35a	P120a	P305a	N17a	V148a	V235a	V315a	W40a	X37a
14:00	M41a	Q36a	P121a	P306a	N18a	V149a	V236a	V316a	W41a	X38a
14:12	M42a	Q37a	P122a	P307a	N19a	V150a	V237a	V317a	W42a	X39a
14:24	M43a	Q38a	P123a	P308a	N20a	V151a	V238a	V318a	W43a	X40a
14:36	M44a	Q39a	P124a	P309b P310b P311b	N21a	V152a	V239b V240b V241b	V319a	W44a	X41a
14:48	M45a	-	P125a	-	-	V153b	V242b V243b	V320a	W45a	X42b X43b
15:00	-	-	-	-	-	-	-	V321b V322b V323b	W46a	-
15:20	ポスター									
16:20	会員全体集会									
17:20	受賞記念講演									

※各セッション(午前/午後)の最後に質疑応答(10分)があります

口頭セッション 9月13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	I 会場	J 会場
開始時刻	宇宙論	星間現象	星形成	惑星系	恒星進化	XRISM	観測機器 (光赤・重)	観測機器 (X線・γ線)	コンパクト 天体	銀河形成
9:30	U01a	Q40a	P126a	P313a	N22a	Z201a	V244a	V324a	W48a	X45a
9:42	U02a	Q41a	P127a	P314a	N23a	Z202r	V245a	V325a	W49a	X46a
9:54	U03a	Q42a	P128a	P315a	N24a	Z203a	V246a	V326a	W50a	X47a
10:06	U04a	Q43a	P129a	P316a	N25a	Z204a	V247a	V327a	W51a	X48a
10:18	U05a	Q44a	P130a	P317a	N26a	Z205a	V248a	V328a	W52a	X49a
10:30	U06a	Q45a	P131a	P318a	N27a	Z206a	V249a	V329a	W53a	X50a
10:42	U07a	Q46a	P132a	P319a	N28a	Z207r	V250a	V330a	W54a	X51a
10:54	U08a	Q47a	P133a	P320a	N29a		V251a	V331a	W55a	X52a
11:06	U09a	Q48a	P134a	P321a	N30a	Z208a	V252a	V332a	W56a	X53a
11:18	U10a	Q49a	P135a	P322a	N31a	Z209a	V253a	V333a	W57a	X54a
11:30	U11b	-	-	-	N32a	Z210a	-	V334a	-	-
11:40	昼休み									
開始時刻	宇宙論		星形成		恒星進化	XRISM	観測機器 (光赤・重)	観測機器 (X線・γ線)		銀河形成
13:00	U12a		P136a		N33a	Z211a	V254a	V335a		X55a
13:12	U13a		P137a		N34a	Z212r	V255a	V336a		X56a
13:24	U14a		P138a		N35a		V256a	V337a		X57a
13:36	U15a		P139a		N36a	Z213a	V257a	V338a		X58a
13:48	U16a		P140a		N37a	Z214a	V258a	V339a		-
14:00	U17a		P141a		N38a	Z215a	V259a	V340a		-
14:12	U18a		P142a		N39a	Z216a	-	V341a		-
14:24	U19a		P143a		N40a	Z217r	-	V342a		-
14:36	U20a		P144a		-	Z218a	-	-		-
14:48	U21a		-		-	Z219a	-	-		-
15:00	U22a		-		-	Z220a	-	-		-
15:12	U23a		-		-	-	-	-		-
15:30	特別セッション									

※各セッション(午前/午後)の最後に質疑応答(10分)があります

ポスターセッション 9月11日(水)、9月12日(木)

【Z1. 超小型衛星】(18) Z106b Z107b Z108b Z111b Z112b Z113b Z114b Z115b Z116b Z121b Z122b Z123b Z125b Z126b Z127b Z130b Z131b Z132b 【Z2. XRISM】(1) Z221c 【M. 太陽】(7) M11b M12b M13b M14c M23b M24b M25b 【N. 恒星・恒星進化】(3) N10b N11b N12b 【P1. 星・惑星形成(星形成)】(8) P108b P109b P110b P111b P112b P113b P114b P115b 【P2. 星・惑星形成(原始惑星系円盤)】(5) P210b P211b P222b P223b P224c 【P3. 星・惑星形成(惑星系)】(4) P309b P310b P311b P312c 【Q. 星間現象】(4) Q17b Q18b Q19b Q20c 【R. 銀河】(4) R11b R12b R13b R14c	【S. 活動銀河核】(6) S10b S11b S12b S13b S14b S15b 【U. 宇宙論】(1) U11b 【V1. 観測機器(電波)】(23) V109b V110b V111b V112b V113b V121c V122b V123b V124b V125b V126b V127b V128b V129b V130b V136c V138b V139b V140b V141b V142b V143b V153b 【V2. 観測機器(光赤外・重力波・その他)】(19) V210b V211b V212b V220b V221b V222b V223c V224b V225b V226b V227c V228c V229c V230b V239b V240b V241b V242b V243b 【V3. 観測機器(X線・γ線)】(3) V321b V322b V323b 【W. コンパクト天体】(8) W10b W11b W12b W13b W23b W24b W25b W47c 【X. 銀河形成・進化】(8) X08b X09b X10b X21b X22b X42b X43b X44c 【Y. 天文教育・広報普及・その他】(4) Y07b Y08b Y15b Y16b
---	--

Z1. 超小型衛星活用による天体物理観測の新展開

9月11日(水) 午前・H会場		11:18	Z113b VERTECS: Selection of Observation Fields and Observation Simulation Ojika, Akimasa (Kwansei Gakuin University)
09:30	Z101r 天体観測における超小型衛星の国際動向 金岡充晃(シー・エス・ピー・ジャパン株式会社)	11:30	Z114b 超小型衛星 VERTECS での観測に向けた銀河系内の星積算光の輝度推定 津本明音(関西学院大学)
09:52	Z102r BurstCube: A CubeSat for Gravitational Wave Counterparts Perkins, Jeremy (NASA/GSFC)	11:30	Z115b 超小型衛星 VERTECS での暗黒星雲法達成に必要な観測条件の検証 大原有稀(関西学院大学)
10:06	Z103a 超小型衛星群 CAMELOT によるガンマ線バースト観測 浦田岬(広島大学)	11:30	Z116b VERTECS: Study for Observation of Extragalactic Background Light Fluctuation Tome, Yuto (Kyushu Institute of Technology)
10:18	Z104a X線突発天体監視速報衛星こよう(KOYOH)の打ち上げおよび初期観測報告 澤野達哉(金沢大学)	11:42	質疑応答(10分)
10:30	Z105a 超小型 X 線衛星 NinjaSat による新天体 SRGA J144459.2-604207 の長期モニタリング観測 武田朋志(理化学研究所/東京理科大学)		
10:42	Z106b 超小型 X 線衛星 NinjaSat の時刻較正とパルサー観測による検証 大田尚享(理化学研究所/東京理科大学)		
10:42	Z107b 超小型 X 線衛星 NinjaSat の運用とパイプラインデータ処理 岩田智子(理化学研究所/東京理科大学)		
10:42	Z108b 超小型 X 線衛星 NinjaSat に搭載した X 線検出器の軌道上での光軸調査 渡部蒼汰(理化学研究所/東京理科大学)		
10:54	Z109a 速報実証衛星 ARICA-2 エンジニアリングモデルの開発および評価 浦壁奈央(青山学院大学)		
11:06	Z110a VERTECS: Science Goal and Observation Plan Takahashi, Aoi(宇宙航空研究開発機構)		
11:18	Z111b VERTECS: 6U CubeSat for observation of visible extragalactic background light Sano, Kei (Kyushu Institute of Technology)		
11:18	Z112b VERTECS: Progress Report on the Development of the Visible Light Telescope Takimoto, Kohji(宇宙航空研究開発機構)		

9 月 11 日 (水) 午後・H 会場		14:36	Z128a 月の水資源探査とシスルナ宙域での天文学・物理学を開拓するMoMoTarO計画 榎戸輝揚(京都大学/理化学研究所)
13:00	Z117r HaloSat and astrophysics small satellite programs supported by NASA Jahoda, Keith (NASA Goddard Space Flight Center)	14:48	Z129a 超小型衛星の高精度編隊飛行による宇宙干渉計 SEIRIOS 松尾太郎(名古屋大学)
13:22	Z118r QUVIK: QUICK ULTRA-VIOLET KILONOVA SURVEYOR Werner, Norbert (Masaryk University)	15:00	Z130b 超小型衛星を用いたスターシェード技術実証ミッション「Euryops」の提案 中村壮児(総合研究大学院大学)
13:36	Z119a 天文観測衛星「うみつばめ」の開発進捗状況 関響(東京工業大学)	15:00	Z131b 超短焦点高結像性能 X 線望遠鏡の開発 安福千貴(名古屋大学)
13:48	Z120a MAUVE: Private Company's UV Smallsat Exploring Exoplanetary Space Weather 行方宏介(京都大学)	15:00	Z132b 宇宙天気現象が与える超小型衛星の高度低下などの影響について 野澤恵(茨城大学)
14:00	Z121b VERTECS: Electrical Power System and Power Management Nakagawa, Shunsuke (Kyushu Institute of Technology)	15:12	質疑応答(10 分)
14:00	Z122b VERTECS: Development of the on-board Communication Equipment and Ground Segments Sato, Rin (Kyushu Institute of Technology)		
14:00	Z123b Current Status Report on the Detector for VERTECS Hirose, Yuki (Kwansei Gakuin University)		
14:12	Z124a INSPIRE: MeV Gamma-Ray Detector on a 50-kg Class Satellite Tanaka, Kazuo (Waseda University)		
14:24	Z125b 小型衛星 INSPIRE 搭載コンプトンカメラの熱試験及び観測時間の推定 須賀友也(早稲田大学)		
14:24	Z126b 重力波やニュートリノ源の X 線対応天体探査専用キューブサットミッションの検討 坂本貴紀(青山学院大学)		
14:24	Z127b 狭視野半導体コンプトンカメラと符号化マスクで sub-MeV 帯域での 10 分角の角分解能を目指す SGI 計画 中澤知洋(名古屋大学)		

Z2. XRISM 衛星がひらく高エネルギー天文学

9 月 13 日 (金) 午前・F 会場		9 月 13 日 (金) 午後・F 会場	
09:30	Z201a X 線分光撮像衛星 XRISM の現状 田代信 (埼玉大学/宇宙航空研究開発機構)	13:00	Z211a X 線分光撮像衛星 XRISM による銀河系中心領域の観測 信川正順 (奈良教育大学)
09:40	Z202r XRISM Observations of Galactic Compact and Stellar Objects in Performance Verification Phase 志達めぐみ (愛媛大学)	13:12	Z212r XRISM Observations of Active Galactic Nuclei in Performance Verification Phase Noda, Hirofumi (Tohoku University)
09:58	Z203a Outflow from supercritical accretion flow in the low-mass X-ray binary GX 13+1 都丸亮太 (大阪大学)	13:29	Z213a XRISM Observation of Nearby Seyfert 1 Galaxy MCG-6-30-15 小川翔司 (宇宙航空研究開発機構)
10:10	Z204a XRISM による大質量 X 線連星 Cyg X-3 の精密分光観測 三浦大貴 (東京大学/宇宙航空研究開発機構)	13:41	Z214a XRISM Observation of Nearby Compton Thick AGN in Circinus Galaxy 上田佳宏 (京都大学)
10:22	Z205a XRISM に向けた SS433 の輻射磁気流体シミュレーション 五十嵐太一 (国立天文台/立教大学)	13:53	Z215a XRISM observations of the powerful disk wind quasar PDS 456: 1. Overview and highlights 萩野浩一 (東京大学)
10:34	Z206a 相対論的フロー中の熱的・非熱的粒子による核破碎と UFO・ULX などにおけるその効果の観測可能性 井上進 (千葉大学/東京大学)	14:05	Z216a 輻射流体計算による ultra fast outflow の時間変動の研究～ XRISM での観測に向けて～ 黒田裕太郎 (筑波大学)
10:46	Z207r XRISM Observations of Galactic Diffuse Sources in Performance Verification Phase 内田裕之 (京都大学)	14:17	Z217r XRISM observations of galaxy clusters during performance verification phase 佐藤浩介 (埼玉大学)
11:04	Z208a XRISM 衛星による超新星残骸 Cassiopeia A 観測とその現状 佐藤寿紀 (明治大学)	14:34	Z218a X 線天文衛星 XRISM によるケンタウルス座銀河団の重元素組成比測定 福島光太郎 (宇宙航空研究開発機構)
11:16	Z209a X 線天文衛星 XRISM を用いた超新星残骸 N132D のプラズマ診断と運動学 鈴木寛大 (宇宙航空研究開発機構)	14:46	Z219a XRISM 衛星による Abell2029 銀河団の初期観測成果 太田直美 (奈良女子大学)
11:28	Z210a XRISM 衛星による超新星残骸 W49B 再結合優勢プラズマの精密 X 線分光 澤田真理 (立教大学)	14:58	Z220a 銀河系矮小銀河 XRISM 分光観測で挑むダークマター X 線輝線探索 林航平 (仙台高等専門学校)
11:40	質疑応答 (10 分)		Z221c Resolve 精密分光で迫る恒星巨大フレア現象 栗原明稀 (東京大学/宇宙航空研究開発機構)
		15:10	質疑応答 (10 分)

M. 太陽

9 月 11 日 (水) 午前・A 会場		11:30	M13b	国立天文台の黒点スケッチを用いた活動経度の調査 山口慎太郎 (茨城大学)
09:30	M01a			RS CVn 型連星 IM Peg における Fe XXV He α 輝線の高速な青方偏移 井上峻 (京都大学)
09:42	M02a		M14c	太陽メートル波帯 II 型電波バーストのスペクトル微細構造の特徴 -II 三澤浩昭 (東北大学)
		11:42		質疑応答 (10 分)
09:54	M03a			ポストフレアループにおける複数の彩層ラインのスペクトルの比較 夏目純也 (京都大学)
		9 月 11 日 (水) 午後・A 会場		
10:06	M04a	13:00	M15a	活動領域 NOAA13664 の磁場構造解析とフレア発生予測について 草野完也 (名古屋大学)
		13:12	M16a	2024 年 5 月に X クラスフレアを連発した活動領域について 塩田大幸 (情報通信研究機構)
10:18	M05a	13:24	M17a	2024 年 5 月上旬に発生した CME 群の惑星間空間シンチレーション観測 岩井一正 (名古屋大学)
10:30	M06a	13:36	M18a	活動領域磁場構造に注目した CME 発生条件の研究 森山智生 (名古屋大学)
10:42	M07a	13:48	M19a	2024 年 5 月大規模太陽フレアに伴う太陽電波バースト観測と CME 速度導出 西塚直人 (情報通信研究機構)
10:54	M08a	14:00	M20a	2012 年 3 月 7 日の太陽フレア・CME に付随する持続的ガンマ線放射 (SGRE) イベントに関する研究 増田智 (名古屋大学)
11:06	M09a	14:12	M21a	太陽における水素ライマン線の放射変動とその地球電離圏への影響 大窪遼介 (防衛大学校)
11:18	M10a	14:24	M22a	同時代のアナログ記録に基づく 1956 年 2 月の太陽高エネルギー粒子嵐の改訂 早川尚志 (名古屋大学)
11:30	M11b	14:36	M23b	新しい磁気リコネクションモデルの太陽-地球系での観測的検証 (続) 新田伸也 (筑波技術大学)
11:30	M12b	14:36	M24b	フォーブッシュ減少の多点比較で迫る ICME の時空間発展に関する研究 木下岳 (東京大学)

14:36	M25b	XRISMによる太陽フレアの地球大気反射 X線の観測 鈴木寛大(宇宙航空研究開発機構)	9月12日(木) 午後・A会場	
14:48		質疑応答(10分)	13:00	M36a 3次元輻射磁気流体計算による多様な 太陽風の再現実験 飯島陽久(名古屋大学)
9月12日(木) 午前・A会場			13:12	M37a 非線形過程に注目した円偏光アルフベン 波の減衰不安定性に関する数値研究 鈴木嘉也(名古屋大学)
09:30	M26a	SUNRISE-3大気球太陽観測実験: 2024 年フライト結果 久保雅仁(国立天文台)	13:24	M38a 活動領域磁場拡散に伴う太陽黒点周り のオープンフラックスの発展 吉田南(東京大学)
09:42	M27a	ALMAによる100 GHz 太陽偏波観測 下条圭美(国立天文台)	13:36	M39a 太陽極域におけるリム付近での平均磁 束密度の過小評価について 藤森愛梨沙(東京大学)
09:54	M28a	ALPACA 実験 8: 太陽からのコロナ質量 放出(2024年5月9日9時24分(UTC)) に伴うALPAQUITAアレイで観測された宇 宙線頻度変化 瀧田正人(東京大学)	13:48	M40a 現実的な太陽浮上磁場計算における初 期ねじれ強度に対する依存性の調査 鳥海森(宇宙航空研究開発機構)
10:06	M29a	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 の観測初 期成果 成影典之(国立天文台)	14:00	M41a 熱対流を含めた太陽対流層内での磁束 管浮上のシミュレーション研究 吉川航輝(名古屋大学)
10:18	M30a	太陽X線集光撮像分光観測ロケット実験 FOXSI-3が観測したフィラメント噴出領域 の詳細温度解析 廣瀬維士(総合研究大学院大学)	14:12	M42a On sunspot penumbra and Evershed flow: II. Analysis and interpretation 堀田英之(名古屋大学)
10:30	M31a	太陽フレアにおけるプラズモイド不安定 型リコネクションの観測的検証 広瀬暖菜(東京大学)	14:24	M43a 機械学習を用いた太陽内部推定手法の 日震学との比較 正木寛之(千葉大学)
10:42	M32a	連結階層シミュレーションを用いたカレン トシートの微視的不安定性の検証 芥川慧大(東京大学)	14:36	M44a 非線形平均場ダイナモモデルによる太陽 型星磁場生成の自転率依存性の解析 鳶田遼太(京都大学)
10:54	M33a	コロナ質量放出(CMEs)に伴うプラズマ 流温度・速度の高度依存性 平岡勇人(東京大学)	14:48	M45a 太陽大気中の磁束管における電磁運動 量保存則 柴崎清登(太陽物理学研究所)
11:06	M34a	Pseudostreamer の1次元数値シミュレー ションと経験則の構築 戸頃響吾(東京大学)	15:00	質疑応答(10分)
11:18	M35a	活動領域の端で観測されるプラズマ上昇 流と低速太陽風の関係 森島啓太(名古屋大学)		
11:30		質疑応答(10分)		

N. 恒星・恒星進化

9 月 12 日 (木) 午前・E 会場			9 月 12 日 (木) 午後・E 会場		
09:30	N01a	Tomo-e Gozen による T Tauri 型星の短時間変動の検出 根津正大 (東京大学)	13:00	N13a	水素輝線等価幅とバルマー減速率のモニタリングから探る Be 星の円盤構造 II 石田光宏 (横浜市立戸塚高等学校)
09:42	N02a	TriCCS 分光モードを用いた恒星フレアの高速分光観測 前原裕之 (国立天文台)	13:12	N14a	Wind-disk interaction in single and binary Be stars 岡崎敦男 (北海学園大学)
09:54	N03a	測光分光同時観測で迫る M 型星フレア可視連続光の短時間での時間発展 市原晋之介 (京都大学)	13:24	N15a	Possible anti-correlations between pulsation amplitudes and the disk growth of Be stars in giant-outbursting Be X-ray binaries 庭野聖史 (東京工業大学)
10:06	N04a	XMM-Newton を用いた A 型主系列星の系統的 X 線分光 / 測光解析 (2) 中澤皓太 (名古屋大学)	13:36	N16a	X線バースト天体 SRGA J144459.2-604207 から推定される連星進化への示唆 土肥明 (理化学研究所)
10:18	N05a	XRISM and CHAO observations of HR1099 長島汀 (中央大学)	13:48	N17a	Evolutionary models for the Very Massive Stars in the R136 cluster of 30 Doradus in the LMC Keszthelyi, Zsolt (NAOJ)
10:30	N06a	非常に長い変光周期を持つ OH/IR 星の周期光度関係の示唆 中川亜紀治 (鹿児島大学)	14:00	N18a	X-ray Spectral Structure around the Fe XXV lines of Eta Carinae observed with the X-Ray Imaging and Spectroscopy Mission (XRISM) Miyamoto, Asca (Tokyo Metropolitan University)
10:42	N07a	炭素星ミステリーと後期 AGB 星の外層構造 浦郷陸 (アストロバイオロジーセンター)	14:12	N19a	X 線分光撮像衛星 XRISM による超新星残骸 Cassiopeia A における希少元素の探索 松永海 (京都大学)
10:54	N08a	長周期変光星周 SiO メーザーの VLBI モニター観測で探る星周物質の加速機構 甘田溪 (鹿児島大学)	14:24	N20a	一次元恒星進化シミュレーションを用いた Ia 型超新星 Kepler の伴星推定 穴澤萌衣 (京都大学)
11:06	N09a	RY Dra からの磁気駆動風と SiC ダスト 保田悠紀 (北海道大学)	14:36	N21a	白色矮星を残した超新星爆発 SN 1181 の残骸からの電波放射とその観測提案 黄天鋭 (東京大学)
11:18	N10b	りゅう座 BY 型星 V1402 Ori の高分散分光観測データの解析 戸田俊光 (岡山理科大学)	14:48		質疑応答 (10 分)
11:18	N11b	炭素星 CIT 6 に向けた 30 - 50 GHz ラインサーベイ 中村文隆 (国立天文台)			
11:18	N12b	磁気活動性の高い K 型星 PW And の H α 線と近赤外 CaII 三重輝線での分光観測 永田晴飛 (兵庫県立大学)			
11:30		質疑応答 (10 分)			

9月13日（金）午前・E会場			9月13日（金）午後・E会場		
09:30	N22a	超新星の爆発直前の活動について MeV/GeV/TeVニュートリノを用いた診断 方法の提案 澤田涼（東京大学）	13:00	N33a	超新星スペクトルに現れるヘリウム吸収 線の Non-LTE 計算 千葉公哉（東北大学）
09:42	N23a	重力崩壊型超新星のニュートリノ放射の 非等方性について 中村航（福岡大学）	13:12	N34a	密度が一般的な CSM との相互作用により 輝く超新星の光度曲線 千葉遼太郎（国立天文台/総合研究大 学院大学）
09:54	N24a	ニュートリノ輻射輸送の解像度依存性 伊藤侃（早稲田大学）	13:24	N35a	1m 望遠鏡 /kSIRIUS で捉えられた Ibn/ Icn 型超新星 SN 2023xgo の赤外超過 山中雅之（鹿児島大学）
10:06	N25a	超新星ニュートリノの定量解析を用いた 超新星までの距離推定法 諏訪雄大（東京大学）	13:36	N36a	日本および韓国 VLBI 観測網による SN 2023ixf の電波フォローアップ観測 岩田悠平（国立天文台）
10:18	N26a	スーパーカミオカンデにおける 10 Mpc 以内の超新星爆発由来のニュートリノイ ベント探索 中西史美（岡山大学）	13:48	N37a	青色超巨星の爆発の多様性 守屋堯（国立天文台）
10:30	N27a	一般相対論的ボルツマン輻射流体コー ドによる重力崩壊型超新星爆発計算 赤穂龍一郎（早稲田大学）	14:00	N38a	散開星団における Gaia BH・Gaia NS の 力学的捕獲による形成 谷川衝（福井県立大学）
10:42	N28a	遠心力による変形を考慮した高速回転 する白色矮星の進化 小形美沙（早稲田大学）	14:12	N39a	新たな Li 過剰金属欠乏星の発見とその 詳細な組成パターンの測定 松野允郁（ハイデルベルク大学）
10:54	N29a	高速自転小質量星の磁気制動抑制の 可能性 徳野鷹人（東京大学）	14:24	N40a	すばる望遠鏡による極超金属欠乏星の 観測 須田拓馬（東京工科大学）
11:06	N30a	超新星爆発フォールバック計算のため の手法開発 篠田兼伍（東京大学）	14:36		質疑応答（10 分）
11:18	N31a	円盤状星周物質と相互作用する II 型超 新星の 2 次元輻射流体力学シミュレー ション 鈴木昭宏（東京大学）			
11:30	N32a	球対称降着流における熱核反応の役割 II – ヘリウム降着 茂山俊和（東京大学）			
11:42		質疑応答（10 分）			

P1. 星・惑星形成(星形成)

9月12日(木) 午前・C会場		11:06	P113b 山口干渉計を用いた赤外線暗黒星雲中の大質量原始星ジェット探査の現状 元木業人(山口大学)
09:30	P101a 小マゼラン銀河における大質量星を多く含む星団の初期質量関数の推定 中野覚矢(名古屋大学)	11:18	P114b リチウムの存在度に基づく若い星団の年齢の推定 水本拓走(兵庫県立大学)
09:42	P102a ガス雲衝突による大質量星団の形成: 質量収束機構と大質量の起源 福井康雄(名古屋大学)	11:18	P115b ペルセウス座分子雲 Barnard 1 領域における若い超低質量天体の近赤外測光探査 小柳香(埼玉大学)
09:54	P103a NGC 1333 における分子雲衝突に誘発されたフィラメント形成(2) 伊藤拓冬(名古屋大学)	11:30	質疑応答(10分)
10:06	P104a かなた望遠鏡可視偏光サーベイ:Sagittarius 銀河腕中の3次元磁場構造(III) 城壮一郎(東京大学)		
10:18	P105a かなた望遠鏡可視偏光サーベイ:大質量星形成領域 W33 方向の磁場構造 土井靖生(東京大学)		
10:30	P106a かなた望遠鏡可視偏光サーベイ:MBM 37 の星無しコア周縁部の磁場構造 堀友哉(広島大学)		
10:42	P107a かなた望遠鏡可視偏光サーベイ:若い星団 NGC 6910 内の磁場構造とダストサイズ 丸田哲温(広島大学)		
10:54	P108b ハブ-フィラメント系の形成・進化過程解明に向けた輻射磁気流体シミュレーション 安部大晟(東北大学)		
10:54	P109b 銀河系外縁部にある Sh2-283 分子雲に対する CO 同位体輝線観測 百瀬宗武(茨城大学)		
10:54	P110b 磁場と乱流が First core に与える影響 坂元優一(鹿児島大学)		
11:06	P111b 大質量原始星アウトフローにおける CO 分子の紫外線解離の金属量依存性 小嶋一生(東京工業大学)		
11:06	P112b 星形成初期段階における交換型不安定性による磁束輸送現象の探究(3): ALMA による分子雲コアに埋もれた 10au 原始星円盤から伸びた棘構造の検出 徳田一起(九州大学/国立天文台)		

9 月 12 日 (木) 午後・C 会場		9 月 13 日 (金) 午前・C 会場	
13:00	P116a 野辺山 45m 電波望遠鏡に搭載された eQ 受信機による Serpens South クラスター領域内の星なし分子雲コアのラインサーベイ観測 谷口琴美 (国立天文台)	09:30	P126a 形成中の球状星団での中間質量ブラックホール形成 藤井通子 (東京大学)
13:12	P117a 野辺山 45m 鏡 受信機 7BEE を用いた巨大分子雲 W3 における重水素化分子の観測 宮戸健 (電気通信大学)	09:42	P127a トレーサー粒子を実装した 3 次元流体力学数値計算に基づく星形成分子雲コアの同定とその時間発展 野崎信吾 (九州大学)
13:24	P118a 野辺山 45m 望遠鏡による Spitzer Bubble の多輝線観測 高山楓菜 (名古屋大学)	09:54	P128a 宇宙初期環境における HI ガス衝突による大質量星団形成 前田龍之介 (東北大学)
13:36	P119a 機械学習を用いた分子輝線データによるダスト温度予測モデルの構築 堂込天太 (鹿児島大学)	10:06	P129a JWST で探る銀河系最外縁部における星生成 泉奈都子 (岐阜大学/国立天文台)
13:48	P120a フィラメント・フィラメント衝突とハブの形成 富阪幸治 (国立天文台)	10:18	P130a 磁場とその散逸を考慮した低金属量環境下における星形成 村社伊樹 (九州大学)
14:00	P121a 磁場に貫かれたフィラメント状分子雲同士 の衝突進化シミュレーション III. 直交衝突により形成された圧縮雲の不安定条件 柏木頼我 (国立天文台)	10:30	P131a サブミリ波観測で探る IC1396A グロビュール内の磁場と星形成 和田羅文 (鹿児島大学)
14:12	P122a 降着とコア・フィラメント衝突 : Per-emb-2 におけるストリーマー形成への示唆 吉野碧斗 (東京大学)	10:42	P132a 星の固有運動から探る誘発的星形成のメカニズム 深谷直史 (名古屋大学)
14:24	P123a 低金属量銀河小マゼラン雲における大質量原始星の ALMA 観測 (3): 原始星に付随するフィラメント状分子雲普遍性の検証 國年悠里 (大阪公立大学)	10:54	P133a ALMA 望遠鏡を用いた大マゼラン雲における大質量星原始星に付随する分子ガス・電離ガスの観測的研究 安達大揮 (大阪公立大学)
14:36	P124a アンテナ銀河における巨大分子雲の Type 分類と進化描像 出町史夏 (名古屋大学)	11:06	P134a 天の川銀河外縁部における原始星アウトフロー及びジェットの見出し 池田達紀 (新潟大学)
14:48	P125a Signs of the global and local infall in a 70 μ m dark massive clump 森井嘉穂 (東京大学)	11:18	P135a 磁化した乱流分子雲コアの磁場と角運動量の向きの違いが単極アウトフロー駆動に与える影響 高石大輔 (鹿児島大学)
15:00	質疑応答 (10 分)	11:30	質疑応答 (10 分)

P2. 星・惑星形成(原始惑星系円盤)

9 月 13 日 (金) 午後・C 会場		9 月 11 日 (水) 午前・D 会場	
13:00	P136a 若い原始星天体 IRAS 15398-3359 の形成進化が周囲に与える複雑な影響 大小田結貴(理化学研究所)	09:30	P201a 対流的な原始星に接続する原始惑星系円盤での角運動量輸送 高棹真介(大阪大学)
13:12	P137a IRAS15398-3359 からのアウトフローに見られる Shell 構造の成因 花輪知幸(千葉大学)	09:42	P202a 原始惑星系円盤の大局的非理想磁気流体力学シミュレーション: 上面と下面で密度非対称な円盤風 森昇志(清華大学)
13:24	P138a 星形成初期段階における個々のダスト粒子の軌道および成長過程 原田直人(東京大学)	09:54	P203a 解析的アウトフローモデルを用いた原始星アウトフロー中でのダスト運動の研究 内村迅渡(鹿児島大学)
13:36	P139a Chemical layered structures and the ionisation rates in the disk around a low-mass Class 0 protostar NGC 1333 IRAS 4C: FAUST 野津翔太(東京大学)	10:06	P204a CO 分子輝線の圧力広がりウィングを用いた円盤ガス面密度分布の制約: HD 169142 円盤 吉田有宏(総合研究大学院大学/国立天文台)
13:48	P140a 実験室分子分光に基づく V883 Orionis におけるメタノール分子の重水素濃集度の導出とその起源 坂井南美(理化学研究所)	10:18	P205a 原始惑星系円盤の赤道面における非軸対称成分探査: 手法の提案 逢澤正嵩(茨城大学)
14:00	P141a Hot Core におけるメタノール分子存在量評価に向けた $\text{CH}_3^{17}\text{OH}$ 分子のミリ波周波数帯実験室分光測定 小山貴裕(理化学研究所)	10:30	P206a IRS 48 周囲の原始惑星系円盤における傾いた内側円盤の存在の示唆 武藤恭之(工学院大学)
14:12	P142a Orion KL 領域における $\text{CH}_3^{17}\text{OH}$ の検出 渡邊祥正(芝浦工業大学)	10:42	P207a ホール効果が原始惑星系円盤のデッドゾーン内側境界近傍の構造に与える影響 岩崎一成(国立天文台)
14:24	P143a ALMA を用いた大質量星形成領域 G351.77-0.54 に対する複雑な有機分子輝線の観測 小松野蒼(電気通信大学)	10:54	P208a 円盤の見え方: 散乱を考慮した円盤放射の解析解 田中圭(東京工業大学)
14:36	P144a 原始星降着進化モデルの検証 高橋亘(国立天文台)	11:06	P209a 観測モデルによる大質量原始星円盤における岩石ダスト成長の制約 山室良太(東京工業大学)
14:48	質疑応答(10 分)	11:18	P210b 鉛直シア不安定性乱流に対する冷却率の時空間進化の影響 福原優弥(東京工業大学)
		11:18	P211b 原始惑星系円盤の ALMA 偏光データの多天体解析による偏光機構の解明 北出直也(総合研究大学院大学/国立天文台)
		11:30	質疑応答(10 分)

9 月 11 日 (水) 午後・D 会場			
13:00	P212a 影から探る円盤鉛直構造とダスト進化 (I): 近赤外線・サブミリ波の高空間分解能観測を利用した円盤冷却時間測定 折原龍太 (茨城大学)	15:12	P224c ダスタグリゲイトの衝突結果に物性の違いが与える影響 長谷川幸彦 (東北大学) 質疑応答 (10 分)
13:12	P213a 影から探る円盤鉛直構造とダスト進化 (II): 測定された冷却時間と整合的なダスト分布・乱流強度の理論的推定 福原優弥 (東京工業大学)	9 月 12 日 (木) 午前・D 会場	
13:24	P214a 粘性降着円盤のダストの保温効果が駆動するダスト濃集 加藤遼 (東京工業大学)	09:30	P225a 1 次元永年円盤進化計算によるガスリッチデブリ円盤の起源の解明 大山航 (京都大学)
13:36	P215a 原始惑星系円盤のストリーミング不安定性が駆動する乱流中のダスト成長 富永遼佑 (東京工業大学)	09:42	P226a ガスリッチデブリ円盤の起源に関する新モデル: 遅延円盤散逸モデル 仲谷峻平 (NASA Jet Propulsion Laboratory/California Institute of Technology/理化学研究所)
13:48	P216a ダストと円盤の共進化過程 II: 解析的計算に基づく円盤構造の進化 塚本裕介 (鹿児島大学)	09:54	P227a 乱流状態にある原始惑星系円盤での複雑有機分子の化学進化 鈴木大輝 (東京大学)
14:00	P217a 圧縮ダスタグリゲイトの衝突シミュレーション: 付着・跳ね返り境界条件の推定 大城榛音 (東京工業大学)	10:06	P228a 原始惑星系円盤における C ₂ H の重水素化合物の観測 大和義英 (東京大学)
14:12	P218a 星間ダストを模した浮遊マイクロ粒子の付着・成長実験: 初期実験結果 I 大橋聡史 (国立天文台)	10:18	P229a 円盤鉛直方向の温度構造が太陽系の固体炭素分布に与える影響 岡本珠実 (東京工業大学)
14:24	P219a 磁気降着円盤における岩石惑星への水輸送: ダスト・温度共進化の影響 近藤克 (東京工業大学)	10:30	P230a すばる望遠鏡 IRCS による AB Aur の原始惑星系円盤に対する水氷観測 工藤智幸 (国立天文台)
14:36	P220a スノーラインを通過する氷ダスタグリゲイトは分裂するか? 城野信一 (名古屋大学)	10:42	P231a TW Hya のコロナ XUV 放射モデル 庄田宗人 (東京大学)
14:48	P221a 周惑星円盤のダスト連続波放射観測による惑星 PDS70b 及び c の特性の制約 芝池諭人 (国立天文台)	10:54	P232a 前主系列星フレアによる円盤電離状態への影響 鷲ノ上遥香 (大阪大学)
15:00	P222b 原始惑星系円盤への外部輻射の影響 松本凜 (筑波大学)	11:06	P233a 短周期系外惑星大気における窒素と硫黄の同時濃集: 塩の熱解離の影響 中澤風音 (東京工業大学)
15:00	P223b Lightning Generation by Streaming Instability in Protoplanetary Disks Han, Fang (Tokyo Institute of Technology)	11:18	質疑応答 (10 分)

P3. 星・惑星形成(惑星系)

9 月 12 日 (木) 午後・D 会場			
13:00	P301a 高空間分解撮像を用いた重力マイクロレンズ惑星系 OGLE-2014-BLG-0676L の質量測定 出射旭 (大阪大学)	14:48	P312c マイクロレンズ系外惑星探査による惑星存在頻度の主星質量依存性の測定 布田寛介 (大阪大学) 質疑応答 (10 分)
13:12	P302a 高空間分解能画像を用いた重力マイクロレンズ惑星候補イベント OGLE-2014-BLG-1367L の解析 永井堤 (大阪大学)	9 月 13 日 (金) 午前・D 会場	
13:24	P303a MOA-2020-BLG-108Lb : 晩期型星の雪線以遠を周回する巨大惑星 佐藤佑樹 (関東学院大学)	09:30	P313a 実視連星系と単星系における惑星存在頻度の比較 布田寛介 (大阪大学)
13:36	P304a MOA-II マイクロレンズ惑星探査における惑星シグナルの自動検出アルゴリズムの開発と新惑星候補天体の解析 西尾茉優 (大阪大学)	09:42	P314a 高分散分光による褐色矮星連星 Luhman16AB のキャラクタリゼーション 山響 (大阪大学)
13:48	P305a The JWST/NIRCam Coronagraphic Observations of the HD 163296 System 鵜山太智 (California State University Northridge/Astrobiology Center)	09:54	P315a 熱対流問題のための SPH 法シミュレーションコードの開発 高橋航 (名古屋大学)
14:00	P306a JWST による高温系外ガス惑星 WASP-69b の熱放射光スペクトル観測: 大気金属量、熱輸送、そして雲組成への示唆 大野和正 (国立天文台)	10:06	P316a X 線天文衛星「すざく」の昼地球観測データを用いた地球超高層大気の長期変動調査 山脇鷹也 (埼玉大学)
14:12	P307a 可視光近赤外線トランジット観測による Qatar-1 b の天気の変化の検出 平野佑弥 (兵庫県立大学)	10:18	P317a 公転周期が1年に近い小惑星の軌道運動 吉川真 (宇宙航空研究開発機構)
14:24	P308a 太陽近傍 M 型星 Gliese 12 を公転する大気分光に適した地球サイズ惑星の発見 葛原昌幸 (アストロバイオロジーセンター)	10:30	P318a COIAS による太陽系小天体の探索状況 浦川聖太郎 (日本スペースガード協会)
14:36	P309b 非等方的熱物理モデルによる 1 Ceres の物性パラメータ探索 高橋茂 (東京大学)	10:42	P319a 太陽系外縁天体による恒星掩蔽観測キャンペーン TABASCO の初期成果 有松亘 (京都大学)
14:36	P310b 宇宙研 1.3m 望遠鏡の再開発プロジェクト SURF と大学共同利用公募について 宮川浩平 (宇宙航空研究開発機構)	10:54	P320a 天保年間におけるアンドロメダ座流星群の古記録の発見 渡部潤一 (国立天文台)
14:36	P311b 自動微分可能な重力マイクロレンズモデル microJAX の開発 宮崎翔太 (宇宙航空研究開発機構)	11:06	P321a アルマアーカイブの悉皆解析による、タイタン大気におけるシアノジアセチレン (HC ₅ N) 分子の徹底探索 飯野孝浩 (東京大学)
		11:18	P322a OSIRIS-Rex サンプルリターンカプセルの再突入に伴う超低周波電波放射の観測 渡邊堯 (情報通信研究機構)
		11:30	質疑応答 (10 分)

Q. 星間現象

9 月 11 日 (水) 午前・B 会場		9 月 11 日 (水) 午後・B 会場	
09:30	Q01a 超新星残骸の精密 X 線分光へ向けた小型電子ビームイオントラップ (EBIT) と放射光施設 SPring-8 による多価イオン精密分光実験 天野雄輝 (宇宙航空研究開発機構)	13:00	Q09a XRISM 衛星によるティコの超新星残骸の観測 田中孝明 (甲南大学)
09:42	Q02a 超新星残骸からの電荷交換反応 X 線放射の XRISM による検出可能性調査 佐藤愛 (埼玉大学)	13:12	Q10a Tycho's SNR の星周環境モデルの構築 2 : 非熱的放射スペクトルの再現性 小橋亮介 (京都大学)
09:54	Q03a 超新星残骸に見られる O VII He α の禁制線 / 共鳴線強度比異常の原因調査 勝田哲 (埼玉大学)	13:24	Q11a ガンマ線超新星残骸 W41 と G22.7-0.2 に付随する分子雲と宇宙線加速 村瀬建 (岐阜大学)
10:06	Q04a XRISM 衛星による超新星残骸 3C397 の精密 X 線分光観測 中嶋大 (関東学院大学)	13:36	Q12a 大マゼラン雲の超新星残骸 N49 に付随する分子雲の Non-LTE 解析 佐野栄俊 (岐阜大学)
10:18	Q05a X 線分光撮像衛星 XRISM による銀河中心超新星残骸 Sgr A East の観測 内山秀樹 (静岡大学)	13:48	Q13a 大マゼラン雲 超新星残骸 N63A に付随する分子雲の観測的研究 浅野裕也 (岐阜大学)
10:30	Q06a 熱的 X 線を用いた超新星残骸 N132D における衝撃波速度の推定 岡田佳純 (青山学院大学/宇宙航空研究開発機構)	14:00	Q14a ALMA による超新星残骸 HESS J1731-347 北部の CO 輝線観測 山中祐里奈 (岐阜大学)
10:42	Q07a X 線画像再合成法と複数観測の最尤法を用いた超新星残骸カシオペア座 A のダイナミクス 酒井優輔 (立教大学)	14:12	Q15a M33 におけるスーパーバブル候補天体の発見 濱田莉来 (岐阜大学)
10:54	Q08a XRISM/Resolve による超新星残骸 Cassiopeia A のドップラー速度測定 鈴木俊輔 (青山学院大学)	14:24	Q16a 超新星残骸 RCW 103 に付随する分子雲の観測的研究 井上陽登 (岐阜大学)
11:06	質疑応答 (10 分)	14:36	Q17b XRISM/Xtend を用いた超新星残骸 Cassiopeia A における鉄族元素組成比の空間変化の測定 市川雄大 (宮崎大学)
		14:36	Q18b 天の川銀河ディスク・ハロー境界領域の GeV-PeV ガンマ線探索と銀河宇宙線の起源・伝搬に対する示唆 井上進 (千葉大学/東京大学)
		14:36	Q19b 大マゼラン雲の超新星残骸 N63A に付随する分子雲における CI/CO 比 泉奈都子 (岐阜大学/国立天文台)
			Q20c 3D Motions of SiO Maser Stars around Sagittarius A* with ALMA Tsuboi, Masato (Meisei University)
		14:48	質疑応答 (10 分)

9 月 12 日 (木) 午前・B 会場			9 月 12 日 (木) 午後・B 会場		
09:30	Q21a	超新星残骸 SN 1006 における局所的な磁場増幅の観測的証拠 田尾萌梨 (早稲田大学)	13:00	Q31a	すざく衛星による銀河系の超巨大バブル構造 島谷侑希 (東京理科大学)
09:42	Q22a	効率的な粒子加速現場の特定を目指した XMM-Newton および NuSTAR による超新星残骸 RCW 86 北東部の解析 藤本源 (東京大学)	13:12	Q32a	X 線精密分光撮像衛星 XRISM による天の川銀河中心領域分子雲の物理状態の制限 成田拓仁 (京都大学)
09:54	Q23a	Suzaku/XIS による超新星残骸 RX J0852.0-4622 の非熱的放射の方位角変化の起源の検討 立石大 (東京大学)	13:24	Q33a	X 線天文衛星 XRISM による GCXE 成分の運動測定 青木悠馬 (近畿大学)
10:06	Q24a	逃走宇宙線が駆動する流体不安定性について 霜田治朗 (東京大学)	13:36	Q34a	X 線分光撮像衛星 XRISM による天の川銀河の中心領域からの中性鉄輝線の観測 信川久実子 (近畿大学)
10:18	Q25a	微視的磁場増幅過程を分解した超新星衝撃波における宇宙線加速シミュレーション 井上剛志 (甲南大学)	13:48	Q35a	銀河面からの軟 X 線背景放射 (11) 安福千貴 (名古屋大学)
10:30	Q26a	Tibet AS γ 実験が検出した拡散ガンマ線の起源に関する考察 加藤勢 (東京大学)	14:00	Q36a	IXPE 衛星による「かに星雲・パルサー」の長時間観測とその偏光解析 呉屋和保 (広島大学)
10:42	Q27a	初期の重力崩壊超新星から生じる高エネルギーガンマ線の CTA による観測可能性の検討 西川智隆 (名古屋大学)	14:12	Q37a	SED Fitting による SS433 ジェットと相互作用する星間ダストの調査 石川竜巳 (名古屋大学)
10:54	Q28a	テレスコープアレイ実験による最高エネルギー宇宙線観測と銀河磁場の影響の評価 樋口諒 (理化学研究所)	14:24	Q38a	マイクロウェーサー 1E 1740.7-2942 に駆動された分子ジェットの見え 竹川俊也 (神奈川大学)
11:06	Q29a	因果律を保った高エネルギー宇宙線粒子の伝搬の定式化に向けて 川中宣太 (国立天文台/東京都立大学)	14:36	Q39a	Three-dimensional gas density distribution using [Ne V] fine-structure lines in the colliding wind binary WR140 松原英雄 (宇宙航空研究開発機構)
11:18	Q30a	Revisiting the Lunar MeV-GeV Gamma-Ray Spectrum: A New Window For Galactic MeV Cosmic Rays 藤原立貴 (大阪大学)	14:48		質疑応答 (10 分)
11:30		質疑応答 (10 分)			

R. 銀河

9 月 13 日 (金) 午前・B 会場			9 月 11 日 (水) 午前・G 会場		
09:30	Q40a	Spiral Magnetic Field and Their Role on Accretion Dynamics in the Circumnuclear Disk of Sagittarius A*: Insight from $\lambda = 850 \mu\text{m}$ Polarization Imaging Shinnaga, Hiroko (Kagoshima University)	09:30	R01a	銀河における分子雲衝突の役割とその影響 陳銘崢 (北海道大学)
09:42	Q41a	銀河系中心部で発見された高速度コンパクト雲 CO-0.26+0.02 の観測的研究 周楽涵 (慶應義塾大学)	09:42	R02a	棒渦巻銀河 NGC3627 における銀河の内部構造と分子雲衝突、星形成の関係 2 前田郁弥 (大阪電気通信大学)
09:54	Q42a	銀河系中心部南に存在する X 線プルームに付随する分子ガスの発見 榎谷玲依 (九州産業大学)	09:54	R03a	アンテナ銀河における星形成の多様性と分子雲衝突の関係 井上真
10:06	Q43a	MHD シミュレーションデータを用いた銀河系中心部の非回転運動と大局磁場構造の研究 (2): ループ状ガス構造の物理状態 魚住光史 (岐阜大学)	10:06	R04a	NGC 253 中心部におけるガスダイナミクスの解明 IV: ガスストリームと高密度クランプ分布の比較 小西諒太郎
10:18	Q44a	広速度幅分子ガス成分 CO 16.134-0.553 周辺における恒星の運動解析 (II) 宇田川賢 (慶應義塾大学)	10:18	R05a	赤外線天文衛星「あかり」で探る星形成銀河における炭化水素ダストの变成 近藤翼 (名古屋大学)
10:30	Q45a	マルチガウシアン分解アルゴリズムを用いた HI ガスの相分離 (2)-CNM 相とダスト、CO データとの比較 松月大和 (名古屋大学)	10:30	R06a	中間赤外線を用いた近傍銀河における分子ガス質量の推定 浜田佳澄 (北海道大学)
10:42	Q46a	ALMA による母銀河観測で探る I 型 SLSN SN 2017egm の性質 山中逸輝 (東京大学)	10:42	R07a	近傍銀河における分子ガス - 原子ガスの割合を決定する要因について 浜響子 (北海道大学)
10:54	Q47a	星間物質凝集過程に見られる超微細空間構造の分子吸収線観測 中島圭佑 (鹿児島大学)	10:54	R08a	羊毛状渦巻銀河 M33 の渦状腕周辺におけるダイナミクスと分子雲進化 小西亜侑 (大阪公立大学)
11:06	Q48a	ASTE 望遠鏡による特異分子雲 Tadpole の CO $J=4-3$, [C] スペクトル線観測 有山諒 (慶應義塾大学)	11:06	R09a	高分散分光観測による銀河系巨大ブラックホール近傍の超巨星の起源の研究 西山正吾 (宮城教育大学)
11:18	Q49a	高速度雲 Smith Cloud のダスト/ガス比 早川貴敬 (名古屋大学)	11:18	R10a	Sensitivity Study of Decaying Dark Matter Search with Segue 1 Dwarf Galaxy Zhou, Yu (High Energy Accelerator Research Organization)
11:30		質疑応答 (10 分)	11:30	R11b	MOA-II 9-year サンプルを用いた銀河系中心方向のマイクロレンズイベントレイトマップの作成 布田寛介 (大阪大学)

S. 活動銀河核

11:30	R12b	Atacama Compact Array による渦巻銀河 M33 の ^{12}CO , ^{13}CO $J=2-1$ 広域観測 (5): 高密度ガスの探査 村岡和幸 (大阪公立大学)	9 月 11 日 (水) 午前・C 会場	
11:30	R13b	野辺山 45m 望遠鏡によるエッジオン銀河 NGC4565 の銀河面外分子ガス観測 松坂怜 (東京大学)	09:30	S01a 自転ブラックホールのまわりのアルペン波の 1 次元フォースフリー数値計算 小出眞路 (熊本大学)
	R14c	Trigonometric parallax and proper motion of Sagittarius A* measured by VERA using the new broad-band back-end system OCTAVE-DAS 小山友明 (国立天文台)	09:42	S02a 地平面からジェットへ: ブラックホールを貫く磁束と観測ジェット幅の変動 恒任優 (ハーバード大学)
11:42		質疑応答 (10 分)	09:54	S03a 降着円盤ダイナモの間欠的極性反転 - 磁気再結合とノットの高速放出 森川雅博 (お茶の水女子大学/理化学研究所)
			10:06	S04a 大局的なブラックホール降着流・アウトフローにおける宇宙線加速と高エネルギーニュートリノ放射 川島朋尚 (東京大学)
			10:18	S05a 活動銀河核の宇宙論的進化から探る nHz 背景重力波への超巨大ブラックホール連星の寄与 草壁克典 (大阪大学)
			10:30	S06a コクーン膨張速度から探る 3C84 ミニジェットパワーの時間変化 川勝望 (呉工業高等専門学校)
			10:42	S07a 活動銀河核 NGC1068 のジェットに付随する 22GHz H_2O メーザー放射と高密度分子ガスの分布 萩原喜昭 (東洋大学)
			10:54	S08a Gen A core-jet structure from EHT2017 data reanalysis 三好真 (国立天文台)
			11:06	S09a EHT 1.3mm VLBI 観測による Cent A* 電波源像の検討 - 銀河中心極端 2 重星型超巨大ブラックホール存在の第 4 例 大家寛 (東北大学)
			11:18	S10b 一般相対論的輻射磁気流体力学計算で探る超臨界降着流の大域的ジェット 芳岡尚悟 (京都大学)
			11:18	S11b 磁気流体シミュレーションに基づいた宇宙線伝播計算コードの開発とその初期成果 石崎渉 (東北大学)

11:18	S12b	NGC 1275 中心 10 pc スケールでの分子ガスアウトフロー検出 小島諒也 (東京大学)	14:24	S23a	大口径望遠鏡初号機 LST-1 による活動銀河核の観測：遠方 FSRQ OP313 の VHE ガンマ線放射の発見 Baxter, Joshua Ryo (東京大学)
11:30	S13b	アルマデータを用いた NGC5506 核周領域における多相ガス構造の研究 武知可夏 (国際基督教大学)	14:36	S24a	超高光度赤外線銀河 Superantennae 中心核からのミリ波 H ₂ O メーザー放射 今西昌俊 (国立天文台)
11:30	S14b	電波銀河 Centaurus A の内側ローブの Herschel による遠赤外線観測 磯部直樹 (宇宙航空研究開発機構)	14:48	S25a	Sgr A* の 43GHz 超広帯域モニター観測による星間散乱の効果の制限 小藤由太郎 (東京大学)
11:30	S15b	多波長広域観測データに基づく低金属量活動銀河核の探査 松原瑞加 (愛媛大学)	15:00	S26a	ALMA による銀河系中心核 Sgr A* の 230 GHz 帯光度の正弦波的変動の検出 柳澤一輝 (慶應義塾大学)
11:42		質疑応答 (10 分)	15:12	S27a	ALMA による近傍セイファート銀河 GRS 1734-292 のミリ波時間変動同定 道山知成 (周南公立大学)
9 月 11 日 (水) 午後・C 会場			15:24		質疑応答 (10 分)
13:00	S16a	XRISM Observation of Powerful Disk Wind Quasar PDS 456: 2. Initial analysis and results 水本岬希 (福岡教育大学)			
13:12	S17a	活動銀河核 PDS 456 のフレアに伴う X 線スペクトルの時間変動の解析 佐藤璃輝 (東京大学)			
13:24	S18a	輻射駆動噴水モデルに基づいた X 線スペクトル計算と NGC 3783 への適用 谷本敦 (鹿児島大学)			
13:36	S19a	NGC4151 の XRISM 連携可視赤外モニター観測 1. 可視赤外線多波長測光 趙光遠 (東京理科大学)			
13:48	S20a	NGC4151 の XRISM 連携可視赤外モニター観測 2. 可視分光 平田悠馬 (東京理科大学)			
14:00	S21a	X-WING プロジェクト：1999 年から現在までに検出された $z \sim 0-4$ の全 X 線アウトフローと XRISM が開拓する AGN Feedback の研究 山田智史 (理化学研究所)			
14:12	S22a	Chandra による Circinus 銀河中心核周辺における鉄輝線放射の時間変動解析 宮本愛子 (大阪大学)			

T. 銀河団

U. 宇宙論

9 月 11 日 (水) 午前・J 会場		9 月 13 日 (金) 午前・A 会場	
09:30	T01a Abell 3376 内の両鎌構造を持つジェットの偏波解析 酒見はる香 (山口大学)	09:30	U01a 広天域銀河サーベイにおける銀河の選択効果が銀河クラスタリング解析に及ぼす影響の研究 野瀬観見 (東京大学/Kavli IPMU)
09:42	T02a 銀河団外縁部のエントロピー測定における前景放射の影響 2 工藤菜奈子 (東京理科大学)	09:42	U02a すばる HSC-SSP データを用いた $z \sim 4$ の LBG の自己相関関数と CMB レンズシグナルとの相互相関関数による σ_8 への制限 松本明訓 (東京大学)
09:54	T03a X 線天文衛星「すざく」を用いた衝突銀河群探査 原田空凱 (名古屋大学)	09:54	U03a 最尤法による銀河・銀河レンズパワースペクトルの推定法とその精度 手良脇大誠 (東京大学/Kavli IPMU)
11:42	質疑応答 (10 分) ※ X10b の講演後	10:06	U04a クェーサー吸収線を使用した $z=0.89$ における宇宙マイクロ波背景放射温度の計測 (II) 小谷竜也 (慶應義塾大学)
		10:18	U05a 再電離期以前におけるサブハローガス生存性とその 21cm 吸収線光学的深さへの影響 成瀬元希 (名古屋大学)
		10:30	U06a 銀河形成シミュレーションを用いた輝線銀河クラスタリングによる宇宙論 大里健 (千葉大学)
		10:42	U07a すばる PFS 宇宙論における銀河パワースペクトル推定法の開発 中野新太郎 (東京大学, Kavli IPMU)
		10:54	U08a 銀河・楕円率相関スペクトルの赤方偏移空間ゆがみと摂動論的理論モデル 樽家篤史 (京都大学)
		11:06	U09a 弱重力レンズシミュレーションにおける Super-Sample Covariance が高次統計量に与える影響 常盤晟 (東京大学, Kavli IPMU)
		11:18	U10a スペクトル指数のランニングを考慮したモデルによる銀河弱重力レンズ効果と CMB 弱重力レンズ効果の同時解析 寺澤凌 (東京大学/Kavli IPMU)
		11:30	U11b A New Explanation for Space and Whether It Is Unlimited or Limited Saleh, Gh. (Saleh Research Centre)
		11:42	質疑応答 (10 分)

9 月 13 日（金）午後・A 会場		15:12	U23a	Proving the Manner of End of the Universe by Using Mathematical and Physical Calculations and the Hubble's Law Saleh, Gh. (Saleh Research Centre)
13:00	U12a	15:24		
	電波銀河を重力源とした CMB 重力レンズ断層化法とその宇宙論的示唆について 新居舜（名古屋大学）			
13:12	U13a			
	動径作用変数を用いたダークマターハロー内の幕的密度構造の解析 柄本耀介（京都大学）			質疑応答（10 分）
13:24	U14a			
	冷たい暗黒物質のシェルクロッシング後のダイナミクス 嵯峨承平（名古屋大学）			
13:36	U15a			
	重力赤方偏移による一般相対性理論検証のための重力ポテンシャル導出手法の開発 田中賢（京都大学）			
13:48	U16a			
	宇宙の大規模構造から探る原始密度ゆらぎの非等方性：銀河の固有形状による検証精度向上の可能性 湊恵太（京都大学）			
14:00	U17a			
	将来のパルサータイミングアレイ観測に向けた連続重力波特定手法の開発 古澤和也（名古屋大学）			
14:12	U18a			
	Dark Quest II: 伝播関数による赤方偏移空間の大スケール揺らぎモデリング 西道啓博（京都産業大学）			
14:24	U19a			
	Dark Quest II: 宇宙論エミュレータによるハローアセンブリバイアスのモデリング 石川慶太郎（名古屋大学）			
14:36	U20a			
	Impact of Reionization History on Constraining Primordial Gravitational Waves with Cosmic Microwave Background B-modes Jiang, Hanchun (The University of Tokyo)			
14:48	U21a			
	時間変化を考慮した非等方な宇宙複屈折効果の解析 並河俊弥 (Kavli IPMU)			
15:00	U22a			
	Information content in anisotropic cosmological fields: Impact of different multipole expansion scheme for galaxy density and ellipticity correlations 井上拓也 (国立台湾大学/中央研究院天文及天文物理研究所)			

V1. 観測機器 (電波)

9 月 11 日 (水) 午前・F 会場		11:18	V113b JVO 開発状況：野辺山共同利用観測 処理済みデータの配信機能の開発 白崎裕治 (国立天文台)
09:30	V101a テラヘルツ強度干渉計の特徴と将来性 について 松尾宏 (国立天文台)	11:30	質疑応答 (10 分)
09:42	V102a 強度干渉計の画像合成に向けた極低温 高速読み出し回路の開発 小関知宏 (筑波大学)	9 月 11 日 (水) 午後・F 会場	
09:54	V103a International Mars Ice Mapper 計画を 見据えたテラヘルツヘテロダイン分光 センサーの検討状況 - Measurement Definition Team の議論を踏まえて - 前澤裕之 (大阪公立大学)	13:00	V114a The Next Generation Very Large Array - Autumn 2024 泉拓磨 (国立天文台)
10:06	V104a 月面天文台 TSUKUYOMI の実現に向け た概念設計検討 5 井口聖 (国立天文台)	13:12	V115a ASTE 望遠鏡の運用 (6) 南谷哲宏 (国立天文台)
10:18	V105a 月面天文台 TSUKUYOMI における電圧 増幅システムへの性能要求 松本健 (大阪公立大学)	13:24	V116a 南極 30cm サブミリ波望遠鏡の冬季保 存対策と電力供給システムの開発 中井直正 (関西学院大学)
10:30	V106a 宇宙の暗黒時代における中性水素 21cm 線グローバルシグナルを検出するための 月面電波分光システムに要求する感度 山崎康正 (国立天文台)	13:36	V117a RFSoc 4x2 を用いた 7BEE 受信機用デ ジタル電波分光計の開発 西村淳 (国立天文台)
10:42	V107a SKA プロジェクトへの参加計画 10 赤堀卓也 (国立天文台)	13:48	V118a 光線追跡を用いた 1.85 m 電波望遠鏡 ビーム伝送系の設計 西川悠馬 (大阪公立大学)
10:54	V108a 次世代太陽風観測装置用デジタルマル チビームフォーマの開発 竹原大智 (名古屋大学)	14:00	V119a Update on ALMA Development toward the WSU - Fall 2024 石井峻 (国立天文台)
11:06	V109b 次世代太陽風観測装置用アナログ信号 受信系の開発 渡部温 (名古屋大学)	14:12	V120a ACA システムとバンド 1、4、8、10 受 信機の装置保守の現状 2024B 阪本成一 (国立天文台)
11:06	V110b 次世代太陽風観測装置用フェーズドア レイアンテナ系の開発 加賀尾勇典 (名古屋大学)		V121c ALMA バンド 1 の科学評価活動 永井洋 (国立天文台)
11:06	V111b メートル波帯太陽・惑星電波観測用広 帯域フィードシステムの開発 -III 桑山陽次 (東北大学)	14:24	V122b 広帯域 IF90 度ハイブリッドカップラ及び検 証用回路の設計 手塚愛莉 (電気通信大学)
11:18	V112b 次世代センチ波帯干渉計に向けた超広 帯域クアットリッジアンテナの開発 向井一真 (大阪公立大学)	14:24	V123b Update on ALMA Operations - Fall 2024 深川美里 (国立天文台)
		14:24	V124b 野辺山 45m 鏡の運用状況：2024 年秋 西村淳 (国立天文台)
		14:36	V125b DESHIMA 2.0: 大気吸収補正を考慮した chop-and-nod 法の解析コードの開発 山中珠里 (名古屋大学)

14:36	V126b 超伝導平面集積技術によるミリ波・サブミリ波帯マルチプレクサ回路の開発 中島拓（名古屋大学）	9月12日（木）午前・F会場	
14:36	V127b 局部発振器雑音低減に有効なミリ波帯可変帯域通過フィルタの周波数特性改善 谷川貴太（名古屋大学）	09:30	V131a 岐阜大学 11-m 電波望遠鏡による NH ₃ 輝線マッピング観測の整備状況 杉野裕輝（岐阜大学）
14:48	V128b 南極 30 cm サブミリ波望遠鏡に向けたバックエンドシステムの開発 半田宙也（北海道大学）	09:42	V132a 電波天文用広帯域受信機のための超伝導ヘプタバンド帯域通過フィルタの開発 森田有輝（山梨大学）
14:48	V129b 南極 30 cm サブミリ波望遠鏡用新 IF ボックスの性能評価 山崎豪（筑波大学）	09:54	V133a 広帯域受信機のための高温超伝導マルチバンド帯域阻止フィルタの開発 (1) 末永光（山梨大学）
14:48	V130b 南極 30 cm サブミリ波望遠鏡用新 IF 系の設計 岩田将輝（筑波大学）	10:06	V134a 次世代マイクロ波放射計兼広帯域 VLBI 受信システムの開発 (VI) 氏原秀樹（立命館大学）
15:00	質疑応答 (10 分)	10:18	V135a VERA 水沢搭載用 6-18 GHz 帯広帯域冷却受信機的设计 野原祥吾（山口大学）
			V136c VERA 搭載用 6-18GHz 帯広帯域受信システムの開発 - u-VERA 計画 III 新沼浩太郎（山口大学）
		10:30	V137a VERA86GHz 帯受信機搭載用の広帯域円偏波分離器の開発 亀山晃（大阪公立大学）
		10:42	V138b 86GHz 帯常温受信機の VERA 石垣局への搭載作業および試験観測の報告 近藤奨紀（大阪公立大学）
		10:42	V139b 大学連携 VLBI 新受信機搭載に向けた偏波変換プログラムの開発 藤巴一航（大阪公立大学）
		10:42	V140b 野辺山 45 m 電波望遠鏡における OCXO を用いた VLBI 実験 今井裕（鹿児島大学）
		10:54	V141b 45m 鏡搭載 Perforated Plate 型 43/86GHz 帯周波数分離フィルタの開発 河本琉風（大阪公立大学）
		10:54	V142b 高萩・日立 32 m 電波望遠鏡の整備・運用状況 2024B 米倉覚則（茨城大学）
		10:54	V143b 岐阜大学 11m 電波望遠鏡の運用状況 -III 村瀬建（岐阜大学）
		11:06	質疑応答 (10 分)

V2. 観測機器(光赤外・重力波・その他)

9月12日(木) 午後・F会場		9月11日(水) 午後・G会場	
13:00	V144a マイクロ波背景放射偏光観測宇宙望遠鏡 LiteBIRD 計画の進捗 海老沢研(宇宙航空研究開発機構)	13:00	V201a Computer-Generated Hologram を用いた軸外し放物面の鏡面精度測定 石川あゆみ(広島大学)
13:12	V145a LiteBIRD 低周波望遠鏡 1/4 スケールモデルの低温近傍界アンテナパターン測定 高倉隼人(宇宙航空研究開発機構)	13:12	V202a 深層学習による光学系のミスアライメントの数値的予測を用いた光学調整法 橋本遼(関西学院大学)
13:24	V146a 広視野ミリ波望遠鏡のアンテナパターン測定に向けた位相ステップホログラフィック電場復元法の開発 高橋理音(東京大学/宇宙航空研究開発機構)	13:24	V203a ガンマ線バースト探査衛星 HiZ-GUNDAM 搭載の可視光・近赤外線望遠鏡開発の現状 津村耕司(東京都市大学)
13:36	V147a POLARBEAR 実験による大気円偏光の観測 高倉理(量子場計測システム国際拠点)	13:36	V204a 紫外線宇宙望遠鏡 LOPYUTA 計画の検討状況 土屋史紀(東北大学)
13:48	V148a CMB 受信機の光学特性測定にむけたフィードバック制御する出力可変な人工校正光源の開発 廣瀬開陽(横浜国立大学)	13:48	V205a Nancy Grace Roman 宇宙望遠鏡計画: 日本の貢献課題の現状と今後の科学観測 山田亨(宇宙航空研究開発機構)
14:00	V149a 広帯域ミリ波サブミリ波検出器のための多画素化に適した Magic-T の設計 2 井上修平(東京大学)	14:00	V206a 高精度位置天文解析手法の開発とシミュレーションによる検証 大澤亮(国立天文台)
14:12	V150a ミリ波多色 MKID の小型化に向けたオンチップフィルター回路の設計改良 宇野慎介(理化学研究所)	14:12	V207a 衛星機搭載予定の国産 InGaAs イメージセンサー小型試作器の性能評価 宮川浩平(宇宙航空研究開発機構)
14:24	V151a ミリ波多色カメラに向けたオンチップ準集中定数フィルターのスケールモデルの評価 渡邊一輝(総合研究大学院大学)	14:24	V208a 赤外線位置天文観測衛星 JASMINE のプロジェクト進捗状況 鹿野良平(国立天文台)
14:36	V152a 100-GHz 帯野辺山 45 m 電波望遠鏡搭載用 LeKID カメラ: 初期観測に向けた実験室での性能評価 石崎悠治(筑波大学)	14:36	V209a JASMINE 衛星の望遠鏡の安定性の検討 磯部直樹(宇宙航空研究開発機構)
14:48	V153b 850GHz 帯域用 MKID 開発に向けたダブルスロットアンテナ設計 井上昂(筑波大学)	14:48	V210b 地球周回スペース位置天文観測における相対論効果 山田良透(京都大学)
15:00	質疑応答(10分)	14:48	V211b 多数枚撮像による高精度星像位置決定の地上実験における実証 矢野太平(国立天文台)
		14:48	V212b HiZ-GUNDAM 可視光・近赤外線望遠鏡用ケスタープリズムの試作 川端弘治(広島大学)
		15:00	質疑応答(10分)

9 月 12 日 (木) 午前・G 会場		11:06	V225b 系外惑星の直接観測を目指した連星 Self-Coherent Camera 法の開発 米田謙太 (国立天文台)
09:30	V213a 光子計数型可視光システム IMONY における新基板システムの開発 佐藤杏樹 (山形大学)	11:06	V226b すばる望遠鏡試験観測データによる多素子 Shack-Hartmann 波面センサー波面再構成手法の評価検討 田邊ひより (東北大学)
09:42	V214a SPAD イメージセンサーが切り拓く可視光天文観測 酒向重行 (東京大学)		V227c ULTIMATE-Subaru : 可変副鏡 大屋真 (国立天文台)
09:54	V215a SPAD イメージセンサーの実験室性能評価 倉島啓斗 (東京大学)		V228c 位相ダイバーシティ法を用いた望遠鏡光学系波面性能の評価について 末松芳法 (国立天文台)
10:06	V216a 飛騨天文台ドームレス太陽望遠鏡 / 常設補償光学装置の機器偏光行列決定による偏光分光観測精度の向上 上野悟 (京都大学)		V229c 結像および検出過程モデルに基づく天体像回復法の評価と改善 菅尾竜司 (北見工業大学)
10:18	V217a 大気擾乱モニターシステム MAMO: 遺伝的アルゴリズムを用いた乱流プロファイルの推定方法と測定精度 小牧誠人 (京都産業大学)	11:18	V230b 大フォーマット CMOS センサーを用いた高速広視野カメラの開発 鎌田有紀子 (国立天文台)
10:30	V218a 高コントラスト観測法 Coherent Differential Imaging on Speckle Area Nulling (CDI-SAN) の開発 4 米田謙太 (国立天文台)	11:30	質疑応答 (10 分)
10:42	V219a 近紫外線における装置効率を追求した撮像装置の開発と初試験観測 秋田谷洋 (千葉工業大学)		
10:54	V220b 東広島天文台における近紫外線波長帯での大気透過率及び空の明るさの測定 諸隈智貴 (千葉工業大学)		
10:54	V221b 都心部にある東京都市大学望遠鏡における天文観測システムの構築と観測限界の評価 吉崎謙 (東京都市大学)		
10:54	V222b 太陽面ナイフエッジの原理に基づく大気ゆらぎ評価 黒住健吾 (北見工業大学)		
	V223c 飛騨天文台補償光学系用の簡便な校正法の開発 照山玄太 (北見工業大学)		
11:06	V224b 惑星モニター観測用多層共役補償光学系における補間による反応行列の作成 野田緋奈子 (岡山理科大学)		

9 月 12 日（木）午後・G 会場		9 月 13 日（金）午前・G 会場	
13:00	V231a SuMIRe-PFS[41]:PFS試験観測の進捗報告 森谷友由希（国立天文台）	09:30	V244a 赤外線天文衛星 GREX-PLUS 計画： 進捗報告 2024 秋 井上昭雄（早稲田大学）
13:12	V232a 東京大学アタカマ天文台 TAO 6.5m 望遠 鏡計画 進捗報告 2024 秋 宮田隆志（東京大学）	09:42	V245a 赤外線天文衛星 GREX-PLUS 計画： 衛星システムの検討 山村一誠（宇宙航空研究開発機構）
13:24	V233a TAO6.5m 望遠鏡光学調整用スクリーン カメラの開発 兒玉工門（東京大学）	09:54	V246a 赤外線天文衛星 GREX-PLUS 計画： 無寒剤極低温冷却システムの検討 II 鈴木仁研（宇宙航空研究開発機構）
13:36	V234a TAO/MIMIZUKU による時間変動観測の ための中間赤外線標準星の探索 小島裕樹（東京大学）	10:06	V247a 赤外線天文衛星 GREX-PLUS 計画： 望遠鏡光学設計検討 橋ヶ谷武志（京都大学）
13:48	V235a 広視野近赤外線望遠鏡 PRIME の進捗 状況 2 鈴木大介（大阪大学）	10:18	V248a GREX-PLUS 中間赤外線高分散分光器： CdZnTe イメージョン・グレーティング搭載 分光系の開発 中川貴雄（宇宙航空研究開発機構）
14:00	V236a Tomo-e Gozenデータプラットフォームの開発 瀧田怜（東京大学）	10:30	V249a GREX-PLUS 中間赤外線高分散分光器： 試作分光器の仕様検討 馬場俊介（宇宙航空研究開発機構）
14:12	V237a CIB 観測ロケット実験 CIBER-2：第 3 回打 上げ報告 松浦周二（関西学院大学）	10:42	V250a GREX-PLUS 中間赤外線高分散分光器： 中間赤外線用イメージョン・グレーティン グ材料候補 CdZnTe の吸収係数とその 温度・波長依存性 李源（名古屋大学）
14:24	V238a CIB 観測ロケット実験 CIBER-2: 光学性能 評価 玉井桃子（関西学院大学）	10:54	V251a GREX-PLUS 中間赤外線高分散分光器： CdZnTe の屈折率温度依存性測定 榎木谷海（総合研究大学院大学/宇宙 航空研究開発機構）
14:36	V239b CIB 観測ロケット実験 CIBER-2：感度較 正試験 中畑秀太（関西学院大学）	11:06	V252a GREX-PLUS 中間赤外線高分散分光器： 波面分割型広帯域 FT-IR イメージング 分光器の開発とイメージョングレーティン グ材料の屈折率精密測定への応用 趙彪（名古屋大学）
14:36	V240b 異種金属をコーティングした次世代宇宙 望遠鏡搭載ミラーの冷却次の歪み評価 山下隼人（関西学院大学）	11:18	V253a 将来衛星計画に向けたマイクロミラー技 術による可変 CGH 干渉計の開発 國生拓摩（名古屋大学）
14:36	V241b Daniel K. Inouye Solar Telescope (DKIST) 搭載用近赤外チューナブルフィルターの タイプ選定について 永田伸一（京都大学）	11:30	質疑応答（10 分）
14:48	V242b The Grand Spherical Telescope Array (GSTA) 西川淳（国立天文台）		
14:48	V243b 近赤外線高分散分光器 SAND のための 大気分散補正光学系の開発 小崎瑛子（名古屋大学）		
15:00	質疑応答（10 分）		

V3. 観測機器 (X線・ γ 線)

9 月 13 日 (金) 午後・G 会場		9 月 12 日 (木) 午前・H 会場	
13:00	V254a 気象衛星ひまわり 8 号・9 号を用いた 恒星測光における系統的バイアス 谷口大輔 (国立天文台)	09:30	V301a X 線分光撮像衛星 XRISM 搭載 Resolve の軌道上運用について 内田悠介 (東京理科大学)
13:12	V255a SOLAR-C 観測装置 EUVST 設計・開 発検討の進捗報告 (2024 年秋) 原弘久 (国立天文台)	09:42	V302a X 線分光撮像衛星 XRISM 搭載 X 線望 遠鏡 (XMA) 開発の現状 (10) 林多佳由 (UMBC/NASA's GSFC)
13:24	V256a SOLAR-C 搭載超高精度太陽センサ UFSS BBM のリニアリティ誤差評価 近藤勇仁 (東京大学)	09:54	V303a X 線分光撮像衛星 (XRISM) 搭載軟 X 線撮像装置 (Xtend) の軌道上運用 (2) 小林翔悟 (東京理科大学)
13:36	V257a 大型低温重力波望遠鏡 KAGRA の現状 鷲見貴生 (国立天文台)	10:06	V304a X線分光撮像衛星 XRISM に搭載された 軟X線撮像検出器 SXI の軌道上エネル ギー較正 中野瑛子 (宮崎大学)
13:48	V258a 次期観測にむけた重力波望遠鏡 KAGRA における迷光対策 II 阿久津智忠 (国立天文台)	10:18	V305a X 線分光撮像衛星 XRISM 搭載 軟 X 線 撮像検出器 (SXI) の軌道上における低 エネルギー帯域の検出効率と CCD 素子 へのコンタミ物質の付着の評価 樋口茉由 (東京理科大学)
14:00	V259a 宇宙重力波望遠鏡 DECIGO/B-DECIGO 安東正樹 (東京大学)	10:30	V306a X 線分光撮像衛星 XRISM 搭載軟 X 線 撮像検出器 SXI の応答関数の軌道上 較正 島耕平 (大阪大学)
14:12	質疑応答 (10 分)	10:42	V307a X 線分光撮像衛星 XRISM の科学運用の 現状 (2) 吉田鉄生 (宇宙航空研究開発機構)
		10:54	V308a X線分光撮像衛星 XRISM の指向精度の 軌道上評価 (2) 金丸善朗 (宇宙航空研究開発機構)
		11:06	V309a X 線分光撮像衛星 XRISM の絶対時刻 精度の軌道上較正 寺田幸功 (埼玉大学/宇宙航空研究開発 機構)
		11:18	V310a X線分光撮像衛星 XRISM用プレパイプ ラインの JAXA スーパーコンピュータシス テムへの移植と初期運用期～ PV 期観測 データの再処理 江口智士 (熊本学園大学)
		11:30	質疑応答 (10 分)

9 月 12 日 (木) 午後・H 会場		15:00	V322b CMOS イメージセンサ IU233N5-Z によるシンチレーション光の読み出し 榎木大修 (広島大学)
13:00	V311a X 線分光撮像衛星 XRISM 搭載軟 X 線撮像装置 Xtend による突発天体探査(3) 坪井陽子 (中央大学)	15:00	V323b 気球実験用姿勢制御系の基礎開発 I 田淵優 (愛媛大学)
13:12	V312a X 線マイクロカロリメータの次世代読出方式の実証実験と宇宙応用に向けて 山田真也 (立教大学)	15:12	質疑応答 (10 分)
13:24	V313a 超伝導遷移端 X 線検出器 (TES) の多画素読み出し方式に向けた基礎開発 橋本玲華 (立教大学)		
13:36	V314a X 線偏光観測衛星 IXPE の現状 (5) 玉川徹 (理化学研究所)		
13:48	V315a 硬X線集光偏光計 XL-Calibur 気球実験の 2024 年フライトの準備状況 高橋弘充 (広島大学)		
14:00	V316a 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 搭載電鍍 X 線望遠鏡の応答関数構築の現状 作田皓基 (名古屋大学)		
14:12	V317a 日米共同・太陽フレア X 線集光撮像分光観測ロケット実験 FOXSI-4 による軟 X 線光子計測の初期成果 清水里香 (総合研究大学院大学)		
14:24	V318a 日米共同・太陽フレア X 線集光撮像分光観測ロケット実験 FOXSI-4 に搭載した CMOS 検出器のノイズおよびゲインの評価 馬場萌花 (名古屋大学)		
14:36	V319a 日米共同・太陽フレア X 線集光撮像分光観測ロケット実験 FOXSI-4 による M-Class フレア硬 X 線直接撮像分光観測の実現 南喬博 (東京大学)		
14:48	V320a 超高角度分解能硬 X 線宇宙観測 SuperHERO に向けた 1mm 厚 CdTe 半導体検出器の開発 桂川美穂 (京都大学)		
15:00	V321b ガンマ線バースト観測超小型衛星群 CAMELOT のガンマ線応答関数の構築 横田雅人 (広島大学)		

9 月 13 日（金）午前・H 会場		9 月 13 日（金）午後・H 会場	
09:30	V324a ぎんが衛星搭載全天モニター装置 (Ginga/ASM) のデータ解析ツールの開発 II 北本俊二（立教大学）	13:00	V335a SOI 技術を用いた新型 X 線撮像分光器 の開発 63:PDD 構造を導入した X 線天文 用 SOI ピクセル検出器のサブピクセルレ ベルの X 線応答特性の評価 志賀文哉（東京理科大学）
09:42	V325a 超小型 X 線衛星 NinjaSat 搭載ガス検出 器の軌道上における応答関数の構築 青山有未来（理化学研究所/東京理科 大学）	13:12	V336a SOI 技術を用いた新型 X 線撮像分光器 の開発 64: 周辺回路を内蔵した新型 XR- PIX の開発と性能評価 松橋裕洋（東京大学）
09:54	V326a X 線突発天体監視速報衛星こよう搭載 のガンマ線検出器 KGD の軌道上初期 性能評価 高橋直暉（金沢大学）	13:24	V337a X 線高速撮像分光に向けた CCD-CMOS ハイブリッドセンサの開発 高木直矢（関東学院大学）
10:06	V327a 地球磁気圏 X 線撮像計画 GEO-X (GEOspace X-ray imager) の現状 VII 沼澤正樹（東京都立大学）	13:36	V338a 国産高角度分解能汎用電鍍 X 線光学 系開発の展望 三石郁之（名古屋大学）
10:18	V328a 超高層大気を観測する ISS 曝露部搭載 X 線カメラの開発状況 黒木瑛介（宮崎大学）	13:48	V339a 国産高角度分解能汎用電鍍 X 線光学 系開発の現状 吉田有佑（名古屋大学）
10:30	V329a GRAMS 計画 13: 液体アルゴンコンプトン カメラ実証機の開発状況 新井翔大（東京大学）	14:00	V340a 高角度分解能汎用 X 線光学系に向けた 光線追跡シミュレータを用いた設計パラ メータの検討 藤井隆登（名古屋大学）
10:42	V330a MeV ガンマ線観測衛星 COSI 搭載 BTO 検出器の信号処理システムの開発 長澤俊作 (SSL/UC Berkeley)	14:12	V341a グラフェン超薄膜を用いた高機能汎用型 光学素子の開発 (3) 多胡諒弥（名古屋大学）
10:54	V331a MeV ガンマ線衛星 AMEGO-X に向けたピ クセルセンサ AstroPix3 の基礎特性評価 仲野悟帆（広島大学）	14:24	V342a NiP 超精密加工を用いた CFRP 製 X 線 望遠鏡の開発 村上海都（大阪大学）
11:06	V332a Recent results from the MAGIC Telescopes Strzys, Marcel C. (The University of Tokyo)	14:36	質疑応答 (10 分)
11:18	V333a Cherenkov Telescope Array (CTA) 計画: 全体報告 (26) 吉越貴紀（東京大学）		
11:30	V334a ALPACA 実験 7: ALPAQUITA 現状報告 2024 大西宗博（東京大学）		
11:42	質疑応答 (10 分)		

W. コンパクト天体

9月11日(水) 午前・I会場			11:30	W13b	超臨界降着円盤の歳差運動による光度の時間変動 朝比奈雄太(筑波大学)
09:30	W01a	Smart Kanata による新星 V4370 Oph 極大前の自動分光観測 植村誠(広島大学)	11:42		質疑応答(10分)
09:42	W02a	多色撮像観測による IW And 型矮新星 KIC 9406652 の研究 笠井理香子(広島大学)	9月11日(水) 午後・I会場		
09:54	W03a	連星質量輸送に伴う輻射圧駆動アウトフローの生成 豊内大輔(大阪大学)	13:00	W14a	大質量星内における中性子星への降着流の一般相対論的数値流体計算 櫻井大夕(早稲田大学)
10:06	W04a	スリム円盤からの相対論的ジェット放出 井上一(宇宙航空研究開発機構)	13:12	W15a	ジャイアントアウトバースト後の Be/X 線連星 4U 0115+63 における星周円盤の時間変化 西尾美輝(宮崎大学)
10:18	W05a	X線分光撮像衛星 XRISM の Xtend による CXOU J174610.8-290019 の観測 吉本愛使(奈良女子大学)	13:24	W16a	XRISM 衛星の観測で得られた大質量 X 線連星 Cyg X-3 の星風構造 袴田知宏(大阪大学)
10:30	W06a	XRISM 衛星が捉えた超新星残骸 3C 397 近傍の点源 CXO J190741.2+070650 の再増光 大城勇憲(東京大学/宇宙航空研究開発機構)	13:36	W17a	星風降着型 X 線連星系における X 線電離による質量降着率の変動 鴈野重之(九州産業大学)
10:42	W07a	MAXI/GSC が検出した 2024 年度前半の突発現象 根来均(日本大学)	13:48	W18a	直線偏光電磁波の電子・陽電子プラズマ中における伝搬過程 岩本昌倫(京都大学)
10:54	W08a	MAXI が観測した GRB を用いた光度関数の推定 平松裕貴(青山学院大学)	14:00	W19a	相対論的に磁化されたプラズマにおける Alfvén 波の崩壊不安定性 II 石崎渉(東北大学)
11:06	W09a	AIによる超新星内ニュートリノの Eddington tensor の予測 高橋正大(東京大学)	14:12	W20a	マグネター磁気圏における高速電波バーストのパラメトリック崩壊不安定 西浦怜(京都大学)
11:18	W10b	全天X線監視装置 MAXI のアーカイブデータを用いた突発天体の系統的調査と光度曲線解析システムの改良 工藤優乃(日本大学)	14:24	W21a	XRISM time-resolved spectroscopy of the transient eclipsing low-mass X-ray binary AX J1745.6-2901 田中虎次郎(東京都立大学)
11:18	W11b	ブラックホール/ディスク系の長周期揺らぎ 中道晶香(京都産業大学)	14:36	W22a	XRISM による低質量 X 線連星 4U1916-054 の観測 米山友景(中央大学)
11:18	W12b	ブラックホールシャドウからブラックホールスピンを推定する機械学習モデルの構築 高橋幹弥(東京工業高等専門学校)	14:48	W23b	Be/X 線連星パルサー IGR J06074+2205 のノーマルアウトバーストの観測 中島基樹(日本大学)

14:48	W24b	Common Envelope 期における軌道進化 に対する恒星内部構造の影響 水谷耕介 (大阪大学)	11:18	W35a	降着型パルサー Cen X-3 の連星運動とス ピン位相に着目した XRISM 初期観測の解析 永井悠太郎 (京都大学)
14:48	W25b	X 線連星 SS433 ジェットの伝播に対する 恒星風起源の擾乱の影響 丹海歩 (総合研究大学院大学/国立天文台)	11:30		質疑応答 (10 分)
15:00		質疑応答 (10 分)	9 月 12 日 (木) 午後・I 会場		
9 月 12 日 (木) 午前・I 会場			13:00	W36a	NICER を用いた Cyg X-1 の吸収 Dip 観測 藤井大成 (立教大学)
09:30	W26a	クォーク・ハドロン連続性を考慮した中 性子星の熱的進化 野田常雄 (久留米工業大学)	13:12	W37a	ジェット・強磁場降着流ハイブリッド多波 長放射モデル: Cygnus X-1 への適用 久世陸 (東北大学)
09:42	W27a	マグネター表面の定常放射モデル: 時 系列データと分光データの一貫性解析 屈楚舒 (東京大学)	13:24	W38a	近傍セイファート銀河 GRS 1734-292 の GeV ガンマ線放射への活動銀河核円盤 風の寄与 坂井延行 (大阪大学)
09:54	W28a	磁気応力による中性子星クラストの破断 条件 小嶋康史 (広島大学)	13:36	W39a	NICER による GRS 1915+105 の小規模 増光期における鉄吸収線観測 菅原一希 (東京理科大学)
10:06	W29a	PSR J1838-0655 に付随するパルサー 星雲の X 線スペクトルにおける折れ曲が りの発見と系統調査 本上侑吾 (埼玉大学)	13:48	W40a	ブラックホール連星 XTE J1859+226 の 1999-2000 年のアウトバースト進化と準 周期的変動 (QPO) との関係 山岡和貴 (名古屋大学)
10:18	W30a	Central Compact Object における磁場 の起源の解明: 超新星爆発時のフォー ルバック降着流の一般相対論的磁気流 体力学計算 井上壮大 (大阪大学)	14:00	W41a	IXPE 衛星による恒星質量ブラックホール Swift J1727.8-1613 の準周期的振動 QPO に伴う偏光の変動とその起源について 二之湯開登 (東京理科大学)
10:30	W31a	Investigating the high-energy & very- high-energy gamma-rays of the Geminga pulsar with Fermi-LAT & CTAO LST-1 Yeung, Paul K. H. (The University of Tokyo)	14:12	W42a	X 線トランジェント天体 Swift J1727.8-1613 に対する山口干渉計と JVN の観測で得ら れた強度変動のモデル化によるジェットの パラメーター推定 穂本正徳 (山口大学)
10:42	W32a	X 線連星パルサー A 0535+262 の X 線光 度と中性子星の自転周期変化率の調査 新居田祐基 (愛媛大学)	14:24	W43a	Blandford-Znajek 過程におけるブラック ホールの回転エネルギー減少のメカニズ ムについて 當真賢二 (東北大学)
10:54	W33a	XRISM 衛星による X 線連星 Vela X-1 初期 観測の鉄輝線の解析 斉藤裕次郎 (京都大学)	14:36	W44a	特殊相対論的リーマン問題解法の改善 法 2: 横成分速度の取り扱い方について 北島歆大 (名古屋大学)
11:06	W34a	XRISM/Xtend で捉えた大質量 X 線連星 AX J1910.7+0917 のアウトバースト 善本真梨那 (大阪大学)			

14:48	W45a	輻射フィードバックを考慮した連星ブラックホールの軌道進化計算 鈴木智也（京都大学）	9月13日（金）午前・I会場	
15:00	W46a	重力マイクロレンズ法による恒星質量ブラックホールのキック速度への制限 越本直季（大阪大学）	09:30	W48a JWST による銀河観測が与える高赤方偏移ガンマ線バーストへの示唆 松本達矢（京都大学）
	W47c	ブラックホール磁気圏1次元一般相対論的シミュレーション：ガンマ線放射のスピン依存性 金湜基（東北大学）	09:42	W49a ガンマ線バーストの後期ジェットとコウーン光子による Bulk Compton 放射 松井理輝（東北大学）
15:12		質疑応答（10分）	09:54	W50a Late Engine Activity in Neutron Star Mergers As An Alternative Scenario for the Blue Kilonova HAMIDANI, HAMID (Tohoku University)
			10:06	W51a 輻射輸送シミュレーションと解析的モデルを用いたキロノバ光度曲線の物理的解釈 北村文里（東北大学）
			10:18	W52a キロノバのスペクトルにおけるトリウムの特徴：最も重い元素の同定可能性 土本菜々恵（東北大学）
			10:30	W53a 連星中性子星合体初期の自由中性子放射における水素ライン吸収の影響 石井彩子（山形大学）
			10:42	W54a 相対論的衝撃と密度塊との相互作用が駆動する磁気乱流の性質 森川莞地（東京大学）
			10:54	W55a 重力波観測ラン O4b における J-GEM の電磁波対応天体探査 笹田真人（東京工業大学）
			11:06	W56a せいめい望遠鏡 / TriCCS を用いた重力波天体の追観測用スクリプトの開発 田口健太（京都大学）
			11:18	W57a 重力波イベント S240422ed に対する J-GEM による電磁波対応天体探査 高橋一郎（東京工業大学）
			11:30	質疑応答（10分）

X. 銀河形成・進化

9 月 11 日（水）午前・J 会場		9 月 11 日（水）午後・J 会場	
10:06	X01a JWST 輝線観測が解剖する原始銀河団に付随する大質量銀河の活動状態 嶋川里澄（早稲田大学）	13:00	X11a 爆発的銀河風で形成される odd radio circle の広帯域非熱的放射とその進化 藤田裕（東京都立大学）
10:18	X02a $z \sim 2$ の銀河団とその周辺領域における中性水素による Ly α の散乱効果 船木美空（東北大学）	13:12	X12a Measurement of the Hubble Constant from the Lensed Quasar WGD 2038-4008 Wong, Kenneth (The University of Tokyo)
10:30	X03a 原始銀河団周囲に形成される巨大電離バブルとクラスタリングの影響 矢島秀伸（筑波大学）	13:24	X13a WDM サブハロー質量関数に対するシミュレーションと準解析的モデルの比較 小野瑞季（北海道大学）
10:42	X04a 原始銀河団 SSA22 に位置する AGN を持つ爆発的星形成銀河の CO 輝線を用いた分子ガスの物理状態診断 岡内紀翔（名古屋大学）	13:36	X14a AI サロゲートモデルを用いた star-by-star 銀河形成シミュレーションの高速化 平島敬也（東京大学）
10:54	X05a すばる HSC を用いた $1 < z < 3$ における [OIII] 強輝線銀河の統計的性質 今井聖也（総合研究大学院大学/国立天文台）	13:48	X15a Population-level inference of dust attenuation properties in local galaxies Cooray, Suchetha (KIPAC/Stanford University)
11:06	X06a ALMA Lensing Cluster Survey: 輝線銀河のブラインドかつ無バイアス探索 成田佳奈香（東京大学）	14:00	X16a 潮汐相互作用によってトリガーされた大質量星形成：Gaia 衛星の星の固有運動観測による検証 立原研悟（名古屋大学）
11:18	X07a GALAXY CRUISE: classifying HSC-like mock galaxies from the TNG50 安藤誠（国立天文台）	14:12	X17a 大マゼラン雲における最大級の分子雲複合体の ALMA 観測：銀河間相互作用によって駆動された複数方向からの H I ガス流による誘発的星形成 徳田一起（九州大学/国立天文台）
11:30	X08b 銀河の性質と環境の相互依存性：グラフニューラルネットワークを用いた解析 内田舜也（名古屋大学）	14:24	X18a 大マゼラン雲 N113 における銀河間相互作用によって誘発された巨大分子雲と大質量星の形成 山田麟（名古屋大学）
11:30	X09b COSMOS 領域における $z=0.7-0.9$ の外側から星形成活動が減衰している銀河の性質 藤本淳也（愛媛大学）	14:36	X19a 大マゼラン雲大質量星形成領域 N44NW に存在する整列したフィラメント状分子雲集団の起源 東野康祐（大阪公立大学）
11:30	X10b UNIONS データを用いたダストに覆われた銀河の広域探索と多波長 SED 解析 吉田猛人（愛媛大学）	14:48	X20a eROSITA 衛星を用いた LMC N11 領域の広がった X 線放射の観測的研究 柘植紀節（岐阜大学）
11:42	質疑応答（10 分）	15:00	X21b 銀河の星形成史モデルが SED フィッティングに与える影響の評価 曹愛奈（名古屋大学）

15:00	X22b	Characteristic Mass Scale for the Cusp-Core Transition in Dark Matter Halos 森正夫 (筑波大学)	9 月 12 日 (木) 午後・J 会場	
15:12		質疑応答 (10 分)	13:00	X33a JWST で探る $z=6.6$ の Himiko の性質 清田朋和 (総合研究大学院大学/国立天文台)
9 月 12 日 (木) 午前・J 会場			13:12	X34a RIOJA: 赤方偏移 7.9 の原始銀河団 A2744-z7p90D のメンバー銀河の星間媒質 大曾根渉 (筑波大学)
09:30	X23a	HSC-SSP と CHORUS サーベイに基づいた $\text{Ly}\alpha$ 輝線銀河の光度関数と空間分布から探る宇宙再電離史 梅田滉也 (東京大学)	13:24	X35a RIOJA, $z=6.81$ 銀河の JWST+ALMA 解析: 二層電離ガスの存在の示唆 碓氷光崇 (筑波大学)
09:42	X24a	初代銀河形成シミュレーション: FUV 輻射により誘起されるバースト的星形成 杉村和幸 (北海道大学)	13:36	X36a RIOJA. Complex Dusty Starbursts in a Major Merger B14-65666 at $z=7.15$ 菅原悠馬 (早稲田大学)
09:54	X25a	JWST で観測された N/O が高い銀河における強い He I 輝線の起源 柳澤広登 (東京大学)	13:48	X37a Rotating Disk at $z=10.6$ Revealed by JWST Integral Field Spectroscopy Xu, Yi (The University of Tokyo)
10:06	X26a	Zackrisson Method を用いた宇宙再電離期銀河からの電離光子脱出率の推定 前原瑚菜 (総合研究大学院大学)	14:00	X38a Unique Overdensity and Nature of Extreme Emission Line Galaxies at $z \sim 7$ 大工原一貴 (東北大学)
10:18	X27a	JWST の $\text{Ly}\alpha$ 銀河観測と 21cmFAST で探る宇宙再電離史と電離バブル進化 影浦優太 (東京大学)	14:12	X39a Radiative-driven dusty outflows by compact $z > 10$ galaxies 仲里佑利奈 (東京大学)
10:30	X28a	高解像度宇宙論的シミュレーションに基づいた準解析的初代星形成モデルの開発 石山智明 (千葉大学)	14:24	X40a 高赤方偏移銀河中心における星風由来の金属量汚染 斎藤貴之 (神戸大学)
10:42	X29a	スリット分光で探る $z \sim 6$ クエーサー $\text{Ly}\alpha$ ハローの光度依存性 星宏樹 (東京大学)	14:36	X41a 準解析的銀河形成モデルによる始原的パワースペクトルの違いが銀河形成に与える影響の調査 長船大樹 (北海道大学)
10:54	X30a	赤方偏移と金属量に依存した IMF を用いた高赤方偏移銀河の UV 光度関数 福島啓太 (早稲田大学)	14:48	X42b 初代銀河の形成過程における種族 II 星の初期質量関数とその影響 石田怜士 (東北大学)
11:06	X31a	Exploring the faintest end of mid-infrared luminosity functions up to $z \simeq 5$ with the JWST CEERS survey Goto, Tomotsugu (National Tsing Hua University)	14:48	X43b 機械学習による第二世代星の超新星爆発単汚染星の抽出と初代星の性質 石川諒 (東北大学)
11:18	X32a	MUSE view of outflows and the circumgalactic medium of extremely metal-poor galaxies: project description 日下部晴香 (国立天文台)		X44c CUDA/HIP/SYCL を用いた direct N -body code の実装と NVIDIA/AMD/Intel 製 GPU 上での性能評価 三木洋平 (東京大学)
11:30		質疑応答 (10 分)	15:00	質疑応答 (10 分)

9 月 13 日（金）午前・J 会場			9 月 13 日（金）午後・J 会場		
09:30	X45a	A quiescent galaxy pair at $z=3.44$ in the Cosmic Vine 伊藤慧（東京大学）	13:00	X55a	A Pristine Look at Extended Globular Cluster Structures Kuzma, Pete Bryson (NAOJ)
09:42	X46a	高赤方偏移に存在する大質量 Quiescent 銀河の星形成の抑制と周辺環境 柿元拓実（総合研究大学院大学）	13:12	X56a	Formation of the Andromeda Giant Southern Stream and Eastern Extent 山口未沙（筑波大学）
09:54	X47a	eROSITA/eFEDS X-ray view of WERGS radio galaxies selected by the Subaru/HSC and VLA/FIRST survey 市川幸平（早稲田大学）	13:24	X57a	Exploring the origin of the mysterious stellar stream “Leiptr” with Galactic Archaeology 松井瀬奈（名古屋大学）
10:06	X48a	eROSITA Detected Radio Quasar Possibly Reaching Super-Eddington Accretion Limit 小淵紗希子（早稲田大学）	13:36	X58a	すばる望遠鏡 /Hyper Suprime-Cam で探る M83 恒星ハローの性質 . I. 小上樹（総合研究大学院大学/国立天文台）
10:18	X49a	Crimson Behemoth: $z \sim 5$ massive clumpy galaxy hosting X-ray dusty AGN 田中匠（東京大学 /Kavli IPMU）	13:48		質疑応答（10 分）
10:30	X50a	Impact of mergers on star formation and AGN activity in the HSC-SSP Omori, Kiyooki Christopher (Ehime University)			
10:42	X51a	ALMA によるレッドクエーサー ($z=6.72$) の [CII] アウトフロー探査 澤村真星（東京大学）			
10:54	X52a	高質量分解能計算で明かす、銀河スケールから銀河中心核への質量輸送機構 油谷直道（鹿児島大学）			
11:06	X53a	NASA FIR-Probe 候補 PRIMA の系外銀河サイエンス 稲見華恵（広島大学）			
11:18	X54a	南極 12m テラヘルツ望遠鏡で可能なサイエンスの検討 I 若杉航希（筑波大学）			
11:30		質疑応答（10 分）			

Y. 天文教育・広報普及・その他

9 月 11 日（水）午前・E 会場		9 月 11 日（水）午後・E 会場	
09:30	Y01a 日本の古代中世の地震史料における月の位置の記述 服部健太郎（関西大学）	13:00	Y09a 月の遠隔観測の理科授業への導入 ―東京学芸大学附属小学校での試行授業― 土橋一仁（東京学芸大学）
09:42	Y02a 木村栄の書跡から学ぶ緯度観測所初代所長の地域コミュニケーション術 馬場幸栄（人間文化研究機構）	13:12	Y10a 月のクレーターの高さを求める教材開発と春日部高等学校での教育実践 畑中美里（東京学芸大学）
09:54	Y03a 現代型防災啓発および時代比較対象としての大規模目撃事例の観察：2023 年 12 月および 2024 年 5 月の事例より 玉澤春史（東京大学）	13:24	Y11a 東京学芸大学 40cm 望遠鏡を活用した観測計画立案から始める遠隔天体観測―春日部高等学校での教育実践― 松尾英里子（東京学芸大学）
10:06	Y04a 太陽黒点観測データの「市民科学」的なレスキュー活動とその成果 大西浩次（長野工業高等専門学校）	13:36	Y12a 天体観察支援機能を含む星空シミュレーションアプリ「SORA」の開発と教育利用 縣秀彦（国立天文台）
10:18	Y05a 若手天文教育普及ワーキンググループ（わか天）の活動 II: 若手を対象とした合宿企画の実施 村越麻友（青山学院大学/日本天文教育普及研究会）	13:48	Y13a ICE モデルに基づき設計した大学での反転授業のデジタル Diamond Mandala Matrix を使った実践と分析 青木成一郎（京都情報大学院大学/京都大学）
10:30	Y06a Starformation Boardgame Project(3): 天文学普及ボードゲーム開発の経過報告と参加者の反応分析 三浦飛未来（インター宇宙ぼレーション）	14:00	Y14a 二年目となる宇宙天気インタプリタ育成カリキュラム開発の状況 野澤恵（茨城大学）
10:42	Y07b Starformation Boardgame Project(4): 複線径路等至性アプローチ (TEA) を参考にしたボードゲーム制作過程の試験的分析 玉澤春史（東京大学）	14:12	Y15b 教員養成系学生を対象としたぐんま天文台 150cm 望遠鏡を用いた観測実習 大朝由美子（埼玉大学）
10:42	Y08b 地域貢献特別支援事業を活用した、大学生・大学院生によるサイエンスコミュニケーション活動の促進と実践 松井瀬奈（名古屋大学）	14:12	Y16b 日本天文学会の規範とハラスメント防止ガイドラインを作ろう 林左絵子（東京大学カブリ数物連携宇宙研究機構）
10:54	質疑応答（10 分）	14:24	質疑応答（10 分）

予稿ページ

Z101r 天体観測における超小型衛星の国際動向

金岡 充晃 (CSP Japan)

2003 年世界初の CubeSat が打ち上げられてから 21 年が経過し、学生教育が主目的であった CubeSat が、いまやリモセン、通信、気象、バイオ実験、再突入、ランデブー、深宇宙探査など、これまでは大型衛星でしか実現不可能だと思われてきたあらゆる分野へと利用が拡大しつつある。その証拠に、2023 年における 100kg 以下の小型衛星打ち上げ機数は 500 機以上、10kg 以下の CubeSat に限っても 300 機以上が打ち上げられている。実は、これらの過半数がビジネスを目的とした商用衛星であり、搭載コンポーネントのサプライチェーンが世界的に構築され、大量生産の時代に入りつつある。同時に打上単価も徐々に下がってきており、もやは、学術研究においてもビジネスにおいても小型衛星が宇宙開発の成長エンジンであることに疑いの余地はない。本講演では、いま世界ではどのような超小型衛星が開発され、どんなミッションが実現できているかについて、超小型衛星の国際動向・最新の技術動向を紹介する。さらに、今日では NASA、ESA などをはじめとした世界各国の宇宙機関が、大型計画と並行して超小型衛星を用いた科学ミッションを積極的に推進している。本講演では、これらの極めて挑戦的なサイエンスミッションを紹介するとともに、各国の宇宙機関がこれらの超小型衛星開発をどの用にサポートしているのかなど、各国の戦略や枠組み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](#)

Z102r BurstCube: A CubeSat for Gravitational Wave Counterparts

Jeremy S. Perkins (NASA/GSFC) for the BurstCube Team

BurstCube is a 6U CubeSat comprised of 4 CsI scintillators read out by arrays of SiPMs designed to detect gamma-ray bursts (GRBs) and other short gamma-ray transients and enable multi-messenger astrophysics. Observations of coincident GRBs and gravitational waves from compact binary mergers provides a wealth of science, and BurstCube is operating during the O4b observing run. It was launched in March 2024 and deployed into Low Earth Orbit from the International Space Station on April 18, 2024, with science operations beginning after a commissioning period. Like many other GRB detectors on mission scales from CubeSats to Fermi, BurstCube will detect GRBs, increase sky coverage, and inform the follow-up efforts of both space and ground-based observatories. The onboard instrument triggering algorithm autonomously enables rapid downlink of data using the Tracking and Data Relay Satellites (TDRS) - BurstCube is the first CubeSat to do so. The alerts are distributed via the General Coordinates Network (GCN) within minutes of detection, and data is publicly available via HEASARC immediately upon processing with open-source analysis software. This presentation will describe the current status of the mission and early science 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](#)

Z103a 超小型衛星群 CAMELOT によるガンマ線バースト観測

浦田岬, 深沢泰司, 高橋弘充, 水野恒史, 大野雅功 (広島大学), Norbert Werner, Jakub Ripa (Masaryk 大学), Andras Pal, Laszlo Meszaros (Konkoly 天文台), CAMELOT チーム

重力波が検出されて以降、電磁波によるフォローアップ観測の重要性が強く認識され、現在さまざまな観測が行われている。重力波が起こる時間や場所を予め知ることはできないため、広い視野を持つガンマ線観測装置は不可欠である。しかし、これまでのガンマ線観測は位置決定精度が 2 度程度であり、それを受けた X 線観測が無ければ光学望遠鏡で観測するのは困難であった。加えて、貴重な重力波イベントを電磁波で見逃さないためには、全天を覆う観測視野も必要である。そこで我々はチェコやハンガリーの研究グループと共に CAMELOT 計画を推進している。この計画ではプレート状の CsI シンチレーターと SiPM 光センサを組み合わせた軽量かつ低エネルギー側での大きな有効面積 (約 50cm²) を確保した検出器を超小型衛星に搭載し、最少 9 機の衛星を色々な軌道へ乗せる。そして、各々の超小型衛星に到来するガンマ線の到来時刻の差を利用し、重力波源の一つであるガンマ線バーストを全天でカバーしつつ、0.5 度以下の精度で位置決定をおこなう。これまでに、プロトタイプとして 2021 年 3 月と 2022 年 1 月に超小型衛星を打ち上げ、2 つとも問題なく動作している。これらの衛星はガンマ線バーストを計 30 個以上検出しており、史上最も明るいガンマ線バーストである GRB221009A も検出することができた。また、衛星軌道上での SiPM 光センサの劣化データも得られており、2024 年の夏には 3 機目の衛星を打ち上げる予定となっている。本講演では、CAMELOT 計画の現状および展望を紹介する。

[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](#)

Z104a X線突発天体監視速報衛星こよう (KOYOH) の打ち上げおよび初期観測報告

澤野達哉, 米徳大輔 (金沢大学), 三原建弘 (理研), 有元誠 (金沢大学), 池田博一 (ISAS/JAXA), 井町智彦, 江口大智, 大滝健生, 岡本奏歩, 笠原禎也, 河本隆希, 木邑真理子, 小島寧隼, 坂田望祥, 軸屋一郎, 莊司泰弘, 高橋直暉, 中村駿介, 長谷川琢真, 堀田将史, 松田昇也, 宗像勇輔, 八木谷聡, 山口太暉 (金沢大学)

我々はX線突発天体監視速報衛星こよう (KOYOH) の打ち上げを2023年12月に実施した。KOYOHは金沢大学で開発された50kg級衛星で、衛星ミッションとして重力波を伴うガンマ線バースト (GRB) などのX線突発天体を観測し、発生時刻と発生方向を速報することで、GRBと重力波との時間差によりGRBジェットの駆動源や放射構造の解明を目指すほか、速報情報による対応天体の追観測促進など、マルチメッセンジャー天文学への貢献を目指す。ミッション機器として、1次元符号化マスクとシリコンストリップ型半導体検出器による広視野X線検出器 T-LEX と、CsI(Tl) シンチレーターと半導体光センサー MPPC によるガンマ線検出器 KGD を搭載する。KOYOH 衛星のコマンド・テレメトリ運用は金沢大学に新規に設置した S-band および UHF 帯の地上局により実施する。また、突発天体の検知情報は民間のイリジウム衛星通信サービスを利用して行う設計である。KOYOH は打ち上げ後、金沢大学地上局の最初のパスでコマンド・テレメトリ双方の通信確立を実証した。また、得られたテレメトリ情報から、姿勢系による太陽指向と電源系における太陽電池によるバッテリーへの充電と機器への電源供給が機能していることを確認した。ミッション機器は起動投入後1週間後および2週間後に最初の電源投入を行い、電氣的・通信的な健全性を確認した。その後、KOYOH はバス系の調整を経て、4月より観測フェーズに移行した。本講演では、打ち上げ後と初期運用、および初期観測状況の概要を報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Z105a 超小型X線衛星 NinjaSat による新天体 SRGA J144459.2-604207 の長期モニタリング観測

武田 朋志 (理研/東理大), 玉川 徹 (理研), 榎戸 輝揚 (京都大), 北口 貴雄, 加藤 陽, 三原 建弘 (理研), 岩切 渉 (千葉大), 沼澤 正樹 (都立大), 大田 尚享, 重城 新大, 渡部 蒼汰, 青山 有未来, 岩田 智子, 高橋 拓也, 山崎 楓, 周 圓輝, 内山 慶祐, 吉田 勇登, 林 昇輝 (理研/東理大), 佐藤 宏樹 (理研/芝浦工大), Chin-Ping Hu (彰化師範大/理研), 高橋 弘充 (広島大), 小高 裕和 (大阪大), 丹波 翼 (ISAS/JAXA), 谷口 純太郎 (理研/早大), 土肥 明 (理研), 西村 信哉 (東大/理研), 平井 遼介 (理研/モナッシュ大学)

NinjaSat は日本初の 6U サイズ ($10 \times 20 \times 30 \text{ cm}^3$) の超小型 X 線衛星であり、2023 年 11 月 11 日に SpaceX Transporter-9 により高度 530 km の太陽同期軌道に打ち上げられた。NinjaSat には 2-50 keV に感度を持つ 10 cm 立方サイズの非撮像型キセノンガス X 線検出器が 2 台搭載され、6 keV において超小型衛星としては最大である約 32 cm^2 の有効面積をもつ。

NinjaSat 衛星は 2 月 21 日に発見された降着型ミリ秒パルサー SRGA J144459.2-604207 (SRGA J1444) の追観測を 2 月 23 日から実施し、天体の増光活動が終了した 3 月 18 日まで、合計 25 日間の長期モニタリングを続けた (exposure ~ 144 ks)。NinjaSat はこの間、INTEGRAL などの他の衛星の観測結果とコンシステントな継続時間 ~ 20 sec, ピークフラックス ~ 1 Crab の I 型 X 線バーストを合計 11 個検出した (Astronomer's Telegram #16495)。各バーストの時間間隔が定常 X 線フラックス ($\propto$ 伴星からの質量降着率) に概ね反比例することから、1 回のバーストを起こすのに必要な臨界質量が、観測期間中、一定だったことが示唆される。本講演では、NinjaSat における突発天体の追観測の運用体制と、新天体 SRGA J1444 の長期モニタリング観測の結果について報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Z106b 超小型X線衛星 NinjaSat の時刻較正とパルサー観測による検証

大田 尚享 (理研/東理大), 玉川 徹 (理研), 榎戸 輝揚 (京都大/理研), 北口 貴雄, 加藤 陽, 三原 建弘 (理研), 岩切 渉 (千葉大), 沼澤 正樹 (都立大), 周 圓輝, 内山 慶祐, 武田 朋志, 吉田 勇登, 林 昇輝, 重城 新大, 渡部 蒼汰, 青山 有未来, 岩田 智子, 高橋 拓也, 山崎 楓 (理研/東理大), 佐藤 宏樹 (理研/芝浦工大), Chin-Ping Hu (彰化師範大/理研), 高橋 弘充 (広島大), 小高 裕和 (大阪大), 丹波 翼 (ISAS/JAXA), 谷口 純太郎 (理研/早大)

NinjaSat は高度 530 km の太陽同期極軌道に投入された 6U ($10 \times 20 \times 30 \text{ cm}^3$) サイズの超小型 X 線衛星であり、ブラックホールや中性子星の長期観測占有観測や、突発天体の追跡観測を行う。主観測装置として、2-50 keV に感度を持つ非撮像型ガス X 線検出器 (Gas Multiplier Counter; GMC) を 2 台搭載しており、2 台合計の有効面積は 6 keV において最も大きく、 32 cm^2 である。GMC は $61 \mu\text{s}$ の分解能を持つ時刻カウンタで X 線検出時刻を測定する。NinjaSat は GPS 受信機を搭載しており、GMC は GPS 時刻を時刻カウンタと同期して 1 秒間隔で記録する。地上において GPS 時刻をもとに時刻カウンタを較正し、X 線イベントに絶対時刻を付与する。

GMC の較正のため我々にはかに星雲を観測した。相対時間精度の検証として 1 ks の観測データの周期解析をした結果、かにパルサーとして既知の 33.8 ms 周期のパルス測定に成功した。絶対時刻精度の検証として、ジョドレルバンク天文台の電波観測結果とパルスを比較した結果、X 線として妥当な、電波に対し 0.01 位相進んだパルスであることを確認した。タイミング観測の実証として、X 線連星パルサー Her X-1 を観測した。約 2 日間の観測データに対し、1.7 日周期の連星軌道の補正をした結果、1.24 秒周期の位相がコヒーレントなパルスが確認できた。本講演では NinjaSat の時刻較正と天体観測によるパルスプロファイルの実証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](#)

Z107b 超小型 X 線衛星 NinjaSat の運用とパイプラインデータ処理

岩田 智子 (理研/東理大), 玉川 徹 (理研), 榎戸 輝揚 (京都大/理研), 北口 貴雄, 加藤 陽, 三原 建弘 (理研), 岩切 渉 (千葉大), 沼澤 正樹 (都立大), 周 圓輝, 内山 慶祐, 武田 朋志, 吉田 勇登, 大田 尚享, 林 昇輝, 重城 新大, 渡部 蒼汰, 青山 有未来, 高橋 拓也, 山崎 楓 (理研/東理大), 佐藤 宏樹 (理研/芝浦工大), Chin-Ping Hu (彰化師範大/理研), 高橋 弘充 (広島大), 小高 裕和 (大阪大), 丹波 翼 (ISAS/JAXA), 谷口 絢太郎 (理研/早大)

NinjaSat は 6U サイズ ($10 \times 20 \times 30 \text{ cm}^3$) の超小型 X 線衛星であり、ペイロードとして、ガス X 線検出器 (GMC) と、放射線帯モニタ (RBM) を 2 台ずつ搭載している。打ち上げ後、高度約 530 km の太陽同期極軌道に投入され、約 95 分周期で周回している。X 線天体の長期占有観測や、全天 X 線監視装置 MAXI が発見した突発天体の追観測を目的としており、2024 年 2 月 23 日に科学観測を開始した。

NinjaSat の運用は、衛星との通信、衛星バスの運用をリトアニアの NanoAvionics 社が担当し、観測計画の立案、ペイロードの運用を NinjaSat チームが担当している。衛星との通信は 1 日 3 回、約 95 分間隔の連続パスで、北極圏の KSAT 社サブバル局を使用している。ダウンロードしたデータは Amazon Web Service に置かれ、NinjaSat チームが開発した Quick-Look (QL) ソフトウェアが自動でダウンロードする。通常運用では、衛星の健康状態を常時モニタし、突発的な異常事象に素早く対応するため、ダウンロードとコンタクトの間に運用当番が QL モニタを確認、必要があれば運用コマンドを再作成する。QL 処理後、データ処理パイプラインスクリプトがデータの時刻構成やエネルギー構成、観測時間の抜き出しなどを自動で行い、即時解析ができるデータを生成する。本講演では NinjaSat の運用およびパイプラインデータ処理について発表する。

[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](#)

Z108b 超小型 X 線衛星 NinjaSat に搭載した X 線検出器の軌道上での光軸調査

渡部 蒼汰 (理研/東理大), 玉川 徹 (理研), 榎戸 輝揚 (京都大), 北口 貴雄, 加藤 陽, 三原 建弘 (理研), 岩切 渉 (千葉大), 沼澤 正樹 (都立大), 周 圓輝, 内山 慶祐, 武田 朋志, 吉田 勇登, 大田 尚享, 林 昇輝, 重城 新大, 青山 有未来, 岩田 智子, 高橋 拓也, 山崎 楓 (理研/東理大), 佐藤 宏樹 (理研/芝浦工大), Chin-Ping Hu (彰化師範大/理研), 高橋 弘充 (広島大), 小高 裕和 (大阪大), 丹波 翼 (ISAS/JAXA), 谷口 絢太郎 (理研/早大)

我々は 2023 年 11 月に打ち上げた超小型 X 線天文衛星 NinjaSat を用いて、明るい X 線天体の長期モニタや、他衛星が発見した明るい突発天体の追観測などを行っている。NinjaSat には 2–50 keV に感度をもつ非撮像型ガス X 線検出器 (Gas Multiplier Counter ; GMC) が 2 台搭載されており、それぞれに視野角約 2.1 deg (FWHM) の X 線コリメータを取り付けている。衛星バスは NanoAvionics 社の宇宙実証済みの M6P バスを使用しており、ポインティング精度は 0.1 deg 以下である。NinjaSat は GMC の X 線コリメータと衛星バスによる姿勢制御の組み合わせにより、狙った天体を視野内に捉え、X 線強度の時間変動やスペクトルの取得を実現している。

コリメータの特性上、GMC で得られる天体の X 線強度は、天体が光軸から離れるほど減少する。姿勢情報を元にコリメータ由来の X 線減少量を見積もるためには、まず衛星の視線方向と GMC の光軸のずれを把握する必要がある。我々は、衛星視線方向を少しずつ変化させてかに星雲をスキャンし、各観測点での X 線強度を取得した。結果、GMC1 には 0.25 deg, GMC2 には 0.32 deg のずれが存在し、衛星を天体座標に向けた場合、得られる X 線強度は視野中心で観測する場合に比べてそれぞれ 12.3%, 15.2% 低くなることがわかった。本発表では、軌道上での姿勢安定度の検証方法とその結果や、NinjaSat/GMC の光軸ずれ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](#)

Z109a 速報実証衛星 ARICA-2 エンジニアリングモデルの開発および評価

浦壁奈央, 坂本貴紀, 芹野素子, 辻祐樹, 牛丸朋弥, 加藤大輝, 浅野慧樹, 岩永知沙季, 高城栄紘, 広司知将, 森川俊太郎, 野島梓恩, 馬淵隼人 (青山学院大学), 榎戸 輝揚 (京都大学)

AGU Remote Innovative Cubesat Alert system - 2 (ARICA-2) は民間衛星通信ネットワークを利用した、ガンマ線バーストを始めとする突発天体の速報システムを軌道上実証する事が目的の 2U サイズの衛星である。突発天体の観測においては、機上で発見した天体を即座に地上へ速報し、様々な望遠鏡による追観測へとつなげていく事が研究の鍵となる。一方で、速報を地球周回衛星で実現するためには、衛星と地上が常に通信できる状況にする必要があり、現在運用中の科学衛星では、データリレー衛星の利用や地上に多くの地上局を配置するなどを行い、速報を実現している。我々は、現在利用可能な民間衛星通信ネットワークである、イリジウム衛星とグローバルスター衛星に着目し、これらの通信ネットワークを利用した突発天体速報システムの実現を目指す。

ARICA-2 は、JAXA 革新的衛星技術実証 4 号機に選定され、2025 年度の打ち上げを目指して開発を進めている。ARICA-2 は、民間衛星通信機として、イリジウム衛星と通信のできる小型通信端末 Short Burst Data (SBD)、グローバルスター衛星と通信のできる小型通信端末 STX-3 を搭載している。また、CsI(Tl) と EJ-270 を用いたガンマ線検出器、ソニーの低消費電力ボードコンピュータである Spresense を用いた OBC、磁気トルカを用いた姿勢制御系、そして、UHF 帯を用いたアマチュア無線機も搭載する。現在、エンジニアリングモデルの製作が完了し、エンジニアリングモデルによる振動衝撃試験を 5 月末に、熱真空試験を 6 月中旬に予定している。本発表では、ARICA-2 のエンジニアリングモデル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](#)

Z110a VERTECS: Science Goal and Observation Plan

Aoi Takahashi, Hayato Tanaka, Yoshinao Yasuda, Kohji Takimoto, Takao Nakagawa (ISAS/JAXA), Akimasa Ojika, Akane Tsumoto, Yuki Ohara, Yuki Hirose, Shuji Matsuura (Kwansei Gakuin Univ.), Yuto Tome, Masahiro Nishioka, Shunsuke Nakagawa, Kana Kurosaki, Kei Sano (Kyushu Institute of Technology), VERTECS collaboration

VERTECS (Visible Extragalactic background RadiaTion Exploration by CubeSat) is the first satellite specialized for observing diffuse light sources in visible wavelength. It is a 6U CubeSat equipped with a small telescope whose aperture is $\phi 35$ mm size. The wide field-of-view of 3×3 degree² in each wavelength band enables us to improve the photometry precision by averaging surface brightness. Our science goal is to constrain the surface brightness of Extragalactic Background Light (EBL) in four visible bands ($\lambda=400-800$ nm in total). The EBL comes from outside of our galaxy and, therefore, several types of foreground light obscure the EBL. We need to model the spatial distribution of each foreground component and subtract them from the surface brightness of blank-sky (a region without point sources brighter than the detection limit).

For the modeling of foregrounds and the derivation of EBL brightness, we selected candidates of target coordinate and made a tentative observation schedule. We proceeded the software simulation of foreground modeling and examined the expected accuracy of the derived EBL brightness, by preparing mock images in accordance with our observation plan. In this talk, we introduce our strategy to archive the science goal and summarize our recent activities to fix the observation schedule.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Z111b VERTECS: 6U CubeSat for observation of visible extragalactic background light

Kei Sano (Kyushu Institute of Technology), and VERTECS collaboration

We present an overview of 6U CubeSat mission VERTECS (Visible Extragalactic background RadiaTion Exploration by CubeSat). The science goal of VERTECS is to reveal the star-formation history along the evolution of the universe by measuring the cosmic background radiation in visible wavelengths. Earlier observations have shown that near-infrared cosmic background radiation is several times brighter than integrated light of individual galaxies. As candidates for the excess light, first-generation stars in the early universe or low-redshift intra-halo light have been proposed. Since these objects are expected to show different emission spectra in visible wavelengths, multi-color visible observations are needed to reveal the origin of excess light. The detection sensitivity for cosmic background radiation depends on the product of the telescope aperture and the field of view, hence it is possible to observe the radiation with a small but wide-field telescope system mounted on CubeSat. In VERTECS, we develop a 6U CubeSat equipped with a 3U-sized telescope optimized for observation of visible cosmic background radiation. The bus system is based on heritage of CubeSats developed at Kyushu Institute of Technology with an integrated high-precision attitude control system and deployable solar array paddle required for VERTECS mission. Development of VERTECS started from December 2022 under JAXA-Small Satellite Rush Program (JAXA-SMASH Program) and satellite Engineering Model is being developed now. The satellite launch is planned in FY2025 for over 1-year scientific observation.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Z112b VERTECS: Progress Report on the Development of the Visible Light Telescope

Kohji Takimoto, Takao Nakagawa, Aoi Takahashi, Hayato Tanaka (ISAS/JAXA), Kei Sano, Hisataka Kawasaki, Yuto Tome, Shunsuke Nakagawa, Kana Kurosaki, Rin Sato, Ryo Hashimoto (Kyushu Institute of Technology), Shuji Matsuura, Yuki Hirose, Akimasa Ojika, Akane Tsumoto, Yuki Ohara (Kwansei Gakuin Univ.), Kohji Tsumura (Tokyo City Univ.), VERTECS collaboration

The VERTECS project aims to develop a visible light telescope for the observation of Extragalactic Background Light (EBL) using a microsatellite platform. The primary objective is to capture multi-band imaging data in the 400-800 nm range, focusing on both testing the Intra-Halo Light model and searching for emissions from the Epoch of Reionization. To achieve this, the telescope must meet stringent system requirements, including high throughput, excellent image quality, and effective stray light rejection. Significant progress has been made in the development phases, with the design for the Engineering Model (EM) of the baffle, lens optics, and lens holding barrel completed by the Preliminary Design Review stage. The EM telescope is expected to be delivered by June 2024. Subsequent standalone evaluation tests will be completed by July 2024, followed by comprehensive tests involving the entire satellite by September 2024. This project is on track for a 2025 launch, with ongoing efforts to ensure that the telescope meets all performance criteria and system requirements. In this presentation, we will report on the investigations and tests conducted up to the EM design phase and how we completed the design specifications to meet the mission and system requirements. Further updates will be provided as the project advances through its final stages of integration and testing.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Z113b VERTECS: Selection of Observation Fields and Observation Simulation

Akimasa Ojika, Yuki Hirose, Akane Tsumoto, Yuki Ohara, Shuji Matsuura (KGU), Aoi Takahashi, Kohji Takimoto, Hayato Tanaka, Takao Nakagawa (ISAS/JAXA), Yuto Tome, Shunsuke Nakagawa, Kana Kurosaki, Masahiro Nishioka, Kei Sano (Kyushu Institute of Technology), VERTECS Collaboration

VERTECS (Visible Extragalactic background RadiatTion Exploration by CubeSat) is a 6U-sized satellite mission to observe the Extragalactic Background Light (EBL) for the study of the cosmic history from the dark ages to the present. The mission section is equipped with a 35 mm F/2 refractive telescope, a 3000 × 3000 pixel CMOS sensor, and four-color filters. The field of view of 3 deg × 3 deg will be covered with the four bands by changing the satellite attitude to observe the same field in the four bands, and about 35% of the entire sky will be surveyed during the one-year mission period. In this study, we performed a numerical simulation of the observations during the mission period to estimate the number of observations required to measure the EBL with a target accuracy of approximately 1 nW/m²/sr. The simulated observations were created by modeling the three components of foreground light (zodiacal light, diffuse galactic light, and integrated starlight) to match the filter colors of VERTECS and adding a constant EBL brightness of 10 nW/m²/sr. The observation accuracy of the EBL is also affected by the uncertainty in subtracting foreground light, thus requiring analytical simulations using mock images. Through this study, we were able to create an actual analysis pipeline and develop a schedule capable of achieving the target observation accuracy. In this presentation, we will report on the process of creating mock images, verifying observation accuracy, and creating the observation schedule.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Z114b 超小型衛星 VERTECS での観測に向けた銀河系内の星積算光の輝度推定

津本明音, 小鹿哲雅, 大原有稀, 廣瀬優樹, 松浦周二 (関西学院大学), 高橋葵, 瀧本幸司, 田中颯, 保田 慶直, 中川貴雄 (ISAS/JAXA), 當銘優斗, 中川俊輔, 西岡政寛, 黒崎香名, 佐野圭, (九州工業大学), VERTECS collaboration

超小型 6U 天文衛星 VERTECS (Visible Extragalactic background Radiation Exploration by CubeSat) は、波長 400nm-800nm の可視光域で銀河系外天体の積算である銀河系外背景光 (Extragalactic Background Light: EBL) を観測するための衛星である。EBL の輝度を測定するためには、空の明るさの観測値から銀河系内の前景光を正確に差し引く必要がある。特に可視光域の EBL を観測する際には銀河系内の星の光が大きく寄与する。点光源として検出可能な明るい星を観測画像から除去してもなお、ある限界等級より暗い星々は積算光 (Integrated Star Light: ISL) として前景光に寄与することから、ISL の輝度を正確に推定することが重要である。VERTECS による EBL 観測では、ISL の輝度を不定性 1.0 nW/m²/sr (1 σ) 以下で推定することが要求される。

本研究では、TRILEGAL という銀河系内のすべての星種族の空間分布をシミュレートできるコードを用いる。VERTECS の観測天域における視野角内で等級ごとの星カウントを作成し積分することで ISL の輝度を推定する。TRILEGAL は星の空間分布のスケールハイトをパラメータとしており、実際の星分布にパラメータを合わせるモデルであるため、星カウントの絶対値は自身では決定できない。そこで、観測 (模擬) 画像から実測された VERTECS の点源検出限界よりも明るい星 ($m < 16-17\text{mag}$) のカウントと比較し、適切なスケールリングファクターを求めることで、観測データに即した星カウントモデルを得る。そのモデルを元に、点源検出限界より暗い星についての ISL の輝度を推定する。本講演では、ISL 輝度の推定結果、および要求される推定精度を達成するために必要な観測数の見積を示す。

[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](#)

Z115b 超小型衛星 VERTECS での暗黒星雲法達成に必要な観測条件の検証

大原有稀, 松浦周二, 廣瀬優樹, 小鹿哲雅, 津本明音 (関西学院大学), 中川貴雄, 瀧本幸司, 高橋葵, 田中颯, 保田慶直 (JAXA / ISAS), 佐野圭, 當銘優斗, 黒崎香名, 中川俊輔, 西岡政寛 (九州工業大学), VERTECS collaboration

超小型天文衛星 VERTECS (Visible Extragalactic background radiation Exploration by CubeSat) は 400nm-800nm の可視光 4 バンドを用いて EBL (Extragalactic Background Light) を観測することを目的としている。EBL の輝度を測定するには観測値から前景光成分を精度よく差し引く必要があり、前景光の中で特に大きい輝度をもつ黄道光の差引きが EBL 測定精度を左右する。黄道光の差引き精度の影響が少ない EBL 観測手段の 1 つとして暗黒星雲法がある。暗黒星雲法は EBL の輝度を暗黒星雲による減光量から推算するものであり、暗黒星雲がコンパクトであればその手前にある黄道光は一樣な分布をもつため減光量を求める際にほとんど不定性なく差し引くことができる。

本研究では VERTECS による暗黒星雲法を用いた EBL 観測の計画と観測精度の検討を行った。EBL 観測の精度を上げるには、暗黒星雲の減光量が大きく周辺領域の減光量が小さいようなダスト密度のコントラストが大きい領域を選定する必要がある。VERTECS は 3 度 × 3 度の広い視野を持つため多くの暗黒星雲は視野内に収まり、従来の宇宙望遠鏡と比較して高いコントラストの画像が得られやすい。我々はこれまでの観測例のあるものを含む複数の暗黒星雲の領域を観測候補として選定した。それらに暗黒星雲法を適用して得られる EBL の観測精度および必要な観測時間を検討した。

[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](#)

Z116b VERTECS: Study for Observation of Extragalactic Background Light Fluctuation

Yuto Tome, Kei Sano, Shunsuke Nakagawa, Kana Kurosaki, Masahiro Nishioka (Kyushu Institute of Technology), Shuji Matsuura, Yuki Hirose, Akimasa Ojika, Akane Tsumoto, Yuki Ohara (Kwansei Gakuin Univ.), Takao Nakagawa, Aoi Takahashi, Kohji Takimoto, Hayato Tanaka (ISAS/JAXA), VERTECS Collaboration

The Extragalactic Background Light (EBL) is important for understanding the history of star formation. Previous studies have shown the presence of excess light in the near-infrared EBL surface brightness and fluctuation, which cannot be explained by known galaxies. First stars and Intra-halo objects are candidates for excess light, and the spectral energy distribution is predicted to show clear difference in the optical wavelength. To clarify the origin, it is important to observe the surface brightness and fluctuations of the visible EBL. Measuring small spatial fluctuations in EBL requires longer exposure time than observing surface brightness.

Purpose of the present study is to verify whether fluctuation can be detected by the 6U nano-satellite VERTECS (Visible Extragalactic background RadiaTion Exploration by CubeSat) and to establish an observation plan. We study the following three points. First, we assess fluctuation of foreground emissions (zodiacal light, integrated starlight and diffuse Galactic light) by using simulation images created for VERTECS observation. Next, we construct fluctuation models of a candidate for excess light. Finally, we estimate the number of observations needed to detect visible EBL fluctuations. Our study suggests that detecting visible EBL fluctuations is possible by observing the same sky region more than 100 times with 60-second exposures.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Z117r HaloSat and astrophysics small satellite programs supported by NASA

Keith Jahoda (NASA Goddard Space Flight Center), on behalf of the HaloSat team

HaloSat was the first CubeSat funded through the NASA Astrophysics Research and Analysis (APRA) program. HaloSat surveyed the entire sky 85 eV resolution at 0.68 keV and an effective field of view of 0.035 sr. The mission had good sensitivity to the O VII and O VIII lines present in the hot gas within the Interstellar Medium and the Circumgalactic Medium of the Milkyway. Astrophysical diffuse emission from the ISM and the galactic halo was separated from Heliospheric charge exchange emission, instrument background, and the cosmic diffuse X-ray background by spectral separation.

The HaloSat mission, from concept development through publication was led by Prof. Phil Kaaret, then at the University of Iowa. I will review the history of the HaloSat proposal, implementation, launch, operations, and scientific results, with an emphasis on lessons learned that may be of value to small satellite experimenters funded by NASA or other space agencies. HaloSat achieved two aims of the APRA program: (1) unique scientific results from a small mission were reported in over a dozen refereed papers, and (2) educating the next generation of scientists and engineers, with the majority of the publications being led by early career scientists including undergraduates, Ph.D. candidates, and post-doctoral researchers. While some lessons are unique to the NASA environment, others have relevance for any astrophysicists considering Small Satellite experiments.

I also summarize other small NASA Astrophysics missions and provide a perspective (strictly my own) on potential opportunities for Japanese researchers to participate collaboratively in future Small Satellite projects.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Z118r QUVIK: QUICK ULTRA-VIOLET KILONOVA SURVEYOR

Norbert Werner (Masaryk University) for the QUVIK Science Collaboration

After briefly summarising the results of the gamma-ray burst detectors on the GRBAlpha and VZLUSAT-2 CubeSats, I will present the status and summarise the science case of the Quick Ultra-Violet Kilonova surveyor - QUVIK mission. QUVIK is an ultra-violet (UV) space telescope on an approximately 130 kg small satellite with a moderately fast re-pointing capability and a real-time alert communication system, approved for a Czech national space mission. The satellite, which is expected to launch in five years, will provide key follow-up capabilities to increase the discovery potential of gravitational wave observatories and future wide-field multi-wavelength surveys. The primary objective of the mission is the measurement of the UV brightness evolution of kilonovae, resulting from mergers of neutron stars, to distinguish between different explosion scenarios. The mission, which is designed to be complementary to the Ultraviolet Transient Astronomy Satellite - ULTRASAT, will also provide unique follow-up capabilities for other transients both in the near- and far-UV bands. Between the observations of transient sources, the satellite will perform observations of other targets of interest for the scientific community, such as stars, stellar systems, and galactic nuclei.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Z119a 天文観測衛星「うみつばめ」の開発進捗状況

関 響, 谷津 陽一, 福田 美実, 早津 俊祐, 上嶋 茂諒, 萩尾 陽菜, 久保 元由樹, 高橋 一郎, 笹田 真人 (東工大理学院), 渡邊 奎, 小林 大輝, 小林 寛之, 天木 祐希, 安田 萌恵, 大坪 恵人, 荒井 湧介, 尾関 優作, 田代 克樹, 吉村 大樹, 吉田 英生, 川口 雄生, 斎藤 遼 (東工大工学院), 江野口 章人, 白旗 麻衣, 武山 芸英 (株式会社ジェネシア), うみつばめ開発チーム

うみつばめ衛星は紫外線突発天体の検知を目的とした超小型衛星である。突発天体のうち、超新星爆発や中性子星連星合体などは、発生直後に高温で盛んな紫外線放射が見込まれる。このため、うみつばめ衛星に視野がおよそ $7\text{deg} \times 7\text{deg}$ と広視野をもつ紫外線望遠鏡を搭載することによって、世界初となる紫外線波長域 (およそ $250\sim 300\text{ nm}$) での広視野サーベイ観測を実施する。更に、オンボードコンピュータ上で突発天体検知を行うことによって即時にアラートを地上へ伝達し、地上望遠鏡と連携して観測することで、発生直後の突発天体の多波長観測を可能にする。

この科学目標を実現するために、我々は突発天体検知手法の開発 (2023 年春季年会 V235a) や指向方向決定のための紫外線カタログの作成 (2023 年春季年会 V236a) を行ってきた。現在は、地上との通信量を削減し、より深い等級で突発天体検知を行うことができるようにするための重ね合わせ処理ソフトウェアの開発を進めている。また、衛星から受信したアラートを地上望遠鏡に伝達する手段の策定など、打ち上げ後の運用体制の構築にも取り組んでいる。本講演では、これらを含めたうみつばめ衛星の開発状況や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](#)

Z120a MAUVE: Private Company's UV Smallsat Exploring Exoplanetary Space Weather

行方宏介 (京大/NAOJ), 前原裕之, 生駒大洋 (NAOJ), 鳥海森 (JAXA), 野津湧太 (CU), MAUVE WG

太陽系外惑星に生命は誕生するののかという疑問は、天文学者のみならず人類の大きな関心の的である。生命誕生の現場である系外惑星を持つ若い恒星の多くは、恒星フレアという表面爆発現象を頻発している。恒星フレアからの強い紫外線は、惑星大気で波長毎に異なる応答を示すため、そのスペクトルの測定が求められている。しかし、恒星フレアの紫外線分光観測は、現状ハッブル宇宙望遠鏡の独壇場であり、観測例も極めて少ない。2030 年代には LAPYUTA/UVEX など大規模計画の提案が進んでいるが、これらの実現には時間がかかる。このため、より手軽な (超) 小型紫外線衛星の提案が 2020 年代後半にかけてブームになりつつある (e.g., MANTIS, SPARCS)。

この流れに先んじて、我々グループは民間企業 Blue Skies Space 社が 2025 年 5 月頃に打ち上げる超小型紫外線観測衛星 MAUVE に初期メンバーとして参加している。MAUVE の画期的な点は、個々の研究者がサブスクリプションという形で安価に参加し決定権を持てる新形式と、民間企業ならではのスピーディなスケジュールであり、将来の超小型天文衛星に新展開をもたらしている。MAUVE の恒星観測に特化した独自戦略をベースに、我々は活動的な恒星を長時間観測し恒星フレアの紫外線・可視光 ($200\sim 700\text{ nm}$) のスペクトル観測例を革命的に増加させる計画を提案している ($>$ 数 100 発)。近紫外線～可視光の連続的なスペクトルが取得できれば、恒星フレアに伴って形成されるプラズマの光学的厚さが分かり、未解明の放射機構の推定が可能になる。これまで常識的に仮定されてきた光学的に厚い放射からの逸脱が分かれば、フレアのエネルギー推定の見解を大きく変える可能性があり、恒星・系外惑星研究における重要な転換点となりうる。本講演では、上記研究計画に加え、民間企業・研究者間での意思決定の仕組みや、JAXA の LAPYUTA 計画に向けた戦略も紹介する。

[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](#)

Z121b VERTECS: Electrical Power System and Power Management

S. Nakagawa, C. Narongphum, H. R. Shrestha, R. Cordova, S. V. Hugo, N. C. Örgör, Z. Leonel, I. Kato, E. Fukumoto, A. Ikeda, K. Sano (Kyutech), T. Nakagawa (ISAS/JAXA)

Extragalactic Background Light (EBL), the cumulative light from outside the Milky Way, is a crucial observational target for understanding the history of the universe. We are developing a CubeSat: VERTECS (Visible Extragalactic background RadiaTion Exploration by CubeSat) with a 6U size (approximately $10 \times 20 \times 30\text{ cm}$). Our mission is to conduct extensive observation of the visible EBL. The satellite is based on the electrical power system developed by Kyushu Institute of Technology. However, it is necessary to upgrade the existing power system to supply sufficient power especially to new devices (CMOS Sensor: Max. 3.1W , attitude control device: Max. 3W , observation data transmitter: Max. 15W) adopted to meet the high system requirements for this mission. We completed the design of a power system that meets the satellite's system requirements by incorporating newly installed solar array wings. Additionally, efficient power management and budget prediction through a simulation are essential to achieve this mission. Therefore, we construct a simulation of power generation and consumption dependent on attitude, orbit and missions. The simulation shows that the satellite can carry out the mission with the current operational scenario and power management. In this presentation, we will report the results of VERTECS's power system and power 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](#)

Z122b VERTECS: Development of the on-board Communication Equipment and Ground Segments

Rin Sato, Daisuke Nakayama, Kentaro Hayashida, Yusuke Iwaki, Arisa Oho, Kei Sano, Tetsuhito Fuse (Kyushu Institute of Technology), Takao Nakagawa (ISAS/JAXA), VERTECS collaboration

VERTECS(Visible Extragalactic background RadiaTion Exploration by CubeSat) is a 6U astronomical CubeSat designed to reveal star formation history by observing visible extragalactic background light, and is scheduled to be launched in FY2025. The communication system requires to downlink housekeeping data and mission data of around 1GB/day, and ensure sufficient X-band link margin for the required downlink rate of 5 Mbps. To meet these requirements, the communication equipment consists of S-band transceiver for command and control, an X-band transmitter for high-speed mission data downlink, and patch antennas on the satellite. The patch antennas were measured for radiation patterns and found to have directivity, gain, and beam width compatible with the mission requirements. To establish S-band communication regardless of attitude, some of the S-band antennas are placed on both sides of the satellite to be omni-directional radiation pattern. Real-time command operations will be conducted at ground stations of Kyushu Institute of Technology and ISAS, which are currently under renovation for VERTECS operation. Mission data will be received at domestic university stations and oversea commercial stations. The orbit simulation and X-band data budget calculation are being studied and we are considering the number of passes to meet the mission requirement. We will present the current development status of on-board communication equipment and ground segments.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Z123b Current Status Report on the Detector for VERTECS

Yuki Hirose, Shuji Matsuura, Akimasa Ojika, Akane Tsumoto, Yuki Ohara (Kwansei Gakuin Univ.), Kei Sano, Yuto Tome, Hisataka Kawasaki, Shunsuke Nakagawa, Rin Sato, Ryo Hashimoto (Kyushu Institute of Technology), Kohji Tsumura (Tokyo City Univ.), Takao Nakagawa, Kohji Takimoto, Aoi Takahashi, Hayato Tanaka (ISAS/JAXA), VERTECS collaboration

VERTECS is a 6U-sized astronomical micro-satellite for observing cosmic background radiation in the visible region. The refractive telescope (35 mm aperture, F2.0) and the detector with a built-in CMOS sensor (SONY IMX533) are placed in VERTECS. In front of the light-receiving surface, there are four 100 nm-bandwidth photometric filters covering wavelength ranges from 400 nm to 800 nm. These filters are arranged in a 2×2 square configuration, dividing the telescope's field of view ($6^\circ \times 6^\circ$) into squares by the wavelength. Images with 60-second exposures are captured by dithering, allowing us to obtain images across the entire wavelength range. Dark current noise and readout noise, which determine detection sensitivity, are required to be low enough for observing faint cosmic background radiation. We designed the detector housing that maintains dark condition, then evaluated the performance of IMX533. The evaluation includes the measurements of dark current, noise, spectral sensitivity, linearity relative to exposure time, and defective pixels. The results showed that the readout noise dominates over the dark current noise below 0°C , and the amount of the readout noise is lower than or equal to that of the noise of the zodiacal light. Therefore, the detection limit is determined by these two dominant noises. This report will show the detail of the evaluation described above.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Z124a INSPIRE: MeV Gamma-Ray Detector on a 50-kg Class Satellite

Kazuo S. Tanaka, R. Mori, T. Suga, S. Ogasawara, K. Yamamoto, J. Kataoka (Waseda University), Y. Yatsu, T. Chujo, K. Watanabe, H. Kobayashi, Y. Amaki, K. Takahashi, M. Yasuda, D. Kobayashi, K. Otsubo, Y. Arai, Y. Ozeki, K. Tashiro, S. Hayatsu, Y. Kawaguchi, H. Yoshida, M. Fukuda, H. Seki, S. Joshima, D. Yoshimura, K. Miyamoto, H. Nakanishi (Tokyo Tech), M. Onishi, S. Takeda (iMAGINE-X) and INSPIRE team

In the MeV gamma-ray range, there are various radiation processes and that are important observational targets as probes for nucleosynthesis in the universe. However, only about 30 steady celestial objects were discovered by COMPTEL, launched in 1991. Since then, no observations have surpassed the detection sensitivity of COMPTEL.

In this situation, we are developing a small satellite equipped with the Hybrid Compton Camera (HCC) operating as Compton cameras for the gamma-ray region and pinhole cameras for the X-ray region in the 30 keV-3 MeV range. The detector units, including scatterers and absorbers, are composed of pixelated GAGG scintillators and two-dimensional MPPC arrays. The development aims to achieve a detection sensitivity exceeding that of COMPTEL, performing a scan of the galactic plane to elucidate the mechanisms of nucleosynthesis in the universe, with a target launch in fiscal year 2027.

This presentation will introduce the design of the detector and DAQ, progress in the development of the EM model, and performance evaluations such as sensitivity and angular resolution through 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](#)

Z125b 小型衛星 INSPIRE 搭載コンプトンカメラの熱試験及び観測時間の推定

須賀友也, 片岡淳, 田中香津生, 森椋平, 小笠原聖純, 山本一毅 (早大理工), 谷津陽一, 中西洋喜, 中条俊大, 宮本清菜, 渡邊圭, 小林寛之, 天木祐希, 高橋健一郎, 安田萌恵, 小林大輝, 大坪恵人, 荒井湧介, 吉村大樹, 尾関優作, 田代克樹, 早津俊祐, 川口雄生, 吉田英生, 福田美実, 関響, 城嶋茂諒 (東京工業大学), 大西光延, 武田伸一郎 (iMAGINE-X)

早稲田大学と東京工業大学は、2026 年度の打ち上げを目指し、50 kg 級の超小型衛星の開発を進めている。この衛星には、宇宙元素合成やガンマ線バーストなどの解明に重要である MeV 領域ガンマ線を観測可能なコンプトンカメラが搭載される。コンプトンカメラは、ピクセル化された GAGG シンチレータと MPPC アレイを接合したものを 1 ユニットとした box 型構造であり、周りは BGO シンチレータと MPPC を接合したものを 1 ユニットとするアクティブシールドで囲まれている。本検出器の読み出し・データ処理基板は民生品であり、太陽光放射やアルベドによる過酷な熱環境での温度耐性を評価する必要がある。本研究では、コンプトンカメラを構成する各部品に -40 度から 85 度の温度範囲で熱さらし試験および熱サイクル試験を行い、機器許容温度範囲の測定を行った。また、コンプトンカメラの機器的制限と衛星の軌道的制限を加味したシミュレーションにより、銀河面サーベイを行った際の観測時間の分布を推定した。

[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](#)

Z126b 重力波やニュートリノ源の X 線対応天体探査専用キューブサットミッションの検討

坂本貴紀, 芹野素子, 盛 顯捷, Junyi Li, 生永新太郎, 大塚宙, 鈴木誠也, 上村龍太 (青山学院大学)

天体からの重力波やニュートリノなどの非電磁波放射と従来の光による天文学が融合したマルチメッセンジャー天文学が、LIGO/Virgo/KAGRA や IceCube などの観測の進展により花開きつつある。一方で、これらの非電磁波観測装置による位置決定精度は数平方度から数百平方度であり、対応天体を同定するためには、広い視野をもつ光の観測装置による探査が不可欠である。また、X 線という波長帯は、可視光などに比べ、圧倒的に天体の密度が低いため、突然明るく光る突発天体の同定においては、有力な波長帯域である。

JAXA の公募型小型候補ミッションの HiZ-GUNDAM で検討されている、ロブスターアイ光学系 (Lobster-Eye Optics; LEO) と呼ばれる非常に軽量の X 線光学系と比較的安価な CMOS イメージングセンサーを組み合わせた X 線望遠鏡をキューブサットのプラットフォームで実現できないかの検討を行った。4 cm × 4 cm の LEO を 2 × 2 に並べる事で、16° × 16° の視野をカバーでき、X 線天体の位置決定精度は数分角、-2.5 のべきのパワーローを仮定し、100 秒露光で 4×10^{-10} erg/cm²/s (0.4-4 keV) という感度が達成可能である。また、迅速な追観測ができるように、常時、地球周回衛星へのアップリンクが可能となる英国の民間衛星通信ネットワーク Inmarsat と通信が行える通信機 IQ Spacecom 社の Xlink-L の搭載検討も行った。6U キューブサットのプラットフォームを仮定し、電力や熱などの成立性についての検討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](#)

Z127b 狭視野半導体コンプトンカメラと符号化マスクで sub-MeV 帯域での 10 分角の角分解能を目指す SGI 計画

中澤知洋 (名大 KMI/理), 武田伸一郎 (東京大学 Kavli IPMU/iMAGINE-X), 大熊佳吾, 大宮悠希 (名大理), 渡辺伸 (JAXA/ISAS), 高橋忠幸 (東大 Kavli IPMU), 小林昌彦, 石田直樹, 大口真奈里, 田中敦也, 西村悠太 (名大理), 大西光延, 新井利彦 (iMAGINE-X)

2027 年の COSI 衛星打ち上げにより MeV 天文学が大きく動きだそうとしている。COSI は Ge を用いた半導体コンプトン望遠鏡 (SCT) で、高いエネルギー・位置分解能により、ラインガンマ線の検出に優れ、MeV 帯域としては良好な角度分解能をもつ。しかしながら、SCT だけでは量子論の原理のため、数度以上の分解能は得られない。MeV の高感度化に伴い、10 分角レベルの角度分解能の実現が今後の重要課題となる。我々は「狭視野 Si/CdTe SCT」に符号化マスクを組み合わせた検出器を構想し、概念実証モデル「mini-SGI」を開発した。「狭視野 Si/CdTe SCT」は COSI などの全天観測装置と異なり、視野を狭めることで CXB やアルベドなどの視野外からのバックグラウンドの回り込みを抑制し、目標領域に絞って高い感度を実現する。我々は、250 μm の位置分解能を持つ 0.5 mm 厚の DSSD と 2 mm 厚の CdTe-DSD を採用し、BGO アクティブシールドで覆った検出器に、1.2 mm ピッチの符号化マスクを組み合わせた「mini-SGI」にガンマ線を照射し、356 keV のガンマ線に対して 3.0 度 (FWHM) の ARM 分解能でコンプトン再構成しつつ、同時に符号化マスクで 1.1 度の像を得ることに成功した。この構想は、高感度な全天 MeV 観測とペアをなし、銀河中心のように SCT の角度分解能では分解できない多くの MeV ソースが存在する空域を分解するミッションに最適である。現在は気球実験を目指しているが、将来的には超小型衛星、特に伸展式のマスクや編隊飛行衛星などへの応用での展開を構想している。

[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](#)

Z128a 月の水資源探査とシスルナ宙域での天文学・物理学を開拓する MoMoTarO 計画

榎戸輝揚 (京大/理研)、辻直希、鶴見美和、前田涼太、小俣雄矢、中山和哉 (京大)、中澤知洋 (名大)、高橋弘充、木坂将大 (広島大)、仏坂健太 (東大)、長岡央、小林泰三 (立命館大)、晴山慎 (聖マリアンナ医科大)、草野広樹 (量研)、谷口絢太郎、大竹淑恵、高梨宇宙、若林泰生、加藤陽、玉川徹 (理化学研究所)、尾崎直哉、星野健、上野宗孝 (JAXA)、池永太一、中野雄貴、塚本雄士 (SRE 社)

アルテミス計画に代表される人類の月面進出が急速に進む時代に、月の資源探査 (惑星科学) と X 線天文学の技術を融合し、シスルナ宙域 (Cislunar/地球-月圏) での天文学・物理学の開拓を狙うのが Moon Moisture Targeting Observatory (MoMoTarO) 計画である。月面に絶えず降り注ぐ銀河宇宙線は、月表層での原子核反応で高速中性子を生じ、水資源 (水素) にぶつかると減速して熱・熱外中性子として表面から漏出する。月面ローバーで中性子を測定すれば、非接触の水資源探査が実現できる。これを狙う MoMoTarO は、放射線信号の波形弁別ができるシンチレータを用い、熱・熱外・高速中性子とガンマ線に感度のある小型の放射線モニタである。さらに、月面のみならず月周回機に搭載することで、ガンマ線バースト (GRB) の観測や、中性子寿命の測定に挑戦したい。月と地球の距離を活用すれば InterPlanetary Network (IPN) での GRB の到来方向の決定精度を向上させ、連星中性子星合体の重力波対応天体探査に貢献できる。また、中性子寿命には素粒子実験の 2 種類の測定法で 9 秒ほどの大きな系統誤差が謎として残されており、月表面から深宇宙に漏出する熱中性子の高度プロファイルの測定で、月を使った寿命測定実験が可能となる。多分野融合で MoMoTarO の宇宙モデルの開発を進めており、国際宇宙ステーションきぼう暴露部 (i-SEEP/SPySE) での利用実験として JAXA に選定され、2026 年に宇宙での実証試験を行って技術成熟度 (TRL) の確認を行うとともに、ガンマ線バーストや太陽中性子の測定にも挑戦する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Z129a 超小型衛星の高精度編隊飛行による宇宙干渉計 SEIRIOS

松尾太郎 (名古屋大学)、五十里哲、近藤宙貴、小川巧海、中須賀真一 (東京大学)、Mike Ireland (Australia National University)

太陽型星周りの地球型系外惑星からの熱放射の直接観測には、中間赤外線において 0.01 秒角の高空間分解能かつ 10 の 6 乗の高コントラストが要求される。その有望な手段として、赤外線宇宙干渉計が期待されている。しかし、数百メートル離れた複数衛星からの光の光路長を観測波長よりも高精度に制御しなければならないため、提案から約 30 年以上が経過しても未だ実現に至っていない。私たちは、宇宙干渉計の実現に向けた最初の一步を踏み出すべく、40kg 級のナノサテライト 1 機と 6U の CubeSat 2 機の超小型衛星を編隊飛行させた宇宙干渉計 SEIRIOS を開発中である。SEIRIOS は、光学的手法により光路長制御に対する要求を緩和しながら、サブミリメートルの編隊飛行精度でも宇宙干渉計を実現させるプログラムである。SEIRIOS は、2030 年前後の打ち上げを目指しており、欧州が進める赤外線干渉計 LIFE 計画を推し進める重要な一步としても期待されている。本講演は、SEIRIOS の概要とともに、テストベッドでの実験の結果を交えながら光学的手法について紹介する。

[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](#)

Z130b 超小型衛星を用いたスターシェード技術実証ミッション「Euryops」の提案

中村壮児 (総合研究大学院大学)、宮崎康之 (JAXA)

系外惑星のほとんどが間接観測により発見されているが、生命の存在可能性を調査するために必要な惑星大気や表層の情報を得るには、直接観測が必要である。この直接観測を可能にするシステムとして、恒星と宇宙望遠鏡の間にオカルタと呼ばれる大きな遮蔽物を配置し恒星光を効果的に遮ることで系外惑星を観測するスターシェードシステムが提案されている。現在提案されているオカルタの形状は、恒星光の回折を極力抑えるために花卉のような形状となっているが、展開構造に不向きな曲線外形を有しているため非常に複雑な展開方式であり、コストが増大するという問題がある。この問題を解決する為に、我々は自己展開膜面トラス (Self Deployable Membrane Truss: SDMT) をオカルタに適用することに取り組んでいる。SDMT は膜と巻き取り収納可能な自己伸展ブームで構成される軽量な展開膜構造であり、展開に電氣的アクチュエータを必要としない。そのため、構造システムとしては他の展開構造に比べシンプルであることから、SDMT をオカルタに適用することでより確実に、より低コストにスターシェードを実現できると考えている。我々はこれまで、SDMT で構築可能な外周が折れ線形状で、非透過膜と透過膜で構成されるオカルタを提案し、コントラスト計算により提案したオカルタが従来のオカルタと同等の性能を持つことを確認した。また、提案したオカルタのスケールモデルを用いて展開実験を行い、問題なく展開することを確認した。我々は次のステップとして、2 つの超小型衛星により太陽系外のデブリ円盤をマルチバンドで直接撮像することを行うスターシェード技術実証ミッション「Euryops (Exozodiacal disk survey using occulter composed of SDMT)」を検討している。本稿では、Euryops のミッション・システム検討状況を紹介します。オカルタ構造、光学系、フォーメーションフライトの観点から、その成立性を示す。

[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](#)

Z131b 超短焦点高結像性能 X 線望遠鏡の開発

安福 千貴, 作田 皓基, 藤井 隆登, 吉田 有佑, 吉原 諒, 吉平 圭徳, 叶 哲生, 石田 直樹 (名古屋大学), 田村 啓輔 (NASA/GSFC, メリーランド大学), 宮田 喜久子 (名城大学), 山口 豪太 (理化学研究所), 毛利 柊太郎 (東京大学), 久米 健大, 松澤 雄介, 今村 洋一, 齋藤 貴宏, 平栗 健太郎 (夏目光学株式会社), 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)

飛翔機会のフレキシビリティや迅速さ、超長時間モニターや編隊飛行による同時多点観測などの新たな観測手法の可能性など、超小型衛星は理学ミッションにおいてもゲームチェンジャーとなることが期待されている。この世界的なニーズにあわせ、リソースの制限が厳しい超小型衛星の高感度化を目指した観測装置の開発も世界各国で精力的に行われている。この中で我々は、独自の技術を用いた超小型衛星仕様の超短焦点高結像性能 X 線望遠鏡の開発を進めている。本 X 線望遠鏡は、フラグシップミッションに向け欧米を中心に開発が進められている次世代大型 X 線望遠鏡との共通基盤技術が少なく、実現すれば世界でもユニークな望遠鏡となりえる。

これまで我々は、1 枚鏡ながら焦点距離 2000 mm、直径 60 mm の高い結像性能を有する X 線望遠鏡の開発を進め、2024 年 4 月に太陽観測ロケットに搭載、初観測に成功している。現在は独自の光線追跡シミュレータを用い、焦点距離 200–1000 mm、口径 20–150 mm 程度の超小型衛星仕様を含む設計パラメータの網羅的な評価を進めている。例えば焦点距離/口径/全長が 500/50/200 mm の単層 Wolter-I 型反射鏡では、有効面積は $\sim 1.5 \text{ cm}^2$ (@1.5 keV)、臨界エネルギーは $\sim 4 \text{ keV}$ であった。実際の観測では有効面積を大きくするため、口径を変えた複数層の反射鏡を重ね合わせ、適正なアライメントで組立・固定するシステムが必要となる。また超短焦点 X 線望遠鏡の性能を評価するシステムも必要である。本講演ではこれらの本望遠鏡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](#)

Z132b 宇宙天気現象が与える超小型衛星の高度低下などの影響について

野澤恵 (茨城大学)、玉置晋 (茨城大学/ABLab)

今回想定されている超小型衛星は低軌道 (400km から 800km 程度の高度) に投入されることが多い。国際宇宙ステーション (ISS) からの放出の場合は、ISS 自体の高度である 400km 程度から放出され、常に高度が低下する。300km 程度になると地球大気の影響で空気抵抗が大きくなるため、急激な降下が始まり数日から数ヶ月で大気圏に再突入して燃え尽きてしまう。太陽活動が極小期では、滞在期間が平均的には 2 から 3 年程度であるが、現在のような太陽活動期では一年程度で燃え尽きてしまう。最も短いものでは 150 日以下が報告されている。400 km 以上の高度でも期間は長くはなるが、太陽活動の影響は同様な傾向である。これは太陽活動により衛星の滞在期間が倍近く異なることを示し、ミッション遂行の進捗について考慮が必要である。

超小型衛星は通常は推進機関が無く、大気抵抗により落下が続く。大気抵抗は太陽の紫外線と相関が強く、今年の 5 月に X クラスの太陽フレアが何回もあったが、フレアによって軌道低下が始まるのではなく、紫外線の原因となる太陽プラージュの強度と面積が原因と推測されている。また、太陽活動により電離層でオーロラが発生し、オーロラが生み出す強力な電流が発する熱により、太陽同期軌道などの軌道傾斜角の大きい軌道を持つ衛星に突発的な大気抵抗の増大が発生し、軌道低下となる場合もある。結果、極端な軌道低下が発生すると、地上からのアンテナの追尾が難しくなり、ミッション遂行の問題となる可能性がある。講演では人工衛星の軌道降下についての最近の研究成果について報告を行なう。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Z201a X線分光撮像衛星 XRISM の現状

田代 信, 寺田幸功 (埼玉大, ISAS/JAXA), 渡辺伸, 前島弘則, 戸田謙一, 山口弘悦, 竹井 洋, 冨田 洋, 藤本龍一 (ISAS/JAXA), R. Kelley, L. Reichenthal, L. Hartz, G. Sneiderman, R. Petre, B. Williams, M. Holland, M. Loewenstein (NASA/GSFC), 松下恭子 (東京理科大), M. Guainazzi (ESA), E. Costantini (SRON), 石崎欣尚 (東京都立大), 森 浩二 (宮崎大), 中嶋 大 (関東学院大), E. Miller (MIT), 澤田真理 (立教大) ほか XRISM team

X線分光撮像衛星 XRISM は、高温プラズマの超高分解能分光観測で、重元素生成と循環、および高エネルギー天体から星間空間・銀河間空間にいたるエネルギーの輸送の観測を目的とした、我が国 6 番目の X 線天文台である。XRISM は、2 台の高効率 X 線反射鏡 (XMA) と、それぞれの焦点面におかれた X 線マイクロカロリメータ (Resolve) と X 線 CCD (Xtend) を搭載しており、それぞれ超高分解能 X 線分光と、広視野 X 線撮像を行う。5 年にわたる設計・開発・製造・試験を経て、昨年 9 月に種子島宇宙センターから打ち上げられ、5 ヶ月にわたって、衛星バス機器の立ち上げ、観測装に立ち上げおよび較正、あわせて地上のデータ処理プロセスの調整を行った。これらは概ね順調に進行したが、予定していた Resolve の X 線入射部の保護窓である Gate Valve の開放が完了できていないため、まだ Resolve の軟 X 線帯域の観測に制限がある。しかし、XRISM の特長である 1.7 keV 以上の帯域での観測をまず進めるため、現状のまま、2 月から初期性能確認観測 (performance verification observation)、8 月からは第一回の公募観測を行うこととした。4 月に締め切った観測公募には世界各地から多数の応募があり、現在、選考をすすめているところである。本講演では、これら XRISM の軌道上運用の現状と今後の観測計画について概説する。

[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](#)

Z202r XRISM Observations of Galactic Compact and Stellar Objects in Performance Verification Phase

Megumi Shidatsu (Ehime University) and the XRISM team

The X-ray Imaging and Spectroscopic Mission (XRISM) is revolutionizing the studies of compact and stellar objects. Its cutting-edge instrument, the X-ray micro-calorimeter Resolve, with an unprecedented energy resolution (a full width at half maximum of 5 eV at 6 keV), assisted by the higher X-ray collecting power and the sensitivity in the lower energy band of the X-ray CCD Xtend, allows us to precisely determine the important parameters of hot ionized plasmas, including velocity, ionization degree, and density, and thereby enables us to understand the physics of various important phenomena caused by stellar objects, such as accretion and outflows of stellar-mass black holes, neutron stars, and white dwarfs, winds from high-mass stars and flares from active stars. Resolve is also capable of observing the motion of the stellar objects themselves. Radial velocity measurements of binary systems are now possible in X-rays with a precision of a few ten km/sec, which provide information of system parameters.

During the performance verification phase, XRISM has observed about 10 stellar objects in our galaxy: high-mass and low-mass X-ray binaries, cataclysmic variables and active stars. Thanks to their proximity, many of the targets are bright and high quality X-ray spectra were successfully obtained with relatively short exposures. In this talk, I will overview these observations, highlighting some of the important initial results obtained from them.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Z203a Outflow from supercritical accretion flow in the low-mass X-ray binary GX 13+1

Ryota Tomaru (Osaka University), Chris Done (Durham University), Aya Kubota (Shibaura Institute of Technology), Ehud Behar (Israel Institute of Technology), Hiromitsu Takahashi (Hiroshima University), Lia Corrales (University of Michigan), Kazutaka Yamaoka (Nagoya University), Maria Diaz Trigo (ESO), Misaki Mizumoto (University of Teacher Education Fukuoka), Randall Smith (CfA), Tadayasu Dotani (ISAS/JAXA), on behalf of the XRISM collaboration

The XRISM satellite observed the neutron star low-mass X-ray binary GX 13+1 in the PV phase, and high-resolution X-ray spectroscopic data by micro calorimeters show numerous blue-shifted absorption lines from He- and H-like ions and an absorption edge structure from He-like iron. The absorber can be described by a high column, high-ionisation, high-velocity (~ 900 km/s) component and an even higher column, lower-ionisation, lower-velocity (~ 300 km/s) component. This analysis suggests that the column is optically thick, and the intrinsic luminosity of the central source is above the Eddington luminosity. Despite this, the outflow is slow, showing that the gas is launched only from large radii of the disk. This result presents a challenge to our understanding of winds from supercritical accretion flows.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Z204a XRISM による大質量 X 線連星 Cyg X-3 の精密分光観測

三浦大貴 (東京大学, ISAS/JAXA), Timothy Kallman (NASA/GSFC), 小高裕和, 袴田知宏 (大阪大学), 榎戸輝揚 (京都大学), 北本俊二, 林佑, 山田真也 (立教大学), 中嶋大 (関東学院大学), 渡辺伸, 山口弘悦 (ISAS/JAXA) on behalf of the XRISM Cyg X-3 team

Cyg X-3 は約 4.8 時間の短い軌道周期をもつ大質量 X 線連星である。コンパクト天体の質量は $2.4^{+2.1}_{-1.1} M_{\odot}$ と推定されており、その正体がブラックホールか中性子星かは明らかになっていない (Zdziarski et al. 2013)。伴星は WN 型のウォルフ・ライエ星であり、速度 1000 km/s 程度の強い星風を放出している。この星風が主星の X 線放射で電離されることにより、光電離プラズマ由来の X 線スペクトルが観測される (e.g., Paerels et al 2000; Kallman et al. 2019)。

XRISM 衛星は 2024 年 3 月に約 61 ks の有効露光時間で Cyg X-3 を観測した。我々はマイクロカロリメータ Resolve による精密分光データの解析を進め、高階電離した Si, S, Ar, Ca, Cr, Mn, Fe, Ni イオンからの $Ly\alpha$, $Ly\beta$, He-like の共鳴線、異重項間遷移線、禁制線、 $He\beta$, $He\gamma$ 輝線を検出した。また、様々な価数の鉄イオンやその他の元素による共鳴吸収線も検出した。吸収線はいずれも青方偏移を示し、得られた視線速度は $\sim 270 - 400$ km/s 程度であった。さらに、Si, S, Fe などの自由-束縛遷移に伴う radiation recombination continuum (RRC) も検出し、その形状から電子温度を ~ 40 eV と求めることに成功した。なお、He-like Fe に関しては RRC に加えて、青方偏移した吸収端も見られた。

講演では、上記の観測結果をもとにした降着物質や星風の構造に関する解釈について詳しく議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Z205a XRISM に向けた SS433 の輻射磁気流体シミュレーション

五十嵐太一 (国立天文台/立教大学)、町田真美 (国立天文台)、古山泰成、山田真也 (立教大学)、高橋博之 (駒澤大学)、大須賀健 (筑波大学)

SS433 は光速の 26% 程度のジェットを噴出する系内 X 線連星で、エディントン光度を超えていることから超臨界降着流が中心に存在すると考えられている。近傍にある数少ないジェット天体であり、宇宙ジェットの普遍的な性質を明らかにする鍵として注目され、XRISM の初期観測天体の一つに選ばれている。SS433 ジェットは、0.1 pc 程度の領域まで細く絞られて伝搬することが観測されている (Mioduszewski et al.)。しかし、これよりも小さい領域のジェット構造についてはよくわかっておらず、どのように細く絞られ伝搬するかは未解明である。一方可視光～X 線スペクトルには、ジェットのドップラー効果により 2 つに分離した輝線が現れる (Margon et al. '78, Kotani et al. '96, Kubota et al. '10 など)。これらはジェット構造を明らかにするための重要な情報であり、XRISM の高いエネルギー分解能による観測から、詳細なジェット構造が明らかにされることが期待される。

本研究では、XRISM による観測結果を説明することを目指し、超臨界降着流からのジェット噴出の輻射磁気流体計算を実施した。また観測との比較に向け、これまでに実施された輻射磁気流体計算 (Takahashi et al. 2018 など) よりもジェットの伝搬方向に広い計算領域を用いた。その結果、輻射圧により加速されたジェットが降着流の軸付近に光速の 20-40% で噴出することを確認した。さらにこのジェットの周りには、磁気圧により加速されたやや低速で高密度なアウトフローにより、輻射圧により加速されたジェットが細く絞られた。このアウトフローが軸付近のジェットと相互作用することにより、遠方 (中心天体半径の 1000 倍程度) まで到達するジェットは間欠的であることがわかった。本講演では数値計算の結果に基づき、SS433 ジェットの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](#)

Z206a 相対論的フロー中の熱的・非熱的粒子による核破砕と UFO・ULX などにおけるその効果の観測可能性

井上 進 (千葉大理・東大宇宙線研), 大平 豊 (東大理)

ブラックホール・中性子星などのコンパクト天体では、降着流の内縁部や円盤風・ジェットなどのアウトフローで、光速の数分の 1 に至る速度でガスが運動していると考えられる。そこでは、流れの非一様性や周辺物質との相互作用によって衝撃波が発生し、ガスの温度が 10 MeV 以上に加熱される状況も起きるはずである。核子あたり 10 MeV 以上の運動エネルギーで原子核同士が衝突すれば、核破砕反応が起き、Li, Be, B や Sc, Ti, V, Cr, Mn など、通常の星内部の元素合成ではあまり生成されない元素の組成が増えると予想される。従来の核破砕の研究は、加速された非熱的粒子の議論がほとんどであるが、上記のような相対論的衝撃波では、熱的粒子によっても起きると思われる。

本講演では、コンパクト天体における熱的粒子も含めた核破砕過程の予想と、その観測可能性を議論する。核破砕の効率性は、主に光度と半径の比 (L/R , いわゆる compactness parameter) に依存し、コンパクト天体の内縁部で、特に super-Eddington の状況で顕著になると考えられる。核破砕による生成物の組成は、他の過程では変更を受けにくく、その効果は積分されるので、降着流内縁部で起きれば、そこから放出された円盤風やジェットの組成にも反映される。このような効果が、活動銀河核の ultra-fast outflow や、SS 433 などの系内 super-Eddington 天体で、XRISM による高エネルギー分解能 X 線観測から識別できる可能性と、そこから得られると期待される、コンパクト天体近傍での物理過程に対する示唆を議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Z207r XRISM Observations of Galactic Diffuse Sources in Performance Verification Phase

Hiroyuki Uchida (Kyoto University) & the XRISM team

X-ray spectra of galactic diffuse sources, such as supernova remnants (SNRs), are generally complex, consisting of both thermal emission in ionization equilibrium and non-equilibrium states, as well as non-thermal emission. Conventional CCD studies have revealed the plasma's composition, temperature and ionization state, including progenitor characteristics and shock physics in SNRs, by detecting emission lines from abundant elements like Si and Fe, specifically He-like and H-like ions. However, resolving the complex spectra, particularly line structures, requires higher energy resolution. While high-resolution spectroscopy with diffraction gratings has been partially employed, its application is limited due to the degradation of energy resolution caused by the spatial distribution. The X-Ray Imaging and Spectroscopy Mission (XRISM), launched on September 7, 2023, carries the microcalorimeter *Resolve* ($\Delta E/E \lesssim 5$ eV), enabling high-resolution X-ray spectroscopy of any diffuse object for the first time. Together with the wide-field imager *Xtend* ($38' \times 38'$), our understanding of galactic diffuse sources is expected to advance significantly. XRISM will not only allow for more *detailed measurements* of the temperature, ionization and kinematics of plasmas but also enable a *qualitative shift* in the study, including the detection of rare elements to constrain nucleosynthesis and satellite lines for plasma diagnostics, exploring atomic processes. In this presentation, I will overview the latest results from the Performance Verification (PV) phase observations of galactic diffuse sources, and will discuss future prospects.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Z208a XRISM 衛星による超新星残骸 Cassiopeia A 観測とその現状

佐藤寿紀 (明治大学), Paul Plucinsky (CfA), XRISM Cas A Target Team

超新星残骸 Cassiopeia A は、系内に存在する最も若い重力崩壊型超新星の残骸 (爆発後 ≈ 350 年) であり、大質量星の進化や超新星の爆発メカニズムを理解する上で重要な存在である。中でも、非対称な爆発噴出物の分布とその運動学 (Milisavljevic et al. 2015 など) や、他天体では難しい希少な元素や同位体の観測 (Koo et al. 2013; Grefenstette et al. 2014 など) は、爆発の運動学から恒星内部や爆発による元素合成過程まで、天体の複雑な物理過程に対してユニークな議論を提供してきた。そして我々は、X 線帯域において世界最高の分光性能・輝線感度を誇る XRISM によって、詳細な運動学の決定と希少元素を用いた新たな天体物理の開拓を目指してきた。本講演では、この残骸の軟 X 線撮像装置 Xtend、軟 X 線分光装置 Resolve の両装置による観測結果を報告する。

我々は、Xtend の高い有効面積と広い視野を活かし、この残骸の全領域の長時間観測 (約 330 ks) に成功し、特に鉄族元素 (Cr, Mn, Fe など) の空間構造の違いを確認した (Q b 講演: 市川 他)。Resolve においても Mn/Cr 比の明確な非対称空間分布が確認された。これは爆発時の非対称性を反映した結果と考えられる。同様に、Ni/Fe 比に関しても非対称な分布を確認したと共に、どの領域でも通常の太陽組成の大質量星の重力崩壊型超新星で予測される Ni/Fe よりも低い事が示唆されている。速度構造に関しては、これまで過去の研究で示唆されていたものとおおよそ一致する結果が得られたと共に、Resolve によって異なる電離成分の速度の違い (Q a 講演: 鈴木 他) や輝線幅の空間分布の違いも初めて明らかになりつつある。そして、新たな希少元素として奇数番目元素の検出を目指しており、現状では Resolve のスペクトルに P, Cl, K からの輝線の兆候を確認している (N a 講演: 松永 他)。講演では、これらの詳細な解析結果と解釈に関してその全体像を報告する予定である。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Z209a X 線天文衛星 XRISM を用いた超新星残骸 N132D のプラズマ診断と運動学

○鈴木寛大, 山口弘悦 (ISAS/JAXA), on behalf of the XRISM N132D team

N132D (J0525–6938) は大マゼラン星雲に位置する年齢 2500–3100 年の超新星残骸であり、既知の超新星残骸の中でトップクラスに X 線とガンマ線の光度が高い。O-rich な元素組成などから爆発は重力崩壊型と考えられている (Borkowski et al. 2007; Yamaguchi et al. 2014)。シェルの形は大きく歪み、可視光観測からは噴出物の非球対称な運動が示された (Law et al. 2020)。X 線観測では電子温度 > 1 keV の高温のプラズマ成分の存在が示唆されているものの (Bamba et al. 2018; Suzuki et al. 2020)、特に ~ 2 keV 以上の高エネルギー帯域の分光情報が十分でないため、プラズマの物理状態ははっきりしない。X 線衛星「ひとみ」は N132D をごく短時間 (3.7 ks) 観測し、わずか 16–17 個のイベントから S, Fe の運動に制限をつけた (Hitomi collaboration et al. 2018)。

N132D は 2023 年 9 月に打ち上げられた XRISM 衛星のファーストライト天体の一つであり、2023 年 12 月に計 ≈ 190 ks と長い観測が行われた。我々はマイクロカロリメータ Resolve による精密分光、広視野高感度 CCD カメラ Xtend による分光撮像を組み合わせた解析を進めている。我々は Fe-He α の輝線幅 ≈ 37 eV (1σ) が爆発噴出物起源 (電子温度 ≈ 2 keV) の Fe のイオン温度とバルクな運動の合成で説明できることを明らかにした。一方、Fe-Ly α の輝線幅 ≈ 17 eV は Fe-He α より小さいことに加え赤方偏移も異なり、さらに Fe-Ly α の放射分布が中心集中の傾向がより強いことから、Fe-Ly α と Fe-He α それぞれを主に放射するプラズマは物理状態が異なると結論づけた。運動学に関して、Si-, S-He α の輝線幅 ≈ 3 –4 eV は球対称膨張で予想される広がりより明らかに小さく、可視光の先行研究と同様、膨張構造の大きな非対称性を示唆する。また、Si, S の K 輝線帯域の丁寧な探索により、超新星残骸では初となる、Si, S イオンの中性物質との電荷交換による輝線が $> 3\sigma$ の有意度で検出された。

[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](#)

Z210a XRISM 衛星による超新星残骸 W49B 再結合優勢プラズマの精密 X 線分光

澤田真理 (立教大), Greg Brown (LLNL), XRISM W49B Target Team

電子の加熱に対し電離が遅れて進行するという超新星残骸プラズマの常識は、「すぎく」衛星による複数の残骸からの強い放射性再結合連続 X 線 (RRC) の検出によって覆された。観測された重元素イオンの高い電離度は、現在の倍前後の高い電子温度を必要とし、過去にプラズマの急冷などが起きたことを示唆する。このような再結合優勢プラズマは、混合形態型と呼ばれる特殊な空間構造の残骸からのみ発見され、その熱的・動力学的進化の関連を窺わせる。しかし、分光能力の不足のため、その進化シナリオを明確に特定するには至らなかった。

われわれは昨年 9 月 7 日に XRISM 衛星の打ち上げを成功させ、マイクロカロリメータ分光器 Resolve による本格的な精密 X 線分光を開始した。W49B は再結合優勢プラズマをもつ残骸のなかで最も若く、熱く、そのため強い Fe K 殻輝線を持つ。この帯域で最高の分光性能を誇る Resolve に最適のターゲットだ。われわれは XRISM 初期観測の一環として W49B を ~ 600 ks 観測し、その精密かつ高統計な X 線スペクトルを取得した。

残骸全域から抽出したスペクトルは、Si, S, Ar, Ca, Cr, Mn, Fe の He 状・H 状イオンの K 殻輝線にあふれ、主量子数 8-9 程度までの高励起輝線が有意に検出された。これは RRC とともに再結合プラズマの直接証拠だ。一方 Fe の He α は微細構造線に分解されたかに思われたが、その強度比は再結合優勢プラズマに特有のものとは異なってみえた。「すぎく」・NuSTAR の広帯域解析から推定したスペクトルパラメータを手掛かりとし、衛星線の寄与も考慮したところ、一見おかしい輝線強度比は複数の視線速度・温度成分の重ね合わせによって生じており、W49B の本来の Fe He α スペクトルはやはり再結合プラズマ特有の構造をもつことを突き止めた。

講演では、XRISM による W49B 観測の初期成果を報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Z211a X 線分光撮像衛星 XRISM による銀河系中心領域の観測

信川正順 (奈良教育大学), 内山秀樹 (静岡大学), 松本浩典 (大阪大学), 信川久実子 (近畿大学), 山内茂雄 (奈良女子大学), 村上弘志 (東北学院大学), 鶴剛 (京都大学), 前田良知 (ISAS/JAXA), 江口智士 (熊本学園大学), 坪井陽子 (中央大学), 渡辺伸, 鈴木寛大, 金丸善朗 (ISAS/JAXA), Lia Corrales (University of Michigan), 中嶋大 (関東学院大学), 勝田哲 (埼玉大学), 内田裕之 (京都大学), 澤田真理 (立教大学), Richard Kelley (NASA/GSFC) Q. Daniel Wang (University of Massachusetts), 吉本愛使 (奈良女子大学), 青木悠馬, 正嶋大和 (近畿大学), 田中虎次郎 (東京都立大学), 成田拓仁 (京都大学), 倉本春希, 島耕平 (大阪大学), Mayura Balakrishnan (University of Michigan), 他 XRISM 銀河中心チーム

1970 年代から銀河系中心領域には広がった X 線放射が存在していることが知られていた (Galactic Center X-ray Emission=GCXE)。GCXE の最大の特徴はエネルギーが 3 つの鉄輝線である。エネルギーが 6.4 keV の鉄輝線 (Fe K α) は中性状態の鉄原子の特性 X 線であり、星間ガス (分子雲) から放射されていると考えられる。エネルギーが 6.7 keV, 7.0 keV の鉄輝線 (Fe He α , Fe Ly α) は高階電離した鉄イオンに由来し、高温プラズマから放射されている。これまでの X 線観測では GCXE の 25% 程度は個々の点源に分解されているが、それ以外がさらに暗い点源なのか真に広がった成分なのかはわかっておらず、起源は未解明である。

そこで我々は超精密 X 線分光観測により、鉄輝線から GCXE に含まれる成分の運動を初めて測定し、プラズマ状態を精密に診断することを目的として、X 線分光撮像衛星 XRISM により 2024 年 2 月 26 日-3 月 2 日 (UTC) に銀河系中心領域を 2 回観測した。本講演では観測結果について紹介し、GCXE 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](#)

Z212r XRISM Observations of Active Galactic Nuclei in Performance Verification Phase

Hirofumi Noda (Tohoku University) & the XRISM team

X-ray observation of Active Galactic Nuclei (AGNs) is one of the most powerful methods to probe the vicinity of Super-Massive Black Holes (SMBHs). In an AGN, a primary X-ray continuum is produced in a corona formed near an SMBH, and it is reprocessed by surrounding regions, causing various fine X-ray spectral features. Precise X-ray spectroscopy on such fine features with an X-ray microcalorimeter will open a new window on many important topics in AGN studies, e.g., structures of accretion disks, broad-line regions, and dusty tori, physical conditions of ionized absorbers and disk winds including ultra-fast outflows, and the relation between AGNs and their host galaxies.

The X-Ray Imaging and Spectroscopy Mission (XRISM) was successfully launched on September 7, 2023. In orbit, Resolve achieves the high energy resolution of $\Delta E/E \lesssim 5 \text{ eV}/6 \text{ keV}$ with the X-ray Mirror Assembly (XMA) and the X-ray microcalorimeter, whereas Xtend realizes the wide field of view of $38' \times 38'$ in the 0.4 – 12 keV range with the XMA and the X-ray CCD. Although Resolve observations are limited to 1.7–12 keV with its gate valve still closed, we have finished the commissioning phase, and are now proceeding with Performance Verification (PV) observations on various targets including AGNs. In this presentation, I will overview our observational strategies and XRISM observations on AGNs during the PV phase. Subsequently, I will introduce some initial results of the bright Seyfert galaxy NGC 4151, focusing on the narrow Fe-K fluorescence lines and the Fe XXV/XXVI absorption lines with Resolve and a broadband X-ray spectrum with Xtend.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Z213a XRISM Observation of Nearby Seyfert 1 Galaxy MCG–6-30-15

Shoji Ogawa (ISAS/JAXA), Laura Brenneman (CfA), Ken Ebisawa (ISAS/JAXA), Matteo Guainazzi (ESAC/ESA), Dan Wilkins (KIPAC), Erika Hoffman (U. of Maryland), Erin Kara (MIT), Hirofumi Noda (Tohoku U.), Javier Garcia (Caltech), Jelle Kaastra (SRON), Noa Keshet (Technion), Makoto Yamauchi (Miyazaki U.), Miasaki, Mizumoto (U. of Teacher Education Fukuoka), Daniele Rogantini (U. of Chicago), Rozenn Boissay-Malaquin (GSFC/NASA), Takashi Okajima (GSFC/NASA), Yuichi Terashima (Ehime U.), Anna Ogorzalek (GSFC/NASA), Ehud Behar (Technion)

MCG–6-30-15 is the archetypical Seyfert 1 galaxy showing a very broad Fe K α emission feature, which is an indicator of the inner radius of the accretion disk and thus of the black hole spin. However, it has been difficult to study this line profile because previous X-ray missions had limitations in sensitivity and energy resolution, making it hard to distinguish distinct spectral features.

The X-Ray Imaging and Spectroscopy Mission (XRISM) observed MCG–6-30-15 for ~ 120 ks in February 2024 and provided us with the X-ray complex spectral features with the revolutionary spectral resolution of the Resolve. A narrow Fe K α emission line at 6.4 keV from a distant reflector and blueshifted narrow absorption lines such as Fe XXV/XXVI of highly ionized outflows are clearly detected in the Resolve spectrum. It also shows a broad Fe K α emission line feature originating from the accretion disk. In this talk, we present the initial results of our XRISM observation and discuss the physical picture of MCG–6-30-15.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Z214a XRISM Observation of Nearby Compton Thick AGN in Circinus Galaxy

Yoshihiro Ueda (Kyoto University) and the XRISM team

To reveal the properties of obscuring material in accreting supermassive black holes, often referred to as “torus”, is a key issue to understand the feeding and feedback mechanisms of active galactic nuclei (AGNs). X-ray observations are a powerful tool for studying AGN tori, because, unlike radio line and infrared continuum emission, X-rays can trace all matter including gas and dust at various physical conditions. Heavily obscured AGNs, particularly Compton thick ones, are ideal laboratories because the X-ray spectra are dominated by reflection components from the tori.

In this talk, we report the initial results of the XRISM PV observation of the nearby Compton thick AGN in Circinus Galaxy. The Resolve spectrum, integrated for 300 ks, shows many emission lines of various elements from neutral matter and from highly ionized plasma. The profiles of iron-K fluorescence lines and K-edge are measured with unprecedented accuracies. We discuss the properties of torus revealed by the XRISM observation, including the physical state, location, velocity field, and metallicities of the torus.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Z215a XRISM observations of the powerful disk wind quasar PDS 456: 1. Overview and highlights

Kouichi Hagino (U. of Tokyo), Ehud Behar (Technion), Misaki Mizumoto (U. of Teacher Education Fukuoka), Makoto Tashiro (Saitama U.), Rozenn Boissay-Malaquin (UMBC, NASA/GSFC), Chris Done (Durham U.), Luigi Gallo (Saint Mary's U.), Hirokazu Odaka (Osaka U.), Atsushi Tanimoto (Kagoshima U.), Tahir Yaqoob (UMBC, NASA/GSFC), Satoshi Yamada (RIKEN), James Reeves (Catholic U.), Francesco Tombesi (Tor Vergata U.), Adam Gonzalez (Saint Mary's U.), Alfredo Luminari (INAF), Pierpaolo Condo (Tor Vergata U.), Ryuki Mizukawa (Saitama U.), Riki Sato (U. of Tokyo), Aiko Miyamoto (Osaka U.), Valentina Braito (INAF)

The nearby luminous radio-quiet quasar PDS 456 ($z = 0.184$) is known for its powerful and persistent ultra-fast outflow (UFO). The outflow of PDS 456 is believed to form a wide-angle flow with a velocity of $0.3c$, which should provide significant kinetic power to its surroundings and is important for the co-evolution of black holes and their host galaxies. To investigate the detailed physical properties of the UFO in PDS 456 with unprecedentedly high-resolution X-ray spectroscopy, we conducted a 240 ks observation of PDS 456 with XRISM in March 2024, together with simultaneous observations of NuSTAR, XMM-Newton, Swift, NICER, and Seimei telescope. The observations clearly show broad emission and blue-shifted absorption features from the UFO with a velocity of $0.3c$. In this talk, we present an overview of the large observation campaign with six observatories and review the scientific highlights revealed by this observation campaign.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Z216a 輻射流体計算による ultra fast outflow の時間変動の研究～XRISM での観測に向けて～

黒田裕太郎 (筑波大学), 大須賀健 (筑波大学), 野村真理子 (弘前大学)

活動銀河核の輻射スペクトル観測から、光速の約 10% の速度を持つガス噴出流 (Ultra fast outflow; UFO) の存在が示唆されている。UFO の有力な仮説の一つが、金属元素の束縛-束縛遷移吸収による輻射力 (ラインフォース) によって駆動される円盤風である。これはラインフォース駆動型円盤風と呼ばれ、準定常構造が 2 次元輻射流体計算によって示されている (Nomura et al. 2016; 2017; 2022)。しかし、UFO が突発的に発生するという観測事実 (Tombesi et al. 2012) を説明するためには、円盤風の時間変動を調べる必要がある。

そこで我々は、熱的不安定性によって降着円盤が周期的に変動し、それによって円盤風が時間変化する可能性に着目した。具体的には、熱的不安定性による降着円盤の構造の進化を 1 次元流体力学計算で求め、その結果を境界条件として組み込んだラインフォース駆動型円盤風の 2 次元輻射流体計算を実施した。その結果、円盤光度が $0.05L_{\text{Edd}}$ (L_{Edd} はエディントン光度) 程度の静穏期に UFO が検出される確率は 10% から 20% 程度であり、円盤光度が $0.2 - 0.3L_{\text{Edd}}$ 程度の増光期には 30% 程度の確率で UFO が現れることがわかった。UFO の検出率の角度依存性やその時間変化、また 2MASS 0918+2117 の観測結果 (Baldini et al. 2024) との比較についても議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Z217r XRISM observations of galaxy clusters during performance verification phase

Kosuke Sato (Saitama Univ.) on behalf of the extragalactic diffuse team of XRISM

Resolve, on board the X-ray Imaging and Spectroscopy Mission (XRISM), has provided new insights into the complex structure of galaxy clusters with its high energy resolution of < 5 eV at 6 keV, while Xtend has a large field of view of $38' \times 38'$ and can observe up to the cluster outskirts. In particular, a number of interesting structures have been observed in galaxy cluster centers as evidence of gas motion in the intracluster medium (ICM). Not only can it observe gas turbulence in the cluster center with an accuracy of ~ 10 km/sec, as revealed by the SXS on board the Hitomi satellite, but Resolve can also accurately determine the bulk motion of the ICM using redshifts within an accuracy of a few tens of km/sec in line of sight due to its high accuracy on the absolute energy scale. The high sensitivity of Resolve allows emission lines from many ions to be detected, which is advantageous not only for accurately determining the abundance of elements, but also for analyzing the temperature structure of the ICM.

The XRISM has observed several nearby bright galaxy clusters during the performance verification phase, including the Perseus and Centaurus clusters. Although the Resolve gate valve has not yet been opened and observations are limited to spectra above 2 keV, the structure of the ICM near the cluster centers, especially near the brightest cluster galaxies (BCGs), including the interaction between the ICM and BCGs, is becoming clearer. I will discuss the structure of galaxy clusters using high-resolution spectroscopic observations and report the initial results of galaxy clusters observed during the PV phase using Resolve and Xtend.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Z218a X線天文衛星 XRISM によるケンタウルス座銀河団の重元素組成比測定

福島光太郎, 山崎典子, 藤本龍一 (ISAS), 藤田裕 (都立大), 佐藤浩介, 近藤麻里恵 (埼大), 松下恭子 (理科大), 深澤泰司, 浦田岬 (広島大), 廿日出勇 (宮崎大), Aurora Simionescu (SRON), 中澤知洋 (名大), François Mernier (GSFC), Michael Loewenstein (U. of Maryland), Anwesh Majumder (U. of Amsterdam), Norbert Werner, Thomáš Plšek (Masaryk U.), Ming Sun (U. of Alabama), and the XRISM Team

銀河団ガスには銀河団銀河内の超新星爆発で合成・供給された元素が大量に含まれ、その組成比や空間分布を調べることは、XRISM の主要な目的の一つとして標榜されている宇宙の化学進化史の解明に迫る重要なカギとなる。ケンタウルス座銀河団 ($z = 0.01008$) は中心銀河 NGC 4696 周辺のがスが太陽の 1.5 倍程度と高い元素組成比を示す銀河団であり (e.g., Mernier+16)、特に超新星の影響を調べる上でよい対象天体である。

我々は昨年 9 月に軌道投入された XRISM 衛星の PV 期において、ケンタウルス座銀河団の 290 ks 観測を行った。これまでの解析では、5 eV のエネルギー分解能を誇る Resolve スペクトルから He 状 Fe 輝線の微細構造を分解、輝線幅や redshift の精密測定によってガスの温度構造や速度構造などを詳らかにしつつある。本講演では、精密分光データによる重元素組成比の測定結果についても報告する。2 keV 以上のスペクトルから得られた元素/Fe 比は、おおむね太陽組成に一致しており、CCD や回折格子分光器を用いた先行研究の傾向を支持した。一方で、先行研究では太陽組成の 2 倍にも及んだ Ni/Fe 比 (Mernier+16, Fukushima+22) についても、Resolve では太陽組成の 1.4 倍程度とより太陽に近い値が得られた。これは CCD や回折格子ではなしえなかった成果であり、強い Fe 輝線からの Ni 輝線分離を軌道上で実現した XRISM ならではのものであることは言うを俟たない。講演では、得られた元素組成比の起源について、超新星元素合成モデルも交えた解釈を与える。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Z219a XRISM 衛星による Abell2029 銀河団の初期観測成果

太田直美 (奈良女子大), Eric Miller (MIT), Dominique Eckert (U. Geneva), Stefano Etori (INAF), Richard Kelley, Caroline Kilbourne (GSFC), Lorenzo Lovisari (CfA), Maxim Markevitch (GSFC), Brian McNamara, Thomas Rose (U. Waterloo), Arnab Sarkar (MIT), Ming Sun (U. of Alabama), Andrew Szymkowiak (Yale U.), Prathamesh Tamhane (U. of Alabama), 内田悠介 (東京理科大), Irina Zhuravleva (U. Chicago), and the XRISM team

銀河団はダークマターを主成分とする自己重力系として最大の天体である。その正確な質量構造の測定は宇宙の構造形成の理解に不可欠であり、XRISM 計画の主要テーマの一つでもある。多くの場合、ガスの熱的圧力が重力との釣り合いを支えていると仮定してきたが、数値シミュレーションや過去の観測からガス運動に起因する非熱的圧力が数 10% 程度寄与している可能性が指摘されている。非熱的圧力を数% の精度で制限をつけるには、鉄輝線の精密分光による乱流・バルク運動の検出が最も直接的である。

我々は、近傍宇宙で最も緩和の進んだ銀河団といわれる A2029 ($z = 0.077$) に注目し、XRISM PV 期において観測を行った。Resolve 検出器の 3 ポインティングによって、コアの外側 (半径 $R_{2500} \sim 0.6$ Mpc) までカバーする計画である。これまでに、中心およびその北側の X 線スペクトルから、強い He-like, H-like 鉄輝線を検出した。また観測データは乱流を加味した熱的放射モデルによってよく再現でき、望遠鏡の PSF 効果を考慮したフィットから乱流速度およびバルク速度を決定した。この結果は、中心領域における乱流圧力の寄与は小さい (数% 程度) ことを示唆する。本講演では、A2029 の初期観測成果を報告し、ガスの性質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](#)

Z220a 銀河系矮小銀河 XRISM 分光観測で挑むダークマター X 線輝線探索

林航平 (仙台高専), 高田昌広 (Kavli IPMU), Aurora Simionescu (SRON), 山崎典子 (JAXA/ISAS), 白井智 (Kavli IPMU), 松本重貴 (Kavli IPMU), 村山斉 (Kavli IPMU/UC Berkeley), 林康太 (Kavli IPMU)

ダークマターはいったい何者か? 銀河の回転曲線など様々な天文観測からダークマターの存在が確かめられているが、その正体は依然謎のままであり、現代天文学及び物理学の最も重要な問題のひとつとなっている。WIMP はダークマターの最有力候補であるが、地上実験でも天体観測でも未だその検出はされていない。したがって、新しい観測装置や新しいパラメータ空間でダークマターを網羅的に探することが非常に重要である。

本研究では keV 質量スケールのダークマターに着目し、銀河系矮小銀河の X 線観測からダークマター起源の X 線輝線の検出を目標とする。XRISM に搭載されている Resolve は、高感度で高エネルギー分解能 ($\Delta E = 5$ eV) での X 線分光観測を可能とし、ダークマター X 線輝線を検出するための理想的な装置である。また銀河系矮小銀河はダークマターが豊富であり、かつ背景 X 線や天体起源の X 線輝線が非常に少ない。したがって XRISM 観測によって X 線輝線が検出された場合、それは紛れもなくダークマターの発見に繋がるため、ダークマター探索において優れたターゲットである。もし X 線輝線が検出されなかったとしても、この観測によって keV 質量スケールダークマターの寿命に対して最も強い制限を与えることができる。

本講演では、XRISM による銀河系矮小銀河の観測から期待される結果について述べるとともに、本研究の重要性やすばる望遠鏡に搭載される超広視野多天体分光器との将来期待されるシナジーについて紹介する。

[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](#)

Z221c Resolve 精密分光で迫る恒星巨大フレア現象

栗原 明稀 (東京大学, JAXA/ISAS), 辻本 匡弘 (JAXA/ISAS), on behalf of XRISM GT Mus, HR 1099 target team and the Resolve energy cal team, 岩切 渉 (千葉大学)

数百万度以上の高温プラズマが寄与する恒星フレアでは、X 線帯域におけるプラズマ分光診断が重要な観測知見である。特に、1.7–12 keV の広帯域 (Si–Cu の主要金属元素の K 殻遷移を含む)、 $R = \frac{E}{\Delta E} \sim 10^3$ のエネルギー分解能を併せ持つフレア観測データは太陽でも未取得で、XRISM Resolve によって初めてもたらされる。

難点は、予測が難しい突発現象である恒星巨大フレアをいかに捕捉するかである。大きく 2 つの戦略が考えられる: (1) フレア頻度が高い星をモニター観測 (2) 低頻度だが長期間継続する巨大フレアを即応観測。これらは性質の異なるフレア種族でいずれも重要であるが、本発表では (2) の代表例として RS CVn 型連星を扱う。その典型的な巨大フレア継続時間は数日から 1 週間弱に渡り、即応時間 $\lesssim 2$ 日の XRISM でもフレア減衰期を観測可能である。我々は、全天 X 線監視装置 MAXI によるフレア検出をトリガーとする XRISM 即応観測体制を構築した。およそ 90 分に 1 度全天情報を更新できる MAXI は、RS CVn 型連星に限っても過去 14.5 年で 110 を超えるフレアの検出実績がある。加えて、我々は「一度フレアが発生した系では、連続してフレアが生じやすい」という仮説を立て、豊富な太陽フレアデータを調査した。結果、およそ 6 割が 2 回以上連続したフレアを起こし、9 つの RS CVn 型星のいずれかで年に 1 回以上、ToO 観測中に 2 回目のフレアが期待されることを定量的に見積もった。

Resolve によるフレア精密分光の革新性を裏付ける観測データが既に得られている。PV 期に校正の一環として約 400 ks 観測された RS CVn 型星 HR1099 にて、偶然にもフレアが捉えられた。Si–Ni までの主要輝線が検出され、静穏期との違いが確認できた。また、特に Fe の He α 輝線プロファイルについては詳細に分解された。

[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](#)

M01a RS CVn 型連星 IM Peg における Fe XXV He α 輝線の高速な青方偏移

井上峻 (京大), 岩切渉 (千葉大), 榎戸輝揚, 内田裕之 (京大), 栗原明稀 (ISAS/JAXA, 東大), 辻本匡弘 (ISAS/JAXA), 野津湧太 (コロラド大), 濱口健二 (NASA/GSFC, UMBC), Gendreau Keith, Arzoumanian Zaven (NASA/GSFC), 鶴剛 (京大)

恒星フレアは星の表面において磁場に蓄えられたエネルギーが突発的に解放される爆発現象である。磁気エネルギーの解放は、フレアによる放射だけではなく、プロミネンス噴出やコロナ質量放出 (CME) などのプラズマの噴出現象でも行われる。これらの噴出現象はフレアに伴って同時に起きることが多い。近年、恒星においてフレアに伴うバルマー線の青方偏移という形でのプロミネンス噴出の検出例が増加している (e.g., Inoue et al. 2023, 2024, Notsu et al. 2024)。一方で、X 線の輝線における青方偏移は未だ 2 例の報告に留まっており (Argiroffi et al. 2019, Chen et al. 2022)、10 MK 以下の低温な輝線でしか確認されていない上に、その速度も 100 km/s 程度と小さい。X 線の輝線での青方偏移は、バルマー線に比べて、噴出のより後期の段階を反映すると考えられる。

全天 X 線監視装置 MAXI は 2023 年 7 月 23 日に、大規模なスーパーフレアを起こすことで知られる RS CVn 型連星 IM Peg (K2III+dG, 公転周期約 25 日) において、 5×10^{37} erg を X 線で解放するスーパーフレアを発見した (Iwakiri et al. 2023)。本研究では、X 線望遠鏡 NICER により MAXI での発見から約 6 時間後にフォローアップ観測を開始し、フレアの減衰期の観測に成功した。NICER の X 線スペクトルには Fe XXV He α 輝線と Fe XXVI Ly α 輝線が確認され、50 MK を越す高温プラズマの存在が示唆された。さらに、Fe XXV He α 輝線が青方偏移しており、そのドップラー速度が最大で 2000 km/s 程度に達していることもわかった。本発表では、上記のイベントについてその詳細を報告し、青方偏移の起源について、彩層蒸発と CME の 2 通りの解釈を議論する。

[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](#)

M02a 太陽型星スーパーフレアに伴うプロミネンス噴出モデル

幾田 佳 (東京大学), 天津 天斗, 浅井 歩, 行方 宏介 (京都大学), 柴田 一成 (同志社大学)

太陽型星 (G 型星) において、最大級の太陽フレア ($\sim 10^{32}$ erg) の 10^{1-3} 倍のエネルギーを持つスーパーフレア ($\geq 10^{33}$ erg) が起きることが知られている。太陽フレア同様にスーパーフレアに伴うプラズマ噴出の性質を調べるため、京都大学せいめい望遠鏡などによってフレアの分光モニタ観測が行われており、若い太陽型星 EK Dra (有効温度 5700K, 自転周期 2.6 日, 年齢 ≤ 100 Myr) でスーパーフレアに伴うフィラメント噴出の証拠として、H α の吸収線の時間変化が初めて発見された (Namekata et al. 2022)。また、EK Dra においてスーパーフレアに伴うプロミネンス噴出の証拠として、H α の輝線の時間変化が報告されている (Namekata et al. 2024)。そのプロミネンス噴出は上限 690 km/s の速度に対応する H α 線の青方偏移として観測され、重力によって減速した後には速度が 0 km/s 付近へと収束し、プロミネンスの落下に対応する顕著な赤方偏移が観測されなかった。

本研究では、フィラメント噴出モデルとして開発した自己相似的に膨張する磁気ループに沿った低温プラズマの一次元流体計算モデル (Ikuta & Shibata 2024) によって、プロミネンス噴出の運動の描像の解明を試みた。その結果、EK Dra のプロミネンス噴出は、フィラメント噴出の場合と見込み角のみが異なり、星の周縁から噴出した磁気ループに沿ったプロミネンスの落下で説明可能であり、重力による落下速度は上限 200 km/s 程度に達するが、速度分散などの不定性の範囲内で観測結果と矛盾しないことが分かった。また、観測結果を再現する磁気ループは最終的に脱出速度を超えて膨張することから、EK Dra のプロミネンス噴出にコロナ質量噴出が伴っていたと考えられる。本講演では、フィラメント噴出モデル同様に、太陽でのプロミネンス噴出の観測 (Otsu et al. 2022) と比較した結果も報告し、EK Dra のプロミネンス噴出時の黒点との関係 (2024 年春季年会 M04a) にも言及する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

M03a ポストフレアループにおける複数の彩層ラインのスペクトルの比較

夏目純也, 浅井歩, 上野悟, 天津天斗 (京都大学), 一本潔 (立命館大学, 京都大学)

太陽・恒星フレアは磁気エネルギーを解放させる爆発現象であるが、太陽フレアは空間分解して観測可能である一方、恒星フレアはそれが困難である。最近では、太陽物理学の知見を用いて恒星フレアを理解する試みとして「星としての太陽」研究が行われている (例: Namekata et al. 2022)。恒星フレアでは、ポストフレアループや彩層凝縮と考えられる増光現象が観測されているが (Namizaki et al. 2023)、単一のラインの観測では他の現象と重なり合い情報を打ち消してしまうことがある。複数の彩層ラインで観測すると、彩層ラインごとに増光・吸収を生み出す物理条件が異なるため、現象のより詳細な情報が得られる可能性がある。本研究では、ポストフレアループについて、複数の彩層ラインの「星としての太陽」解析を行うことで、恒星観測への応用を検討する。

我々は、2023 年 8 月 6 日にリム付近の活動領域 NOAA13386 で発生した X1.6 クラスのフレアに伴い出現したポストフレアループを、京都大学飛騨天文台ドームレス太陽望遠鏡を用いて H α 線、Ca II K 線、Ca II 8542 Å、He I 10830 Å の 4 つの彩層ラインで同時撮像分光観測した。X 線フレアピークの約 10 分後にこれら 4 つのラインにポストフレアループがほぼ同時に出現した。ポストフレアループ出現時のループ上部の He I 線中心で増光、翼部で減光が確認され、その後ループ全体で線中心と翼部での減光が継続した。H α 線ではライン中心付近の増光と翼部の減光が、Ca II K 線では線中心と翼部の増光が、ループがリム外に現れるまで継続した。ポストフレアループを空間積分したスペクトルでもこれらの特徴が確認でき、特に CaIR 以外の彩層ラインでは、翼部の増光/減光は赤側の方が優勢であった。本講演では、これらのポストフレアループにおける彩層ラインのスペクトル比較の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](#)

M04a M型矮星 YZ CMi のフレアの測光・分光同時観測：高速短時間のプロミネンス噴出検出

梶木屋裕斗, 佐藤文衛 (東工大), 行方宏介 (京大), 野津湧太 (コロラド大学), 前原裕之 (国立天文台)

フレアは、太陽や恒星のコロナで起こる突発的な爆発現象である。太陽では、フレアはしばしばコロナ質量放出 (CME) を伴い、大量のプラズマがコロナから惑星間空間に放出され、惑星大気や磁気圏に大きな影響を与えることがある。近年、M 型矮星周りに複数のハビタブル惑星が発見されたことから、M 型矮星のフレア/CME の性質とその惑星への影響に注目が集まっている。特に、M 型矮星のフレアの分光観測では、プロミネンス噴出 (CME の初期段階) を示唆する H α 線の輝線輪郭の赤方/青方偏移の非対称性が頻繁に確認されている。そして、これらの多くは速度が 100 km/s 程度で、太陽での典型的な速度より遅く、継続時間が 20 分以上にわたる。しかし、これらの先行研究では、時間分解能が 5 分以上であり、M 型矮星の強い表面重力によるプラズマの速い速度変化を十分に捉えられておらず、短時間のプロミネンス噴出が見逃されていた可能性がある (e.g., Notsu et al. 2024)。

そこで本研究では、活動的な M 型矮星 YZ CMi を対象とし、TESS による高精度測光観測と同時に、せいめい望遠鏡で約 1 分の高時間分解能の H α 線分光観測を行なった。その結果、27 例の H α フレアを検出し、バイズ情報量基準 (BIC) を用いた非対称性評価基準に基づき、その内 8 例が H α 線の非対称性 (5 例が赤方偏移、3 例が青方偏移) を示すことが分かった。特に速度特性と線輪郭形状からプロミネンス噴出を示唆する 2 例 (青方偏移 1 例、赤方偏移 1 例) は、非対称性の継続時間が約 5 分、速度が 300 km/s 以上と高速で短時間のイベントであることが分かった。これらの結果は、先行研究の分光観測では時間分解能が不足しており、プロミネンス噴出の頻度が過小評価されていたことを示唆する。これはフレア/CME の惑星への影響を評価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](#)

M05a 太陽質量程度の前主系列星における大気加熱スケーリング則の調査

山下 真依, 鳥海 森 (ISAS/JAXA), 伊藤 駿, 中澤 皓太, 三石 郁之 (名古屋大学), 伊藤 洋一 (兵庫県立大学)

太陽表面の磁束はエネルギーを上方に輸送し、彩層、遷移層、コロナを加熱する。Toriumi & Airapetian (2022) では、太陽と太陽型主系列星の彩層輝線からコロナ放射における放射照度と全磁束とのべき乗スケーリングを比較することで、太陽型主系列星は年齢や活動度に関係なく、大気加熱メカニズムが共通していることを明らかにした。

より若い前主系列星は自転が速く、対流層が分厚い。そのため、ダイナモ活動を起源とする強い磁場が形成され、明るい彩層輝線やコロナ放射が生じると考えられている。先行研究では T タウリ型星 6 天体について磁場強度とコロナからの X 線強度との対応を調べ、太陽や G, K, M 型主系列星の延長線上に位置することを示した。しかしながら 6 天体中 5 天体が古典的 T タウリ型星 (100 万歳) であり、太陽年齢との間の天体数は足りていないと言える。

本研究では弱輝線 T タウリ型星 (1000 万歳) と零歳主系列星 (1 億歳) を含む数十天体を対象とし、磁場とコロナ放射や彩層輝線とのスケーリング則は年齢方向に拡張できるかを調査した。

コロナからの X 線強度は ROSAT と XMM-Newton の観測データより見積もった。彩層輝線として、VLT/UVES, X-Shooter のアーカイブより高分散分光スペクトルを取得し、Ca II HK 輝線 ($\lambda 3968, 3934 \text{ \AA}$), H α 輝線 ($\lambda 6563 \text{ \AA}$), 近赤外 Ca II 輝線 ($\lambda 8542 \text{ \AA}$) の強度を得た。結果として、前主系列星の X 線と彩層輝線強度は、太陽データから得られたべき乗則の延長線上に位置していることがわかった。ただし強い磁場を持つ前主系列星は、磁場強度に対して一定の X 線強度を示した。主系列星では磁束に対する大気の大気加熱率が太陽と共通している一方で、磁束量の大きな若い星では加熱率が低下している可能性も示唆される。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

M06a 磁気トルネードによる突発的なコロナ加熱

国吉秀鷹 (東京大学), 横山央明 (京都大学)

太陽上層大気 (コロナ) は表面 (光球) よりも数百倍ほど高温で 100 万度以上にも達する。なぜコロナは光球より遙かに熱いのか? これはコロナ加熱問題と呼ばれる、宇宙物理学の最重要課題の一つであり、磁場の効果が不可欠である。近年の高解像度観測・数値計算によって、従来の定説では無視されていた小スケール (< 100 km) な相互作用で突発的に生じる磁気流体波 (磁気トルネード) が、コロナ加熱の新たなエネルギー輸送機構として注目を集めている。しかし磁気トルネードにより輸送された磁気エネルギーがどのように散逸され、その結果コロナが何百万度まで加熱されるかはよくわかっていなかった。そこで我々は対流層からコロナまでを一貫して解く数値シミュレーションを用いて磁気トルネードによるコロナへのエネルギー輸送を計算した。その結果、磁気トルネードによってリコネクションが駆動され、コロナは局所・突発的に定説 (アルフベン波乱流モデル) よりも 2-3 倍高温にまで加熱されることがわかった。本講演では磁気トルネードによる加熱の仕組みの詳細についても合わせて議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

M07a 静穏型プロミネンスにみられた持続的伝搬波動のモード診断

一本潔 (立命館大学)、橋本裕希、黄于蔚、浅井歩、白戸春日、山添雄大、楠野兼太朗、上野悟 (京都大学)、山崎大輝 (宇宙科学研究所)

太陽プロミネンスにみられる振動現象は、コロナへのエネルギー輸送やプロミネンス磁場の日震学的診断等の観点から注目され、これまでに多くの観測が報告されてきた。2022 年 9 月 26 日、飛騨天文台ドームレス太陽望遠鏡で静穏型プロミネンスの HeI 1083nm による偏光分光観測を行ったところ、約 110 分の時系列データに持続的な伝搬性波動が検出された。波動は SMART/SDDI による H α 2 次元データにも確認された (2023 春年会 M34a)。

本講演では、さらに解析を進め波動のモードについて調査した結果を報告する。波動の特性を以下に記す。(1) 波は視線速度にみられ振幅は約 2km/s、ライン強度や磁場の強度に変動はみられない。(2) 波動は持続的でプロミネンス全体にわたって伝搬している。(3) 特徴的な周期は 220 秒、260 秒、910sec であり、(4) 220 秒と 260 秒周期の波動はそれぞれほぼ水平、逆方向に位相速度 140km/s と 200km/s で伝搬、(5) 910 秒周期の波は、位相速度 ~ 24 km/s でプロミネンスの下から上に伝搬する。(6) 磁場は約 2.5G と弱く、視線方向とはほぼ垂直である。(7) 910 秒周期はプロミネンスの上昇に伴って周期が長くなる傾向がある。

これらの結果から以下の結論を得た。周期約 4 分の波動はコロナ中を伝搬するアルフベン波であり、プロミネンスの外で励起され伝わってきたものである。周期 15 分の波はプロミネンス内部を伝わるアルフベン波であり、足下太陽面の擾乱に起因している可能性がある。位相速度や伝搬方向の異なるアルフベン波が同一空間に存在することはないので、磁場の強度・方向の異なる領域が視線方向に複数重なっていると考えられる。このプロミネンスは翌日に崩壊した。持続的な波動の顕在化と不安定化との関連性が興味を持たれるところである。

[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](#)

M08a プロミネンスの振動を誘発する、コロナ中を伝わる波動

浅井 歩 (京都大学)、一本 潔 (立命館大学、京都大学)

太陽プロミネンスではしばしば振動現象が観測される。その振幅や周期についてはさまざまな事例が報告されており、コロナ中の波動との関連も広く議論されている。特に一本ら (日本天文学会 2023 年春季年会 M34a) は、2022 年 9 月 26 日に北西リムに出現していた静穏領域プロミネンスについて、京都大学飛騨天文台ドームレス太陽望遠鏡垂直分光器を用い、He I 10830Å 線での偏光分光観測を行った結果を報告した。中でも、He I 10830Å 線のプロファイルから導出された視線方向速度成分の時系列データ中に、プロミネンスを横切って伝播する持続的な小振幅の波 (周期約 4 分) を見出した。加えて太陽磁場活動望遠鏡 (SMART) の H α 線データの解析でも同様の振動現象が主に水平方向に伝搬する様子を見出し (一本ら、日本天文学会 2024 年秋季年会)、このプロミネンス振動がコロナ中を伝搬するアルフヴェン波により駆動されている可能性を指摘した。

そこで我々は、このプロミネンス振動と周辺のコロナ中を伝搬する波動との関連について調べるため、米国ハワイ・マウナロア太陽観測所 (MLSO) のコロナグラフ (UCoMP) によって得られた Fe XIII 線 (10747Å, $\log T \sim 6.2$ [K]) の観測データを解析した。その結果、プロミネンス周辺の磁気セパトリクス領域で顕著なアウトフローが見られること、さらに視線方向速度場に 3 $\sim$ 5 分程度で周期的な変動があることを確認した。一方で、線強度には変動は見られなかった。このようなコロナ中を伝搬する波動は、これまでにコロナグラフ観測で報告された例とも整合的であり (e.g. Tsubaki 1977, Ichimoto et al. 2000)、コロナ中で典型的な波動を捕らえたものと考えられる。本講演では、UCoMP のデータ解析の結果を紹介し、コロナ中の波動がプロミネンス中の振動を駆動した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](#)

M09a 活動領域ダークフィラメントで見られる He I 10830 Å の横ゼーマン効果偏光スペクトルの解釈と磁場強度の推定

山崎大輝 (ISAS/JAXA)、黄于蔚、橋本裕希、上野悟 (京都大)、一本潔 (立命館大)

ダークフィラメントは、太陽コロナ中で磁場に支えられた低温高密度プラズマ雲である。先行研究によると、静穏領域上空に出現するダークフィラメントの磁場強度は、典型的に数 10 G 程度である (Casini et al. 2003, Yamasaki et al. 2023) のに対し、活動領域上空に出現するものについては数 100 G 程度である (Kuckein et al. 2009, Xu et al. 2012)。これらの磁場強度は、光学的に薄い近赤外吸収線 (He I 10830 Å) の偏光分光観測で得られる偏光スペクトルが単一高度で形成される仮定 (1 コンポーネント) に基づいて推定されている。しかし、Diaz Baso et al. (2019) では、特に活動領域ダークフィラメントで見られた、ある横ゼーマン効果偏光スペクトルは 1 コンポーネントでは説明できないこと、例えば、ダークフィラメント下部の数 100 G の磁場とダークフィラメント本体の数 10 G を仮定した 2 コンポーネントでも説明可能であると主張し、活動領域ダークフィラメント本体の典型的な磁場強度についてはオーダーレベルでの議論が続いている。本研究では、飛騨天文台 DST (cf. 2023 秋年会 M18a) による、2022 年 9 月 5 日に出現した活動領域ダークフィラメントの He I 10830 Å 偏光分光観測データの解析を行った。その結果、ダークフィラメントの複数のピクセルで横ゼーマン効果偏光スペクトルが見られた。また、これらのスペクトルに注目し、HAZEL (Asensio Ramos et al. 2008) を用いて磁場の推定を行った。Diaz Baso et al. (2019) の主張と同様に、1 コンポーネントでは観測スペクトルは説明できないこと、フィラメント下部 1000 G と本体 10 G の 2 コンポーネントの仮定で説明されうることが分かった。本講演では、我々の活動領域ダークフィラメント観測で見られた横ゼーマン効果偏光スペクトルの解釈と推定される磁場構造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](#)

M10a 磁気静水圧平衡磁場モデリングのための divergence-free かつ well-balanced な磁気流体力学緩和法の開発

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

太陽大気中の爆発現象の解明と予測には太陽大気磁場の解析が不可欠である。それ故、精密測定が可能な光球磁場から太陽大気磁場を推定する手法が長年研究開発されてきた。特に我々は、圧力および重力の効果を含んだ磁気静水圧平衡磁場モデリングのための磁気流体力学 (MHD) 緩和法を提案した [Miyoshi, et al., 2020]。しかし、MHD 緩和法に対する数値スキームの検討および研究開発はこれまで不十分であった。そこで本研究では、従来の数値スキームの欠点を検討し、堅牢な数値スキームを新たに開発した。

新開発の数値スキームでは、磁場の時間発展と圧力の時間発展を分離し、前者を HLLD 近似リーマン解法 [Miyoshi & Kusano, 2005]、後者を Lax-Friedrichs 法 [e.g., LeVeque & Randall, 1992] と既に確立した堅牢な数値解法を適用した。また、磁場のソレノイダル性を厳密に保証するため (divergence-free 性)、風上型の Constrained-Transport 法を採用した [Gardiner & Stone, 2005]。さらに、数値的に静水圧平衡を維持できるよう (well-balanced 性)、計算セルにおける局所的な静水圧平衡の圧力分布を差し引いたセル境界値を用いて重力項を評価した [Käppeli & Mishra, 2016; Krause, 2019]。検証用モデル磁場を用い、本数値スキームの堅牢性を確認し、磁気静水圧平衡磁場の数値解が安定に得られることを示した。

[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](#)

M11b GREGOR-IRIS の共同観測で探る小規模増光現象の 3 次元速度場構造

市川椋大、野澤恵 (茨城大学)、川畑佑典 (国立天文台)

太陽の光球から遷移層では Ellerman bomb (EB) や UV burst など、磁気リコネクション起源の小規模増光現象が様々な高度で観測される。Ortiz et al. 2019 は EB と UV burst が全体の約 20% で同一空間・時間で出現することを見つけ、Hansteen et al. 2019 の数値計算で提示された「高度方向に長い電流シートによるリコネクション」というモデルと整合すると結論付けた。しかし、観測では磁場観測を行っておらず、磁場の配置に対する議論は行われていない。これらの理論予想と観測結果の検証のためには、光球から遷移層で起きた磁気リコネクション現象を対象に、3 次元的な速度・磁場の時間変化を求める必要がある。我々は口径 1.5 m の地上望遠鏡 GREGOR に搭載されている近赤外偏光分光装置 GRIS と、彩層・遷移層ラインを複数含む IRIS の分光観測による共同観測によって小規模増光現象を捉えることに成功したデータの解析を行った。本研究の目的は光球・彩層で起きた小規模増光現象の 3 次元物理量分布を議論することにある。将来的には磁場解析も行うが、今回は速度解析の結果の報告を行う。

光球面で観測された小規模増光現象に対し、GREGOR の He I・Si I と IRIS の Mg II k・C II・Si IV の 5 つのスペクトル線を用いて、各対応高度ごとの視線方向速度や半値幅などの物理量の時間変化の解析を行なった。光球での増光位置と彩層・遷移層の増光位置が約 5.5" 離れており、Si I の光球では増光箇所では 1km/s の下降流で、彩層上部に上がるにつれ速い下降流となり Si IV で 20km/s を観測した。以上より、光球から遷移層まで繋る傾いた磁力線に対し、遷移層付近での発生したリコネクションを観測したと考えられる。本講演ではその他、半値幅やプロファイル形状の議論も行う。

[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](#)

M12b コロナホール付近の活動領域の統計解析による傾向

高城有生、市川椋大、野澤恵 (茨城大学)

宇宙天気に関わる太陽フレア、CME などの現象は太陽活動極大期に多く注目度も高い。一方、そのほかの期間における注目度は低い。そこで、極小期に多く見られるコロナホールの特徴とされる磁力線が開いた構造に着目した。コロナホールは極小期に向かうにつれて極域から中緯度へ広がっていく。そのような磁力線の開いた領域周辺に存在する活動領域は上空の磁場が弱く、そこで発生する CME は一般的な活動領域で発生した CME よりも威力が強いと考えられる。

磁力線が開いている領域の例として、コロナホール内に浮上した活動領域 (アネモネ型活動領域) で発生したフレアに伴う CME は、平均より約 4 倍速い速度で飛び出し、大規模な磁気嵐を引き起こすと報告されている (Asai et al. 2008)。著者は特異な条件で発生したと報告している。一方、このような活動領域の統計解析では、太陽活動上昇期である 2011 年から 2014 年に発生したアネモネ型活動領域のうち約 30% がフレアを伴ったと報告した (Sharma & Cid 2020)。これに関して地球への影響の議論はされていない。そこで、本研究では開いた磁力線付近の活動領域によって起きたフレアに伴う CME が及ぼす地球への影響を統計的に明らかにすることを目的としている。

2010 年から 2019 年の間に発生したフレアについて、アネモネ型活動領域を含む CH 近傍の活動領域と一般的な活動領域を対象とし、統計解析を行い比較した。また、物理量として輝度、面積、光球磁場、コロナホールと活動領域の距離を求め、それらの特徴の議論を行う。

[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](#)

M13b 国立天文台の黒点スケッチを用いた活動経度の調査

山口慎太郎、野澤恵（茨城大学）、萩野正興、桜井隆（国立天文台）、大辻賢一（情報通信研究機構）

太陽黒点には出現しやすい緯度帯が存在し蝶形図として知られている。これに対して、黒点の出現しやすい経度（活動経度）もあると言われている。Berdugina & Usoskin(2003) は、約 180 度離れた活動経度が 120 年にわたって継続していることを主張した。

本研究では、国立天文台のデータアーカイブを用いて太陽黒点群の出現する経度の変動の調査を行った。黒点群の活動経度は、緯度分布（蝶形図）と同じくダイナモ機構と関連して、太陽内部でどのように活動領域が生成されるかを知る手掛かりになっている。

我々は、これまでに京都大学大学院附属花山天文台で観測された黒点スケッチを用いて Hovmöller ダイアグラムを作成し、活動経度に周期性があることを確認した。また、低緯度に出現する黒点群の出現経度は自転に対して順行していることを発見した。さらに同様の解析手法を用いて、1998 年から観測された国立天文台の新黒点遠鏡自動黒点検出データでも出現経度は順行していることがわかった。

本講演では、1938 年から 2023 年まで国立天文台で行われた黒点スケッチによる長期間のデータを用いて、7 太陽周期にわたる黒点の出現経度の調査結果を報告する。また、Hovmöller ダイアグラムを作成する際、キャリントン回転そのものでなく差動回転の補正を加えた解析も行った。この解析による太陽内部の大規模対流セルとの関係性について議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

M14c 太陽メートル波帯 II 型電波バーストのスペクトル微細構造の特徴-II

三澤浩昭, 土屋史紀, 桑山陽次 (東北大)

多様な太陽電波バーストのうち“II 型”は、フレアや CME 発生時に出現する、緩やかな負の周波数ドリフトを伴う電波現象として知られる。その発生過程として、衝撃波域で発生したラングミュア波が電磁波に変換され II 型バーストとなること、電波の周波数は電磁波への変換域のプラズマ周波数を反映すると想定されている。また、その周波数ドリフトは、太陽から遠距離の衝撃波域の伝搬速度を反映すると考えられている。ところで、II 型バーストはしばしば、MeV クラスの太陽高エネルギー粒子 (SEP) と同時に出現することも知られている。両者の同時性は、II 型バーストの励起源と SEP との間には密接な関係があることを示唆している。本グループではメートル波帯太陽電波高分解分光観測装置 (AMATERAS) の観測から得られた II 型バーストの高精細スペクトルと SEP の出現特性との対比に基づき、両者の具体的な関係性を査定することを大目標として研究を進めてきた。

これまで本グループでは、AMATERAS による太陽電波観測が開始された 2010 年秋以降に取得された多数の II 型バーストのスペクトル解析から、II 型バーストには個々の継続時間が数 100msec 程で高速周波数ドリフトを伴う微細なスペクトル構造が内包されていることを示してきた。その一方で、このような微細構造が観られないケースがあることも分かってきた。本講演では、スペクトル微細構造の出現有無の特徴を紹介するとともに、その差異の理由を特に偏波特性評価に基づき議論する。また、この微細構造の有無と SEP 出現との関係性についても言及する予定である。

[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](#)

M15a 活動領域 NOAA13664 の磁場構造解析とフレア発生予測について

草野完也 (名古屋大学), 伴場由美, 塩田大幸 (情報通信研究機構)

太陽活動領域 NOAA13664 とその回帰領域である NOAA13697 は、2024 年 5 月から 6 月にかけて多くの大規模フレアを発生させ、強い磁気嵐や低緯度オーロラなどの激しい宇宙天気擾乱を引き起こしました。私たちは、SDO/HMI が観測したベクトル磁場データ (SHARP_CEA_NRT) から MHD 緩和法を用いてこの領域の非線形フォースフリー磁場 (NLFFF) を 1 時間ごとに求めることにより、この領域の自由エネルギーと 3 次元磁場構造の特徴を体系的に調査し、第 24 太陽周期に大型フレアを発生させた幾つかの活動領域と比較しました。その結果、NOAA13664 の全磁束量は 2.6×10^{21} Mx/day の割合で 5 月 7 日から 12 日まで急増し、領域全体の磁気自由エネルギー (E_f : 磁気エネルギーとポテンシャル磁場のエネルギーの差) が最初の X クラスフレアが発生した 5 月 8 日までに 10^{33} erg まで増加したことが分かりました。その後、X5.8 クラスフレアが発生した 5 月 11 日までに E_f は 1.6×10^{33} erg まで増加しました。この値は第 24 太陽周期の最大黒点領域で、複数の X クラスフレアが発生した NOAA12194 とほぼ同等です。また、非ポテンシャル磁場強度 B_{np} が 1000G を超える領域 (High Free Energy Region: HiFER) が複数、同時に現れた後に、大型フレアが連続発生したことも見出されました。ただし、各 HiFER 内の B_{np} の最大値は 2000G 程度でした。これは第 24 太陽周期の最大フレア (X9.3) が発生した NOAA12673 の値 (4000G) の半分程度の低い値に留まっています。すなわち、比較的弱い非ポテンシャル磁場を広く分布させることで大きな自由エネルギーを蓄積したことが NOAA13664 の特徴と言えます。講演ではさらに κ スキーム (Kusano et al. 2020) による本領域のフレア予測解析の結果についても報告し、大型フレアの予測可能性についても議論します。

[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](#)

M16a 2024 年 5 月に X クラスフレアを連発した活動領域について

塩田大幸、坂口歌織、久保勇樹、伴場由美 (情報通信研究機構)

2024 年 5 月は複数の活動領域で、計 21 回の X クラスフレアが発生した。その中でも活動領域 NOAA13664 は、ディスクセンター付近に位置するところから急激に成長し、5 月 8 日-15 日までの期間で、X クラスフレアを計 12 回発生した。その領域で発生した X クラスフレアを含む大規模フレアのほとんどには、CME が伴って発生したことが観測されている。短い期間に連続して発生した CME は、後続の CME の方が高速での放出された関係にあったため、惑星間空間を伝搬中に相互作用をした結果、一体となり地球に到来したと考えられる。実際に、L1 点でのその場観測では惑星間磁場が一時期 72nT (南向き磁場は 50nT 超) まで上昇し、その磁場を含むプラズマが 700km/s を越える速度、さらには 40 個/cc を超える密度をもって地球を通過した。これによって、日本でもオーロラが観測されるような大規模な磁気嵐をはじめとした様々な宇宙天気じょう乱につながった。

本講演では、NOAA13664 で連続して発生した一連の現象の全体像を概説する。大規模フレアと CME の対応関係について解析した結果を報告し、MHD シミュレーション SUSANOO-CME で計算した結果を示す。これにより今回の大規模イベントで地球へ及ぶ影響が大きくなった要因として、大規模イベントが連続して発生することの重要性の観点から解説する。

さらに、太陽の X 線観測が始まって以来、7 日間で 12 回の X クラスフレアを発生した例は初めてとなる。過去に X クラスフレアを連続して発生した活動領域 (例: NOAA5395(1989 年)、NOAA10808(2005 年) など) の観測結果との比較により、NOAA13664 の歴史的な位置づけを明らかにするとともに、太陽周期活動との関係についても議論する。

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

M17a 2024 年 5 月上旬に発生した CME 群の惑星間空間シンチレーション観測

岩井一正、藤木謙一、磯貝拓史 (名古屋大学)、塩田大幸 (情報通信研究機構)

コロナ質量放出 (CME) 現象は地球に到来すると周辺環境に大きな擾乱をもたらすが、その惑星間空間における伝搬や相互作用には未解明の点が多い。太陽系外の電波天体を観測中に CME が視線を横切ると天体からの電波を散乱し惑星間空間シンチレーション (IPS) 現象が観測される。IPS 観測は観測データの少ない惑星間空間における CME を研究し、その到来を予測するために重要な観測手法となっている。2024 年 5 月上旬に複数の CME が発生し、5 月 10 日から 11 日にかけて地磁気に大きな擾乱をもたらした。本研究では名古屋大学で 327MHz 帯域において連続的に実施されている IPS 観測のデータを用いて 5 月上旬の CME 現象を解析し、磁気流体シミュレーションを用いてその結果を検証した。擾乱が地球に到達する直前となる日本時間 5 月 10 日には多数の電波天体で大きな振幅の IPS 反応が検出された。特に太陽離角の大きい方向の視線で大きな振幅の IPS 反応が多数の天体で検出された。この観測結果は、今回の擾乱の予測に IPS 観測が有効であったことを示唆する。磁気流体シミュレーション (SUSANOO-CME) でこの時期に観測された CME の伝搬過程を再現した結果、この期間の内部太陽圏には短期間に複数の CME が放出されたことで複数の CME が隣接し高密度な領域が形成されていたことが示唆された。この高密度領域は電波を散乱しやすいと考えられ、顕著な IPS 反応を説明できる可能性がある。一方で観測された強い IPS 反応の視線はシミュレーションから示唆される高密度領域より前方に存在していた。この原因として、磁気流体シミュレーションに入っていない小規模な CME が惑星間空間を先行していた可能性、シミュレーションで形成されるシース領域よりも上流まで乱流が発達していた可能性、実際の CME の形状はモデル化に用いた Spheromak よりも進行方向に、より押しつぶされていた可能性などが考えられる。

[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](#)

M18a 活動領域磁場構造に注目した CME 発生条件の研究

森山 智生、草野 完也、増田 智 (名古屋大学)

コロナ質量放出 (CME) は宇宙天気の擾乱を引き起こす要因の 1 つであるが、現在の宇宙天気予報では CME の地球到来予測は CME が検出された後に行われている。また、CME がフレアと共に発生する場合、どのようなフレアが CME を伴うかは明確に分かっていない。本研究では SDO 衛星がフレア発生前に観測した太陽面ベクトル磁場データを解析することで、CME を伴うフレアが発生する活動領域の条件を特定することを目指した。本研究では活動領域における非ポテンシャル磁場強度 (B_{NP}) 分布に着目した。非ポテンシャル磁場は観測磁場とポテンシャル磁場の差で与えられる。ポテンシャル磁場は太陽表面鉛直磁場 (B_z) が与えられた場合の最小エネルギー状態であるから、 B_{NP} が大きいほどその領域に蓄えられているエネルギーが大きいと考えられる。2010 年 5 月から 2016 年 4 月までに発生した GOES X 線クラス M5.0 以上のフレアイベント 48 件 (CME を伴うイベント 32 件、伴わないイベント 16 件) について、活動領域全体と高 B_{NP} 領域の面積と面積比、 B_z や B_{NP} の面積積分値や二乗面積積分値、それらの面積平均を計算した。また、 B_z と B_{NP} の計算値の比をとった無次元量パラメータも計算した。そして各パラメータの CME を伴うフレアと伴わないフレアの判別能力を Area Under Curve(AUC) 指標を用いて評価した。その結果、面積比を除く B_{NP} に関係した無次元量パラメータの AUC が高く、CME 判別能力が高いことが分かった。一方、面積比のパラメータの AUC は低く、CME 判別能力がほとんどないことがわかった。これらの結果から、高 B_{NP} 領域に蓄えられた CME を駆動するエネルギーと CME 発生を妨げる周辺磁場のエネルギーのバランスが CME 発生の有無に深く関係していること、高 B_{NP} 領域の面積そのものではなく、高 B_{NP} 領域の磁場構造が CME 発生の有無に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](#)

M19a 2024 年 5 月大規模太陽フレアに伴う太陽電波バースト観測と CME 速度導出

西塚直人, 直井隆浩, 久保勇樹 (情報通信研究機構)

太陽活動は極大期を迎え、2024 年 5 月には合計 20 回の大規模 (X クラス) 太陽フレアが発生した。特に活動領域 13664 では、今太陽活動周期で最大強度の X8.7 を含む 13 回もの大規模太陽フレアが発生した。これらの太陽フレアに伴って放出されたコロナ質量放出 (CME) により、19 年ぶりの大規模な地磁気嵐も発生し、日本各地でデリンジャー現象や電離圏嵐、低緯度オーロラも観測された。CME 噴出や加速電子の放出に伴って、II 型電波バーストや III 型電波バーストが観測されることが知られている。70MHz から 9GHz の周波数帯で観測される電波バーストのスペクトルを解析することで、太陽大気密度を仮定することにより、CME 噴出速度の準リアルタイムの導出が可能である (直井ら日本天文学会 2018 年秋季年会 M05a)。

情報通信研究機構では、山川電波観測施設の太陽電波観測システムにて太陽電波の定常観測を行っている。同システムにより、2024 年 5 月に発生した多数の X・M クラス太陽フレアに伴って、17 例以上の太陽電波バーストを観測することに成功した。具体的には 5 月 1 日 (M1.8)、5 月 3 日 (X1.7、M4.4、M1.1)、5 月 4 日 (M9.1、M1.5)、5 月 5 日 (M8.8、X1.3)、5 月 8 日 (X1.0、X1.0)、5 月 9 日 (X2.3)、5 月 10 日 (X4.0)、5 月 11 日 (X5.8)、5 月 14 日 (X1.7)、5 月 15 日 (C9.9、X3.5)、5 月 27 日 (X2.9) に、II 型及び III 型電波バーストが観測された。また同イベントは自動検出プログラムおよび自動警報システムによってリアルタイムで検出およびメール周知され、SOHO 衛星 LASCO 画像による CME 速度推定とあわせて利用されている。また山川太陽電波観測システムによる観測イベントのカタログリスト化を進めている。本講演では、2024 年 5 月の山川太陽電波バースト観測の結果と CME 速度推定、イベントリスト化について紹介する。

[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](#)

M20a 2012 年 3 月 7 日の太陽フレア・CME に付随する持続的ガンマ線放射 (SGRE) イベントに関する研究

増田智 (名古屋大学), 八代誠司 (カソリック大学), 渡邊恭子 (防衛大学校), 浅井歩 (京都大学)

Fermi 衛星搭載の Large Area Telescope (LAT) のこれまでにない高感度の観測により、太陽フレアの impulsive phase 以降に数時間以上も持続する高エネルギー陽子の核反応起源のガンマ線放射 (持続的線ガンマ線放射, SGRE) が、2011 年から 2022 年の期間に 40 回以上、観測されている。発生過程は明らかではないが、Gopalswamy らは、SGRE と II 型電波バーストの継続時間の相関などから、CME 衝撃波で作られた高エネルギー陽子が太陽面に降り込んで SGRE を生み出しているのではないかと推測した。我々は、このモデルを検証するために、高エネルギー陽子の下層大気 (光球、彩層など) への降り込みを示す兆候が無い、ガンマ線以外の波長での撮像観測データの解析を行うことにした。まずは、日本の昼間の時間帯に起きた SGRE イベントのうちで、ガンマ線が最も強い 2012 年 3 月 7 日に発生した SGRE イベントの解析を行った。このフレアは 0 UT ごろに発生し、軟 X 線放射が減衰した 2 - 8 UT ごろに SGRE が非常に強く観測され、太陽面北東のフレア発生領域から最初は西に、次に南にガンマ線源の重心位置が移動した。野辺山電波ヘリオグラフの 17GHz の太陽全面電波画像では、SGRE の時間帯に太陽面に 3 か所の有意な電波源があり、それぞれ電波強度の時間変動が異なっていた。もし、これら複数の電波源が陽子の降り込み場所だと仮定すると、CME の伝搬に伴い、3 か所への降り込み量の割合が変化したことにより、ガンマ線重心位置が移動した可能性もありうる。しかし、北半球の 2 か所の電波源は開いた磁場領域に近いが、南半球の電波源は開いた磁場領域からは離れており、簡単には説明できない。SDO/AIA による、より長時間の連続観測の結果を含めて、複数の領域への陽子の降り込みの可能性について、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](#)

M21a 太陽における水素ライマン線の放射変動とその地球電離圏への影響

大窪遼介, 渡邊恭子, 北島慎之典 (防衛大), 増田智, 家田章正 (ISEE), 陣英克, 埜千尋, 西岡未知 (NICT)

太陽水素線であるライマン α 線 (121.6 nm, Ly α) は彩層・遷移層における EUV 放射の 50% 以上を占める最も強いライン放射である (Fontenla et al., 1991) が、EUV 放射の中でも波長が長い、地球大気中の原子・分子を電離する十分なエネルギーを有していない。一方、ライマン β 線 (102.6 nm, Ly β) は Ly α 線に比べて放射照度は小さいが波長は短いため、Ly α 線よりも Ly β 線の方が地球大気中の電離に大きな影響をもたらしている可能性があり、宇宙天気観測の観点からも両者の地球への影響を比較することは重要である。

Lemaire et al. (2012) は、第 23 太陽活動周期における Ly α /Ly β 比の変動について調べ、太陽活動極大期は極少期に比べて Ly β 線の割合が大きくなることを報告している。そこで本研究では、第 24 太陽活動周期における Ly α /Ly β 比の変動についても詳しく調べるとともに、太陽フレア時における Ly α 線と Ly β 線の関係についても調べた。また、これらが地球電離圏に与える影響についても調べた。

TIMED/EGS-SEE で観測された紫外線放射スペクトルを用いて 2002-2016 年の Ly α /Ly β 比を調べたところ、第 23 と 24 太陽活動周期において Ly α /Ly β 比の変動に大きな違いはないことが分かった。また、2010 年 2 月から 2014 年 5 月に発生した M クラス以上のフレア 41 例について、SDO/EVE が観測した Ly β 線と GOES/EUVS-E が観測している Ly α 線を用いて、これらのライマン線放射の増加率を調べたところ、平均で Ly α が 7% 程度、Ly β は 16% 程度であり、Ly β の増加率の方が大きいことが分かった。

これらの EUV 放射や X 線が地球電離圏にフレア時に与える影響を GAIA モデル (Jin et al., 2008) を用いて評価したところ、Ly β 線が地球電離圏 E 層の O $_2^+$ の電離に対して大きな影響を及ぼ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](#)

M22a 同時代のアナログ記録に基づく 1956 年 2 月の太陽高エネルギー粒子嵐の改訂

早川尚志 (名古屋大学)

大規模な太陽面爆発はしばしば荷電粒子を加速させる。大元のフレアと地球と磁力線の位置関係次第で、太陽高エネルギー粒子 (SEP) は地球に届くことがあり、その中でも特にエネルギーとフラックスの顕著なものは地上の観測機材で宇宙線量増加として捉えられることがある。このような現象を GLE (Ground Level Enhancement) と称し、その発生は 1942 年以降現在に至るまで 74 件確認されている。このような GLE の中でも観測史上最大規模にフラックスが大きく、スペクトルが硬かったのが 1956 年 2 月の激甚太陽粒子嵐 (GLE5) の際のものである。そのためこの GLE はしばしば太陽粒子嵐、航空機被曝、年輪・アイスコアに捉えられた激甚現象の推定などの大元のレファレンスとして用いられてきた [1]。しかし、その実、その大元となるデータは 1957 年の手描きの平滑曲線 [2] に基づいていると思われ、実際の機材観測の観測結果とやや乖離していた面が否めない。そこで本報告では最新の研究成果 [3] を踏まえ、当時の中性子測定器の観測記録について、同時代の報告書群、シカゴ大学の文書館の未公開文献を博捜、精査、デジタル化した結果、当時の観測データがどのように改訂されたかを紹介する。その結果、従来研究 [4] と比較し、最大フラックス量はやや大きくなった一方、スペクトルは若干柔らかくなった。当該データは現在国際 GLE データベースで公開され、今後の研究に直ちに利用可能となっている。

[1] Miyake, Usoskin, and Poluianov 2019, Extreme Solar Particle Storms: The Hostile Sun (Bristol, IOP)
[2] Dorman 1957, Cosmic Ray Variations (Moscow: State Publishing House) [3] Hayakawa, Koldobskiy et al. 2024, Astronomy and Astrophysics, 684, A46 [4] Usoskin et al. 2020, Astronomy and Astrophysics, 640, A17

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

M23b 新しい磁気リコネクションモデルの太陽-地球系での観測的検証 (続)

新田伸也 (筑波技大), 近藤光志 (愛媛大学)

講演者らは、天体現象に応用するための新たな磁気リコネクション (RX) モデル「自己相似 RX モデル」を構築してきた (Nitta+ 2001-Nitta & Kondoh 2022)。次の段階として、モデルを実証するための現象論的研究を行なっている。RX システムの空間構造の特徴まで実証可能な観測対象は、太陽と地球に限定される。我々は太陽-地球系での様々な RX 現象での実証を目指しており、2023 秋年会では、地球磁気圏太陽側マグネトポーズでの RX の in-situ 観測での検証を行った。今回、さらに別イベントでの検証を行ったので報告する。

太陽側マグネトポーズ (MP) での RX は、太陽風と地球磁気圏の異種プラズマの接触不連続面 (電流シート) である MP に沿って生じる。太陽風の時間変動のため、MP は頻繁に膨張/収縮しており、その速度 ($\sim 10^2 \text{ km/s}$) は観測衛星の軌道運動 (数 km/s) より高速である。このため、サブソーラー点近傍では、MP の太陽-地球方向の振動運動により、衛星は RX アウトフローを垂直に横切る断面を観測しているとして解釈されてきた。

自己相似 RX モデルの排他的特徴は、系が MHD 波動の伝播とともに自己相似的に拡大することである。拡大速度は周辺の Alfvén 速度 (数 10^2 km/s) の程度であり、MP の移動速度と同程度かより高速のため、動的に変化する RX システムに対する観測衛星の相対運動の軌跡はより多様になる。

自己相似 RX に関する我々の MHD シミュレーション結果を用い、ポストプロセスとしてシミュレーション空間内にて仮想観測衛星による擬似観測を行った。注目した MMS 衛星群による実観測結果は、RX 開始時に MP の太陽側にあった衛星が MP を横切って地球側に抜け、さらに MP の移動によって太陽側に戻る軌跡での擬似観測結果とよく一致する。この軌跡は、MP の振動と RX 系の自己相似拡大の組み合わせで合理的に説明できる。

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

M24b フォーブッシュ減少の多点比較で迫る ICME の時空間発展に関する研究

木下岳 (東京大学大学院理学系研究科地球惑星科学専攻), 村上豪 (宇宙航空研究開発機構), 吉岡和夫 (東京大学大学院新領域創成科学研究科複雑理工学専攻)

Interplanetary Coronal Mass Ejecta (ICME) とは太陽から噴出する磁束とプラズマの集合体であり、地球に到達すると磁気嵐を引き起こし、地上インフラに深刻な影響を及ぼす。そのため内部太陽圏における ICME の伝搬特性の理解が必要である。しかし太陽-地球間の大きな重力ポテンシャル差などが原因で内部太陽圏への探査機投入は難しく、これまでは直接観測例が少なかった。しかし近年は太陽観測機 Solar Orbiter、Parker Solar Probe、水星探査機 BepiColombo など複数の探査機が同時期にこの領域に展開している。これらは多点観測により太陽噴出物の半径・方位角方向の進化を同時に追跡できる。加えて 2025 年に来ると予測されている太陽活動度の極大期に向け、太陽イベントが増加しデータが蓄積しており、内部太陽圏探査の黄金期が到来している。

本研究では、Forbush Decrease (FD) という、ICME が通過する際に銀河宇宙線を遮蔽する現象 (Forbush, 1937) を解析する。ICME の構造や磁場強度は FD の回復時定数や振幅に反映される。また FD は簡易な粒子観測機器で検出可能であり、高度な磁場・プラズマ観測器がない場合の有力な代替 ICME 観測手段となる (e.g. Lefèvre et al., 2016)。よって FD 観測による ICME の伝搬中進化の追跡手法を確立できれば、その参入障壁の低さを活かし ICME 多点観測網を拡大できる。そこで水星-火星間における ICME の多点観測例を抽出し、主に FD の振幅、回復時定数及び減少速度の変化を定量的に比較し、伝搬中の ICME 変化との対応関係を考察した。その結果、ICME の拡大進行、磁場強度減衰による FD 変化の距離依存性が見られた。また多点観測例の不足で、先行研究で不明瞭であった FD 最大減少率の距離依存性に関し、BepiColombo 等が得た新たなデータを用いて議論する。

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

M25b XRISM による太陽フレアの地球大気反射 X 線の観測

鈴木寛大 (ISAS/JAXA), 勝田哲 (埼玉大), 森浩二, 市川雄大, 倉嶋順 (宮崎大), 中嶋大 (関東学院大), Caroline A. Kilbourne (NASA/GSFC), 水野恒史 (広島大), 佐藤浩介 (埼玉大), and the XRISM Cal-IP Background team

現在、太陽活動が極大期に向かっているため、大規模なフレアが頻繁に起こっている。フレア時にはフレアループの元素組成や温度、電離状態を反映した元素の輝線 (e.g., 高階電離 Si, S, Fe) と熱制動放射が X 線で観測され、それらが地球大気に到達すると一部が反射されるほか、大気の蛍光 X 線 (中性 N, O, Ar) も放射される。2015 年まで運用された X 線天文衛星「すざく」は地球低軌道のため、観測時間の ~ 30% が地球に遮蔽された時間帯であった。昼地球 (地球の太陽に照らされた面) を観測している間に強い太陽フレア X 線が到達すると、大気での反射・蛍光スペクトルが観測でき、それが元素組成やプラズマ状態の制限につながった (Katsuda et al. 2020)。

2024 年 2 月から定常運用期に入った地球低軌道の X 線天文衛星 XRISM は「すざく」よりも大きな「有効面積 × 観測視野」 (@7 keV) をもつ CCD カメラ Xtend と精密分光撮像が可能なマイクロカロリメータ Resolve を搭載し、天体観測だけでなく太陽フレア X 線研究でも活躍が期待される。我々は XRISM の立ち上げ運用期も含め、約 7 ヶ月間に観測された太陽フレアの大気反射 X 線データに着目し、解析を進めている。X 線放射の明らかな増大が見られた時間帯は計 10 ks 以上となり、特に 2024 年 5 月 2 日–15 日の多数の M–X クラスのフレア群とよく同期していた。フレア時には精密分光器 Resolve によって中性 Ar に加えて S-, Ca-He α , Fe-K 輝線を鮮明に捉えることができ、CCD カメラ Xtend でも O-, Ne-, Mg-, Si-, S-He α , Fe-K 輝線などの非常に高統計なデータが得られた。以上の結果をもとに、本講演ではフレアループの元素組成やプラズマ状態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](#)

M26a SUNRISE-3 大気球太陽観測実験: 2024 年フライト結果

久保雅仁, 勝川 行雄, 川畑佑典 (国立天文台), 大場崇義 (MPS), 松本琢磨 (名古屋大学), 石川遼太郎 (核融合科学研究所), 清水敏文 (ISAS/JAXA), 原弘久, 浦口史寛, 都築俊宏, 篠田一也, 田村友範, 末松芳法 (国立天文台), 内藤由浩 (総合研究大学院大学), J. C. del Toro Iniesta, D. Orozco Suarez, M. Balaguer Jimenez (IAA), C. Quintero Noda (IAC), S. K. Solanki, A. Korpi-Lagg (MPS)

国際大気球実験 SUNRISE-3 は、口径 1m の光学望遠鏡を NASA の大型気球に搭載して、高度 35km 以上の大西洋上空をスウェーデンから約 5 日かけて飛翔させ、地上では難しい紫外線観測と大気ゆらぎの無い高解像度・高精度光学観測を連続的に実施する計画である。本年 6 月の再フライトに向けて 4 月から射場であるスウェーデン ESRANGE で飛翔前試験を実施している。日本が開発を主導した近赤外線偏光分光装置 SCIP では、画像データの一部 pixel の値がおかしくなるという問題が低頻度で起きていたが、カメラのドライバを改良することでこの問題を解決しフライトに向けて万全の状態となった。5 月に入ってドイツ MPS からリモートで運用を行うシステムに移行し、ゴンドラをクレーンで吊ってフライトを模擬した状態での太陽光試験やフライト適合試験を完了させた。新規導入した Starlink による衛星通信でもテレメトリ・コマンド通信ができることも実証できた。また、科学会議 (リハーサル) を何度か開催し、観測ターゲットを決定する枠組みを構築した。2022 年のフライト時と比べて太陽活動が活発になっており、磁気浮上領域やフレアなどの観測優先度を再考した。この中で、観測視野の狭い SUNRISE-3 でフレアトリガー領域を観測するために、フレア予測の手法 (HiFER、 κ スキーム) を取り込んだターゲット選定を試みている。5 月 19 日に正式に flight ready の状態になり何度か放球を試みたが、射場の気象条件が整わず、打ち上げの機会を待っている状態である。本講演ではフライト結果を速報する予定である。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

M27a ALMA による 100 GHz 太陽偏波観測

下条圭美 (国立天文台), Timothy S. Bastian (NRAO), 亀野誠二 (国立天文台, Joint ALMA Observatory), Antonio S. Hales (NRAO, Joint ALMA Observatory)

Atacama Large Millimeter/submillimeter Array (ALMA) は、様々な天体からのミリ波/サブミリ波を観測するために建設された電波干渉計であり、2016 年後半から Band3 受信機 (100 GHz) と Band6 受信機 (239 GHz) を使った太陽観測が行われている。その後、太陽観測用に様々な機能 (Band5 受信機 [198 GHz], Band7 受信機 [346 GHz], 最長基線 780 m @ 100 GHz, 単一鏡による高頻度狭視野観測) が追加されてきた。

黒点のような非常に強い磁場が存在する領域から放射されるミリ波では、弱い円偏波 (円偏波率: 1 ~ 2 %) の発生が R-MHD の数値計算により予想されている (Loukitcheva et al. 2017)。よって ALMA により秒角レベルの空間分解能を持った円偏波マップが得られれば、測定が難しい彩層磁場に新しい制限をつけることが可能である。このため、偏波観測は太陽研究コミュニティから最も渴望されていた機能であったが、これまで提供されていなかった。

2018 年、太陽以外を観測対象とした ALMA 円偏波観測の一般共同利用が始まった。翌年、この観測手法を基に太陽偏波観測の開発が開始され、2023 年後半から 100 GHz での太陽偏波観測が一般共同利用に提供されている。本発表では開発の経緯を紹介し、装置による偏波、特に “leakage” の影響と “beam squint” と呼ばれる斜視による影響を議論する。さらに試験観測時に得られた黒点のミリ波円偏波マップを紹介し、ALMA 太陽偏波観測データを扱うときの注意点も議論する。

Ref. Shimojo, Bastian, Kameno, and Hales (2024) *Solar Physics*, **299**, 20 [DOI: 10.1007/s11207-024-02265-3]

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

M28a ALPACA 実験8: 太陽からのコロナ質量放出 (2024 年 5 月 9 日 9 時 24 分 (UTC)) に伴う ALPAQUITA アレイで観測された宇宙線頻度変化

M. Anzorena (東大宇宙線研), D. Blanco (サン・アンドレス大), E. de la Fuente (グアダラハラ大), 後藤佳歩 (中部大工), 林優希 (信州大理工), 日比野欣也 (神奈川大工), 堀田直己 (宇都宮大), 今和泉銀河 (東大宇宙線研), A. Jimenez-Meza (グアダラハラ大), 片寄祐作 (横浜国大工), 加藤千尋 (信州大理), 加藤勢 (東大宇宙線研), 川島輝能 (東大宇宙線研), 川田和正 (東大宇宙線研), 小井辰巳 (中部大理工), 小島浩司 (中部大天文台), 横島拓音 (横浜国大工), 増田吉起 (信州大理), 松橋祥 (横浜国大工), 松本瑞生 (信州大理), R. Mayta (サン・アンドレス大), P. Miranda (サン・アンドレス大), 水野敦之 (東大宇宙線研), 宗像一起 (信州大理), 中村佳昭 (東大宇宙線研), C. Nina (サン・アンドレス大), 西澤正己 (国立情報学研), 野口遊瑚 (横浜国大工), 荻尾彰一 (東大宇宙線研), 大西宗博 (東大宇宙線研), 奥川創介 (横浜国大工), 大嶋晃敏 (中部大工, 中部大理工), M. Raljevic (サン・アンドレス大), H. Rivera (サン・アンドレス大), 齋藤敏治 (都立産業技術高専), 埴隆志 (東大宇宙線研), 佐古崇志 (長野工科短大情エレ), J. Salinas (サン・アンドレス大), 柴崎季哉 (日本大生産工), 柴田祥一 (中部大天文台), 塩見昌司 (日本大生産工), M. Subieta (サン・アンドレス大), 杉本布達 (東大宇宙線研), 田島典夫 (理研), 鷹野和紀子 (神奈川大工), 瀧田正人 (東大宇宙線研), 多米田裕一郎 (大阪電通大工), 田中公一 (広島市大情), R. Ticona (サン・アンドレス大), I. Toledano-Juarez (グアダラハラ大), 土屋晴文 (原子力機構), 常定芳基 (大阪公大理, 大阪公大南部研), 有働慈治 (神奈川大工), 碓井玲 (横浜国大工), R. I. Winkermann (サン・アンドレス大), 山岸元輝 (横浜国大工), 山崎勝也 (中部大理工), 横江諄衡 (東大宇宙線研) 他 The ALPACA Collaboration

11 年周期の太陽活動は 2024 年に太陽周期 25 の極大期に近づいており、過去 20 年間で最強の太陽嵐が起こった。そして 2024 年 5 月 9 日 9 時 24 分 (UTC) に地球に向かう大規模なコロナ質量放出 (CME) が発生した。ボリビアのアンデス高原 (標高 4,740 m) に設置された宇宙線観測装置 ALPAQUITA アレイ (1m² のプラスチックシンチレーション検出器 97 台を 15m 間隔に総面積約 18,000m² に配置) は、この CME に起因する宇宙線強度の変化を高い統計量で検出した。本講演では、その観測結果を報告する。

[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](#)

M29a 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 の観測初期成果

成影 典之 (国立天文台), 三石 郁之 (名古屋大学), 渡辺 伸, 坂尾 太郎 (宇宙航空研究開発機構), 高橋忠幸 (東京大学 Kavli IPMU), 長澤 俊作 (カリフォルニア大学バークレー校 SSL), 南 喬博 (東京大学), 佐藤 慶暉, 清水 里香, 廣瀬 維士 (総合研究大学院大学), 加島 颯太 (宇宙航空研究開発機構/関西学院大学), 作田 皓基, 安福 千貴, 藤井 隆登, 吉田 有佑, 馬場 萌花 (名古屋大学), 須崎 理恵 (東京農工大学), 草野 完也 (名古屋大学 ISEE), 伴場 由美 (情報通信研究機構), 金子 岳史 (新潟大学), 高棹真介 (大阪大学), Glesener Lindsay, Athanasios Pantazides (ミネソタ大学), FOXSI-4 チーム

日米共同・X 線観測ロケット実験 Focusing Optics X-ray Solar Imager の 4 回目の飛行計画である FOXSI-4 は、2024 年 4 月 17 日、米国・アラスカにて、規模 M1.6 のフレア発生とともに打ち上げられ、太陽フレアに対する X 線集光撮像分光観測 (0.5 keV~20 keV) に世界で初めて成功した。FOXSI-4 は 7 組の高精度 X 線ミラーと高速度 X 線カメラを用いて、太陽フレアから放出された X 線光子 1 個 1 個を計測した。これにより太陽フレア全領域を、空間・時間・エネルギー分解して調べることができる。軟 X 線領域 (10 keV まで) では、少なくとも 1000 万個以上の光子を検出しており、フレアプラズマの温度と密度の空間分布と時間発展が精査できる。硬 X 線領域 (20 keV まで) では、少なくとも 1 万個以上の光子が検出されており、高エネルギー電子の振る舞いが調査可能である。FOXSI-4 の打ち上げ (太陽フレア観測ロケットキャンペーン) では、太陽活動のリアルタイムモニタとフレア規模予測により、中規模以上のフレア発生直後にロケットを打ち上げる手法を確立した。本講演では、FOXSI-4 の観測初期成果とともに、フレアキャンペーンや他の観測装置との共同観測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](#)

M30a 太陽 X 線集光撮像分光観測ロケット実験 FOXSI-3 が観測したフィラメント噴出領域の詳細温度解析

廣瀬 維士 (総合研究大学院大学), 成影 典之 (国立天文台), 石川 真之介 (立教大学), FOXSI-3 team

FOXSI-3 は 2018 年 9 月 7 日に打ち上げられた太陽 X 線観測ロケット実験である。太陽観測衛星ひのでに搭載されている X 線望遠鏡などの既存の X 線撮像装置と異なり、X 線での集光撮像分光観測を世界で初めて実現した。そのため、空間・時間分解されたスペクトル情報から各構造における詳細な温度診断を行うことができる。FOXSI-3 は、減衰期の活動領域や静穏領域、そしてフィラメント噴出が起きて数時間後の静穏領域を観測した。スペクトル解析の結果、フィラメント噴出領域の周辺の温度は別の場所にある静穏領域や減衰期の活動領域よりも高いということがわかった。また、SDO/AIA のデータを用いて DEM 解析を行ったところ、フィラメントの噴出から約 3 時間かけて 100 万 K 以下の emission measure が減少していた。一方で、100-300 万 K の emission measure は約 7 時間をかけて緩やかに増加し続けたことが確認できた。このことは、フィラメント噴出によって噴出領域周辺で加熱が起こっていることを示唆している。今回のフィラメント噴出は決して派手なイベントではなかったが、顕著な加熱が確認でき、コロナのエナジェティクスの観点からも興味深い現象になっている。本講演では、FOXSI-3 や SDO/AIA のデータを用いて詳細な温度診断を行い、その領域の温度構造ならびに加熱機構について議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

M31a 太陽フレアにおけるプラズモイド不安定型リコネクションの観測的検証

広瀬暖菜, 今田晋亮 (東京大学)

磁気リコネクションとは、磁力線の繋ぎ変えにより、磁場のエネルギーがプラズマの運動エネルギーや熱エネルギーに変換される物理過程である。太陽コロナで発生する爆発現象である太陽フレアも、磁気リコネクションによって駆動されると考えられている。

MHD における高速リコネクションのモデルには、スローモード衝撃波を伴った平衡に近いペチェック型の磁気リコネクションモデルと、多数のプラズモイドを伴って非定常に生じるプラズモイド不安定型の磁気リコネクションモデルの 2 つがあるが、太陽コロナではどちらのタイプのリコネクションが生じるか明らかになっていない。そのうちプラズモイド不安定型のリコネクションでは、プラズモイドの運動が全体のダイナミクスを変えることでリコネクションレートが上がると考えられている。しかし、プラズモイド不安定な構造が紫外線撮像観測で見られた例は現状ほとんど存在せず、リムフレアについては 2010 年 8 月 18 日の太陽フレア (Takasao et al., 2012) の一例のみであり、十分な観測研究が行われているとは言えない状況である。したがって、このフレアで実際にプラズモイド不安定型のリコネクションが起きているか否かを検証すること、および他のフレアとインフロー領域での速度場を比較することは重要である。

前回の発表 (2024 年天文学会春季年会 M10a) では、Fourier Local Correlation Tracking Method (FLCT 法) (Fisher & Welsch, 2008) を用いて、2010 年 8 月 18 日のフレアのカレントシート領域で速度場を求め、カレントシート上に複数のインフローが存在していることを確認した。今回の発表では、インフロー速度の空間的・時間的な変化について報告し、プラズモイドの発達とリコネクションレートの関係を議論する。

[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](#)

M32a 連結階層シミュレーションを用いたカレントシートの微視的不安定性の検証

芥川慧大, 今田晋亮 (東京大学)

磁気リコネクションは、磁力線が繋ぎ変わることで磁気エネルギーをプラズマのエネルギーに変換する現象であり、太陽フレアを駆動する物理過程だと考えられている。太陽コロナのような殆ど無衝突なプラズマ中での磁気リコネクションは、運動論スケールの物理が重要であると考えられるが、太陽フレアのような大きなスケールの現象を理解するには電磁流体 (MHD) シミュレーションを用いる研究が主流である。ペチェック型リコネクションとプラズモイド不安定型リコネクションが代表的なモデルであるが、MHD シミュレーションでは抵抗を人為的に与えるため、両者を区別する要因を明らかにできない。そこで本研究では、太陽フレアにおける上記モデルの理解を進めるため、運動論効果を取り入れた連結階層シミュレーションによるアプローチを試みる (T. Sugiyama & K. Kusano 2007, S. Usami et al. 2013)。本講演では、1 次元と 2 次元の連結階層シミュレーションの結果を紹介する。

本研究では、運動論が効かないような厚いカレントシート ($O(10^{1-2})$ イオン慣性長) を用意し、外側から Poynting flux を与えてカレントシートを薄くさせたときに、運動論効果を含んだ連結階層シミュレーションと理想 MHD シミュレーションでどのように異なるかを調べた。その結果、1 次元では磁場強度やカレントシートの厚みが理想 MHD の結果と殆ど変わらないことが分かった。一方で、2 次元の場合はカレントシートの厚みがイオン慣性長程度になるとテアリングモードに対して不安定であることから、テアリング不安定が生じない理想 MHD とは異なる結果が得られた。本講演では、以上の結果の詳細を説明すると共に、連結階層シミュレーションによるアプローチ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](#)

M33a コロナ質量放出 (CMEs) に伴うプラズマ流温度・速度の高度依存性

平岡勇人, 今田晋亮 (東京大学)

太陽フレアに伴うコロナ質量放出 (CMEs) は太陽地球環境に多大な影響を与え、磁気嵐等を引き起こし、人間社会にもさまざまな影響を与える。CMEs によって放出される質量は、フレア・CMEs の本体だけでなく周辺のコロナ領域からも質量供給されることが議論されており、観測的には減光 (Dimming) 領域として知られている。先行研究 (Imada et al. 2007, 2011) では Dimming 領域において低温プラズマは低速で高温プラズマは高速で運動する、温度依存のある上昇流が観測された。この温度の違いによる速度の違いはプラズマの高度方向の違いによるものと解釈され、加熱・加速の高さ方向の議論がなされた。この観測は太陽中心近くの観測のため、視線方向の速度成分という観点では非常に高精度の観測となっているのだが、一方で視線方向に高さ構造が重なるため高さ方向に速度が変化しているかを仮定せずに議論することは難しい。そこで、本研究では太陽縁近くで起こった 2006 年 12 月 6 日 X6.5 フレアについて、「ひので」に搭載されている極端紫外線分光装置 (EIS) による複数波長での速度 (ドップラーシフト) と高さの関係に関して解析を行なった。結果、確かに上昇流の位置が温度ごとに異なっており、光球から高さ方向に離れるにつれて加熱・加速されていることがわかった。本研究は加熱・加速の高度プロファイルに制約を与えるものであり、CMEs への質量供給の物理メカニズムにインパクトを与えるものである。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

M34a Pseudostreamer の 1 次元数値シミュレーションと経験則の構築

戸頃響吾, 庄田宗人, 今田晋亮 (東京大学)

人類の活動する地球周辺の宇宙空間には太陽からの超音速プラズマ流である太陽風が絶えず吹き付け、時には人工衛星や通信、電力インフラなど社会システムに混乱を生じさせることすらある。その被害を抑えるために現在運用されている宇宙天気予報モデルとして、情報通信研究機構の SUSANOO モデルがある。このモデルでは Wang-Sheeley が提唱した経験則 (Wang & Sheeley 1990 ; Arge & Pizzo 2000) を用いて太陽中心から 25 太陽半径における太陽風速度を算出し、その外側については磁気流体 (MHD) 方程式を解いている (Shiota et al. 2014)。Wang-Sheeley モデルでは、開いた磁束管の断面積がコロナ底部から単に r^2 に比例して拡大した場合に比べ、惑星間空間においてどの程度広いか (expansion factor) を特徴量として太陽風速度を定式化する。この経験則はコロナホールの比較的磁場構造が単純な領域では有効であるものの、pseudostreamer という同一の磁気極性を持ったコロナホールの狭間の領域では太陽風速度を過大評価してしまうことが示唆されている (Riley et al. 2016)。これは pseudostreamer の磁束管が非単調な分布を持つためと考えられる。つまり、pseudostreamer が出現するたびに SUSANOO をはじめとする宇宙天気モデルは精度が一気に悪化する危険がある。

そこで本研究では pseudostreamer にも精度の良い新しい太陽風速度経験則を目指す。pseudostreamer の非単調な拡大による効果を考慮すべく、磁束管の形状が単調な場合と非単調な場合に分けて形状のパラメータを変化させ一次元太陽風 MHD 数値計算を行った。その結果、非単調拡大により速度が最大数百 km/s 低く、密度が約 3 倍高く、温度が約半分まで低くなった。これは pseudostreamer からの太陽風は速度が比較的低いという観測結果と整合的である。またパラメータの変化による応答を分析し新たな太陽風速度経験則についても提案を行う。

[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](#)

M35a 活動領域の端で観測されるプラズマ上昇流と低速太陽風の関係

森島啓太, 岩井一正, 藤木謙一 (名古屋大学)

太陽風は太陽から吹き出す超音速のプラズマ流であり、高速太陽風 (>500 km/s) と低速太陽風 (<500 km/s) に大別される。高速太陽風の流源は極域のコロナホールであるという理解が進んでいる一方で、低速太陽風の流源は様々な仮説が提唱されており未だに解明されていない。その中で、活動領域の端で観測されるプラズマの上昇流 (upflow) が低速太陽風の流源として有力視されているが、その場観測から upflow が低速太陽風の流源として特定された例は限られている (e.g. D. Baker et al., 2023)。また、低速太陽風の加速機構についても様々な仮説が提唱されている (e.g. L. Abbo et al., 2016)。そこで本研究では、1) upflow が低速太陽風の流源となり得るかを検証すること、2) 低速太陽風の加速機構を理解することを目的として以下の解析を行った。

まず目的 1 に対して、Hinode 衛星に搭載されている極端紫外線撮像分光装置 (EIS) による観測、ポテンシャル磁場流源面 (PFSS) モデル、惑星間空間シンチレーション観測を用いて 31 の活動領域で観測される upflow を解析した。EIS の Fe XIII(202.04 Å) 輝線から計算されるドップラー速度を用いて upflow を抽出した結果、PFSS モデルで計算される磁力線を介して 9 領域の upflow が低速太陽風へ接続することが明らかとなった。この結果は、一部の upflow が低速太陽風の流源になり得ることを示唆している。続いて目的 2 に対して、Fe XIII(202.04 Å) 輝線から計算される非熱的速度と太陽風速度の関係を調べた。ここで、非熱的速度は観測で分解不可能な時空間スケールの波動や乱流等に起因することが示唆されている。前述した低速太陽風の流源になり得る upflow 領域内の非熱的速度と太陽風速度の関係を調べた結果、両者に正の相関関係 (相関係数: 0.54) が得られた。この結果は、波動や乱流等によってコロナへ輸送されるエネルギーが低速太陽風を加速す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](#)

M36a 3次元輻射磁気流体計算による多様な太陽風の再現実験

飯島陽久 (名古屋大学)、塩田大幸 (情報通信研究機構)、堀田英之 (名古屋大学)

太陽風は観測される時間や場所により多様性を示し、太陽風速度、プラズマ密度・温度、アルフベン波擾乱の強度、時間変動性、元素組成など様々な観点に基づいて分類される。代表例は高速風と低速風という区分で、これら異なる速度を持つ太陽風は惑星間空間における相互作用の結果生じる構造を通して、時に惑星磁気擾乱の発生源となる。太陽風が周辺宇宙環境に与える影響を理解・予測するためには、太陽風の多様性がどのような条件や仕組みで発生するのかを解明することが不可欠である。

本研究では、現状可能な限り経験則を排除した太陽風計算手法である 3次元輻射磁気流体モデルを活用し、そのパラメータサーベイを通して太陽風の多様性が生まれる起源を探ろうとしている。1 ケースごとの計算領域は水平 $70 \times 70 \text{ Mm}^2$ 、太陽内部の深さ 20 Mm から太陽風加速がおおよそ完了する上空 20 太陽半径までとし、16 ケースの計算を行った。太陽の全球スケール磁場構造や太陽表層の局所ダイナモ強度に関する 4次元のパラメータ空間を、ラテン超方格を活用してなるべく一様に充填した。その結果、300 km/s を下回る低速風から 500 km/s を上回る高速風まで幅広い速度・密度の多様性を示すデータセットが得られた。発表ではこのパラメータ調査に関する初期成果を報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

M37a 非線形過程に注目した円偏光アルフベン波の減衰不安定性に関する数値研究

鈴木嘉也, 飯島陽久, 草野完也 (名古屋大学)

太陽風とは太陽コロナから噴き出す超音速のプラズマの流れであり、その速度分布は噴き出す領域や活動時期によって異なることが知られている。太陽風を加速するためのエネルギーを運ぶ手段として考えられているのが光球からコロナへ磁力線に沿って伝播するアルフベン波である。アルフベン波は光球表面の運動エネルギーを上空へ輸送し、コロナ中で散逸して加熱と太陽風の加速へとエネルギーを変換する役割を担う。太陽風の速度を決定すると考えられているのは太陽風が加速される高度であり、すなわちアルフベン波の散逸率が太陽風速度を左右すると言える。アルフベン波の散逸過程については、線形過程はよく調べられており飽和過程も数値計算では調べられているが、太陽風形成の定量的な議論のためには散逸量が決まる条件を調べるのが重要だと考えている。

そこで我々はいくつかある散逸過程のうち減衰不安定性に注目して、1.5 次元等温 MHD シミュレーションを用いて解析している。前回 (2024 年春季年会) の発表では減衰不安定の線形成長率と非線形段階での散逸量の間に似たパラメータ依存性があることを報告した。今回はより詳しく散逸メカニズムを理解するために減衰不安定性の固有関数の解析を行ったので、そ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](#)

M38a 活動領域磁場拡散に伴う太陽黒点周りのオープンフラックスの発展

吉田南 (東京大学, ISAS/JAXA), 清水敏文, 鳥海森 (ISAS/JAXA), 飯島陽久 (名古屋大学)

太陽から延びる開いた磁場 (オープンフラックス) は、太陽圏へと広がり惑星間空間磁場 (IMF) を作り出している。太陽磁場と IMF の包括的な構造を理解することは、太陽から地球近傍へ影響を及ぼす宇宙天気や太陽風の背景磁場として重要である。しかし、観測された太陽磁場から地球近傍の IMF を正しく推定することができないオープンフラックス問題 (Linker et al., 2023) に代表されるように、その理解は不十分である。これまで極域磁場から延びるオープンフラックスが注目されてきたが、Yoshida et al. (2023) は太陽磁場の成分を分解することで、低緯度から伸びるオープンフラックスが IMF を急激に増加させていることを示唆した。また、低緯度の活動領域の縁では、低速太陽風に接続すると考えられるアウトフローが観測されてきた。太陽から惑星間空間への磁場や太陽風の発展を理解するには、低緯度に着目して活動領域周りのオープンフラックスの発展を調査すべきである。

実際の観測では各活動領域でどのようにオープンフラックスが時間発展するのか切り分けることが難しいため、本研究では単純なモデルとシミュレーションを用いる。まず、双極型黒点を複数配置したマグネットグラムを Surface flux transport モデルに入力して拡散させる。次に、得られた光球磁場マップと Potential field source surface モデルを用いてコロナ磁場を外挿し、オープンフラックスと光球磁場における足元の時間発展を追跡する。その結果、磁場拡散に伴って、双極型黒点の前方と後方にオープンフラックスの足元領域が広がり、オープンフラックス、特に赤道方向双極子磁場成分は数ヶ月かけて徐々に増加することがわかった。オープンフラックスの足元が広がることによって、大局的な磁場構造が作られ、source surface に到達した磁場がオープンフラックスになると考えられる。観測結果に適用することで、太陽低緯度から惑星間空間へ繋がる構造の詳細な理解が期待される。

[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](#)

M39a 太陽極域におけるリム付近での平均磁束密度の過小評価について

藤森愛梨沙 (東京大学), 勝川行雄, 久保雅仁 (国立天文台)

「ひので」衛星に搭載された SOT/SP は高い空間分解能を持ち、高精度ベクトル磁場観測によってこれまで見えなかった極域の小さな磁場構造が捉えられるようになった。しかし、Petrie(2017) では「ひので」の極域データから高緯度領域で平均磁束密度の減少が示されており、導出された極域磁場の精度検証が必要である。我々は、名古屋大学 ISEE で公開されている「ひので」衛星の極域磁場観測 (HOP206) データベースを用いて、極域の平均磁束密度がリムからの距離に依存して減少する結果を得た (2024 年春季年会 M34a)。平均磁束密度は filling factor f 、磁場強度 B 、 $\cos \gamma$ (γ : 太陽表面に対する磁場の傾き角) の積の空間平均である。 fB の空間平均に距離依存性がないことがわかったので、 γ の距離依存性を検証した。観測から直接導出されるのは視線方向に対する磁場の傾き角であり、平均磁束密度の導出に必要な γ は、磁場方位角の 180° 不定性を解いて導出する。Ito et al. (2010) では磁場の傾き角を鉛直・水平とその中間の 3 つに分類している。 180° 不定性による 2 つの解について、共に鉛直 (水平) ならより鉛直 (水平) な解を、一方が鉛直 (水平) でもう一方が中間なら鉛直 (水平) な解を選択し、共に中間もしくは一方が鉛直 (水平) でもう一方が水平 (鉛直) なら選択不可としてそのピクセルの $\cos \gamma$ を 0 にしている。リム付近での平均磁束密度の過小評価の主要因が 2 つあることがわかった。1 つは Ito et al.(2010) の方法で 180° 不定性が解けていない領域の増加で、2 つ目は極域の主要な磁場極性と逆極性として選択される領域の増加である。極性反転が完了した後の 2016 年から 2021 年のどのデータでも同じ傾向が見られた。本講演では、リム付近で Ito et al. (2010) による 180° 不定性解法の傾向が変わる原因について観測されたストークスプロファイルを用いて議論する。

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

M40a 現実的な太陽浮上磁場計算における初期ねじれ強度に対する依存性の調査

鳥海森 (宇宙航空研究開発機構), 堀田英之, 草野完也 (名古屋大学)

太陽対流層内部からの磁束浮上は、活動領域の形成やジェット・フレア・コロナ質量放出の引き金となるなど、多くの磁気活動現象において重要な役割を果たす。これまで講演者らは、輻射磁気流体力学コード R2D2 を用いて現実的な熱対流を考慮した浮上磁場シミュレーションを行い、黒点磁場やフレアを生じやすいデルタ型黒点の形成過程において、磁場と熱対流との相互作用が大きく影響することを明らかにした。本研究の目的は、活動領域形成における、浮上磁場のねじれ強度に対する依存性の調査である。そこで、対流層の深さ 22 Mm に静置された水平磁束管について、背景対流を固定したまま、ねじれ強度のみを $q/q_{cr} = 0$ から ± 2 まで変化させた。ここで、 q_{cr} はキンク不安定性の臨界値である。その結果、(1) 磁束管は、初期ねじれ強度に関わらず、いずれも上昇流に押し上げられ、光球に到達して黒点を形成した。しかし、(2) ねじれが弱すぎる場合 ($|q/q_{cr}| \sim 0$) は、磁束は浮上直後から拡散を開始し、コヒーレントな黒点としては長く保持されなかった。また、(3) 光球で測定された磁場のねじれ度 $\alpha_{av} = \langle [\nabla \times \mathbf{B}]_z / B_z \rangle$ は、実際の太陽観測値と同程度であること、(4) ねじれの無い磁束管 ($q/q_{cr} = 0$) であっても、背景対流が浮上磁場にヘリシティを印加するため、有限の磁気ヘリシティ H_R が光球から上空へ注入されることが分かった。しかし、(5) 光球において、磁束量で規格化した磁気ヘリシティ H_R/Φ^2 を測定すると、初期ねじれ強度がキンク不安定臨界値の半分以上である場合 ($|q/q_{cr}| \gtrsim 0.5$)、測定値は太陽観測値をひと桁以上上回っていた。このことは、フレア活動領域の形成シナリオとして、キンク不安定性を仮定することが妥当ではない可能性を示唆している。太陽活動の活発化に伴って太陽フレアの観測量が増大する中、数値シミュレーションとの組み合わせにより、フレア活動領域形成過程の解明が進展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](#)

M41a 熱対流を含めた太陽対流層内での磁束管浮上のシミュレーション研究

吉川航輝, 堀田英之 (名古屋大学)

2 次元の磁束管浮上シミュレーションを熱対流のある状況で行い、磁束管のねじれとその浮上の関係について調べた。黒点は対流層の底で生成された磁束管が光球面まで浮上した結果と考えられている。これまでの磁束管が浮上する過程についてのシミュレーション研究により、磁束管が壊れずに上昇するにはある一定のねじれが必要であり、ねじれが大きいほど上部に到達した際の磁束量が大きくなることが知られている (Moreno-Insertis & Emonet, 1996)。磁束浮上に熱対流の効果が重要なことは、これまでに多くの研究で指摘されているが、ねじれと熱対流の関係についての包括的なパラメータサーベイはされていない。そこで本研究では、対流層内での磁束管の挙動を明らかにすることを目的とし、熱対流を含めた磁束管浮上の 2 次元でのシミュレーション研究を行った。熱対流がある場合、同じねじれでも上部境界に到達する場合としない場合がある。上部境界に到達する条件を知るために初期位置のみを変更した計算を行い、浮上に適した位置を特定した。次に、特定した初期位置でねじれのみを変更し計算を行った。同じ初期条件での熱対流が無い場合と比べ、熱対流がある場合は上部境界に到達した際に残存する磁束量は低くなる傾向があることが分かった。また熱対流がある場合、ねじれを大きくした結果、上部境界に到達しないケースがあることも発見した。熱対流がある場合の浮上磁場は、ねじれに対して単調な依存性を示さないもので、一つ一つのケースを丁寧に解析する必要がある。

[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](#)

M42a On sunspot penumbra and Evershed flow: II. Analysis and interpretation

Hideyuki Hotta (Nagoya University), Matthias Rempel (HAO/NSF NCAR)

We analyzed our high-resolution sunspot simulation in which the penumbra and the Evershed flow are reproduced and investigated the physical origin of these phenomena. As shown in our previous presentation in the ASJ meeting 2024 Spring (M38a), we reproduced the penumbra and Evershed flow in the high-resolution sunspot simulation with 6 km grid spacing. Earlier simulations that reproduced penumbra and Evershed flows required setups that imposed a strongly inclined (i.e. non-potential) magnetic field at the top boundary. Our work demonstrates that such inclined field is not necessary once the resolution is high enough. We analyzed the simulation result and understood the physical reason why we can reproduce these in the high-resolution simulation. The primary physical mechanism to accelerate the Evershed flow is almost identical to previous works (Rempel, 2011, 2012). The Lorentz force redirects upflows and leads to the Evershed flows. An essential difference in the different resolutions is the upflow structure in penumbral regions. In the high-resolution simulation small-scale elongated fast upflows exist that provide significant mass to the Evershed flow. These upflows can only be properly resolved in high-resolution simulations and consequently the Evershed flow is only present at higher resolution as well. The reproduced upflow structure is small (<100 km), and DKIST will help understand the sunspot fine-scale structure dynamics.

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

M43a 機械学習を用いた太陽内部推定手法の日震学との比較

正木寛之 (千葉大学), 堀田英之 (名古屋大学)

太陽対流層の内部での流れ場を推定するために、機械学習と数値シミュレーションを用いて開発した手法について日震学との比較を行なった。太陽内部の熱対流構造は表面で発生する様々な現象と関連しており、熱対流の3次元構造を知ることは重要な意味を持つ。そのため太陽を観測するための多くのプロジェクトが存在するが、それらは太陽表面からの光を観測するため、内部の状況を直接知ることができない。太陽内部を通過する波を解析することで、太陽内部の状況を調査する日震学と呼ばれる手法が存在する。しかし、日震学は振動の解析を行う都合上、短い時間間隔で長時間の観測データを取り扱う必要があり、データ解析の計算コストも大きい。また、一定時間の波を解析するため、得られた結果は時間平均的なものになる。一方、数値シミュレーションであれば、太陽の3次元熱対流構造を詳細に再現することが可能である。ただし、これは現在の太陽の状況と直接対応している訳ではなく現在の太陽の3次元構造を直接知ることとはできない。

そこで本研究では輻射磁気流体シミュレーションを用いて作成した、太陽表面の熱対流構造および衛星観測を再現したデータを用いて AI の学習を行い、太陽表面の放射強度、視線方向速度場、視線方向磁場から特定の高さでの上昇流の速さを推定する手法の開発を行い、昨年、その推定結果についての発表を行なっている (2023 年秋季年会 M08a)。ここで行なった評価はシミュレーションをもとになされたもので、シミュレーションが正しいという仮定での評価である。今回、シミュレーションデータおよび観測データの両方を用いて日震学の結果と比較することで、本研究で開発した機械学習による手法についての性能および、手法の正当性について検討する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

M44a 非線形平均場ダイナモモデルによる太陽型星磁場生成の自転率依存性の解析

畠田遼太, 横山央明 (京都大学)

太陽型星の表面の磁場と回転速度の関係について調査した。先行研究 (Wright et al. 2011, 2018) により、恒星活動と回転速度の関連が示唆され、Reiners (2022) による最近の観測では、表面磁場においても同様の傾向が指摘された。観測結果は、極めて低いロスビー数 ($Ro < 0.1$) では恒星の表面磁場強度が飽和することを示唆している。ここで、ロスビー数 (Ro) は、恒星の自転周期の対流時間スケールに対する比率で定義される。極めて低い Ro での飽和現象は現在の全球 MHD 計算の範囲を超えており、その駆動メカニズムは不明である。本講演では、Rempel (2006) によって開発された太陽での非線形平均場ダイナモモデルを拡張した計算結果を報告する。結果として、対流層の底での磁場強度の恒星の自転率および、平均場モデルにおいて仮定される乱流角運動量輸送に対する依存性が明らかとなった。解析の結果、この依存性が乱流による角運動量輸送と大規模磁場による角運動量輸送のバランスによって決定されることを特定した。この結果は、低 Ro における乱流特性 (Kapyla 2024) と合わせることで、極めて低いロスビー数において乱流角運動量輸送が非効率となることで対流層内の磁場強度が飽和す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](#)

M45a 太陽大気中の磁束管における電磁運動量保存則

柴崎清登 (太陽物理学研究所)

太陽大気中にはいたるところに磁場が存在する。そのうち特定の磁力線の束 (磁束管) にはプラズマが満たされており、プラズマ中の原子が放射する電磁波を観測することによって磁束管の形状や運動を知ることができる。プラズマを含んだ磁束管およびその中のプラズマの運動を理解するには、プラズマと電磁場の相互作用を知る必要がある。プラズマと電磁場の相互作用は主にローレンツ力 (電流×磁場) による。これが有限であるためには、電流は磁場に直交する成分を持つ必要がある (非フォースフリー磁場)。磁場に直交する電流としては、ドリフト電流や磁化電流である。太陽大気中のプラズマは熱運動によって磁気モーメントを有するので、磁化電流が流れる。磁気モーメントの方向はまわりの磁場と逆向きで、大きさはプラズマのガス圧/磁場強度である。つまりプラズマは非線形の反磁性流体としてとらえる必要がある。非線形の磁性流体中のマクスウェル方程式は線形物質中のマクスウェル方程式とは異なり、物質の透磁率を利用することができない。そこで磁気モーメントを残したままのマクスウェル方程式を用い、それから電磁エネルギーの保存則および電磁運動量保存則を導き、それを磁束管に適用する。これによって磁束管に働く電磁力やその中のプラズマに働く力を求め、太陽大気中の磁束管の運動やその中のプラズマの運動を議論する。磁気モーメントを加えることによって太陽大気中のさまざまな現象を説明することができる。なお、現在の磁気流体力学 (MHD) には磁気モーメントは含まれておらず、なぜそのようなになっているのかの理由についても考察する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

N01a Tomo-e Gozen による T Tauri 型星の短時間変動の検出

根津正大, 新納悠, 小林尚人 (東京大学), 他 Tomo-e Gozen チームメンバー

”Tomo-e Gozen”は、東京大学本曾観測所の105cmシュミット望遠鏡に搭載されたCMOSカメラにより、広視野 ($\sim 20 \text{ deg}^2$) を高速 (最大 2 fps) で動画撮像できる可視光観測システムである。Tタウリ型星は、活発な磁場活動による表面の巨大な黒点の見え方が星の自転によって変化することや、星表面におけるフレア、そして降着円盤からの質量降着といった現象により、可視光領域において数時間～数日のタイムスケールで大きな変動を示すことが知られているが、秒～分スケールの変動については、ほとんど調べられていない。そこで本研究では Tomo-e Gozen の特徴を活かし、広がった星形成領域中の複数の T タウリ型星についてモニタリング観測を行い、短いタイムスケールの変動について統計的な議論を試みた。

2023 年 11 月に行った近傍分子雲 MBM12 中の 7 つの T タウリ型星に対する試験観測では、16 の短時間変動現象の候補を検出した。解析手法が未だ洗練されておらず、また変動現象候補の数も少なく統計的な議論も難しいため、検出された変動すべてがリアルであるとは言えないが、フレアによる変動と仮定すると立ち上がり時間 1-100 s 程度、エネルギー 10^{32-34} erg 程度であると見積もることができた。この観測により、T タウリ型星では、短いタイムスケールでも、太陽や M 型星のものよりエネルギーが数桁大きいフレアが起きている可能性が示唆された。

本講演では、2024 年 1 月に観測した Taurus 星形成領域中の 80 個近くの T タウリ型星のデータ解析の進捗状況にも触れ、今後の解析の課題や展望について述べる。

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

N02a TriCCS 分光モードを用いた恒星フレアの高速分光観測

前原裕之 (国立天文台), 野津湧太 (コロラド大学), Adam F. Kowalski (コロラド大学), 行方宏介 (京都大学), 前田啓一 (京都大学), 他 TriCCS チーム

太陽/恒星フレアは黒点付近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現象であると考えられている。フレアにおける可視連続光の増光 (白色光フレア) は、有効温度 (T_{eff}) が 8000-10000 K 程度の黒体放射に近い SED を示すことが知られており (e.g., Hawley & Fisher 1992)、多くの研究でフレアの連続光放射のエネルギーを求める際に $T_{\text{eff}} \sim 10000 \text{ K}$ の黒体放射であるという仮定が用いられている。しかし、多数のフレアの可視 2 バンドでの測光観測の結果 (Howard et al. 2020) によると、フレア成分の有効温度はエネルギーが大きくかつピーク光度と減光時間の比率が大きい (振幅が大きく継続時間の短い) フレアほど高い傾向にあること、また、フレア成分の有効温度はフレアのピークで最も高く減光とともに低下することが示唆された。

フレアの連続光成分のスペクトルのフレア中の変化を詳細に調べるため、せいめい望遠鏡と TriCCS を用いてフレア星と近傍の参照星を同時に分光し、フレアの可視光域の放射強度較正されたスペクトルを高時間分解能で取得する観測を行ったので、その結果を紹介する。我々は M 型フレア星 CR Dra の分光観測を 2024 年 3 月と 5 月に行い、5 月 17 日に発生したフレアについて、フレア開始からピーク付近は観測できなかったものの、ピーク後の B-band で静穏時よりも ~ 1 等級明るい段階から、減光し元の明るさに戻るまでのスペクトルを時間分解能 5 秒で取得することに成功した。得られた放射強度較正されたスペクトルを用い、黒体放射を仮定してフレア成分の有効温度を見積もると、減光初期には $T_{\text{eff}} \sim 20000 \text{ K}$ であったが、その 20 分後には $T_{\text{eff}} \sim 8000 \text{ K}$ まで低下したことが分かった。講演では相対分光で得られる flux の精度や今後の展望についても紹介する。

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

N03a 測光分光同時観測で迫る M 型星フレア可視連続光の短時間での時間発展

市原晋之介 (京都大学), 野上大作 (京都大学), 前原裕之 (国立天文台), 行方宏介 (京都大学), 野津湧太 (コロラド大学), 柴田一成 (同志社大学), 本田敏志 (兵庫県立大学), 幾田佳 (東京大学)

太陽フレアのエネルギーは 10^{29-32} erg 程度だが、低温 M 型星などでは 10^{33} erg を超える「スーパーフレア」が頻繁に発生する。恒星フレアに伴う紫外線は周囲の系外惑星の化学進化に影響を与えるため、その放射量の観測が期待されている。さらに、紫外線から可視光に至る連続光放射は放射エネルギーの大部分を解放すると考えられており、恒星フレアのエネルギー収支の観点でも重要だが、その放射機構は未解明である。先行研究では、恒星フレアの多色測光観測から、黒体放射近似による放射温度の推定が行われてきた (Hawley & Fisher 1992)。特に、近年の高時間分解能の多色測光により、分スケールでの放射温度変化が示され、温度変化は極めて激しいことが示唆されている (Howard et al. 2020)。しかし、多色測光では連続光と輝線の分解ができないため、放射機構の解明には至らない。短時間で変化する連続光の放射機構に迫るためには、高い時間分解能で連続光と輝線を分離する「分光」観測が必要だが、数例の報告例しかない (Kowalski et al. 2013, Fuhrmeister et al. 2008)。

そこで我々は、京大せいめい望遠鏡の広波長域面分光装置 (410-850 nm) と TESS 衛星 (600-1,000 nm) を用い、磁気活動が高い M 型星 EV Lac (年齢 $3 \times 10^8 \text{ yr}$ 、自転周期 4.3 日) を対象に 1-2 分の時間分解能で同時測光・分光観測を行った。その結果、2019 年 9 月 14 日に 10^{33} erg 級のスーパーフレアを検出することに成功した。スペクトル解析の結果、フレアピーク時の連続光スペクトルは約 10,000 K の黒体放射でうまくフィットできることが分かった。この結果は、ピーク時には光学的に厚い高温プラズマが形成されていたことを示唆する。本講演では、これらの時間変化に加え、その物理的解釈を議論し、更に今後の展望を述べる。

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

N04a XMM-Newton を用いた A 型主系列星の系統的 X 線分光/測光解析 (2)

中澤皓太, 三石郁之 (名古屋大), 山下真依 (ISAS/JAXA), 徳野鷹人 (東京大)

恒星活動による X 線放射は惑星を含めた周辺環境に大きな影響を与えるため、その理解が重要となる。これらの X 線放射機構は星の質量に依存し、例えば O/B 型星では自身の輻射圧により駆動された強烈な恒星風に起因する衝撃波等であり、太陽をはじめとする F(晩期)/G/K/M 型星ではダイナモ作用により生じた磁場と考えられている。一方、これらの中間となる A 型星においても X 線放射が観測されているが、その X 線放射機構は未だに分かっていない。この中で我々は、A 型星に着目し、A 型主系列星に対する系統的な X 線分光解析を実施し、放射量度と温度の関係性が、単独 G/F 型主系列星で見られた観測的特徴と明確には一部のサンプルが一致しないことを明らかにした (2023 年秋季年会 中澤他)。

そこで我々はさらに多様なサンプルの追加を試み、大規模な近傍星カタログと X 線天文衛星 ROSAT による全天観測データを加えた。これらのサンプルを含め、光子統計数が 100 cts 以上、カタログにて時間変動が無しと分類されている等の選定条件を加え、最終的に高品質な 11 天体を選定し、1 天体を分光解析、10 天体を測光解析によって温度と光度を推定した。さらに、カタログにて時間変動を示している 1 天体についても分光解析を行った。その結果、温度 0.1-1.1 keV、放射量度 $2 \times 10^{50} - 1 \times 10^{56} \text{ cm}^{-3}$ 、X 線光度 $1 \times 10^{27} - 1 \times 10^{31} \text{ erg/s}$ となった。この結果に 2023 年秋季年会の解析結果を加えて温度と放射量度の関係に着目すると、両者に明確な正の相関がないことが分かった。本講演では晩期型星や早期型星との共通点と差異や、フレア中の温度・EM・吸収の時間進化にも触れ、解析結果の詳細を述べる。

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

N05a XRISM and CHAO observations of HR1099

Nagisa Nagashima, Yohko Tsuboi, Yukiko Ishihara, Haruka Sugai (Chuo Univ.), Miki Kurihara, Masahiro Tsujimoto, Yoshitomo Maeda (JAXA/ISAS), Michael Loewenstein (GSFC, Univ. of Maryland), and XRISM HR1099 team

HR 1099 (V711 Tau) is one of the most active RS Canum Venaticorum binaries with orbital period of 2.8377 days, and has been extensively studied with various wavelengths. It is a non-eclipsing, double-lined spectroscopic binary with a K0 – K1 subgiant as primary and a G5 dwarf as secondary in an almost circular orbit (Fekel 1983). We observed this object from 6th to 10th April with XRISM, as one of the calibration target. We attempted to conduct simultaneous optical observations using CAT and SCAT in CHAO (CHuo-university Astronomical Observatory) at Chuo university Korakuen campus. The attempt succeeded only at 9th and 10th March, because of the bad weather, but we could continuously monitor the target from 2023 September to 2024 March. During the XRISM observations, we detected one flare. The flux was increased from 7th, and peaked at 8th, and finally decayed to the pre-flare level within 50000 sec from the peak. The peak flux is $1 \times 10^{-10} \text{ erg s}^{-1} \text{ cm}^{-2}$, which corresponds to the luminosity of $1 \times 10^{31} \text{ erg s}^{-1}$ with assuming the distance is 29 pc (Perryman et al. 1997). We found the flare occurred around the phase 0.0, i.e. when the K supergiant is in front of us, by extrapolating the radial velocity curve in Frasca & Lanza (2005). From the Resolve and Xtend light curves, we found an X-ray enhancement after the flare, at the opposite phase (the phase ~ 0.5), and also another weak enhancement before the flare, again at the opposite phase (the phase ~ 0.5).

[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](#)

N06a 非常に長い変光周期を持つ OH/IR 星の周期光度関係の示唆

中川亜紀治, 渡邊良介 (鹿児島大学), 倉山智春 (帝京科学大学), 須藤広志 (仙台高専), Gabor Orosz (JIVE), 上塚貴史, 橘健吾 (東京大学)

我々は VERA による位置天文 VLBI の手法で OH/IR 星の観測的研究を進めている。本講演では OH/IR 星の年周視差、及び Spectral energy distribution (SED) を利用して推定した光度から得られた、非常に長い変光周期領域での適用が期待される周期光度関係の予備的結果を示す。また Gaia が運用される現在にあっても、塵に覆われた星の年周視差計測においては VLBI が依然として有用であることも強調する。

質量が $0.8-10 M_{\odot}$ の恒星は進化末期に漸近巨星分岐 (AGB) 星の時期を経る。ミラ型変光星は AGB の中でも初期にあり、距離推定の手法としても有用な周期光度関係 (PLR) を示すことがよく知られている。やがて質量放出により厚い塵のシェルが形成され、赤外線超過が顕著になると同時に外層に OH メーザーを伴うようになると、OH/IR 星として識別されるに至る。OH/IR 星は非常に長い周期 (≥ 1000 日) を示すことも多く、長周期側への PLR 拡張は OH/IR 星の新たな測距手段の提供へとつながる。PLR の構築には、まずいくつかの OH/IR 星で高精度な距離が必要となる。恒星周縁の塵による可視域の減光のため Gaia による年周視差計測は困難であるが、星に付随する H_2O メーザーを用いる VLBI では相対誤差数 % の精度で年周視差の計測が可能である。我々は OH/IR 星 NSV17351 をはじめとする変光周期 500 - 1500 日を示すいくつかの OH/IR 星に付随する H_2O メーザーを VERA で観測し、それらの年周視差を用いて PLR の予備的結果として $M_{\text{bol}} = (-3.31 \pm 0.08) \log P + (-3.94 \pm 0.20)$ を得ることができた。

[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](#)

N07a 炭素星ミステリーと後期 AGB 星の外層構造

浦郷陸 (アストロバイオロジーセンター), 面高俊宏 (鹿児島大学), 藤本正行 (北海道大学)

炭素星は、その明るさが理論予測よりも暗くなることが報告されており、これが「炭素星ミステリー」として AGB 星進化の残された課題となっている。昨年の秋の天文学会において、炭素星ミステリーへの解法として、星周 dust shell による blanket 効果によって説明できることを提唱した。光球からの放射が、光学的に厚いダストに吸収され再放射に伴う backwarming によって、観測される放射が減衰されるとともに、光球を照らして星の外層の状態にも変化を与えていると考えられる。光度関数で見ると、LMC の炭素星は、O-rich 星に比して暗くなっている。天の川銀河の炭素星では、LMC と同様に減光を受けているものがあるが、O-rich 星と同様に減光が見られない物もあり、光度関数が広がった分布を示す。LMC は金属量が低いので、TDU で汲み上げられた Carbon により Carbon 過多となり、O-rich 星に比して、ダストの opacity が大きくなるが、天の川銀河の炭素星では、CO 分子に取り込まれて、free carbon の組成が小さくなっているためであり、これが、blanket 効果の観測な根拠と見做せる。OH/IR 星の OZ Gem、QX Pup は、最終進化の superwind を起こし、大規模な星周ダスト環境を持つ天体であり、この効果がみられる。これらの天体は、Mira の周期光度のシーケンスから約 1 等ほど暗くなっている。これは、opacity が低い O-rich 星でも、ダスト量が多ければ blanket 効果が表れることを示している。実際、Galactic Bulge では減光を受けている低周期の O-rich 星の変光星が多数見つかった。これらの星は、intrinsic な高金属の候補星であり、低質量の O-rich 星であっても、天の川銀河では、O-rich 星でも super solar abundance になると、dust の blanket 効果による減光を受ける考えられる。本発表では、blanket 効果によって引き起こされる AGB 星の表面構造、進化への影響について議論する。

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

N08a 長周期変光星周 SiO メーザーの VLBI モニター観測で探る星周物質の加速機構

甘田 溪, 今井 裕 (鹿児島大学), Youngjoo Yun (KASI), Bo Zhang (SHAO), ESTEMA collaboration

AGB 星は 100—1000 日程度の周期で脈動変光しながら大量の物質を放出し、放出された物質は徐々に加速しながらやがて星間空間に運ばれる。その加速機構は星からの距離に応じて異なり、特に星表面付近 ($r \lesssim 10$ au) においては星の脈動によって生じた衝撃波の伝播がその役割を担っている。衝撃波伝播によって一時的に浮揚した物質は、衝撃波伝播後に減速し星へと落下した後、さらに伝播してきた衝撃波によって再び浮揚するといった周期的な加速が議論されている。また、アルミナや鉄無シリケイトのダストによる輻射圧加速も寄与していると考えられている。これら加速機構がどの程度寄与しているのかを明らかにするためには、星表面付近の物質を連続的に撮像し、その挙動を直接調べるのが重要であり、SiO メーザーがそのプローブとして使える。星表面付近で見られる SiO メーザーの微小スポットは星を中心としてリング状に分布しており、その微小スポットやリングサイズの挙動をモニターすることにより、星表面付近の物質の加速を追うことができる。また、SiO メーザーは衝撃波によって強く励起するため、SiO メーザースポットの分布と強度の時間変化から、衝撃波伝播を間断的に追うことができる。我々は星表面付近の物質の加速機構を明らかにするべく、O-rich な AGB 星である BX Cam に付随する SiO $v=1, 2$ $J=1 \rightarrow 0$, $v=1$ $J=2 \rightarrow 1$ メーザーに対して、EAVN を使ったモニター観測を変光周期の $1/20$ という時間分解能で約 3 変光周期分を行った。最初の 2 変光周期分の解析を行ったところ、SiO メーザースポットのリングサイズが各周期で周期的な挙動をしている様子を捉えることができた。また、2 変光周期目では、1 変光周期目で見られた SiO メーザーリングより内側に新たなメーザースポットが複数確認され、これは星の脈動によって新たに生じた衝撃波が伝播し始めた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](#)

N09a RY Dra からの磁気駆動風と SiC ダスト

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)

J 型炭素過多 AGB 星は星表面での炭素の同位体組成比が低く、A B 型に分類されるプレソーラー SiC 粒子の供給源と予想される。RY Dra は近傍の J 型炭素過多 AGB 星 (Y CVn など) の一つであり、表面磁場の見積もり (4.8G 未満, Dutlu et al. 2017) がある。以前我々はこの天体の星風特性の質量放出率 ($\dot{M}=(1-5) \times 10^{-7} M_{\odot} \text{ yr}^{-1}$) やガス速度 ($v_{\text{gas}}=10-15 \text{ km s}^{-1}$) の再現を試みた。その結果炭素過剰量が少ない ($C/O=1.18$, Lambert et al. 1986) ためダスト駆動機構では説明困難であり、磁気駆動機構が有望であることを示した (保田他 2020 年春季年会)。今回は脈動の効果を考慮した改良版の MHD 星風モデルに SiC ダスト形成計算を組み入れて RY Dra の星周部及び星風内での SiC ダストの形成過程を探る。質量を $1.0 M_{\odot}$ 、表面磁場を 1 G と設定した場合以下の結果を得た。

SiC ダストの核形成は 6-9 星半径の位置でほぼ定常的に生じている ($10^{-30} \text{ cm}^{-3} \text{ s}^{-1}$ 程度)。それとは別に磁気擾乱によるガスの温度低下が見られる場所にてより高い核形成が一時的に生じる。星風中での SiC ダストの形成効率 (気相の珪素が SiC ダストに取り込まれる割合) f_{SiC} は脈動に伴う磁束管の時間変動を強めると星風の $\dot{M}$ と共に増大する。 $\dot{M}$ の測定値の範囲では f_{SiC} は $10^{-5}-10^{-3}$ 程に過ぎない。しかし星間空間に放出されるダストの半径は $0.1 \mu\text{m}$ 以上となり、RY Dra は A B 型プレソーラー粒子の供給源になるだろう。一方で磁束管の時間変動が強い場合には 1.5 星半径付近にて局所的かつ一時的に SiC ダストが形成される。その大半は脈動に伴う温度変動により形成、消失を繰り返しており、その場所での f_{SiC} は時間変動する ($0-10^{-1}$)。中間赤外領域で観られる分光特性 (e.g., Yamamura et al. 2000) は時間変動の大きい磁束管内で星表面近くにて一時的に形成される SiC からの熱放射の可能性がある。発表ではこれらの結果を示し、今後のモデルの改善点について論じる。

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

N10b りゅう座 BY 型星 V1402 Ori の高分散分光観測データの解析

戸田俊光, 安藤和子, 福田尚也 (岡山理科大学), HIDES-F 運用グループ

V1402 Ori は回転変光星のりゅう座 BY 型星に分類されており、またフレア星のくじら座 UV 型星にも分類されている。V1402 Ori は連星で、主星と伴星がどちらも M 型主系列星だと考えられている (Shkolnik et al. 2010)。Micela et al. (1995) は、この天体の 2 夜の高分散分光観測を行い、水素の $H\alpha$ 線がダブルピークの輝線であることを捉えた。その 2 つの成分の視線速度が 1 日で大きく変化していたため、この天体は短周期の連星だと示唆していたが、軌道を決定するにはデータが不十分であった。

本研究は岡山 188cm 望遠鏡の高分散分光器 HIDES を用いて V1402 Ori を 2021 年 11 月から 2022 年 1 月にかけて観測した 8 夜分のデータを解析した。 $H\alpha$ 線は日によってダブルピークとシングルピークの輝線に見え、ダブルピークの 2 つの成分の間隔も日によって変動していたことが確認できた。これは連星の公転による時間変動によるものだと考えられる。また、解析したデータから視線速度曲線を作り、連星のパラメータを求めた。その結果、この連星は主星と伴星の質量が同等で、かつ軌道半径も同様だと考えられる。また、公転周期は $1.584 \pm 0.001 \text{ day}$ だと求まり、短周期の連星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](#)

N11b 炭素星 CIT 6 に向けた 30 – 50 GHz ラインサーベイ

中村文隆 (NAOJ)、Quang Nguyen Luong (AUP)、谷口琴美 (NAOJ)、他 eQ チーム

炭素星などの恒星進化の後期段階である AGB 星は、星間空間における物質循環を考える上で大変重要な天体である。我々は 2021 年 11 月に野辺山 45m 鏡に搭載された新受信機 eQ (Nakamura et al. 2024) の試験観測として二つの炭素星 IRC+10216 と CIT6 に向けた 30–50 GHz 帯のラインサーベイを行った。IRC+10216 は最も明るい炭素星として多数の先行観測が報告されている (e.g., Kawaguchi et al. 1995)。一方、2 番目に明るい炭素星である CIT 6 については、限定された周波数域でのラインサーベイは行われているが、広い周波数域の無バイアスなサーベイはあまり行われていない。これらの天体の化学的性質、特に炭素とシリコンを含む分子の性質を理解することが本サーベイの科学的目標である。

CIT6 に関しては、30–50 GHz の範囲で最大の途切れの無い最も感度の高いスペクトルの取得に成功した。2 つの炭素星における炭素やシリコンを含む分子、特に HC_5N や HC_7N などの比較的強い輝線強度をもつラインのアバundance等を rotation diagram 法などを用いて調べた。まず、取得したラインを比較すると、CIT 6 のライン強度はおおむね IRC+10216 にくらべて弱いことがわかった。さらに、ラインプロファイルの形状に大きな違いがみられた。これらは星からのガス放出により形成された星周構造の違いを反映していると考えられる。講演では、二つの天体の分子のアバundanceの違いから、2 つの星の進化段階やガス放出メカニズムに関して述べる。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)[スケジュール \(全体\) に戻る](#)[講演者索引 TOP に戻る](#)N12b 磁気活動性の高い K 型星 PW And の $H\alpha$ 線と近赤外 CaII 三重輝線での分光観測

永田晴飛, 本田敏志 (兵庫県立大学), 山下真依 (ISAS/JAXA)

太陽ではフレアと呼ばれる爆発現象や黒点の生成など活動性が確認されている。これらの原因や構造を詳しく理解するために、太陽を含めた様々な恒星で活動性の指標となる彩層輝線の観測が行われてきた。例えば Namekata et al. (2022) では、太陽型星の $H\alpha$ 線を観測し、その輝線プロファイルの時間変化から、スーパーフレアに伴うプラズマ噴出を明らかにした。彩層輝線としてこれまでは $H\alpha$ 線の他に CaII HK 線がよく用いられているが、低温の星では CaII HK 線は観測しづらい。そこで本研究では、西はりま天文台のなゆた望遠鏡と可視分光装置 MALLS を用いて高い活動性を示す K 型星「PW And」について、複数の彩層輝線 ($H\alpha$ 線、近赤外 CaII 三重輝線: CaII IRT) を含む波長域で観測を行い、自転による黒点の見え隠れと同期した強度変化が各輝線で見られるかどうか、また、Ca 輝線が $H\alpha$ 線と同様に活動性を反映するかを調べた。自転周期や白色光での変化を確認するために観測は TESS 衛星による観測と同時期とし、2022 年 10 月に行った。その結果、 $H\alpha$ 線では TESS 衛星のデータから得られた自転周期に伴う等価幅の変動が見られ、黒点の見え隠れと同期することを確認した。しかしながら、CaII IRT では $H\alpha$ 線の等価幅が大きく増加したときに、わずかに増加が見られたものの、強い相関は見られなかった。このことは活動性を示す彩層輝線として近赤外 CaII IRT も有用であるが感度は $H\alpha$ 線と比べて高いことを意味する。また、2022 年 10 月 5 日に $H\alpha$ 線でフレアと思われる増光が見られた。この時の各輝線では青方偏移した超過成分が見られ、 $H\alpha$ 線での青方偏移速度は 85 km/s 程度であることが分かった。これはフレアに伴うプロミネンス噴出によるものと考えられる。

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

N13a 水素輝線等価幅とバルマー逓減率のモニタリングから探る Be 星の円盤構造 II

石田光宏 (横浜市立戸塚高等学校), 藤井貢 (藤井黒崎観測所)

Be 星 (γ Cas 型変光星) とは、光度階級が III-V の B (一部 O または A) 型星のうち、過去に一度でも水素の輝線がみられた星として定義される。数百 km s^{-1} で自転していることが知られており、赤道周りに星周円盤を作り、そこから輝線が観測される。長年、様々な Be 星において等級や水素輝線等価幅等のモニター観測が行われているが、中心星からの円盤放出メカニズムや、円盤への角運動量輸送機構など分かっていないことも多い。講演者は 2018 年 9 月より、勤務校の天文台で複数の Be 星に対して低分散分光観測を行い、水素輝線等価幅に加え、観測の報告が少ないバルマー逓減率 (バルマー輝線の放射流束の相対値、本研究では $H\alpha$ と $H\beta$ の比: D_{34}) の変動を調べている。その結果、連星系をなす Be 星 δ Sco、 π Aqr、 ϕ Per で D_{34} の有意な変動が確認され、それぞれの伴星が近星点を通過する前で減少傾向、通過後で増加傾向 (以下 D_{34} 現象) であることが分かった (石田 2022)。特に伴星の軌道離心率 e が大きい δ Sco ($e \sim 0.94$) では、2022 年 4 月の近星点通過後も D_{34} の増加が確認され (石田 2023)、 D_{34} 現象が 3 周期連続で起こっている。 D_{34} は円盤の有効温度と関連があり、 D_{34} 現象は円盤の有効温度が近星点前で高く、後で低くなることを示唆している。本研究では、 D_{34} 現象が長期的かつ様々な Be 星でも起こっているかを検証する。使用データは、藤井貢氏の私設天文台で十数年に渡って観測された低分散分光データである。我々は、観測された Be 星の中で、伴星の軌道要素が分かっているものを複数抽出し、 D_{34} と近星点の相関を調べた。比較のため、 $H\alpha$ と $H\beta$ が輝線になっている単独星についても、 D_{34} の変動を調べた。その結果、連星系をなす γ Cas ($e \sim 0.26$) において、 D_{34} 現象が起こっているとみられるサイクルを複数確認した。一方、単独星においても D_{34} が有意に変動しているものもあった。本講演では、これらの解釈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](#)

N14a Wind-disk interaction in single and binary Be stars

Atsuo T. Okazaki (Hokkai-Gakuen University)

A Be star has two components in its circumstellar environment: a polar wind and an equatorial disk. Traditionally, these components are modeled independently. For example, the equatorial disk is typically assumed to be in hydrostatic equilibrium in the vertical direction, resulting in a flared disk structure. However, given the presence of a wind above the disk surface, questions arise about whether hydrostatic balance holds and if the flared disk structure is sustained.

In this talk, I will present hydrodynamic simulations of the wind-disk interaction, showing that the Be disk tends to maintain a constant opening angle rather than achieving hydrostatic equilibrium in the vertical direction. This is due to the entrainment of disk gas by the stellar wind, which removes a significant amount of gas (nearly 50% in the case of an isotropic wind) from the disk.

In binaries consisting of a Be star and a compact object, another type of wind-disk interaction occurs: the collision of the Be wind with an accretion flow. This is especially likely if the spin axis of the Be star is misaligned with the binary orbital axis, a common scenario in Be/X-ray binaries, a major subgroup of high-mass X-ray binaries. In such systems, the Be wind can have a strong dynamical effect on the accretion flow, dispersing a large fraction of the accreting gas and significantly reducing the accretion rate onto the compact object. I will also discuss this effect, based on results from numerical simulations.

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

N15a Possible anti-correlations between pulsation amplitudes and the disk growth of Be stars in giant-outbursting Be X-ray binaries

Masafumi Niwano, Ichiro Takahashi, Mahito Sasada, Yoichi Yatsu, Nobuyuki Kawai (Tokyo Tech), Michael M. Fausnaugh (TTU), George R. Ricker, Roland Vanderspek, Kishalay De (Kavli-MIT), Ryan M. Lau (NOIR-Lab), Michael C. B. Ashley (UNSW), Nicholas Earley, Mansi M. Kasliwal (Caltech), Matthew J. Hankins (ATU), Anna M. Moore, Jamie Soon, Tony Travoignon (ANU), Roberto Soria (UCAS, INAF, USYD), MAXI team

The mechanism of X-ray outbursts in Be X-ray binaries remains a mystery, and understanding their circumstellar disks is crucial for a solution of the mass-transfer problem. In particular, it is important to identify the Be star activities (e.g., pulsations) that cause mass ejection and, hence, disk formation. Therefore, we investigated the relationship between optical flux oscillations and the infrared (IR) excess in a sample of five Be X-ray binaries. Applying the Lomb-Scargle technique to high-cadence optical light curves from the Transiting Exoplanet Survey Satellite (TESS), we detected several significant oscillation modes in the 3 to 24 hour period range for each source. We also measured the IR excess (a proxy for disk growth) of those five sources, using J-band light curves from Palomar Gattini-IR. In four of the five sources, we found anti-correlations between the IR excess and the amplitude of the main flux oscillation modes. This result is inconsistent with the conventional idea that non-radial pulsations drive mass ejections. We propose an alternative scenario where internal temperature variations in the Be star cause transitions between pulsation-active and mass-ejection-active states.

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

N16a X線バースト天体 SRGA J144459.2-604207 から推定される連星進化への示唆

土肥明 (理研)、西村信哉 (東大/理研)、平井遼介 (理研/モナッシュ大学)、武田朋志 (理研/理科大)、岩切涉 (千葉大)、三原建弘、玉川 徹 (理研)、青山有未来、岩田智子 (理研/理科大)、榎戸輝揚 (京大/理研)、大田尚享 (理研/理科大)、加藤陽 (理研)、北口貴雄、高橋拓也、渡部蒼汰、山崎楓 (理研/理科大)

2024 年 2 月、X 線天文衛星 INTEGRAL と NinjaSat の観測により、中性子星 SRGA J144459.2-604207 での X 線バーストが観測された (ATel: 16485, 16495)。INTEGRAL の観測によって、この天体は 10 回の X 線バーストを規則的に起こすことがわかり、Clocked バースターとしては 6 例目になる。その後の NinjaSat の観測では、徐々にバーストの間隔 (Δt) が長くなることが示された。従来の典型的な X 線バースト天体に比べてバースト継続時間 e-folding time (τ_e) が短いことも判明した。以上の SRGA J144459.2-604207 のバーストが示す多彩な性質から、理論モデルとの比較により低質量 X 線連星の性質や爆発的要素合成を探ることか可能である。例えば先行研究では、既に発見されている Clocked バースターの伴星の組成が、太陽系組成に近いという結果が得られている。

本研究では、我々の X 線バースト計算コード HERES(Dohi et al. 2020) を用いて、SRGA J144459.2-604207 のモデル計算を行った。最初に、Clocked バーストのフェーズでの比較を通じて、($\tau_e, \Delta t$) の INTEGRAL の観測から、降着率、伴星の組成に関するモデルの制限を試みた。次に、 Δt が長くなるフェーズでのモデル計算を通じて、NinjaSat の光度曲線の比較から、さらなるモデルの制限を行った。その結果、この天体は、太陽系組成ではない初の Clocked バースターであることがわかった。具体的には、(i) He の割合が多い伴星、(ii) 金属量が太陽系の 4 倍程度の伴星、のどちらかであることがわかった。そこから推定される連星形成過程に関しても議論する。

[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](#)

N17a Evolutionary models for the Very Massive Stars in the R136 cluster of 30 Doradus in the LMC

Z. Keszthelyi¹, S. Brands², A. de Koter^{2,3}, N. Langer^{4,5}, J. Puls⁶

¹ NAOJ, ² U. Amsterdam, ³ KU Leuven, ⁴ Argelander Bonn, ⁵ MPIR Bonn, ⁶ LMU Munich

The cluster Radcliffe 136 (R136) in the Large Magellanic Cloud (LMC) contains a population of stars in excess of 100 $M_{\odot}$, including R136a1, the most massive known star in the Universe. We utilise the 1D stellar evolution code MESA to infer the evolutionary history and final fate of the three most massive stars in R136. We apply observationally constrained mass-loss rates and new Wolf-Rayet type rates. We consider three scenarios for internal angular momentum transport, defining the strength of rotational core-envelope coupling. We find that strong mass loss at LMC metallicity leads to pre-supernova objects with high effective temperatures and masses in the range of 10 – 40 $M_{\odot}$. The CO core masses are too low to produce pair-instability. Gamma-Ray Bursts are only expected if the rotational coupling is weak throughout the evolution. We confront our models with spectroscopic observables of the three WNh stars, R136a1, a2, and a3, and find solutions within the single-star channel. We infer higher initial masses than previously claimed. This is due to a "down-stream" evolution in our models, causing a rapid decline in mass and luminosity when Wolf-Rayet type mass-loss rates are applied. The formation of stars in excess of 100 $M_{\odot}$ urgently needs to be addressed to resolve the origin of these objects.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

N18a X-ray Spectral Structure around the Fe XXV lines of Eta Carinae observed with the X-Ray Imaging and Spectroscopy Mission (XRISM)

Asca Miyamoto (TMU), Marc Audard (U. of Geneva), Ehud Behar (Technion), Mike Corcoran (CRESST II NASA/GSFC & Catholic U.), Teruaki Enoto (Kyoto U.), Emi Goto (Chuo U.), Kenji Hamaguchi (CRESST II NASA/GSFC & UMBC), Shun Inoue (Kyoto U.), Francisco Junqueira (Catholic U.), Maurice Leutenegger (NASA/GSFC), Yoshitomo Maeda (ISAS/JAXA), Rob Petre (NASA/GSFC), Yohko Tsuboi (Chuo U.)

Eta Carinae is a binary system, consisting of two massive stars, orbiting in an eccentric orbit. The primary star, a luminous blue variable (LBV), has an estimated mass of $\sim 120 - 170 M_{\odot}$ (Hillier et al. 2001; Davidson & Humphreys 2012; Kashi & Soker 2010, 2016), a mass-loss rate of $\sim 3 - 10^{-4} M_{\odot} \text{ yr}^{-1}$ (Davidson & Humphreys 2012; Clementel et al. 2014; Kashi 2017, 2019), and a wind velocity of $\sim 420 \text{ km s}^{-1}$ (Groh et al. 2012b). The fast companion wind at $\sim 3000 \text{ km s}^{-1}$ forms a shock by collision with the primary wind, emitting hot thermal ($kT \sim 4 \text{ keV}$) X-rays (Pittard & Corcoran 2002). The shock has a cone shape toward the companion star, and hard X-rays should originate near apex. XRISM observed Eta Carinae for $\sim 44 \text{ ksec}$ during the commissioning phase in November 2023, at an orbital phase of ~ 0.7 . The Resolve spectrum clearly shows multiple emission lines from He-like and H-like iron ions possibly located near the wind apex and quasi-neutral iron. It also shows a broad structure around 6.5 keV, possibly originating from Compton down scattering of the He-like iron line complex in the thick primary wind. Resolve spectrum helps constrain wind-driven mass loss.

[スケジュール \(セッション毎\) 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線分光撮像衛星 XRISM による超新星残骸 Cassiopeia A における希少元素の探索

松永海, 内田裕之 (京都大学), Paul Plucinsky (CfA), 佐藤寿紀 (明治大学), XRISM Cas A Target Team

宇宙に存在する重元素の多くは、大質量星の内部で合成され、重力崩壊型超新星爆発によって星間空間に撒き散らされたと考えられている。しかしながら、原子番号が奇数の元素をはじめとする一部元素の供給が、既存の理論に対して過剰であることが観測的に示唆されているなど (cf. Nomoto et al. 2013)、重力崩壊型超新星による元素供給の描像には確立されていない部分も多い。超新星残骸の X 線観測は元素供給の現場を捉えられる点で重要だが、従来の CCD 検出器のエネルギー分解能 ($\Delta E \sim 100$ eV) では希少元素由来の微弱な輝線構造を捉えることは難しかった。このような状況を打破すると期待されるのが、2023 年に打ち上がった XRISM 衛星である。主力検出器である Resolve は、従来の検出器に比べ優れたエネルギー分解能を有し ($\Delta E \sim 6$ eV)、超新星残骸における希少元素の輝線検出が期待できる。本講演では XRISM による超新星残骸 Cassiopeia A の観測結果について報告する。本天体は系内で最も若く明るい重力崩壊型の超新星残骸で、これまでは近赤外観測による P 輝線の検出が報告されている (Koo et al. 2013)。また、他天体に比べ Ne の存在量が有意に少ないなど (Hwang et al. 2012; Blair et al. 1983)、その親星がユニークな内部構造を持っていたことも示唆されてきており、他天体では困難な物理過程の検証を行えることも期待できる。今回 XRISM によって北西領域と南西領域の観測が計 330 ks に渡って行われた。その結果、特に Resolve で取得したスペクトルにおいては、P に加え Cl や K といった希少元素輝線の兆候を確認している。講演ではこれらの観測結果について報告し、その解釈について議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

N20a 一次元恒星進化シミュレーションを用いた Ia 型超新星 Kepler の伴星推定

穴澤萌衣, 内田裕之, 成田拓仁, 前田啓一 (京都大学), 勝田哲 (埼玉大学), 松永海, 鶴剛 (京都大学)

Ia 型超新星のなかで大量の星周物質 (circumstellar material: CSM) と相互作用しているものは Ia-CSM 型と分類されている (Hamuy et al. 2003)。いくつかの Ia-CSM 型超新星の起源は白色矮星と縮退していない恒星 (伴星) からなる連星系であると考えられており、大量の CSM を生むモデルが考えられてきた (Hachisu et al. 2008)。CSM の起源は連星進化の過程で伴星から吹き出た星風であると考えられるため、元素組成は恒星の進化を反映していると考えられる。特に、炭素や窒素、酸素は星内部の水素燃焼によって組成が変化するため、伴星の初期質量や初期回転速度を推定する上で良い指標になる。CSM の窒素、酸素比を用いた推定は今まで重力崩壊型超新星残骸で行われており (Narita et al. 2023)、我々はそれを Ia-CSM 型の亜種と考えられている超新星残骸 Kepler's SNR の親星系 (伴星) に対して応用することで親星系の推定ができると考えた。我々は XMM-Newton 衛星搭載の反射型回折分光器の観測データ (計 ~ 200 ksec) を用いて Kepler's SNR の X 線精密分光解析を行い、 $N/O = 2.26^{+0.07}_{-0.11}$ という結果を得た (2024 年春季年会 N22a)。この組成比を 1 次元構成進化モデルと比較することで、親星は質量 $1.5\text{--}3.0 M_{\odot}$ の漸近巨星分枝期間の伴星と白色矮星の連星系である可能性が高いと推定した。本講演では、さらにロッシュローブオーバーフロー等の連星の効果や親星系の初期回転速度などを考慮した議論を行い、Kepler's SNR の親星系の詳細な推定を行う。

[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](#)

N21a 白色矮星を残した超新星爆発 SN 1181 の残骸からの電波放射とその観測提案

黄天銳 (東京大), 津名大地 (東京大/カリフォルニア工科大), 廿日出文洋 (国立天文台), 茂山俊和 (東京大)

SN 1181 は、その残骸が近年同定された銀河系内の歴史的な超新星爆発である。その残骸は他の超新星残骸とは違い、その中心に白色矮星が存在する稀有な残骸である。その中心の白色矮星表面からは約 $15,000\text{km/s}$ の高速風が吹いていることがスペクトルの観測から明らかにされた。中心の白色矮星の性質は、連星白色矮星の合体によって理論的に予測されるものと非常によく似ている。X 線観測からは通常の超新星残骸のような広がった X 線源が観測されているが、それとは別に残骸中心からも強い X 線を放つことが判明した。この中心の強い X 線源は白色矮星から吹いている高速風が SN 1181 放出物と衝突して形成されていると提案されている。チャンドラ衛星で観測された中心の X 線源の広がり < 1.6 arcsec と小さいため、高速風は近年になってようやく吹き始めたと考えられている。このような中心領域に関するシナリオを実証するためには他の波長による観測が不可欠である。そこで本研究では、この中心領域からの電波放射を見積もることによって、将来の電波観測による観測可能性を明らかにした。本講演では特に Very Large Array (VLA) を用いた際の観測可能性について議論を行う。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

N22a 超新星の爆発直前の活動について MeV/GeV/TeV ニュートリノを用いた診断方法の提案

澤田涼 (東京大学宇宙線研究所), 芦田洋輔 (University of Utah)

近年の II 型超新星の早期観測から、観測された超新星の大部分において爆発する親星のごく近傍に高密度の星周物質が存在することが示唆されている。この星周物質の具体的な起源はわかっていないが、超新星の数ヶ月から一年ほど前に何らかの爆発的な質量放出によって生じる説が有力となっている。このような質量放出過程のとして、前兆ニュートリノ ($\sim \text{MeV}$) によるコアの質量損失がトリガーとなり、前兆ルミノシティの時間発展に対応した星周物質が放出される可能性がひとつ挙げられている (Moriya 2014)。さらに近年の研究 (Murase 2018, 2024) では、親星近傍にある高密度の星周物質と超新星衝撃波によって高エネルギーニュートリノ ($\sim \text{GeV-PeV}$) の放射が起こる予言がなされている。また、その高エネルギーニュートリノ放射の時間発展は、星周物質の構造をそのまま反映することが期待されている。

ここでひとつの仮説として、もし高密度の星周物質の起源が実際に前兆ニュートリノによるものとした場合、高エネルギーニュートリノと前兆ニュートリノとの間に時間発展の“相関”をみることができるとも考えられる。本研究では、星周物質の起源を前兆ニュートリノだと仮定した下で、対応する星周物質構造を構築し、そこから期待される高エネルギーニュートリノの非熱的放射を計算した。そして計算結果から、恒星進化過程をマルチメッセンジャー天文学から診断する可能性を提案する。本講演では、計算結果を発表するとともに、JUNO, Hyper-Kamiokande, ならびに IceCube での観測可能性を議論する。

[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](#)

N23a 重力崩壊型超新星のニュートリノ放射の非等方性について

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

大質量星が進化の最終段階で重力崩壊する過程で、大量のニュートリノが放出される。このニュートリノは超新星の爆発機構において決定的な役割を果たすと考えられており、また光学観測では追えることができない超新星コアの情報を運んでくることから、近傍超新星からの検出可能性に関する議論が盛んに行われている。

一方、観測と数値計算の両面から、超新星は一般に非球対称であることが示されており、付随するニュートリノ放射も非等方的であると考えられるので、観測と数値モデルを結びつける際には考慮しなければならない。またこの非等方なニュートリノ放射にともなうレプトン数の非対称性が長時間維持される現象 (Lepton-number Emission Self-sustained Asymmetry; LESA) が数値計算で示唆されており (Tamborra et al. 2014)、爆発で放出される物質の電子比率を変えて特徴的な元素合成を引き起こす可能性がある。

本講演では、我々が空間 3 次元 MHD 計算で構築した超新星モデル (Nakamura et al. 2024, arXiv:2405.08367) を用いて超新星ニュートリノの非等方性について報告する。上述した関連現象への影響や、爆発後に残される中性子星の固有運動速度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](#)

N24a ニュートリノ輻射輸送の解像度依存性

伊藤侃 (早稲田大学), 赤穂龍一郎 (早稲田大学), 長倉洋樹 (国立天文台), 加藤ちなみ (東京理科大), 住吉光介 (沼津高専), 山田章一 (早稲田大学)

重力崩壊型超新星爆発は、約 8 太陽質量以上の恒星の最終進化段階に起こる現象である。衝撃波が超新星内部で発生し、停滞する。その後、停滞した衝撃波がニュートリノが物質との相互作用によって加熱されて、衝撃波が外層に達することで爆発に至ると考えられている。そのため、超新星爆発のメカニズムの詳細な理解のためには、超新星内部におけるニュートリノ輻射輸送を適切に計算することが重要である。超新星内部でのニュートリノ輻射輸送を解くには 6 次元ボルツマン方程式を解く必要があるが、これには非常に高い計算コストがかかる。コストを抑えるために低解像度で計算されているが、正確性に欠ける計算である。そのため、コストを抑えた上で、高解像度で計算された影響を取り込みながらニュートリノ輻射輸送を解くことが出来るソルバーが必要である。本研究では、空間依存性を無視した 4 次元ボルツマン方程式ソルバーを用いて、定常の場合や移流の効果をとり込んだ計算を行うことで、ニュートリノ分布関数に対する解像度依存性を調べた。また、運動量空間における低解像度の計算結果に基づいて高解像度化した分布関数が、高解像度計算の結果である分布関数を再現できるかどうか、また、その妥当性についても議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

N25a 超新星ニュートリノの定量解析を用いた超新星までの距離推定法

諏訪雄大 (東京大学), 原田了 (茨城高専), 森正光 (国立天文台), 中里健一郎 (九州大学), 赤穂龍一郎 (早稲田大学), 原田将之 (東京大学), 小汐由介 (岡山大学), 中西史美 (岡山大学), 住吉光介 (沼津高専), Roger Wendell (京都大学)

ニュートリノは超新星のマルチメッセンジャー観測において極めて重要なシグナルである。我々は、超新星ニュートリノの理論研究と観測データをつなぐ方法論の構築を進めている。この2年ほどで定量的なデータ解析手法を整備し、さまざまな応用が可能な段階に入った (Suwa et al. 2022; Harada et al. 2023)。本講演では、超新星ニュートリノの定量的データ解析手法を用いて超新星までの距離推定が可能なことを示す。この推定は、中性子星の半径と超新星までの距離がニュートリノイベント率や平均エネルギーといった観測量を通して一対一対応することを用いている。中性子星の半径がX線や重力波などの観測により約10%の不定性で決定されていることを利用すると、15%以内の誤差で超新星までの距離を推定することができることがわかった。ニュートリノによって超新星の方向を特定できることは知られており、今回得られた距離の推定と組み合わせることで3次元での位置特定が可能となる。こうした事前情報はマルチメッセンジャーのフォローアップ観測に非常に重要である。さらに、フォローアップ観測によって超新星までの距離がより正確に測ることができれば、中性子星の半径を正確に測定することもまた可能となる。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

N26a スーパーカミオカンデにおける 10 Mpc 以内の超新星爆発由来のニュートリノイベント探索

中西史美、小汐由介 (岡山大自然)、池田一得、Guillaume Pronost、関谷洋之、中畑雅行 (ICRR)、他 Super-Kamiokande Collaboration

超新星ニュートリノは超新星爆発によって放出されるニュートリノであり、爆発時には数十秒から数時間にかけて放出されることが予測されている。そして、これを観測することで超新星の質量や方向といった様々な情報を得ることができる。現在稼働中のスーパーカミオカンデ (SK) では、天の川銀河内で超新星爆発が起こった場合は数千個以上の超新星ニュートリノイベントの観測が期待されており、500 kpc 以内において1イベント以上の感度を有することが示されている。SK ではこのような kpc 領域の超新星爆発についてはオンラインツールを用いた即時解析が行われる。また、10 Mpc 以上の領域は超新星背景ニュートリノの主な探索領域となる。一方で、Mpc 領域で起きた超新星由来のニュートリノ探索はこれまであまり行われていない。本研究では、この Mpc 領域の超新星ニュートリノに注目し、解析手法の開発とニュートリノイベント探索を行った。具体的には、複数の超新星爆発天体に対してそれぞれシグナル領域とバックグラウンド領域を設定し、バックグラウンド領域とシグナル領域でのイベント数の評価と、シグナル領域における超新星ニュートリノ由来のクラスター探索を行なった。その結果、超新星ニュートリノの発見には至らなかったが、SK に到達するニュートリノフルエンスやニュートリノ率の上限值を設定した。また、本講演では複数の超新星爆発に対して積算するスタック解析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](#)

N27a 一般相対論的ボルツマン輻射流体コードによる重力崩壊型超新星爆発計算

赤穂龍一郎 (早稲田大学), 長倉洋樹 (国立天文台), 住吉光介 (沼津高専), 山田章一 (早稲田大学)

大質量星が進化の最後を起こす重力崩壊型超新星爆発の爆発メカニズムにはまだ定量的に大きな不定性が残されており、近似をなるべく取り除いた正確なシミュレーションを行うことが必要である。超新星ダイナミクスはニュートリノによって支配されていることが知られており、ニュートリノ輻射輸送計算が中心的役割を果たす。最も正確な方法は位相空間数分布関数に関するボルツマン方程式を直接解くことであるが、ほとんどの先行研究では近似的ニュートリノ輸送法が用いられている。さらに、ボルツマン輸送計算が用いられた先行研究は全てニュートン重力に限られており、強重力天体環境である超新星コアを再現する上で課題が残っている。

本研究では、一般相対論的ボルツマン輻射流体計算による重力崩壊型超新星爆発計算を行い、ダイナミクスと観測シグナルを解析した。さらにニュートン重力の結果と比較し、一般相対論の重力が結果に及ぼす効果を明らかにした。

[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](#)

N28a 遠心力による変形を考慮した高速回転する白色矮星の進化

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

連星系は非常にありふれた天体系であり、その割合は星の質量が増加するほど増えていくことが知られている。太陽質量程度でもその半数近くが連星系を成しているとされており、中小質量の恒星が白色矮星へと進化していく過程でも連星の影響を受けることが十分に考えられる。特に伴星を持つことによって質量輸送や連星合体が発生し、星の質量と同時に角運動量が変化することで高速で回転する星が形成され得る。こういった星は実際には高速自転による遠心力の影響で歪んだ形状となり、その後の進化を続けていくことになるが、従来の恒星進化計算コードでは球対称 1 次元でしかこれを扱うことができなかった。そこで我々は自転によって発生する角度方向ごとの違いを正しく考慮すべく、軸対称 2 次元の平衡形状計算コードの開発を行ってきた。

本発表では高速回転する白色矮星について、初期の非常に熱い状態から冷却する過程で自転によってどのような影響が発生するのかを我々のコードを用いて進化計算を行い、その結果について議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

N29a 高速自転小質量星の磁気制動抑制の可能性

徳野鷹人 (東京大学), 谷川衝 (福井県立大学)

表面对流層を持つ主系列星 (小質量星; $\lesssim 1.3M_{\odot}$) は磁気制動効果によって自転角運動量を失う。結果として、単独の小質量星では自転周期が時間と共に減速すると考えられている。一方で、小質量星を含む近接連星においては、潮汐固定により小質量星の自転周期と軌道の公転周期が同期するため磁気制動は軌道角運動量にも影響を及ぼすと考えられている。その為、磁気制動のモデルは連星の分布を変化させると考えられている。これらの観測から磁気制動の性質を調べる研究は活発に行われている。

白色矮星と小質量星から構成される近接連星の周期・質量分布に関する観測結果からは、内部が全て対流層の主系列星 (全対流星; $\lesssim 0.35M_{\odot}$) において磁気制動が殆ど起きていないという結果が示唆されている (Belloni et al. 2024)。しかし、単独星の自転周期分布に関する観測結果からは、全対流星も非全対流星と同様に磁気制動が起きているという結果が報告されている (Lu et al. 2024)。これまでの磁気制動に関する研究では、この食い違い両者の観測結果を同時に説明しようとする試みはされてこなかった。

当研究では、単独星と近接連星に関する観測結果の両方を統一的に説明する可能性として、高速自転する小質量星においてのみ磁気制動が抑制される効果についてその妥当性を検証した。当講演ではその詳細について紹介する。

[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](#)

N30a 超新星爆発フォールバック計算のための新手法開発

篠田兼伍 (東京大学), 澤田涼 (東京大学), 諏訪雄大 (東京大学), 平井遼介 (理化学研究所・モナッシュ大学), 鈴木建 (東京大学), 岩崎一成 (国立天文台), 富田賢吾 (東北大学)

超新星におけるフォールバックは、爆発後の電磁波やニュートリノの放出源として、また超新星における中性子星やブラックホール形成やその周りの円盤形成、それに伴う発光現象の起源として考えられてきた。特に興味深いのは、水素外層とヘリウムコアの境界で生じた逆行衝撃波が中心天体に落ち込む現象である。この結果、降着率は著しく増大し、中心天体である中性子星やブラックホールの質量、スピン、キック速度に影響を与えると考えられている。しかし数値計算において、従来の境界条件では逆行衝撃波が落ち込む際に非物理的な反射波が発生すると報告されている (Ertl et al., 2016; Gabler et al., 2020)。この問題を解決するためには、反射波を発生させない境界条件の開発か、星の中心までグリッドを張ることで境界条件の影響をなくすことが考えられる。本研究では後者の考えを採用し、大質量星の中心から表面までを表面までを全て計算領域に含んだ計算を行う。ただし、クラン条件を抑えるために軟化ポテンシャル (Price & Monaghan, 2007; Hirai et al., 2020) を導入する。本発表では流体シミュレーションコード Athena++ (Stone et al. 2020) を用いて、新しい方法と、2024 春年会で報告した非反射境界条件、従来の境界条件の 3 つの手法から得られた計算結果を元に、フォールバック降着量と反射波の振る舞いの違いについて報告する。

[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](#)

N31a 円盤状星周物質と相互作用する II 型超新星の 2 次元輻射流体力学シミュレーション

鈴木昭宏 (東京大学)

大質量星の最終進化段階である重力崩壊型超新星には、爆発機構や進化経路における数多くの未解決問題が残されている。その一つは、親星が重力崩壊に至るまでの質量損失史である。親星の質量損失過程としては、長期的に駆動して水素層やヘリウム層を剥ぎ取るものに加え、重力崩壊直前 (~ 1-1000 年前) においても多くの親星が活発な質量損失を行っており、親星の近傍に濃い星周物質を形成することが近年明らかになってきた。一般には大質量星からの質量損失には恒星風や連星相互作用が重要な役割を果たすと考えられ、それぞれのシナリオにおいて異なる物理的特徴を持った星周物質が形成されることが考えられる。そのため、星周物質の物理状態や形状の理論的・観測的研究は、その形成過程を解き明かす上で極めて重要と言える。

SN 2023ixf は近傍星形成銀河 M101 で発見された II 型超新星で、精力的な追加観測から高分散スペクトルや偏光といった様々な観測的情報が得られている天体である。観測的研究の成果を総合すると、非球対称な星周物質の存在が示唆されるが、その定量的な特徴については、より詳細な理論モデルの構築と観測との比較が必要とされる。そこで、本研究では爆発する赤色巨星と星周物質との相互作用を 2 次元軸対称の輻射流体力学シミュレーションによって解き、観測的特徴の再現を試みている。特に、観測から示唆される円盤状星周物質と恒星風のみ及び球対称星周物質の場合との比較を行うことで、どのような構造の星周物質が観測をよく再現できるかを調べた。現時点で最も光度曲線をよく説明できる星周物質モデルとして、等方的な場合に換算した時に 0.1 太陽質量程度の円盤状星周物質が開き角 20 度程度で 20AU まで広がっているという結果を得た。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

N32a 球対称降着流における熱核反応の役割 II —ヘリウム降着—

茂山 俊和 (東京大学), 土肥 明 (理化学研究所)

近接連星系などで中性子星やブラックホールが進化した大質量星の中心核に飲み込まれた際に起きる現象を調べるための準備段階として、それらに降着する定常遷音速流における熱核反応の影響を調べた。2021 年秋の年会では炭素と酸素からなるガスの降着における炭素燃焼および酸素燃焼の影響を調べ報告した。今回はヘリウムからなるガスにおける核燃焼の影響を調べたのでその結果を報告する。ヘリウムからなるガスの降着の場合、triple- α 反応の時間尺度が降着流の時間尺度より長いために、それに続く核反応も考慮する必要がある。そこで 13 種の α 核 (He, C, O, Ne, Mg, Si, S, Ar, Ca, Cr, Fe, Ni) を含む核反応ネットワークとそこから出る反応熱を考慮した流体の式 (質量, 運動量, およびエネルギー保存の式) と状態方程式を連立させて以下のような計算を行った。与えられた中心天体の質量 M , 降着率 $\dot{M}$, および周りのガスの比エンタルピー h_∞ に対して、亜音速領域で核反応による影響を近似的に無視することで、遷音速点の半径とそこでの物理量とその勾配を計算した。次に遷音速点から内側 (外側) に少しずつ離れた点の量をこれらの量から求め、そこから内側 (外側) に向けて流体の式および核反応ネットワーク式を Runge-Kutta 法を用いて数値積分した。外側への積分では核反応ネットワークは計算に入っていない。その結果、与えられた M に対して、臨界降着率が $1.4 \times 10^{32} \text{ g s}^{-1}$ ほどの値を持ちながら、 h_∞ のゆるやかな減少関数として存在し、それより大きい降着率の流れは中心に到達しないことがわかった。これは、C+O 融合による核反応熱が圧力を上昇させ流れを堰き止めるために起きる。講演では鍵を握る物理過程および炭素・酸素の降着流との違いを詳しく議論し、核反応率の不定性の影響についても述べる。

[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](#)

N33a 超新星スペクトルに現れるヘリウム吸収線の Non-LTE 計算

千葉公哉, 田中雅臣 (東北大学)

太陽の約 8 倍以上の質量をもつ大質量星は、その最期に重力崩壊型超新星爆発と呼ばれる大爆発を起こすと考えられている。近年の爆発シミュレーションによって、爆発には流体不安定性の成長が重要な役割を担うことが分かってきた。実際の爆発時に流体不安定性の成長が本当に起こっているかどうかは、爆発の際に合成される ^{56}Ni の空間分布を観測的に捉えることによって検証することができる。

我々は、 ^{56}Ni の空間分布を探る手段として、Ib 型超新星などの初期スペクトルに現れる中性ヘリウムの吸収線に着目した。観測されているヘリウム吸収線の強度を再現するためには、非熱的電子によって中性ヘリウムが励起される効果を考えなければならない。非熱的電子は ^{56}Ni の放射性崩壊由来のガンマ線によって生成されるので、ヘリウム吸収線の強度は ^{56}Ni の空間分布のトレーサーとなると考えられる。

そこで、我々は非熱的電子による効果を考慮したヘリウムの反応速度方程式を解くコードを開発し、ヘリウム吸収線の Non-LTE 計算を行った。様々な超新星爆発の状況を想定し、超新星イジェクタ中のヘリウムの励起状態・電離状態にどのような違いが生じるかを調べた。本講演では、Ib 型超新星の観測結果と比較しながら、爆発からの時間や ^{56}Ni の合成量・空間分布がヘリウム吸収線の強度に与える影響について議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

N34a 密度が一様な CSM との相互作用により輝く超新星の光度曲線

千葉遼太郎 (国立天文台/総合研究大学院大学), 守屋 堯 (国立天文台)

一部の超新星は、超新星エジェクタと星周物質 (CSM) の間の相互作用によって輝く。このような相互作用で輝く超新星は、典型的に数 10 日程度で最大光度に達するが、中には爆発から 100 日以上の間光度が上昇し続けるようなものが存在することが知られている。相互作用により輝く超新星の、爆発直後からの光度上昇時間 (rise time) は、CSM 内の光子の拡散時間に対応すると考えられてきた。しかし、100 日を超える rise time を説明するためには、100 太陽質量を超えるような大量の CSM が必要になる。通常、CSM は爆発前の恒星からの質量放出によって形成されると考えられているが、恒星からこれほど大量の質量が放出されるシナリオは考えづらい。

近年、このような非常に長い rise time は、従来の理論モデルで通常仮定される恒星風的な CSM の密度分布 ($\rho \propto r^{-2}$) ではなく、より一様に近い ($\rho \propto r^{-s}$, $s < 1.5$) CSM の密度分布を仮定することで、自然に説明できることが指摘された。本研究では、一様に近い密度分布の CSM と相互作用する超新星の光度曲線が、先行研究では考慮されていなかった CSM 内部における光子の拡散の効果を考慮することにより、どのような振る舞いを示すかについて検討した。一様な CSM 密度分布を仮定したときに、CSM の質量・半径の違いに対応して、どのような形状の光度曲線が現れるかを調べた。この結果、光度曲線の形状はその特徴によって数種類に分類できることを示した。また、CSM の性質によっては複数のピークを持つ光度曲線が現れることが分かった。講演では、これらの結果と実際に観測された複数のピークを持つ超新星の光度曲線との定性的な比較などを議論する。

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

N35a 1m 望遠鏡/kSIRIUS で捉えられた Ibn/Icn 型超新星 SN 2023xgo の赤外超過

山中雅之, 永山貴宏 (鹿児島大学)

Ibn/Icn 型超新星爆発は、スペクトルにヘリウムや炭素の輝線が見られる特異なサブクラスである。プロトタイプ SN 2006jc においては爆発の 2 年前に前兆現象と見られる増光現象が捉えられており、また推定爆発日の 50 日後にダスト放射による赤外超過が認められた。これらの事実は、超新星を引き起こす前に親星時代に噴出したガスによって星周物質を形成している可能性を示唆する。赤外線観測によって、超過を捉えることが出来れば、親星時代の外層噴出現象に制限を与えることができると期待される。

SN 2023xgo は 2023 年 11 月 9 日に Zwicky Transient Facility サーベイによって増光過程で発見された超新星である。11 月 11 日にアマチュア天文家の Balcon による分光観測から炭素の高電離輝線が捉えられ、その後 12 月 3 日に ZTF グループの分光観測からヘリウム輝線が捉えられ、Ibn/Icn 遷移型超新星であると同定された。我々は、鹿児島大学 1m 望遠鏡及び赤外線 3 バンド撮像装置 kSIRIUS を用いて 2023 年 11 月 14 日から 2024 年 2 月 12 日まで計 13 夜の観測を実施した。PSF 測光を実施し 2MASS カタログ等級を用いて JHKs バンドの光度曲線を得た。加えて、分析には ZTF 及び ATLAS の可視光公開データを用いた。

我々は多バンドライトカーブ、近赤外線絶対等級、色進化、赤外線積分光度を作成した。驚くべき事に、可視光波長域で最大光度に到達した後に 20 日程度で 3.5 等もの大きな減光を示した一方で、Ks バンドでは緩やかな変動を示しつつもほとんど一定の光度を保った。Ks バンドの最大光度は 11 月 22 日に -18.7 等であった。色進化においては J-Ks=0.5 から 2.0 まで急激な赤化を示した。我々は SN 2006jc との比較から、赤外超過開始時間を爆発直後であると推定した。本講演では、赤外超過の起源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](#)

N36a 日本および韓国 VLBI 観測網による SN 2023ixf の電波フォローアップ観測

岩田悠平, 富永 望, 守屋 堯 (国立天文台), 前田啓一 (京都大学), 松岡知紀 (ASIAA), 藤澤健太, 新沼 浩太郎, 穂本正徳 (山口大学), 米倉寛則 (茨城大学), Sung-Chul Yoon (Seoul National University), Jae-Joon Lee, Taehyun Jung, Do-Young Byun (KASI)

重力崩壊型超新星爆発の電波観測では、爆発前の親星からの恒星風による星周物質と、超新星爆発によるエジェクタとの相互作用によって生じたシンクロトロン放射が観測され、親星の進化に関する示唆が得られる。2023 年 5 月 19 日、近傍銀河 M101 (6.85 Mpc) で II 型超新星爆発 SN 2023ixf が発見された。我々は SN 2023ixf に対して、日本 VLBI 観測網 (JVN)、VERA、韓国 VLBI 観測網 (KVN) を用いて、6.9, 8.4, 22, 43, 86, 129 GHz のフォローアップ観測を実施した。VERA および KVN では、22, 43 GHz 帯でのフラックス上限値が mJy レベルで得られた。JVN では発見翌日から 269 日後まで 12 回の観測を 6.9, 8.4 GHz 帯で実施し、152, 206, 269 日後の観測で ~ 5 mJy の検出があった。フラックスのピークは爆発から 206 日後付近であり、これは他の II 型超新星爆発よりも比較的長いタイムスケールである。電波放射の解析的モデルから、SN 2023ixf の親星の質量放出率を計算すると、爆発の約 5 年前まで $\sim 10^{-4} M_{\odot} \text{ yr}^{-1}$ の一定の放出率であったか、爆発 22 年前から 5 年前の間に $\sim 10^{-6} M_{\odot} \text{ yr}^{-1}$ から $\sim 10^{-4} M_{\odot} \text{ yr}^{-1}$ に上昇した可能性が示唆された。いずれの場合も通常の赤色超巨星の質量放出では説明できず、大質量の最終期進化的理論の再考を促すものである。また、我々の非検出のデータから得られた質量放出率の制限は、爆発直後の可視分光観測などから指摘されている、爆発前数年間に質量放出率が $\sim 10^{-2} M_{\odot} \text{ yr}^{-1}$ に上昇しているモデルと矛盾ないことがわかった。

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

N37a 青色超巨星の爆発の多様性

守屋 亮 (国立天文台), Athira Menon (IAC)

SN 1987A の親星は青色超巨星であった。このため SN 1987A の光度曲線は 100 日ほどかけて光度上昇が起こる特徴的な形をしていた。大規模な突発天体サーベイが行われるようになり、SN 1987A と似たゆっくりとした光度上昇をする II 型超新星が多く発見され始めている。この結果 SN 1987A と似た特徴を示す II 型超新星は重力崩壊型超新星の 1% 程度を占めることが明らかになっている。これらの超新星は青色超巨星由来であると考えられており、重力崩壊型超新星の 1% 程度が青色超巨星由来であると考えられている。しかし近年多くの青色超巨星が観測的に発見されるとともに、連星系での大質量星の合体の多くが青色超巨星になりうることが理論的に明らかになってきている。これらの理論によれば重力崩壊型超新星の 10% 程度が青色超巨星由来であると予測されるが、SN 1987A と似た超新星との比率と合っていない。そこで我々は、青色超巨星が SN 1987A とは異なる観測的特徴を持つ超新星として観測される可能性を探った。その結果、青色超巨星の爆発時に合成される ^{56}Ni の量が少ない場合、青色超巨星の爆発は SN 1987A の光度発展とは全く異なる、50 日程度の非常に短いプラトー期をもつ暗い II 型超新星として観測されることが明らかになった。このような特徴を持つ突発天体として intermediate-luminosity red transients (ILRTs) といったものが知られており、このような暗く短いプラトーをもつ突発天体の中に青色超巨星を親星とする超新星が紛れている可能性があることが明らかになった。

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

N38a 散開星団における Gaia BH・Gaia NS の力学的捕獲による形成

谷川 衡 (福井県立大学), Long Wang (中山大学), 藤井 通子 (東京大学)

近年、位置天文衛星 Gaia の公開データを基にして、ブラックホール (Black Hole: BH) や中性子星 (Neutron Star: NS) が数多く発見されている。これら発見された BH/NS は、軌道周期が 10^2 - 10^4 日の連星の中にあり、 $1M_{\odot}$ 前後の主系列星や赤色巨星を伴星としている。BH/NS とその伴星との距離は伴星の半径より十分大きいので質量輸送が起こっていない。従ってこれらの連星は X 線連星ではない不活性な連星である。このような BH/NS は Gaia によって初めて発見されるようになり、BH を持つ連星は Gaia BH、NS を持つ連星は Gaia NS と呼ばれている。

Gaia BH/NS の発見は連星進化理論に新たな疑問を投げかけている。BH/NS の前身である大質量星と $1M_{\odot}$ 程度の恒星の連星から Gaia BH/NS を作ることができないからである。従来理論によれば、軌道周期が 1 日以下、または 10^4 日より遥かに長い連星しか形成できない。そこで Tanikawa et al. (2024, MNRAS, 527, 4031) は、PETAR コードを使用した重力 N 体計算によって、散開星団内ならば BH が恒星を力学的に捕獲することによって Gaia BH が効率的に形成されることを示した。

さらに我々は Gaia BH と同様に Gaia NS も散開星団で効率的に形成されるのではと期待した。しかし、逆に、Gaia NS は散開星団で形成できないことを明らかにした (Tanikawa et al. 2024, OJAp, 7, 37)。散開星団では Gaia NS の形成効率は Gaia BH の形成効率に比べて少なくとも 10 倍低い。これは、Gaia NS の発見数が Gaia BH の 7 倍であることに矛盾する。従って、我々は Gaia NS が散開星団で形成された可能性を否定した。Gaia NS の形成が力学捕獲でないということは、Gaia NS を大質量星・大質量連星進化の制限に使えることを意味する。時間があれば、Gaia BH の BH が、実は 1 つの BH ではなく、2 つの BH である確率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](#)

N39a 新たな Li 過剰金属欠乏星の発見とその詳細な組成パターンの測定

松野 允郁 (ハイデルベルク大学), Emma Dodd (University of Groningen), Amina Helmi (University of Groningen), Hong-Liang Yan (NAOC) 他

恒星の中には、同様の金属量・進化段階にある大部分の他の恒星よりも過剰な Li を含む Li 過剰星が少数存在する。その中でも特に進化の進んでいない Li 過剰星の Li の起源は謎に包まれてきた。本講演では新たに発見された進化の進んでいない Li 過剰星、Gaia DR3 6334970766103389824 について報告する。この星は銀河系ハローの力学的恒星集団、ED-3 ストリームに所属する天体として UVES/VLT で観測され、有効温度は 6333 K、表面重力 $\log g$ は 4.03 dex、金属量は $[\text{Fe}/\text{H}] = -2.1$ である。Li 組成は 3 次元非局所熱平衡過程のもと計算された Li 吸収線モデルを用いた解析によって、大多数の金属欠乏星と比べて 10 倍以上高い値である $A(\text{Li}) = 3.4$ と測定された。我々はさらに本天体の窒素やアルミニウムを含む詳細な元素組成パターンを測定した。その結果、炭素やアルミニウム、s プロセス元素の組成は通常の恒星と変わらないものの、過剰な窒素組成 ($[\text{N}/\text{Fe}] = 1.3$) とナトリウム組成 ($[\text{Na}/\text{Fe}] = 1.0$) を持つことがわかった。炭素と窒素組成から $[(\text{C}+\text{N})/\text{Fe}] = 0.7$ であることから、過剰な窒素は本天体外からもたらされたもので、本天体は進化の進んだ巨星由来のガスを多く含むと考えられる。なお、Gaia DR3 で報告された視線速度と 2 つの UVES スペクトルから測定された視線速度の間には変化が見られず、現時点では伴星の存在は確認されていない。これらの情報をもとに、本講演では考えられる過剰な Li の起源と Gaia DR3 6334970766103389824 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](#)

N40a すばる望遠鏡による極超金属欠乏星の観測

須田 拓馬 (東京工科大), Patrick Francois, Elisabetta Caffau, Piercarlo Bonifacio (パリ天文台), 青木 和光 (国立天文台), 和南城 伸也 (マックスプランク研究所)

金属欠乏星は宇宙初期に誕生した星であり、銀河系および局所銀河群の化学進化を探る重要な手がかりとなる。これまでに、高分散分光によって金属量が太陽の千分の一以下 ($[\text{Fe}/\text{H}] < -3$) であると確認された超金属欠乏星が、銀河系ハローで 700 個以上報告されている。一方、さらに一桁鉄組成が小さい星は極超金属欠乏星と呼ばれ、まだ 50 個程度しか報告されていない。

$[\text{Fe}/\text{H}] \sim -4$ 以下では、多くの元素について化学進化の振る舞いが $[\text{Fe}/\text{H}] \sim -3$ 以上とは異なることが分かっており、初代星の超新星や連星進化の影響を強く受けている可能性がある。その中でも、リチウム組成は $[\text{Fe}/\text{H}] \sim -4$ の付近で、鉄組成の減少とともにいわゆる Spite plateau から減少する傾向が見られる。また、 $[\text{Fe}/\text{H}] < -4$ では炭素過剰星の割合も非常に高いことが知られており、炭素過剰星の比率が星の生い立ちを知る上で重要な鍵を握る。

本講演では 2023 年 4 月にすばる望遠鏡で観測した超金属欠乏星の候補天体の分光観測による組成解析の結果を報告する。観測対象は、SDSS DR16 から主系列段階にいる金属欠乏星の候補から選んだ 4 天体であり、408.4 nm から 689.2 nm の波長域で観測を行った。今回の観測により、候補天体の中の一つは $[\text{Fe}/\text{H}] = -4.4$ であることが分かり、新たな極超金属欠乏星のサンプルが追加される。他の候補天体 3 つについても $[\text{Fe}/\text{H}] < -3$ を満たすので、超金属欠乏星として分類される。本研究では、リチウム、炭素、中性子捕獲元素などの元素組成について上限値が求まったので、リチウム組成の金属量依存性や炭素過剰星の比率について議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P101a 小マゼラン銀河における大質量星を多く含む星団の初期質量関数の推定

中野寛矢, 立原研悟 (名古屋大学)

大質量星の存在量は全恒星の0.1%未満と少なく、その割合は恒星の初期質量関数 (Initial Mass Function: IMF) により規定される。IMF は銀河の環境に依存せず一定であるとする研究もあるが、遠方銀河では IMF が top heavy である (大質量星が近傍より形成されやすい) いくつかの証拠が見つかっている。IMF の普遍性の議論のため、遠方銀河に近い性質を持つ近傍の低金属量銀河において、個々の星を分解して直接 IMF を求めることが望ましい。

そこで、我々は金属量が $\sim 0.1-0.3Z_{\odot}$ である小マゼラン銀河に着目し、若い星団から IMF の大質量星側のべき指数 β の導出を試みた。*Gaia* 色等級図から選定された質量が $8M_{\odot}$ 以上の大質量星候補 (2024 年春季年会, 中野 他) の高密度領域 (個数密度 $\gtrsim 7.5 \times 10^{-3} \text{ pc}^{-2}$) に等時線フィッティングを行い、 $\log \text{Age} < 6.8$ を満たす9つの星団を若い星団として採用した。星までの距離は65 kpc, 金属量は $0.1Z_{\odot}$ に固定し、ベストフィット等時線の最近傍点から星団メンバーの質量を決定した。 $\log \text{Age} = 6.8$ は質量 $\approx 33M_{\odot}$ の星の寿命に対応するため、完全性が十分高い、質量が $\sim 8-30M_{\odot}$ の星団メンバー約400個を取り出した。 β の導出には3通りの手法を用いた: 1. ヒストグラムを用いた差分 IMF のフィッティング ($\Delta N / \Delta \log M \propto M^{1+\beta}$), 2. 累積 IMF のフィッティング ($N(>M) \propto M^{1+\beta}$), 3. 質量の上限 M_{max} を考慮した累積 IMF のフィッティング ($N(>M) \propto (M_{\text{max}}^{1+\beta} - M^{1+\beta}) / (1+\beta)$)。得られた結果は3通りの手法で 1. $\beta = -2.59 \pm 0.12$, 2. $\beta = -2.42 \pm 0.06$, 3. $\beta = -2.82 \pm 0.04$ と、いずれも Salpeter の $\beta = -2.35$ を下回り、top heavy な IMF の証拠は得られなかった。一方、バー構造の6つと、東部に伸びるウイング構造の3つに星団を区分すると、それぞれ $\beta \approx -3.0$, $\beta \approx -2.0$ が得られた。低金属量が示唆されるウイング構造における top heavy な IMF を示す可能性があるが、ウイング構造の星団が $\approx 55 \text{ kpc}$ と近くに位置することでも説明できる。

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

P102a ガス雲衝突による大質量星団の形成：質量収束機構と大質量の起源

福井康雄 (名古屋大学)

球状星団に代表される大質量星団の形成機構は、未だ十分に解明されていない。しかし、局所群における若い大質量星 (団) の観測の進展によって、星間水素原子雲と銀河円盤との超音速衝突が、大質量星団形成機構として働いている可能性が強まった。本講演では、R136をはじめとする大マゼラン雲・M33の9星団 (質量 $100 M_{\odot}-5 \times 10^5 M_{\odot}$) [R136, NGC 604, Hodge 301, 30 Dor C, N63A, N113, N159E, N159W-N, N159W-S] において、衝突によるガスの急速な収束と圧縮が1 Myr で効率よく実現し、大質量星団・OB アソシエーションなどが形成されたことを報告する。

磁気流体力学理論研究によると、 $10-100 \text{ km s}^{-1}$ で超音速衝突するサイズ $1-100 \text{ pc}$ のガス雲は円盤内のガスを圧縮し磁場をV字型に曲げ、磁場にそって収束するガス流を誘起する (Inoue & Fukui 2013; Inoue et al. 2018)。この収束過程はガスをV字型のフィラメント状に圧縮し、3次元的には円錐状分布を形成する。その結果、ガス流は円錐の頂点に収束し大質量星団形成に至る。この際、星団質量は衝突ガス雲サイズのほぼ2乗に比例する。本研究対象9個の中で最大質量の星団 R136 は、ALMA 観測他によって、サイズ最大 (50 pc) の衝突ガス雲と、円錐状磁場によって収束されたガス流によって実現したと見られる。したがって、 $10^5 M_{\odot}$ をこえる大質量星団形成のためには、 50 pc 以上のサイズの水素雲が 100 km s^{-1} の速度で銀河円盤と衝突することが必要条件である。

[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](#)

P103a NGC 1333 における分子雲衝突に誘発されたフィラメント形成 (2)

伊藤拓冬, 山田麟, 深谷直史, 出町史夏, 玉城磨生, 石川竜巳, 松月大和, 高山楓菜, 立原研悟, 福井康雄 (名古屋大学), 徳田一起 (九州大学/NAOJ), 佐野栄俊 (岐阜大学), 榎谷玲依 (九州産業大学), 河野樹人 (名古屋市科学館), 西村淳 (NAOJ), 藤田真司 (統計数理研究所), 井上剛志 (甲南大学)

NGC 1333 は距離235 pcに位置する活発な小質量星形成領域で、137個の若い星が検出されており、これらの星団形成機構として速度差 5 km/s の二成分の分子雲の衝突が提案されている (Loren et al. 1976)。我々は野辺山45m 望遠鏡を用いて ^{12}CO 、 ^{13}CO 、 C^{18}O の観測を行い、 C^{18}O のピーク強度図からフィラメント状分子雲を同定した。それらの分布から、線質量の大きいフィラメントは2つの分子雲が重なる衝突領域に局在し、フィラメントに垂直な方向の位置-速度図はガス流の衝突と斜め磁場によるフィラメント形成の理論計算 (Inoue et al. 2018) によって説明できる (山田他、2023 年秋季年会 P125a)。しかし C^{18}O のデータのみでは幅広い密度レンジを持つフィラメントを網羅できない。そのため本研究では ^{13}CO のデータを用いて新たに70本以上のフィラメントを同定した。その結果、(1) この領域のフィラメントのほとんどが約 0.1 pc の幅を持ち、線質量が $4-400 M_{\odot}/\text{pc}$ と広く分布すること (2) 線質量や速度分散が大きいフィラメントは衝突領域に局在すること (3) 衝突領域のフィラメントのほとんどに若い星が付随し、それらは臨界線質量 $20 M_{\odot}/\text{pc}$ より大きい線質量を持つこと (4) 衝突領域の内外面問わずフィラメントは周囲から約 0.5 km/s ずれた速度を持ち、位置-速度図上でV字構造を示すことが確認された。以上の結果は衝突領域外にも広がって分布する ^{13}CO で同定されたフィラメントへの質量降着の兆候を示す。そのため、この領域でのフィラメント形成は分子雲衝突のみでなく、より広がった原子ガスの衝突によっても誘発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](#)

P104a かなた望遠鏡可視偏光サーベイ：Sagittarius 銀河腕中の 3 次元磁場構造 (III)

城 壮一郎, 土井 靖生 (東京大), 堀 友哉, 丸田 哲温, 川端 弘治 (広島大), 松村 雅文 (香川大), 秋田谷 洋 (千葉工大)

銀河系の大局磁場構造を 3 次元的に解明することは、銀河渦状腕や巨大分子雲などの形成における磁場の役割を理解するために重要である。我々は広島大学の全天偏光サーベイプロジェクト SGMAP の一環として、口径 1.5 m かなた望遠鏡を用いて銀河面付近の星間偏光観測による磁場構造の観測を行っている。これまでの観測では、銀河系の Sagittarius arm における磁場が視線方向の距離ごとに > 10 pc の空間スケールで滑らかに分布し、それぞれ違う角度で銀河面から大きく傾いていることが明らかになっている (Doi et al. 2024)。

今回我々はより大きな空間スケールの磁場構造を明らかにすべく $11.0^\circ < l < 16.5^\circ$, $-2.5^\circ < b < 0.1^\circ$ の範囲を観測対象とした。これは Sagittarius arm の距離において ~ 100 pc $\times$ 50 pc の空間スケールに相当する。この範囲で $\sim 10' \times 20'$ の視野 8 領域を観測した。観測の結果、磁場構造は $\sim \pm 25^\circ$ ほどの分散でよく揃っていることがわかった。つまり、磁場は銀河面から局所的に傾いているのではなく、より大きなスケールで滑らかに揃いつつ銀河面から傾いて分布していると考えられる。さらに、大きなスケールでの平均的な磁場位置角は、Sagittarius arm 内を横切る奥行き方向 ~ 1 kpc の視線全体にわたって距離依存性を持つことが明らかになった。平均的な磁場位置角は、視線奥行き方向について距離の増大に伴い $\sim 50^\circ$ から $\sim 150^\circ$ まで徐々に変化する。本講演では、これら Sagittarius arm 内の大規模磁場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](#)

P105a かなた望遠鏡可視偏光サーベイ：大質量星形成領域 W33 方向の磁場構造

土井 靖生, 城 壮一郎 (東京大), 堀 友哉, 丸田 哲温, 川端 弘治 (広島大), 松村 雅文 (香川大), 秋田谷 洋 (千葉工大)

大質量星形成活動をトリガーする機構として、星間雲衝突の重要性が指摘されている。星間雲同士の衝突により星間ガス層が圧縮され星形成を誘発する過程に於いては、星間磁場が重要な役割を果たすと考えられる。しかしながら、星間雲衝突の現場の星間磁場構造を観測的に明らかにした例はこれまでほぼ存在しない。我々は、広島大学かなた望遠鏡を用いた可視偏光観測による銀河面 3 次元磁場構造のサーベイ観測の一環として、星間雲衝突の寄与が提案されている大質量星形成領域 W33 方向の磁場分布を 3 次元的に明らかにすることを試みた。

観測した可視偏光データを Gaia 衛星の測定した各星までの距離、及びそれぞれの星について求められた星間吸収量と比較したところ、距離 1.5 kpc 付近に $\sim 5 \times 10^{21} \text{ cm}^{-2}$ に相当する顕著な星間吸収が見られ、同距離に銀河面にほぼ垂直方向に揃った位置角 $158^\circ \pm 28^\circ$ の磁場分布が認められた。更に距離 2 kpc 付近では明確な星間吸収の増大が見られないものの、磁場位置角の明確な変化が見られ、距離 2~3 kpc に存在する星の偏光は、銀河面にほぼ平行に揃った位置角 $97^\circ \pm 14^\circ$ のような磁場分布を示す。一方 W33 に相当する距離 2.4 kpc では、明確な星間吸収の増大や磁場位置角の変化は見られない。すなわち W33 の存在すると考えられる距離の観測データには、星間雲衝突を含む大質量星形成活動や、形成された大質量星からのフィードバックの存在を示唆する星間磁場の乱れ等の兆候は認められなかった。

本講演では、我々の観測から示される磁場分布と大質量星形成領域との関係について、考え得る可能性を検証し、星間偏光観測による磁場構造測定が大質量星形成過程の解明に果たし得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](#)

P106a かなた望遠鏡可視偏光サーベイ：MBM 37 の星無しコア周縁部の磁場構造

堀 友哉, 川端 弘治, 丸田 哲温, 中村 謙吾 (広島大学), 土井 靖生, 城 壮一郎 (東京大学), 松村 雅文 (香川大学), 秋田谷 洋 (千葉工業大学), 笹田 真人 (東京工業大学)

星形成は星間分子雲が重力収縮し、分子雲コアが生成され、さらにそれが収縮することによって原始星が誕生するといった過程で進むと考えられている。その過程には重力の他に、コアの回転運動、乱流、磁場といった様々な要因が関連していると指摘されているが、詳細は不明である。星形成の兆候を示さない“星無しコア”では、乱流や磁場によって重力収縮が阻害されている可能性も指摘されており、観測的な検証が待たれている。星間磁場を直接捉えることが難しいが、磁場によって整列した非球状ダストによって生じる、直線偏光二色性に基づく背景星の星間偏光の観測によって磁場構造を知ることができる。このため偏光観測により、星形成における磁場の役割や寄与に迫ることが期待される。

我々は、星無しコア LDN 183 を伴う高銀緯分子雲 MBM 37 について広島大学かなた 1.5 m 望遠鏡を用いて可視・近赤外バンドの偏光観測に基づいた研究を進めている (2023 年秋季年会 Q06a)。今回、観測領域を増やして周辺磁場の曲がり具合をより広く捉えることに成功した。偏光方位角の分散から周縁部の磁場強度は $21\text{--}37 \mu\text{G}$ と見積もられた。これは同程度の水素柱密度を持つ典型的な分子雲よりも 2 倍ほど大きい。また、コアの諸量を用いてピリアル解析を行うと、重力ポテンシャル: $2 \times 10^{44} \text{ erg}$ を運動エネルギーと磁場のエネルギーの総和が大きく上回る $8\text{--}14 \times 10^{44} \text{ erg}$ であることがわかった。また、乱流と磁場は拮抗しており、コアの重力収縮が乱流圧・磁気圧に阻害され、星形成が抑制される環境となっていることが判明し、これは当該コア内に星形成活動が認められないことと整合的である。

[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](#)

P107a かなた望遠鏡可視偏光サーベイ：若い星団 NGC 6910 内の磁場構造とダストサイズ

丸田 哲温, 川端 弘治, 堀 友哉, 中村 謙吾 (広島大), 城 壮一郎, 土井 靖生 (東京大), 松村 雅文 (香川大), 秋田谷 洋 (千葉工大), 笹田 真人 (東工大)

星間磁場に関する様々な情報は可視・近赤外線域の偏光観測によって得ることができ、特に星間磁場を天球上に投影したパターンは、星間雲による吸収を受けた多数の背景星の偏光方位角から捉えることができる。これに近年の Gaia 衛星のカatalogを併用することで、対象領域の前景偏光成分をベクトルの的に差し引いて、対象領域固有の磁場構造を推定することも可能になってきた。また、多バンドの偏光観測を行い偏光度がピークとなる波長 $\lambda_{\max}$ を求めることで、吸収に寄与するダストの平均サイズを知ることもできる。

大質量星を抱える星団中の磁場パターンを捉えるとともに各星に対する偏光度の波長依存性を明らかにし、周辺の磁場やダストに対する大質量星の影響を知ることを目的として据え、我々ははくちょう座 OB9 アソシエーションの中心部に位置する若い散開星団 NGC 6910 の可視・近赤外 7 バンド (B, V, R, I, J, H, K_s) の偏光サーベイ観測を口径 1.5m の広島大学かなた望遠鏡と可視赤外線同時観測装置 HONIR を用いて実施した。得られた偏光ベクトルマップからは、星団の距離 (1.72 kpc; Kaur et al. 2020) よりも近傍では磁場の向きが一樣に揃っているものの、星団中や、より遠い距離では視野内の場所ごとに異なる磁場構造をもつことが判った。つまり星団内の磁場構造は複雑である可能性がある。また偏光度の波長依存性を各星に対して調べることで $\lambda_{\max}$ の距離依存性に特徴的な傾向が見られることも判った。星団の手前の星に比べて星団中およびその向こう側の星では $\lambda_{\max} \lesssim 0.5 \mu\text{m}$ 以下のサンプルが多く現れており、これは星団中のダストサイズが小さい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](#)

P108b ハブ-フィラメント系の形成・進化過程解明に向けた輻射磁気流体シミュレーション

安部大晟 (東北大学), 富田賢吾 (東北大学), 岩崎一成 (国立天文台), Jeong-Gyu Kim (国立天文台), 井上剛志 (甲南大学)

星はフィラメント状分子雲で誕生し、中でも大質量星はほぼ全て「ハブ-フィラメント系」で誕生することがわかっていく (Kumar et al., 2020). ここでハブ-フィラメント系とはフィラメントが複数本繋がっている構造であり、フィラメントの交点に対応する領域をハブと呼ぶ。この最新観測結果を背景に新たな大質量星形成シナリオの潮流が誕生しつつある。ハブ-フィラメント系にはフィラメントに沿った強いガス降着がある。これは星周円盤の重力分裂を誘発し、大質量連星形成が起こると期待される。また星形成効率 (ガスの総質量のうち星に転換される割合) は小さいことが観測からわかっておりこれをどのように実現するか議論されている。ハブ-フィラメント系ではフィラメントがハブに落ち込み大質量星形成を起こしつつ、大質量星からの輻射フィードバックにより薄いガスを雲散霧消することで星形成効率を低く抑えることが期待される。大質量連星形成過程と低い星形成効率の起源を明らかにするためには環境から分裂の起こる円盤まで一貫して調べなければならず、ハブ-フィラメント系の形成・進化の理解はこれを一網打尽に解くが、ハブ-フィラメント系の起源はよくわかっていない。

フィラメント形成は分子雲を衝撃波圧縮することによって誘発される (e.g., Pineda et al. 2023). 本研究ではハブ-フィラメント系の起源を、Athena++ (Stone et al. 2020; Tomida & Stone 2023) を用いて、分子雲の衝撃波圧縮シミュレーションにより解明することを目指す。結果として、衝撃波圧縮層の自由落下時間以上もの長い間圧縮し続ければフィラメントの重力合体が起こりハブが形成されることが分かった。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P109b 銀河系外縁部にある Sh2-283 分子雲に対する CO 同位体輝線観測

百瀬宗武, 草野敦哉, 折原龍太 (茨城大理), 泉奈都子 (岐阜大工/NAOJ), 安井千香子 (NAOJ)

天の川銀河外縁部の低金属量環境下にある HII 領域 Sh2-283 に付随する分子雲に対し、ALMA TP アレイを用いて 3 つの CO 同位体の $J=2-1$ 輝線を観測した結果を報告する。Sh2-283 は太陽近傍に比べ相対金属量が $1/3$ 程度であり、距離 7.9 kpc ほどにあると見積もられている。金属量の違いが星形成過程に与える影響を調べる一連の研究の中で、この領域は低金属量環境としてはマゼラン雲等と比べより近傍にあり、分子雲の詳細構造まで調べられる可能性があるという特徴がある。観測のビームサイズ (FWHM) は $29.6''$ (1.1 pc に相当) であり、先行研究を参考に設定した $7' \times 2'$ と $4' \times 2'$ の隣接する 2 つの矩形マッピング領域で得られたデータをノイズレベルを考慮した重み付け平均により結合した結果、長さ 25 pc 以上にのびるフィラメント状構造を捉えることに成功した。フィラメントはところどころ折れ曲がっており、近傍分子雲フィラメントで見られる striations に相当するような構造も見られた。また、先行研究で得られた YSOs はフィラメントに沿うように分布していることが明らかになり、特に、本領域で最も顕著な星団が存在している領域は、速度が異なる 2 つのフィラメントが交差している点に一致していることがわかった。 ^{12}CO 積分強度から LTE を仮定して推定したガスの総質量は $5.5 \times 10^3 M_{\odot}$ であった。その他ポスターでは、デンドログラム解析によって得られたクラump候補の物理状態についても報告する。空間分解能が不十分で得られたクラumpのサイズもビームサイズと同程度であったため、星形成を起こしているコアが直接分解されたわけではないが、これらのクラump候補は ALMA ACA や 12m アレイを用いた追観測により、コア質量関数を調べる絶好のター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](#)

P110b 磁場と乱流が First core に与える影響

坂元 優一, 塚本裕介 (鹿児島大学)

星形成過程の初期段階では、圧力で支えられた半径 1AU 程度の非常に短命な天体、ファーストコアが形成すると理論的に考えられてきた。ファーストコアは低光度であり、短命なため、ファーストコアを観測的に同定することは星形成研究の長年の目標である。また、発見確率はファーストコアの寿命に比例するため、その寿命を決定することは今後のファーストコアの観測に重要である。これまでのシミュレーションからファーストコアの寿命は初期分子雲コアの回転や磁場の強さなどに影響され、数百年～数千年と幅が広く、長いものでは例えば Tomida et.al.2010 で 1 万年以上の長寿のファーストコアの形成が報告されている。しかし、先行研究では磁場や乱流、輻射輸送が簡略化されている場合があり、これらを同時に考慮した研究はなされてこなかった。そこで我々は磁場・乱流・輻射輸送・非理想磁気流体を全て考慮したシミュレーションを行いファーストコアの寿命を求めた。本講演ではその結果を報告する予定である。

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

P111b 大質量原始星アウトフローにおける CO 分子の紫外線解離の金属量依存性

小嶋 一生, 田中 圭, 奥住 聡 (東京工業大学), 岩崎 一成 (国立天文台)

138 億年の宇宙史を通じて、星形成環境は絶えず変化している。特に、金属量は宇宙の進化とともに増加しているため、低金属量環境における星形成過程を調査することは昔の星形成過程を理解する上で重要である。近傍矮小銀河である小マゼラン雲は金属量が $0.2Z_{\odot}$ と低く、約 100 億年過去の銀河系を模擬する環境である。近年、小マゼラン雲における CO 分子輝線観測から、天の川銀河や大マゼラン雲と比較して、高光度の大質量原始星ではアウトフロー強度が弱いことが報告された (田中他, 2023 年春季年会)。この結果は低金属量環境下における星形成過程が、銀河系環境のものとは異なることを示唆する可能性がある。しかし、ダスト微粒子の少ない低金属量環境では紫外線がよく透過し、CO 分子が光解離されやすいため、単に CO 輝線で計測できるアウトフローが見えなくなっているだけの可能性も否定できない。

本研究の目的は、観測された「小マゼラン雲の弱いアウトフロー」を、大質量原始星が放出する強力な紫外線による CO 分子の光解離で説明できるかを検証することである。そこで、原始星紫外線のダスト吸収減衰と CO 分子の解離・生成を考慮した、アウトフロー中の CO 存在度分布を求めるモデルを構築した。これを原始星光度と金属量を様々に振って計算を行うことで、CO 存在度のそれら物理パラメタへの依存性を調べた。その結果、低金属量では CO 存在度の減少が見られ、CO で観測可能なアウトフロー質量も減少することを確認した。アウトフローのダスト減光に対する光学的厚さが 7 以下であれば、大質量原始星紫外線によりアウトフロー全体の CO が解離されることがわかった。本講演では、結果と観測の比較や、観測を再現するための条件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](#)

P112b 星形成初期段階における交換型不安定性による磁束輸送現象の探究 (3): ALMA による分子雲コアに埋もれた 10 au 原始星円盤から伸びた棘構造の検出

徳田一起 (九州大学/国立天文台), 原田直人 (東京大学), 松本倫明 (法政大学), 西合一矢 (鹿児島大学), 大西利和 (大阪公立大学), 大村充輝, 野崎信吾, 所司歩夢, 町田正博 (九州大学), 深谷直史, 立原研悟, 犬塚修一郎, 福井康雄 (名古屋大学)

分子雲コアから原始星が形成される過程において、初期に貫いている磁束を星および原始星円盤から抜き取るメカニズムについては完全に理解されていない (星形成における磁束問題)。我々は従来考えられてきた非理想磁気流体効果による磁気拡散過程に加えて、磁気浮力不安定性の一種である交換型不安定性により直接的に磁束を原始星円盤から放出する機構の妥当性を観測/理論的に検証している (徳田他, 大村他 2024 年春季年会)。本講演ではおうし座星形成領域の中で最も密度が高い分子雲コア MC 27 に潜む Class 0/I 天体の ALMA による空間分解能 $\sim 0.03(4 \text{ au})$ の観測結果について紹介する。この種の進化段階の原始星では極めて小さい部類に属する長軸 10 au 程度の円盤を空間分解することに成功した。これに加えて、円盤の北東方向に数 au の大きさの棘 (とげ) 状の構造を捉えた。MC 27 の中心星の質量は $\sim 0.2 M_{\odot}$ と分子輝線観測から力学的に見積もられており、1.3 mm フラックス ($\sim 1 \text{ mJy}$) から予想される円盤質量は $\sim 10^{-4} M_{\odot}$ である。このように原始星に対する円盤自体の質量は非常に軽く、棘状構造の形成を重力不安定性による分裂などよく知られた機構で説明できる可能性は低い。この MC 27 においては 2000 au スケールに広がったアーク構造が棘と同じ方向を向いていることも加味し、円盤の淵において交換型不安定性によって引き起こされた磁束の移流による構造形成が過去数万年の間に複数回発生し、直近のイベントで形成されたものが円盤から伸びる棘として捉えられたことを提案する。

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

P113b 山口干渉計を用いた赤外線暗黒星雲中の大質量原始星ジェット探査の現状

元木業人, 村上智哉, 長岡祐希, 藤原陵太郎, 阿部泰成, 北口慶太, 森崎世弥, 柳田裕介, 米山英里, 星野佑輔, 加治屋智宏, 新沼浩太郎, 藤澤健太 (山口大学), 田辺義浩, 米倉覚則 (茨城大学)

70 μm で暗い赤外線暗黒星雲 (以下、IRDC) は”星なし”IRDC として大質量星を含む星団形成の初期環境と考えられている。2016 年以降こうした星なし IRDC 中に電波観測のみで検出される原始星アウトフロー活動が発見され始めた (e.g., Feng et al. 2016)。これらの一部は質量放出率が大きく、いずれ大質量星となる原始星が含まれていると期待され、形成初期環境を調べる上で非常に重要な天体である。我々は 2019 年から山口大学が運用する山口干渉計 (YI) を用いて星なし IRDC に対する原始星ジェットの探査を行ってきた。Traficante et al. (2015) のカタログに収録された星なし IRDC 候補から YI の視野内に混入可能性のある HII 領域が存在しないクランプ 175 天体を抽出し、YI を用いてジェットに伴う熱的制動放射の観測を 8 GHz 帯で行った。フリッジが検出された 90 天体のうち、フラックス密度の低い 51 天体はより低温高密度な IRDC に付随する傾向を示し、何らかの星形成活動に関連していることが示唆される。また電波および赤外線データベースを用いた環境調査から、同じ星なし IRDC でも周辺の星形成活動性に明かな違いがあることがわかった (2021 年秋季年会 P147b)。現在我々はこれら 51 天体を原始星候補天体と定義し、真にそれらが原始星であるかを確かめるため、(1) 「6/8 GHz でのスペクトル指数測定」、(2) 「茨城-山口 1 基線 VLBI による非熱電波源の混入調査」、(3) 「長期モニターによる電波連続波の変動調査」などの観測を進めている。また母体 IRDC の性質を明らかにするため茨城大学が運用する高萩 32m 望遠鏡を用いて (4) 「 NH_3 輝線を用いた母体 IRDC クランプの力学的安定性と化学年齢推定」も開始した。本発表ではこれら探査観測の結果と各種フォローアップ観測の進行状況、今後の拡張計画について紹介する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P114b リチウムの存在度に基づく若い星団の年齢の推定

水本拓走, 伊藤洋一 (兵庫県立大学)

誕生したばかりの恒星は、元の分子雲と同じ量のリチウムを含む。しかし、星表面のリチウムは、対流によって内部のより高温な領域に運ばれると破壊されるため、星の年齢とともに減少する。リチウムが減少する度合いは対流の深さや速さとも関係し、これらは星の質量によって異なる。ある若い星団で様々な質量の恒星でリチウム量を決定し、理論モデルや既知の星団と比較することで、その年齢を見積もることができる。

本研究では、 μ Tau association (以下 MUTA) に属する恒星を観測対象とした。MUTA は Gagne et al. (2020) によって同定された同一の起源を持つ星の群である。その年齢は HR 図上の等時曲線と比較して 62 ± 7 Myr と求められている。しかし、0.9 太陽質量以上の星は 50 Myr ですでに主系列に達しており、HR 図上で年齢を正確に求めることは難しい。Li についても言及されているが、等価幅が得られた天体は 9 天体のみで、詳しい議論には至っていない。

観測は、西はりま天文台の 2 m なゆた望遠鏡と中低分散分光器 MALLS を用いて、MUTA に属する 23 天体に対して実施した。波長分解能は ~ 10000 、波長範囲は 6507-6907 Å である。中心波長は 6707 Å とした。星の有効温度は、得られた星のスペクトルを 3600 K から 7000 K までのモデルスペクトルと比較して、最も形が合うモデルの有効温度を採用した。得られたスペクトルから 6707 Å のリチウムの吸収線に着目し、モデルスペクトルと比較することで、18 天体でリチウムの存在度を 0.82-3.36 と決定した。高温の星では存在度は最大値に近く、低温の星ほど存在度は低い。MUTA が、年齢が 1 億歳程度と推定されているプレアデス星団と近いリチウム存在度の分布を持つことが分かった。

[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](#)

P115b ペルセウス座分子雲 Barnard 1 領域における若い超低質量天体の近赤外測光探査

小柳香, 大朝由美子, 金井昂大 (埼玉大学)

褐色矮星や惑星質量天体など質量が軽い星である超低質量天体は、水素の核融合反応を起こすことができず、低温で暗いため観測例が多くない。したがって、恒星と比べてその形成過程や頻度分布について未解明な点が多く、超低質量天体の探査からその天体数や分布等を明らかにすることは重要である。例えば、へび座分子雲では、分子雲の局所的な環境によって超低質量天体の形成が異なる可能性が示唆された (小田修論 2018)。さらに近年では、Gaia や Euclid 等の宇宙望遠鏡でも超低質量天体が複数見つかりつつある (e.g. Ravinet et al. 2024)。

本研究では、太陽近傍にあるペルセウス座分子雲複合体に属する低質量星形成領域 Barnard 1 (B1, 距離 $\sim 295\text{pc}$; Ortiz-León et al. 2018) を観測対象とした。同じ分子雲複合体に属する中質量星形成領域の NGC 1333 では、近赤外線観測から数十天体の超低質量天体が同定されている (e.g. Oasa et al. 2008)。一方で、B1 領域は Class I 天体が NGC 1333 より高い割合 ($>40\%$) で存在し、より若い星形成領域であると考えられている (Jørgensen et al. 2008)、超低質量天体の探査観測はほぼない。そこで、本研究では B1 領域において、2007 年及び 2013 年に UKIRT 3.8m 望遠鏡を用いて観測された近赤外 JHK バンド画像 (約 3000 平方分) の解析を行った。まず、それぞれの波長ごとに測光し、 $[J-H]/[H-K]$ 二色図を用いて、天体の赤外超過量から YSO 候補を選別した。そして、J バンド等級から距離減光/赤化減光補正を行い、YSO 候補の固有の光度を求めた。さらに、年齢を 1 Myr と仮定し低質量星の理論進化モデル (e.g. Baraffe et al. 2015) から質量を推定した。結果、褐色矮星候補や惑星質量天体候補など新たに数十天体が同定され、B1 領域でも超低質量天体が形成されている可能性が示唆された。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P116a 野辺山 45m 電波望遠鏡に搭載された eQ 受信機による Serpens South クラスター領域内の星なし分子雲コアのラインサーベイ観測

谷口琴美, 中村文隆 (国立天文台), 下井倉ともみ (大妻女子大学), 土橋一仁 (東京学芸大学), Chiong, Chau-Ching, Liu, Sheng-Yuan (ASIAA), 他 eQ 受信機チーム

2021 年 11 月に野辺山 45m 電波望遠鏡に搭載された新 Q バンド受信機 eQ (2024 年春季大会 P122b 中村他, Nakamura et al., accepted by PASJ), を用いて, Serpens South クラスター領域の観測を行った。Q バンドには炭素鎖分子の回転遷移が多数存在し、長い炭素鎖分子の検出にも適している。先行研究で行われてきた星なし分子雲コアの化学組成に関する研究では、おうし座領域などが着目されていた。一方、本研究で着目した星なし分子雲コアは近くに活発なクラスター領域があるため、物理的環境が異なると期待され、クラスター領域内での初期の化学組成を調べる上で適していると考えられる。観測では、最初に複数の炭素鎖分子の輝線 (HC_3N , HC_5N , CCS , *cyclic-C₃H₂*) のマッピング観測を行い、炭素鎖分子の輝線のピークポジションを決定し、そのポジションで 30 – 50 GHz のラインサーベイ観測を行った。達成したノイズレベルは $\sim 10 - 15$ mK 程度であり、複数の炭素鎖分子 (HC_3N , HC_5N , HC_7N , CCS , C_3S , C_4H , C_5H , *l-c-C₃H₂*, CH_3CCH など) を検出し、さらに重水素化物 DC_3N の検出も達成した。 HC_5N と HC_7N の回転温度を導出すると、11 – 14 K 程度となり、Taurus Molecular Cloud-1 (TMC-1) の炭素鎖分子のピーク位置であるシアノポリリンピークよりも僅かに高い傾向を示した。本講演では、初期解析の結果の報告と、他の星なし分子雲コアとの炭素鎖分子の化学組成や HC_3N の重水素濃縮度の比較を議論する。

[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](#)

P117a 野辺山 45m 鏡 受信機 7BEE を用いた巨大分子雲 W3 における重水素化分子の観測

宮戸健, 酒井剛 (電気通信大学), 西村淳, 立松健一, 前川淳, 増井翔 (国立天文台), 小川英夫, 大西利和, 山崎康正, 西本晋平 (大阪公大), 坂井南美 (理研), 徳田一起 (九州大・国立天文台), 宮澤千栄子, 高橋敏一 (国立天文台)

重水素化分子は低温な分子雲コアで増加し、星の誕生後は温度上昇により減少する。このとき、イオン分子に比べ中性分子は反応速度が遅いため緩やかに減少すると考えられる。昨今、分子の重水素濃縮度から大質量星形成領域の進化段階を探る研究が進められている。この研究を推進するべく我々は野辺山 45m 鏡の新受信機 7BEE を開発した。先行研究より巨大分子雲 W3 の大質量星形成領域である AFGL 333, W3(OH), W3 West では、星形成の活発度合いの違いや、化学進化の段階の差異が示されている (Polychroni et al. 2012, Sakai et al. 2005)。そこで本研究では星形成の影響と重水素濃縮の関係を調べるため、上記の 3 領域に対し 7BEE による DCO^+ 及び DNC の同時受信観測を行った。比較のため受信機 FOREST を用いて HCO^+ , H^{13}CO^+ , HNC , HN^{13}C の観測も行った。観測の結果、AFGL 333 において DCO^+ と DNC の輝線が強く検出され、それら分子の分布はよく似ていることがわかった。一方、W3(OH) ではそれら輝線の強度は弱く、W3 West では検出されなかった。W3(OH), W3 West では活発な星形成により重水素濃縮が解消されている可能性がある。また、AFGL 333 領域において DCO^+ と H^{13}CO^+ の分布を比較すると、大まかな構造は似ているものの、ピークの位置がずれているなどやや異なる分布が見られた。これは、分子雲内部の高密度コアごとに重水素濃縮度が異なることを示唆している。講演では、重水素濃縮度について他の天体と比較するなどし、W3 領域の星形成と重水素濃縮の関係を議論する。

[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](#)

P118a 野辺山 45m 望遠鏡による Spitzer Bubble の多輝線観測

高山楓菜¹, 立原研悟¹, 出町史夏¹, 山田麟¹, 伊藤拓冬¹, 大野知希¹, 石川竜巳¹, 松月大和¹, 深谷直史¹, 福井康雄¹, 河野樹人², Doris Arzoumanian³, 島尻芳人⁴ (1:名古屋大学, 2:名古屋科学館, 3:国立天文台, 4:九州共立大学)

Spitzer Bubble は波長 5.8 μm と 8.0 μm でリング構造を持つ天体で、1–2 個の大質量星のみを含むシンプルな系であるため、単独の大質量星形成のメカニズムを追究する上で有用な天体である。本研究では、Spitzer Bubble の形成機構を解明するために、N111–N121 および N123 の 12 個の Bubble について、国立天文台野辺山宇宙電波観測所 45m 望遠鏡を用いて ^{12}CO , ^{13}CO , C^{18}O , CN の観測を行った。 C^{18}O が 3.25 K 以上で検出された 5 領域 (N112, N113, N115, N117) については、高密度トレーサーである HCN , HCO^+ , H^{13}CN , H^{13}CO^+ の観測も行った。その結果、 ^{12}CO , ^{13}CO は 12 個全ての Bubble で検出され、 HCO^+ も 5 領域の全てで検出された。10 個の Bubble では ^{12}CO , ^{13}CO に加え、高密度トレーサーが Bubble 周縁部に集中する一方、N116, N119 では Bubble 内部が ^{12}CO , ^{13}CO ガスで満たされていることが分かった。さらに、 ^{13}CO を用いた速度場の解析から、9 個の Bubble で 2 つ以上の速度成分を同定した。それぞれの速度成分はバブル外側まで広がって重なっており、一部は相補的な分布を示した。一方で N116 は ^{12}CO および ^{13}CO の位置速度図上で V 字型の構造を示した。これらの結果に基づいて、Bubble の形成に関して、分子雲衝突モデル (e.g., Torii et al. 2015 ; Fukui et al. 2021) と、大質量星のフィードバックによる膨張モデル (e.g., Deharveng et al. 2010) を検討した。本講演では、Bubble の距離の推定から膨張速度やタイムスケールを求め、複数の速度成分と Bubble の成因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](#)

P119a 機械学習を用いた分子輝線データによるダスト温度予測モデルの構築

堂込天太, 石橋志悠 (鹿児島大学), 島尻芳人 (九州共立大学), 高桑繁久, 西合一矢, 高橋実道, 城戸未宇 (鹿児島大学)

星形成領域におけるダスト温度は、分子雲ガスの質量の測定や物理状態の理解に不可欠である。しかし、一般にダスト温度の見積もりには遠赤外線・サブミリ波帯での多波長連続波観測が必要であるが、星形成の研究で重要となる分子雲やフィラメントの構造を十分に空間分解能した多波長の観測領域は限られているため、ダスト温度を直接見積もりできる領域も限られている。そこで本研究では、多波長観測からダスト温度が見積もられていない星形成領域や突発現象により温度分布が変化した領域に対応するため、機械学習の手法の1つであるランダムフォレストを用いて分子輝線データからダスト温度を予測するモデルを構築した。具体的には、教師データ (正解となるデータ) として、*Herschel* 宇宙赤外線遠望鏡によるオリオン座 A 分子雲のダスト温度分布の観測データを使用した。特徴量 (予測に必要な情報源) としては、野辺山の 45 メートル電波望遠鏡から得られた ^{12}CO (1-0)、 C^{13}O (1-0)、 C^{18}O (1-0) の分子輝線データを用いた。また、モデルの構築には、python 機械学習パッケージ *pycaret* を使用した。構築した予測モデルをオリオン座 A 分子雲全体に適用した結果、*Herschel* のデータが示すダスト温度分布をよく再現する温度分布が得られた。実際、観測データのダスト温度の値が $20.25 \pm 4.61\text{K}$ に対し、我々の予測モデルでは値が $20.85 \pm 4.53\text{K}$ と高い精度で予測に成功した。本研究の結果、機械学習モデルは限られたデータからダストの温度を予測する上で有効であることが示された。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P120a フィラメント・フィラメント衝突とハブの形成

富阪幸治, 柏木頼我, 岩崎一成 (国立天文台)

フィラメント形状の星間分子雲が星形成に関して注目を集めている。特に、これらが複数結合したフィラメント・ハブ構造は大質量形成領域の有力な候補であり (Kumar+ 2020, AAp, 642, A87)、フィラメント同士の衝突がこの形成機構と考えられる。我々は 2 本の平行フィラメントの衝突 (Kashiwagi+ 2023, ApJ, 954, 129)、直交のそれ (柏木+, 2023 年秋季年会 P106a) を自己重力入り MHD 計算で調べ、衝突後の収縮条件等を求めた。前者では、合計線質量と磁氣的臨界線質量の大小、後者ではフィラメントが交差し衝突する部分の全質量、磁束、衝突速度によっていた。これ以外の衝突ではどうなるのだろうか。

その第一歩として、フィラメントの衝突の結果生じるハブの質量、形状等を、幾何学的に衝突に関与すると予想される部分 (ガス素片が初期速度を維持したときに別のフィラメント起源のそれと重なり合う範囲) を求めることで調査した。衝突は、フィラメント 1 を基準にしたフィラメント 2 の向き (θ_2, ϕ_2)、相対速度の向き θ_v の 3 つのパラメータだけで記述される。

その結果、**A** ハブの質量は、(1) 2 本のフィラメントが平行に近いほど、(2) 相対速度方向がいずれかのフィラメントの方向に近いほど、(3) 2 本のフィラメントと相対速度方向が同一平面に近いほど、大きくなる。**B** 衝撃波圧縮を考慮した後の軸比は、(1) と (3) では大、(2) では小さくなる事がわかった。**C** それぞれのフィラメントからハブに行く質量は、(1) と (3) では同等、(2) では大きく偏る特徴があった。**D** フィラメントの走行方向と衝突速度方向が等方的に分布すると仮定し、ハブの質量分布関数 $f(> M)$ を求めてみた。結果は $df(> M)/d \log M \propto M^{-1.35}$ で近似され、Salpeter (1955, ApJ, 121, 161) の初期質量関数と同じ冪が得られた。

[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](#)

P121a 磁場に貫かれたフィラメント状分子雲同士の衝突進化シミュレーション III. 直交衝突により形成された圧縮雲の不安定条件

柏木 頼我 (国立天文台), 岩崎 一成 (国立天文台/総研大), 富阪 幸治 (国立天文台)

星は主にフィラメント状分子雲内で誕生すると考えられる (e.g. André et al. 2014)。近年、ハブと呼ばれる複数のフィラメントが重なりあった構造内での星団や大質量星を含む活発な星形成活動が示唆されている (e.g. Nakamura et al. 2014; Kumar et al. 2020)。そのため、このハブ-フィラメント構造の形成進化過程を理解することが重要であるが、その全貌は未だ未解明である。そこで我々はこの構造の形成機構として、フィラメント同士の衝突に注目し、それを再現する理想磁気流体シミュレーションに取り組んできた (Kashiwagi et al. 2023)。前回 (2023 年秋季年会 P106a) は、2 本の同じ線質量をもつ磁気静水圧平衡状態の等温フィラメントを直交衝突させた三次元理想磁気流体計算をおこなった結果、衝突により形成された圧縮雲の進化は、崩壊モード、安定モード、および膨張モードの 3 種類に分類できることを報告した。今回は各進化モードの発現条件が圧縮雲のエネルギーバランスで説明可能であることを紹介する。フィラメント同士の衝突完了直後の圧縮雲に含まれる重力エネルギーがその他の運動、熱、磁気エネルギーの合計よりも大きければその後崩壊モードを示す。一方で、重力エネルギーがその他のエネルギーの合計よりも小さい場合、膨張モードを示すことがわかった。以上のことから、崩壊から膨張モードに転じる条件を求め、直交衝突における衝突箇所の不安定条件について明らかにした。本講演ではこれに加え、直交衝突と平行衝突の比較から、形成される星の特徴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](#)

P122a 降着とコア・フィラメント衝突：Per-emb-2 におけるストリーマー形成への示唆

吉野碧斗 (東京大学), 中村文隆 (国立天文台), Quang Nguyen-Luong (AUP), 石原昂将 (総研大)

最近のミリ波・サブミリ波観測によって、原始星の周りに細長く非軸対称な構造があることが明らかになった (Pineda et al. 2020; Valdivia-Mena et al. 2022)。ストリーマーと呼ばれるこれらの構造は、しばしばコヒーレントな速度勾配を示し、原始星に向かうガスの流れを示しているように見える (Pineda et al. 2020; Sanhueza et al. 2021)。しかし、その起源や星形成における役割については、いまだ不明な点が多い。ペルセウス座分子雲内の原始星コア Per-emb-2 には、 10^4 au の比較的大きなストリーマーがあり、炭素鎖分子からの輝線が顕著である。

本研究では、野辺山 45 m 望遠鏡を用いて Per-emb-2 のマッピング観測を行った。45 GHz の CCS, HC₃N, HC₅N などの炭素鎖分子輝線を対象とし、3 つの新規検出を含む 1 つの原始星と 4 つの星なしコアを同定した。CCS と HC₃N の強い輝線が北から南へ伸びており、原始星コアとその北にある星なしコアの橋渡しをしているように見える。このブリッジ構造は 3×10^4 au に渡っており、速度は $6.5 - 7.0$ km s⁻¹ である。ブリッジ構造の速度勾配はストリーマーのそれとは逆である。ゆえに、ストリーマーとこのブリッジ構造がつながっている可能性は低く、降着起源ではないことが示唆される。したがって、球状コア (~ 7.5 km s⁻¹) とフィラメント (~ 6.5 km s⁻¹) との衝突がこの領域の密度構造を形成し、衝突による衝撃圧縮領域で原始星形成やストリーマー形成が起こると考えている。このコア・フィラメント衝突 (CFC) モデルから、Per-emb-2 のストリーマーは原始星への質量降着にはあまり寄与していないと結論づけられる。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P123a 低金属量銀河小マゼラン雲における大質量原始星の ALMA 観測 (3): 原始星に付随するフィラメント状分子雲普遍性の検証

國年悠里, 東野康祐, 小西亜侑, 大西利和 (大阪公立大学), 徳田一起 (九州大学/国立天文台), 町田正博 (九州大学), 原田直人 (東京大学), 田中圭 (東京工業大学), Sarolta Zahorecz, 河村晶子 (国立天文台), 福井康雄 (名古屋大学), 下西隆 (新潟大学)

小マゼラン雲は最も近い星形成銀河の 1 つで、金属量が太陽系の約 0.2 倍であることから低金属量環境下における星間物質の性質や星形成過程を探る上で重要な天体である。これまでの研究より、銀河系や大マゼラン雲の分子雲はフィラメント状の形態をとることが知られており、フィラメントに沿って星形成は促進されると考えられている。そのため、より金属量の低い小マゼラン雲で同様な構造の有無を明らかにすることは星形成活動の金属量依存性を調べる上で一つの重要な課題であった。本講演では小マゼラン雲において前回までに報告した大質量原始星 6 天体 (國年 2023 年春季年会) に新しく 5 天体を加えた合計 11 天体の ALMA データを用いた ¹²CO 輝線の解析結果を紹介する。空間分解能は $0.''34 (\sim 0.1$ pc) であり、¹²CO 輝線は銀河系の典型的な環境とは異なり 10^4 cm⁻³ 程度の密度領域をトレースする。また、原始星に付随するアウトフローが 4 天体程度確認されており、見積もられる力学的時間は $\sim 10^4$ yr である。アウトフローが確認されたものを含む計 8 天体で原始星が付随する分子雲コアに向かって長さ 1–10 pc、幅 0.1 pc 程度のアスペクト比の大きい構造が 1–4 本接続するような分布を示す。しかし、その他の原始星周りでは上記と同様なフィラメント状構造が確認できなかった。小マゼラン雲では大質量原始星方向においてフィラメント構造が必ずしも付随しない場合がある可能性が浮かび上がった。このことから、低重元素量下でのフィラメント状分子雲の形成、散逸の要因などを議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P124a アンテナ銀河における巨大分子雲の Type 分類と進化描像

出町史夏¹, 福井康雄¹, 山田麟¹, 立原研悟¹, 徳田一起^{2,3}, 井上真, 前田郁弥⁴, 小西亜侑⁵, 村岡和幸⁵, 大西利和⁵, 柘植紀節⁶, 藤田真司⁷, 小林将人⁸, 河村晶子³ (1: 名古屋大学, 2: 九州大学, 3: 国立天文台, 4: 大阪電気通信大学, 5: 大阪公立大学, 6: 岐阜大学, 7: 統計数理研究所, 8: ケルン大学)

銀河の大質量星形成は巨大分子雲 (GMC) で進行するため、銀河進化の理解には GMC 進化への理解が不可欠である。これまで、矮小銀河の大マゼラン雲 (LMC) や M33、グランドデザインスパイラル銀河 M74 の GMC を同定し、星形成の兆候を示さない GMC を Type I、H α 光度 ($L_{H\alpha}$) < $10^{37.5}$ erg s⁻¹ の H II 領域が付随する GMC を Type II、 $L_{H\alpha}$ > $10^{37.5}$ erg s⁻¹ の H II 領域が付随する GMC を Type III と分類することで、GMC が Type I $\rightarrow$ II $\rightarrow$ III と進化する描像を提案してきた (Type 分類; Fukui et al. 1999, Kawamura et al. 2009, Demachi et al. submitted, Konishi et al. submitted)。特異な環境における GMC 進化の描像を明らかにするため、銀河衝突によって激しい星形成が進行しているアンテナ銀河に注目した。ALMA による分解能 70 pc の ¹²CO ($J=1-0$) と、VLT MUSE による分解能 60 pc の H α のデータを用いて GMC と H II 領域を同定し、Type 分類を行った。その結果、(1) LMC、M33、M74 では Type II の割合が全体の 50% 程度であった一方で、アンテナ銀河では 5% 程度であること、(2) Type III が最も質量と速度分散が大きく、ビリアル比が小さい傾向を示すこと、(3) アーム領域では Type 間の物理量の変化が小さい一方で、衝突領域では Type I に対して Type III の質量は 3 倍以上増加し、速度分散が 20 km s⁻¹ を超える GMC が 1/4 を占めることがわかった。これは銀河衝突によって Type III への進化が活発化する可能性を示す。講演では、これらの結果を踏まえて銀河衝突環境下における GMC 進化の描像について議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P125a Signs of the global and local infall in a 70 μm dark massive clump

Kaho Morii (University of Tokyo), Patricio Sanhueza, Fumitaka Nakamura (NAOJ/SOKENDAI), Ken'ichi Tatematsu (NAOJ), Takeshi Sakai (University of Electro-Communications)

Understanding gas dynamics is a key for understanding star formation. Recent observations of infrared dark clouds (IRDCs), the birthplace of high-mass stars, imply the necessity of core growth by feeding gas from the surroundings (e.g., Morii et al. 2023). To investigate the gas dynamics around cores and the prevalence of a high-mass infall rate, we performed ALMA observations of a 70 μm dark high-mass clump AGAL337.541–00.082, embedded in an IRDC. It is a massive ($1180 M_{\odot}$), dense (0.45 g cm^{-2}), and cold (12 K) region, thought to be in the early stages of high-mass star formation. Previous ALMA observations revealed 19 cores, including two intermediate-mass cores (10 and $4 M_{\odot}$) associated with east-west CO outflows at the clump center, embedded in a sub-clump with a mass of $\sim 100 M_{\odot}$. We find a clump-scale velocity gradient from north to south using the N_2H^+ ($J=1-0$) line. The position-velocity diagram shows the velocity gradients in the sub-clump and around two intermediate-mass cores. We estimate the infall rate from the velocity gradient to be $\sim 2 \times 10^{-3} M_{\odot} \text{ yr}^{-1}$, which is high enough for the cores to become massive within a free-fall time. We also find the local infall motion from the blue asymmetry profile in HNC ($J=3-2$). Assuming a spherical infall around the cores, a similarly high infall rate was estimated ($\sim 3 \times 10^{-3} M_{\odot} \text{ yr}^{-1}$). The detection of such a high infall rate in IRDCs implies the role of gas feeding towards the cores to form high-mass stars and confirms the potential of 70 μm dark IRDC clumps to form high-mass stars.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P126a 形成中の球状星団での中間質量ブラックホール形成

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

球状星団に $1000-10^4 M_{\odot}$ 程度の中間質量ブラックホールが存在するかについては、長年議論されており、観測的には、 $\omega \text{ Cen}$ 等のいくつかの球状星団には中間質量ブラックホールの存在が示唆されている。球状星団内での中間質量ブラックホール形成は、星団中心での星の暴走的合体で起こると考えられる。過去の球状星団における暴走的合体を検証したシミュレーションは、形成後のガスのない球対称の星団を初期条件としていた。その場合、緩和時間が経過したところで星団中心に重い星が集中して星の合体が始まり、元から星団にあった大質量星が合体し終わった後は星団の密度が下がり、星の合体効率が落ちてしまう。一方、近年の星団形成シミュレーションは、クランプの階層的合体による星団の形成を示しており、その場合、星団がまだガスに埋もれている形成期に、星団が高密度に維持され、新しい星も供給されるため、大質量星が効率良く合体できる。

本研究では、これまで我々が開発してきた N 体/流体計算コード「ASURA + BRIDGE」を用いて、世界で初めて星一つ一つを再現した $10^5 M_{\odot}$ を超える星団の形成シミュレーションを行った。また、比較のため、 $10^4 M_{\odot}$ 程度の星団が形成するシミュレーションも行った。その結果、球状星団の形成期に星の暴走的合体が起こり、星団で形成する星のおよそ 3% が星団中心で形成される超大質量星へと合体することがわかった。本シミュレーションで形成された最大の星団 ($\sim 4 \times 10^5 M_{\odot}$) では、星風による質量損失があっても $10^4 M_{\odot}$ 程度の超大質量星が星団内に形成された。このような超大質量星は、数 $10^3 M_{\odot}$ の中間質量ブラックホールになると考えられる。本講演では、形成した星団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](#)

P127a トレーサー粒子を実装した 3 次元流体力学数値計算に基づく星形成分子雲コアの同定とその時間発展

野崎信吾 (九州大学), 福島肇 (筑波大学), 徳田一起 (九州大学/国立天文台), 町田正博 (九州大学)

分子雲コアは重力的に束縛されており、単独の星・連星システムへと変換される最小単位と考えられてきた。近年の観測技術の進展によって分子雲を連続波や単独の分子輝線で網羅的に観測可能となり、それらの強度分布を階層構造に分離するアルゴリズム等に基づいて“分子雲コア”と称されるものが多数同定される傾向にある。このアルゴリズムに基づいた分子雲コアの同定手法は、分子雲およびその内部の物理状態を定量する上では重要な役割を果たすが、必ずしも同定された構造が星形成の最小単位を表すとは限らない。また近年の観測により、分子雲コア外部からの質量供給の兆候も見えつつあることから、星の質量決定機構などの重要課題解決に向けて、星形成の最小単位としての分子雲コアの形成過程を理論的に調べる必要がある。

本研究では、SFUMATO (Matsumoto et al. 2015; Fukushima & Yajima 2022) を用いて、分子雲の一部を模した 4 pc スケールの計算領域での複数の原始星形成を取り扱う 3 次元流体力学数値計算を実施した。オイラー的手法では原始星 (シンク粒子) に落下するガスの移流を追うことは困難であるが、トレーサー粒子を実装することで、星の質量供給領域を追跡可能にした。原始星に落下したトレーサー粒子に基づいて、最終的に星へ降着したガスを追跡し星形成コアを同定した。結果、質量供給領域は従来分子雲コアとみなされてきた $10^4-10^5 \text{ cm}^{-3}$ 以上の高密度領域と一致するとは限らず、フィラメント状の薄いガスが付随するなど星形成コアの広がりや形状は領域によって大きく異なる様子が見られた。本講演では、これらの結果に加え、初期の乱流強度の違いが星形成コア進化に与える影響等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](#)

P128a 宇宙初期環境における HI ガス衝突による大質量星団形成

前田龍之介, 大向一行 (東北大学), 井上剛志 (甲南大学)

銀河系とほぼ同年齢の古い大質量星団である球状星団 ($\sim 10^6 M_\odot$) は、銀河系ハローに約 150 個存在する超高密度な星の集合体である。現在の銀河系では球状星団に匹敵する質量の星団は形成されておらず ($\sim 10^4 M_\odot$)、なぜこれほどの大質量星団が過去に誕生したのかは銀河系形成の大きな謎となっている。Maeda et al. (2021, 2024) では、これまで近傍銀河で観測された銀河間相互作用によるガス衝突をシミュレーションで再現し、大質量星団の元となる大質量ガス塊を形成することに成功した。一方で、球状星団形成時のような宇宙初期環境におけるガス衝突シミュレーションは行われておらず、低金属環境における銀河衝突でどのような質量のガス塊が形成されるのかは未解明である。

そこで、本研究では Maeda et al. (2024) で行った自己重力、加熱・冷却、化学反応、フィードバック入りの三次元理想 MHD シミュレーションを用いて、ガス衝突で形成するクラump 質量の金属量依存性を調べた。ここで本研究では、HI ガスの金属量として球状星団の金属量である $Z \sim 10^{-2}$, $10^{-3} Z_\odot$ を考え、ガスの衝突スケールと速度は Maeda et al. (2021, 2024) と同様に、銀河間相互作用のスケールである大スケール ($\gtrsim 100$ pc) かつ高速 (~ 100 km/s) な衝突を考えた。その結果、低金属環境においては高速なガス衝突であっても、大質量ガスクラump を形成することが難しいことがわかった。これは、低金属環境では冷却が弱く、熱不安定性での構造形成が難しいからであると考えられる (Kobayashi et al. in prep.). 本講演では、大質量なガスクラump を形成する衝突のパラメータ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](#)

P129a JWST で探る銀河系最外縁部における星生成

泉奈都子 (岐阜大学/国立天文台), Michael E. Ressler (JPL), Ryan M. Lau (NOIRLab), Patrick M. Koch (ASIAA), 小林尚人 (東京大学), 齋藤正雄, 安井千香子 (国立天文台)

銀河系内において渦状腕が殆ど存在しない最外縁領域 ($R_G \geq 18$ kpc) は、太陽近傍と比較して極めて低いガス密度・金属量など矮小銀河に似た始原的な環境にあるため、銀河系形成時の星生成の研究を行う上で非常に理想的な実験場であると言える。我々はこれまで主にすばる望遠鏡を用いて最外縁部における星生成領域の発見及びその性質解明の研究を精力的に進めてきた。今回、そのうちの2つの星生成クラスターに着目し、JWST (James Webb Space Telescope) の NIRCam と MIRI の9つのフィルター (NIRCam: F115W, F150W, F200W, F350W, F405N, F444W, MIRI: F770W, F1280W, F2100W) を用いた近・中間赤外線撮像観測を行った。近赤外線の感度はすばる望遠鏡を用いた以前の観測の約 10-80 倍であり、それに伴い質量検出限界は約 0.01-0.05 $M_\odot$ に達した。これは以前の観測で得られた値より 10 倍良い値である。また、中間赤外線の波長帯では、MIRI の F770W フィルターでの質量検出限界は約 0.1-0.3 $M_\odot$ に達した。この高感度・高解像度のデータにより、最外縁領域のような遠方 ($D \geq 10$ kpc) にある個々の若い天体を初めて分離することができた。さらに、Class 0 天体候補、若い星団からのアウトフロー (ジェット) 構造、そしてそれらを取り囲む特徴的な星雲構造など、これまでの観測では検出できなかった構造を初めて鮮明に捉えることに成功した。本講演では、以上のことに併せて観測設定、解析方法、そして野辺山 45m, SMA (Submillimeter Array) で取得した星団を取り囲む分子雲との比較結果も紹介し、今回新たに検出した構造について詳しく議論する。

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

P130a 磁場とその散逸を考慮した低金属量環境下における星形成

村社伊樹, 町田正博 (九州大学)

初代星は初期宇宙において元素合成の場として重要であり、直接観測することができない天体であるため、数値計算による研究が現在盛んである。初代星形成は、母体となる分子雲コアの金属量が近傍星形成領域よりも極めて低い。また、金属量は、時代をさかのぼるほど低くなる。そのため初代星が形成された環境は、近傍領域の星形成環境と大きく異なる。しかしながら、磁場とその散逸を考慮した低金属量環境下での星形成は、これまであまり研究が行われてこなかった。低金属量星では重元素が少ないため非理想磁気効果の影響は重要ではない、そのため低金属量星形成過程では磁場の効果が無視できないと考えられる。

本研究では金属量 Z を $Z = 0 - 10^{-2} Z_{\text{sun}}$ の間で変化させて初代星を含む低金属量星形成過程を調べた。非理想磁気流体 Nested Grid Code を用いて異なる金属量を持った分子雲コア中での星形成進化過程についてオーム散逸と双極性拡散を含めた3次元磁気流体シミュレーションを行った。金属量の違いによる星形成過程の違いを見るために初期磁場は質量磁束比をどのモデルでも同じ値 ($\mu = 3$) で採用した。計算の結果、どの金属量の星形成過程においても interchange instability を起因とするバブル状の構造が原始星周囲に発展した。また、低金属量星ほど interchange instability が成長しやすく、鉛直方向よりも動径方向の速度が大きくなりやすい傾向が見られた。

[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](#)

P131a サブミリ波観測で探る IC1396A グロビュール内の磁場と星形成

和田羅文, 佐藤欽亮, 新永浩子 (鹿児島大学)

IC1396A は、ケフェウス OB2 Association 内の巨大な HII 領域、IC1396 の西端に位置し、IC1396 内で質量の最も大きなグロビュールである。IC1396 HII 領域は、Gaia EDR3 を含むこれまでの研究から 1500 を超える若い天体を包含していることが知られている。中でも際立つのが中央付近に位置する複数の O 型星からなる HD206267 である。IC1396A グロビュールはこれらの複数の大質量星の影響により先端部分が炙られており、円弧を描くような BRC (Bright-rimmed clouds) を形成している。IC1396A グロビュール内では若い原始星や YSO が数十天体検出されており、誘発的星形成が進行中である。Herschel $\lambda=70\mu\text{m}$ での観測では、最も進化段階の若い class0 天体である PACS-1 が見つかった。本研究では JCMT15m サブミリ波望遠鏡を用いた $\lambda=850\mu\text{m}$ の偏波観測データを解析し、グロビュール内の磁場形状を明らかにすることに成功した。観測された磁場形状から、IC1396A グロビュール内の特徴的な領域を同定した。また、IC1396A グロビュールに付随する 53 の若い天体について、可視光からサブミリ波帯で測定した 5 バンドから 11 バンドのフラックスを計測し、SED を明らかにした上で、Robitaille 2017 で提供される 28 万通りの若い星の SED モデル (Class0 から ClassIII を含む) の中からベストフィットを選び出すことにより、領域内の若い天体の進化段階の判定を行った。本発表では、若い天体のグロビュール内での分布と、Davis-Chandrasekhar-Fermi method を仮定したグロビュール内の相対的磁場強度について議論し、グロビュール内で進行中の星形成プロセスと磁場の影響について考察する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P132a 星の固有運動から探る誘発的星形成のメカニズム

深谷直史, 立原研悟, 山田麟 (名古屋大学), 徳田一起 (九州大学/国立天文台), 島尻芳人 (九州共立大学)

星形成には孤立的な星形成と星団形成という 2 つのモードが存在すると示唆されている。しかし、これらがどのような物理で分けられるか、あるいは連続的に繋がるかは明らかではない。様々な領域に存在する分子雲を Herschel が観測した結果、星形成活動の規模に依らず普遍的にフィラメント状構造が発見され、それらの構造の内部で星形成が進行していることが明らかになった。これらのフィラメント状構造は外部からのガス流入に由来する衝撃波圧縮によって形成されると提案されている (e.g., Abe+2021)。我々はガス流入による誘発的な星形成を議論するために、Taurus (B211/B213 領域)、Lupus I, Corona Australis のフィラメント状構造が存在する 3 つの星形成領域に対して到来するガス流の方向や速度を Gaia で得られた星の固有運動を用いて推定し、領域間で比較した。

Gaia で得られた星の固有運動のデータを局所静止基準に対する運動に変換しガスの分布と比較した。Lupus I では 10 個弱、Corona Australis では 50 個弱の若い星がシェル状 H I ガスの動径方向に揃って運動している結果が得られた。また、Taurus では 10 個弱の若い星がフィラメントへのガス流入を表すとされるフィラメントに垂直な筋状構造に沿って運動していた。Class II 程度の若い星は孤立的な星形成領域である Taurus や Lupus I ではそれぞれ典型的に $3\text{--}5\text{ km s}^{-1}$ で運動しているのに対し、星団形成領域である Corona Australis では $\sim 10\text{ km s}^{-1}$ で運動していた。また、field star はランダムな方向に運動し、若い星よりも速い速度で運動していることもわかった。これらの結果はシェルの膨張に由来するガス流入によって星/フィラメント形成が誘発され、その規模は衝撃波速度やガス流入のガス密度の関数で連続的に表されることを示唆している。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P133a ALMA 望遠鏡を用いた大マゼラン雲における大質量星原始星に付随する分子ガス・電離ガスの観測的研究

安達大揮, 大西利和 (大阪公立大学), 徳田一起 (九州大学/国立天文台), Sarolta Zahorecz, 河村晶子 (国立天文台), 西合一矢 (鹿児島大学), 福井康雄 (名古屋大学)

大質量星は周囲に放射する強力な紫外線や星風、超新星爆発により星間物質に大きな影響を与え、重元素を宇宙空間に供給することから銀河進化に多大な影響を及ぼす。銀河系では、大半の大質量星形成領域は銀河面上に位置しており、星形成直前/直後のガスの物理状態や星形成フィードバックの詳細を明らかにするためには必ずしも理想的なターゲットではない。そこで我々は星形成銀河として最も近く視線方向上の重なりなどの困難を最小限に抑えられる大マゼラン雲を観測対象とし、星形成領域の分子ガスの観測的研究を推進している。我々は、Spitzer 望遠鏡の観測により同定された原始星のうち最も光度の高い部類に属する 40 天体の ALMA 望遠鏡により得られたデータの解析を行なった。空間分解能は 0.5 pc 程度であり、観測輝線/波長は $^{13}\text{CO}(J=1\text{--}0)$ 、 $\text{CS}(J=2\text{--}1)$ 、 3 mm 帯連続波、 $\text{H4}\alpha$ である。ほぼ全ての天体から ^{13}CO でフィラメント構造が見受けられ (後藤他 2018 年秋季年会)、その線密度は、数 $100\text{--}1000\text{ M}_{\odot}\text{pc}^{-1}$ と大きいことがわかった。原始星の周囲では、スペクトルの中心速度の勾配が見られる天体が多く、複数の速度成分が相互作用している様子が見られる。また 35 天体で原始星の周囲から $\text{CS}(J=2\text{--}1)$ 輝線が検出され、今後も原始星が活発に形成されと考えられる密度 10^5 cm^{-3} 程度の高密度ガスが豊富に存在している。この傾向は 3 mm 帯連続波および $\text{H}\alpha$ でトレースされる電離領域が顕著に発達している天体に関しても共通しており、自身や周囲の星のフィードバックが必ずしも即座に質量供給を妨げない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](#)

P134a 天の川銀河外縁部における原始星アウトフロー及びジェットの検出

池田達紀 (新潟大学), 下西隆 (新潟大学), 泉奈都子 (ASIAA), 安井千香子 (国立天文台), 古家健次 (東京大学), 田中圭 (東京工業大学)

小質量および大質量原始星の両方において、双極分子流（アウトフロー）はほぼ普遍的に存在することが知られ、小・大マゼラン雲などの低金属量環境 ($Z = 0.1\text{--}0.5Z_{\odot}$) でも同様に検出されている。さらに、その高速成分であるジェットも、特に太陽系近傍の天体で検出され、その放射はアウトフローとは異った特徴（高い指向性、間欠的な放射など）を持つことが知られている。アウトフローやジェットに付随する分子ガスの電波観測は、高速ガス運動の探る手段の一つである。しかし、低金属量環境の原始星ジェットの電波観測は、天の川銀河外縁部の原始星における空間分解されていない高速度 SiO ガスの検出に限られており (Shimonishi et al. 2021)、低金属量環境におけるジェットの物理・化学的性質は未だ明らかにされていない。

今回我々は、ALMA 望遠鏡で行われた銀河系外縁部の原始星サーベイデータに基づき、低金属量環境で初となる空間分解された原始星ジェットの検出を報告する。天体は Sh2-283-1 ($Z = 0.3Z_{\odot}$, 銀河中心距離=15.7kpc) で、観測の空間分解能は 0.7 秒角 (5000au) である。アウトフローとジェットは主に CO ($J=3-2$) の輝線で検出され、系の速度に対するそれぞれの相対速度は、 $\sim 25 \text{ km s}^{-1}$ 、 $\sim 68 \text{ km s}^{-1}$ であった。ジェットの放射はアウトフローと比較して指向性が高く、間欠的な放射であることを示す結び目構造が見られた。また、フローの方向に沿って位置-速度図を作成したところ、天体中心からの距離が大きくなるのに比例してジェットの速度も大きくなるなど、近傍のジェット天体でよく見られる特徴が確認された。以上のような今回発見されたジェットと、太陽系近傍天体とのジェットの特徴の類似性は、幅広い金属量環境における星形成過程の普遍性を示唆していると考えられる。

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

P135a 磁化した乱流分子雲コアの磁場と角運動量の向きの違いが単極アウトフロー駆動に与える影響

高石大輔、塚本裕介、城戸未宇、高桑繁久 (鹿児島大学)、三杉佳明 (国立天文台)、工藤祐己 (東北大学)、須藤靖 (高知工科大学)

これまでの星形成領域の観測により、原始星アウトフローには様々な形状が存在することがわかっていく。たとえば、折れ曲がった双極アウトフローや単極アウトフロー、セカンダリアウトフローなどが実際に観測されている (e.g., Yen et al. 2017; Aso et al. 2018; Okoda et al. 2021; Hsieh et al. 2023; Sato et al. 2023)。このようなアウトフローの形状の違いを明らかにするため、我々はこれまで磁化した乱流分子雲コア中で形成するアウトフローの形状の違いを調べてきた。その結果、母体の分子雲コアが持つ磁気エネルギーに比べて乱流エネルギーが卓越する場合に単極アウトフローが駆動することを明らかにした (Takaishi et al. 2024)。

しかし、これまでは分子雲コアの全角運動量 $\mathbf{J}_{c,net}$ と磁場 $\mathbf{B}_c$ は整列していると仮定していた。磁場と角運動量の整列度合いによって磁気ブレーキの効率は大きく変化し、原始惑星系円盤のサイズ進化に影響を与える (Matsumoto & Tomisaka 2004; Hennebelle & Ciardi 2009; Tsukamoto et al. 2018; Hirano et al. 2020)。磁場と角運動量が整列していない場合、円盤サイズに違いが生じることでアウトフロー形状が変化する可能性がある。

本研究では、単極アウトフローが駆動する磁場と乱流のエネルギーを持つ場合に、 $\mathbf{J}_{c,net}$ と $\mathbf{B}_c$ のなす角 θ を変化させて非理想磁気流体力学シミュレーションを実行した。その結果、 $\theta = 30^\circ, 45^\circ, 60^\circ$ の場合は $\theta = 0^\circ$ の場合と同様に単極アウトフローが駆動することがわかった。また、 θ が大きくなるにつれて単極アウトフローのサイズは小さくなることもわかった。一方で、 $\theta = 90^\circ$ の場合は双極アウトフローが駆動するという結果が得られた。

[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](#)

P136a 若い原始星天体 IRAS 15398–3359 の形成進化が周囲に与える複雑な影響

大小田 結貴 (理研), 大屋 瑤子 (京大), 犬塚 修一郎 (名古屋大), Doug Johnstone (NRC-Herzberg/U. Victoria), Logan Francis (U. Leiden), Eleonora Bianchi (ORIGINS), 大橋 聡史 (NAOJ), Paola Caselli, Maria José Maureira, Jaime E Pineda (MPE), Brian Svoboda (NRAO), Marta De Simone (INAF/ESO), Yichen Zhang (U.Shanghai), Ziwei Zhang (理研), FAUST Co-PIs

Class 0 原始星 IRAS 15398–3359 は、Lupus 1 分子雲 ($d=156 \text{ pc}$) に位置し、北東と南西に向けてほとんど天球面と平行に吹く outflow が知られる (e.g., Oya et al. 2014)。この天体は単一星にもかかわらず、南東に伸びる Secondary outflow (Okoda et al. 2021) と南北に伸びる大局的な outflow (Sai et al. 2024) も発見されており、過去に少なくとも 2 回は outflow の方向変化が起きている。本天体の原始星質量は極めて小さく ($\sim 0.01 M_{\odot}$; Okoda et al. 2018, Thieme et al. 2023) 高密度コア領域での乱流運動が報告されている (Sai et al. 2023)。

今回我々は、原始星周り $\sim 10^4 \text{ au}$ スケールを ALMA Band 3 で観測し、CCH, HC_3N , H^{13}CO^+ , C^{18}O , SiO 分子輝線を検出した。CCH, HC_3N , H^{13}CO^+ の分布は、天体の系統速度から 1 km s^{-1} 程度以下の速度差で南北に広がる。これらは報告されている南北の outflow の壁に向かって分布し、その構造の一部は C^{18}O でも捉えられる。一方、SiO は原始星の南東側に強い強度 (速度幅 1.2 km s^{-1}) を示し、ほとんどが青方偏移した成分を持つ。これは先行研究で報告された Secondary outflow と一致する。今回は、北西側 ($\sim 300 \text{ au}$)、さらに北側 ($\sim 10^3 \text{ au}$) と南西側 ($\sim 10^3 \text{ au}$) にも速度幅 $0.2\text{--}1 \text{ km s}^{-1}$ を持つ SiO 分布を新たに見出した。これらはわずかに赤方偏移している。Band 6 のデータと合わせて解析した結果、南東の SiO の放射領域の密度は 10^4 cm^{-3} 程度と低いことがわかった。本講演ではこの領域の複雑な大局構造とその起源について議論する。

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

P137a IRAS15398-3359 からのアウトフローに見られる Shell 構造の成因

花輪知幸 (千葉大), 大小田結貴, Yao-Lun Yang, 坂井南美 (理研)

若く中心星の質量が極めて小さい原始星 IRAS15398-3359 にはスケールの異なる 3 対のアウトフローが見られる。この中で最も中心星に近く南西延びたアウトフローを JWST で観測すると、4 つの Shell 状の構造が見られる (Yang et al. 2022, ApJL, 941, L13)。この shell 構造の一部は H_2CO や CH_3OH などの分子輝線でも見ることができる (Okoda et al. 2021, ApJ, 910, 11)。 H_2CO , CS の電波分子輝線のチャンネルマップには 2 つの樽がつながったような構造が見られ、その結合部が shell と一致している。shell では急激な速度変化も見られる。またアウトフローの根本、原始星から $\sim 100\text{au}$ までの範囲の温度は $\sim 1000\text{K}$ と JWST による H_2 輝線強度比より求められている (2023 年秋季年会 P114a)。この高温領域での速度は遅く、速度が上昇するとともに温度が下降する。

これら赤外線と電波分子輝線で見られる shell 構造は原始星から $\sim 50\text{au}$ の領域の範囲が急激に暖められたと考えたと説明できる。急激に暖められたガスは膨張してアウトフローとなる。膨張により密度が下がると圧力も下がり、周囲のガスの圧力によりアウトフローの幅が狭められる。収縮するとアウトフローの動圧が上がり、衝撃波が生じ、shell (Mach disk) が形成される。衝撃波で速度は急激に減少し、密度・温度・圧力が上がる。衝撃波を通過した高密度ガスは再び加速され膨張・収縮、衝撃波形成を繰り返す。このような膨張と収縮は、underexpanded outflow としてその発生機構や条件がジェット噴射工学で知られている。

本講演ではアウトフローが準定常的に継続していても shell 構造の特徴を再現できることを示す。Shell の原始星から距離 230au より、アウトフローを起こしたガスの圧力は周囲に比べ ~ 80 倍であると推定できる。またアウトフローが視線に対して $10\text{-}20$ 度傾いているとすると、温度と速度の反相関を定量的に説明できる。

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

P138a 星形成初期段階における個々のダスト粒子の軌道および成長過程

原田直人 (東京大学), 川崎良寛, 町田正博 (九州大学)

惑星形成の最初のステップは、星周円盤内においてダスト粒子が衝突し成長する過程である。近年の ALMA 望遠鏡を用いた観測研究は、星形成初期の原始星系に成長したダストが存在することを示唆している。したがって、原始星系の進化とともにダストのダイナミクスと成長過程を理解することが重要である。この目的のために、我々はガスとダストのダイナミクスおよびダストの成長過程を同時に計算可能な新しい数値シミュレーションコードを開発した。ガスのダイナミクスとして分子雲コアの重力崩壊から原始星と円盤の形成・進化過程を、2 次元軸対称非理想磁気流体シミュレーションによって計算した。同時に、ダスト粒子の運動をラグランジュ法で計算し、個々のダスト粒子の軌道とサイズの変遷を追跡した。この研究では、原始星の形成から $\sim 10^4\text{yr}$ 後までのガスとダストの進化を計算した。

シミュレーションの結果、ダストはエンベロープ中では (サブ) マイクロメートルサイズからほとんど成長しない一方、円盤に落下すると直ちにセンチメートルサイズまで成長した。また、円盤の密度等の物理量が比較的緩やかに進化したため、円盤に落下した後の個々のダスト粒子は似通ったサイズ進化を辿り、小さなダストは指数関数的に、大きなダストは小さなダストより緩やかに成長した。さらに、本研究ではアウトフローが円盤表面ではなく上空から駆動されたため、成長したダスト粒子はアウトフローによって持ち上げられず、エンベロープ中へと運ばれることはなかった。このようなアウトフローの多様性が Class 0/I エンベロープで観測されるダストのスペクトル指数の多様性を生む可能性がある。本講演では異なる初期サイズを持つダスト粒子のダイナミクスや成長過程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](#)

P139a Chemical layered structures and the ionisation rates in the disk around a low-mass Class 0 protostar NGC 1333 IRAS 4C: FAUST

Shota Notsu (Univ. of Tokyo), Nami Sakai, Ziwei E. Zhang (RIKEN), Yichen Zhang (Shanghai Jiao Tong Univ.), Ana López-Sepulcre, Cecilia Ceccarelli (IPAG), Claudio Codella (INAF & IPAG), Claire J. Chandler (NRAO), Satoshi Yamamoto (SOKENDAI), FAUST Team Members

Recent ALMA's molecular line observations have revealed structures in which the chemical composition changes with height in the disk vertical direction and radial ionization rate distributions in Class I/II disks. However, the existence of such chemical layered structures in Class 0 disk and envelope systems has not yet been investigated well. In the 2023 Spring Annual Meeting (Z120a), we reported the results of molecular line observations of the edge-on disk and envelope around the Class 0 low-mass protostar NGC 1333 IRAS 4C, as part of the ALMA large program FAUST. We discussed that the molecules generated by photochemical reactions (CCH and $\text{c-C}_3\text{H}_2$) are distributed in the low density upper layers of the disk, while C^{18}O and H_2CO are distributed in the high density regions around the protostar, indicating a chemically layered structure in the disk vertical direction. Here we report the results of our further analyses, in which we estimate the disk radial ionization rate distributions from the H^{13}CO^+ and C^{18}O line emission. The column density ratios of HCO^+/CO are $\sim 10^{-5} - 10^{-4}$ in the inner disk ($r < 150\text{ au}$) and $\gtrsim 10^{-4}$ in the outer disk ($r \gtrsim 150\text{ au}$), which is basically consistent with the trends in Class II disks (e.g., Aikawa et al. 2021). The ionization rates are estimated to be larger in the outer disk ($\sim 10^{-17} - 10^{-16}\text{ s}^{-1}$) than those in the inner disk ($\lesssim 10^{-18}\text{ s}^{-1}$).

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

P140a 実験室分子分光に基づく V883 Orionis におけるメタノール分子の重水素濃集度の導出とその起源

坂井南美、Shaoshan Zeng、小山貴裕 (理研)、Jae-Hong Jeong、Jeong-Eun Lee (ソウル大)

はやぶさ 2 探査機の活躍により、たんぱく質を構成するアミノ酸や RNA を構成する塩基など、生命関連の有機分子が地球外で「自然に」作られていることがいま明確となった。そして、それらの有機分子の起源として、ホットコアやホットコリノなど原始星近傍の暖かい領域で豊富な、大型有機分子の生成過程の解明にますます世界的な注目が集まっている。星間有機分子を直接分析することは不可能であるが、重水素をはじめとした安定同位体の分子における比率を追跡することで、その生成過程を探ることが可能となる。他方、そのような観測に必要な、メタノールをはじめとした有機分子の同位体種のスペクトル線 (特にホットコアなどに代表される数百 K の環境で検出される高励起輝線) の情報は、極めて不十分と言わざるを得ないのが現状である。この状況を克服するため、我々は放射型分子分光装置 SUMIRE を開発し、大型有機分子の親となるメタノール分子に着目して、その同位体種の実験室分光測定を進めている。特に、最近の我々の分光測定により、最もよく観測されている CH_2DOH 分子のスペクトル線のデータベース上での強度情報が、実際と大きく異なっていることが明らかになった (Oyama, Sakai et al. 2023, ApJ, 957, 4)。この事実は、 $\text{CH}_2\text{DOH}/\text{CH}_3\text{OH}$ 比の議論に大きな影響を与えるものである (Okoda et al. 2024, ApJ, in press.)。そこで、今回我々は、アウトバースト天体 V883Ori の ALMA による Band6 周波数帯のラインサーベイデータ (ASSAY project) を活用し、この天体におけるメタノールの重水素濃集度を、 CH_2DOH 分子輝線の正しい周波数・強度情報を用いて求めた。講演では、分子分光情報更新の影響を検証するとともに、V883Ori におけるメタノール分子の来歴を議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P141a Hot Core におけるメタノール分子存在量評価に向けた $\text{CH}_3^{17}\text{OH}$ 分子のミリ波周波数帯実験室分光測定

小山 貴裕 (理研)、Isabelle Kleiner (パリ東大/CNRS)、中村 紀葉 (富山大)、小林 かおり (富山大)、玉内 朱美 (理研)、渡邊 祥正 (芝浦工大/理研)、酒井 剛 (電通大)、坂井 南美 (理研)

アルマ望遠鏡の高感度観測により、Hot Core や Hot Corino と呼ばれる原始星近傍の暖かい領域において、数多くのスペクトル線が検出されている。波長帯によっては未同定線の方が多くいほどで、有機分子の解析に困難が生じている。これら未同定線の多くは、既知の有機分子の希少同位体種もしくは振動励起状態由来だと考えられる。なかでもメタノールはその存在量の多さから、未同定線の有力な候補である。しかし、その分光データは十分とは言えない。これは、メチル基の内部回転により複雑なラインパターンを生じ、遷移確率や周波数を正しく計算することが難しいからである。そこで我々は、分光データがほとんどなく観測が行われていなかった $\text{CH}_3^{17}\text{OH}$ の実験室分光を行い、分子定数の決定に取り組んだ。春季年会 (2024P121a) では 216-264 GHz 帯域での分光測定結果 (Tamanai et al. ApJ, submitted) について報告したが、今回、富山大学で 200 GHz 以下の低周波数帯域で実験室分光を行ったので、その解析結果について報告する。分子定数を決定し、幅広い周波数帯で $\text{CH}_3^{17}\text{OH}$ のラインの同定ができるようになれば、 $\text{CH}_3^{18}\text{OH}$ と合わせて元素合成史において重要な $^{16}\text{O}/^{18}\text{O}/^{17}\text{O}$ 比率の新たな測定ツールとしての役割も期待できる。

[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](#)

P142a Orion KL 領域における $\text{CH}_3^{17}\text{OH}$ の検出

渡邊祥正 (芝浦工大/理研)、玉内朱美、小山貴裕、Shaoshan ZENG、坂井南美 (理研)

CH_3OH は飽和した有機分子であり、これまで星間空間ではホットコアや暗黒星雲コアなど様々な場所で検出されてきた。また、複雑な有機分子の材料となる分子であり、星間化学の研究では重要な分子である。我々はこれまで放射型分子分光装置 SUMIRE (Watanabe et al. 2019) を用いて、 CH_3OH の様々な同位体分子種の分光実験を網羅的に実施し、ALMA Band 6 に対応する周波数帯における周波数や $S\mu^2$ を調べてきた (Oyama et al. 2023, ApJ, 957, 4 など)。なかでも、 ^{17}O を含む $\text{CH}_3^{17}\text{OH}$ は、その重要性に反してミリ波サブミリ波帯での分光測定の報告がなく、星間空間においてその存在が確認されていなかった。そこで、SUMIRE での測定 (2024 春季年会 R121a) をもとに、ALMA アーカイブデータを用いて $\text{CH}_3^{17}\text{OH}$ の探索を行った。

その結果、 $\text{CH}_3^{17}\text{OH}(J_k = 5_{k_1} - 4_{k_2})$ の R-branch の遷移線を 8 本同定することに成功した。 CH_3OH (Peng et al. 2021, A&A, 543, A152) および $\text{CH}_3^{18}\text{OH}$ (ALMA アーカイブデータ) の柱密度から、今回 $\text{CH}_3^{17}\text{OH}$ を検出した領域における $^{16}\text{O}/^{17}\text{O}$ 比と $^{18}\text{O}/^{17}\text{O}$ 比はそれぞれ 2300 ± 300 と 3.5 ± 0.3 と求められた。この値は、太陽近傍の星間空間における同位体比と矛盾しないものである。今回の結果は、 CH_3OH の同位体を用いた観測により、ホットコア領域における酸素の同位体比の決定が可能であることを示唆する。 CH_3OH は狭い周波数帯に多くの遷移を持つため、ALMA などを用いた観測では単一の観測設定により複数輝線を観測可能である。そのため、LTE/non-LTE 解析により正確な柱密度を決定でき、高い精度で同位体比を決定できる可能性がある。酸素の同位体比はこれまでの星形成率や初期質量関などの星形成の履歴を反映するため、銀河系の星形成史を知る重要なプローブとなる。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P143a ALMA を用いた大質量星形成領域 G351.77-0.54 に対する複雑な有機分子輝線の観測

小松野蒼, 酒井剛 (電気通信大学), Patricio Sanhueza (国立天文台)

大質量星形成領域では複雑な有機分子の輝線が検出されるが、酸素を含む複雑な有機分子と窒素を含む複雑な有機分子では異なる振る舞いを示すことが知られている。本研究では、ALMA による DIHCA (Digging into the Interior of Hot Cores with ALMA) プロジェクト (PI: Sanhueza, P.) で得られたデータを用いて、大質量星形成領域 G351.77-0.54 の化学組成を調べた。G351.77-0.54 は NGC6334 領域の最も南西側に位置する大質量星形成領域である。解析を行ったデータの角度分解能は $\sim 0.4''$ であり、観測周波数帯は ALMA Band 6 である。

解析の結果、連続波のピーク付近だけでなく、比較的広い領域で多数の複雑な有機分子の輝線が検出された。本研究では、酸素を含む複雑な有機分子として CH_3OH 、 CH_3CHO 、 HCOOCH_3 、窒素を含む複雑な有機分子として $\text{C}_2\text{H}_3\text{CN}$ 、 $\text{C}_2\text{H}_5\text{CN}$ 、 CH_3CN 、 NH_2CHO について詳細に調査した。分布を比較した結果、窒素を含む複雑な有機分子は連続波のピーク付近で強いが、酸素を含む複雑な有機分子は連続波源とは異なる位置にピークが見られ、明らかに分布異なることがわかった。これは、Orion-KL 領域において、窒素を含む複雑な有機分子輝線がホットコアで強く、酸素を含む複雑な有機分子輝線がコンパクトリッジと呼ばれる領域で強い状況と似ている。また、LTE を仮定し温度を見積もった結果、窒素を含む複雑な有機分子の輝線から見積もった温度の方が、酸素を含む複雑な有機分子の輝線から見積もった温度に比べ高いことがわかった。これは、窒素を含む複雑な有機分子は分子雲内部のより大質量星に近い領域で豊富に存在することを示唆している。本発表では、 SiO 輝線などの解析結果も加え、大質量星形成と化学組成の関係について考察する。

[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](#)

P144a 原始星降着進化モデルの検証

高橋亘 (国立天文台)

恒星はガス雲の中心で生まれた原始星に質量降着がおきることによって形成すると考えられており、その描像に則った降着期から前主系列段階を経て主系列に至る進化モデルが提案されている。しかし前主系列段階の星のなかでも比較的大きな質量を持つ Herbig Ae/Be (HAe/Be) 星については、理論モデルの観測的検証が不十分である。本研究では 1 次元恒星進化コード HOSHI を用いて現象論的原始星降着進化モデルを構築し、HAe/Be 星や若い OB 型星の HR 図上での分布と比較することでモデルの検証を行った。モデルでは時間変化する質量降着が取り入れられ、また円盤風によるフィードバックでガス雲が晴れ上がる過程が考慮された。太陽型星から大質量星までの幅広い質量域で、降着開始から主系列期の終わりまでの一貫した計算を行った。HR 図を用いた観測との比較では HAe/Be 星の表面温度存在領域が良く再現され、また若い O 型星が観測されない性質をエンベロープによる中心星の被覆によって説明することができた。さらに HAe が、HBe とは異なり、磁気圏降着することを示す観測的示唆が知られていることに対して、重水素燃焼期に生成したダイナモ磁場が表面に残存することで説明できる可能性を見出した。現象論的原始星降着進化モデルは星の誕生を理解するうえで (それなりに) 信頼できるツールである。

[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](#)

P201a 対流的な原始星に接続する原始惑星系円盤での角運動量輸送

高棹真介 (大阪大学), 細川隆史 (京都大学), 岩崎一成 (国立天文台), 富田賢吾 (東北大学)

原始星は周囲の原始惑星系円盤から質量や角運動量などを受け取りながら成長する。星形成初期の円盤は星表面に直接接続し、大きな速度勾配を持つ境界層を通じて星にガスを降着すると考えられている。星近傍の円盤は多様なアウトフローを駆動するほか、難揮発性物質に富んだ物質を生成する役割も持つため、そのような物質輸送の理解のためにも角運動量の輸送機構を明らかにすることが求められている。しかし境界層降着の角運動量輸送機構は長年未解明のままとなっており、それらの理解を阻んでいる。過去に行われた境界層降着のシミュレーション研究も円盤の赤道面付近のみを切り取った局所モデルが主流となっており、鉛直方向の速度構造が十分理解されていない。さらに過去のモデルで原始星は静水圧平衡大気として近似されていたが、原始星進化モデルは表面対流層の存在を示唆しているため対流の効果も明らかになっていない。そこで我々是对流的な原始星と接続する円盤の3次元磁気流体シミュレーションを行い、角運動量輸送機構を調査した。その結果、円盤の外側では磁気回転不安定性が主に降着を駆動しているのに対し、星に近づくにつれて円盤風を含む複数の機構が角運動量輸送を担うことが示された。特に、星表面から螺旋衝撃波が円盤内に伝搬して角運動量を運ぶ様子が初めて確認された。この衝撃波は回転円盤のガスが星表面の対流によって非一様に分布する磁場と衝突することで励起されていた。この結果は、星の対流が円盤の降着機構に影響を及ぼすことを意味している。本講演ではこれまで調査が進んでいなかった速度場の鉛直構造や対流的な星表面の役割に注目して、大局的な角運動量の流れについて議論する。

[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](#)

P202a 原始惑星系円盤の大局的非理想磁気流体力学シミュレーション：上面と下面で密度非対称な円盤風

森昇志 (東北大学), Xuening Bai (清華大学), 富田賢吾 (東北大学)

原始惑星系円盤の物理構造を理解することは、惑星形成過程の解明に不可欠である。円盤の物理構造は磁気流体力学の影響を強く受ける。内側領域の円盤赤道面付近では、弱電離のため磁場は拡散的に振る舞い、磁気的な乱流は安定化される。一方、円盤表層ではガスが電離し、磁場と相互作用して円盤風を引き起こす。円盤風は円盤の角運動量を運び去り降着を駆動する。円盤風は様々な分子輝線観測からも検出されており、その物理過程に対する理解が求められている。

本研究では、輻射輸送を考慮した大局的な計算領域における非理想磁気流体シミュレーションを行った。円盤の温度構造は力学に影響を及ぼすため、密度構造と整合的に輻射輸送を解くことが重要である。計算の結果、ホール効果が磁場を増幅する場合、円盤の上面 (北半球) と下面 (南半球) で円盤風に強い非対称性が現れることが分かった。例えば、中心星から 4 au の半径では、同じ高度 1 au でも上面と下面で密度が 300 倍も異なることが確認された。解析の結果、この非対称な円盤風は以下の機構により作られることが分かった。まず、円盤内で回転方向の磁場が卓越すると、円盤内部の磁気圧勾配力により、大局的な磁場が折れ曲がる層 (磁場反転層) がどちらかの円盤表面へ移動する。磁場反転層における磁気圧がガス圧を上回ると、磁場反転層より上層のローレンツ力によりガスが落下し、円盤風の根元の密度を低下する。その結果、磁場反転層がある半球では円盤風の密度が大幅に低下する。本講演では、これまでの円盤の分子輝線観測結果と比較し、シミュレーションから得られた円盤風が観測とどの程度整合的であるかについても議論する。

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

P203a 解析的アウトフローモデルを用いた原始星アウトフロー中でのダスト運動の研究

内村迅渡 (鹿児島大学), 工藤哲洋 (長崎大学), 塚本裕介 (鹿児島大学)

近年のミリ波によるダスト連続波の観測から、Class I 原始星周囲のエンベロープにおいてダストのスペクトル指数の減少が報告されている (Kwon et al. 2009; Miotello et al. 2014; Galametz et al. 2019)。これは、円盤の外側でも mm サイズ程度のダストが存在することを示唆する。一方で、エンベロープでのダストの成長時間は落下時間よりも長い場合、エンベロープでのダスト成長によってこの mm サイズのダストの存在を説明することは難しい。この観測を説明する一つのモデルはダストが円盤内部で成長し、磁気アウトフローによってエンベロープに還流されるというものである (Tsukamoto et al. 2021; Lebreuilly et al. 2020)。そこで、本研究では、Kudoh & Shibata (1997) のアウトフローモデルを用いて、アウトフロー内部でのダストの運動を解析し、特に、ダストがガスと couple しながら星間空間に脱出できる最大のダストサイズを調べた。その結果、アウトフロー質量流束が $10^{-7} \sim 10^{-6} M_{\odot} \text{yr}^{-1}$ の場合に、最大で数 mm のサイズのダストがアウトフローによる巻き上げによって星間空間へ吹き飛び得ることが分かった。また、アウトフロー質量流束と磁場への最大サイズ依存性についても調べ、近年のアウトフロー質量流束とスペクトル指数に相関があるという観測結果 (Cacciapuoti et al. 2024) と整合的な結果を得た。本講演では、より詳細な解析結果について議論するとともに、今後の展望についても議論する。

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

P204a CO 分子輝線の圧力広がりウィングを用いた円盤ガス面密度分布の制約：HD 169142 円盤

吉田 有宏 (国立天文台/総合研究大学院大学), 野村 英子 (国立天文台/総合研究大学院大学), Enrique Macías(ESO), Stefano Facchini(University of Milan), 古家 健次 (東京大学), 塚越 崇 (足利大学), Elena Viscardi (ESO)

原始惑星系円盤のガス面密度分布は惑星系形成を議論する上で最も重要なパラメータの一つである。しかし、円盤ガスを構成する水素分子は低温下で放射を出さないため、その観測的制約は非常に難しい。我々は、この問題に対する新たなアプローチとして、一酸化炭素分子 (CO) 輝線の圧力広がりによるウィングを用いることを提案してきた。圧力広がりウィングは光学的に薄く、その放射強度はガス密度に依存するため、円盤中心面近くのガス密度を直接的に制約することができる。さらに、鉛直方向の温度分布等を見積もることで、ガス面密度分布を求めることもできる。本研究では、HD 169142 円盤の ^{12}CO J=2-1 輝線について、使用可能なアルマ望遠鏡アーカイブデータをすべて結合し、高感度・高空間分解能のイメージキューブを作成した。さらに、CO 輝線を方位角方向にスタックすることにより、圧力広がりウィングを新たに検出することに成功した。得られたスペクトルに対しパラメトリックなモデルを用いたフィッティングを行ったところ、ガス面密度の動径プロファイルは 64au に存在するダストリングの位置で極大となり、約 40 g cm^{-2} に達することがわかった。これは Toomre の Q パラメータでは 2 程度に相当する。一方、先行研究によるダスト面密度を参照すると、ガス-ダスト比はピーク位置でも 100 程度であった。また、円盤全体のガス質量は少なくとも $0.06 M_{\odot}$ 以上あることもわかった。これらの結果から、HD 169142 円盤の 64 au リングではさらなる惑星形成が起こる可能性があると考えられる。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P205a 原始惑星系円盤の赤道面における非軸対称成分探査: 手法の提案

逢澤正嵩 (茨城大学), 武藤恭之 (工学院大学), 百瀬宗武 (茨城大学)

多くの原始惑星系円盤がリング・ギャップ構造を示しているが、その起源についてまだ明確な答えは得られていない。惑星の重力が原因であるという説が一つの有力な可能性であるが、実際にギャップ内に存在する惑星からの放射を直接検出した例は少なく、「惑星の痕跡」を探す試みが現在様々な波長で進んでいる。本研究では、電波干渉計の連続波データをもちいて、軸対称かつ厚みのない原始惑星系円盤の動径放射分布と幾何を含む全モデルパラメータの事後分布を導出する手法を提案する。この手法により、連続データから円盤由来の動径放射分布を正確に差し引くことで、例えば惑星による放射やスパイラル構造などの弱い痕跡を見出すことが可能となる。特に、先行研究の公開コード「Frankenstein」では動径放射分布をそれ以外のパラメータは固定して推定するが、本研究では幾何の推定もデータから行い、微弱な痕跡についての精密な議論を行うことが可能となる。提案手法をシミュレーションで実証した後、ALMA 望遠鏡による DSHARP の公開データや PDS 70 の観測データに適用し、その有用性を検証した。結果として、例えば PDS70 の解析においては PDS 70 c からの連続波放射を再同定するとともに、それ以外の新規の非軸対称構造についても同定した。講演では、手法の概要とこれら適用例について紹介する。

[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](#)

P206a IRS 48 周囲の原始惑星系円盤における傾いた内側円盤の存在の示唆

Paul Jonathan Bosse (Paul Sabatier Toulouse III), 武藤恭之 (工学院大学), 橋本淳 (アストロバイオロジーセンター), 井田茂 (東京工業大学)

原始惑星系円盤における非軸対称構造は、ダスト集積の現場や、形成された惑星の存在を間接的に示唆する構造として興味を持たれている。IRS 48 の周囲に存在する原始惑星系円盤は、ダスト連続波で最も強い非軸対称性を示している。これまでに様々な波長での観測がなされ、ガス放射の分布とダスト放射の分布の違いや、近赤外線画像と電波画像の違いなどが明らかになってきた。

本研究では、IRS 48 の周囲の原始惑星系円盤について、近赤外線の散乱光観測と電波の連続波観測に注目し、両方を説明可能なダストの分布について考察した。近赤外線散乱光では、円盤は南側が明るく、西側に 2 つのアーチ状構造が観測されている。一方で、電波の連続波画像については、南側に明るい放射が集中しているが、離心率を持ったリング構造が北側にかけても存在すること、および中心星付近に空間分解できていない弱い放射があることが知られている。本研究では、この中心星付近の弱い放射が星の近傍に存在する小さな円盤であり、近赤外線の 2 つのアーチ状構造は、内側円盤によって生じた中心星の影を表しているという仮説を立て、RADMC-3D を用いた輻射輸送計算によって検証した。その結果、半径 90 au 程度で 0.2 程度の離心率を持つ外側円盤と、半径 7 au 程度で外側の円盤に対し 30 度程度傾いた内側円盤によって構成されるモデルが、IRS 48 の観測をよく説明できることが分かった。また、大きさの異なるダストを考慮したモデルの方が、一種類のダストのみを考慮したモデルよりも、外側の円盤の構造をより自然に説明できた。

[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](#)

P207a ホール効果が原始惑星系円盤のデッドゾーン内側境界近傍の構造に与える影響

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

原始惑星系円盤の構造決定にはガスの角運動量輸送過程が重要な役割を果たしている。我々は原始惑星系円盤の大局構造を明らかにするために、磁気回転不安定性 (Balbus & Hawley 1991) が働く内側 (活性領域) と、その外側に存在するデッドゾーンを計算領域 ($0.1 \text{ au} \leq r \leq 10 \text{ au}$) に含む非理想磁気流体 (MHD) 大局円盤シミュレーションをおこなっている。我々が近年おこなったオーム散逸と両極性拡散を考慮したシミュレーションによって、デッドゾーン内縁付近にこれまで知られていなかった遷移領域が形成されることがわかった。遷移領域を介した外側デッドゾーンから内側活性領域への物質輸送と磁束輸送が禁止されるため、円盤進化に大きな影響を与え得る (Iwasaki et al. 2024)。

我々は、Iwasaki et al. (2024) で無視していた最後の非理想 MHD 効果であるホール効果を含め、全ての非理想 MHD 効果を考慮に入れた大局円盤シミュレーションを実行している。ホール効果は、その他の非理想 MHD 効果とは異なり、縦磁場方向と円盤の角運動量方向が平行な場合 (平行モデル) と反平行な場合 (反平行モデル) で、全く異なる円盤進化を引き起こす (例えば、Bai & Stone 2017)。反平行モデルの円盤構造は、大雑把にはホール効果なしモデルと整合的となった。その一方、平行モデルでは、デッドゾーン内縁付近のポロイダル磁場が円盤内で動径方向に倒れ、ポロイダル磁場が円盤内側方向に倒れた円盤面の上空からは内側活性領域への大規模的降着流が、外側方向に倒れた円盤面からは円盤風が噴出することがわかった。講演では、円盤構造の違いを引き起こすメカニズムを中心に報告する。

[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](#)

P208a 円盤の見え方：散乱を考慮した円盤放射の解析解

田中圭, 山室良太, 奥住聡 (東京工業大学), 武藤恭之 (工学院大学)

近年、ALMA 望遠鏡による高分解能観測の進展により、一般的な原始惑星系円盤だけでなく、FU Ori 型星、Class 0/I 原始星、大質量原始星などの円盤の詳細観測も盛んに行われるようになってきている。これら多様な円盤の連続波強度分布から、密度・温度構造やダスト粒径などの物理情報を読み解くには輻射輸送計算が必要となるが、特に光学的に厚い場合やダスト散乱が優勢な場合には、多くの物理パラメータを広く探索することは計算コストが高く、困難である。鉛直等温円盤に対する、簡便な散乱ありの円盤放射モデルは良く知られているが (Miyake & Nakagawa 1993; Zhu et al. 2019 など)、降着加熱や表面照射が有効な円盤に対しても適用可能なモデルの必要性は今まさに高まっている。

本講演では、平行平板近似・二流近似のもと新たに導出した「円盤放射の解析解」を紹介する。この解析解によって、たった 2 回の簡単な積分を実行するだけで、任意の鉛直温度分布、吸収・散乱係数、円盤傾斜角 (edge-on を除く) に対する円盤連続波強度を得ることができる。降着加熱円盤などを想定したテスト計算からは、二流近似を用いない数値解との誤差が数%以下に抑えられることを確認した。これは過去に提案されていた鉛直等温円盤の平均輻射強度を利用した数値積分 (D'Alessio et al. 2001) よりも、低計算量かつ高精度である。今後は、この汎用かつ簡便な円盤放射の解析解を用いた理論モデルからの観測予測や、円盤観測への物理パラメータフィットなど様々な研究への応用が期待される。

[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](#)

P209a 観測モデルによる大質量原始星円盤における岩石ダスト成長の制約

山室良太, 田中圭, 奥住聡 (東京工業大学), 大橋聡史 (国立天文台), 松木場亮喜 (筑波大学)

地球のような岩石惑星の形成を考えるうえで、その第一段階となる岩石ダストの付着成長を理解することは重要である。そのため、理論計算や室内実験によって岩石ダストの付着特性が調べられてきたが、ダスト組成や表面物理状態などの不確実性から明確な結論は得られていない。観測的にも、原始惑星系円盤は冷たく岩石ダスト領域が狭いため、ALMA を以ってしても空間分解は困難である。そこで我々は岩石ダスト領域が広く、空間分解観測も可能な大質量原始星周囲の熱い円盤に着目し、岩石ダスト成長特性の解明を目指している。

本研究では、ダストの成長・破壊を考慮した大質量原始星円盤の理論モデル (Yamamuro et al. 2023) を用いて、大質量原始星円盤 GGD27-MM1 の ALMA 観測 (Girart et al. 2018, Añez-López et al. 2020) を再現する物理パラメータ、特に円盤動径方向に沿った岩石ダストサイズの分布を探った。その際、等方散乱を考慮した円盤放射の解析解を導出し、幅広い物理パラメータに対する輻射輸送計算を実現した。結果、観測から得られた輝度分布・岩石ダスト分布を再現し得るシナリオとして、(1) 岩石ダストが $100 \mu\text{m}$ 程度で成長が停止する場合、または (2) 岩石ダストは $100 \mu\text{m}$ 以上に成長するが、中心星光度が推定値よりも高い場合の二通りを発見した。もし前者が正しければ、跳ね返りなどのダスト成長を阻害する過程が働いている可能性を示唆する。本講演では、これら二つのシナリオを検証するために提案した ALMA 追観測計画も紹介する。

[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](#)

P210b 鉛直シア不安定性乱流に対する冷却率の時空間進化の影響

福原優弥 (東京工業大学), Mario Flock (MPIA), 奥住聡 (東京工業大学)

原始惑星系円盤におけるガス乱流は、ダストの成長・輸送や微惑星形成に影響を与える。近年、これらに影響を与える乱流生成機構として、円盤の放射冷却に起因する鉛直シア不安定性 (VSI) が注目されている。VSI が駆動する乱流の強度は円盤冷却率の空間分布に依存する (Fukuhara et al. 2023)。一方で、円盤冷却は主にダストが担っており、冷却率分布はダストの空間分布やサイズによって変化する (e.g., Fukuhara et al. 2021)。VSI 乱流はダストを鉛直方向に強く拡散するため (e.g., Flock et al. 2020)、冷却率は VSI 乱流とともに時空間進化しうる。そのような状況下において、どのような乱流構造・ダスト鉛直分布が実現するかは未解明である。

本研究の目的は、円盤冷却率が時空間進化する状況下での VSI 乱流の詳細な性質を数値流体シミュレーションによって解明することである。このシミュレーションでは、ダストを圧力なし流体として計算し、そのダスト流体に従属して円盤冷却率を変化させている。計算には公開コードである PLUTO (Mignone et al. 2007) に、ダスト流体モジュールを組み込んだものを用いた。その結果、ダスト量が多く、ダストが小さい場合は、VSI 乱流とダストおよび冷却率の空間分布が準定常状態になる平衡状態が実現することがわかった。この状態では、VSI 乱流はダストを鉛直方向に強く拡散する状態を維持する。この時のダスト鉛直拡散強度は、VSI 乱流の典型的な値である 10^{-3} ほどである。また、ダスト・ガス面密度比が小さくなる (< 0.01)、もしくはダストが大きくなる ($\gtrsim 100 \mu\text{m}$) とこの平衡状態が実現しないことがわかった。これは、VSI 乱流におけるダストの拡散と沈澱を調べた Fukuhara & Okuzumi 2024 の結果と、定性的に一致する。これらの結果は、ダスト成長に対する乱流の影響を理解するためには、ダストと乱流の共進化を調べる必要があることを示唆している。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P211b 原始惑星系円盤の ALMA 偏光データの多天体解析による偏光機構の解明

北出 直也 (総合研究大学院大学/国立天文台), 片岡 章雅 (国立天文台)

惑星は原始惑星系円盤の中でダストが合体成長することで形成されると考えられている。そのためダストサイズを観測的に制限することは惑星形成解明の手がかりとなる。円盤内のダストサイズを制限する手法は複数考えられているが、その一つがダスト熱放射のミリ波偏光を用いたものである。ダスト熱放射のミリ波偏光には自己散乱や整列など複数の機構が存在する。特にミリ波偏光の機構が自己散乱である場合、最大ダストサイズと同程度の波長において最も強い偏光度を示すためダストサイズを制限することができる。過去に ALMA 望遠鏡による偏光観測を用いて個別円盤における偏光機構の解明とダストサイズの制限が行われてきた。その一方で複数の円盤に対するダストサイズの統計的な傾向は偏光データから明らかにされていない。

本研究では過去に ALMA Band 3 (波長 3.0 mm) と Band 7 (波長 0.87 mm) で偏光観測が行われた複数の円盤の ALMA 偏光データを再解析した。その結果、Band 7 のミリ波偏光は傾斜角と円盤中心一点における偏光度に強い相関が見られ、偏光角は短軸と平行であった。その一方で、Band 3 では傾斜角と円盤中心一点における偏光度、偏光角に Band 7 のような明確な相関は見られなかった。ミリ波偏光の機構が自己散乱の場合、円盤の傾斜角が大きくなると高い偏光度を示し偏光角度は円盤の短軸と平行になることが知られている。そのため、Band 7 でのミリ波偏光機構は自己散乱が主であると説明することができる。本ポスターでは、さらに複数天体の 2 波長偏光観測データを用いてダストサイズ制限を行う手法について議論する。さらに Band 3 と Band 7 で傾斜角と偏光度の間に異なる相関が見られたことについても議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P212a 影から探る円盤鉛直構造とダスト進化 (I): 近赤外線・サブミリ波の高空間分解能観測を利用した円盤冷却時間測定

折原龍太 (茨城大学), 福原優弥 (東京工業大学), 奥住聡 (東京工業大学), 武藤恭之 (工学院大学)

原始惑星系円盤内では、ダストが合体成長して微惑星を形成し、さらに集積することで惑星が誕生すると考えられている。ダスト成長・微惑星形成は、円盤を構成するダストとガスの動力学的・空間的構造に依存し、促進または抑制されることがある。特に、強いガス乱流は円盤ダストの沈降を妨げるためダスト成長に影響を与えると考えられているが、乱流の駆動機構・領域・強度は理論的にも観測的にも明らかになっていない。

本研究では、遷移円盤内の傾いた内側円盤が外側円盤に作る影に注目し、この影を利用して測定された円盤冷却時間と理論を組み合わせることで円盤構造を決定するモデルを構築した。本講演では、本研究の前半部分にあたる円盤冷却時間の測定について説明する。この手法は、近赤外線ダスト散乱光画像から円盤表面及び影領域の立体モデルを生成し、サブミリ波ダスト連続波観測から得られた赤道面付近の温度分布との空間的なずれを見積もることで、影領域に侵入したダストの冷却時間を測定する。この手法は影を持つ円盤であれば適用可能である。

本講演では、HD 142527 に付随する円盤を取り上げる。過去の近赤外線観測では、この天体の外側円盤の北側と南側に、傾いた内側円盤が作り出した 2 つの影が検出された。さらに、ALMA Band9 による連続波観測は円盤北側のダスト熱放射の局所的な強度低下を示しており、影による温度低下が反映されていると考えられる。

測定の結果、HD 142527 の北側影領域では円盤回転周期の数パーセントの時間スケールで冷却が起こっている可能性が示唆された。この冷却時間は、円盤の乱流起源の 1 つである鉛直シア不安定性 (VSI) が作用するのに十分なほど短い。また、この影による温度低下が円盤進化やダスト成長に与える影響を議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P213a 影から探る円盤鉛直構造とダスト進化 (II): 測定された冷却時間と整合的なダスト分布・乱流強度の理論的推定

福原優弥 (東京工業大学), 折原龍太 (茨城大学), 奥住聡 (東京工業大学), 武藤恭之 (工学院大学)

惑星形成は、原始惑星系円盤においてダストが成長し微惑星が形成することから始まる。これらのダスト成長・微惑星形成には、円盤ガスとダストの動力学的・空間的構造、特にガス乱流とダストの大きさ及び鉛直分布が影響を与える。しかし、近年の ALMA 電波干渉計を用いた観測研究の発展にもかかわらず、これらの包括的な観測的制限は未だ困難である。また、理論的にも円盤乱流の駆動機構・領域・強度は未だ明らかになっておらず、実際の円盤における乱流に関する理論的制約はほぼ行われていないのが現状である。

そこで本研究では、遷移円盤における傾いた内側円盤が外側円盤に作る影に着目し、観測と理論を組み合わせることで円盤構造を決定するモデルを構築した。本講演では、自己整合的なガス・ダスト鉛直分布及び乱流構造を推定する理論モデルを説明する。このモデルでは、乱流として冷却率によって強度が変化する鉛直シア不安定性 (VSI) 由来の乱流を仮定し、ダスト連続波観測と整合的な、温度・ダスト分布・冷却率分布・乱流強度を推定する。主なパラメータはダスト面密度とダストの大きさである。これらの計算結果と観測的に推定された冷却時間を比較し円盤鉛直構造を制限する。この手法は一般的に影を持つ円盤に適用可能である。

本講演では、この手法を HD 142527 に付随する円盤に適用した結果を紹介する。この天体に対して、近赤外線・電波の高空間分解能観測から測定された冷却時間を説明可能なダスト面密度とダストの大きさを制限した。その結果、VSI が乱流を駆動し、最大ダストサイズが 1 mm 程度である可能性が示唆された。また、この天体でダストの自己重力収縮を通じた微惑星形成が起こる可能性を判定し、ダスト成長がどのように進むか議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P214a 粘性降着円盤のダストの保温効果が駆動するダスト濃集

加藤遼 (東京工業大学), 植田高啓 (Harvard-Smithsonian Center for Astrophysics), 奥住聡 (東京工業大学)

微惑星形成過程を解明することは、それに続く惑星形成を考えるうえで重要である。微惑星形成の困難として、ダストが微惑星へ成長する段階で中心方向に急速に落下してしまう問題が知られている (e.g., Whipple 1972)。この問題の解決策として、円盤ガス圧力の動径方向の圧力極大でのダスト濃集が挙げられている。我々の最近の研究により、ダスト進化の放射冷却効率への影響 (保温効果) 考慮することで、いったん生じた圧力極大が維持され、ダスト濃集が自己促進することが示唆された (加藤ほか: 日本天文学会 2023 年秋季年会)。しかし、この研究では、(1) ダストの保温効果、および (2) ガス乱流の温度依存性がつくるガス面密度極大のどちらの寄与がダスト濃集の自己維持にとって重要なかは不明であった。

本研究の目的は、ダストの保温効果がダスト濃集に及ぼす影響を明らかにすることである。そのために、我々の以前のモデルからガス乱流の温度依存性を除外し、初期ガス面密度分布に摂動を与え、ダストの保温効果のみに着目する数値実験をおこなった。

計算の結果、ガス面密度極大がなくとも、ダストの保温効果によって熱的に維持される圧力極大が生じ、ダスト濃集が促進することがわかった。初期のガス面密度摂動は拡散によって消失するが、その後もダスト濃集は促進した。ダスト面密度が増加した領域では、冷却率が低下し温度が上がる。逆に、ダスト面密度が減少した領域では温度が下がる。これにより温度極大が生じ、圧力極大が熱的に維持され、ダスト濃集が促進する。本研究では、微惑星形成に十分なほどダストが濃集し、微惑星形成理論におけるダストの保温効果の重要性が示された。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P215a 原始惑星系円盤のストリーミング不安定性が駆動する乱流中のダスト成長

富永遼佑 (東京工業大学), 田中秀和 (東北大学)

原始惑星系円盤におけるダスト成長過程を明らかにすることは、惑星の前駆体である「微惑星」の起源解明に重要である。ダストの衝突成長には動径移動 (落下) や衝突破壊などの問題があり、微惑星まで成長するのは困難だと考えられてきた (e.g., Weidenschilling 1977; Blum & Wurm 2008)。その中で、成長が頭打ちになったダストが流体力学的に集積される過程が微惑星形成機構の有力候補として注目されている (e.g., Johansen et al. 2014)。そのような集積を起こす現象としてストリーミング不安定性が広く調べられてきた (e.g., Youdin & Goodman 2005; Johansen et al. 2007)。先行研究によれば、ダストが小さくストークス数が $10^{-3} - 10^{-2}$ 程度であっても、ダスト面密度が十分に高ければ局所的にロッシュ密度を超える程の強力な集積が起こることがわかっている (e.g., Carrera et al. 2015; Yang et al. 2017)。しかし、ダストが小さい場合には集積効率が非常に低いため (e.g., Bai & Stone 2010; Carrera & Simon 2022)、十分な量の微惑星が形成されるには、やはり何らかの過程でダストが大きく成長しなければならない。そこで我々はストリーミング不安定性による乱流中にダストが成長する可能性に注目した。本研究では、多次元流体計算コード Athena (Stone et al. 2008) を用いて数値シミュレーションを行い、ダストの軌跡を考慮して衝突率を測定した。その結果、密度が数倍から 10 倍上昇するような中規模の集積が起これば、ケプラー周期の 10 倍程度の時間でダストが成長し得ることがわかった。これは、重力崩壊を起こすほど重いダストクランプが形成される前にダストが成長すること示唆している。また典型的な衝突速度は高々ガス音速の 0.1% のオーダーであり、衝突破壊を回避してダストが成長し得ることがわかった。

[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](#)

P216a ダストと円盤の共進化過程 II: 解析的計算に基づく円盤構造の進化

塚本裕介 (鹿児島大学)

前回の研究 (Tsukamoto et al. 2023, 2023 年秋学会) において、我々は、原始惑星系円盤の形成と初期進化をダストの成長を考慮した 3 次元非理想電磁流体シミュレーションによって調べ、定常降着円盤モデルに磁気制動、塵の成長、両極拡散を考慮した方程式が、シミュレーションから得られた円盤構造が非常によく再現することを明らかにした。本発表では、この研究の続編として、エンベロープ降着の解析モデルとこの「修正定常降着円盤」モデルを組み合わせて、クラス 0/I 原始星に対応する進化段階の原始惑星系円盤の構造と進化を解析的に調べた。観測で示唆される分子雲コアの角速度を仮定すると、円盤の半径は円盤形成期には数天文単位であり、降着期の終わりに 100 天文単位以上まで増大することがわかった。円盤質量は 0.01 から 0.1 太陽質量程度となり重力的に安定な原始惑星系円盤として進化することもわかった。また、典型的な円盤電離率と中程度の質量降着率では、円盤のプラズマベータが低くかつ効率的に両極性拡散が働くため、磁気回転不安定性 (MRI) が抑制されることがわかった。さらに、磁気制動によって円盤が進化する場合は、円盤外縁部の比角運動量 (または回転速度) の動径方向プロファイルは降着エンベロープの比角運動量プロファイルと連続的につながり、重力不安定性や磁気回転不安定性などの内部角運動量輸送過程によって円盤が進化する場合は、それらは不連続になることを見出した。原始惑星系円盤の角運動量輸送機構を理解する上で、円盤外縁部の角運動量分布を詳細に観測することが今後重要である。

[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](#)

P217a 圧縮ダストアグリゲイトの衝突シミュレーション：付着・跳ね返り境界条件の推定

大城榛音 (東京工業大学), 辰馬未沙子 (理化学研究所), 奥住聡 (東京工業大学), 田中秀和 (東北大学)

惑星形成の第一歩は、サブミクロンサイズのダスト粒子の衝突合体によるアグリゲイトの形成である。形成されたアグリゲイトは互いに衝突しながら成長していくため、これらの衝突現象を理解することは惑星形成において重要である。原始惑星系円盤のミリ波偏光観測では、充填率が 0.1 を超える高密度なアグリゲイトの存在が示唆されている (e.g., Tazaki et al. 2019; Zhang et al. 2023)。室内実験ではこのような高密度なアグリゲイトの衝突について調べられており、特に高密度アグリゲイト特有の結果として質量と衝突速度に依存した付着・跳ね返り境界条件の存在が知られている (e.g., Güttler et al. 2010; Kothe et al. 2013)。一方で、跳ね返りに関する数値シミュレーションはいくつか存在するものの (e.g., Wada et al. 2011; Arakawa et al. 2023)、実験と整合的な条件は得られていなかった。

そこで我々は、円盤におけるダスト成長を考慮し、さらに室内実験で用いられたアグリゲイトも模擬した圧縮アグリゲイトを用いて、離散要素法 (Wada et al. 2007) による衝突シミュレーションを行った。その結果、室内実験と整合的な、質量と衝突速度に依存する付着・跳ね返り境界条件を得た。また、最大押し込み時におけるアグリゲイト間付着エネルギーとアグリゲイトに蓄えられたエネルギーを比較することで半解析的なモデルを構築した。本結果によると、衝突エネルギーの大半はアグリゲイトの変形によって散逸し、残りの微小なエネルギーが付着と跳ね返りの結果の違いを決定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](#)

P218a 星間ダストを模した浮遊マイクロ粒子の付着・成長実験：初期実験結果 I

大橋聡史 (国立天文台/理研), 玉内朱美 (理研), Harald Mutschke (AIU Jena), Jürgen Blum (TU Braunschweig), 坂井南美 (理研), 奥住聡 (東工大)

惑星形成の最初のステップはサイズ $0.1 \mu\text{m}$ 程度の星間ダストが原始惑星系円盤において互いに付着し成長する過程であると考えられる。しかしながら、この過程には中心星ドリフト、衝突破壊、跳ね返り問題など様々な問題が指摘されている。そのため、星間ダストがどのように成長するのかは未解明のままである。

これらの問題の理解度を高めるためには、ミクロンサイズの微粒子が付着する様子を実際に“観察する”ことが重要であると考えられる。そこで、エアロゾル技術を我々の実験装置に導入することにより、微粒子が自由にガス (窒素) 中を浮遊できる環境をガスセル内に作り、それらの付着・成長過程をハイスピードカメラで観察・撮影する実験を開始した。現在までに、直径 $5 \mu\text{m}$ の球形非晶質 SiO_2 粒子を用いての実験を行ってきた。その結果、 SiO_2 粒子がおよそ $1 - 100 \text{ cm s}^{-1}$ で運動をしている様子が捉えることに成功した。また、粒子同士の衝突瞬間画像撮影により、粒子が正面衝突をした場合、それらは互いに付着する傾向を示したのに対し、一粒子がある程度の角度を持って一方の粒子に衝突をした場合は、付着せず跳ね返ってしまう様子を観察することに成功した。現段階では、粒子同士の衝突を確認できた回数はまだ十分ではなく、さらなる実験による確認が必要である。仮にこのような過程が原始惑星系円盤で起こっている場合、正面衝突が起こるためには、回転運動中のダストが相対速度を持つことが鍵となり、異なるサイズのダスト衝突が極めて重要な役割を担っている可能性を持っている。

本講演では、微粒子の付着・成長実験の概要と初期成果および今後の実験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](#)

P219a 磁気降着円盤における岩石惑星への水輸送：ダスト・温度共進化の影響

近藤克 (東京工業大学), 奥住聡 (東京工業大学), 森昇志 (清華大学)

太陽系の岩石惑星は水に欠乏しているため、水氷が昇華する境界軌道であるスノーラインよりも内側で形成したと考えられている。地球のような水に枯渇した惑星の形成過程を理解するためには、スノーラインが惑星軌道を通じた後に岩石惑星がどれだけの水氷ダストを捕獲したかが重要である。Kondo et al. (2023) では、磁場とガスの相互作用によって降着が駆動する原始惑星系円盤 (磁気降着円盤) において、ダスト成長が円盤の温度進化とスノーライン移動に与える影響を調べた。その結果、ジュール加熱で決まる温度構造は、ダストのサイズ・空間分布に依存して非単調に変化することがわかった。しかし、この研究ではダストのサイズ・空間分布をフリーパラメータを用いて決定していたため、ダストの時間進化に伴う温度構造の変化や、スノーラインが惑星軌道を通じた後に地球型惑星形成領域に輸送される水氷ダストの量を評価できていなかった。

本研究では、磁気降着円盤における岩石惑星への水輸送を、ダスト・温度時間進化を数値的に解くことによって明らかにする。ダスト進化はダスト粒子の成長と破壊・動径方向の拡散と移流を考慮した。円盤温度はダスト依存性を考慮したジュール加熱と放射冷却の平衡から決定した。ダストの臨界破壊速度と岩石惑星軌道をフリーパラメータとし、惑星に降着する水氷ダストフラックスから最終的な惑星の水量を計算した。計算の結果、円盤内のダストが枯渇し始めると放射冷却が効率的になり、スノーラインは急速に内向きへと移動することがわかった。ダストの臨界破壊速度が小さいほどダストが枯渇する時間スケールは長くなり、結果としてスノーラインの到達時刻スケールも長くなる。岩石惑星が水に枯渇した惑星に成長するためには、より太陽に近い軌道 ($< 0.7 \text{ au}$) で、ダストの臨界破壊速度が小さい ($< 1 \text{ m s}^{-1}$) 条件が好ましいこともわかった。

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

P220a スノーラインを通過する氷ダストアグリゲイトは分裂するか？

城野信一 (名古屋大学)

原始惑星系円盤内には「スノーライン」と呼ばれる、 H_2O 氷が凝縮を開始する場所が存在する。氷ダストアグリゲイトがスノーラインを通過すると、体積の多くを占める H_2O 氷が昇華するため、ダストグレイン間の結合が切断されてアグリゲイトが分裂する可能性がある。 H_2O 氷が完全に昇華すると後にはシリケートコアからなるアグリゲイトが取り残されることになる。この取り残されたアグリゲイトのサイズが十分小さければ、スノーライン近傍にシリケートアグリゲイトが濃集する可能性がある (Saito & Sirono 2011)。また、電離度が下がることにより乱流強度が低下し、圧力バンプが形成されることでアグリゲイトが濃集する (Kretke & Lin 2007)。さらに、上空に巻き上げられたシリケートアグリゲイトが中心星からの光を遮ることで影領域が形成されうる (Ohno & Ueda 2021)。そこで本研究では、昇華によって形成された分裂片が元のアグリゲイトから脱出する確率を分裂片のサイズの関数として求めた。分裂片にはガス分子がランダムに衝突する。この過程を 1 次元ランダムウォークとしてモデル化した。昇華した H_2O ガス分子によって分裂片が押し出される効果と、アグリゲイトが回転していることにより発生する遠心力の効果とを考慮した。分裂片は切断された相手のグレイン以外の場所に再結合する可能性もあるが、グレインの空間的配置の情報が必要となるため今回は考慮しなかった。そのため、求められた脱出確率は上限値となる。計算の結果、ガス圧により押し出される効果が回転とくらべて大きく、また分裂片のサイズが 10-100 ミクロンとなることがわかった。よって先行研究の多くで仮定されていた効率の良い分裂は十分起こり得る。一方、原始惑星系円盤の上方にある高温領域に氷ダストアグリゲイトが乱流によって巻き上げられると分裂してしまうので、氷ダストアグリゲイトの成長を阻害する可能性がある。

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

P221a 周惑星円盤のダスト連続波放射観測による惑星 PDS70b 及び c の特性の制約

芝池論人 (国立天文台), Christoph Mordasini (ベルン大学)

惑星のガス集積に関する理論的研究は数多く存在するが、形成中の惑星は原始惑星系円盤に埋もれていることが多く、観測例はまだ少ない。若い T タウリ型星 PDS70 の周囲には、前遷移円盤の大きなギャップ内に、二つのガス集積中の惑星が複数の波長による直接撮像観測によって発見されており、これらは惑星のガス集積に関する観測的制約が得られる貴重な例である。近年、Atacama Large Millimeter/submillimeter Array (ALMA) により、惑星 PDS70c の位置から (サブ) ミリ波帯 ($855 \mu\text{m}$) の連続波の点源が検出された。これは、ガス集積の副産物である「周惑星円盤」が惑星 c 周囲に存在し、その円盤内で成長したダストが発する熱放射が検出された、と解釈されている。我々は、周惑星円盤内でのダスト進化及び放射モデルを開発し、この惑星に適用した。結果、ダスト放射の強度と、惑星の重要な三つの特性である、惑星質量、ガス集積率、及びそれらの積 (MMdot) との間に、正の相関を発見した。さらに、この相関を利用して、PDS70c の MMdot が $4 \times 10^{-7} M_J^2 \text{ yr}^{-1}$ 以上、惑星質量とガス集積率がそれぞれ $5 M_J$ と $2 \times 10^{-8} M_J \text{ yr}^{-1}$ 以上でなければ、検出されたダスト放射フラックスを再現できないことを発見した。これは、惑星の特性について、周惑星円盤の (サブ) ミリ波帯のダスト連続波放射フラックスにより制約を与えた、初の事例である。我々は、惑星 b の特性についても、ダスト放射が非検出であることから緩い制約を得た。本講演では、二つの惑星の観測結果を同時に説明可能な、PDS70 系全体の形成シナリオ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](#)

P222b 原始惑星系円盤への外部輻射の影響

松本凜, 福島肇 (筑波大学)

惑星形成の現場である原始惑星系円盤は、中心星と周囲のガス円盤で構成される。原始惑星系円盤のガスは、通常数 10^6 [yr] スケールで中心星の輻射によって蒸発する。しかし惑星形成の環境下において、周囲の星の数や受ける紫外線の強度は多様性があることが知られており、紫外線光度を上昇させる大質量星が近くにどれほど存在するかによって形成環境が大きく変化する。

本研究では、原始惑星系円盤の付近に存在する大質量星からの輻射によって、円盤のガスが光蒸発する過程に着目する。近年、実際に大質量星の輻射を受ける原始惑星系円盤が観測されている。原始惑星系円盤への外部輻射の影響は、2次元流体シミュレーションを用いた先行研究によって調べられているが、外部輻射の方向依存性の調査や、観測された原始惑星系円盤と同じ方向から見たモデルの作成が難しい。以上を踏まえ、計算を3次元に拡張することで、より正確かつ詳細なモデルを構築する。

今回行った計算は、輻射強度と輻射方向を各3モデル用いた計9モデルである。シミュレーションを行った結果としては、原始惑星系円盤への外部輻射は、輻射強度への依存性が大きいことが分かった。具体的には、 10^3 FISRf (FISRf: 星間空間内での平均的なエネルギーフラックス) を超える強度の紫外線を輻射すると、円盤が 10^4 [yr] スケールで光蒸発する。これは、中心星の輻射による円盤蒸発のタイムスケールより短いため、惑星形成に影響を与える可能性がある。一方で、外部輻射の輻射方向が蒸発率に与える影響は小さく、本研究で行った Face On・Edge On・ななめ 45度方向において、顕著な差は得られなかった。

[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](#)

P223b Lightning Generation by Streaming Instability in Protoplanetary Disks

Fang Han, Taishi Nakamoto (Tokyo Institute of Technology), Tetsuo Taki (The University of Tokyo)

We investigate the generation of lightning in protoplanetary disks through streaming instability, focusing on its potential role in the formation of chondrules—meteoritic components that provide clues about the environment of the early solar system. Chondrules are believed to form through rapid heating in high-density dust environments, a process that remains largely unexplained (Alexander et al. 2008; Desch et al. 2012). We propose a model where lightning, generated by charge accumulation from particle collisions, serves as a heat source for chondrule formation. Using the open-source code ATHENA (Stone et al., 2008; Bai & Stone, 2010), we calculate the dynamics of gas and particles within the disk, examining how differently sized dust particles moving at various velocities collide and exchange charges. This process leads to the formation of electric fields as charged dust particles spatially separate.

We specifically consider the dust layer in the disk's midplane, a region susceptible to streaming instability and planetesimal formation. We use a two-species dust model with Stokes numbers of 0.01 and 0.1, and a metallicity of 0.03. In high-density dust environments, frequent collisions result in significant charge separation, potentially creating electric fields strong enough to overcome neutralizing currents and trigger lightning. Our findings indicate that in such environments, where self-gravitational collapse also plays a role, the electric fields generated by colliding dust particles can grow strong enough to initiate lightning discharges within timescales of approximately 1.6×10^{-2} Keplerian 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](#)

P224c ダストアグリゲイトの衝突結果に物性の違いが与える影響

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

惑星は原始惑星系円盤で形成される。惑星形成過程の初期段階において、円盤の中で固体成分であるダストは互いに衝突する際に付着合体する事によって成長すると考えられている。この衝突時の速度はダストの成長と共に増加すると考えられているが、衝突速度が高すぎるとダストは衝突時に合体出来ずに互いを破壊し合って成長を抑制してしまう。この衝突時に成長出来るか破壊されるかを分ける臨界速度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、まだあまり解明されていない。臨界速度はダストの物性によって異なる事が分かっている。臨界速度に関する数値計算の先行研究ではある特定の物性のダスト同士の衝突をN体計算を行い、その計算結果をダストの壊れやすさを表す物理量で規格化する事で別の物性のダストの臨界速度を推定していた。この臨界速度は衝突後の複数のエネルギー散逸機構に依存するが、規格化で用いられる物理量はその一つにしか関連していない。そのような物理量を用いた規格化が別の物性のダストの臨界速度の推定に適しているかどうかについては、しかしながら、これまであまり確認されていなかった。本発表では氷氷製のダストとシリケート製のダストに関して衝突のN体計算を実際に行い、その計算結果を比較する。氷氷製の場合は特定の質量比衝突において標的から衝突体への質量輸送が起こる一方で、シリケート製の場合は起こらない事が分かった。この質量輸送の有無が臨界速度に大きく影響する事が示唆された。衝突によって形成される破片について、特に小さい破片はシリケート製の場合の方が割合が高くなる可能性がある。これらの結果から、これまで行われていた臨界速度の物性の違いによる規格化手法はあまり適していない事が暗示された。

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

P225a 1 次元永年円盤進化計算によるガスリッチデブリ円盤の起源の解明

大山航 (京都大学), 仲谷峻平 (JPL/Caltech), 細川隆史 (京都大学), 三谷啓人 (デュースブルクエッセン大学)

近年の観測によって 5000 以上の多様な系外惑星が見つかっており、その包括的な形成理論が求められている。そのためには惑星形成の舞台である原始惑星系円盤 (PPD) の進化を解明する必要がある。一般に観測から約 1000 万年以内に円盤のガス成分は散逸すると考えられてきた。しかし、近年の観測で主に中間質量星の周りに 1000 万年以上の年齢を持つにもかかわらずガス成分を保持するデブリ円盤 (ガスリッチデブリ円盤) の存在が明らかとなった。ガスリッチデブリ円盤の起源は未解明であり、その解明は円盤進化を明らかにする上で重要である。

近年、星進化とダスト枯渇の効果で円盤散逸が抑制され、PPD 寿命が 1000 万年以上になりえるとするガスリッチデブリ円盤の起源についてのモデルが提唱された (Nakatani et al. 2023)。Nakatani et al. (2023) では空間構造を考えない 0 次元モデルを用いて、寿命が 1000 万年以上の円盤の再現に成功していた。

本研究では Nakatani et al. (2023) を 1 次元に拡張し計算を行った。散逸に寄与するメカニズムとして、粘性、MHD 円盤風による角運動量輸送、質量散逸と中心星照射による光蒸発を考えた。さらに Kunitomo et al. (2021) の結果を用いて中心星進化の影響も考えた。1 次元に拡張することにより、円盤ガスの空間分布、降着率の時間進化も得られる。また円盤風による中心星輻射の遮蔽効果 (Shield 効果) も考えた。Shield 効果を考えた場合、Nakatani et al. (2023) と同様に $2M_{\odot}$ で寿命が最大になった。これはガスリッチデブリ円盤が主に中間質量星周りで見つかる観測と一致する。一方、Shield 効果の寄与を考えないモデルでは寿命は $3M_{\odot}$ で最大になった。これらの中心星の質量への依存の違いについて、降着や光蒸発の散逸タイムスケールの時間進化を元に考察を行った。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P226a ガスリッチデブリ円盤の起源に関する新モデル：遅延円盤散逸モデル

仲谷峻平 (JPL/Caltech), Neal J. Turner (JPL/Caltech), 長谷川靖紘 (JPL/Caltech), Gianni Cataldi (NAOJ), 相川 祐理 (東京大学), Sebastián Marino (University of Exeter), 小林浩 (名古屋大学)

原始惑星系円盤 (PPD) は、ガスが豊富で赤外を含む広い波長で光学的に厚い星周円盤である。これらは散逸しながら、内部で惑星や微惑星を形成する。最終的にガスが散逸すると、デブリ円盤を含む惑星系が残る。従来、赤外線や可視光観測により PPD ガスは約 1,000 万年以内に散逸すると考えられていた。しかし、最近の高感度観測により、1,000 万年以上の年齢を持つデブリ円盤にもガスが存在することが明らかとなった。これらのガスリッチデブリ円盤は、これまでに 20 天体ほど発見されているが、どのようにしてそれらが 1,000 万年以上ガスを保持しているのか、その起源は未解明である。ガスリッチデブリ円盤は PPD とデブリ円盤の中間的天体と考えられており、その起源と運命を解明することは円盤進化の理解において鍵を握るとされる。

ガスの起源として始原ガス説と 2 次ガス説が提唱されている。前者は PPD ガスが何らかの理由により 1,000 年以上生き残ったとするもので、後者は PPD ガスの散逸後、残存する微惑星の衝突によりガスが放出されたとするものである。上記の円盤寿命観測およびそれを支持する従来の円盤散逸理論の結果から、現在は 2 次ガス説が主流になっているが、ガス質量など説明不能な観測事実も得られてきている。そこで我々は新たに、星進化やダスト枯渇の効果を検討した遅延円盤散逸モデルを構築した。本モデルは、特に中間質量星周りで PPD ガスが 1,000 年以上残存可能なことを示す上、ガスリッチデブリ円盤発見率の中心星スペクトル型依存性を再現する。本結果は、これまで事実上棄却されていた始原ガス説がガスリッチデブリ円盤の起源を説明する可能性を示唆する。

[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](#)

P227a 乱流状態にある原始惑星系円盤での複雑有機分子の化学進化

鈴木大輝, 古家健次, 相川祐理, 柴田雄, Liton Majumdar

原始星 V883 Ori 周囲の円盤で、 CH_3COCH_3 、 CH_3CHO 、 CH_3OCHO が初めて検出されたように (Lee et al. 2019)、近年では彗星や原始惑星系円盤でも複雑有機分子 (COMs) の検出が可能となった。しかし、その起源については 2 つの説があり議論を要する。一つは原始星の COMs が原始惑星系円盤まで引き継がれるとする説である。もう一つは原始惑星系円盤内部の化学進化が由来とする説で、塵に凍りついた単純な分子 (e.g., H_2O , CH_4 , NH_3) が紫外線により破壊されて反応性の高いラジカルになると、ラジカル同士の反応により円盤の中でも COMs が生成する可能性がある。

そこで当研究では、原始惑星系円盤内の COMs の起源と生成過程を理解するためにシミュレーションによる研究を行なった。初めに、原始惑星系円盤内の物理構造モデル上で、塵粒子の運動 (移流、乱流拡散、ドリフト、沈殿) を追跡した。その後、個々の粒子を 10^6 年間追跡して得られた物理環境の変化の履歴に基づいて、化学反応ネットワークを解くことにより分子組成の時間変化を得た。粒子の受けた全紫外線量を cosmic-ray induced UV による紫外線量で規格化した指標である Γ を用いて、化学進化の特徴を調べた。Fiducial Model では CO などの主要な分子のみを初期組成に設定し、 Γ の値に対して COMs の種類により異なる化学進化が進むことを確認した (2023 年度秋期年会)。一方で原始星 RAS 16293 – 2422 A の COMs 存在量 (Manigand et al. 2020) を計算の初期組成として設定した Inherited Model で同様の計算を行うと、 Γ が増加するにつれて COMs の存在量が減少した。Fiducial Model モデルと比較することで、原始星からの引き継がれる COMs の存在量の方がリセットされ、円盤内の生成が重要となる閾値は、 $\Gamma \sim 10$ であることを見出した。講演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](#)

P228a 原始惑星系円盤における C_2H の重水素化物の観測

大和 義英, 相川 祐理, 古家 健次 (東京大学), 吉田 有宏 (国立天文台/総研大)

分子において重水素化物の存在量が多くなる重水素濃縮は、星形成領域から太陽系天体に至るまで多様な環境で一般的に見られる現象であり、分子の形成環境や熱史を探るうえで重要である。近年の ALMA による高空間分解能観測により、原始惑星系円盤の外縁部 (半径数十 au) においても DCO^+ , DCN , N_2D^+ などの重水素化分子が検出され、低温な ($\sim 10\text{--}20\text{ K}$) 中心面付近において効率的な重水素濃縮が起こっていることが明らかになってきている。

本講演では、TW Hya 周りの原始惑星系円盤における炭化水素 C_2H の重水素化物 C_2D の検出を報告する。過去の ALMA 観測により、TW Hya 円盤における C_2H 放射は非常に明るくリング状の分布をしていることが知られており、これは円盤表面の比較的高温 ($\sim 30\text{--}50\text{ K}$) かつ C/O 比が 1 より大きい領域をトレースしていると考えられている。我々は $C_2D\ N=2\text{--}1$ (Band 4) の ALMA アーカイブデータに着目し、円盤ガスのケプラー回転を利用したスタッキング解析により C_2H と同様のリング状の領域で $\geq 5\sigma$ の有意性で輝線を検出した。また、あわせて $C_2H\ N=4\text{--}3$ のアーカイブデータの再解析も行い、超微細構造を考慮したスペクトル解析により C_2H の重水素濃縮度 (C_2D/C_2H 比) および励起温度を求めた。 $C_2H\ N=4\text{--}3$ の超微細構造線のうち明るい 2 本については光学的に厚く、得られた励起温度 ($\sim 30\text{ K}$) は円盤表面の比較的高温な領域をトレースしていることと整合的である。得られた C_2D/C_2H 比は、 DCO^+ や DCN とは異なり、炭化水素イオン (C_2HD^+) によって引き起こされる重水素濃縮のメカニズムでよく説明できることが分かった。講演では、 DCO^+ , DCN , C_2D などの複数の分子種によってトレースされる異なる重水素濃縮メカニズム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](#)

P229a 円盤鉛直方向の温度構造が太陽系の固体炭素分布に与える影響

岡本珠実, 井田茂 (東京工業大学)

太陽系内側に存在する地球や小惑星の炭素含有量は星間物質や彗星に比べて枯渇していることがわかっている。一方で星間物質中において、炭素ダストはグラファイトや非晶質炭化水素などの地球軌道付近では昇華しない難揮発性物質として存在する。したがって地球や小惑星の炭素枯渇を説明するためには、これらの難揮発性炭素ダストの量を微惑星形成前に減少させる必要がある。この炭素枯渇を説明するプロセスとして考えられているものの一つに、非晶質炭化水素の光分解がある。これは非晶質炭化水素が円盤上空での FUV 照射によってその一部が揮発性炭化水素ガスに分解され気相へ逃げていくという現象である (e.g., Alata et al. 2014; 2015)。しかし、Klarman et al. 2018 では円盤内におけるダストの動径方向の移流が非晶質炭化水素の光分解による太陽系内側での炭素枯渇を抑制することを示した。ただし、この先行研究では FUV が照射される円盤上空では高温になることを仮定していたが、その鉛直温度分布がダストの鉛直方向の拡散に与える影響を考慮していなかった。また、先行研究ではダストの付着力を円盤全域で等しい値に設定していたが、氷はシリケートよりも付着力が強いことが実験的に示唆されており、これを考慮すると氷が昇華するスノーラインを境にダストの付着力が変化する可能性がある。本研究では、これらの効果を考慮した上で円盤内のダストの 3 次元動的な動きをモンテカルロシミュレーションを用いて追跡し、非晶質の光分解反応を追った。その結果、鉛直方向の温度分布がダストの鉛直方向の拡散に大きく寄与し、非晶質の光分解を促進させることがわかった。また、彗星を含めた太陽系内の炭素含有率の分布を再現させるためには、スノーライン外側での光分解を抑制する機構が必要であることもわかった。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P230a すばる望遠鏡 IRCS による AB Aur の原始惑星系円盤に対する水氷観測

工藤智幸 (国立天文台ハワイ観測所), 田崎亮 (グルノーブル・アルプ大学), 本田充彦 (岡山理科大), 寺田宏 (国立天文台), 田村元秀 (東大/アストロバイオロジーセンター)

すばる望遠鏡に搭載されている赤外線撮像分光装置 IRCS は、2018 年より補償光学と組み合わせて $3\text{--}5\mu\text{m}$ の波長帯までカバーできる高空間偏光観測機能を共同利用に供している (Terada et al. 2018)。8m クラスの望遠鏡において、この波長帯で偏光機能まで持つ装置は他に無く、新しいパラメータスペースとなっている。特に $3\mu\text{m}$ 帯には水氷の固体物質の吸収バンドが存在し、原始惑星系円盤などの散乱 (偏光) スペクトルの空間分布を探るサイエンスが期待できる。

我々はこの $3\mu\text{m}$ 帯を含む赤外線偏光撮像モードを使用し、約 0.1 秒角の空間分解能でハービック Ae 型星 AB Aur の原始惑星系円盤に対する水氷観測を行った。近赤外線偏光撮像装置 HiCIAO のアーカイブデータも加えた計 6 色の多色偏光撮像と、RADMC-3D (Dullemond et al. 2012) を用いた輻射輸送計算に基づくモデル予測と比較した結果、円盤表層は水氷が 5 % 以下と少なく、粒径 $0.03\text{--}2\mu\text{m}$ で 8 割の空隙率を持つダスト形状であることがわかった。本講演では、観測と理論を組み合わせた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](#)

P231a TW Hya のコロナ XUV 放射モデル

庄田宗人 (東京大学), 高棹真介 (大阪大学), 仲谷峻平 (JPL/Caltech)

原始惑星系円盤のガス散逸は円盤の進化や円盤内部での惑星形成において重要な物理過程である。ガス散逸を引き起こす物理プロセスとして中心星付近からの X 線や紫外線による光蒸発が注目されている。光蒸発に基づく円盤散逸モデルはこれまでに多数提案されているものの、その定量的帰結はモデルごとに大きく異なり、確固とした結論が得られないでいる。その要因の一つは光蒸発モデルでのインプットパラメータである主星放射スペクトル、特に観測不能量である極端紫外線放射に人為的な仮定が入ってしまうことにある。円盤を持つ古典的 T タウリ型星では磁場で加熱された大気 (コロナ) からの放射だけでなく降着衝撃波からの放射も重要視され、この放射起源の多様性が信頼に足るスペクトル推定の妨げとなっている。これを解決するには降着衝撃波からの放射特性とコロナ放射特性を分けて理解する必要がある。

そこで本研究では古典的 T タウリ型星である TW Hya に注目し、そのコロナからの XUV (X 線、極端紫外線) 放射の数値モデリングに挑戦した。これを達成すべく、我々は太陽型星の XUV 放射を再現可能な数値モデル (Shoda & Talasao 2021, Shoda, Namekata & Takasao 2024) を TW Hya に適用し、観測された磁束量と化学組成をインプットとして数値シミュレーションを実行した。計算の結果、形成温度が比較的高い X 線輝線強度はファクター 3 程度以内の誤差で再現された。一方、形成温度が比較的低い X 線輝線強度は系統的に過小評価された。これは形成温度が比較的低い X 線が降着衝撃波に由来するという観測的帰結に整合的である。以上の結果は数値モデルによる古典的 T タウリ型星の放射スペクトル再構築の可能性を示唆する。

[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](#)

P232a 前主系列星フレアによる円盤電離状態への影響

鷲ノ上遥香 (大阪大学), 高棹真介 (大阪大学), 古家健次 (東京大学)

原始惑星系における中心星からのエネルギー放射は、低温・弱電離状態にある円盤の進化に大きな影響を与える。特に X 線は円盤ガスを電離し、円盤内の化学反応を駆動する役割を果たす。星で起こるフレアは X 線放射を伴うエネルギー解放現象であり、原始惑星系における唯一の硬 X 線 ($\gtrsim 10$ keV) 源である。硬 X 線はガスやダストの吸収を受けづらく円盤赤道面まで到達することができるため、円盤進化を調べる上で考慮すべき重要な要素である。しかしながら、これまでの研究では中心星フレアのモデルが単純化されており、フレアに伴う硬 X 線放射の性質が取り入れられていなかった。本研究では太陽・恒星フレア理論と観測的経験則に基づいて、前主系列星フレアの X 線スペクトルモデリングを行った。我々は、従来見落とされていたフレアのエネルギーに依存するフレア温度と非熱的放射の性質を考慮したスペクトルモデルを構築した。また、フレアの発生による円盤電離状態の応答を調べるために、我々はこの X 線モデルを用いた円盤の輻射輸送計算を行った。その結果フレアによる X 線は円盤赤道面の電離状態に大きく影響を与えることが分かった。特に $\gtrsim 10$ keV の X 線は円盤のより内部に到達し、その電離率は銀河宇宙線による電離率を広い範囲で上回ることが分かった。本研究ではさらに円盤の長期的進化に対するフレアの影響を理解するため、10 年間にわたる複数のフレア発生をモデル化した。時間平均 X 線スペクトルを用いて電離率を計算したところ、フレアからの X 線は長いタイムスケールにおいても円盤赤道面の有力な電離源となりうることを示された。

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

P233a 短周期系外惑星大気における窒素と硫黄の同時濃集・塩の熱解離の影響

中澤 風音 (東京工業大学), 大野 和正 (国立天文台), 奥住 聡 (東京工業大学)

惑星の大気組成はその形成過程や、原始惑星系円盤における元素輸送の歴史を保持している。Warm Neptune, WASP-107b は JWST による観測で NH_3 および SO_2 が検出され、窒素と硫黄の双方が超太陽的濃縮度 ($\gtrsim 5$ solar) であることが示された短周期系外惑星である (Dyrek et al. 2023)。円盤で主要な硫黄キャリアが FeS のような難揮発性物質であることから、惑星の高い硫黄濃度は微惑星降着など固体降着プロセスに由来するとされてきた。一方、円盤で主要な窒素キャリアの N_2 は昇華温度が 30 K の高揮発性物質であり、固体から容易に失われるため、固体降着で窒素を濃縮することは困難である。

円盤内側において窒素・硫黄濃縮の起源になりうるのが彗星や分子雲で検出が進むアンモニウム塩である。この塩は約 200 K で熱解離する半揮発性物質であり、彗星では NH_4SH が最も豊富であると報告されている (Altwegg et al. 2022)。これら塩の解離する軌道近傍では気相中で窒素に加え硫黄濃度も上昇するため、惑星はガス降着によって窒素や硫黄に富む大気を獲得できる可能性がある。高温巨大惑星における窒素・硫黄濃集過程を明らかにするため、本研究では揮発性成分に加えアンモニウム塩を含む円盤の物質輸送過程を計算した。水の昇華・再凝縮を伴う円盤ガス・ダスト進化に塩の解離を組み込み、各軌道・時刻における元素組成を求めた。その結果、 NH_4SH 解離軌道の近傍で窒素・硫黄濃度の双方が太陽値の数倍となることが分かった。この軌道は水雪線の近傍に位置し、水雪線の内側では N,S に加え O も超太陽的濃度となる。得られた元素比を元にした惑星大気中での光化学計算により、水雪線内側の惑星大気中では NH_3 に加え SO_2 が WASP-107b の観測値に匹敵する体積混合率となることが分かった。このことは塩が円盤内側で窒素・硫黄源として働いていた可能性を示している。

[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](#)

P301a 高空間分解撮像を用いた重力マイクロレンズ惑星系 OGLE-2014-BLG-0676L の質量測定

出射旭, 越本直季 (大阪大学), MOA コラボレーション

重力マイクロレンズ現象とは、観測している星 (ソース星) からの光が、視線上を通過する手前の星 (レンズ星) の重力場により曲げられ、一時的に増光する現象のことであり、レンズ星に惑星が付随する場合は、特徴的な増光を示すため、系外惑星を発見することができる。このとき、主星と惑星の質量比が測定できるが、光度曲線から高次効果が検出されない限り、質量を測定することができない。レンズ星とソース星を分解して観測できれば、主星の質量距離関係を表すアインシュタイン角半径とレンズの明るさを測定することができ、この2つの物理量から主星の質量を測定することができる。しかし、増光時はレンズ星とソース星は1ミリ秒角以下で重なっており分解できず、分解には増光から数年後に宇宙望遠鏡や地上の大口径望遠鏡を用いて高空間分解撮像をする必要がある。本研究では2014年に検出された惑星重力マイクロレンズイベント OGLE-2014-BLG-0676 に対して、2020年に行われた Keck 望遠鏡による高空間分解能追観測データを詳細解析し、主星と惑星の質量と距離を測定した。本公演では解析方法、およびその結果と考察を報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P302a 高空間分解能画像を用いた重力マイクロレンズ惑星候補イベント OGLE-2014-BLG-1367L の解析

永井 堤, 越本 直季, MOA コラボレーション

惑星系 (レンズ系) が恒星 (ソース星) の前を通過するとき、惑星系の重力によって恒星の光が曲げられ、一時的な増光現象が観測される。この増光現象を用いて惑星を発見する手法を重力マイクロレンズ法といい、光度曲線の解析により主星-惑星質量比を測定できる。しかし、主星や惑星の質量そのものや惑星系までの距離を測定することは困難であり、これはほとんどの場合質量-距離関係を表す物理量がアインシュタイン角半径しか得られないからである。質量と距離を決定するにはさらにもう一つの質量-距離関係を表す物理量が必要であり、その一つがレンズ系の主星の明るさである。増光時にはレンズ系とソース星は直線上に並んでおり、2天体は分離できない。これらを分離し、主星の明るさを測定するためには、数年後、2天体が直線上から外れた後に高空間分解撮像を用いて追観測する必要がある。またレンズ系とソース星を分離することで、2天体の相対固有速度を求めることができる。これにより、さらに正確な光度曲線解析が可能になる。このように高空間分解撮像による追観測は、重力マイクロレンズ法で発見された惑星の詳細な理解に大変有用である。本研究では、惑星候補イベント OGLE-2014-BLG-1367L を7年後に Keck 望遠鏡によって観測し、レンズ系の明るさ及び相対固有速度の測定を試みた。本公演では解析方法、及び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](#)

P303a MOA-2020-BLG-108Lb : 晩期型星の雪線以遠を周回する巨大惑星

佐藤佑樹 (関東学院大学), The MOA collaboration

重力マイクロレンズ法は、光が重力によって曲がる現象を利用した太陽系外惑星検出法である。ある重力源 (レンズ天体) が背景にある光源天体の前を横切る時、レンズ天体の重力の影響で光源天体の明るさが時間変化する。レンズ天体が単星の場合、光源天体とレンズ天体と観測者が一列に並んだ時に光源天体がかすめ増光する。レンズ天体が2つの天体で構成されている場合、主星による増光に加え、伴星の重力によって二次的な増光が起こる。重力マイクロレンズ法の解析ではその特徴的な光度曲線をモデルフィッティングすることで、レンズ天体の主星伴星質量比や主星と伴星の離角などのパラメータを得る。今回解析した MOA-2020-BLG-108 は、2020年に銀河系中心方向で発生した重力マイクロレンズ現象である。増光期間は約30日で、ニュージーランドにある MOA-II 望遠鏡によって観測が行われた。我々は、光源天体とレンズ天体がそれぞれ1天体のシングルソースシングルレンズ (1S1L) モデルと、光源天体が1天体でレンズ天体が2天体のシングルソース連星レンズ (1S2L) モデルで解析を行った。その結果、1S2L モデルの方が1S1L モデルよりも $\Delta\chi^2 \simeq 4400$ 優れており、1S2L モデルの6つの解で MOA-2020-BLG-108 の光度曲線を再現できることが分かった。視差やレンズ系の公転など高次効果を加えた解析も行ったが、有限ソース効果以外の高次効果は有意に検出できなかった。次に、光度曲線フィッティングで得られたパラメータと銀河系モデルを用いてベイズ解析を行い、レンズ天体の物理量を推定した。その結果、6つの解は一貫して、主星が質量 $M_L \simeq 0.5 M_\odot$ の晩期型星であり、伴星が雪線以遠を周回する巨大惑星であることを示唆した。さらに、主系列星の質量光度関係と銀河系中心方向の減光則を用いてレンズ天体の見かけの等級を推定し、将来の追観測によるレンズ天体特性の制約の可能性を調べた。

[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](#)

P304a MOA-II マイクロレンズ惑星探査における惑星シグナルの自動検出アルゴリズムの開発と新惑星候補天体の解析

西尾茉優 (大阪大), 布田寛介 (大阪大), MOA コラボレーション

系外惑星発見法の一つである重力マイクロレンズ法は、水が固体となる境界であるスノーライン（太陽系では約 3AU）の外側を周回する、低質量の惑星を発見できる唯一の手法であり、これまでに 200 個程度がこの方法によって見つかった。ソース天体の手前をレンズ天体が横切る際、重力マイクロレンズ効果によりソース天体の一時的な増光が観測される。レンズ天体が単独星の場合、この増光曲線は対称的になるが、レンズ天体が惑星系の場合、増光曲線には左右非対称なシグナルが現れる。これは惑星シグナルと呼ばれており、この惑星シグナルを検出することで惑星を発見する方法が、重力マイクロレンズ法である。

MOA グループによるマイクロレンズ探査では 1 年に 500 個程度マイクロレンズイベントが発見されるが、そのうち、惑星イベントは 5 個程度である。従来、この惑星シグナルは人間が目視で見つけていた。しかし、データが膨大になるにつれ、シグナルの探索には多くの時間が必要となり、また、見落としの可能性も高まっていた。そこで本研究では、惑星シグナルを自動的に検出するアルゴリズムを開発した。このアルゴリズムでは、発見された全てのイベントに対して左右対称な増光モデルを用いてフィッティングを行い、その残差を基に非対称なシグナルを検出する。これにより、高速で客観的な惑星シグナル探索が可能となった。さらに、そのアルゴリズムを 2007 年から 2021 年までに MOA グループにより発見された全てのイベントに適用し、これまで見落とされていた新たな惑星候補天体を発見した。本講演では、アルゴリズムの詳細および、新たに発見した惑星候補イベントの解析について紹介する。

[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](#)

P305a The JWST/NIRCam Coronagraphic Observations of the HD 163296 System

Taichi Uyama (California State University Northridge / Astrobiology Center), Luca Ricci (CSUN), Marie Ygouf (NASA JPL), Sean Andrews (Smithsonian Institution Astrophysical Observatory / Harvard Univ.), Vanessa Bailey (NASA JPL), Cornelis Dullemond (Universitat Heidelberg), Jane Huang (Columbia Univ.), Andrea Isella (Rice Univ.), Dimitri Mawet (Caltech), Laura Perez (Universidad de Chile), Massimo Roberto (STScI/the Johns Hopkins Univ.), Shangjia Zhang (Univ. of Nevada Las Vegas), Zhaohuan Zhu (UNLV)

Directly imaging planets embedded in protoplanetary disks yields crucial insights into planet formation, evolution mechanisms, and planet-disk interactions. HD 163296, a young Herbig star, stands as an ideal testbed for exploring planet formation processes. High angular resolution observations from ALMA have unveiled numerous features suggestive of ongoing planet formation, including gaps in the dust continuum at 0.1, 0.5, 0.9, and 1.5 arcsec from the central star (the two outer gaps coincide with CO gas depletion), and velocity perturbations in the CO gas at 0.7 and 2.2 arcsec. Despite these indicators, however, previous ground-based high-contrast imaging efforts fell short in detecting companion candidates. To address this challenge, we undertook JWST/NIRCam deep coronagraphic observations in Cycle 1. In this presentation, we will show our post-processed results and engage in a comprehensive discussion to decipher their 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](#)

P306a JWST による高温系外ガス惑星 WASP-69b の熱放射光スペクトル観測: 大気金属量、熱輸送、そして雲組成への示唆

大野和正, Schlawin Everett, Mukherjee Sagnick, Bell Taylor, Beatty Thomas, and MANATEE team

系外惑星大気を観測することは大気組成を通じて惑星形成過程を探ることに加えて、太陽系惑星と大きく異なる環境下での大気物理・化学過程を理解する上で重要である。WASP-69b は土星質量かつ木星サイズの高温系外ガス惑星である。この惑星の平衡温度 960K は、大気中の炭素のリザーバーが CH_4 から CO へと切り替わる境界に対応し、高温系外惑星中での大気化学過程を理解する上で重要なターゲットとなる。加えて、WASP-69b に対する過去の大気透過分光観測では、可視波長域に雲・ヘイズ由来と考えられるスペクトルスロープが発見されており、系外惑星大気における雲・ヘイズ形成過程を理解する上でも興味深い天体である。

我々は JWST GTO プログラム MANATEE の一環として WASP-69b の熱放射光スペクトルを NIRCam 及び MIRI で観測したため、その結果を報告する。観測の結果、WASP-69b の放射光スペクトルは CO_2 の顕著な吸収フィーチャーを示すこと、 CH_4 の吸収フィーチャーが存在しないこと、更には波長範囲 $\lesssim 4 \mu\text{m}$ と $\gtrsim 5 \mu\text{m}$ で輝度温度が大きく異なることが分かった。様々な大気モデルと観測スペクトルを比較した結果、惑星表面に温度構造・雲の性質の異なる 2 領域が共存することを仮定することで、観測スペクトルをよく説明できることが分かった。本結果は平衡温度 960K の惑星においても熱輸送が非効率で、大気中に強い温度及び雲の水平勾配があることの初の観測的証拠である。また、大気モデルと観測スペクトルの比較から、大気の大気金属量が土星と同程度であることも分かった。本講演では他にも WASP-69b の大気中の雲・ヘイズ組成に関して議論を行う。

[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](#)

P307a 可視光近赤外線トランジット観測による Qatar-1 b の天気の変化の検出

平野 佑弥, 伊藤 洋一 (兵庫県立大学)

地球上には雲が存在し、毎日の天気も変化する。同様に、太陽系外惑星の中にも大気中に雲やヘイズが存在するものがある。トランジット法は惑星が主星の前を通過する際の一時的な減光を利用して惑星を発見する手法である。惑星に大気が存在する場合、減光率の波長依存性から大気組成を推定することができる。惑星大気中に雲や微粒子が存在する場合、原子や分子の吸収特徴が隠されてしまい平坦なスペクトルが観測されることがある。Qatar-1 b は地球から約 600 光年離れたホットジュピターである。2021 年に行った近赤外線トランジット観測で作成した大気モデルと比較すると、Covino et al. (2013) による 2011 年から 2012 年に観測された可視光 R バンドのトランジット深さは約 80% 大きい。このトランジット深さの変動は雲や微粒子の有無によって引き起こされたとも考えられる。

本研究では、西はりま天文台のなゆた望遠鏡に搭載された近赤外撮像装置 NIC と西はりま天文台 60 cm 望遠鏡を用いて、太陽系外惑星 Qatar-1 b のトランジット観測を行った。観測は 2021 年 9 月から 2023 年 10 月の期間に実施した。可視光と近赤外の 4 つのバンド (V, J, H, Ks) で 11 夜観測し、そのうち 5 夜でトランジットが検出できた。得られたトランジット深さから、以下の 3 つのパターンが見られた。可視光で小さく近赤外で大きい場合、可視光で大きく近赤外で小さい場合、そして可視光と近赤外のトランジット深さがほぼ同じ場合。これらのトランジット深さの変動は恒星の黒点や軌道傾斜角の変動では説明できないが、ヘイズ粒子の有無や成長で説明できる可能性がある。講演では Qatar-1 b のトランジット観測から得られたトランジット深さの変動について報告し、変動の原因を考察する。

[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](#)

P308a 太陽近傍 M 型星 Gliese 12 を公転する大気分光に適した地球サイズ惑星の発見

葛原昌幸 (ABC), 福井暁彦 (東大), John Livingston, 平野照幸, 大宮正士, 堀安範, 小谷隆行, 森万由子, 寶田拓也, 鶴山太智 (ABC), Jerome de Leon, 成田憲保, 幾田佳, 渡辺紀治 (東大), 笠木結 (ISAS), 原川紘季, 工藤智幸 (ハワイ観測所), 石川裕之 (UWO), 佐藤文衛, 小玉貴則 (東工大), J. Caballero, J. Sanz-Forcada (CAB, CSIC-INTA), F. Murgas, J. Orell-Miquel, E. Palle, E. Esparza-Borges, H. Parviainen (IAC), Q. Changeat (STScI), C. Hellier (Keele 大), J. Morales, I. Ribas (ICE, CSIC), E. Nagel, A. Reiners, M. Zechmeister (Georg-August 大), V. Perdelwitz (Ariel 大), A. Schweitzer (Hamburger 天文台), H. Tabernero (UCM), IRD-SSP/MuSCAT/CARMENES/TESS チーム

本講演では地球から 12pc の距離に存在し有効温度が約 3300K の M 型星である Gliese 12 を公転する惑星 (Gliese 12 b) の発見を報告する。同恒星はすばる望遠鏡の IRD を用いた戦略枠プログラムを通して 2019 年から 2023 年にかけて観測され、全天トランジット観測用宇宙望遠鏡の TESS においても 4 度のセクターで観測された。Gliese 12 b は TESS チームにより公転周期が未確定の惑星候補として初め同定された。そこで我々は、MuSCAT2 および MuSCAT3 を用いた地上トランジット観測から同惑星の公転周期を 12.76 日と確定し、さらにそれらに加えて Keck と Gemini 望遠鏡の補償光学データ、IRD と CARMENES によって取得した視線速度データも用いることでその惑星検出の偽陽性を排除した。最終的に上記全てのライトカーブデータおよび視線速度データを総合的に解析することで、Gliese 12 b の半径を $0.96 \pm 0.05 R_{\oplus}$ と決定し、その質量の 3σ 上限値を $3.9 M_{\oplus}$ と制限した。また、その日射量は地球の約 1.6 倍と金星 (1.9 倍) よりもわずかに小さい。Gliese 12 b は主星が明るく活動も穏やかなため、透過分光を通した大気の研究に対して TRAPPIST-1 の惑星と同等に理想的なターゲットになり得る。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P309b 非等方的熱物理モデルによる 1 Ceres の物性パラメータ探索

高橋茂, 飯野孝浩 (東京大学), 塚越崇 (足利大学), 窪田暉, 佐川英夫 (京都産業大学)

我々は 2017 年に取得された ALMA アーカイブデータを用いて、250GHz 帯での 1 Ceres の高空間分解能イメージ (視直径 ~ 0.45 arcseconds に対し、空間分解能 ~ 0.05 arcseconds) を生成し画像解析を進めている。

2024 年春季年会では作成したイメージと熱物理モデル (TPM) を用いて、観測を再現する物性パラメータ探索を行い、熱慣性値が 20-160 tiu、誘電正接 $\tan \delta$ (複素誘電率 ϵ の虚数部と実数部の比) が 0.005-0.05 の範囲にあることを報告した。計算で用いた TPM は Spencer et al. 1989 (SP89) によるものであり、小惑星表面における電磁波の反射・吸収などを等方的に扱ったものであった。

今学会では TPM として非等方的なモデル (Delbo et al. 2015 を参照) を用いた場合の物性パラメータ値の探索結果を報告する。一般に小惑星表面は地形による凹凸 (roughness) が存在し、そのため電磁波は、多重散乱、放射再吸収といった非等方的な複雑な過程をたどる。そのため、実際の小惑星表面および表層下の温度分布は、太陽直下点付近において、等方的モデルが予想する温度より高くなる傾向を持つ。このモデル温度分布の違いは、導出される物性パラメータにも影響する。特にミリ波における電波観測データの解析においては、表層下からの熱放射も考慮しないといけないため、赤外観測と比較し、この影響はより大きいと考えられる。ポスターでは SP89 による等方的なモデルと非等方的モデルによる結果を比較し、1 Ceres における妥当な物性パラメータ値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](#)

P310b 宇宙研 1.3m 望遠鏡の再開発プロジェクト SURF と大学共同利用公募について

宮川浩平, 河原 創, 宮崎翔太, 笠木 結, 片坐宏一 (宇宙研), 平野照幸, 小谷隆行 (ABC), 和田武彦 (NAOJ)

宇宙科学研究所は関東圏最大級となる主鏡径 1.3m の望遠鏡 (赤外線モニター観測装置) を有する。当該施設は、ここ数年間にわたる管理者の不在やシステム周りの老朽化によりユーザーがほとんどおらず、実質的な停止状態となっていた。しかし、国内 1.3m 望遠鏡というリソースは、系外惑星探査を含めた広い科学観測における活用が十分に期待できる。そこで我々は本年度より、望遠鏡自体のメンテナンスや新規観測カメラ装置の導入等を含めたプロジェクト SURF (Studies Using the Rooftop Facilities) として、施設の再開発計画の立ち上げを行った。本ポスター講演では、今年 2 月に実施した V 等級 10 等程度の惑星系のトランジット観測結果に基づいた測光精度や、新規測光装置 DOLPHIN (Device of Line Photometry in Nasmyth) の開発状況について報告する。さらに DOLPHIN を用いたトランジット惑星系の大気や恒星活動の観測など、系外惑星探査において現状検討可能なサイエンスについて紹介し、来年度の大学共同利用公募 (1 月中旬締め切り) に向けた情報周知を行う。

[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](#)

P311b 自動微分可能な重力マイクロレンズモデル microJAX の開発

宮崎翔太, 河原創 (宇宙科学研究所)

2027 年までに NASA が打ち上げを予定している Nancy Grace Roman 宇宙望遠鏡は、銀河系中心領域にある数億の星々を高頻度でモニタリングすることで、重力マイクロレンズ法から約 1400 個の冷たい系外惑星の発見することが期待されている。このような大規模かつ高精度な Roman の観測データ (光度曲線) を解析するためには、微小な影響を及ぼす高次効果まで含めた緻密なモデル化とそれらを効率的に計算する技術が共に必要である。

この課題への解決策として、我々は自動微分と GPU 並列計算を可能とした、新たな重力マイクロレンズのモデル化コード「microJAX」を現在開発中である。microJAX は自動微分と加速線形代数のための GPU/TPU 互換パッケージ JAX を用いて Python で記述されており、勾配情報を用いた高速なモデル最適化とハミルトニアンモンテカルロ (HMC) 法などを用いた高効率かつ柔軟なベイズ解析を可能にする。本講演・ポスターでは、microJAX の開発状況とその将来性、今後の展望等を紹介する。

[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](#)

P312c マイクロレンズ系外惑星探査による惑星存在頻度の主星質量依存性の測定

布田 寛介 (大阪大学), 越本 直李 (大阪大学)

系外惑星探査手法のひとつである重力マイクロレンズ法は、我々の銀河系内の幅広い領域に存在する、重い惑星から軽い惑星までの様々な惑星を検出することができる唯一の方法で、それらの発見された惑星は、惑星の成り立ちや銀河系の惑星形成史の解明に大きく貢献する。これまで 200 個以上の惑星がこの手法により見つかり、それらの統計解析から、惑星の存在量やその質量比依存性などが明らかにされてきた。一方で、惑星存在頻度の主星質量依存性はよく調べられていない。これは、ほとんどのマイクロレンズ惑星イベントでは主星の質量を直接測定することが不可能だからである。

本研究では「アインシュタイン時間」と「レンズ・ソース相対固有速度」という、惑星イベントで普遍的に測定される 2 つのパラメータに着目し、それらの二次元の分布と銀河モデルを用いたシミュレーションから予測される分布を比較することで、主星質量の測定を伴わずに、惑星存在量の主星質量依存性を推定できる新たな手法を確立した。その手法を実際の惑星サンプルに適用することで、惑星頻度が主星質量の $0.42^{+0.48}_{-0.40}$ 乗に比例するという結果が得られた。これは、重い星は軽い星に比べて惑星を保有しやすいことを示唆している。

発表では新たな解析手法や結果の紹介の他に、2026 年に打ち上げ予定の Roman 宇宙望遠鏡による主星質量依存性へのさらなる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](#)

P313a 実視連星系と単星系における惑星存在頻度の比較

布田 寛介 (大阪大学), 増田 賢人 (大阪大学)

太陽型星の約半数は連星系に属しており、連星系における惑星の存在頻度の決定は、惑星系の統計的な性質の理解に必須である。また単星系における存在頻度との比較を通じて、伴星の存在が惑星形成に及ぼす物理的な影響を明らかにすることにもつながるこれまでの研究から、連星間距離が 200au 以下の比較的近接した連星系においては、惑星の存在頻度が単星系と比べて減少することが分かっている。例えば、単星系と比べて、close binary(恒星間の距離が 200au 以下の連星系)では恒星間距離が近づくのに伴って惑星頻度が減少することが分かっている。これは、伴星の力学的作用が主星の惑星形成を妨げている可能性を示唆している。一方で、恒星間距離が 200au 以上の連星系(以下 wide binary)の惑星頻度は観測的にあまり調べられていない。

本研究では wide binary の惑星存在頻度を推定し、単星系との比較を行う。解析には、宇宙望遠鏡 Gaia の観測データから作成された実視連星カタログ(El-Badry et. al. 2021)と、Gaia の恒星の一部に対してトランジット惑星を探索した Kepler のカタログを用いた。その結果、wide binary を成す FGK 型星ひとつあたりの、周期が 100 日以下で半径が 1-4 地球半径の惑星数は、単星系と比べて 1.8 倍程度大きいという結果が得られた。もしこれが wide binary に属する FGK 型星まわりの惑星存在頻度を正しく反映していれば、wide binary において短周期の惑星形成を促進する機構の存在を示唆する。一方で、Kepler による測光観測ではサンプル中の wide binary の多くは空間的に分離されていないため、もし wide binary の伴星にも多くの惑星が付随していると、これらの惑星が主星の有する惑星と混同され、存在頻度の見かけの上昇を引き起こす可能性もある。講演ではこの影響を考慮した上での結果の解釈を論じる。

[スケジュール\(セッション毎\)に戻る](#)

[スケジュール\(全体\)に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P314a 高分散分光による褐色矮星連星 Luhman16AB のキャラクタリゼーション

山響 (阪大), 増田賢人 (阪大), 河原創 (ISAS), 川島由依 (東北大)

近年、高分散分光と補償光学を組み合わせることで系外惑星や褐色矮星の高分散スペクトルの取得が可能になってきた。高分散スペクトルからは化学組成や温度・圧力構造、表面重力といった大気の詳細な情報が得られるが、高分散スペクトルを直接モデル化してそれらの情報を抽出した例は限られている。そこで本研究では系外惑星や褐色矮星の高分散スペクトルの解析手法の確立に向けて、褐色矮星連星 Luhman16AB の高分散スペクトルを大気リトリバルツール ExoJAX を用いて詳細解析し、大気組成や表面重力などを推定した。Luhman16AB は太陽系最近傍の褐色矮星連星で、他の系外惑星や褐色矮星に比べ非常に明るく S/N の良い高分散スペクトルが取得されている。両者の質量はアストロメトリを用いて精密に測定されており(Lazorenko et al., 2018)、また所属する association(Gagne et al., 2023)が同定されているため、年齢も推定されている。これらから、精度の良いスペクトルから得たリトリバルの結果を力学質量や褐色矮星の進化モデルと比較可能であり、Luhman16AB は高分散スペクトルの解析手法の検証を行う上で理想的なターゲットである。本講演では、Luhman16AB の高分散スペクトルの解析結果(質量、半径、T-P profile、C/O 比など)及び既知の推定値との比較を報告し、結果の妥当性や現状の解析の問題点、得られた C/O 比の解釈などについて議論する。

[スケジュール\(セッション毎\)に戻る](#)

[スケジュール\(全体\)に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P315a 熱対流問題のための SPH 法シミュレーションコードの開発

高橋航 (名古屋大学), 小林浩 (名古屋大学), 犬塚修一郎 (名古屋大学), 瀬野泉美 (名古屋大学)

対流は惑星における熱輸送や物質の攪拌に寄与する重要な過程である。対流は流体シミュレーションによりよく調べられているが、主にオイラー的な流体方程式に基づくメッシュ法で行われている。メッシュ法では格子状に空間を離散化するため移流によって分布がならされてしまい、数値計算によって生じる熱拡散より小さな熱拡散での計算が困難である。そこで、ラグランジュ的な流体方程式に基づく Smoothed Particle Hydrodynamics (SPH) 法では、流体を粒子で離散化することで移流による分布の平滑化が起こらず、数値計算による熱拡散を非常に小さくすることができる。そのため、本研究では、SPH 法を用いた熱対流シミュレーションを行った。熱対流問題でよく用いられる Boussinesq 近似を用いてシミュレーションを実行した。熱対流はレイリー数と呼ばれる無次元量で特徴づけられ、対流不安定の臨界値となる臨界レイリー数より 1 桁程度大きなレイリー数でシミュレーションを行った。同じ初期条件でも対流のふるまいが SPH 法のカーネル関数などの設定に依存した。そのため、シミュレーション結果を熱対流を特徴づけるレイリー数と熱輸送効率を示すヌッセルト数とを比較することで、その妥当性を評価した。これらの詳細な結果をもとに、SPH 法での熱対流シミュレーションについて議論する。

[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 X線天文衛星「すざく」の昼地球観測データを用いた地球超高層大気の長期変動調査

山脇鷹也, 勝田哲, 田代信 (埼玉大), 森浩二 (宮崎大), 鶴剛 (京都大), 望月優子 (理化学研究所, 埼玉大)

地表から高度 80 km 以上の領域を覆う地球大気は地球超高層大気と呼ばれ、宇宙空間から飛来する X 線はこの領域で吸収され、蛍光 X 線を放射している。地球低軌道を周回する X 線天文衛星はその天体観測過程において、太陽に照らされた昼の地球を指向する時間が存在するため、天体観測ばかりでなく地球観測も行っている。本研究では X 線天文衛星「すざく」が 2005 年 9 月から 2015 年 6 月の運用停止まで約 10 年に渡り地球大気の観測を行ったことに着目し、太陽活動の 11 年周期に対する地球超高層大気の応答を調査した。

「すざく」による昼地球観測データには、地球大気の主な構成物質である窒素及び酸素由来の蛍光 X 線が確認できるが、分子・原子及び電離状態の区別は難しい。しかし、輝線強度比からこれらの総和の存在比を推定できる。つまり「すざく」により、太陽活動の 1 サイクル間の窒素と酸素の存在比の変動を調べることが可能で、さらに地球リムの観測に着目することで地表高度ごとに存在比を計測することも可能である。これらから、約 100-200 km の高度区間における窒素と酸素の輝線強度およびその存在比が 10 年間でどのように変動するのか、その変動が太陽活動とどの程度相関しているのかを高度 24 km 刻みに調査した。その結果、調査を行った全ての高度区間で太陽 X 線 Flux と酸素・窒素の輝線強度に強い相関が見られ、「すざく」が観測した輝線強度は太陽活動をよく反映することが分かった。また酸素/窒素比も太陽 X 線 Flux と相関し、太陽活動が活発になると超高層大気の酸素/窒素比が増加することが分かった。今回の結果は、太陽活動の 11 年周期が超高層大気中の酸素/窒素比をコントロールすることを示し、地球低軌道衛星による超高層大気の新たな観測方法の確立に繋がる成果である。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P317a 公転周期が 1 年に近い小惑星の軌道運動

吉川 真 (JAXA)

太陽系小天体の地球衝突問題を扱うプラネタリーディフェンス (スペースガード) の活動の活発化により、地球接近天体 (NEO = Near Earth Object) の発見個数が急速に増えて、2024 年 6 月の時点で 3 万 5 千個を超えている。プラネタリーディフェンスでは、これらの NEO の軌道運動を計算し地球や月への接近を調べることを行っている。ここでは、その計算から特に公転周期が 1 年に近い小惑星の軌道進化について力学的な立場から調べた結果について報告する。

本研究では、NEO である小惑星で軌道長半径が 0.99au から 1.01au であるもの (公転周期が 1 年 - 5.5 日 - 1 年 + 5.5 日) 185 個について、現在を中心として ± 5000 年間の軌道進化を計算した。計算では 8 惑星、冥王星、そして月による摂動を考慮したが、これらの天体の位置は JPL の惑星暦である DE441 を用いた。計算の結果、計算期間である 1 万年の間に短期間も含めて約 6 割の小惑星が地球と 1:1 の共鳴状態になることが分かった。共鳴状態の種類としては、トロヤ群的な軌道、衛星的な軌道、そして馬蹄形な軌道に大別でき、これらを渡りあうような軌道進化をする場合もある。基本的には運動はカオス的な複雑な様相を示すが、計算した期間の 1 万年間にわたってずっと共鳴状態にあるものが 10 例ほど存在した。

人類活動のタイムスケールで見れば安定的な共鳴関係になっている小惑星はかなり多く存在することが分かったが、これらの小惑星は地球からの距離がある範囲に留まることになり、科学的な探査だけでなく、利用の可能性も検討できる。

[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](#)

P318a COIAS による太陽系小天体の探索状況

浦川聖太郎 (日本スペースガード協会), 杉浦圭祐 (三菱電機先端技術総合研究所), 伊東健一 (Diver-X 株式会社), 大坪貴文 (産業医科大学), 北里宏平 (会津大学), 小池美知太郎 (国立天文台), 白田-佐藤功美子 (国立天文台), 前田夏穂 (神戸大学), 宇野慎介 (理化学研究所), 木下大輔 (台湾国立中央大学), 関口朋彦 (北海道教育大学)

すばる望遠鏡が生み出す天文ビックデータと市民科学との連携により、小惑星をはじめとする太陽系小天体を大量に発見し、その描像を明らかにすることが本研究の目的である。HSC(Hyper Suprime-Cam) は、すばる望遠鏡の超広視野主焦点カメラである。HSC を用いた大規模なサーベイ観測 (HSC-SSP) が 2014 年から 2022 年に実施され、そのデータが公開されている。この公開データを利用して、直径 300m クラスの暗く小さな小惑星を発見し、その軌道や反射スペクトル型分布の解明を行う。合わせて、地球接近天体、太陽系外縁天体、恒星間天体といった天体の発見とその物理状態の解明を目指す。これらを達成するため、これまで我々が開発してきた太陽系小天体探索アプリケーション COIAS(Come On! Impacting ASTeroids) を用いて、市民科学者との協力で研究に取り組む。COIAS は 2023 年 7 月に一般公開を行い、900 名を超える市民科学者によって太陽系小天体の探索が行われている。2024 年 5 月の時点で、一部ノイズを含むものの 11 万を超える新天体候補を MPC(Minor Planet Center) に報告し 1211 天体について仮符号を取得した。この中には、2 つの地球接近天体や、144 個の太陽系外縁天体が含まれている。さらに、2 つのメインベルト小惑星に対して確定番号を取得した。このうち小惑星 (697402) = 2017 BX₂₃₂ は、すばる望遠鏡の観測が発見観測であると認められ命名権を得ることができた。本講演では COIAS の開発経緯・現状・将来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](#)

P319a 太陽系外縁天体による恒星掩蔽観測キャンペーン TABASCO の初期成果

有松亘 (京都大学), 吉田二美 (産業医科大学/千葉工業大学), 早水勉 (佐賀市星空学習館), 瀧田怜 (東京大学), 渡部潤一 (国立天文台)

一部の太陽系外縁天体 (TNO, 本講演ではケンタウロス族小惑星も含む) の周囲には、恒星掩蔽観測によって大気・衛星もしくはリングの存在が確認されている。TNO の形成・進化メカニズムを反映したこうした周天体環境を恒星掩蔽観測によって解明することは、太陽系外縁部の起源と特性を知るうえで新たな知見を与えると期待される。しかし掩蔽観測のおこなわれている TNO は限られており、我々の観測的知見は周天体環境の統計的議論ができる段階には至っていない。本研究では TNO およびその周天体環境の包括的な探査を実現するため、国内の光・赤外線天文学大学間連携ネットワーク (OISTER) とアマチュア観測家を中心とする国際掩蔽観測者協会東アジア (IOTA/EA) の枠組みを利用し、さらに本研究グループが所有する小型観測システム (SoCoSoCo-PONCOTS) を使用した掩蔽観測キャンペーン、Trans-neptunian Atmospheres and Belts Analysis through Stellar-occultation Coordinated Observations (TABASCO) を実施している。TABASCO は事前に予報された恒星掩蔽イベントについて、国内のメートルクラスの望遠鏡を含む観測装置を用いた多点同時動画観測を実施し、その天体の本体のサイズ・形状だけでなく周囲の大気・衛星・リングの観測に挑戦するものである。本講演では 2023 年度から開始した TABASCO キャンペーン観測の最新の進捗状況を報告するとともに、本観測で得られた TNO の表面大気に関する極めて重要な成果を速報として紹介する。

[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](#)

P320a 天保年間におけるアンドロメダ座流星群の古記録の発見

渡部潤一, 佐藤幹哉 (国立天文台), 小野孝太郎 (福島県歴史資料館)

アンドロメダ座流星群は 3D/Biela 彗星を母天体とする流星群である。彗星崩壊の後に一時間あたり数万個という大流星雨を降らせたことで有名だが、彗星の崩壊が観測された 1845 年以前から、この流星群の活動は記録されてきた。寛政年間の 1798 年には日本でも観測記録が残されている。こうした記録は崩壊以前の母天体の挙動を調べる重要な情報である。このほど福島県伊達郡飯坂村の商家の日記に、1838 年の観察記録が日本で初めて発見された。そこには前夜に流星が多いことが話題となったため、その夜に眺めたところ、たばこを一服する間にも 7 個もの流星が流れ、その赤い尾が印象的だったと記されていた。1838 年には世界的に一定規模の流星雨が 2 日間ほど継続していることがわかっているが、このように一地点で 2 日間にわたって観察されている点が明確なのは極めて珍しい。本発表では、この古記録から、アンドロメダ座流星群の活動時期を特定し、流星雨を引き起こしたダストトレイルを計算し、母天体の活発な挙動を明らかにしたので報告する。

[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](#)

P321a アルマアーカイブの悉皆解析による、タイタン大気におけるシアノジアセチレン (HC_5N) 分子の徹底探索

飯野孝浩 (東京大), 谷口琴美 (国立天文台), 佐川英夫 (京都産業大), 高橋茂 (東京大)

Atmospheric composition of Titan is characterized by the presence of complex nitriles and haze layers, and relating atmospheric chemistry. Nitriles condensed or accreted on haze particle undergo photochemical reactions to form complex polymers, including prebiotic molecules. Among them, photochemical reactions involving Cyanodiacetylene (HC_5N) are important as reaction pathway that lead to the production of amines and aromatic molecules. While HC_5N is detected already in the ionosphere of Titan by the Cassini spacecraft, in the middle and lower atmosphere, where haze layers are present, only an upper limit abundance was obtained by a previous search. We have carried out a new comprehensive search of HC_5N on Titan's atmosphere using 200 GHz band spectroscopic archival data of the ALMA. To detect a faint spectral line of HC_5N , a spectral stacking method, which integrate different transition data, was employed. Integrating 28 independent observation data, an emission spectrum of HC_5N was obtained with $\sim 4\text{-}\sigma$ significance. Using the radiative transfer analysis, employing the most plausible vertical distribution, the column density of HC_5N was derived to be 0.9% of middle atmospheric HC_3N , the shortest cyanopolyne. Since the employed profile locates at the altitude where haze particle growth occurs, the result may lead to the incorporation of HC_5N onto haze particle and resulted production of complex molecules.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P322a

OSIRIS-Rex サンプルリターンカプセルの再突入に伴う超低周波電波放射の観測

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

2020 年 12 月に実施された「はやぶさ 2」サンプルリターン・カプセル (SR C) の再突入における、10 kHz 前後の超低周波帯における電波放射の存在の発見 (WGN, the Journal of the IMO 51:3,2023) を受けて、2023 年 9 月 24 日 (UTC) に米国ネヴァダ・ユタ両州にかけて実施された、NASA の OSIRIS-REx 小惑星探査宇宙機 SRC の再突入時に、超低周波帯電波 (100Hz - 48kHz) において、方向探知 (方探) 観測を実施した。観測場所は、再突入の最大加熱時と最大減速時を含む時間帯に、SRC が天頂近くを通過する、ネヴァダ州ユーリカ地区とし、観測には NS・EW 方向の直交ループアンテナと、垂直ロッドアンテナを使用した。この観測により、電波発生源の方位測定と、限定的な高度角の測定が可能となる。その結果、SRC の予測位置と良い一致を示す、断続的な近距離性電波シグナルが、上記の時間帯を含む約 50 秒間に、約 20 例観測された。前回の「はやぶさ 2」と今回の観測とにより、宇宙機再突入において超低周波電波が発生していることは、ほぼ証明されたと思われる。電波発生の原因は、高層大気中を、アブレーションを起こしながら高速で移動する、SRC の周辺環境での高電界領域の形成と、放電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](#)

Q01a 超新星残骸の精密X線分光へ向けた小型電子ビームイオントラップ(EBIT)と放射光施設 SPring-8 による多価イオン精密分光実験

天野 雄輝, 平田 玲央, 鈴木 寛大, 山口 弘悦 (ISAS/JAXA), 戸川 基 (Max-Planck-Institut für Kernphysik), 坂上 裕之 (核融合科学研究所), 中村 信行 (電気通信大学), 澤田 真理 (立教大学)

超新星残骸の重元素の運動速度や分布から、親星の爆発機構や進化に関する情報が得られる (e.g., Sato et al. 2021)。XRISM 衛星のマイクロカロリメータや XMM-Newton 衛星などの回折格子を用いた精密 X 線分光では、特性 X 線のドップラーシフトやイオンによる光子の吸収・再放射過程 (共鳴散乱) の検出により、3 次元で運動や分布を制約できる。ここで重要なのが、特性 X 線の波長や振動子強度の正確な実験値である。本講演では、これらの取得を目的に行う、EBIT を用いた SPring-8 での実験について報告する。EBIT は電子ビームでイオンを生成し、その特性 X 線を検出する装置である。2022 年春季年会 (Q36a) で報告した通り、我々は天文学のための EBIT を Max-Planck-Institut für Kernphysik と共同で日本に導入した。今回我々はヘリウム様酸素の K 殻やネオン様鉄の L 殻 ($3s \rightarrow 2p$ や $3d \rightarrow 2p$ 遷移) の共鳴遷移の測定を行う。ネオン様鉄の L 殻遷移線は、 ~ 700 eV において顕著であり、共鳴散乱のみならず鉄の組成比などの測定にも重要な輝線である。その強度比は天体観測と実験室プラズマでは比較的整合するが、理論計算とは乖離するという問題点がある (e.g., Beiersdorfer et al. 2004)。我々は EBIT 内部のイオンに単色化した放射光を入射し、共鳴散乱を再現、散乱された光子を検出する。入射光子のエネルギーに対する散乱光子数の依存性を測定することで、放射光のエネルギー分解能 ($E/\Delta E \sim 10000$) を用いた精密なスペクトルが得られ、振動子強度などの輝線強度や共鳴散乱の断面積を決める上で重要なパラメータを制限できる。本講演では実験手法や結果に加え、我々の EBIT 実験の展望についても議論したい。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Q02a 超新星残骸からの電荷交換反応X線放射のXRISMによる検出可能性調査

佐藤愛、勝田哲 (埼玉大学)、立石大 (東京大学)、近藤麻里恵 (埼玉大学)

超新星残骸のプラズマにおいて、電荷交換 (CX) 反応による X 線が検出される可能性がある。この場合、熱的な成分を適切に解釈することが重要である。実際に、Cygnus Loop の外縁部では、CX 由来の X 線が検出される可能性が示唆され、CX 成分を考慮していない場合に熱的な成分の温度や元素組成比が高くなることが報告された (Katsuda, S., et al. 2011, ApJ, 730, 24)。2023 年 9 月に打ち上げられた XRISM 衛星搭載の Resolve による大マゼラン星雲の超新星残骸 N132D の観測から、CX 由来の可能性のある X 線が発見されたことを受け、以下の調査を行った。

高輝度超新星残骸 Cygnus Loop、Puppis A、N63A の 3 天体について、すざく衛星搭載の XIS による X 線スペクトルから熱的な成分 (非平衡電離衝突プラズマ) と CX を考慮したモデルを構築し、これを基に Resolve による観測シミュレーションを行い、CX 由来の X 線が検出される可能性について調査した。CX 成分については、非平衡電離衝突プラズマのフラックスの 3%、6% を仮定した。この結果、Cygnus Loop については、光子数の不足により観測不可であることが予測された。Puppis A については、2.63 keV の輝線構造 (H-like Si イオンが基底状態に遷移する際に生じる輝線) が、フラックスが 3% の場合、100, 200, 300 ks の観測でそれぞれ 1σ , 2σ , 2σ 、フラックスが 6% の場合、100, 200, 300 ks の観測でそれぞれ 2σ , 3σ , 5σ の有意度で検出されることがわかった。N63A については、同様の輝線構造が、フラックスが 3% の場合、300 ks の観測で 1σ 、フラックスが 6% の場合、100, 200, 300 ks の観測でそれぞれ 2σ , 3σ , 4σ の有意度で検出されることがわかった。以上のように、Resolve による観測で CX 由来の有意な X 線検出が見込まれるため、講演ではこの結果に基づいて議論を行う。

[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](#)

Q03a 超新星残骸に見られる O VII He α の禁制線/共鳴線強度比異常の原因調査

勝田哲 (埼玉大学)、内田裕之 (京都大学)、佐藤愛、相澤愛可 (埼玉大学)

近年、XMM-Newton 衛星搭載の分散分光器 RGS による超新星残骸の X 線精密分光観測が進み、O VII He α の微細構造が明らかになってきた。その結果、禁制線と共鳴線の強度比 (f/r) が熱的プラズマモデルの期待値より大きいことが頻繁にみられることが判ってきた。この f/r 異常の原因として、しばしば電荷交換反応 X 線と共鳴散乱効果が議論されるが、基本的に RGS スペクトルから両者を切り分けることは難しく、その優位性は判然としない。最近、XRISM 衛星搭載の Resolve が大マゼラン星雲の超新星残骸 N132D の観測から 2.41 keV, 2.63 keV に微弱な輝線構造を発見した。それぞれ、高励起状態の He-like, H-like Si イオンが基底状態に遷移する際に生じる輝線に対応しており、電荷交換反応に伴う放射である可能性が高い (Z2 鈴木寛大氏の講演)。

XRISM の観測結果を受け、我々はマゼラン星雲中の 6 つの高輝度超新星残骸につき、RGS のアーカイブデータを再調査した。その結果、比較的古い 4 天体 (N132D, N63A, DEML71, N49) に対し、単一温度の熱放射モデルより高い O VII He α f/r 比を確認した。さらに、N132D については装置較正用のデータを積算することで、RGS による空間分離スペクトル解析を初めて実施した。その結果、北リムで O VII He α f/r 比が特に大きく、加えて 0.38 keV 付近に熱放射モデルでは再現できない輝線構造を発見した。この構造はエネルギー的には、高励起状態の He-like C からの輝線ないし S L 輝線に対応しており、もし C 輝線なら電荷交換反応由来と考えられる。一方で、当該 4 天体の f/r 比は 2 温度の熱放射モデルにより概ねよく再現された。これは低温プラズマ成分が f 輝線の強度を押し上げるためである。一部の SNR に見られる f/r 異常は、電荷交換や共鳴散乱効果を考慮しない通常の高温度モデルで説明でき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](#)

Q04a XRISM 衛星による超新星残骸 3C397 の精密 X 線分光観測

中嶋大 (関東学院大), 大城 勇憲 (東京大学, ISAS/JAXA), 信川 久実子 (近畿大学), 石田 学 (ISAS/JAXA), 江副 祐一郎 (東京都立大学), 金丸 善朗 (ISAS/JAXA), 佐藤 寿紀 (明治大学), 澤田 真理 (立教大学), 鶴 剛 (京都大学), 信川 正順 (奈良教育大学), 前田 良知 (ISAS/JAXA), 森 浩二 (宮崎大学), 山口 弘悦 (ISAS/JAXA)

Ia 型超新星は、宇宙論パラメータ決定のための標準光源であるだけでなく、鉄族元素 (Cr, Mn, Fe, Ni) の主要な供給源としても重要な存在である。3C397 は数千年前に爆発した Ia 型超新星 の残骸であることが分かっている。これまで分光性能に優れた「すざく」衛星の観測により鉄族元素が豊富に存在することが分かっており、親星の質量はチャンドラセカール質量 (M_{Ch}) に近かったと考えられる (Yamaguchi et al. 2015)。また空間分解能の高い XMM-Newton 衛星の観測からは豊富な Ti が局所的に検出され、3C397 の親星の中心密度が従来考えられていた値の 2~3 倍も高く、中性子過剰核種である ^{50}Ti や ^{54}Cr の同位体を観測しているものと考えられている (Ohshiro et al. 2021)。

我々は XRISM の PV 期に 3C397 を長時間観測し、SNR 東側を *Resolve* により精密分光、さらに SNR 全体を *Xtend* によりカバーし、光子統計に優れたスペクトルデータを取得した。過去に報告されている上記の輝線が明確に検出されているだけでなく、Si, S, Ar などの中質量元素についても、ヘリウム状イオンからの共鳴線・異重項間遷移線・禁制線が分離できている。また低組成元素である Cl に相当するエネルギー帯域にも輝線状構造が見られている。さらに、SNR 内の領域によって輝線の中心値および幅が大きく変動していることから、プラズマの運動状態や温度状態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](#)

Q05a X 線分光撮像衛星 XRISM による銀河中心超新星残骸 Sgr A East の観測

内山秀樹 (静岡大学), 前田良知, 鈴木寛大 (ISAS/JAXA), 田中虎次郎 (東京都立大学), 信川正順 (奈良教育大学), 松本浩典, 島耕平, 倉本春希 (大阪大学), 江口智士 (熊本学園大学), 村上弘志 (東北学院大学), 信川久実子, 青木悠馬, 正嶋大和 (近畿大学), 鶴剛, 内田裕之, 成田拓仁 (京都大学), 坪井陽子 (中央大学), 渡辺伸, 金丸善朗 (ISAS/JAXA), 山内茂雄, 吉本愛使 (奈良女子大学), Lia Corrales, Mayura Balakrishnan (University of Michigan), 中嶋大 (関東学院大学), 勝田哲 (埼玉大学), 澤田真理 (立教大学), Richard Kelley (NASA/GSFC), Q. Daniel Wang (University of Massachusetts)

Sgr A East は、超巨大ブラックホール Sgr A* の近傍の特異な環境にある超新星残骸 (SNR) である。そのため、Sgr A* の過去の活動性との相互作用の可能性が議論されてきた。Ono et al. (2019) は「すざく」衛星で Sgr A East の X 線スペクトルから放射性再結合連続成分 (RRC) を検出し、その高温プラズマが再結合優勢状態にある事を発見した。そして、この起源として、X 線光度が約 10^4 年前に $\sim 10^{42} \text{ erg s}^{-1}$ (現在の $\sim 10^9$ 倍) であった Sgr A* による光電離とする説を提唱した。一方で Ono et al. の RRC の検出は、周囲の非常に強い銀河中心 X 線放射 (GCXE) バックグラウンドの慎重な評価に基づく結果であり、不定性がある事は否めない。

2023 年 9 月に打ち上げられた X 線分光撮像衛星 XRISM は、2024 年 2 月末に Sgr A East を含む Sgr A* 周辺を観測した。X 線マイクロカロリメータ *Resolve* は、Sgr A East の Fe XXV He α 輝線の微細構造を初めて分離検出した。その輝線幅は狭く、Sgr A East が膨張速度の遅い middle-aged SNR である事を示唆する。また、共鳴線を越える強度の禁制線を検出した。これは Sgr A East が再結合優勢状態である事を強く支持する。現在、より精密なプラズマ診断へ向け、特に Fe XXVI Ly α 輝線に対する GCXE バックグラウンドの影響の評価を進めている。

[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](#)

Q06a 熱的 X 線を用いた超新星残骸 N132D における衝撃波速度の推定

岡田佳純, 鈴木俊輔 (青学大, ISAS/JAXA), 大城勇憲 (東大, ISAS/JAXA), 鈴木寛大, 山口弘悦 (ISAS/JAXA), Paul P. Plucinsky (CfA)

超新星爆発により放出された噴出物は周囲の星間物質を掃き集めながら広がるため、その相互作用により衝撃波が生成される。一般に爆発後しばらくは衝撃波がそのエネルギーを保ちながら自由膨張するが、掃き集めた星間物質が噴出物の質量を上回ると徐々に減速しながら拡大する。衝撃波速度は超新星残骸の進化過程やその周辺環境を探る上で重要な手がかりであり、一般に可視光や X 線で固有運動の直接観測によって測られている (e.g., Suzuki et al. 2022)。この手法は距離の離れた天体や数 1000 年以上の若くない天体への適用は難しい。しかしこのような天体に対しても、衝撃波加熱されたプラズマ中で進行する粒子のクーロン衝突を介した熱緩和過程とイオンの電離過程を解くことで、プラズマの電子温度と電離度から衝撃波速度の推定が可能となる (日本天文学会 2023 年秋季年会 Q28a)。本研究では、超新星残骸 N132D を対象とし、その X 線の熱的放射の解析から得られる電子温度と電離度をともに衝撃波速度の推定を行なった。N132D は衝撃波加熱された星間物質の放射が顕著に強い大マゼラン雲の超新星残骸であり、本研究に適している。その結果、衝撃波速度は方位角方向に依存し、800-1500 km/s の幅を持つことが分かった。熱的放射から推定された速度を固有運動測定から算出した真の衝撃波速度 (Plucinsky et al., AAS meeting 2024) と比較したところ、南部領域では両者の値が大まかに一致した。その一方で、北部領域では真の衝撃波速度と熱的放射から求めた速度には 2-4 倍もの差異が見られた。これは、衝撃波から星間物質の加熱に散逸されたエネルギーが想定よりも極めて小さい ($15 \pm 10 \%$) ことを示唆し、高効率の粒子加速に分配された ($85 \pm 10 \%$) とすればこの乖離を説明できる。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Q07a X線画像再合成法と複数観測の最尤法を用いた超新星残骸カシオペア座Aのダイナミクス

酒井優輔, 山田真也, 佐藤寿紀, 早川亮大, 小湊菜央 (立教大学)

Chandra X線衛星は、1999年の打ち上げ以来、空間角度分解能 0.5 秒角という X 線観測機で最高の性能を持ち、高エネルギー物理の研究を大きく進展させてきた。しかし、超新星残骸の運動学の理解のための観測データの活用にはまだ改善の余地がある。本発表では三つの課題に取り組む。一つ目は観測画像の劣化への対処である。X 線望遠鏡は光軸外で収差により像が劣化し、この度合いは Point Spread Function (PSF) で表される。PSF を既知として真の天体像を推定する Richardson-Lucy deconvolution (RL 法) がよく用いられるが、超新星残骸のような広がった天体では PSF の場所依存が無視できないため、PSF の位置依存性型 RL 法を導入する。二つ目は、観測画像間での固有運動を最尤法で測る手法の拡張である。通常は 2 観測間で用いられるこの方法を複数観測間に拡張し、運動方向に関する制約を加えることで、高精度化を図る。三つ目は、超新星残骸の運動学的な特徴 (例えば、固有運動、膨張率、光子フラックス) を全領域でデータ駆動的に分類することにより、新たな構造や特異的な運動成分を発見することである。本発表では、これらの手法を超新星残骸カシオペア座 A の 2000 年、2009 年、2019 年のデータに適用し、k-means 法による特徴の分類を行う。その結果、星間物質や星周物質と相互作用する逆行衝撃波や特異的な運動を分類できることを JWST 衛星の観測と比較することで確認された。本発表ではその結果の議論を行う。

[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](#)

Q08a XRISM/Resolve による超新星残骸 Cassiopeia A のドップラー速度測定

鈴木 俊輔 (青学大, ISAS/JAXA), 園田 悠人 (東大, ISAS/JAXA), 佐藤 寿紀 (明治大), Paul P. Plucinsky (CfA), 山口 弘悦 (ISAS/JAXA), on behalf of the XRISM Cas A team

Cassiopeia A は銀河系内に属する若い重力崩壊型の超新星残骸であり、X 線帯域において爆発噴出物の非対称性が既に報告されている (e.g., Laming & Hwang 2003)。この非対称性は、超新星爆発の駆動メカニズムにおいて重要な役割を果たすと考えられており、その 3 次元構造を精密に解析することが爆発機構の詳細な理解に繋がる (e.g., Milisavljevic & Fesen 2015)。そのためこれまでに、Chandra 衛星による観測から固有運動測定や (Vink et al. 2022)、視線速度測定が行われているが、視線速度測定においてはエネルギー決定精度の不足により 500 km/s 以下の差を検出するのは困難であった (DeLaney et al. 2010)。

2023 年 9 月に種子島宇宙センターから打ち上げられた X 線衛星 XRISM は、同年 12 月に Cassiopeia A の南東および北西領域を、それぞれ 182 ks, 167 ks 観測した。XRISM には精密分光撮像検出器 Resolve が搭載されており、これまでよりも精密な X 線分光が可能となった。我々は、輝線の赤方偏移からドップラー速度測定を行い、北西領域では赤方偏移、南東領域では青方偏移していることを確認した。これは先行研究の結果と一致している (Willingale et al. 2002)。さらに、南東領域において Si-, S-Ly α 輝線が Si-, S-He α 輝線より 500 km/s 程度速いドップラー速度で運動していることを発見した。これは、逆行衝撃波が初期に通過した超新星残骸の外側領域に、より電離が進んだ H-like イオンが多く存在しているからと考えている。本講演では、これらの解析結果の詳細を述べ、イオン比の空間分布や固有運動の先行研究と合わせて逆行衝撃波の 3 次元構造を議論する。

[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 XRISM 衛星によるティコの超新星残骸の観測

田中孝明 (甲南大学), 水野恒史 (広島大学), 他 XRISM Tycho's SNR Target Team

ティコの超新星残骸は 1572 年にティコ・ブラーエによってその爆発が観測された残骸である。この天体は、Badenes et al. (2006) による X 線観測や、Rest et al. (2008) および Krause et al. (2008) による超新星の「こだま (light echo)」の観測から、Ia 型超新星の残骸であることが分かっている。銀河系内にある Ia 型超新星残骸の代表例であり、電波から X 線、そしてガンマ線に至る様々な波長帯域で観測されてきた。我々は 2023 年 9 月に打ち上げた X 線分光撮像衛星 XRISM を用いて、2024 年 2 月から 3 月にかけてティコの超新星残骸の観測を行った。視直径 8' 程度のティコの超新星残骸の北部、北西部、南部、中心部の 4 領域を計 470 ks 観測した。X 線マイクロカロリメータ Resolve の視野は 3' $\times$ 3' であるので、超新星残骸の半分以上の領域をカバーすることができた。Resolve による精密 X 線分光スペクトルを解析したところ、Si、S、Ar、Ca、Fe などの爆発噴出物からの K 殻輝線を検出していることが分かった。特に、従来の CCD による観測では検出できていなかった Si や S の He γ など、高励起輝線も有意に検出できていることが分かった。超新星残骸の中心部に近い領域から抽出したスペクトルの輝線については、高エネルギー側にシフトした輝線と低エネルギー側にシフトした輝線に分裂していることを発見した。これは爆発噴出物の運動によるドップラー効果であると解釈することができると考えている。本講演では、こうした Resolve による精密 X 線分光の結果を紹介し、Hayato et al. (2010)、Sato & Hughes (2017)、Millard et al. (2022)、Godinaud et al. (2023) Uchida et al. (2024) などの先行研究の結果と比較しながら、爆発噴出物の運動学や逆行衝撃波による加熱について議論を行う。また、CCD カメラ Xtend で得られている結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](#)

Q10a Tycho's SNR の星周環境モデルの構築 2: 非熱的放射スペクトルの再現性

小橋亮介, Shiu-Hang Lee, 前田啓一 (京都大学), 田中孝明 (甲南大学)

超新星残骸 Tycho は、球対称に近い形状 (e.g., Reynoso et al. 1997) をしており、一様な星間・星周環境を想定することで非熱的放射のスペクトルなどが説明されてきた (e.g., Slane et al. 2014)。しかし、Tanaka et al. (2021) は、X 線衛星 Chandra による観測データを再解析した結果、2009 年頃から衝撃波膨張が著しく減速していることを発見した。この衝撃波膨張の力学的なデータに基づき、Kobashi et al. (2024) では、星風のような密度分布を持つ薄い星周物質とそれを取り巻くように濃い分子雲が存在する「星風-分子雲」と言える環境がこのデータを説明する適切な環境であることを示し、またその密度から、Tycho の親星が非縮退星との連星系から爆発したというシナリオ (Single degenerate scenario) の範囲で説明できることを示した。

本研究では、衝撃波膨張のデータに注目した Kobashi et al. (2024) を拡張し、そこで得た「星風-分子雲」の環境を持つ超新星残骸から期待される非熱的放射に着目し、多波長にわたるスペクトル観測を再現するかどうかの検証を行なった。その結果、概ね観測値を説明するシミュレーション結果を得たものの、その一方で、観測値の傾向に反して右肩上がりのガンマ線スペクトルを示唆するような結果であった。しかし、この点で観測値を説明できなかったことは、現在 1 次元のモデルを使っているために、小さいスケールの構造とそこで起こる多次元的な物理を解像できていないことからくる制限によるものだと考えることができる。さらに、この環境に基づいたモデルから、将来におけるスペクトルの時間進化も予測しており、非熱的放射の情報から Tycho の環境を制限する手法として提案している。本講演では、「星風-分子雲」環境から予測される多波長スペクトルを紹介し、ガンマ線帯での観測値との不一致を中心に議論する。

[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](#)

Q11a ガンマ線超新星残骸 W41 と G22.7- 0.2 に付随する分子雲と宇宙線加速

村瀬建, 松原康平, 佐野栄俊, 高羽浩 (岐阜大学), 鈴木寛大 (ISAS/JAXA), 須藤広志 (仙台高専), 福井康雄 (名古屋大学)

超新星残骸 (SNR) の爆発衝撃波面は、天の川銀河における宇宙線加速現場の最有力候補である。その衝撃波に付随する星間ガスの特定は、陽子-陽子衝突によるガンマ線放射機構の解明や、被加速宇宙線陽子エネルギー W_p の推定に本質的である。これまでに、14 個の SNR について W_p が求められ、 W_p と SNR の年齢 (超新星爆発後の経過時間) に相関があることが報告された (e.g., Sano et al. 2022)。具体的には、6 kyr より若い SNR では正の相関を示し、8 kyr を超える SNR では負の相関を示す。しかしながら、年齢が 1 万年以上のミドルエイジ SNR の研究例が少ないことが課題であった。SNR の進化と宇宙線加速・拡散を理解するうえで、このような SNR に付随する星間ガスの特定と、 W_p の精密な定量が不可欠である。我々は、天の川銀河系内のミドルエイジガンマ線 SNR W41 と G22.7- 0.2 について、野辺山 45m 電波望遠鏡による $^{12}\text{CO}(J=1-0)$ ($\Delta\theta=20''.2$) を用いた付随分子ガスの特定、および、 W_p の推定を行った。W41 と G22.7- 0.2 の年齢はそれぞれ ~ 45 kyr、 ~ 20 kyr である。電波連続波と分子ガスの空間分布比較と分子ガスの速度分布解析の結果、W41 では $V_{\text{LSR}} \sim 65 \text{ km s}^{-1}$ を中心に $\pm 15 \text{ km s}^{-1}$ 、G22.7- 0.2 では $V_{\text{LSR}} \sim 92.5 \text{ km s}^{-1}$ を中心に $\pm 17.5 \text{ km s}^{-1}$ の分子ガスがそれぞれの SNR に付随する証拠を得た。H.E.S.S. で得られたガンマ線の空間分布とよく一致する分子ガスを陽子-陽子反応における標的陽子とすると、SNR における標的陽子密度と W_p は、W41 では、 $\sim 1,200 \text{ cm}^{-3}$ 、 $\sim 3.2 \times 10^{47} \text{ erg}$ であり、G22.7- 0.2 では、 $\sim 790 \text{ cm}^{-3}$ 、 $\sim 7.5 \times 10^{48} \text{ erg}$ と見積もることができた。以上を踏まえ本講演では、SNR における W_p の時間発展について論じる。

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

Q12a 大マゼラン雲の超新星残骸 N49 に付随する分子雲の Non-LTE 解析

佐野栄俊, 柘植紀郎, 村瀬建 (岐阜大), 山根悠望子, 立原研悟, 福井康雄 (名古屋大), 古家健次, 馬場彩 (東京大), 榎谷玲依 (九州産業大), 徳田一起 (NAOJ/九州大), 水野範和, 河村晶子 (NAOJ), 鈴木寛大 (JAXA/ISAS), 井上剛志 (甲南大), 大西利和 (大阪公立大), van Loon, J. (キール大), Alsaberi, R., Filipović, M. (WSU), Rowell, G. (アデレード大), Plucinsky, P. (CfA) ほか ALMA N49 チーム

超新星残骸 (SNR) は、衝撃波層の形成、重元素や宇宙線の供給をともなっており、星間空間に多大な影響を与える。特に、衝撃波による星間雲の加熱や圧縮は、星形成や銀河の構造形成に寄与すると考えられている。今回我々は、大マゼラン雲の SNR N49 について、ALMA を用いた $^{12}\text{CO}(J=2-1, 3-2)$ および $^{13}\text{CO}(J=2-1)$ 輝線の高角度分解能観測 ($\Delta\theta \sim 1.1''\text{--}3.5''$ ($\sim 0.3\text{--}0.8 \text{ pc}$)) を実施し、non-LTE 解析により付随分子雲の運動温度 T_{kin} と水素分子数密度 $n(\text{H}_2)$ を定量したので報告する (Sano et al. 2023, ApJ, 958, 53)。具体的には、Yamane et al. (2018) で検出された付随分子雲 21 個のうち、 ^{13}CO でも検出できた 8 個について LVG 解析を実施した。これらの物理的性質は 2 つに大別できる。衝撃波面付近に位置する分子雲 3 個は、 $T_{\text{kin}} \sim 50 \text{ K}$ 、 $n(\text{H}_2) \sim 500\text{--}700 \text{ cm}^{-3}$ を示すのに対し、SNR シェルから数 pc 離れた残りの分子雲 5 個は、中程度の温度 $T_{\text{kin}} \sim 20 \text{ K}$ 、 $n(\text{H}_2) \sim 800\text{--}1300 \text{ cm}^{-3}$ を持つ。前者は SNR 衝撃波による加熱が本質的であり、衝撃波に晒されながらも、その短い相互作用時間 (N49 の年齢 $\sim 4,800$ 年) のため生き残ったと見られる。これはまた、低温分子雲とプラズマ間の熱伝導により、N49 で再結合 X 線プラズマが効率よく生成されたという解釈とも一致する (Uchida et al. 2015)。後者は、PDR モデルを用いた理論計算との比較から、宇宙線加熱が効いていることがわかった。このときの宇宙線電離率 ζ は、太陽系のそれと比べて 200 倍程度大きい。以上の結果を踏まえ本講演では、SNR が周辺星間雲に与える影響について議論する。

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

Q13a 大マゼラン雲 超新星残骸 N63A に付随する分子雲の観測的研究

浅野裕也, 濱田莉来, 井上陽登, 山中祐里奈, 柘植紀節, 泉奈都子, 村瀬建, 佐野栄俊, 高羽浩 (岐阜大学), 立原研悟, 福井康雄 (名古屋大学)

超新星残骸 (SNR) の衝撃波は、分子雲の加熱や電離を促し、星間物質の化学進化や銀河の構造形成に本質的な役割を果たす。しかし、衝撃波による分子雲加熱の観測例はごく僅かであり、その具体的な加熱・電離過程の解明には至っていない。そこで、我々は大マゼラン雲 (LMC) SNR N63A に着目した。N63A は X 線シェル内部に ~ 6 pc の光学星雲が分布しており、Sano et al. (2019) の ALMA CO 輝線観測によって付随分子雲が検出されている。つまり、分子雲が衝撃波に完全に飲み込まれ、その一部が電離されながらも生き残っている非常に稀な例であり、分子雲の熱化を探る上で理想的な研究対象である。今回我々は、Sano et al. (2019) で使用された $^{12}\text{CO}(J=1-0)$ 輝線 ($\Delta\theta \sim 1.93'' \times 1.71''$) に加え、新たに ALMA ACA で取得した $^{12}\text{CO}(J=3-2)$ 輝線 ($\Delta\theta \sim 4.18'' \times 3.39''$) および $^{13}\text{CO}(J=3-2)$ 輝線 ($\Delta\theta \sim 4.23'' \times 3.57''$) を用いて LVG 解析を行い、生き残った分子雲の運動温度 T_{kin} および水素分子数密度 $n(\text{H}_2)$ を導出したので報告する。結果として、まず 3 輝線の分布は概ね一致していることがわかった。輝線強度比は $^{12}\text{CO}(J=3-2)/^{12}\text{CO}(J=1-0) \sim 0.7-1.9$ 、および $^{13}\text{CO}(J=3-2)/^{12}\text{CO}(J=3-2) \sim 0.04-0.2$ であり、場所による違いがみられた。これは、分子雲の温度・密度分布が分子雲クランプ毎に異なることを示唆する。本研究では 6 個の分子雲クランプについて LVG 解析を実施し、各クランプで温度 $\sim 22-138$ K、密度 $\sim 1400-5800 \text{ cm}^{-3}$ と求めた。今回定量した分子雲は、典型的なその温度 ~ 10 K に対して $\sim 2-14$ 倍程度高い。これは分子雲が衝撃波加熱された証拠である。以上を踏まえ、本講演では N63A に付随する分子雲の物理状態とその要因について議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Q14a ALMA による超新星残骸 HESS J1731-347 北部の CO 輝線観測

山中祐里奈, 濱田莉来, 浅野裕也, 井上陽登, 泉奈都子, 柘植紀節, 村瀬建, 佐野栄俊, 高羽浩 (岐阜大学), 須藤広志 (仙台高専), 福井康雄 (名古屋大学)

超新星残骸 (SNR) と星間雲の相互作用は、磁場乱流の増幅を伴って、被加速宇宙線電子の最大エネルギーや、シンクロトロン X 線放射強度の増加に本質的な影響を与える。目下の課題は、これらの密接な関係を、十分な感度・角度分解能をもつ電波輝線および X 線観測によって明らかにすることにある。HESS J1731-347 は、シンクロトロン X 線で非常に明るい SNR であり、宇宙線電子加速の観点から注目される (e.g., Bamba et al. 2012)。これまで我々は、Mopra による $\text{CO}(J=1-0)$ 輝線データ ($\Delta\theta \sim 45''$, ~ 1 pc) の解析から、視線速度 -90 — 75 km s^{-1} の分子雲 (-90 km s^{-1} 雲) が付随していると結論し、先行研究 (Fukuda et al. 2014) で示されていた距離決定と矛盾ないことを確認した (日本天文学会 2023 年秋季年会 山中ほか)。一方、SNR 北側領域について、X 線分布との sub-pc スケールでの比較研究を行うには、CO 輝線の角度分解能が不足していた。今回、HESS J1731 北部について、新たに $\text{CO}(J=2-1)$ 輝線の高角度分解能観測 $\Delta\theta \sim 6''$ (~ 0.15 pc) を行ったので報告する (#2023.1.00642.S, PI: 山中)。結果として、SNR 北部に付随する直径 3 pc ほどの分子雲を、多数の粒状分子雲クランプに解像できた。クランプの典型的な直径は $\sim 0.3-0.5$ pc、ビリアル質量は $\sim 10-100 M_{\odot}$ である。これらクランプの周辺 sub-pc 以内には、シンクロトロン X 線の強度ピークが存在することも見出した。これは、衝撃波-粒状星間雲相互作用による磁場増幅の観測的証拠であり、 -90 km s^{-1} 雲が HESS J1731 に付随していることを強く裏付ける。以上を踏まえ本講演では、HESS J1731 に付随する粒状分子雲とシンクロトロン X 線ならびに宇宙線電子加速との密接な関係について論じる。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Q15a M33 におけるスーパーバブル候補天体の発見

濱田莉来, 浅野裕也, 井上陽登, 山中祐里奈, 泉奈都子, 柘植紀節, 村瀬建, 佐野栄俊, 高羽浩 (岐阜大学), 出町史夏, 山田麟, 立原研悟, 福井康雄 (名古屋大学), 小西亜侑, 村岡和幸 (大阪公立大学)

超新星残骸 (SNR) やその複合体は、恒星風や衝撃波による膨張シェルの伴って、銀河の構造形成に本質的な影響を与える。特に、膨張シェルによる分子雲の加速・圧縮・加熱過程は、系内およびマゼラン雲に位置する天体で確認されている (e.g., Sano & Fukui 2021)。一方、それ以外の銀河における観測的検証は皆無であり、現象の普遍性を調べることができていない。そこで今回我々は、M33 の SNR としてカタログされている L10-045 について、ALMA $^{12}\text{CO}(J=2-1)$ 輝線データ (分解能 $\sim 0.5''$ または ~ 2 pc) の解析を実施したので報告する (#2018.1.00378.S, PI: H. Sano)。結果として我々は、 $\text{H}\alpha$ で輝く直径 30 pc 程度のシェル構造に沿った分子雲をとらえた。 $\text{H}\alpha$ シェル中心部では、紐状あるいは粒状の分子雲の淵で X 線強度の増加がみられた。これらは衝撃波-星間雲相互作用によるものとみられ、L10-045 への分子雲の付随を裏付ける。最終的に 34 個の付随候補分子雲を特定し、その典型的なサイズは $\sim 2-6$ pc、シェル内の全分子雲質量は $\sim 10^5 M_{\odot}$ に達する。また、これらの分子雲は、全体として $\Delta V \sim 4.5 \text{ km s}^{-1}$ の膨張運動を示すことも明らかにした。従ってこの膨張ガスの全運動量は $\sim 5 \times 10^5 M_{\odot} \text{ km s}^{-1}$ と見積もることができる。この値は、超新星爆発の衝撃波と、その大質量母天体からの恒星風で開放される典型的な運動量より 100 倍大きい。以上の結果を踏まえ本講演では、L10-045 が SNR 複合体 (スーパーバブル) 候補天体であることを論じるとともに、この発見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](#)

Q16a 超新星残骸 RCW 103 に付随する分子雲の観測的研究

井上陽登, 濱田莉来, 浅野裕也, 山中祐里奈, 泉奈都子, 柘植紀節, 村瀬建, 佐野栄俊, 高羽浩 (岐阜大学), 立原研悟, 福井康雄 (名古屋大学)

超新星残骸 (SNR) に付随する分子雲の特定は、銀河宇宙線の起源解明や、被加速宇宙線陽子エネルギーの定量に不可欠である。一方で角度分解能の制約から、付随分子雲の特定は視直径の大きな近傍天体に限られており、さまざまな距離や年齢の SNR についてサンプルを増やすことが目下の課題である。RCW 103 は距離 3.3 kpc に位置する熱的 X 線で明るいシェル型 SNR であり、年齢は 2000–4400 年と推定されている (e.g., Reynoso et al. 2004)。GeV および TeV ガンマ線が検出されていることから、宇宙線陽子の加速現場として有望視されている。シェル近傍の数点だけの CO 輝線観測によって分子雲の付随は示唆されているものの、その総量や空間分布は分かっていた (Paron et al. 2006)。今回我々は、Mopra 22-m 電波望遠鏡を用いた角度分解能 $\sim 36''$ (~ 0.6 pc) の $^{12}\text{CO}(J=1-0)$ アーカイブデータを解析した (Braiding et al. 2018)。結果として、 $V_{\text{LSR}} = -58.7 \text{--} 43.5 \text{ km s}^{-1}$ にて、X 線シェル西半分を取り囲むように分布する分子雲を特定した。X 線シェルの強度が高い南部および北西部では、付随ガスの強度が周囲のガスと比べて高まっていた。これらの分子雲は $\Delta V \sim 7 \text{ km s}^{-1}$ の膨張運動を示しており、爆発前の恒星風によって形成されたとみられる。一方でシェル内部の密度は $\sim 60 \text{ cm}^{-3}$ と、一般的な恒星風バブル内の密度に比べて高いことが分かった。また、CO 輝線の積分強度から、SNR シェル部分についての平均陽子数密度 n_{H} を $\sim 630 \text{ cm}^{-3}$ と求め、被加速宇宙線陽子のエネルギーを $\sim 1.2 \times 10^{48} \text{ erg}$ と見積もった。以上を踏まえ本講演では、RCW 103 における宇宙線加速と熱的 X 線プラズマの起源について論じる。

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

Q17b XRISM/Xtend を用いた超新星残骸 Cassiopeia A における鉄族元素組成比の空間変化の測定

市川雄大, 森浩二 (宮崎大学), Paul Plucinsky (CfA), 佐藤寿紀 (明治大学), XRISM Cas A Target Team

若い超新星残骸の X 線観測は、その親星の爆発メカニズムを探る上で重要な手段の一つである。特に星の内部で合成された元素の空間分布を直接的に撮像できる点が、若い超新星残骸の X 線観測の利点である。その中でも重力崩壊型超新星爆発における Cr, Mn, Fe, Ni といった鉄族元素の生成量の測定は、親星の周辺環境や超新星爆発時におけるニュートリノの寄与を見積る上で重要である。Cassiopeia A は年齢が 350 年ほどと推定されている若い超新星残骸である。X 線帯域で非常に明るく、特にプラズマの温度も高温であるため、鉄族元素からの K 輝線強度も強い。これまで様々な X 線天文衛星で観測され、特に輝線強度の強い Fe については空間分布、速度分布、組成、プラズマ状態などが精密に測定されている。一方で、Cr, Mn, Ni については、Fe に比べて存在量が微小であり、その測定に関する報告はこれまで限られていた。本研究では、X 線分光撮像衛星 XRISM に搭載された軟 X 線撮像装置 Xtend を用いた Cassiopeia A における鉄族元素組成比の空間変化の測定について報告する。Xtend の検出器は X 線 CCD カメラであり、過去の X 線 CCD カメラと比較して硬 X 線側に優れた応答を持つ。そのため、鉄族元素からの K 輝線の測定に最適な観測装置の一つである。また、今回、およそ 470 ksec に及ぶ長時間観測を実施しており、微弱輝線の測定にも有利である。今回の Xtend の観測で、Cassiopeia A において、Cr, Mn, Ni の組成比が空間的に変化していることを初めて明らかにした。本講演では、この Xtend の観測データの解析の現状と、これら鉄族元素の組成比の空間変化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](#)

Q18b 天の川銀河ディスク・ハロー境界領域の GeV-PeV ガンマ線探査と銀河宇宙線の起源・伝搬に対する示唆

井上進 (千葉大 / 東大宇宙線研), 辻直美 (神奈川大), 水野恒史 (広大), 川田和正 (東大宇宙線研), 大平豊 (東大理), 長島雅裕 (文教大)

宇宙線 (CR) は、天の川銀河ディスク内では星間物質に対して様々な影響を及ぼしていると考えられる。近年は、銀河ハローを満たしている銀河周辺物質に対しても、CR による加圧・加熱などの効果が、銀河風の駆動などを通じて、より大きなスケールで銀河の形成・進化に重要な影響を与えている可能性が注目されている。CR のうち、エネルギーが GeV-PeV 帯域のものは、ディスク内の天体が主な起源と考えられ、しばらくディスク内を伝搬した後、ハローの方へ逃げてゆくと思われる。が、その伝搬過程の詳細については、CR を散乱させる磁気乱流の物理的起源や性質など、未解明の点が多い。また、エネルギーが PeV 帯域以上の CR については、銀河ハロー内の銀河風終端衝撃波を起源とする説や、銀河系外起源が一部含まれている観測的示唆もある。

Intermediate velocity cloud (IVC) は、銀河面からの高度 $z \sim 1\text{--}2$ kpc で、銀河ディスクとハローの境界領域に分布していると思われる HI ガスである。一部の IVC では、Fermi-LAT による GeV 帯域ガンマ線の検出が報告されており、ディスクから逃げ出しつつある CR 陽子による π^0 ガンマ線放射と解釈されている (Tibaldo et al. 2015)。我々は、銀河ハロー起源の空間的に広がったガンマ線放射を探査する上で、PeV 帯域ガンマ線が様々な点で有利なことを示した (2023 年春季年会 Q38a)。本講演では、Tibet AS γ による PeV ガンマ線観測で得られた IVC に対する上限を元に、上記観点での CR の起源・伝搬・銀河進化に対する影響などについて、得られる示唆を議論する。さらに、CTA などによる TeV 帯域ガンマ線での IVC の観測可能性とその意義についても触れる。

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

Q19b 大マゼラン雲の超新星残骸 N63A に付随する分子雲における C I/CO 比

泉奈都子 (岐阜大学/国立天文台), 浅野裕也, 柘植紀節, 村瀬建, 佐野栄俊, (岐阜大学), 徳田一起 (九州大学/国立天文台), 古家健次, 山岸光義 (東京大学), 原田ななせ (国立天文台)

炭素原子輝線 (C I) は、環境によっては一酸化炭素輝線 (CO) に匹敵する水素分子 (H_2) のトレーサーになる場合もあると考えられており、系外銀河の分子ガス分布の検証などに用いられている。しかしながら、CO と比較した C I のトレーサーとしての振る舞いは完全には理解されていない。そこで、我々は大マゼラン雲 (LMC) にある超新星残骸 N63A に付随する 3 つの分子雲に対し、ALMA 望遠鏡を用いた C I 観測を行った。3 つのうちの 1 つは、N63A の衝撃波に完全に飲み込まれており、その一部分が電離されながら生き残っている、つまり今まさに衝撃波や紫外線 (UV) によって電離されつつ状態であると考えられている。それに対し、残りの 2 つはまだ衝撃波には飲み込まれておらず、N63A からは宇宙線の影響のみを受けていると考えられる。以上より、N63A は様々な環境下の C I/CO を検証することのできる、理想的な実験場であると言える。既存の $^{12}CO(1-0)$ のデータと合わせて、約 0.7 pc のスケールで C I/CO を検証したところ、全ての分子雲において、C I/CO と CO の柱密度に良い相関が見られた。これは、N63A 全域において UV からの影響が支配的であり、その UV は N63A を取り囲む巨大な (半径 ~ 30 pc) な $H II$ 領域に起因することを示唆している。しかし各領域を詳細に比べると、N63A の衝撃波に飲み込まれていない分子雲は他と比べて、CO 柱密度に対する C I/CO の分散が大きく、約 1-3 倍の値をとる傾向が見られた。この結果は C I/CO が衝撃波、宇宙線などの環境要因により制限をうけている可能性を示唆している。本講演では、以上のことに併せて C I/CO と他の物理量 (温度、密度など) との比較結果も紹介し、C I/CO に影響を与える環境要因について詳しく議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Q20c 3D Motions of SiO Maser Stars around Sagittarius A* with ALMA

Masato Tsuboi (Meisei Univ.), Takeru Mikawa (Meisei Univ.), Takahiro Tsutsumi (NRAO), Makoto Miyoshi (NAOJ), Ryosuke Miyawaki (J. F. Oberlin Univ.) and Atsushi Miyazaki (JSF)

Many SiO maser stars have been found in the vicinity of Sagittarius A* (Sgr A*) since the early days of the observation of Sgr A*. They are late-type stars in the Nuclear Star Cluster (NSC). We present 3D motions of these with Atacama Large Millimeter/sub-millimeter Array (ALMA). We used here two archive data including SiO $v = 1, J = 2 - 1$ maser emission ($\nu_0 = 86.24344$ GHz) (2016.1.00940.S, PI Darling, J. and 2019.1.00292.S, PI Paine, J.), which were obtained from ALMA Science Archive. The observation epochs were 19 Sep. 2017 and 19 Aug. 2021, respectively. We asked East Asia ALMA Regional Center to calibrate these data because we cannot perform it by Mac OS version problem. The field of view is $68''$ or 2.7 pc in the NSC. The beam sizes are $0.091'' \times 0.082''$ and $0.150'' \times 0.091''$, respectively. We made channel maps of the SiO maser emission with the velocity range of $V_{LSR} = -350$ to 350 km s $^{-1}$ and the velocity width of $\Delta V = 10$ km s $^{-1}$. We detected 37 SiO maser stars in the channel maps and derived the positions and LSR velocities of the objects. We derived the proper motions comparing with the positions relative to Sgr A* at the two epochs. The derived proper motions are generally mild as compared with those of the sub-millimeter continuum objects in the NSC (the ASJ 2024 Spring Annual Meeting). This suggests that the SiO maser stars revolve on the orbits with larger radiuses around Sgr A*. We estimated 3D motions from the proper motions and LSR velocities. The 3D motions are consistent with Kepler orbits around Sgr A*, of which mass is assumed to be $4 \times 10 M_{\odot}$.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Q21a 超新星残骸 SN 1006 における局所的な磁場増幅の観測的証拠

田尾萌梨, 片岡淳 (早大理工), 田中孝明 (甲南大理工)

若い超新星残骸の衝撃波は銀河宇宙線の加速源として知られているが、その詳細な加速メカニズムはまだ分かっていない。特に磁場強度と構造は加速粒子の最大エネルギーを決定するのに重要な役割を果たす。今回我々は宇宙線加速源として最も有力な超新星残骸 SN 1006 の北東と南西のシェルにおける磁場増幅の観測的証拠を報告する。SN1006 は電波から TeV ガンマ線までの広いエネルギースペクトルを特徴とし、先行研究によると、低エネルギー側では電波から X 線に至るシンクロトロン放射成分が、高エネルギー側では GeV から TeV まで至る逆コンプトン散乱成分が、それぞれ観測されている。各成分の強度比から、磁場は $25 \mu G$ と推定されていた。しかし、我々が解析した電波スペクトルは 36 GHz 付近でスペクトル指数が $\alpha_1 = 0.52 \pm 0.02$ から $\alpha_2 = 1.34 \pm 0.21$ に変わることを示した。これは強い磁場 $B_{HS} \sim 2.5$ mG における冷却によるブレイクとして自然に説明できる。電波スペクトルにおけるブレイクは先行研究のようにシンクロトロン放射は電波から X 線まで繋がらないことを示唆し、さらに可視光や紫外線のフラックスもこのことを支持する。そこで我々は磁場が 2.5 mG のホットスポットからの放射と磁場が $25 \mu G$ の平均的な放射の 2 成分でフィットしたスペクトル分布を提案する。さらに MeerKAT の高解像度画像を解析し、電波での北東と南西のシェルの厚さが X 線での厚さとたかだか 10 倍程度しか変わらないことを明らかにした。この厚さの比は電波と X 線の放射に寄与する磁場が同じではなく、電波の放射に寄与する磁場は X 線の放射に寄与する磁場よりも 100 倍大きいことを示唆する。本講演では電波スペクトル解析と高解像度の電波と X 線の画像の解析から、超新星残骸 SN 1006 における局所的な磁場増幅について議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Q22a 効率的な粒子加速現場の特定を目指した XMM-Newton および NuSTAR による超新星残骸 RCW 86 北東部の解析

藤本源, 加藤辰明, 馬場彩, 萩野浩一, 立石大, 市橋正裕 (東京大), Vincenzo Sapienza (Palermo Univ.)

超新星残骸は、 $10^{15.5}$ eV 以下の宇宙線の有力な加速源であり、加速電子からのシンクロトロン X 線を解析することは、宇宙線の起源を解明する上で重要である。宇宙線の効率的な加速として有力な二つのモデルが存在している。一つが低密度領域で大きな衝撃波速度が保存されたときに起こる効率的な加速であり、もう一つは高密度領域で発生する磁気乱流によって磁場が増幅されることによる効率的な加速である。どちらの環境がより効率的な粒子加速を引き起こしているのか明らかにするため、我々は超新星残骸 RCW 86 に着目した。

RCW 86 には高密度領域と低密度領域が混在しており、密度の違う環境が及ぼす効率的な加速への影響を検証する上で最適な天体である。特に RCW 86 の北東部には低密度かつ衝撃波速度が速く、熱的な放射がほとんど存在しない純粋なシンクロトロン放射によって輝いている領域が存在している。これまで NuSTAR (3-78 keV) の観測のみでは、加速された粒子の最大エネルギーの指標となるシンクロトロン X 線スペクトルのロールオフエネルギーの特定ができなかった。(加藤他, 2023 年秋季年会 Q38a) そのため、我々は NuSTAR (3-78 keV) による観測に加え、XMM-Newton (0.4-10 keV) を用いた広帯域スペクトルを用いた詳しい解析を行なった。

我々は、XMM-Newton および NuSTAR のデータを用い RCW 86 北東部のうち最も明るい場所の解析を行い 0.4-20 keV にわたっての広帯域のスペクトルを得ることに成功した。さらに、このスペクトルの解析の結果 Photon Index の値を 2.98 ± 0.03 と決定した。本講演では、srcut を取り入れたモデルとの比較、および異なる領域での同様の解析を通して、RCW 86 の北東部における粒子加速の環境について議論をする。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Q23a Suzaku/XIS による超新星残骸 RX J0852.0-4622 の非熱的放射の方位角変化の起源の検討

立石大 (東京大学), 寺田幸功 (埼玉大学, ISAS/JAXA), 勝田哲 (埼玉大学), Shiu-Hang Lee (京都大学), 馬場彩 (東京大学)

超新星残骸 (SNR) における宇宙線加速効率、SNR の衝撃波が銀河磁場や分子雲と相互作用することで変化すると考えられている。RX J0852.0-4622 は Bilateral な X 線分布を持つ、高効率に宇宙線を加速している SNR (Tsuji et al., 2018) である。X 線スペクトルの方位角変化の起源としては、(1) 銀河磁場と衝撃波の成す角度と、(2) 衝撃波と相互作用する分子雲密度の空間変化の 2 説が考えられるが、どちらが支配的かは解明されていない。

そこで、本研究では X 線観測衛星 Suzaku 搭載の CCD カメラ (XIS) による SNR 全縁を観測した 27 個の観測データを解析し、銀河磁場及び分子雲の空間分布と比較から起源の解明に挑戦した。各領域にて衝撃波面から $7'$ 下流の領域までの X 線を抽出したところ、2-8 keV の X 線スペクトルは星間吸収を考慮した冪乗分布モデル ($\Gamma \approx 2.8$) で説明できた。X 線フラックスの空間分布と、恒星の偏光観測 (Heiles, 1999) より推測した銀河磁場の方向を比較したところ、衝撃波と銀河磁場が準平行な領域で極大となる結果が得られた。この結果は、衝撃波の進行方向と銀河磁場が平行な領域で効率的に宇宙線が加速される理論モデル (Bamba et al., 2003b, Caprioli et al., 2014 など) と定性的に一致した。一方で、X 線フラックスと分子雲の密度 (Fukui et al., 2018) の方位角変化を比較したところ、両者の相関係数は SNR の東西でそれぞれ 0.19, 0.95 であった。西側での強い相関は、衝撃波と分子雲の相互作用による加速領域への宇宙線の注入量及び磁気乱流、磁場の増幅モデル (Inoue et al., 2012) で説明可能であった。本講演では、これらの結果から X 線の方位角変化の起源と宇宙線加速環境について議論する。

[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](#)

Q24a 逃走宇宙線が駆動する流体不安定性について

霜田治朗 (宇宙線研究所)

超新星残骸衝撃波は、長年の謎である銀河宇宙線の起源 (加速現場) として考えられており、宇宙線が実際にどれだけ加速されるのか、また加速粒子が到達する最高エネルギーがどのように決まるのか、を定量評価するために研究が続いている。特に、これまで逃走宇宙線が背景プラズマに及ぼす反作用効果については、あまり詳しく調べられてこなかった。逃走宇宙線は、超新星残骸の衝撃波が十分減速することで、それまでに衝撃波の近傍に捕捉されていた宇宙線が拡散によって衝撃波から星間空間へと逃げ出したものを指す。この逃走宇宙線の量は、宇宙線の注入と拡散係数の両方に依存し、標準的なシナリオでは、超新星残骸周辺でエネルギー密度が ~ 10 eV/cc となり星間空間の典型的エネルギー密度 1 eV/cc を大きく上回る。前回の年会では、逃走宇宙線の星間ガスの加熱率が十分に高くなりうることを示した。本講演では、宇宙線の反作用効果が考慮された流体力学方程式の、特にエネルギー方程式の一般的な表式について新しく提案し、音波モードが宇宙線とガスとの相互作用の具合や非摂動状態によっては不安定になることを紹介する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Q25a 微視的磁場増幅過程を分解した超新星衝撃波における宇宙線加速シミュレーション

井上剛志 (甲南大学), Alexandre Marcowith (Montpellier University), Gwenaél Giacinti (Tsung-Dao Lee Institute)

超新星衝撃波は、フェルミ過程を介した宇宙線加速の現場になっており、観測される宇宙線スペクトルから、超新星残骸において最大で 3 PeV 程度まで宇宙線が加速されることが示唆されている。しかしながら、その詳細な物理過程、特に宇宙線の加速にとって重要な環境因子である磁場の進化を決定する宇宙線ストリーミング不安定 (もしくはベル不安定性) については、現実的な環境下での研究はほとんどなされていない。宇宙線ストリーミング不安定による磁場増幅過程と超新星衝撃波のダイナミクスを同時に現実的な環境パラメータの下で解くためには、磁気流体力学方程式と宇宙線の拡散輸送方程式を同時に解く必要があるが、従来の方法論では計算量が非現実的に膨れ上がる。Inoue (2019) では拡散輸送方程式を電信方程式タイプに再定式化することで計算量を大幅に減少させた新しいコードの開発に成功した。本発表では、このコードを用いた超新星残骸における宇宙線加速シミュレーションについて報告する。Inoue et al. (2021) では超新星爆発の直後 10 日程度で、衝撃波が濃密な星周物質中を伝搬する際に、最大で 3PeV に達する加速が可能であることを示した。今回我々は、年齢が数百年程度経った超新星残骸における宇宙線加速シミュレーションを、様々な環境パラメータのもとで行った。その結果、宇宙線ストリーミング不安定による磁場増幅はこれまで理論的に考えられてきたよりも弱く、増幅された磁場強度は 100 マイクロガウス程度にとどまることや、宇宙線の最大エネルギーは環境パラメータにあまりよらず 30TeV 程度になることが明らかになった。さらに、これらの結果と観測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](#)

Q26a Tibet AS γ 実験が検出した拡散ガンマ線の起源に関する考察

加藤勢 (東大宇宙線研), Ding Chen (中国科学院国家天文台), Jing Huang (中国科学院高能研), 川島輝能 (東大宇宙線研), 川田和正 (東大宇宙線研), 水野敦之 (東大宇宙線研), 大西宗博 (東大宇宙線研), さこ隆志 (東大宇宙線研), 佐古崇志 (長野工科短大情エレ), 瀧田正人 (東大宇宙線研), 横江誼衡 (東大宇宙線研)

2021 年、Tibet AS γ 実験が銀河面に沿った Sub-PeV 拡散ガンマ線 ($E > 100 \text{ TeV} = 10^{14} \text{ eV}$) を世界で初めて検出し、銀河系内に PeV エネルギーの原子核宇宙線の加速天体: PeVatron の存在が確実となった。しかし、このガンマ線が本当に銀河系空間をさまよう宇宙線から生じたものか、天体から到来したものかは明らかにする必要がある。もし後者の場合、高エネルギー電子からのガンマ線放射である可能性が否めないからである。一方 2024 年には、 1 km^2 もの面積アレイをもつ LHAASO 実験が、先行研究より 10 倍以上優れた感度で 43 もの Sub-PeV ガンマ線天体を検出した。Tibet AS γ 実験が検出した Sub-PeV 拡散ガンマ線が、これらガンマ線天体の方向から到来しているかは検証しなければならない。

驚くべきことに、Tibet AS γ 実験が検出した 398TeV 以上の拡散ガンマ線 23 イベントはいずれも、LHAASO 実験の検出した Sub-PeV ガンマ線天体から到来していなかった。これは 398TeV 以上の拡散ガンマ線イベントが、たしかに銀河系内をさまよう原子核宇宙線から生じたものであることを支持する。この結果は、銀河系内に宇宙線陽子を 5PeV 以上に加速する PeVatron の存在を強固に支持するのみならず、銀河系内の宇宙線の伝播過程についても重要な情報を与える。本講演では上の研究結果と、その意義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](#)

Q27a 初期の重力崩壊超新星から生じる高エネルギーガンマ線の CTA による観測可能性の検討

西川智隆 (名古屋大学), 井上剛志 (甲南大学)

宇宙線は、宇宙から地球に飛来する高エネルギーの荷電粒子である。knee energy と呼ばれる $10^{15.5} \text{ eV}$ 以下の宇宙線は、超新星残骸 (SNR) において「Fermi 加速」と呼ばれる加速機構により加速されると考えられている。しかし、この機構だけでは、SNR の典型的な量を用いても knee energy まで到達出来ないという問題や、PeV 領域の宇宙線が自由膨張後期からセドフ初期の残骸では観測されなかったという問題が残っている。近年、Inoue et al. (2021) では磁気流体シミュレーションにより、爆発後十数日以内に宇宙線が 3PeV まで加速できる可能性が示された。この PeV までの加速には、近年の II 型超新星の光度曲線の研究から示唆された、質量損失率が $\sim 10^{-3} M_{\odot}/\text{yr}$ の赤色超巨星 (RSG) の星風が作る、高密度の星間物質の領域が必要だと主張されている。一方、これまでの宇宙線由来のガンマ線を観測予測する研究では、ガンマ線は 2 光子対消滅過程により、高感度のガンマ線望遠鏡 Cherenkov Telescope Array (CTA) を用いても、若い SNR から放出されるガンマ線を検出することは非常に困難であると結論づけられた。この結果は従来の RSG の質量欠損率 $\sim 10^{-5} M_{\odot}/\text{yr}$ を仮定したためだと考えられる。本計算では、Inoue et al. (2021) で議論された宇宙線のエネルギースペクトルと、近年観測された CSM の密度分布を用いて、ハドロンガンマ線のフラックスの時間発展を計算する。また、ガンマ線光子と超新星光球や宇宙背景放射から放出される軟光子との相互作用取り入れる。この結果、爆発の数年から数十年前から、2 桁増強される星風を考慮すると、ガンマ線フラックスが先行研究より 3 桁程度も増光されることを発見した。CTA 1.3 時間観測により、5.6 年に 1 度の頻度で銀河系外の事象も検出できる可能性を示した。

[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](#)

Q28a テレスコープアレイ実験による最高エネルギー宇宙線観測と銀河磁場の影響の評価

樋口 諒 (理研) on behalf of Telescope Array Collaboration

地球に到来できる上限と予想される 10 の 19-20 乗電子ボルトのエネルギーの宇宙線の存在が知られている。これを最高エネルギー宇宙線という。現在北半球の観測をテレスコープアレイ実験 (Telescope Array, TA)・南半球の観測をオージェ実験 (Pierre Auger Observatory) が主導している。オージェ実験の近年の相関解析からは、最高エネルギー宇宙線の到来方向と近傍スターバースト銀河との相関が示唆されている (Aab et al. 2018)。

2021 年 5 月 27 日、テレスコープアレイ実験で最も高いエネルギーである 244 EeV の宇宙線が検出された。到来方向は大規模構造に沿わない局所的空洞 (local void) であり、近傍スターバースト銀河の方向とは対応しなかった。起源天体の推定には宇宙線の核種の不定性と宇宙磁場の影響を考慮した議論が重要となる (Telescope Array collaboration 2023)。

最高エネルギー宇宙線観測への宇宙磁場への影響を評価するために、講演者らは銀河磁場モデル (Jansson and Farrar 2012ab) に基づきテレスコープアレイ実験・オージェ実験の擬似観測を行った (Higuchi et al. 2023)。その結果、従来の相関解析では銀河磁場の構造に沿った偏向によって本来のスターバースト銀河の寄与を正しく評価できないこと・テレスコープアレイ実験・オージェ実験の観測視野の違いによって解析結果が一致しない事を示した。

本講演では 2012 年秋季年会の報告から 12 年ぶりにテレスコープアレイ実験の観測成果を報告すると共に、銀河磁場モデルを用いた宇宙磁場の影響の評価・その観測データへの適用について議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Q29a 因果律を保った高エネルギー宇宙線粒子の伝搬の定式化に向けて

川中宣太 (国立天文台/東京都立大学)、高橋芳太 (国立高専機構苫小牧高専)

宇宙線粒子は星間空間ないしは銀河間空間中の乱れた磁場による散乱を受けながら伝搬し、その分布関数の時間発展はしばしば拡散方程式によって記述される。しかし、放射直後の源近傍での宇宙線の伝搬は弾道的 (ballistic) であり、拡散近似を用いると伝搬速度が光速を超えるため拡散方程式による記述は因果律を満たさず不正確となる。特に宇宙線粒子のエネルギーが高くなると平均自由行程が長くなるため、拡散方程式が適用できない領域は無視できないほど大きくなり、源近傍の宇宙線分布を予言する際には宇宙線が高エネルギーであるほどその影響を考慮する必要がある。これまで弾道的伝搬と拡散的伝搬の両方を記述する試みは多数提案されてきたが、粒子数保存を満たさない、マルコフ性が失われているなどの欠点が存在しており、物理的かつ数学的に正しく有用な表式は存在していなかった。

本講演では、Takahashi et al. (2024, ApJL, 967, L10) で導出された、多重散乱を受けて媒質中を伝搬する光子の確率密度関数の解析解を応用し、高エネルギー宇宙線の弾道的伝搬と拡散的伝搬の両方を統一的に記述できる解析的な分布関数の表式を紹介する。さらに、この表式を用いて源から継続して宇宙線が放出されている場合の源周辺の粒子数分布のプロファイルを計算し、拡散近似を用いた場合との違いを明らかにする。本研究の結果は、宇宙線源周囲のガンマ線・X 線輝度分布を予言する際に重要となる。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Q30a Revisiting the Lunar MeV-GeV Gamma-Ray Spectrum: A New Window For Galactic MeV Cosmic Rays

藤原立貴, 井上芳幸, 小高裕和, 寺田健太郎, 福田航平, Ellis R. Owen (大阪大学)

The Moon is the closest celestial object. Detection of lunar gamma-rays by Fermi-LAT has allowed the GeV Galactic cosmic spectrum to be measured. However, gamma-ray investigation of the Moon also has potential for the study of MeV Galactic cosmic rays with future coming MeV missions. Nuclear spallation and excitation interactions on the lunar surface would produce various gamma-ray lines, while inelastic hadronic collisions and bremsstrahlung could cause an intense MeV continuum. These signatures would help us to measure the MeV Galactic cosmic-ray spectrum. Taking into account the composition of the lunar surface, we performed spectral simulations using the latest Geant4 Monte Carlo Code. Our simulations are consistent with the observed Fermi-LAT lunar spectrum. They also show that the MeV cosmic-ray spectrum will be detectable with lunar measurements by the Compton Spectrometer and Imager (COSI). Based on our results, we report the future scientific prospects for lunar! observations with instruments such as COSI.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Q31a すざく衛星による銀河系の超巨大バブル構造

島谷侑希, 松下恭子, 小林翔悟 (東京理科大学), 福島光太郎 (JAXA/ISAS)

銀河系中心から南北に $\pm 80^\circ$ のスケールで広がる巨大なバブル状の構造を eROSITA バブル (以下、バブル構造) と呼ぶ。バブル構造の中でも、輝度が特に高い北側の尾根構造を North Polar Spur(NPS) と呼ぶ。NPS の起源については諸説あり、約 1000 万年前に銀河系の中心で起こった活動銀河核の活動や星形成活動によって放出されたエネルギー放出によって形成された説 (Sofue+00, Predehl+20) や、太陽近傍の超新星爆発によって形成された説 (Dickinson+18, Panopoulou+21) がある。バブル構造のガス分布や太陽系からの距離を解明し、銀河系における星間物質の密度や温度の空間分布についての情報を得ることで、過去の銀河系での、超新星残骸から誘発された星形成や、超大質量ブラックホールからのエネルギー供給の有無、銀河風の起源の解明に繋がる。

2024 年度春季大会では、 $0^\circ < |\text{銀径}| < 90^\circ$ の約 130 観測のデータの解析結果を報告した。先行研究 (Nakashima+18, Sugiyama+23) の解析結果を含めたほぼ全ての領域において 2 成分の熱的放射の足し合わせ、もしくは重力崩壊型超新星爆発の噴出物と近い元素組成の 1 成分の熱的放射を仮定する必要があることがわかった。多くの領域の輝度分布は、銀河ハローに球状に広がる β モデルで再現できることがわかった。ただし、一部の領域の輝度は β モデルから超過していた。本研究では、解析で得られた輝度分布をもとに、 β モデルから超過する成分を再現することができる幾何学的構造を仮定する。これにより、バブル構造の起源や、銀河系における星間物質の密度の空間分布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](#)

Q32a X 線精密分光撮像衛星 XRISM による天の川銀河中心領域分子雲の物理状態の制限

成田拓仁, 鶴剛, 内田裕之 (京都大学), 信川正順 (奈良教育大学), 内山秀樹 (静岡大学), 松本浩典, 島耕平, 倉本春希 (大阪大学), 江口智士 (熊本学園大学), 村上弘志 (東北学院大学), 信川久実子, 青木悠馬, 正嶋大和 (近畿大学), 坪井陽子 (中央大学), 渡辺伸, 金丸善朗 (ISAS/JAXA), 山内茂雄, 吉本愛使 (奈良女子大学), 前田良知, 鈴木寛大 (ISAS/JAXA), 田中虎次郎 (東京都立大学), Lia Corrales, Mayura Balakrishnan (University of Michigan), 中嶋大 (関東学院大学), 勝田哲 (埼玉大学), 澤田真理 (立教大学), Richard Kelley (NASA/GSFC), Q. Daniel Wang (University of Massachusetts)

天の川銀河の中心領域の中性鉄輝線は分子雲の分布と相関していることから、超大質量ブラックホールいて座 A などの X 線フレアの反射、X 線天体による光電離、宇宙線による内殻励起などを起源として分子雲から放射されていると考えられる。そのため、銀河中心領域の中性鉄輝線のプロファイルには分子雲の運動状態や物理状態が反映されており、銀河中心領域付近の複雑な分子雲の素性を探ることができる。しかし、これまでの X 線検出器では、 $\lesssim 1000 \text{ km s}^{-1}$ の運動については測定できなかった。昨年打ち上げられた X 線精密分光撮像衛星 XRISM に搭載されたマイクロカロリメータ Resolve は中性鉄輝線付近の分解能が非常に高く ($5 \text{ eV @ } 6 \text{ keV}$)、銀河中心領域の分子雲の物理状態を精密に測定することが可能になった。我々は超新星残骸 Sgr A East を含む東側領域、巨大分子雲を含む西側領域を初期観測として観測し、東側領域の中性鉄輝線が自然幅で説明できるのに対し、西側領域の中性鉄輝線は大きく広がっていること ($\sim 5 \text{ eV}$) を発見した。本講演ではこの結果を用いて銀河中心領域の分子雲の物理状態について議論するとともに、他の輝線の情報も用いてそれらの成因についても議論する。

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

Q33a X 線天文衛星 XRISM による GCXE 成分の運動測定

青木悠馬, 信川久実子, 正嶋大和 (近畿大), 信川正順 (奈良教育大), 山内茂雄 (奈良女子大), 松本浩典 (大阪大), 内山秀樹 (静岡大), 堀井陽子 (中央大), 前田良知, 渡辺伸, 鈴木寛大, 金丸善朗 (ISAS/JAXA), 村上弘志 (東北学院大), 鶴剛, 内田裕之 (京都大), 江口智士 (熊本学園大), 中嶋大 (関東学院大), 勝田哲 (埼玉大), 澤田真理 (立教大), 吉本愛使 (奈良女子大), 倉本春希, 島耕平 (大阪大学), 成田拓仁 (京都大学), 田中虎次郎 (東京都立大学), Richard Kelley (NASA/GSFC), Q. Daniel Wang (University of Massachusetts), Lia Corrales, Mayura Balakrishnan (University of Michigan)

銀河系には広がった X 線放射 (GDXE) が存在し、GCXE(銀河中心拡散 X 線放射)、GRXE(リッジ)、GBXE(バブル) の 3 成分に分類される。Chandra による GCXE の観測により、その $\sim 40\%$ が点源成分に分解されたが、残りは未分解である (Revnivtsev, Vikhlinin & Sazonov, 2007b, A&A, 473, 857)。GCXE は高階電離した鉄から放射される輝線 (以下、電離鉄輝線と呼ぶ) をもつ。これにより、主成分は高温プラズマであると考えられている。高温プラズマは銀河系の重力束縛を受けずランダムに運動するため、電離鉄輝線は Doppler-broadening を起こすと考えられる。さらに、銀河回転で説明できない Doppler 偏移を生じる可能性がある。2024 年 9 月 7 日打ち上げの X 線天文衛星 XRISM には X 線マイクロカロリメータ Resolve と X 線 CCD カメラ Xtend が搭載されている。Resolve は高いエネルギー分解能を有し、Doppler-broadening および Doppler 偏移を、それぞれ 300 km/s 、 45 km/s の精度で測定する。さらに、Xtend と同時観測を行うことにより、Doppler 偏移の測定精度が向上する。

我々は、XRISM により 2024 年 2 月 29 日–3 月 2 日 (UTC) にかけて GCXE を観測した。本研究では電離鉄輝線に着目し、GCXE 成分の運動状態の調査を行った。本講演では、スペクトル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](#)

Q34a X 線分光撮像衛星 XRISM による天の川銀河の中心領域からの中性鉄輝線の観測

信川久実子 (近畿大), 鶴剛 (京都大), 信川正順 (奈良教育大), 内山秀樹 (静岡大), 前田良知 (ISAS/JAXA), 松本浩典 (大阪大), 江口智士 (熊本学園大), 村上弘志 (東北学院大), 坪井陽子 (中央大), 渡辺伸, 金丸善朗, 鈴木寛大 (ISAS/JAXA), 山内茂雄, 吉本愛使 (奈良女子大), 青木悠馬, 正嶋大和 (近畿大), 田中虎次郎 (東京都立大), Lia Corrales, Mayura Balakrishnan (Univ. of Michigan), 中嶋大 (関東学院大), 勝田哲 (埼玉大), 内田裕之, 成田拓仁 (京都大), 倉本春希, 島耕平 (大阪大), 澤田真理 (立教大), Richard Kelley (NASA/GSFC), Q. Daniel Wang (Univ. of Massachusetts)

天の川銀河の中心領域からの拡散 X 線放射のスペクトルにおける最大の特徴の 1 つは、中性状態の鉄原子からの蛍光 X 線 ($E = 6.4$ keV; 以降、中性鉄輝線) である。中性鉄輝線と分子雲の分布が空間的に相関していることから、外部の X 線天体による光電離、あるいは宇宙線による内殻電離が起源と考えられてきた。輝線強度の時間変動が観測されたことで、超巨大ブラックホールいて座 A* の過去の X 線フレアを分子雲が反射しているという X 線反射星雲シナリオが最も有力となった。一方、輝線強度の時間変動を示さない分子雲も存在し、宇宙線による寄与も無視できない。事実、ガンマ線や電離率の観測は、銀河中心領域における高い宇宙線密度を示す。中性鉄輝線の放射には X 線と宇宙線の両方が寄与していると考えるのが最も妥当だろう。解決すべきは両者の割合である。XRISM による超精密分光は、鉄以外からの元素からの輝線の強度やその等価幅の精密測定、コンプトン散乱や多重電離に伴うスペクトル構造の検出によって、両者を定量的に区別すると期待できる。本講演では、XRISM 衛星が 2024 年 2 月下旬に取得した天の川銀河の中心領域のスペクトルに基づき、中性鉄輝線の起源を議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Q35a 銀河面からの軟 X 線背景放射 (11)

安福千貴, 三石郁之 (名古屋大学), Philip Kaaret (University of Iowa), Daniel M. Larocca (Penn State University), Lorella Angelini (NASA/GSFC)

軟 X 線背景放射成分に対して、銀河面中性物質の吸収による X 線強度の減衰が予想より小さいことから、銀河面特有の放射成分の存在が示唆された (McCammon & Sanders 1997)。その後、すぐく衛星を用いた軟 X 線分光解析により、銀河面 14 領域にてその全てから温度 1 keV 程度の未知の熱的超過成分が検出された (三石他 2013 年秋季年会)。また超過成分に対する点源の寄与を調査するべく、XMM-Newton 衛星の視野内点源を足し合わせて分光解析を行った結果、銀河面 34 領域全てから温度 0.9 keV 程度とほぼ一様な熱的超過成分が確認され、点源、特に晩期型星の寄与が明らかになった (三石他 2019 年秋季年会)。そこで現在我々は、撮像能力は有しないものの、広い視野と軟 X 線に対し高い感度を持つ超小型衛星 HaloSat (Kaaret et al., 2020) の全天観測データに着目し、上述の点源足し合わせ解析と合わせ、超過成分の起源解明を目指している。これまで LHB/SWCX や CXB 成分に加え、吸収のない熱的プラズマや MWH を仮定して分光解析を行い、銀河面/円盤領域にて先行研究と無矛盾な熱的超過成分が検出されている (Ampuku et al., 2024, 安福他 2023 年春季年会)。

今回我々は、分光解析を行う領域を高銀緯まで広げ、超過成分の銀経・銀緯依存性を系統的に調査した。特に明るく広がった天体によるコンタミが見られない光子統計に優れた 39 領域に対し、超過成分を含む分光解析を行った結果、高銀緯から低銀緯にかけての EM 増加傾向を発見した。また 2MASS PSC (Skrutskie et al., 2006) を利用し、各観測領域内の点源の寄与を調べた結果、超過成分と似た銀緯依存性がみられ、点源数と EM に相関関係があることが分かった。本講演では分光解析結果の詳細や超過成分の起源等の議論についてを報告する。

[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](#)

Q36a IXPE 衛星による「かに星雲・パルサー」の長時間観測とその偏光解析

呉屋和保, 水野恒史, S.Zhang, 深沢泰司, 高橋弘充 (広島大), 玉川徹, 北口貴雄 (理研), 郡司修一, 渡邊瑛里, 管佑真, 上小林柊, 森愛斗 (山形大), 内山慶祐, 武田朋志 (東京理科大), 三石郁之, 田原譲 (名古屋大), 岩切涉 (千葉大), 林田清 (大阪大), 榎戸輝揚 (京都大), P.Kaaret, S.Ehlert, S.O'Dell (NASA/MSFC), I.Donnarumma (ASI), P.Soffitta (IAPS), L.Baldini (INFN), 他 IXPE 衛星チーム

IXPE (Imaging X-ray Polarimetry Explorer) 衛星は、軟 X 線で偏光撮像観測をする世界初の衛星であり、2021 年 12 月に打ち上げられた。「かに星雲・パルサー」は X 線偏光観測により粒子の加速領域の磁場の情報を得ることができ、加速機構の解明を助けることが期待されている。2022 年には約 90 ks の観測が行われた。パルサー部はメインパルスを 3 ビンに分け、中央部で初めて X 線での有意な偏光を得たが、他の部分は誤差が大きく偏光の位相依存性の詳細な議論には至らなかった。星雲部では X 線で初めて偏光度マップを取得し、偏光度は非一様性が大きいと分かった。また星雲部の北側ジェットは周りと異なる偏光の兆候が得られたが、観測時間が短いため有意度が低く結論には至らなかった。応答関数の不定性も大きく、スペクトル・偏光同時解析も限定的であった。

観測は 2023 年にも 2 回行われており、合計で約 300 ks のデータを使い、改良した応答関数を用いてかに星雲・パルサーの詳細な解析を行った。パルサー部は、メインピークを 3 ビンから 6 ビンに細かくして偏光解析を行った。星雲部は、トラスを内側から 3 つの領域に分け、外側の 2 つはさらに 4 つの領域に分けてスペクトル・偏光同時解析を行った。北側・南側ジェットも、トラスと同様にスペクトル・偏光同時解析を行った。本講演ではその結果について報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Q37a SED Fitting による SS433 ジェットと相互作用する星間ダストの調査

石川竜巳, 山本宏昭, 國生拓摩, 立原研悟 (名古屋大学)

SS433 は銀河系内のマイクロクエーサーの 1 つで、東西方向に速度 $0.26c$ のジェットを噴き出している (Margon et al. 1983). この天体は電波連続波から中間・遠赤外線、近紫外線、X 線、GeV/TeV ガンマ線と広い波長帯によって、その現象が観測されている。我々のグループでは、SS433 のジェットと星間物質の相互作用を調べるため、SS433 の西側に付随する分子雲 N1-N4, 星間ダストの解析を行ってきた (石川他 2023 年秋季年会, Yamamoto et al. 2022, 2024). 石川他 2023 年秋季年会では、本領域の星間ダストの物理状態を、WISE の中間赤外線 (波長: 12, 22 μm) と AKARI の遠赤外線 (90, 160 μm) の観測データを用いて議論した。データの不足から空間的・定性的な議論にとどまったが、我々は新たに MSX の Band A (8.21 μm), C (12.13 μm), D (14.65 μm) の観測データを追加し、本領域の赤外線放射を、多環芳香族炭化水素 (Polycyclic Aromatic Hydrocarbon; PAH), 2 つの異なる温度を持つ星間ダストの 3 つの成分のモデル関数を用いて Spectral Energy Distribution Fitting (SED Fitting) を行うことで定量的な議論を試みた。

まずは放射強度の誤差を考慮せずに SED fitting を行った。その結果、次のことがわかった。(1) N2, N3, N4 付近の PAH/高温ダスト存在比が周囲に比べて 3-4 倍以上大きいことに対して、PAH/低温ダスト存在比は分子雲によって 5 倍程度の差がある。(2) 分子雲間で低温星間ダストの温度に 5 K の差がある。以上のように、分子雲によって星間ダストの様相が異なっている。これは過去、現在におけるジェットとの相互作用のタイムスケールの違いによる可能性がある。本講演ではこれに加え、各データの誤差を考慮した SED Fitting とその結果の評価、星間ダストの各成分の分布を定量的に議論する。

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

Q38a マイクロクエーサー 1E 1740.7-2942 に駆動された分子ジェットの発見

竹川俊也 (神奈川大学), 岡 朋治 (慶應義塾大学)

1E 1740.7-2942 は銀河系中心方向で最も明るい硬 X 線源の一つであり、エディントン比が 10^{-2} 程度の恒星質量ブラックホールと考えられている。最大規模のジェットを持つマイクロクエーサー SS 433 に比べ光度は 2 桁程度低いものの、センチ波帯で直線状の相対論的ジェットが検出されている。SS 433 や Cygnus X-1 など他のマイクロクエーサー同様に、周囲の星間物質との相互作用が議論されてきたが、明確な証拠は得られていなかった。

そこで、我々は野辺山 45 m 鏡を用いて CS $J=2-1$ や SiO $J=2-1$ 等による分子輝線観測を実施した。その結果、電波コアの位置から両側に電波ジェット全体を覆うように伸びる分子ジェットを発見した。赤方/青方偏移成分の視線速度の典型値はそれぞれ $V_{\text{LSR}} \sim -50/-70 \text{ km s}^{-1}$ であり、ジェット北側が手前向きにあることが示された。分子ジェットの中心軸は電波ジェットの方向に比べ 10° 程傾いて見えるため、電波ジェットは歳差運動をしているか過去に向きを変えた可能性がある。分子ジェットの運動エネルギーは $\sim 10^{48} \text{ erg}$ 、パワーは $\sim 10^{36} \text{ erg/s}$ と評価され、1E 1740.7-2942 の全光度の約 5% のエネルギーが分子ガスに供給されていると推定された。

さらに 45 m 鏡データを ALMA アーカイブデータと組み合わせることで、分子ジェットの詳細な位置-速度構造が明らかとなった。ジェットの根元付近や南側では異常に強い SiO 放射を示しかつ広い速度幅 ($\Delta V > 30 \text{ km s}^{-1}$) を有する小型クランプ ($d \lesssim 0.3 \text{ pc}$) が複数同定された。これらはジェット-星間物質相互作用に起因した強い衝撃波の影響と考えられる。また、興味深いことにこれらクランプからは HCO^+ 輝線が検出されず、この領域に含まれる豊富な電子により HCO^+ 分子が破壊されている可能性が示唆された。本講演では、1E 1740.7-2942 に付随する分子ジェットの発見を報告し、詳細な内部構造や運動、物理・化学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](#)

Q39a Three-dimensional gas density distribution using [Ne V] fine-structure lines in the colliding wind binary WR140

Ryodai Yamaguchi, Hideo Matsuhara (TokyoTech/ISAS,JAXA), Ryan M. Lau (NOIR Lab.), Christopher M. P. Russell (Univ. Delaware), Takashi Onaka (Univ. Tokyo), WR DustERS team

WR140 is a colliding wind binary system composed of a carbon-rich Wolf-Rayet (WC) star and an O-type star companion, notable for its periodic dust formation. The dust structure adopts a three-dimensional shape, with varying velocities across different components, suggesting spatial variations in velocity. Fine-structure lines in the colliding wind region, such as [S IV] and [Ne III], occur in highly excited environments. This study uses the James Webb Space Telescope (JWST) Mid-Infrared Instrument (MIRI) Medium-Resolution Spectrometer under the Early Release Science program DustERS (led by Ryan M. Lau) to investigate the physical conditions of the dust region in WR140. This instrument provides unprecedented sensitivity and spatial resolution, allowing separate studies of the dust shell and the WR star. We report the detection of spatially resolved [Ne V] lines at 14.3 and 24.3 μm and derive the three-dimensional electron density distribution from the [Ne V] line ratio. For the first time, this analysis reveals an increase in electron density in the region where the newly formed dust arc is located. Comparison to hydrodynamic simulations (Russell, C.M.P., et al. in prep.) further indicates that the electron density is highly clumpy, suggesting a high, clumpy density distribution being crucial for dust 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](#)

Q40a Spiral Magnetic Field and Their Role on Accretion Dynamics in the Circumnuclear Disk of Sagittarius A*: Insight from $\lambda = 850 \mu\text{m}$ Polarization Imaging

Kazuki Sato, Hiroko Shinnaga (Kagoshima University), Ray S. Furuya (Tokushima University), Takeru K. Suzuki, Kensuke Kakiuchi (University of Tokyo) and Jürgen Ott (NRAO)

We present a study on the physical properties of the Circumnuclear Disk (CND) surrounding the supermassive black hole (SMBH) Sagittarius A* (Sgr A*) of the Galactic Center, emphasizing the role of magnetic field ($\vec{B}$ field) with 0.47 pc spatial resolution, based on the sensitive $\lambda = 850 \mu\text{m}$ polarization data taken with JCMT SCUBA2/POL2. Compared the $\lambda = 850 \mu\text{m}$ map with CS $J = 2-1$ emission taken with the ALMA, continuum emissions taken at $\lambda = 6 \text{ cm}$ and at $\lambda = 37 \mu\text{m}$ taken with the VLA and SOFIA, we reveal molecular gas clearly extending beyond the CND and a less-defined elliptical cavity at its center, possibly due to the activity of the SMBH, together with the surrounding central stellar cluster. The $\vec{B}$ field within the CND exhibits a coherent spiral pattern. Applying the model described by Wardle and Königl 1990 to the observed $\vec{B}$ field pattern, it favors gas-pressure dominant models without dismissing a gas-and- $\vec{B}$ field comparable model, leading us to estimate the $\vec{B}$ -field strength in the inner-ionized cavity around Sgr A* as $0.24^{+0.05}_{-0.04} \text{ mG}$. Considering the turbulent pressure, estimated plasma β values indicate the effective gas pressure should surpass the magnetic pressure. Assessing the CND of our Milky Way Galaxy in the toroidal-and-vertical stability parameter space, we propose that an “effective” magnetorotational instability may likely be active.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Q41a 銀河系中心部で発見された高速度コンパクト雲 CO-0.26+0.02 の観測的研究

周 楽涵, 有山 諒, 宇田川 賢, 小谷竜也, 岡 朋治 (慶應義塾大学)

銀河系中心分子層 (Central Molecular Zone; CMZ) と呼ばれる数百パーセクにわたる領域には、空間的にコンパクト ($d \leq 5 \text{ pc}$) でありながら非常に広い速度幅 ($\Delta V \geq 50 \text{ km s}^{-1}$) を有する「高速度コンパクト雲 (high-velocity compact cloud; HVCC)」が約 200 個発見されている。その起源として、超新星爆発や原始星アウトフローとの相互作用、分子雲同士の衝突、非活性的なブラックホールによる重力散乱等が提案されているが、その多くについては未解明である。HVCC の一つである CO-0.26+0.02 は、サイズが 2 pc 程度でありながら $\Delta V \simeq 70 \text{ km s}^{-1}$ という非常に大きな速度幅を持ち、位置速度図上で特徴的な「筈」状の形態を呈する事で知られる。先行研究によって、CO-0.26+0.02 の質量は約 $8 \times 10^3 M_{\odot}$ 、運動エネルギーは約 $5 \times 10^{49} \text{ erg}$ 、CO $J=3-2/J=1-0$ スペクトル線強度比は際だって高く ($R_{3-2/1-0} > 1.5$)、西側に直径約 8 pc の球殻状構造が付随することが判明している。

今回私たちは、野辺山 45m 望遠鏡 (NRO 45m) と ASTE を使用して CO-0.26+0.02 の詳細な追観測を実施した。観測したスペクトル線は、SiO $J=2-1$ 、CS $J=2-1$ 、HCO⁺ $J=1-0$ 、HCN $J=1-0$ 、CO $J=4-3$ および $\text{C}^{18}\text{O} \ 3P_1-3P_0$ ([CI]) である。NRO 45m による観測は 2023 年 11 月 1 日から 11 月 5 日の 5 日間、ASTE による観測は 2023 年 8 月 17 日から 8 月 18 日の 2 日間にわたって行われ、CO-0.26+0.02 において観測した [CI] 以外全てのスペクトル線を検出した。検出された全てのスペクトル線において位置速度図上の「筈」形態は明瞭であり、これは点状重力源の高速突入による形成シナリオを強く支持するものである。また、観測されたスペクトル線強度比の分布も、この形成シナリオとは大きく矛盾しないことが分かった。本講演では、これまでの観測結果を総合するとともに、重力散乱シミュレーションの結果も参照しながらこの HVCC CO-0.26+0.02 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](#)

Q42a 銀河系中心部南に存在する X 線ブルームに付随する分子ガスの発見

榎谷玲依 (九州産業大学), 内田裕之, 松永海 (京都大学), 町田真美 (国立天文台)

銀河系中心核は他の活動銀河核と比べ静穏期にあるが、近年、その過去の活動性に関する観測的証拠が複数発見されている (例えばフェルミバブル; Su et al. 2010). 2019 年には、Chandra による X 線観測と MeerKAT による電波連続波観測によって、銀河系中心核方向から南北に広がっている、サイズ 440 pc 程度の X 線ブルーム/電波バブルが発見され、フェルミバブルへのホットガスの供給経路である可能性などが議論されたがその起源は未だに判然としない (Ponti et al. 2019, Heywood et al. 2019). 今回我々は、名古屋大学がチリ・アタカマ高地にて運用する nanten2 望遠鏡を用いた CO ($J=1-0$, $2-1$) 観測を実施し、南側の X 線ブルームに付随する分子雲を発見したため報告する。まず、電波連続波と X 線のデータを詳細に比較したところ、南側の X 線ブルームは、電波バブルに覆われるような分布をしていることがわかった。我々の検出した分子雲は二つ存在し、一つは南側の X 線ブルームの西のエッジに付随し電波連続波バブルとよく一致し、もう一つは X 線ブルームの最南端のエッジに位置する。どちらの分子雲も数 10 km s^{-1} の線幅と約 -150 km s^{-1} の視線速度を持つことから銀河系中心の距離の天体であり、銀河面から 200 pc 以上もオフセットした位置に存在する分子雲であることがわかった。また、周囲に広がった HI ガスが存在すること、 $^{12}\text{CO} (J=1-0)/^{13}\text{CO} (J=1-0)$ 輝線強度比が高いことから、銀河面から噴き上げられた分子雲ではなくその場で形成された可能性が高い。これらの結果は、銀河系中心部からのアウトフローが周囲の薄い星間ガスを圧縮し、分子雲を形成したことを示唆する。講演では、野辺山 45m 鏡を用いた追観測結果と合わせて、X 線ブルーム/電波バブルの形成起源がアウトフローシナリオで説明できるかを議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Q43a MHD シミュレーションデータを用いた銀河系中心部の非回転運動と大局磁場構造の研究 (2): ループ状ガス構造の物理状態

魚住光史, 佐野栄俊 (岐阜大学), 榎谷玲依 (九州産業大学), 小西諒太郎 (非公開), 柿内健佑, 鈴木建 (東京大学), 福井康雄 (名古屋大学), 町田真美 (国立天文台)

銀河系中心部は円盤部に比べ 1 桁以上強い磁場を有する銀河系の特異領域である。星間空間では磁場がガスに凍結するため、このような環境ではガスの運動は乱流磁場によって加速され、多大な影響を受ける。Fukui et al.(2006) によって発見された銀河系中心部の磁気浮上ループ (ループ 1、ループ 2) は、その最たる例である。磁気浮上ループは、ガスの動力学ひいては星形成を誘発するため非常に重要であるが、その形成起源について未だ未解明である (Machida et al. 2009)。本研究では、観測データと MHD 計算データ (Kakiuchi et al. 2024) を一対一対応をさせ比較することで、磁気浮上ループの形成起源解明を目指す。そのためまず、MHD 計算データを観測データ同様の FITS 形式に変換した (魚住他, 2024 年春季年会 Q04a)。今回我々は、シミュレーションデータ中にループ 1、ループ 2 と似たループ構造を発見したため報告する。ループ構造は薄いガスに埋もれていたため、密度 0.15/cc 以下のデータをマスクした上で柱密度分布の時間進化を追うことでループ構造を同定した。このループ構造は、周囲に比べ、低温かつ磁気圧優勢の傾向にあることがわかった。また、重心速度分布から、ループ構造がループ 1、ループ 2 同様、銀経方向にゆるやかな速度勾配を持つことがわかった。時間発展を追うことで、10Myr ほどの短い時間で銀河面付近から持ち上げられたガスがループ構造を形成し、その後、ガスはループの根本に落ちていくことが明らかになった。また、100Myr ほどの長時間変動を追ったところ同様のループ構造が多数存在することがわかった。講演では、ループ構造と磁場との物理的関係性について議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Q44a 広速度幅分子ガス成分 CO 16.134 – 0.553 周辺における恒星の運動解析 (II)

宇田川 賢, 岡 朋治, 横塚弘樹 (慶應義塾大学)

私たちのグループでは、FUGIN データ内において発見された広速度幅分子ガス成分 (BVF) BVF CO 16.134–0.553 について詳細な研究を進めている。これまでの研究により、CO 16.134–0.553 が直径約 15 pc の球殻状の構造 (CO shell) の一部であること、その CO shell 北側の銀河面には直径約 60 pc の「HI ホール」、南側には長さ約 300 pc の「HI フィラメント」があることが判明した。このことから私たちは、バリオン物質を含んだ暗黒物質サブハローが銀河系円盤部に高速で突入したことにより、HI ホール/CO shell/HI フィラメントが順次形成されたとする仮説を提唱した (横塚他、日本天文学会 2020 年秋季年会 Q13a)。さらに、上記天体群を含む領域について恒星の位置天文学データを詳細に解析したところ、正に HI フィラメントの根元において銀緯方向の平均速度が周囲と比較して有意に異なる細長い領域が発見された (宇田川他、日本天文学会 2023 年秋季年会 Q01a)。この構造は、暗黒物質サブハローの通過によって生じた恒星群の速度異常を見ているものと解釈される。

今回私たちは、発見された異常速度構造を含む領域の Gaia 衛星による恒星位置天文学データ (Gaia DR2) を詳細に解析し、同構造の性質を調べた。その結果、同構造は CO 16.134–0.553 と同じ距離 (約 4 kpc) 近傍においてのみ現れ、銀緯方向の平均速度が周囲の距離における値から -6 km s^{-1} ほど低いことが分かった。また、銀緯方向の速度分布を調べたところ、同構造では周囲に比べて負の高速度を持つ恒星の割合が高く、正の高速度を持つ恒星の割合が低いことが分かった。このことは、異常速度構造では恒星の速度分布が全体的に負方向へシフトしていることを示しており、円盤部の当該領域にある恒星が下方向に加速された結果と考えられる。これらの結果は、私たちの提唱する「暗黒物質サブハロー突入シナリオ」を強力に支持するものである。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Q45a マルチガウシアン分解アルゴリズムを用いた HI ガスの相分離 (2)—CNM 相とダスト、CO データとの比較

松月大和, 山本宏昭, 立原研悟 (名古屋大学)

分子雲の形成は中性水素原子 (HI) 雲内で行われる。HI 雲は熱的な不安定性により高温低密度の Warm Neutral Medium (WNM) 相から低温高密度の Cold Neutral Medium (CNM) 相へ、中間不安定相の Lukewarm Neutral Medium (LNM) 相を経て進化し、最も cooling の効く CNM 相で水素分子形成が行われていると考えられている (e.g., Koyama & Inutsuka 2002; Audit & Hennebelle 2010; Saury et al. 2014)。

我々は、分子雲形成途上であると考えられている高銀緯雲 HLCG92-35 周辺領域において、Arecibo 望遠鏡の HI データ (Peek et al. 2018) を使って、マルチガウシアン分解アルゴリズム ROHSA (Marchal et al. 2019) を使用することで、スペクトルから CNM, LNM, WNM 相を分離し、各相の分布、質量分率を導出し、さらに CNM の性質を明らかにしてきた。 (松月他 2023 年秋季年会)

今回、さらに HI データと Planck 衛星のダストデータ、及び、なんてん望遠鏡による一酸化炭素 (CO) 分子輝線データとの比較を行った。ダスト Radiance (ダストの全放射強度) との比較では、Radiance と WNM, LNM, CNM の柱密度を調べたところ、Radiance と CNM の柱密度が最も相関が強いことが分かった。このことは、CNM に多くのダストが付随していることを意味している。また、HI ガスの速度と CO 輝線の速度方向の比較を行ったところ、CNM 相のピーク速度が、CO のピーク速度に最も近いことが分かった。CNM 相は、分子雲との分布も似ていることから、分子雲形成の場であることを支持する結果となっている。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Q46a ALMA による母銀河観測で探る I 型 SLSN SN 2017egm の性質

山中逸輝 (東京大学), 廿日出文洋, 松田有一, 富永望 (国立天文台), 田村陽一 (名古屋大), 新沼浩太郎, 元木業人, (山口大), 諸隈智貴 (千葉工業大学), 江草美実, 諸隈佳菜, 河野孝太郎 (東京大学)

Superluminous Supernova (SLSN) は通常の超新星の $\sim 10-100$ 倍の明るさを持つ超新星である。水素の吸収線が見られない I 型 SLSN の前駆天体やメカニズムは未解明であり、パルサーやマグネターを中心エンジンとするモデルが提唱されている。高空間分解能の分子ガス観測は、分子ガス含有量や速度場など、爆発地点における局所的な ISM の物理的性質を提供する一方で、I 型 SLSN 母銀河の分子ガス観測は限られていた。SN 2017egm (Gaia17biu) は観測時点で 3 番目に近傍 ($z = 0.03$) の I 型 SLSN であり、母銀河 NGC 3191 は活発な星形成を行う大質量渦巻銀河である。本研究では ALMA により NGC 3191 を観測し、CO(1-0) および CO(3-2) 輝線を $0.9 \times 0.3 \text{ kpc}^2$ の分解能で検出した。SLSN 検出地点にて CO は非検出であり、分子ガス柱密度の 3σ 上限値 $N(\text{H}_2) < 6.1 \times 10^{20} \text{ cm}^{-2}$ を得た。この値は Ibc/IIfc 型超新星の爆発地点における分子ガス柱密度の中央値よりも小さく、前駆天体の分子ガス環境がこれらとは異なる可能性が示唆された。また、銀河の速度場解析からは SLSN 検出地点付近で特異なガス運動は見られず、前駆天体の生成がショックによる星形成の活性化に起因したとは考えにくい。

また、この SLSN について Murase et al. (2021) ではパルサー/マグネターモデルによるミリ波での光度曲線と観測光度上限値の比較が行われており、追観測によってさらにモデルを制限できる可能性がある。本研究の観測では、SLSN 検出地点において 112GHz 連続波の兆候 ($S/N = 3.2$) を得た。観測時点である爆発から 1.8 年後における SN 2017egm の 3σ 上限光度は、Crab nebula の性質に基づいたパルサーモデルから予想される同時期の光度よりも小さく、SN 2017egm の中心エンジンがこのモデルとは異な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](#)

Q47a 星間物質凝集過程に見られる超微細空間構造の分子吸収線観測

中島圭佑, 今井裕 (鹿児島大学), Youngjoo Yun (韓国天文研究院)

星間空間において星間物質が凝集し分子雲へと進化する途中、つぶつぶのガス塊が形成されることで分子ガス形成が促進されるというシナリオが提唱されている。実際、天の川銀河系内の観測では、微小電離ガス塊による星間シンチレーションや微小原子ガス塊が随所で見られている。ただし、ここで認識された空間尺度はそれぞれ 0.01 au 以下、10 au 以上であり、両者は大きくかけ離れている。一方、分子については、明るくコンパクトなクエーサー方向の結合素子型干渉計観測データに多数の分子吸収線が検出されているものの、それらが微小な空間構造に起因するものであることは未だ示されていない。微細な分子ガス構造 (TSMS; tiny-scale molecular structure) の存在を示すには、分子吸収線が時間変動することを示す必要があり、さらに構造について議論するにはより高い空間分解能が必要である。例えば 1 kpc 先にある 3 au の TSMS が銀河回転に沿って運動している状況を想定すると、構造を分解するには 3 ミリ秒角の空間分解能が必要で、3 au 分の固有運動を捉えるには約 2 ヶ月に渡った監視観測が必要である。本研究では、KVN (Korean VLBI Network) を用いたミリ秒分解能での TSMS 探査を世界で初めて行い、少なくとも 3 方向で、既に報告されている HCO⁺に加え、HCN の吸収線を初検出した。本研究のように VLBI (超長基線電波干渉計) の桁違いに細いビームを用いることで、拡がった輝線成分からの相殺を受けずに吸収構造を探査できる。本講演では、2023 年 11 月と 2024 年 1 月の KVN 観測の結果について発表し、今後の観測計画について触れる。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Q48a ASTE 望遠鏡による特異分子雲 Tadpole の CO $J=4-3$, [CI] スペクトル線観測

有山 諒, 金子美由起, 中村太一, 岡 朋治 (慶應義塾大学)

銀河系中心分子層には、空間的にコンパクト ($d < 5 \text{ pc}$) かつ極端に広い速度幅 ($\Delta V > 50 \text{ km s}^{-1}$) を有する「高速度コンパクト雲 (HVCC)」が約 200 個発見されている。そのうちの幾つかについては、「見えない」中質量ブラックホールとの遭遇によって加速されたとする説が提唱されている。銀河系中心核 Sgr A* から北西に約 6 pc 離れた位置に発見された “Tadpole” は、際立って高い CO $J=3-2/J=1-0$ 強度比 ($\simeq 1.8$) と位置速度図上の “head-tail” 構造によって特徴づけられる HVCC である。これまでの NRO 45m、ASTE、JCMT を使用した分子スペクトル線観測により、Tadpole の空間速度構造が約 $10^5 M_\odot$ の点状天体周りの Kepler 軌道によって良く再現できることが示されている。その想定位置に明るい天体が検出されないことから、Tadpole を駆動する点状天体もまた中質量ブラックホールである可能性が高いと考えられている (金子他、日本天文学会 2021 年秋季年会 Q33a)。

今回我々は、ASTE 望遠鏡を使用して Tadpole の CO $J=4-3$ および $\text{C}^0 \text{ } ^3\text{P}_1-^3\text{P}_0$ ([CI]) スペクトル線の観測を実施した。観測は、2023 年 8 月 9 日から 9 月 6 日の期間中の 5 日間に渡って行われた。その結果、head では両スペクトル線とも検出された一方で、tail では CO $J=4-3$ 輝線のみが検出された。このことは、head と tail の間で C/CO 組成比が有意に異なっていることを意味する。両スペクトル線ともに head 内に強度ピークを有し、その位置での速度分散は共に $\sigma_V \simeq 7.5 \text{ km s}^{-1}$ であった。一方で、CO $J=4-3$ で見た head の空間サイズは [CI] のそれより約 1.5 倍大きく、head 深部まで中性炭素原子が分布していることが分かった。本講演では、これまでのデータを総合して Tadpole の励起状態と化学組成を明らかにし、同特異分子雲の駆動機構に関する上記仮説の妥当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](#)

Q49a 高速度雲 Smith Cloud のダスト/ガス比

早川貴敬, 福井康雄 (名古屋大学)

Smith Cloud は最大質量の高速度雲 HVC として注目される。距離 12.4kpc にあり (例えば Putman et al. 2003)、 $10^6 M_\odot$ の中性水素と、同程度の量の電離水素で構成される。銀経 35° , 銀緯 -10° 付近から 10° 程度伸びる head-tail 構造や、3 次元的な運動の解析から、この天体は銀河面に向かって落下しており、3000 万年以内に衝突すると推定される (Lockman et al. 2008)。金属量はこの天体の起源を考える上で鍵となる重要な情報であるが、Fox et al. (2016) による吸収線スペクトル測定は尾部の数点に限られ、情報は極めて乏しかった。

我々は、Hayakawa & Fukui (2024, MNRAS 529, 1–31) と同様に地理的加重回帰の手法 (Fotheringham et al. 2002) を用いて、サブミリ波ダスト放射の光学的厚み (Planck Collaboration 2016) と 21 cm 線積分強度 (HI4PI Collaboration 2016) から Smith Cloud のダスト/ガス比 (DGR) の導出を試み、以下の知見を得た。

(1) Smith Cloud の頭部は、ダストが豊富なコア (DGR が太陽系近傍と同程度と考えて矛盾しない)、及び、それを包む低 DGR ハローの二層からなる。

(2) 21cm 線が光学的に薄いとする、前者の質量は $7 \times 10^5 M_\odot$ 、後者の質量は $1 \times 10^6 M_\odot$ である。

(3) ハローは、低銀緯側で銀河面と相互作用する運動学的兆候を示し、その部分で DGR が上昇し、銀河系による汚染を示唆する。

(4) ハロー部の DGR は 0.1–1.0 (太陽近傍を基準とした相対値) の範囲にほぼ平坦に分布し、種々の金属量成分の混入が示唆される。

講演では、以上の結果に基づいて、Smith Cloud の起源に対する制約を論じる。

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

R01a 銀河における分子雲衝突の役割とその影響

陳銘崢, 岡本崇 (北海道大学), 堀江秀 (筑波大学), 羽部朝男 (北海道大学)

大質量星はその最期に超新星爆発によって星間ガスを加熱し、金属を星間空間へ供給することで、銀河の進化に大きな役割を果たす。一方で、大質量星の形成過程についてはまだよく理解されていない。先行研究では、理論と観測の両方から、分子雲衝突が大質量星の形成につながり、活発な星形成活動をもたらすと指摘されている。また、Horie et al.(2023) は銀河シミュレーションのタイムステップごとに分子雲を同定し、分子雲衝突を判定するアルゴリズムを開発した。そして、解析的なポテンシャルを用いて、銀河内での分子雲衝突と星形成について調べた。

本研究では、星やダークマターを N 体粒子を用いて表し、銀河における分子雲衝突による星形成を調査する。この際、Horie et al. (2023) が開発した分子雲衝突判定アルゴリズムを用いて、衝突による星形成を判定する。また、彼らが作成した分子雲衝突による星形成モデルの有無による星形成率の変化を調査し、その結果、分子雲衝突で促進された星形成によって銀河全体の星形成率が約 10 % 増加した。また、形成されたすべての星のうち半数以上が衝突している分子雲の中から生まれたことがわかる。

また、近傍の爆発的星形成銀河の約 50 %、星形成銀河の約 20 % に銀河合体の兆候が観測的に見られる。これらの銀河合体は、爆発的星形成を引き起こすと考えられている。しかし、爆発的星形成の際に分子雲衝突が果たす役割はいまだに明らかになっていない。時間が許せば、2つの同質量の銀河合体のシミュレーションを行い、合体銀河における分子雲衝突による星形成を調査する。

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

R02a 棒渦巻銀河 NGC3627 における銀河の内部構造と分子雲衝突、星形成の関係 2

前田郁弥 (大阪電気通信大学), 江草英実 (東京大学), 太田耕司 (京都大学), 藤本裕輔 (会津大学), 羽部朝男 (北海道大学), 小林将人 (ケルン大学/国立天文台)

円盤銀河内部の星形成活動は構造に依存し、特に bar-end では活発であるが、bar では非活発な傾向にある。これは、銀河の内部構造が分子雲の星形成に影響を与えることを示唆している。近年、分子雲衝突による星形成が銀河の内部構造に依存することが指摘されている。分子雲衝突は大質量星形成メカニズムとして注目されているが、近年の理論研究によって、星形成が衝突速度と分子雲面密度に依存すること、それらのパラメータは内部構造に依存することが指摘されている (e.g., Takahira+18, Fujimoto+20)。すなわち、bar では棒状ポテンシャルによって分子雲の軌道が楕円になるため衝突速度が大きくなり星形成が抑制される一方で、bar-end ではガスが arm と bar から流入し面密度が高いため、bar と同じ衝突速度であっても星形成が誘発されると考えられている。

以上の示唆を観測的に調べるため、我々は近傍棒渦巻銀河 NGC3627 を対象に、分子雲衝突の星形成効率 ϵ_{CCC} (衝突した分子ガスのうち星に転換される質量割合) を調査した。NGC3627 は距離が 11 Mpc と近く、ALMA による観測が容易な銀河の一つであり、星形成率は bar-end と bar で一桁近く差がある。ALMA の CO(2-1) データ (空間分解能: 50 pc) を用いて分子雲を同定し、分子雲のランダム運動を仮定することによって、視線速度から衝突速度を推定した。さらに、星形成率と比較することで ϵ_{CCC} を求めた。ここで、星形成率は、MUSE の H α データを利用した。解析の結果、 ϵ_{CCC} は内部構造に依存し、bar-end ($\sim 2\%$) に比べて bar ($\leq 0.4\%$) で低いことがわかった。どちらの領域でも、衝突速度が大きいほど ϵ_{CCC} は小さくなる傾向があるが、bar-end のほうが bar に比べて分子雲面密度が高いため、同じ衝突速度でも bar-end のほうが ϵ_{CCC} が高いことが確認された。

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

R03a アンテナ銀河における星形成の多様性と分子雲衝突の関係

井上真 (所属なし), 太田耕司 (京都大学), 前田郁弥 (大阪電気通信大学)

近年、分子ガスを高密度に圧縮し大質量星を形成する重要なメカニズムとして、分子雲同士の衝突が注目されている (e.g., Habe&Ohta92, Fukui+21)。天の川銀河や近傍の円盤銀河の観測的研究から、分子雲衝突によって誘発される星形成は分子雲質量と衝突速度の二つのパラメータに依存し、質量が大きく衝突速度が大きいほど大規模な星形成が誘発されること、分子雲の質量に対して衝突速度が大きすぎる場合には逆に星形成が抑制される可能性が示唆された (Enokiya+21; Maeda+21)。しかしながら、これまでに天の川銀河や近傍の円盤銀河で観測されている分子雲の衝突速度のほとんどは約 40 km/s 以下であり、より高速の分子雲衝突と星形成の関係は明らかではない。

このメカニズムをより広いパラメータスペースで理解するためには、100 km/s 程度で衝突する分子雲について調べることが重要である。そこで我々は、活発な星形成領域とあまり活発でない星形成領域が共存し、 ~ 100 km/s で衝突する近傍の衝突銀河であるアンテナ銀河に着目した。ALMA による分子ガス、VLT MUSE による H α 輝線、Spitzer 宇宙望遠鏡による中間赤外線観測データを用いて、星形成率と分子雲の質量、衝突速度の関係を幅広いパラメータスペースで調査した。その結果分子雲が高速 (~ 100 km/s) で衝突する場合、 $\sim 10^{7-8} M_{\odot}$ の大質量の分子雲が多い領域は活発な星形成活動を示す一方で、 $\sim 10^{6-7} M_{\odot}$ とやや軽い分子雲が多い領域はアンテナ銀河の中ではあまり活発ではない星形成活動を示す傾向があることがわかった。さらに衝突一回あたりの星形成効率を推定したところ、質量に関わらず衝突速度が大きいほど星形成効率は小さくなる可能性があることが示唆された。

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

R04a NGC 253 中心部におけるガスダイナミクスの解明 IV: ガスストリームと高密度クランプ分布の比較

小西諒太郎 (非公開), 榎谷玲依 (九産大), 村岡和幸, 大西利和 (大阪公立大), 福井康雄, 立原研悟 (名大)

最近傍の爆発的星形成銀河である NGC 253 の中心部半径 1 kpc 以内の領域はガスが密集する特異領域である。この銀河はエッジオンであり、中心部分子層 (CMZ) の形状が天の川銀河の CMZ とよく似ているため、両者の比較を通し爆発的星形成の起源を明らかにすることは重要である。我々は、位置速度図を活用することで位置・位置・速度空間上で一続きの分子ガスストリーム (コヒーレント構造) を同定し、コヒーレント構造の視線位置を決めることで、二重のガスリングや中央スターバースト領域へのガス降着流を同定した (2023 年春季年会小西ほか等)。本発表では、スターバーストの駆動源を明らかにするために、ALMA の観測データを用い、スターバーストの駆動源である原始大質量星団の分布とコヒーレント構造との比較を実施した。高密度ガスレーザーである HCN(4-3) の分布は原始大質量星団の空間分布とよく一致しているため (e.g., Leroy+18, Levy+21)、その位置速度分布をコヒーレント構造と比較した。HCN(4-3) はクランプ状の空間分布を持ち、銀河中心付近ほど高密度な傾向を示し、CO(3-2)/CO(1-0) が特に高い中央スターバースト領域 (2024 年春季年会小西ほか) に集中することが分かった。速度の比較から、HCN クランプはコヒーレント構造とは異なる分布をしており、(1) 複数のコヒーレント構造の接続点に分布するもの、(2) 中央スターバースト領域に分布するものに分類された。以上の比較より、HCN クランプは速度の異なるコヒーレント構造の合流点での衝突や、中央スターバースト領域へ流入する降着流ガスの追突による分子雲衝突によって形成されることが示唆された。これらの結果から、本研究ではこの機構が銀河中心部の爆発的星形成を誘発することを提案する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

R05a 赤外線天文衛星「あかり」で探る星形成銀河における炭化水素ダストの变成

近藤翼、近藤晶乃 (名古屋大学)、村田勝寛 (京都大学)、國生拓摩 (名古屋大学)、大藪進喜 (徳島大学)、鈴木仁研 (ISAS/JAXA)、片山理紗子、金田英宏 (名古屋大学)

星形成銀河には、多環芳香族炭化水素 (Polycyclic aromatic hydrocarbons) や脂肪族炭化水素 (Aliphatic hydrocarbons) などから構成される炭化水素ダストが存在する。これらの炭化水素ダストは星間放射場や衝撃波によって变成作用を受けていると考えられているが、その詳細なメカニズムは完全には理解されていない。そこで、星形成活動度が異なる 138 個の星形成銀河を対象に、炭化水素ダストと銀河環境を表すパラメータとの関係から、炭化水素ダストの詳細な变成プロセスを系統的に調査した。本研究では、赤外線天文衛星「あかり」による波長 2.5–5.0 μm の近赤外線スペクトルを用いて、3.3 μm の芳香族と 3.4–3.6 μm の脂肪族の炭化水素ダスト光度 (L_{aro} , L_{ali}) を導出した。また、「あかり」等の全天サーベイ観測データを用いた銀河の赤外線 spectral energy distribution をモデリングし、銀河環境を表す赤外線光度 (L_{IR}) や星間放射場強度 (G_0) を導出した。

炭化水素ダスト光度と L_{IR} を比較したところ、 L_{IR} の高い銀河ほど、 $L_{\text{aro}}/L_{\text{IR}}$, $L_{\text{ali}}/L_{\text{IR}}$ 、さらには $L_{\text{ali}}/L_{\text{aro}}$ が有意に減少する傾向を示した。これより、 L_{IR} の高い銀河では炭化水素ダストの相対存在量が減少しているだけでなく、選択的に脂肪族炭化水素が減少し、炭化水素ダストの構造が変化している可能性があることが分かった。 $L_{\text{ali}}/L_{\text{aro}}$ が減少している原因を探るために、銀河の G_0 や銀河合体の有無との関係をみたところ、他の銀河よりも $L_{\text{ali}}/L_{\text{aro}}$ が小さい銀河は、高い G_0 や銀河合体を示す銀河であることが分かった。これらの結果は、銀河の激しい星形成活動による光解離や、銀河合体によって生じた衝撃波によって、炭化水素ダストが構造変化を伴う变成作用を受けていることを示唆している。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

R06a 中間赤外線を用いた近傍銀河における分子ガス質量の推定

浜田佳澄, 但俣和夫 (北海道大学)

銀河の環境効果について理解するためには、さまざまな環境下にある多数の銀河について星形成率や分子ガスの分布を調査する必要があるが、分子ガスは低温であり主にミリ波のスペクトル線を観測するため撮像データの数は限られる。近年 ALMA による観測例も増えている一方で、より多くの銀河についてガスの分布と量を知るために赤外線のデータを代用する研究もおこなわれている。本研究では、国立天文台野辺山宇宙電波観測所 45 m 電波望遠鏡で観測された銀河のうち CO 輝線が強く検出されている約 50 天体について、CO($J = 1 - 0$) 光度と WISE 衛星によって取得された 12 μm の中間赤外線光度を比較した。データは空間分解能 17" に揃え、12" グリッドで画素同士を比較した。 ^{12}CO 輝線光度と 12 μm 光度の間には先行研究で報告されている $L_{12\text{CO}} \propto L_{12\mu\text{m}}^N$ の冪乗の相関が見られたが、詳細に見ると、銀河円盤の天球面に対する角度がゆるいフェイスオン銀河では $N = 0.78$ になるのに対し、傾きがきついエッジオン銀河では $N = 0.90$ と相関の傾きが異なることが明らかになった。銀河円盤の見かけの傾きを考慮しないことによる 12 μm の光度から推定した分子ガスの質量との差は最大で 3% 程度である。また、 ^{13}CO 光度と比較してみると、相関の傾き N が ^{12}CO と誤差の範囲で一致しており、さらに、 ^{13}CO 輝線が検出されている画素で ^{12}CO 光度と 12 μm 光度の相関を調べると N は 1 に近付くことが明らかになった。12 μm 光度が星生成率を反映した量であると考え、 ^{13}CO 輝線が検出されている場所の ^{12}CO 輝線は星生成を起こすような分子雲から放射されているのに対し、 ^{13}CO 輝線を伴わない ^{12}CO 輝線は分子雲を取り巻くような希薄な状態のガスから放射されていることと矛盾しない。これらの区別を行わない場合、星生成活動の違いによる分子ガス量の推定値との差は最大で 6% 程度である。

[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](#)

R07a 近傍銀河における分子ガス- 原子ガスの割合を決定する要因について

浜響子, 俣徠和夫 (北海道大学)

星は低温のガスから生まれ、その主要な材料は原子ガスから生成される分子ガスである。分子ガス生成の促進と抑制を決定する原子ガスと分子ガスの間の状態変化を起こす過程を明らかにすることは、銀河における星生成の理解を深める上で重要である。そこで本研究では個々の銀河のガスの状態を表す物理量として、中性ガス全体に対する分子ガス質量の割合を表す分子ガス率 f_{mol} (=分子ガスの質量/原子ガスと分子ガスの質量和) に着目した。先行研究によると、銀河内での原子ガスと分子ガスの間の変化には圧力の寄与が指摘されている。また、紫外線を遮蔽することによる分子ガスから原子ガスへの解離の抑制や、分子ガスを生成する上で触媒の役割を担う点から、ダストもガスの変化に寄与することが期待される。

本研究ではおよそ 20 個の近傍銀河を対象に 21 cm 線、 ^{12}CO ($J = 1-0$) 輝線と恒星質量、4 つの赤外線バンド (70 μm , 100 μm , 160 μm , 250 μm) の観測データを使用し、各銀河の光学半径 (R_{25}) 内においてダストと圧力の f_{mol} に対する寄与を調べた。その結果、 f_{mol} とダストのピアソンの積率相関係数は 0.32、圧力との相関係数は 0.42 であった。この関係をより詳しく見るために、分子ガスと原子ガスの動径分布からその面密度の大きさが等しい半径を原子-分子転換半径 (R_t) とし、これを光学半径で規格化した R_t/R_{25} でサンプル銀河を 2 つに分類した。すると f_{mol} に対する圧力とダストの依存の仕方が両サンプルで異なり、サンプル数が少ないもののどちらのサンプルも圧力の方がダストよりも相関が強く (R_t/R_{25} が大きい銀河の相関係数は圧力、ダストの順に 0.75, 0.64)、 R_t/R_{25} が小さい銀河ではダストとの相関がより弱くなった。 R_t/R_{25} の小さい銀河は f_{mol} が小さく、いずれも銀河群に属するような銀河であることから、 f_{mol} が銀河間相互作用の影響を受け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](#)

R08a 羊毛状渦巻銀河 M33 の渦状腕周辺におけるダイナミクスと分子雲進化

小西亜佑, 村岡和幸, 大西利和 (大阪公立大学), 徳田一起 (九州大学/国立天文台), 出町史夏, 山田麟, 立原研悟, 福井康雄 (名古屋大学)

渦巻銀河における主要な星形成の場である渦状腕の形成・維持メカニズムの理解は、星の形成過程および銀河進化を紐解く上で重要である。そのメカニズムは 50 年以上に渡り議論されてきたが、未だ確たる答えは得られていない。渦状腕形成の有力説として、密度波理論 (e.g., Lin & Shu 1964) と動的渦状腕理論 (e.g., Baba et al. 2013) があげられる。腕は星の粗密を反映した定常的な密度波であると解釈する伝統的描像の密度波理論に対して、腕は形成と破壊を繰り返す非定常な構造であるとする動的渦状腕理論は、互いに異なる観測的特徴を示すことが予測される。我々はこれまで、ALMA の Atacama Compact Array により得られた渦巻銀河 M33 の CO ($J=2-1$) データの解析を進めてきた。H α 光度を用いて分子雲の星形成活動 (進化) を探る中で、近赤外線で定義した恒星系渦状腕に近づくにつれ、より進化が進んだ分子雲が多く分布することを見出した (Konishi et al. 2024, submitted)。この傾向は腕の上流と下流の両側で見られ、密度波理論とは合致しない。さらに渦状腕周辺における星間ガスの大局的な空間・速度構造を探るべく、腕構造が明瞭な南側の渦状腕に着目して H I データの解析を行った。その結果、銀河の回転運動を差し引いた H I ガスの速度構造から、腕の上流側では青方偏移したガス成分が、下流側では赤方偏移したガス成分が互いに相補的に分布することが分かった。これは、腕に対して発散するガス流を反映している可能性がある。本講演では、M33 円盤の幾何学的構造をもとに、渦状腕付近におけるこうした H I ガスの速度構造が密度波理論や動的渦状腕理論とどのように整合、もしくは矛盾するかを詳しく議論する。

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

R09a 高分散分光観測による銀河系巨大ブラックホール近傍の超巨星の起源の研究

西山正吾, 佐藤和香奈 (宮城教育大), 斉田浩見 (大同大), 孝森洋介, 池田浩之 (和歌山高専), 高橋真聡 (愛知教育大), 市川幸平 (早稲田大), 長田哲也 (京都大)

銀河系の中心には巨大ブラックホール Sgr A* があり、その近傍 (< 1 pc) を周回する星が多数見つかった。しかしこれらの星、特に早期型の若い星 (OB 型星、WR 星など) の起源にはまだ謎が多い。Sgr A* の強力な潮汐力のため、通常の星形成は難しいからである。早期型星の固有運動の測定により、一部の星は、同一平面上を回転運動していることがわかった。これらの星の起源は、巨大ブラックホール周囲にできた重いガス円盤での星形成が起源だと考えられている。これらの星はまとめて時計回り円盤の星 (clock-wise disk stars) と呼ばれている。

一方、時計回り円盤に属さない星の起源はまだわかっていない。そこで我々は、時計回り円盤とは運動の異なる星の一つである IRS 33N の起源を知りたいと考え、研究を始めた。すばる望遠鏡と IRCS により、IRS 33N の近赤外線高分散スペクトルを得た。スペクトル中に見られる明確な He I の吸収線を用いて、星のパラメータを推定した。その結果、IRS 33N は温度約 24,000 K、表面重力 $\log g = 2.9$ 、 $\log L = 5.4$ の B 型超巨星であることが確認できた。この結果は、過去の中分散分光観測の結果 (Paumard et al. 2006) と一致した。また星の進化モデルとの比較により、年齢約 6 Myr、初期質量約 $28 M_{\odot}$ と求まった。この年齢は、ガス円盤起源の星の年齢とほぼ一致する。このことから IRS 33N は、もともとなる材料は時計回り円盤の星と同じだが、ブラックホール近傍の円盤ではなく、より広がったフィラメント構造の中で生まれた星ではないか、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](#)

R10a Sensitivity Study of Decaying Dark Matter Search with Segue 1 Dwarf Galaxy

Yu Zhou (KEK), Volodymyr Takhistov (KEK), Kazuhisa Mitsuda (NAOJ)

Dark matter (DM) decay is generically predicted in many particle DM scenarios. X-ray band is favorable for warm DM search, including sterile neutrino and axion-like-particle (ALP) DM. Especially, spurious 3.5 keV line excess observed in a stacked or individual sample of galaxy clusters and its DM or atomic origin have been disputed with large uncertainty. Therefore, obtaining independent measurement with less photon background for various celestial object is valuable. Dwarf galaxy Segue 1, given its known extremely high DM-to-light ratio, constitutes an ideal target for detecting DM or obtaining an upper limit. We perform sensitivity studies of decaying DM search with Segue 1 using XRISM and hypothetical detector with 2 eV energy resolution. For 100 ks observation with gate valve closed, XRISM can achieve sensitivity in DM couplings improving by over an order of magnitude compared to the best previous limits from Segue 1 observations by Swift. We also demonstrate that the DM or atomic origin of the spurious 3.5 keV line can be well distinguished if observed by a detector with better than 4 eV energy resolution.

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

R11b MOA-II 9-year サンプルを用いた銀河系中心方向のマイクロレンズイベントレイトマップの作成

布田 寛介 (大阪大学), MOA コラボレーション

天球面上で二つの天体が重なった時、背景の天体（ソース天体）から発せられた光は手前の天体（レンズ天体）の重力によって曲げられ、一時的な増光現象が観測される。これをマイクロレンズ現象と呼ぶ。増光のタイムスケールはレンズ天体の質量の平方根に比例し、典型的にはレンズが恒星の場合〜30 日、ブラックホールの場合は 300 日以上となる。

ある領域で観測されるマイクロレンズ現象の数とそのタイムスケール分布は、その視線方向に沿った天体の数密度や質量、速度分布に依存する。特に、銀河系中心方向のマイクロレンズ現象発生頻度と Optical Depth の正確な測定は、天の川銀河モデルの良いテストベンチとなり得る。ここで Optical Depth とは、ある瞬間にソース天体がマイクロレンズ現象によって増光している確率を表しており、観測されたマイクロレンズ現象のタイムスケール分布から推定できる量である。

我々は、2006 年〜2014 年にかけて行われた MOA-II 望遠鏡の銀河系中心方向のマイクロレンズ探査によって発見された 3535 個のマイクロレンズ現象を解析し、イベントレイトマップおよび Optical Depth マップを作成した。発表では、データの詳細および解析手法について紹介する。また、2024 年に本格的に観測を開始した世界初の近赤外広視野高頻度マイクロレンズ探査を行う、PRIME プロジェクトによって開かれる、本研究の新たな展望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](#)R12b Atacama Compact Array による渦巻銀河 M33 の ^{12}CO , ^{13}CO $J = 2 - 1$ 広域観測 (5) : 高密度ガスの探査

村岡和幸, 小西亜侑, 大西利和 (大阪公立大), 徳田一起 (九州大/国立天文台), 出町夏夏, 山田麟, 立原研悟, 福井康雄 (名古屋大), 久野成夫 (筑波大), 佐野栄俊 (岐阜大), 河村晶子 (国立天文台)

分子雲の内部で発現する大質量星形成の詳細な過程を調べる上で、星形成に直結した高密度分子ガスの量やその分布はきわめて重要な情報となる。我々は、ALMA 望遠鏡の Atacama Compact Array を用いた最近傍の渦巻銀河 M33 の広域観測データ (空間分解能 ~ 30 pc) を活用し、特に高密度な分子ガス成分 ($> 10^4 \text{ cm}^{-3}$) をトレースする $\text{C}^{18}\text{O}(J = 2 - 1)$ 輝線と 1.3 mm 帯連続波について、その強度や分子雲との対応関係を調べた。

まず M33 観測領域内で $^{12}\text{CO}(J = 2 - 1)$ 輝線が 10σ 以上で検出されている pixel について、 ^{12}CO 、 ^{13}CO 、 $\text{C}^{18}\text{O}(J = 2 - 1)$ 各輝線の視線速度のずれを補正したスタッキング解析を行った。この条件の下で、ピーク温度が 3 mK の $\text{C}^{18}\text{O}(J = 2 - 1)$ 輝線を 6σ で検出した。 $\text{C}^{18}\text{O}/^{13}\text{CO}(J = 2 - 1)$ 輝線強度比は 0.064 で、これはオリオン座分子雲と同程度であるが、M51 をはじめとする多くの系外銀河での典型値 (> 0.1) より低い値となった。

また、総帯域幅 4 GHz で作成した 1.3 mm 帯連続波マップ (r.m.s. $\sim 0.82 \text{ mJy beam}^{-1}$) からは、ピークフラックスが $3.5 \text{ mJy beam}^{-1}$ を超えるソースを 49 個を検出した。 $4.0 \text{ mJy beam}^{-1}$ を超える強いソースに限ると 16 個であった。これら 16 個の強い連続波ソースのうち、9 個は M33 でカタログされた分子雲と空間的に一致しており、分子雲中のきわめて高密度なコアに対応していると考えられる。一方で、ほか 7 個のソースには $^{12}\text{CO}(J = 2 - 1)$ 輝線が伴っておらず、これらは M33 の背景に写りこんだ銀河である可能性が高い。なお、ピークフラックスが $4.0 \text{ mJy beam}^{-1}$ 未満の弱い連続波ソース 33 個のうち、M33 の分子雲と位置対応を示すものはわずか 3 個であった。

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

R13b 野辺山 45m 望遠鏡によるエッジオン銀河 NGC4565 の銀河面外分子ガス観測

松坂怜, 江草美実, 河野孝太郎, 長田真季 (東京大学), 前田郁弥 (大阪電気通信大学), 藤本裕輔 (会津大学), 半田利弘 (鹿児島大学)

銀河進化、特に長期的な星形成活動を維持するために必要なガスの供給については、銀河内外での物質交換過程が重要である。古典的な研究から最新の研究に至るまで、ハローや銀河間からガスが流入する一方で、銀河内の星形成や超新星爆発のフィードバック、活動銀河核のフィードバックによってガスが流出することが示唆されている。しかし、活動銀河核周辺を除くと、これらの研究は天の川銀河と近傍銀河どちらにおいても、原子ガスに焦点を当てた手法に限定されていることが多い (e.g. Oosterloo+2007, Nicolas+2022)。特に、ガス交換が行われる銀河面周囲の境界領域 (銀河面からの垂直方向の距離: $z = 0.5 \sim 1$ kpc) での分子輝線観測に関しては、観測例が僅かである (Handa+1992)。つまり、分子ガスについては、薄い円盤 (厚さ: $0.1 \sim 0.3$ kpc) を超えて z 方向にどの程度存在しているのか、特定の場所にのみ存在するのか、または存在しないのかは定かではない。

そこで我々は z 方向の分子ガスの分布を調べるため、ALMA 望遠鏡で観測可能な、近傍のエッジオン銀河 NGC 4565 (11.9 Mpc) を対象に、野辺山 45m 望遠鏡を用いて ^{12}CO ($J=1-0$) の観測を行った (空間分解能 $\simeq 900$ pc)。NGC 4565 は HST の観測により銀河面から垂直に約 1 kpc 伸びた、ダストレーンが検出されている。このダストレーンを対象に観測を行った結果、ダストレーンの先端 ($z \simeq 1$ kpc) で分子ガスの検出に成功した。また、典型的な X_{CO} を用いた推定では、ダストレーンの先端領域、約 0.6 kpc^2 内に $7 \times 10^6 M_{\odot}$ の分子ガスが存在する可能性があることが分かった。さらに、ALMA で観測された ^{12}CO ($J=2-1$) と比較すると、 $\text{CO}(J=2-1)/\text{CO}(J=1-0)$ 輝線比が低く、この先端領域は非常に低密度である可能性がある。本講演では、これらの詳細を紹介する。

[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](#)

R14c Trigonometric parallax and proper motion of Sagittarius A* measured by VERA using the new broad-band back-end system OCTAVE-DAS

Tomoaki Oyama, Takumi Nagayama, Aya Yamauchi, Daisuke Sakai, Mareki Honma, Yu Asakura, Tomoya Hirota, Takaaki Jike, Yusuke kono, Syunsaku Suzuki, Hideyuki Kobayashi, Noriyuki Kawaguchi (NAOJ), Hiroshi Imai (Kagoshima Univ.), Kazuhiro Hada (Nagoya City Univ.), Yoshiaki Hagiwara (Toyo Univ.)

We successfully measured the trigonometric parallax of Sagittarius A* (Sgr A*) to be 117 ± 17 micro-arcseconds (μas) using the VLBI Exploration of Radio Astrometry (VERA) with the newly developed broad-band signal-processing system named “OCTAVE-DAS.” The measured parallax corresponds to a Galactocentric distance at the Sun of $R_0 = 8.5^{+1.5}_{-1.1}$ kpc. By combining the astrometric results with VERA and the Very Long Baseline Array (VLBA) over a monitoring period of 25 years, the proper motion of Sgr A* is obtained to be $(\mu_{\alpha}, \mu_{\delta}) = (-3.133 \pm 0.003, -5.575 \pm 0.005) \text{ mas yr}^{-1}$ in equatorial coordinates, corresponding to $(\mu_l, \mu_b) = (-6.391 \pm 0.005, -0.230 \pm 0.004) \text{ mas yr}^{-1}$ in Galactic coordinates. This gives an angular orbital velocity of the Sun of $\Omega_{\odot} = 30.30 \pm 0.02 \text{ km s}^{-1} \text{ kpc}^{-1}$. We find upper limits to the core wander, $\Delta\theta < 0.20 \text{ mas}$ (1.6 AU), peculiar motion, $\Delta\mu < 0.10 \text{ mas yr}^{-1}$ (3.7 km s^{-1}), and acceleration, $a < 2.6 \mu\text{as yr}^{-2}$ ($0.10 \text{ km s}^{-1} \text{ yr}^{-1}$) for Sgr A*. Thus, we obtained upper mass limits of $\approx 3 \times 10^4 M_{\odot}$ and $\approx 3 \times 10^3 M_{\odot}$ for the supposed intermediate-mass black holes at 0.1 and 0.01 pc from the Galactic center, respectively (Oyama et al. 2024, PASJ, 76, 163).

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

S01a 自転ブラックホールのまわりのアルベン波の1次元フォースフリー数値計算

小出眞路 (熊本大)、野田宗佑 (都城高専)、高橋真聡 (愛知教育大)

自転するブラックホール (カーブラックホール) まわりのプラズマに関する一般相対論的電磁流体力学 (GRMHD) 数値計算の示すプラズマの挙動は複雑である (例えば, B. Ripperda, F. Bacchini, & A. A. Philippov 2020)。それらのプラズマの動きは様々な物理過程が複雑に絡み合い生じている。その中でもアルベン波の伝搬は基本的であるが、ブラックホールまわりでの伝搬については十分に理解されていない。われわれは最も単純なモデル (フォースフリー、赤道面付近、摂動論) について解析的手法 (T. Uchida 1996, 1997; S. Noda, Y. Nambu, T. Tsukamoto, M. Takahashi 2022) と数値計算 (S. Koide, M. Takahashi, S. Noda, Y. Nambu 2022) を用いてブラックホールまわりでのアルベン波の伝搬について調べ、興味深い奇妙な物理過程を見出した。

アルベン波の背景磁場は Noda et. al (2022) と同じ定常解を用いた。具体的には以下の特筆すべき現象を見出した (以下、 Ω_F , Ω_H は磁力線および地平面の角速度、 r_H は地平面半径である) (i) $\frac{2M}{2M+r_H}\Omega_H < \Omega_F < \frac{2M}{2M-r_H}\Omega_H$ のとき、短波長のアルベン波は外側の光面 (light surface, LS) の外の十分遠方で不安定になる。(ii) アルベン波は速い磁気音波を誘起する。アルベン波と速い磁気音波のエネルギーの和は保存する。(iii) $\Omega_F \geq \Omega_H$ のとき、外向きに伝播するアルベン波は外側の LS を横切ることができない。反射は起こらずに無限に LS に近づいてゆく。(iv) $\Omega_F < \Omega_H$ のときは、外向きに伝播するアルベン波は LS を難なく横切る。(v) 誘起された速い磁気音波は常に LS を難なく横切る。(vi) 内向きに伝播するアルベン波は内側の LS 付近で反射が起こり得る。(ii) については外側ほど先行する磁力線が LS の外側あるとして説明されるが、このような状況は実現できないのかもしれない。講演では得られた結果のいくつかについて述べ、フォースフリー近似の限界についても言及する。

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

S02a 地平面からジェットへ：ブラックホールを貫く磁束と観測ジェット幅の変動

恒任 優, Ramesh Narayan, Angelo Ricarte (Black Hole Initiative, Harvard University)

近年に入って Event Horizon Telescope (EHT) をはじめとする地球規模での超長基線電波干渉計により、近傍銀河の中心に存在する超大質量ブラックホールの画像観測が実現された。その主要ターゲット天体の1つである M87 は銀河規模にわたり延びるジェットを持つことで知られており、今後の高感度観測ではブラックホールから噴出するジェットの検出が期待されている。つまり、ジェット研究の文脈において我々は、長らく謎とされてきた磁場によるプラズマ駆動機構の最も本質的な根元部分を直接探査できる段階に直面している。この好機をとらえ観測画像からジェット機構を解明するため、我々は数百 Schwarzschild 半径にわたるジェット画像の変動を磁気流体モデルに基づく輻射輸送計算により予測し、ブラックホール地平面スケールでの流体変動との関係を調べた。その結果として、地平面上での磁気フラックス (地平面を貫く磁場) の変動が、画像上のジェット幅に時間差で反映されることが明らかになった。すなわち、ある瞬間での地平面でのフラックスの増加 (減少) が、より広がった (狭まった) ジェットの噴出として下流へと伝播していくことになる。さらに相関関数の解析から、我々はこの地平面フラックスとジェット幅との相関が、全輻射強度との相関よりも強いことを明らかにした。この結果は全輻射強度が光子リングを形成する地平面付近からの輻射を色濃く反映することを踏まえると驚くべきものであり、数百倍のスケールにわたるジェットの幅が地平面直近の磁気流体力学をより純粋に反映した指標として利用可能であることを意味する。加えて、ジェット幅との結びつきが数百 Schwarzschild 半径スケールにわたり見られることから、より遠方に存在し分解能の低い多数の天体についても同様の議論が可能となる。今回の結果に基づき、超大質量ブラックホール周辺の磁気流体力学について統計学的アプローチが実現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](#)

S03a 降着円盤ダイナモの間欠的極性反転-磁気再結合とノットの高速放出

森川雅博 (お茶大/理研)

宇宙ジェットの謎 ブラックホール (BH) / ディスク系から放出される宇宙ジェットには多くの謎がある。例えば、 $\gamma > 2$ という高速ジェット加速や、BH 半径の1億倍先でもあまり拡散しないことは、定常な Blandford-Znajek 流体描像では説明できない。また、星質量 BH や超大質量 BH、原始星、晩期星で広く見られるジェットや、頻繁に観測されるノット構造の起源は、ジェット構造の普遍性を示唆している。これらを理解するために、回転する導電性流体のダイナモ機構の一般性が重要である。

ダイナモ機構とマクロ・スピン・モデル ダイナモ機構の基本モデルとして、地磁気や太陽磁場のダイナミクスを説明するマクロ・スピン・モデルを BH/ディスク系に応用する。このモデルでは、テイラー柱に巻き付く電流で形成される局所磁場をスピンで表し、カオス共鳴により断続的な極性反転が誘導される。その反転時に大域的に磁気再結合が起こり、プラズモンがディスクの両方向に放出され、ノット・ジェットが形成される。磁気エネルギーはノット加速に直接変換され、相対論的加速や高エネルギー宇宙線生成が予想される。

シミュレーション結果とモデルの検証 講演では、このダイナミクスの簡単なシミュレーション結果を示すが、磁気再結合の詳細な記述は困難である。このモデルは活動的で普遍的な宇宙ジェットの磁極反転を説明する。さらに、自己組織化により、回転する導電性流体では極性反転ダイナモが普遍的であると提案する。

追加の検証と議論 このモデルの検証として、ノット放出の対称性、倍周期のノット、銀河の腕における磁極反転の痕跡、太陽コロナ質量放出との比較などを議論する。これにより、宇宙ジェットの生成メカニズムの理解が深まり、新たな発見が期待される。【本年会で、同じ系の長周期揺らぎに着目した講演もある (中道&森川)】

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

S04a 大局的なブラックホール降着流・アウトフローにおける宇宙線加速と高エネルギーニュートリノ放射

川島 朋尚, 浅野 勝晃 (東大宇宙線研)

高エネルギーニュートリノは宇宙線の加速源や加速機構を探る上で重要なスモーキングガンである。活動銀河核は IceCube で観測される拡散ニュートリノやホットスポットに大きく寄与していると考えられるが、ブラックホール降着流やアウトフローの大局的構造がニュートリノ放射に与える影響はわかっていない。従来の 1-zone 近似の枠組を超えて磁気流体降着流やジェットの大局的構造を考慮した計算を実施することが必要不可欠である。

そこで我々は、3次元の粒子加速・ニュートリノ放射計算コード μ -RAIKOU を開発し、一般相対論的磁気流体シミュレーションに基づく超大質量ブラックホール降着流のニュートリノ・スペクトルを計算している。このコードでは、一般相対論的磁気流体中に宇宙線陽子を追跡粒子として注入し、Fokker-Planck 方程式に基づき乱流加速や圧縮加熱、断熱冷却を解き、 pp 衝突によるニュートリノ放射を重力赤方偏移を考慮して計算する。これまでの計算の結果、大局的構造に起因した様々なニュートリノ放射スペクトルの重ね合わせにより、1-zone 近似に比べてフラットなスペクトルが形成されることが明らかになった (2023 年秋季年会等)。本発表では、加速された宇宙線陽子の軌跡と観測者へと届くニュートリノスペクトルの関係について新たに調べた結果について報告する。

解析の結果、まず宇宙線陽子は (i) 降着流としてブラックホールに吸い込まれるもの、(ii) アウトフローとして即座に観測者へと脱出するもの、(iii) 降着流内部の乱流運動に長時間トラップされ最終的にアウトフローとして脱出するもの、の 3 種類に大別されることがわかった。そしてタイプ (iii) の宇宙線陽子はタイプ (i) に比べて降着流での滞在時間が長い傾向にあり、ニュートリノ放射スペクトルへの寄与が支配的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](#)

S05a 活動銀河核の宇宙論的進化から探る nHz 背景重力波への超巨大ブラックホール連星の寄与

草壁克典, 井上芳幸, 豊内大輔 (大阪大学)

Pulsar Timing Array Collaboration から、nHz 帯域における背景重力波 (Stochastic Gravitational Wave Background; SGWB) の存在が報告されている。nHz 帯域の重力波の主な発生源は超巨大ブラックホール連星系 (SMBHB) であると考えられてきた。nHz 背景重力波への SMBHB の寄与の見積もりには、銀河合体の頻度分布や銀河-超巨大ブラックホール間の質量相関を用い、銀河合体を SMBHB 合体に変換するモデル (e.g., Sesana & Volonteri 2009 など) が一般に用いられてきたが、これは超巨大ブラックホールが直接駆動する活動銀河核 (AGN) ではなく、銀河の観測量に基づく間接的な推定であるという問題があった。

可視光・X 線観測の進展に伴い、AGN の宇宙論的進化は $z \sim 5$ に至るまで精密に理解されている。さらに、近年では 2 つの AGN が対をなす、ペア活動銀河核の観測も大きく進展している。Chandra (Koss et al. 2012) や JWST (Perna et al. 2023) の観測結果によると、比較的低光度の AGN サーベイにおいては $\gtrsim 10\%$ のペア AGN 割合が報告されている。一方で、Subaru/HSC による高光度 AGN サーベイでは、 $\sim 0.26\%$ と低いペア割合が報告されている (e.g., Silverman et al. 2020)。本研究では、これら最新の AGN 宇宙論的進化モデルおよびペア割合の観測結果を考慮し、超巨大ブラックホール連星の nHz 背景重力波への寄与を見積もった。nHz SGWB と一致するためには、JWST や Chandra で報告されている高いペア割合が必要となることが分かってきた。本講演では、我々のモデルを紹介するとともに、nHz SGWB との比較や AGN ペア割合について議論する。

[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](#)

S06a コクーン膨張速度から探る 3C84 ミニジェットパワーの時間変化

川勝望 (呉高専), 紀基樹 (工学院大学/国立天文台), 和田桂一 (鹿児島大)

活動銀河核 (AGN) から噴出する相対論的ジェットのパワーおよびその時間変化といった根本的な問題は未だ良く分かっていない。この問題は超巨大ブラックホールへのガス降着率を決めている物理を理解する上でも重要である。最近、RadioAstron を用いた 5GHz の電波観測により、ペルセウス銀河団中心の 3C84 に付随した pc スケールのジェットとその先端のホットスポット全体を包み込むミニコクーン成分が検出された (Savolainen et al. 2023)。また、3C84 はひと回り大きい 6 pc の電波ローブの存在 (Asada et al. 2006) からジェット活動の再帰性が示唆されており、ジェットパワーの時間変化があるかどうかを明らかにする上で絶好の天体である。しかしながら、周辺密度の不定性が大きく、pc スケールのジェットパワー L_j を調べるのが自体が困難であった。

今回、我々はスケールの異なる 3C84 ミニコクーン (1 pc と 6 pc) に対して、コクーン膨張力学に基づく方法 (e.g., Kino and Kawakatu 2005) に加えて、コクーン膨張速度が亜音速になる条件を新たに考慮して、ミニジェットのパワーと周辺密度をそれぞれ求めた。その結果、外側の 6 pc コクーンは周辺密度 $20 - 300 \text{ cm}^{-3}$ の中で $L_j = 10^{45-46} \text{ erg s}^{-1}$ のパワフルジェットが伝搬して形成されることが分かった。一方で、内側の 1 pc コクーンは $L_j = 10^{43-44} \text{ erg s}^{-1}$ の弱いジェットが密度 $6 - 20 \text{ cm}^{-3}$ と密度の薄い周辺環境を伝搬することが明らかになった。このことから、最近生まれた 1 pc ジェットのパワーは 6 pc ジェットのパワーよりも約 1-2 桁近く小さくなっており、約 50 年という短期間にジェットパワーが大きく変動したことを示すものである。また、2 つのジェット周辺密度の差異は、若い 1 pc ジェットが密度の薄い 6 pc コクーン内を伝搬するというシナリオでうまく説明できる。最後に、ジェットパワーが下がった理由について AGN フィードバックの観点から議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

S07a 活動銀河核 NGC1068 のジェットに付随する 22GHz H₂O メーザー放射と高密度分子ガスの分布

萩原喜昭 (東洋大学)、Willem Baan (中国科学院 新疆天文台)、今西昌俊 (国立天文台)、Philip Diamond (SKAO Director-General)

活動銀河核 (Active Galactic Nuclei: AGN) の巨大ブラックホールの周囲にケプラー回転するガス円盤から放射される H₂O メーザーは、銀河系内のメーザーに比して桁違い (10⁶ 倍以上) の光度を持つことからメガメーザーと呼ばれる。一方、AGN から噴出する電波ジェットに付随する H₂O メーザーは、off-nuclear maser やジェットメーザーと呼ばれ、ジェットと分子ガスの相互作用で励起され则认为されている。近傍のタイプ 2 セイファート銀河 NGC1068 (距離約 13.5 Mpc) はその中心核近傍に AGN と回転分子ガストラスの存在 (e.g., Imanishi et al. 2018, 2020) が知られており、中心核から北東約 0.3 秒に位置する電波ジェットのノット成分 C の位置に、強度変動の激しい H₂O メーザーが観測されている。我々は約 0.02 秒 (約 1.3 pc に相当) 分解能の MERLIN (Multi-Element Radio-Linked Interferometer Network) による観測で 22GHz H₂O メーザー源の絶対位置を求め、ALMA による約 0.03 秒分解能の観測では、メーザー放射領域の分子ガスの空間分布と状態を HCN(3-2) 及び HCO⁺(3-2) 輝線により調べた。VLBI による先行研究で測定されたリング状のメーザー源の分布は (Morishima et al. 2023)、ALMA で撮像した HCO⁺(3-2) の分子ガス構造とほぼ重なり、ジェットと周囲のガスの相互作用による衝撃波構造をトレースしていることが分かった。このジェット-分子ガスの相互作用シナリオは、35 年間に渡り off-nuclear H₂O メーザーの中心速度が徐々に青方偏移する現象と矛盾しない。ノット C での HCN/HCO⁺ 強度比は、水メーザーが励起される条件である温度と H₂ 密度をほぼ反映していることが、LVG (大速度勾配) モデル計算でわかった。

[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](#)

S08a Cen A core-jet structure from EHT2017 data reanalysis

Makoto Miyoshi (NAOJ), Yoshiaki Kato (JMA), Junichiro Makino (Kobe Univ.), & Masato Tsuboi (Meisei Univ.)

In EHT data, the ultrashort baselines are indeed important, and faint structures can be detected by them (Miyoshi, Kato, Makino, & Tsuboi, ApJL, 963, L18, 2024). Focusing on this effect, we discuss the results of our reanalysis of the EHT data of Cen A (NGC 5128). Cen A is a cosmic jet object at the nearest neighbor distance ~ 3.4 Mpc and is thought to have a SMBH with mass $(5.5 \pm 3.3) \times 10^7 M_{\odot}$ in its central core. However, the location $\delta \sim -43^{\circ}$ makes it difficult to observe from northern VLBI, and the only high spatial resolution observations are done from the TANAMI and Space VLBI. The EHT is suitable for southern sky observations, because it includes the Antarctic SPT, and Cen A was observed at 228 GHz in 2017. The EHTC analysis (Michael et al., Nature Astronomy, 5, 1017-1028, 2021) reported no its famous long jet, but rather an asymmetric 300 μ s jet with both- edge brightened and counter-jets. We found the structure is similar to the PSF (point spread function; dirty beam in radio interferometric terminology) structure for Cen A of the EHT array (as in the cases of the ring images of M 87 and Sgr A* in the EHTC reports), suggesting that it is possible that the image is due to inadequate deconvolution of PSF. Also, the residuals in amplitudes and closures are quite large, so the confidence level of the image is not very high. Our independent analysis found jet components from the center out to about 2 mas, as well as a structure in the core almost perpendicular to the jet. This is brighter than the jet. It may be an accretion disk or an unknown type of outflow.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

S09a EHT 1.3mm VLBI 観測による Cent A*電波源像の検討ー銀河中心極端 2 重星型超巨大ブラックホール存在の第 4 例

大家 寛 (東北大)

銀河中心極端 2 重星型超巨大 BH (Extreme Central Binary of Supermassive Black Hole: ECB-SMBH) はデカメータ電波による Sgr A* 観測に基づく結論である。Sgr A* はバイナリー BH で、それぞれ 227 万及び 194 万太陽質量を持ち相互距離 4100 万 km で周期 2200 $\pm$ 50sec で公転し、運行速度は光速の 18 及び 21 パーセントに達する。この結果を 1.3mm VLBI- EHT データで確認し、さらに、M87 銀河中心電波源像の理解へと敷衍した。即ち 1.3mm VLBI EHT データの独立解析 (Miyoshi et al. 2022) と 3.5mm VLBI - GMVA (Lu et. al. 2023) の結果から M87* が ECB-SMBH と結論したが、問題は ECB-SMBH の存在には超巨大 BH からの重力波無放出条件が必須となる。その点、プレーザー OJ287 で主 BH を周回する第 2 BH の重力波放射説に対し、新たに周期的軌道変化を見出し、原因が主 BH が ECB-SMBH と提言している (Oya 2024)。NGC5128 銀河の場合、EHT による中心電波源 (Cent A*) 観測の結果には EHTC が予期したリング像が顕れていない (Janssen et al. 2021)。これに対し Cosandey (2022) は画像中、双対の強電波放射域を通常バイナリー BH とする可能性を議論している。本研究で、重力波放射条件のもと一定の物質降着条件で Cent A* の軌道変化の履歴を検討すると、全生涯 69 億 - 138 億年中に現れるインスパイラル期間 10 億年 - 20 億年に対し、合体は 6000 年 - 9000 年後と算出され、現状の観測確率は 3 E-6 から 9 E-6 となる。従って重力波放射説は否定され、Cent A* が第 4 の ECB-SMBH 例の可能性が極めて高い。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

S10b 一般相対論的輻射磁気流体力学計算で探る超臨界降着流の大域的ジェット

芳岡尚悟, 嶺重慎 (京都大学), 大須賀健 (筑波大学), 高橋博之 (駒澤大学), 川島朋尚 (東京大学)

狭輝線 1 型セイファート銀河を始めとする高光度 AGN は、エディントン光度に匹敵する光度をもち、強力なジェットや円盤風を通して周囲環境に多大なフィードバックを与えることが示唆されている。高光度 AGN のジェットの観測的研究は急速に進んでおり、放物状のジェット形状を持つことやジェットのパワーは輻射の 20% にまで達している例も見つかっている。高光度 AGN のエネルギー源と考えられる超臨界降着流からのジェットは、一般相対論的輻射磁気流体シミュレーションによって調べられており、ブラックホールの無次元スピンパラメータ a_* が大きいほど、ポインティングパワーが輻射や運動学的パワーより強くなることが示されている (Utsumi et al. 2022)。しかし、この計算では計算領域がブラックホール近傍 ($250 r_g$, r_g は重力半径) に限られていたため、ジェットの的大域的な構造や性質については未解明であった。

そこで我々は、計算領域を先行研究の 20 倍 ($5000 r_g$) に拡張し、超臨界降着流およびそこから噴出するジェットの 2 次元一般相対論的輻射磁気流体計算を実施した。スピンパラメータは $a_* = 0, 0.7, 0.9$ とした。その結果、超臨界降着流のジェットパワーはブラックホールスピンとともに増加することが確認され、ジェット形状はブラックホールスピンに依らず、放物状となることを明らかにした。さらに、輻射エネルギーフラックスとポインティングフラックスは $\theta \sim 5^\circ$ 、運動エネルギーフラックスは $\theta \sim 10^\circ$ で最大となり、この角度はブラックホールスピンにあまり依存しないこともわかった。また $a_* = 0.7$ のケースに着目すると、BH 近傍 ($200 r_g$) ではポインティングパワーが卓越している一方で、BH 遠方 ($800 r_g$) では輻射パワーがポインティングパワーを上回ることが分かった。本講演では、高光度 AGN と低光度 AGN のジェットの角度依存性や収束性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](#)

S11b 磁気流体シミュレーションに基づいた宇宙線伝播計算コードの開発とその初期成果

石崎渉, 木村成生, 檜山和己 (東北大学)

天体からの高エネルギーニュートリノ放射は、宇宙線加速の smoking gun である。2013 年より IceCube 実験は継続的に宇宙ニュートリノを検出しており、さらに近年はブレーザーや近傍セイファート銀河からのニュートリノ放射を報告している。このような観測的な手がかりから宇宙線の起源天体にせまるためには、加速現場である天体の周辺環境の大域構造と、それに基づく宇宙線加速とニュートリノ放射の関係を理解することが鍵となる。そこで我々は、磁気流体シミュレーションで得られた高エネルギー天体周辺の大域構造に基づいて、これに整合的に宇宙線の加速と伝播、およびニュートリノ放射を計算するコードを開発することにした。

今回我々は、宇宙線の伝播を記述する移流拡散方程式の数値解法として、確率微分方程式を用いる手法を採用した。この手法は、偏微分方程式である移流拡散方程式のかわりに、確率過程で定まる項を含む常微分方程式を多数解くというもので、並列化および多次元化が非常に容易であるといった利点を持つ。さらに本手法は拡張性も高く、活動銀河核周辺の降着円盤のみならず、超新星および超新星残骸、太陽圏、パルサー星雲といった種々の系に幅広く応用が可能である。本講演では、コード開発の進行状況を報告し、さらに初期成果として降着円盤系への適用例について述べたい。

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

S12b NGC 1275 中心 10 pc スケールでの分子ガスアウトフロー検出

小島諒也 (東京大学・国立天文台), 永井洋 (国立天文台), 藤田裕 (都立大), 川中宣太 (国立天文台・都立大), 中西康一郎 (国立天文台)

活動銀河核 (AGN) で観測される分子ガスアウトフローは、母銀河の星形成を抑制する有力な機構と考えられている。しかし、その起源が、降着した分子ガスが中心付近から吹き飛ばされたものか、熱いガスが途中で冷却されて生成されたものかは未解明である。ペルセウス座銀河団の中心銀河である NGC 1275 では、AGN からの連続波を背景光として、HCN(3-2) と HCO⁺(3-2) 分子の青方偏移した吸収線が観測されていることから、AGN 近傍における分子ガスアウトフローの存在が示唆されている (Nagai et al. 2019)。この分子ガスアウトフローの発生箇所に強い制限を与えるべく、我々は、ALMA による最長基線の観測を行った。両輝線の AGN 中心付近の半径 8 pc 以内でのスペクトルは、青方偏移した吸収線が卓越していて、観測者方向に向かうアウトフローの存在を示す。一方で、半径 8 pc よりも外側の領域の速度分布は、回転運動で概ね説明ができ、アウトフローを示す強い証拠は見つからなかった。この空間スケールは、熱いガスの放射冷却による分子ガス形成に充分ではなく、アウトフローの起源として、中心付近から飛ばされた分子ガスが考えられる。このことは、同時に、pc スケールにまで分子ガスの質量降着が起こっていることを示唆する。本公演では、分子ガスアウトフローの考察に加え、Bondi 半径内の分子ガス量と高温プラズマ量の比較を試み、どちらのガスが AGN の活動により強い影響を与えるのかについても考察する。

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

S13b アルマデータを用いた NGC5506 核周領域における多相ガス構造の研究

武知可夏 (国際基督教大学), 永井洋 (国立天文台), 川勝望 (呉高専), 磯部直樹 (JAXA), 紀基樹 (工学院大), 泉拓磨 (国立天文台), 中西康一郎 (国立天文台), 笹田真人 (東工大), 土居明広 (JAXA)

活動銀河核 (AGN) の統一モデルでは、観測される電離ガスペクトルの線幅の違いは、AGN の見込み角の違いにより説明される。この AGN 統一モデルでは、光学的、そして幾何学的に厚いトーラスが存在し、広輝線領域を隠すと予想される。しかし、トーラスが幾何学的厚みを保つ機構は明らかになっていない。近年、幾何学的厚みを保つ機構として、輻射駆動噴水モデルが注目されている。このモデルに基づいたシミュレーションでは、分子ガスは赤道面上に分布する一方、原子ガスは赤道面に沿って鉛直方向に厚みを持った構造を持つことが予想される。また、電離ガスは鉛直方向への噴出が予想される。

本研究では、2 型セイファート銀河である NGC 5506 を対象として、中心核周辺 (20-500pc) の異なるガス相の分布・運動の比較を、アルマ望遠鏡のデータをもとに行った。NGC 5506 はトーラスを真横から見込むため、多相ガス間の幾何学的な厚みの違いを視覚的に比較しやすい。[CI] ($^3P_1-^3P_0$)、CO(3-2)、 HCO^+ (4-3)、OIII $\lambda 5007$ を、それぞれ原子ガス、分子ガス、高密度分子ガス、そして電離ガスのトレーサーとして用いた。解析結果からは、原子ガス、分子ガス間の厚みに大きな違いは見られなかった。また、鉛直方向の噴出の指標となる、速度分散を回転速度で割った値に関しても、分子ガス、原子ガス間での大きな違いは見られなかった。過去に Circinus 銀河では、輻射駆動噴水モデルが予言するガス相毎の厚みの違いが、速度分散/回転速度の違いとして観測されていたが、NGC 5506 ではそのような傾向が確認できないことから、円盤の厚みは AGN の物理パラメータの違いに影響されることが考えられる。

[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](#)

S14b 電波銀河 Centaurus A の内側ローブの Herschel による遠赤外線観測

磯部 直樹 (ISAS/JAXA), 紀 基樹 (工学院大学), 永井 洋 (国立天文台), 田代 信 (埼玉大学), 馬場 俊介, 中川 貴雄 (ISAS/JAXA)

電波銀河はジェットを噴出する活動銀河の一種であり、電波銀河に付随するローブはジェットの噴出した磁気プラズマを蓄積した広大シンクロトロン電波源である。電波銀河のローブの観測から、ジェットの過去の活動やジェットに伴って起こる粒子加速の情報を得ることができる。これまでローブの物理量を観測的に測定するためには、シンクロトロン電波と逆コンプトン X 線を組み合わせた手法が主流であった。一方で、遠赤外線の帯域は、放射冷却によるシンクロトロン放射のスペクトルの折れ曲がり (cooling break) よりも高周波側に対応することが予想される。遠赤外線と電波のスペクトルを比較して cooling break を測定することができれば、ローブの磁場などの物理量を推定することができる。しかし、これまで、遠赤外線によるローブの観測はほとんど行われてこなかった。そこで本研究では、最も近傍の電波銀河である Cenraurus A の内側ローブに着目し、Herschel 衛星の SPIRE 装置および PACS 装置による遠赤外線観測のデータを調査した。その結果、SPIRE による撮像データから、Cenraurus A の内側ローブから遠赤外線の検出に成功した。これにより、波長 $\lambda = 500 \mu\text{m}$ での遠赤外線フラックスを $S_\nu \sim 0.6 \text{ Jy}$ (南内側ローブ)、 $\sim 1.6 \text{ Jy}$ (北内側ローブ) と測定することができた。また、遠赤外線シグナルの有意度の高かった北内側ローブに対しては、遠赤外線帯域でのスペクトル指数を $\alpha_{\text{FIR}} \sim 1.2$ と求めることができた。この遠赤外線スペクトルは、GHz 帯域の電波スペクトルに比べて有意にソフトであることから、遠赤外線帯域が cooling break よりも高周波側に対応することを示唆する。本講演では、遠赤外線と電波のスペクトルの比較から得られる Centaurus A 内側ローブの物理量を議論する。

[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](#)

S15b 多波長広域観測データに基づく低金属量活動銀河核の探査

松原瑞加, 長尾透, 土阪樹, 吉田猛人, 小林星羅 (愛媛大学)

活動銀河核 (Active Galactic Nucleus; AGN) は銀河中心部に存在する巨大ブラックホールへのガス降着により明るく輝く天体である。AGN に存在する電離領域が放射する輝線の強度比を解析することで、AGN のガス金属量を見積もることができる。従来、AGN のガス金属量は太陽金属量程度かそれ以上という比較的高い値を示すことが知られていた (Nagao et al. 2006 等)。しかし最近の JWST による高赤方偏移 AGN の分光観測により、低金属量のガスで特徴付けられる AGN が見つかりつつある (Kocevski et al. 2023 等)。低金属量 AGN は化学進化の初期段階にあると考えられ、その詳細な性質を分析することは AGN の形成進化を理解するために重要である。

そこで我々は低赤方偏移宇宙における低金属量 AGN を系統的に探査するため、可視光の輝線強度比が星形成銀河的であるにも関わらず多波長情報から AGN の兆候が確認できる天体に注目した。具体的には、SDSS スペクトルから星形成銀河と分類された約 14 万 5 千個の輝線銀河について、WISE 衛星が取得した中間赤外線データおよび VLA の電波サーベイである FIRST のデータの特徴を調査した。その結果、SDSS スペクトルでは星形成銀河に分類された銀河のうち 154 個が AGN 的な中間赤外線カラーを示し、92 個が星形成では説明が難しく AGN の存在を示唆する電波フラックスを示すことが分かった。また、電波で AGN の兆候を示す輝線銀河は低金属量 AGN 的ではない輝線強度比を示す一方で、中間赤外線で AGN の兆候を示す輝線銀河の中には低金属量 AGN 的である天体が見られた。本講演ではこれらの天体の性質について報告する。

[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](#)

S16a

XRISM Observation of Powerful Disk Wind Quasar PDS 456: 2. Initial analysis and results

Misaki Mizumoto (U. of Teacher Education Fukuoka), Kouichi Hagino (U. of Tokyo), Ehud Behar (Technion), Makoto Tashiro (Saitama U.), Rozenn Boissay-Malaquin (UMBC, NASA/GSFC), Chris Done (Durham U.), Luigi Gallo (Saint Mary's U.), Hirokazu Odaka (Osaka U.), Atsushi Tanimoto (Kagoshima U.), Tahir Yaqoob (UMBC, NASA/GSFC), Satoshi Yamada (RIKEN), James Reeves (Catholic U.), Francesco Tombesi (Tor Vergata U.), Adam Gonzalez (Saint Mary's U.), Alfredo Luminari (INAF), Pierpaolo Condó (Tor Vergata U.), Ryuki Mizukawa (Saitama U.), Riki Sato (U. of Tokyo), Aiko Miyamoto (Osaka U.), Valentina Braitto (INAF)

X-ray UltraFast Outflow (UFO) is the very fast, highly photoionized wind launching from the close vicinity of the supermassive black hole. PDS 456, a nearby quasar, is known to host one of the most powerful and persistent UFOs. In the CCD era, it is pointed out that the X-ray spectrum may show a P Cygni profile, which consists of a blueshifted absorption line and a Doppler-broadened emission line from the wind with a large solid angle. Here, our 240 ks observations of PDS 456 with the XRISM satellite provides us with the X-ray complex spectral features with the highest energy resolution than ever. In this talk we show our initial analysis and results for our XRISM observation and discuss the physical picture of PDS 456, including blind search for the emission/absorption features, time-variability analysis, photo-ionized absorption model, self-consistent wind model, and so on.

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

S17a

活動銀河核 PDS 456 のフレアに伴う X 線スペクトルの時間変動の解析

Riki Sato (U. of Tokyo), Kouichi Hagino (U. of Tokyo), Ehud Behar (Technion), Misaki Mizumoto (U. of Teacher Education Fukuoka), Makoto Tashiro (Saitama U.), Rozenn Boissay-Malaquin (UMBC, NASA/GSFC), Chris Done (Durham U.), Luigi Gallo (Saint Mary's U.), Hirokazu Odaka (Osaka U.), Atsushi Tanimoto (Kagoshima U.), Tahir Yaqoob (UMBC, NASA/GSFC), Satoshi Yamada (RIKEN), James Reeves (Catholic U.), Francesco Tombesi (Tor Vergata U.), Adam Gonzalez (Saint Mary's U.), Alfredo Luminari (INAF), Pierpaolo Condó (Tor Vergata U.), Ryuki Mizukawa (Saitama U.), Aiko Miyamoto (Osaka U.), Valentina Braitto (INAF), Aya Bamba (U. of Tokyo)

活動銀河核 PDS 456 は、中心ブラックホール (BH) 近傍から高階電離した重元素が光速の 0.3 倍で放出される Ultra fast outflow(UFO) が恒常的に観測される天体である。また激しい光度変動を示し、BH 近傍のコロナからの一次 X 線の変動 (Reeves et al. 2021) や outflow の吸収体の変動 (Behar et al. 2010) などの多様な変動が観測されている。我々は 2024 年 3 月に可視・X 線帯域の 6 つの望遠鏡、XRISM・NuSTAR・XMM-Newton・Swift・NICER・せいめいを用いて PDS 456 を観測した。Swift により 3/9 – 3/11 間に 0.3 – 10 keV 帯域で約 1 桁増光し、数日で減光する現象が確認された。このフレアの発生機構を探るため、コロナからの一次 X 線成分が精度良く定まる硬 X 線帯域を観測できる NuSTAR のスペクトルを解析した。その結果、フレアから静穏期までカウントレートが 1/8 倍になり、光速の 0.26 倍の UFO による P Cygni プロファイルも確認された。さらに、軟 X 線に感度を持つ XRISM/Xtend と XMM-Newton のデータで吸収の影響の評価を進めている。本講演では、NuSTAR・XRISM/Xtend・XMM-Newton を用いたスペクトル解析結果を報告し、フレアの物理的機構を議論する。

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

S18a

輻射駆動噴水モデルに基づいた X 線スペクトル計算と NGC 3783 への適用

谷本敦, 和田桂一 (鹿児島大学), 小高裕和 (大阪大学), 工藤祐己 (東北大学)

活動銀河核 (Active Galactic Nucleus: AGN) アウトフローの理解は、超巨大質量ブラックホール (Supermassive Black Hole: SMBH) と銀河の共進化を解明する上で非常に重要です。実際、近年の可視光分光観測や X 線分光観測により、約半数の近傍 AGN は、AGN アウトフローを持つと考えられています (Laha et al. 2021)。しかしながら、AGN アウトフローの駆動機構やアウトフローの密度分布・速度分布は、未だに良く理解されていません。

AGN アウトフローの駆動機構を調べる上で最適な方法の 1 つが、X 線精密分光観測です。2023 年 09 月に打ち上げられた X 線分光撮像衛星 X-Ray Imaging and Spectroscopy Mission (XRISM: Tashiro et al. 2020) は、世界初のマイクロカロリメータ検出器 (Resolve 検出器) を搭載し、従来の CCD 検出器と比較して、約 30 倍のエネルギー分解能 (6 keV で 6 eV 程度) を有しています。ただし、AGN アウトフローの駆動機構を理解するには、理論計算結果に基づいた X 線スペクトル計算が必要不可欠です。

そこで本研究では、輻射駆動噴水モデル (Wada et al. 2012) に基づいた X 線スペクトル計算に取り組みました。まず私達は、SMBH 質量が $2.8 \times 10^7 M_{\odot}$ 、Eddington ratio が 10% を仮定して、サブパーセクスケールの 3 次元輻射流体計算を実行しました (Wada et al. 2024 in prep.)。次に、光電離平衡計算コード XSTAR (Kallman et al. 2004) を用いて、各グリッドにおけるイオンの存在比を計算しました。最後に、モンテカルロ X 線輻射輸送計算コード MONACO (Odaka et al. 2016) を利用して、輻射駆動噴水モデルに基づいた X 線スペクトルモデルを作成しました。本講演では、得られた X 線スペクトルや、スペクトルの時間変動、ほぼ同じ SMBH 質量や Eddington ratio を持つ NGC 3783 の X 線スペクトルをどの程度再現出来るかどうか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](#)

S19a NGC4151 の XRISM 連携可視赤外モニター観測 1. 可視赤外線多波長測光

趙光遠, 平田悠馬, 松下恭子, 小林翔悟 (東京理科大学), 峰崎岳夫, 葉与衡, 鮫島寛明, 堀内貴史, 水越翔一郎 (東京大学), 柳澤顕史, 小久保充 (国立天文台), 斎藤智樹 (兵庫県立大学), 永山貴宏 (鹿児島大学), 中岡竜也 (広島大学), 野田博文 (東北大学), 岩室史英, 呼子優人 (京都大学), 山田智史 (理化学研究所)

活動銀河核で観測される X 線中性 Fe K α 輝線 (6.4 keV) は一次 X 線放射を周辺物質中の鉄が光電吸収・再放射して生じる。その放射領域は大きな立体角と柱密度をもつダストトラスが有力と考えられてきたが、特定には至っていない。一方で降着円盤放射を吸収して加熱されたダストトラスからは赤外線を再放射し、その内縁半径の光伝搬時間に対応した可視変光に対する赤外線変光の遅延が観測される。そこで我々は中性 Fe K α 輝線放射領域を明らかにするため、NGC4151 の XRISM 衛星の半年間 5 回にわたる観測と連携し、可視赤外線多波長分光測光モニター観測を実施している。本講演では赤外線測光モニター観測及び可視光度曲線について報告する。

赤外線測光モニター観測は岡山 91 cm 赤外望遠鏡 OAOWFC、なゆた望遠鏡 NIC、鹿児島大学 1 m 光赤外望遠鏡 KSIRIUS により、2023 年 1 月から J,H,Ks(1.26 μ m, 1.65 μ m, 2.20 μ m) で観測を行っている。精密な変光測定のため NGC4151 近傍の星を基準とした相対測光を実施し、とくに広い視野をもつ OAOWFC では視野内の複数の星を使った同時観測相対測光により高い測光精度を得た。一方で可視測光については ASAS-SN 望遠鏡及び AVA のアーカイブデータを用いて g band(430 nm) の光度曲線を作成した。結果、可視光・赤外線ともに数週間～数ヶ月以上のタイムスケールで、変動幅 20% 程度の明らかな変光が見られた。一方で両者の増減光の様子が異なり、過去 Koshida et al. (2009) などで報告されているダストトラス放射の反響応答に対応した可視変光に対する赤外線変光の遅延の様子がみられる。今後詳細な解析を行う同時に、Fe K α 輝線の変動との比較もしたい。

[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](#)

S20a NGC4151 の XRISM 連携可視赤外モニター観測 2. 可視分光

平田悠馬, 趙光遠, 松下恭子, 小林翔悟 (東京理科大学), 峰崎岳夫, 葉与衡, 鮫島寛明, 堀内貴史, 水越翔一郎 (東京大学), 岩室史英, 呼子優人 (京都大学), 斎藤智樹 (兵庫県立大学), 山田智史 (理化学研究所), 野田博文 (東北大学), 小久保充, 柳澤顕史 (国立天文台), 永山貴宏 (鹿児島大学), 中岡竜也 (広島大学)

活動銀河核 (AGN) X 線スペクトルに見られる中性 Fe K α 輝線 (6.4 keV) は内部構造の重要なプローブであるが、放射領域は未だ特定されていない。最高のエネルギー分解能を誇る XRISM 衛星 Resolve($E/\Delta E \sim 1200@6.4$ keV) での観測により Fe K α 輝線研究の大きな進展が期待されている。そこで我々は、Fe K α 輝線放射領域を明らかにするべく、NGC 4151 について 2023 年 12 月に 2 回、2024 年 5, 6 月に 3 回の XRISM 衛星による観測と連携した可視赤外線測光・分光モニター観測を遂行している。本講演では分光モニター観測について報告する。

可視分光モニター観測はせいめい望遠鏡 KOOLS-IFU の VPH495($\lambda/\Delta\lambda \sim 1500$), VPH-blue($\lambda/\Delta\lambda \sim 600$) となゆた望遠鏡 MALLS($\lambda/\Delta\lambda \sim 7500$) により、2023 年 12 月から実施している。スペクトルの時間変動を精密に測定するため、観測期間中は時間変化しないと考えられる狭輝線 [OIII]($\lambda 500.7$ nm) を用いて光度と波長の再校正を行った。H β 広輝線は単一のガウス分布で説明できない左右非対称に大きく広がったプロファイルを示しており、その輝線幅は $\text{FWZI} \geq 8000$ km/s に達している。また、広輝線光度は半年で 10% ほど変動しており、可視光度変動に対して遅延している様子が見られた。これは H β 広輝線の反響応答によるものと思われる。広輝線プロファイルも変動しており、2024 年 2 月以降、青方偏移成分が減光したのに対して赤方偏移成分は増光した。以上のことから、H β 広輝線領域の複雑な様相が明らかになった。今後、Fe K α 輝線と H β 広輝線のプロファイル・時間変動の比較に取り組んでいきたい。

[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](#)

S21a X-WING プロジェクト: 1999 年から現在までに検出された $z \sim 0-4$ の全 X 線アウトフローと XRISM が開拓する AGN Feedback の研究

山田智史, 川室太希 (理研), 水本岬希 (福岡教育大), Ricci Claudio (UDP), 小川翔司 (ISAS/JAXA), 野田博文 (東北大), 上田佳宏, 榎戸輝揚 (京都大), 小久保充 (NAOJ), 峰崎岳夫, 鮫島寛明, 堀内貴史, 水越翔一郎 (東京大)

X-ray Winds In Nearby-to-distant Galaxies (X-WING) プロジェクトの最初の研究として、青方偏移した吸収線を示す X 線アウトフローを持つ、 $z \sim 0-4$ の 132 の活動銀河核のサンプルを構築した。1999 年から現在までの約 300 もの文献に基づいて、重複しない 573 種類の X 線アウトフローの物理量 (速度 V_{out} 、電離度 ξ 、水素柱密度 N_{H}) をカタログにまとめた。 V_{out} と ξ を用いて、ultrafast outflows (UFOs)、low-ionization parameter (low-IP) UFOs、warm absorbers (WA) の 3 つの分類を定義した。次に、 V_{out} 、 ξ 、 N_{H} の分布をそれぞれ比較すると、従来の理論予想とは異なり、強い相関は見つからず、単に従来の装置の検出限界による観測バイアスの範囲で広く分布することが分かった。興味深いことに、 $V_{\text{out}} \sim 10,000$ km/s のアウトフローが極めて少なく、それより速い UFO と遅い WA に分離していることが分かった。この速度の溝は、 <2 keV と >2 keV の吸収線のどちらを用いた検出方法でも確認された。アウトフローの予想される距離とダスト昇華半径を比較すると、UFO はダストフリーで、WA はダストを持つ描像が示唆された。これらは UFO が銀河スケールの WA と不連続であり、物理起源も異なる可能性を支持する。XRISM の PV 観測も多数行われ、今後も観測バイアスが小さくなることで、UFO が銀河スケールに到達しているかどうかとも明確になると期待される (Yamada+24b, ApJS, accepted; arXiv:2405.02391)。最後に、X-WING プロジェクトが取り組む XRISM と多波長観測による AGN feedback の最新の成果も紹介する。

[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](#)

S22a Chandra による Circinus 銀河中心核周辺における鉄輝線放射の時間変動解析

宮本愛子, 松本浩典, 小高裕和, 善本真梨那, 袴田知宏 (大阪大学)

活動銀河核 (AGN) の空間構造を明らかにするため、様々な波長による観測が行われている。高い角度分解能をもつサブミリ波や赤外線観測からは、近傍 AGN の中心部数十 pc スケールの構造が明らかになりつつある。一方で、X 線観測は、物質の状態によらず超巨大ブラックホール近傍まで見通せる点において有効である。過去最高の角度分解能 (0.5 秒角) をもつ X 線天文衛星 *Chandra* の観測により、複数の近傍 AGN で数百 pc にわたる領域から Fe-K 輝線の放射が見つかった。最近傍の 2 型 AGN である Circinus 銀河では、数十 pc に広がった、Fe-K 等価幅の強い領域が報告されている (Kawamuro et al. 2019)。

Chandra による Circinus 銀河の観測については 2021 年秋季年会でも報告されており (S07a)、2000 年、2004 年、2010 年における計 6 回の観測データの解析が行われている。その結果、中心核周辺 20–80 pc の距離にある複数の領域で Fe-K α 輝線強度が時間変動していることが明らかになっている。本研究では、この研究に用いられた観測データに加え、2022 年の 2 回の観測データを用いて、Fe-K α 輝線強度についてイメージング解析およびスペクトル解析を行った。元のイメージから中心核の放射を差し引いたイメージを計 8 回の観測についてそれぞれ作成した。その結果、中心核から東と西の方向にそれぞれ 20–60 pc の距離にある 2 つの領域において、6.2–6.5 keV 帯域で明るさに変動が見られた。これらの領域についてスペクトル解析を行った結果、各領域で Fe-K α 輝線強度に 2 倍以上の変動があることがわかり、イメージにおける明るさの変動との相関を確認した。本講演では、Fe-K α 輝線放射領域の空間分布と輝線強度の時間変動を報告し、それらから推定された Fe-K α 輝線放射領域の非一様なガス密度について議論する。

[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](#)

S23a 大口径望遠鏡初号機 LST-1 による活動銀河核の観測：遠方 FSRQ OP313 の VHE ガンマ線放射の発見

Joshua Ryo baxter (東京大学), D. Morcuende, J. Otero-Santos (IAA- CSIC), M. Nieves Rosillo (IAC, Universidad de La Laguna), D. Sanchez (LAPP), S. Nozaki (東京大学, マックス・プランク物理), A. Arbet-Engels, L. Heckmann (マックス・プランク物理), F. Di Pierro, E. Visentin, R. de Menezes (INFN) 他 CTA-LST Project

活動銀河核 (AGN) の一種である Flat Spectrum Radio Quasar (FSRQ) の VHE ガンマ線 ($E > 100$ GeV) 帯域における観測・検出は、(1) 天体内部でのガンマ線吸収と (2) FSRQ 自体が他の活動銀河核に比べ遠方に分布するために宇宙赤外背景光による吸収がより強く働く、という二つの吸収効果に阻まれる為に困難である。その中で、次世代地上ガンマ線望遠鏡アレイ (Cherenkov Telescope Array Observatory, CTAO) 計画における大口径望遠鏡初号機 LST-1 は、 $z = 0.997$ の遠方 FSRQ OP 313 からの VHE ガンマ線を検出することに成功した。この成功は、LST-1 の優れた低エネルギー閾値の証左となるものであり、将来の CTAO が FSRQ の理解を深める上での可能性を示している。VHE ガンマ線で検出された OP 313 は、地上型チェレンコフ望遠鏡により検出された AGN の中で最も遠方な AGN であり、同エネルギー帯域で 10 番目に検出された FSRQ として数えられる。

本発表では、LST-1 による他の活動銀河核の観測結果の報告を行い、VHE ガンマ線で検出された最も遠い AGN である OP 313 の発見に焦点を当てる。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

S24a 超高光度赤外線銀河 Superantennae 中心核からのミリ波 H₂O メーザー放射

今西昌俊、中西康一郎、泉拓磨 (国立天文台)、萩原喜昭 (東洋大学)

太陽光度の 1 兆 (10^{12}) 倍を超える赤外線放射をする超高光度赤外線銀河 (ULIRG) は、近傍宇宙 ($z < 0.3$) ではガスに富む銀河同士の衝突/合体の末期に一般的に観測され、塵に隠された星生成活動と活動銀河中心核 (AGN; 質量降着する超巨大ブラックホール) がエネルギー源である。塵吸収の影響をほとんど受けないミリ波の観測は、星生成活動に比べてサイズの小さく、塵の奥深くに埋もれて見つけにくくなる AGN をきちんと検出し、銀河合体によって超巨大ブラックホールが質量成長する ($> 10^7 - 8 M_{\odot}$) という仮説を検証する上で非常に強力である。

我々は ALMA サイクル 5 で 500 pc 分解能で ULIRG 10 天体を観測し、その中の 1 天体 Superantennae ($z = 0.0617$) において、他の ULIRG に比べて異常に明るい 183 GHz (1.6 mm) H₂O 輝線を検出した。明るい高密度分子ガス輝線である HCN、HCO⁺、HNC J=2–1 よりも大光度で、しかも、これらの 3 輝線が赤方と青方偏移成分を示して約 1 kpc に空間分解されたのに対し、H₂O 輝線は空間分解されずに非常にコンパクト (< 220 pc) であることがわかった。AGN 近傍からのメーザー放射で自然に説明できる (Imanishi et al. 2021 MNRAS 502 L79)。

Superantennae のコンパクトな 183 GHz H₂O 輝線の正体を明らかにするため、我々は、ALMA サイクル 8 で 60 pc 分解能で観測した。183 GHz H₂O 輝線の放射サイズは約 100 pc 以下と測定され、赤方と青方偏移成分を検出し、空間分解することに成功した。コンパクトな H₂O メーザー放射は、空間的に広がった他の分子輝線に比べて、中心核の力学的情報をより高い精度で導くことができる。単純なケプラー運動を仮定すると、中心に約 $10^8 M_{\odot}$ の質量源の存在が導かれ、超巨大ブラックホールが支配的であれば、銀河合体末期での質量成長の観測的な支持となる。より強固な結論を得るには、さらに高空間分解能の観測による、ガスや星質量の寄与の除去が必要である。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

S25a Sgr A* の 43 GHz 超広帯域モニター観測による星間散乱の効果の制限

小藤由太郎 (東京大), 本間希樹 (国立天文台), 小山友明 (国立天文台), 紀基樹 (工学院大), Ilje Cho(KASI), Xiaopeng Cheng(KASI), Guang-Yao Zhao(MPIfR), Juan Carlos Algaba(マラヤ大)

銀河系中心の超巨大ブラックホール Sgr A* は、質量 $M \sim 4 \times 10^6 M_{\odot}$ で距離 $D \sim 8.1$ kpc にある、我々から最も近い超巨大ブラックホールである。イベントホライズンテレスコープは、Sgr A* の事象の地平線スケールの画像を波長 1.3 mm で捉え、直径が約 $50 \mu\text{as}$ のブラックホールシャドウの撮影に成功した。Sgr A* は銀河中心にあるために、観測においては視線方向に存在する不均一なプラズマによる星間散乱の影響を受ける。散乱の効果は回折散乱と屈折散乱の 2 つに大別できる。前者は観測画像をぼかす効果として現れる一方で、後者は画像にサブストラクチャーを加える効果として現れる。Sgr A* の真の構造を得るためには、散乱の補正方法に対する理解が極めて重要である。近年物理的な散乱モデルが提案され、多波長観測データを用いて Sgr A* の散乱パラメータを制限するなど、散乱の補正方法に対する理解は深まったものの、パラメータの数年に渡る変動の有無は明らかになっていない。本講演では日本の VLBI である VERA による 43 GHz での Sgr A* の 2018 年から 2023 年のモニター観測データを用いて Sgr A* の数年スケールの時間変動の解析を行った結果を紹介する。最近のアップデートにより、VERA の帯域幅は 2048 MHz に拡張され、この高感度観測によって、最も長い基線を含む三角形において非対称な構造の存在を示唆する非ゼロのクロージャ位相を検出することができた。さらに、観測されたクロージャ位相の値は先行研究の散乱パラメータによる屈折散乱の効果で再現できることがわかった。また、Sgr A* の観測された大きさと星間散乱の影響を補正した真の大きさは、観測した数年の間で大きく変化していないことも確認した。本研究の結果は Sgr A* の散乱パラメータが長年にわたって安定していることを示唆している。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

S26a ALMA による銀河系中心核 Sgr A* の 230 GHz 帯光度の正弦波的変動の検出

柳澤一輝, 有山 諒, 岡 朋治 (慶應義塾大学), 岩田悠平 (国立天文台)

Sgr A* は、銀河系の中心核に存在する点状電波源であり、 $4 \times 10^6 M_{\odot}$ の超大質量ブラックホール (SMBH) が付随していると考えられている。Sgr A* は短ミリ波帯で特に明るく、常に数 Jy 程度で観測される。同時に Sgr A* は、電波から X 線に渡って激しい光度変動を示すことが知られている。特に赤外線および X 線で観測されるフレアは数十分程度の継続時間を持ち、SMBH 極近傍で発生する現象と推測される。実際、赤外線干渉計 GRAVITY を使用した Sgr A* 赤外線フレアの観測によって、約 45 分の周期で数シュバルツシルト半径を周回運動するホットスポットが検出され、降着円盤内径付近の現象が直接観測できるようになってきている。さらに、ALMA によって静穏時の 230 GHz 光度においても約 30 分の周期性が検出され (岩田他、日本天文学会 2020 年春季年会 S10a)、ミリ波帯帯光度変動と赤外線ホットスポットとの関連が示唆されている。

今回我々は、ALMA Cycle 8 で取得された Sgr A* の 230 GHz 帯連続波のアーカイブデータを岩田他 (2020) の方法に倣って入念に解析し、60 分間の精密な光度曲線を 2 日分得た。その結果、その光度曲線の一つにおいて極めて明瞭な正弦波の変動を検出した。この正弦波的振動の周期は 53 分であり、当該光度曲線はそのほぼ一周分をカバーしている。観測された周期的変動が降着円盤内に発生したホットスポットの周回運動による相対論的ビーミング効果に起因すると仮定するならば、この明瞭な正弦波的波形はホットスポットの視線速度がそれほど大きくないことを示している。当該光度曲線に円運動ホットスポットモデルをフィッティングする事により、降着円盤の傾斜角 i と中心天体質量 M に制限を加えたところ、 $M = 4 \times 10^6 M_{\odot}$ では降着円盤はほぼ face-on ($i < 5^\circ$) である必要があることが分かった。この値は、GRAVITY の観測結果から導かれた値とよく整合している。

[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](#)

S27a ALMA による近傍セイファート銀河 GRS 1734-292 のミリ波時間変動同定

道山知成 (周南公立大学), 井上芳幸 (大阪大学), 土居明広 (宇宙研), 深澤泰司 (広島大学), 窪秀利 (東京大学), Samuel Barnier (大阪大学)

Atacama Large Millimeter/submillimeter Array (ALMA) を用いた、近傍の radio-quiet セイファート銀河 GRS 1734-292 の観測結果を報告する。ミリ波帯の 97.5, 145, 225 GHz の ALMA 観測と先行研究のセンチ波観測を比較し、ミリ波超過を確認した。さらに、97.5 GHz 帯では 2 つの観測期間 (2019 年 8 月 14 日と 18 日) において、観測フラックスが約 1.6 倍となるミリ波時間変動を同定した。

時間変動の同定は、ミリ波起源がコンパクト (< 100 Schwarzschild radius) であることを示している。ミリ波超過を降着円盤上空の高温プラズマ (コロナ) からのシンクロトロン自己吸収モデルを用いて説明すると、磁場強度は約 10 Gauss、コロナサイズは約 10 Schwarzschild radius と見積もることができる。一方で、AGN wind (シンクロトロンまたは free-free 放射) からのミリ波超過への寄与は否定できない。さらに、GRS 1734-292 ではフェルミガンマ線宇宙望遠鏡により GeV 帯の放射が検出されている。高エネルギー粒子生成活動の解明に向けて、さらに高分解能のセンチ波・ミリ波の観測を実施し、コロナ成分と wind 成分を明確に切り分ける必要がある。

[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](#)

T01a Abell 3376 内の両鎌構造を持つジェットの偏波解析

酒見はる香 (山口大学), Viral Parekh (NRAO), 町田真美 (国立天文台), James O. Chibueze (North-West University), 大村匠 (国立天文台), 赤松弘規 (QUP/KEK), 赤堀卓也 (国立天文台), 中西裕之 (鹿児島大学), Ruby van Rooyen (SARAO), 竹内努 (名古屋大学/統計数理研究所)

衝突銀河団 Abell 3376 内に存在する電波銀河 MRC 0600-399 は特徴的な折れ曲がり構造を持ったジェットを噴出することで知られている。その折れ曲がり、銀河団の衝突に伴うラム圧から予測される方向と逆となっている原因を明らかにするため、我々は電波干渉計 MeerKAT を用いた観測と 3 次元 MHD シミュレーションを行った (Chibueze, Sakemi, Ohmura et al. 2021)。その結果、このジェットが銀河団衝突で形成された接触不連続面に沿う大局的な磁場と相互作用することで折り曲げられていることを明らかにした。しかしながら、先行研究ではジェットの折れ曲がりから約 50 kpc までの構造 (N2) を再現したが、観測で見られるさらに約 50 kpc 細く絞られたまま延びた構造 (N3) をどのように説明するかなど課題が残された。そこで、我々は MeerKAT による偏波観測データの解析を行い、ジェットとその周辺に起因する偏波特性の調査を行った。

その結果、N2 の中間領域は周辺に比べて 10% 以上高い偏波率を示すことがわかった。またジェットに付随する磁場が N2 の中間領域でジェットに対し垂直になることが明らかになった。当該領域では宇宙線電子の再加速の可能性が指摘されており、関連する特徴であると推測される。N3 領域では、視線平行磁場と熱的電子数密度の情報をもつファラデーデプスがその他の領域に比べ 100 rad/m² 程度高くなることがわかった。スペクトルの形状は N2 と大きく変化がないことから、N3 領域にのみファラデースクリーンとなる構造が視線上に存在すると考えられる。本講演ではこれらの結果と N3 形成との関係について報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

T02a 銀河団外縁部のエントロピー測定における前景放射の影響 2

工藤榮奈子, 松下恭子, 小林翔悟, 福島光太郎, 須田一功 (東京理科大学)

銀河団は宇宙の大規模構造から暗黒物質やバリオンの降着により成長する。銀河団が成長することにより降着により起こる衝撃波が強くなるため、銀河団中心から離れるほど銀河団ガスのエントロピーは増加すると予想されていた。しかし、すぐく衛星の観測により、銀河団外縁部では理論予測に反して、エントロピーが上昇しないという結果が得られていた。重力レンズによる重力質量との比較するとバリオン比は宇宙のバリオン比と矛盾はなかった。ただし、 r_{500} より外側で温度が急激に低下していた (e.g. Kawaharada+10, Ichikawa+13, Okabe+14)。銀河団外縁部のような低輝度な放射の検出には、前景放射や背景放射の影響を慎重に評価する必要がある。近年、すぐく衛星により 0.8-1 keV のプラズマからの放射に似た前景放射 (0.8 keV 成分と呼ぶ) が発見された (e.g. Yoshino+09)。この成分は銀河系中心部から天球上に大きく広がる eROSITA バブル領域で特に明るく銀河団外縁部の温度や密度の測定に影響を与える。

本研究では、日本天文学会 2023 年秋季年会にて講演を行った、A1835 銀河団 ($z = 0.253$; Ichikawa+13) および A1689 銀河団 ($z = 0.183$; Kawaharada+10) に加え、さらに数個の銀河団について、すぐく衛星による観測データの再解析を行った。ピリアル半径より外側から検出された 0.8 keV の温度成分の強度は銀河系前景放射と考えて矛盾がなかった。この成分を考慮にいれたすぐく衛星のスペクトル解析の結果、 r_{500} より外側において、0.8 keV 成分を考慮しなかった場合に比べ高い温度が得られた。この結果をもとに得られるエントロピーや圧力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](#)

T03a X 線天文衛星「すぐく」を用いた衝突銀河群探査

原田空凱, 作田皓基, 三石育之 (名古屋大学)

宇宙の力学進化史解明には、その過程の一端を担う衝突銀河群・銀河団観測が重要となる。この中で直接観測可能なバリオンの多くを占める X 線を放射するような高温ガスに着目すると、衝突銀河団サンプルと比べて X 線で暗い衝突銀河群サンプルは少ない。この貴重な衝突サンプルを探すべく、我々はこれまで、比較的小規模だが活発な構造形成が期待される銀河フィラメントの交点近傍に着目し、広がった軟 X 線天体に高い感度を有する X 線天文衛星「すぐく」を用い、衝突銀河群サンプルを効率良く検出してきた (Kawahara et al., 2011 / Mitsuishi et al., 2014)。さらにこの衝突システムの一部では、最も明るい銀河 (BCG) と高温ガスが同一方向に引き伸ばされた形状を示すという特徴が指摘された (Mitsuishi et al., 2014 / Tovmassian et al., 2005)。

我々は引き続き衝突銀河群探査を試みた。今回は非対称な形態を示し相互作用の兆候が見られる BCG を持つ可視光同定銀河群 (McIntosh et al., 2008) に着目した。この中から銀河フィラメントの交点近傍に位置する 3 天体を「すぐく」を用いて観測した。全領域で複数の X 線ピークをもつ不規則形状 X 線ハローを初検出し、これらに対し分光解析を実行した結果、熱的放射が起源であると推定された。温度は 0.9 – 1.5 [keV]、X 線光度は $10^{43} - 10^{44}$ [erg/s] 程度であった (一部は 2015 年秋季年会 三石他)。次に 3 天体の温度と X 線光度を先行研究 (Xue & Wu 2000 / White et al., 1997) にて銀河群・銀河団サンプルで見られたスケールリング則と比較し、3 天体は銀河群・銀河団クラスであることが分かった。さらに衝突銀河群・銀河団システムでは BCG と X 線輝度ピークが大きな空間オフセットを持つことが知られているため (Sanderson et al., 2009)、観測値と先行研究のオフセット基準値を比較した結果、2 領域において衝突系の可能性が示唆された。本講演では、詳細解析結果を述べる。

[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](#)

U01a 広天域銀河サーベイにおける銀河の選択効果が銀河クラスタリング解析に及ぼす影響の研究

野瀬観見 (東京大学), 高田昌広 (Kavli IPMU), 寺澤凌 (東京大学), 小林洋祐 (アリゾナ大学)

標準宇宙 (Λ CDM) モデルは現代宇宙論の最も標準的な宇宙論モデルであり、最低 5 つの宇宙論パラメタのみで特徴づけられる。しかし近年、宇宙初期の情報を持つ CMB (宇宙マイクロ波背景放射) の温度非等方性の観測と、後期宇宙の物質分布の観測との間で推定されるパラメタに差がある可能性が指摘されており、 Λ CDM モデルを超える新たな物理の糸口ではないかと期待されている。銀河クラスタリング宇宙論は後期宇宙の銀河分布から宇宙論パラメタ推定を行う方法の一つであり、パラメタ推定の精度向上が強く求められる分野である。

この銀河クラスタリング宇宙論における大きな課題の一つは、銀河分布と背景の物質分布の間の関係の不定性である。背景物質分布の統計量の理論的予言は容易であるが、その殆どがダークマターであり観測不可能であるため、代わりにそれをある程度反映した銀河分布の統計量を理論予測する必要がある。しかし銀河の形成過程は非常に複雑であるため、この関係は銀河の明るさや色などの性質にも依存し、完全な銀河分布統計量の理論予言は難しい。この不定性を含む関係は宇宙論パラメタ推定における大きな系統誤差の原因となる可能性がある。

本研究はこれに関連して、観測領域中の銀河の性質の非一様性が系統誤差を生む可能性に着目した。例えば、我々は遠くの銀河ほど明るいものしか観測できないため、視線方向で観測される銀河の性質は非一様である。これを選択効果と呼ぶが、一方で既存の銀河クラスタリング宇宙論における全ての理論モデルは観測領域中で一様な銀河の性質を想定し、選択効果を見逃している。本講演ではこの効果が宇宙論パラメタ推定に及ぼす影響を調べた結果を議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

U02a すばる HSC-SSP データを用いた $z \sim 4$ の LBG の自己相関関数と CMB レンズシグナルとの相互相関関数による σ_8 への制限

松本明訓 (東京大学), 大内正己 (国立天文台/東京大学), 宮武直広 (名古屋大学), 播金優一 (東京大学), 新居舜 (名古屋大学), 西澤淳 (岐阜聖徳学園大学/名古屋大学), 小野宜昭 (東京大学), 佐々木大地 (東京大学), Neta, Bahcall (プリンストン大学)

近年、近傍宇宙の観測から推定された物質密度揺らぎの振幅パラメタ $S_8 \equiv \sigma_8 (\Omega_m/0.3)^{0.5}$ の値と CMB の観測から標準宇宙論を仮定して推定した S_8 の間にずれがあることが指摘されている。近傍の観測は主に $z \lesssim 1$ の宇宙に限られているため、より高赤方偏移の観測から制限を与えることはこのずれの原因を調べる上で重要である。そこで我々は、すばる HSC 戦略性観測プログラム (HSC-SSP) で得られたデータからライマンブレイク法を用いて $z \sim 4$ という高赤方偏移で ~ 250 万天体からなるライマンブレイク銀河 (LBG) カタログを作成し、これらの LBG の自己相関関数の計算を行った。しかし一般に、銀河の自己相関関数のみを用いた解析では σ_8 と銀河バイアスが縮退してしまう。一方で、銀河の分布と CMB レンズ (コンバージェンス) との相互相関関数は、 σ_8 と銀河バイアスへの依存性が銀河の自己相関関数の場合と異なるため、これらを組み合わせた解析を行うことで縮退を解くことができる。我々は Planck 衛星による CMB コンバージェンスマップと LBG の相互相関関数の計算も行い、LBG の自己相関と合わせて σ_8 に制限を与えた。さらに、我々は分光探索プロジェクト HETDEX により得られるライマン α 輝線銀河 (LAE) を用い、 $z \sim 2.5$ の宇宙でも同様の解析を行なっている。本講演では HSC-SSP の LBG による $z \sim 4$ での解析の結果と考察に加え、HETDEX の LAE を用いた $z \sim 2.5$ での解析の展望についても紹介する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

U03a 最尤法による銀河・銀河レンズパワースペクトルの推定法とその精度

手良脇大誠 (東京大学/Kavli IPMU), 高田昌広 (Kavli IPMU), 谷口貴紀 (東京大学/Kavli IPMU)

我々が観測する銀河の形状は、光路上にあるダークマターなどの物質分布が引き起こす弱重力レンズ効果によって歪められており、宇宙の構造形成の進行度やダークマターの存在量の推定のための重要な観測量である。また、現在標準的な構造形成シナリオは、ダークマターの密集領域に銀河が形成されることを予言する。以上より、観測者から見て前景にある銀河分布と背景にある銀河形状の歪みは、共に前景銀河周辺のダークマター分布を反映しており、銀河・銀河レンズと呼ばれる相関を持つ。銀河・銀河レンズは、銀河クラスタリングとの組み合わせによって銀河の形成過程の不定性 (銀河バイアス) に対して頑健な解析を可能にするため、これまでに銀河・銀河レンズの二点相関関数を用いた宇宙論解析が多く行われてきた。しかし、そのフーリエ成分であるパワースペクトルや、三次のフーリエ統計量であるバイスペクトルを用いた研究は殆ど為されておらず、こうした統計量に基づく解析によって更なる宇宙論的情報が引き出せるようになると期待されている。

実際のデータに単純なフーリエ解析を施して得られるパワー/バイスペクトルは、観測領域の形状の複雑さや明るい星の影響によるマスク効果の影響を畳み込んでしまい、その理論的解釈が困難になる。本研究では、銀河クラスタリングや CMB で用いられている最尤法に基づく手法を拡張し、上述の観測効果を取り除いた銀河・銀河レンズのパワー/バイスペクトルを推定する手法の開発を行っている。本発表では、実際の観測データを模したシミュレーションデータに対し、本手法によって銀河・銀河レンズのパワースペクトルを測定した結果とその精度について議論する。

[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](#)

U04a

クエーサー吸収線を使用した $z = 0.89$ における宇宙マイクロ波背景放射温度の計測 (II)

小谷竜也, 岡 朋治, 柳原一輝, 金子美由起 (慶應義塾大学), 榎谷玲依 (九州産業大学)

膨張宇宙論は、宇宙が非常に高温・高密度の状態から始まり、宇宙膨張と共に低温・低密度になっていく事を言う。宇宙マイクロ波背景放射 (CMBR) の存在は、その強力な観測的証拠の一つである。CMBR の温度は宇宙年齢と共に変化し、標準宇宙モデルでは現在値 $T_0 = 2.73\text{ K}$ を用いて $T_{\text{CMBR}}(z) = T_0(1+z)$ と表される。このことは、遠方銀河における CMBR 温度の測定によって宇宙モデルが検証できることを示している。PKS1830-211 は、前景にある $z = 0.89$ の渦巻銀河によって、そのスペクトル中に吸収線群を呈する。私たちは、ALMA で観測された PKS1830-211 のミリ波スペクトルから HCN $J=2 \leftarrow 1$ 、 $J=3 \leftarrow 2$ 、 $J=4 \leftarrow 3$ 、 $J=5 \leftarrow 4$ 遷移の吸収スペクトルを取得・解析し、 $z = 0.89$ における CMBR 温度を $5.54 \pm 0.03\text{ K}$ と算出した (小谷他、日本天文学会 2023 年 秋季年会 U15a)。これは Λ -CDM モデルで予測される値 $T_{\text{CMBR}}(z = 0.89) = 5.14\text{ K}$ と非常に近い値である。

今回私たちは、各遷移の吸収スペクトルを複数の視線速度チャンネルに分割し、各チャンネル毎にスペクトル線の光学的厚みを評価した。局所熱力学平衡の仮定の下で各速度チャンネルにおける励起温度 T_{ex} を算出したところ、励起温度に明瞭な速度依存性は見られず、全ての速度チャンネルで $T_{\text{CMBR}}(z = 0.89) = 5.14\text{ K}$ と誤差の範囲内で一致することが分かった。このことは、PKS1830-211 方向の $z = 0.89$ における吸収スペクトルに寄与しているのは低密度の拡散分子雲のみであり、HCN 回転準位の励起が CMBR による放射励起で支配されていることを示している。本講演では、B0218+357 における $z = 0.68$ 吸収線系の解析結果も紹介し、これらの結果が宇宙モデルに与える制限について議論する。

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

U05a

再電離期以前におけるサブハローガス生存性とその 21cm 吸収線光学的深さへの影響

成瀬元希 (名古屋大学), 長谷川賢二 (鈴鹿工業高等専門学校), 門田健司 (中国科学院大学), 田代寛之 (崇城大学), 市来淨興 (名古屋大学)

再電離期以前の宇宙での構造形成やその進化を直接捉えるには、その時代に多量に存在するミニハローを 21cm 吸収線によって観測することが有望であると期待されている。しかし、構造形成やその進化を明らかにする上で、サブハロー中のガスが辿る進化への理解が必要不可欠である。

本研究では、 $10^7 M_\odot h^{-1}$ のホストハローの中でサブハロー 1 つが進化する流体シミュレーションを、サブハローの質量や軌道を様々に変えて複数行うことで、サブハロー中のガスが潮汐力や動圧に対しどのように生き残るかを調べた。その結果、サブハロー中のガスの大部分は動圧によって剥ぎ取られ、さらに小質量のサブハローほど大きくガスを失うことがわかった。一方 21cm 吸収線の光学的深さに対しては、ガス損失がサブハロー 1 つあたりによる寄与を減少させるものの、小質量のサブハローがその存在量によって大きく影響し、ミニハローの光学的深さをおよそ 2 倍増大させることを明らかにした。

本発表の内容は arXiv:2404.01034 [astro-ph.CO] に記載されている。

[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](#)

U06a

銀河形成シミュレーションを用いた輝線銀河クラスタリングによる宇宙論

大里健 (千葉大学), 奥村哲平 (中央研究院天文及天文物理研究所)

遠方宇宙における構造の形成と進化を探索することを目的とした大規模分光サーベイが活発に行われている。これら分光サーベイでは銀河の赤方偏移を測定し、その三次元地図を描き出すことで宇宙の大規模構造を間接的に調べることが可能である。特に近年の分光サーベイで観測対象となる銀河は強い輝線放射によって特徴付けられる輝線銀河である。輝線銀河から放射される輝線は OB 型星といった大質量星が源であり、輝線銀河は比較的若く軽い銀河であるという特徴を持つ。分光サーベイがターゲットとする遠方宇宙 (赤方偏移が 1 から 2 程度) では、星形成が活発であり同時に輝線銀河も数多く存在すると見込まれている。一方で、これまで輝線銀河はこれまで銀河クラスタリング解析に主に用いられてきた重く老いた銀河とは異なる環境に存在することが、準解析的シミュレーションによって示唆されてきた。そこで我々は重力進化とともに放射冷却や超新星・ブラックホールからのフィードバック効果を考慮した銀河形成シミュレーションを用いて、この輝線銀河のクラスタリングを精査する。具体的には、IllustrisTNG 銀河形成シミュレーションのデータを、種族合成モデルに基づいた PEGASE3 コードを用いて各銀河の輝線放射をシミュレートし、現実的な模擬輝線銀河カタログを構築する。この模擬輝線銀河カタログを実際の観測データと見立てて、その相関関数を測定し宇宙論パラメータを推定する。このシミュレーションの初期条件を生成した際の宇宙論パラメータは既知であるので、推定された宇宙論パラメータと直接比較することで、輝線銀河クラスタリングの理論モデルの妥当性を検証する。

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

U07a すばる PFS 宇宙論における銀河パワースペクトル推定法の開発

中野新太朗 (東京大学, Kavli IPMU), 高田昌広 (Kavli IPMU), Jingjing Shi (Kavli IPMU)

すばる Prime Focus Spectrograph (PFS) は約 1.25deg^2 の広視野を有し、約 2400 個の暗い天体を同時分光できる強力な多天体分光装置である。PFS 宇宙論プロジェクトでは、この装置を用いて約 1100deg^2 の広天域、 $0.6 < z < 2.4$ の広い赤方偏移範囲にわたって約 400 万個の [OII] 輝線銀河を分光観測し、銀河の 3 次元地図を作成する予定である。このデータからバリオン音響振動や赤方偏移歪み効果などを精密に測定することで、ニュートリノ質量の測定、ダークエネルギーの性質の解明、あるいは宇宙論スケールでの重力理論の検証が可能となる。

実際の観測では、望遠鏡の主焦点面に配置された約 2400 本のファイバーがそれぞれ天体を捉え分光観測するが、各ファイバーの可動領域が有限である効果、隣り合うファイバー同士の衝突を回避する効果、また較正に用いる星や夜光の測定のためのファイバーなどを考慮してファイバーを割り当てる必要がある。その影響で、ファイバー割り当てによって選択された銀河分布には人工的な非一様性が系統誤差として含まれてしまう可能性があり、得られた銀河分布データから正確にパワースペクトルを推定する手法の開発は喫緊の課題の一つである。

我々は PFS の観測から期待される 3 次元の銀河地図から、ファイバー割り当てに起因する効果に影響されずに銀河パワースペクトルを正確に測定するためのパイプラインを開発している。本講演では、PFS 分光観測における銀河パワースペクトルの推定法と、ファイバー割り当てによる系統誤差を抑制するデータの重み付け、およびランダムカタログの仕様要求について議論する。

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

U08a 銀河・楕円率相関スペクトルの赤方偏移空間ゆがみと摂動論的理論モデル

樽家篤史 (基礎物理学研究所), 栗田智貴 (マックス・プランク天体物理学研究所), 奥村哲平 (中央研究院天文及天文物理学研究所)

銀河分光サーベイから得られる銀河分布の 3 次元地図は、宇宙論に強力な検証手段を提供する。この地図の奥行き位置情報は、ドップラー効果を通じて銀河の特異速度の影響を受けるため、作成された地図は、見かけ上、非等方になる。しかしながら、「赤方偏移空間ゆがみ」と呼ばれるこの非等方性を利用することで重力による構造の成長率が測定でき、宇宙論的な大スケールでの一般相対論の検証に役立てることができる。

これまで、赤方偏移空間ゆがみを用いた構造の成長率の測定は、銀河の位置情報のみを用いて行われてきたが、我々の研究により、はじめて銀河が持つ固有の向き情報を組み合わせて測定することに成功した (Okumura & Taruya, ApJ.Lett. **945**, id. L30 ('23))。その結果、従来に比べ、測定精度が最大で 19% 向上したことを昨年秋の年会にて報告した (講演番号 U04a)。この成果はアーカイブデータにもとづくもので、今後の観測では、さらなる精度向上が期待される。そのため、構造の成長率を測定する際に用いる 2 点統計量の理論予言も、より精度の高いものが必要となる。

銀河の位置・固有の向き情報を組み合わせた将来の構造の成長率測定に向けて、本講演では、銀河・楕円率相関に着目し、開発を進めた理論テンプレートについて報告する。摂動論的計算手法を用いつつも、赤方偏移空間ゆがみの非摂動的な影響を取り入れたパワースペクトルの理論テンプレートは、弱非線形領域において、従来のものより正確に構造の成長率測定が可能である。本講演では、シミュレーションを用いた理論テンプレートの検証結果について示し、観測への応用に向けた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](#)

U09a 弱重力レンズシミュレーションにおける Super-Sample Covariance が高次統計量に与える影響

常盤晟 (東京大学, Kavli IPMU), Jia Liu (Kavli IPMU), Joaquin Armijo (Kavli IPMU), Adrian Bayer (プリンストン大学), 高田昌広 (Kavli IPMU), 寺澤凌 (東京大学, Kavli IPMU)

一般的に、弱重力レンズ効果の観測量の模擬カタログの構築には計算コストを低減するため、小さな体積のシミュレーションボックスを周期境界条件で作成し、これらを組み合わせて光円錐を構成する手法が用いられる。この際、誤差共分散にボックスサイズを超える波長の揺らぎとのモードカップリングを考慮していないことによる寄与 (Super-sample Covariance, SSC) が生じる。SSC は非線形領域における統計量に特に顕著な影響を与えるため (Takada & Hu 2013)、正確な宇宙論解析にはこれを考慮することが不可欠である。先行研究 (Bayer et al. 2023) では、標準的な 3 次元統計量に対する SSC の影響を調査されているが、2 次元に射影された高次統計量に対する SSC の影響は未だ十分に理解されていない。本研究では弱重力レンズの非ガウス性に感度を持つ統計量として、高次統計量 (PDF, Peak Counts, Minima Counts, bispectrum) に対する SSC の影響を調査した。

本講演では、異なるサーベイの観測条件におけるノイズの影響を考慮した弱重力レンズシミュレーションを用いて、高次統計量に対する SSC の影響を報告する。具体的には、各観測条件における全体の誤差共分散に対する SSC の寄与を評価し、共分散行列の非対角成分に着目して異なる統計量間の相互共分散における SSC の影響を詳細に解析した。これにより、SSC が高次統計量に与える影響を定量的に明らかにし、今後の宇宙論解析における SSC の重要性を議論する。

[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](#)

U10a スペクトル指数のランニングを考慮したモデルによる銀河弱重力レンズ効果と CMB 弱重力レンズ効果の同時解析

寺澤凌 (東京大学, Kavli IPMU), 高田昌広 (Kavli IPMU), 杉山素直 (University of Pennsylvania), 栗田智貴 (Max Planck Institute for Astrophysics)

標準宇宙モデルによる宇宙論解析では、現在の構造形成の進行度合いを表す宇宙論パラメータ S_8 について、宇宙マイクロ波背景放射 (CMB) や CMB 弱重力レンズ効果といった大スケールの観測から測定される値と、すばる Hyper Suprime-Cam (HSC) などによる銀河弱重力レンズ効果等の小スケールに感度を持つ観測から測定した値の間に 2σ 程度の不一致が報告されている。この不一致は S_8 テンションと呼ばれ、観測の系統誤差によるものでなければ標準宇宙モデルを超える物理を示唆する。

標準宇宙モデルではインフレーションで作られる揺らぎの原始パワースペクトルのスペクトル指数は定数と仮定されるが、一般にはスペクトル指数はランニングと呼ばれる波数依存性を持つ。本講演では、原始パワースペクトルのスペクトル指数に波数依存性を導入することにより、大スケールと小スケールの観測の間のテンションを緩和する試みについて議論する。我々は、すばる HSC 3 年度の銀河弱重力レンズ効果の観測データと Atacama Cosmology Telescope (ACT) DR6 の CMB 弱重力レンズ効果の観測データを同時に解析した。原始パワースペクトルのパラメータについてパラメータ推定を行った結果、負のランニングによって両方のデータをよく説明できることがわかった。また、このランニングパラメータの値は CMB データからの制限とも整合的であった。最後に、Planck 衛星による CMB データとの同時解析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](#)

U11b A New Explanation for Space and Whether It Is Unlimited or Limited

Gh. Saleh (Saleh Research Centre), M. J. Faraji (Saleh Research Centre), A. R. Bina (Saleh Research Centre)

Undoubtedly, the observed matter in the current universe has a beginning and an end; in other words, it has a starting point and a finishing point. Interestingly, the quantity of this matter remains constant (the principle of the conservation of energy). Since the Big Bang, matter and particles have transformed but have not disappeared; they change into various forms, such as cosmic dusts that transform into stars and celestial objects. However, it is crucial to understand that the principle of the infinitude of space than the finitude of matter is valid. In other words, we refer to filled space as matter and vacuum as space. Given the constancy of matter and the infinitude of space, it can be said that changes in matter result in time changes, but there is no well-known concept of space changes. Since empty space (vacuum) is zero and whether any number multiplied by zero remains zero. From the beginning, there has been empty space, while finite and constant matter appears at a point like the universe and disappears. Therefore, changes occur in matter, but in empty space, there is a long silence and imperceptible changes in the universe. Generally, if matter moves within a closed system and has a frequency or oscillation, time can be said to be defined in that system. Essentially, time is a parameter dependent on changes in matter within an infinite 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](#)

U12a 電波銀河を重力源とした CMB 重力レンズ断層化法とその宇宙論的示唆について

新居 舜, 宮武広直 (名古屋大学素粒子宇宙研究所), 西澤淳 (岐阜聖徳学園大学), John Peacock (エディンバラ大学)

CMB 重力レンズ効果は、大規模構造がつくる非一様な重力場により CMB 光子の測地線が歪曲する現象である。CMB 重力レンズ信号は、CMB 温度揺らぎの収束場成分と既知の銀河をトレーサにした大規模構造の空間分布との角度相互相関を取ることで、赤方偏移と角度の関数として抽出される。CMB 重力レンズ信号の理論予言は、宇宙の構成物質/エネルギーの種別や重力法則に依存する。そこで、信号と予言を比較することで宇宙論および基礎物理が検証できる。近年、M.Bilki and J.Peacock 2018 では、2MPZ/WISExSCOSMOS/SDSS で構成された銀河カタログを用いた CMB 重力レンズ信号の抽出を行い、構造形成の成長率の時間進化に新たな制限を与えた。一方で、さらに高赤方偏移における重力レンズ信号はほとんど測定されていない。これは、重力レンズ源の赤方偏移の不定性が大いことに起因する。我々は、高赤方偏移における CMB 重力レンズ源の kernel 関数を、赤方偏移が既知の参照となる銀河サンプルとの角度相互相関を取ることでデータから復元する手法を実際のデータに適用した。CMB 重力レンズの収束場は Planck PR4 (Carron et.al 2022) のデータを用いた。レンズ源となる銀河サンプルは、NVSS/SUMSS (1.4GHz) を用いた。参照サンプルは $0 \lesssim z \lesssim 3$ の SDSS の分光銀河と Gaia DR3 の測光観測で得られたクエーサーを用いた。本講演では、電波銀河を重力源とする $z > 2$ 以上の領域にある CMB 重力レンズ効果を初めて同定したことを報告する。加えて、 $z > 2$ における密度揺らぎの振幅の値について、Gaia DR3 のクエーサーから得られた値との整合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](#)

U13a 動径作用変数を用いたダークマターハロー内の冪的密度構造の解析

柄本耀介 (京都大学), 樽家篤史 (基礎物理学研究所), 西道啓博 (京都産業大学)

小スケールにおけるダークマターモデルの検証においては、ダークマターハロー内部構造の定量的理解が必要不可欠である。特に、冷たい暗黒物質 (Cold Dark Matter, CDM) モデルの場合、3次元のシート状の CDM 分布が幾重にも畳み込まれたマルチストリーム構造を、ハロー内 6 次元位相空間上で定量的に理解する必要がある。我々はこれまで、宇宙論的 N 体シミュレーションを用いてダークマター粒子を軌道遠点通過数で分類し、ハロー内部の個々のストリームを分解して自己相似解との比較を行った。また、分類した粒子の動径密度分布がハローの質量によらずに、中心部が ~ 1 、外縁部が ~ 8 となる二重冪則で表されることを発見した (Enomoto, et al., 2024)。

本研究では、この普遍的構造を用いたダークマターモデル峻別の可能性を検証するべく、新たに 1keV と 0.5keV の質量を持つ暖かいダークマターモデル (WDM) のシミュレーションを行い、同様の解析を行なった。その結果、いずれのモデルにおいても、ハロー内に同様の普遍的構造があることが確認された。また、より観測量に近い量として動径作用変数 J_r に着目し、シミュレーション粒子を J_r で分類し、それらの密度分布を解析した。その結果、どのダークマターモデルでも中心部の冪が ~ 1 となる一方で、モデルごとに密度の振幅が異なることを発見した。本講演ではこれらの成果と、先行研究で提案されたハロー内の動径作用変数分布 (Pontzen & Governato, 2013) との関連についても議論する。

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

U14a 冷たい暗黒物質のシェルクロッシング後のダイナミクス

嵯峨承平 (名古屋大学), Stéphane Colombi (パリ天体物理学研究所), 樽家篤史 (京都大学)

本講演では、宇宙の大規模構造の進化に支配的な影響を及ぼしていると考えられる、冷たい暗黒物質のダイナミクスについて着目する。冷たい暗黒物質は、ヴラゾフ・ポアソン方程式に従う自己重力無衝突流体としてモデル化される。冷たい性質は、暗黒物質の位相空間構造が 6 次元位相空間中を運動する 3 次元シートとして記述されることを意味する。初期では、位相空間は速度場に対して一価関数 (シングルストリーム) であるが、自己重力下での非線形進化の帰結として、位相空間は自己交差 (シェルクロッシング) し速度場に対する多価関数 (マルチストリーム) となる。

初期の冷たい暗黒物質流体の小さなゆらぎから自己重力によって成長した結果、形成される最初の構造は扁平なパンケーキ構造であることが知られている。我々はシェルクロッシング直後のパンケーキ構造が作る重力場を調べ、シェルクロッシング方向に沿った力の解析的公式を導出した。この公式は、シングルストリームおよびマルチストリームの両方の状況に適用できる。この公式を正弦波的密度分布で与えられる初期条件に対して、ヴラゾフ・ポアソンシミュレーションの結果と比較することで有効性を検証した。本結果は、3次元空間におけるシェルクロッシング後も記述することができる解析的理論の構築のための基礎となると考えられ、宇宙の大規模構造における 2 点統計量の理論モデルの改善へ応用が期待できる。

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

U15a 重力赤方偏移による一般相対性理論検証のための重力ポテンシャル導出手法の開発

田中賢, 樽家篤史 (京都大学), 西道啓博 (京都産業大学), 石川将吾 (日本大学), 嵯峨承平 (名古屋大学)

分光銀河サーベイから求まる銀河の奥行きと位置情報には、銀河の特異速度の影響がドップラー効果を通じて系統的に含まれることが知られているが、その他、寄与は小さいものの銀河周りの重力ポテンシャルに由来する重力赤方偏移の影響も含まれている。この重力赤方偏移効果を測定できれば、宇宙論的スケールでの等価原理が検証でき、Saga et al. MNRAS 524, 4472-4481 ('23) などで測定に向けた方法論が検討されている。そのため、今後の観測データから検証を行う上でも、シミュレーションから重力赤方偏移 (重力ポテンシャル) を定量的に評価する方法を確立することが重要となる。

本講演では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 をベースに開発した TreePM 法による高効率な宇宙論的 N 体シミュレーションコード GINKAKU を用いて N 体粒子へ近距離からの tree と遠距離からの PM の寄与の重力ポテンシャルを割り当てることにより、同定されるダークマターハローに宇宙論的な重力ポテンシャルを持たせることが可能とする手法を紹介する。その際に別のシミュレーションコードである GADGET4 から出力する粒子の重力ポテンシャルや先行研究でよく用いられているハローの近傍数の粒子を数え上げて導出する重力ポテンシャルとの比較を双極子モーメントなどを用いて説明する。今回の講演では、主にある時刻のスナップショットを元にした重力赤方偏移の議論を行うが、間に合えばこの手法を発展させた Lightcone 出力ハローでの重力赤方偏移の結果も紹介する予定である。

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

U16a 宇宙の大規模構造から探る原始密度ゆらぎの非等方性：銀河の固有形状による検証精度向上の可能性

湊恵太 (京都大学), 樽家篤史 (基礎物理学研究所), 奥村哲平 (中央研究院天文及天文物理研究所), 栗田智貴 (マックス・プランク天体物理学研究所), 白石希典 (公立諏訪東京理科大学)

原始密度ゆらぎの統計的な非等方性の検証は、乱立するインフレーションモデルを峻別するための重要な手段のひとつである。最も標準的とされるインフレーションモデルから生成される原始密度ゆらぎの統計性は一様かつ等方であるが、宇宙マイクロ波背景放射 (CMB) の観測データには原始密度ゆらぎの双極子の非等方性の存在を示唆する兆候が確認されている (Eriksen et al., 2004)。今後、統計的有意性の向上が課題であるが、コスミックバリエーションのため CMB の観測からこれ以上の精度改善は困難と考えられている。

本講演では、CMB 観測から示唆される原始密度ゆらぎの双極子の非等方性を独立に検証するため、銀河サーベイにもとづく宇宙の大規模構造の観測に着目する。先行研究 (Shiraishi et al., 2017) では、銀河の 3 次元分布を用いて CMB 観測の結果を独立に検証する方法が提案され、従来の手法よりも高い精度で非等方性を検証できるという結論が得られている。本研究では銀河の 3 次元分布に加え、銀河の固有形状の情報を取り入れた場合についてフィッシャー解析を行い、非等方性の検証精度がどれだけ向上するか調べた。その結果、非等方性の振幅がスケールに依らず CMB の観測データから示唆される大きさである場合には、精度の向上はたかだか数%にとどまることが明らかになった。加えて非等方性がスケールに依る場合の結果についても報告し、固有形状を取り入れる効果の大きくなる条件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](#)

U17a 将来のパルサータイミングアレイ観測に向けた連続重力波特定手法の開発

古澤和也 (名古屋大学), 黒柳幸子 (マドリッド自治大学, 名古屋大学), 市来淨興 (名古屋大学)

パルサータイミングアレイ (PTA) は、パルサーにより生成される周期的なパルス信号の遅れから重力波を検出す観測手法であり、複数のパルサーからの信号を組み合わせて超低周波数帯 (10^{-7} - 10^{-9} Hz) の重力波の検出を行う。昨年、世界中の PTA 観測チームにより、多数の重力波の重ね合わせによって生じる背景重力波の存在を示す証拠 (空間相関) が確認された。今後の更なる観測データの蓄積により、背景重力波の検出、及びその起源が明らかになると考えられている。

この背景重力波の起源の最有力候補として、多数の超大質量ブラックホール (SMBH) 同士の合体が挙げられている。Square Kilometer Array (SKA) 計画における将来の PTA 観測は、解像できない背景重力波成分に加えて、シグナルの大きい個々の SMBH 合体からの連続重力波を多数観測可能な精度を持つ。そのため将来の PTA では、複数の連続重力波と解像できない背景重力波が同時に存在するような状況が実現すると予想される。

このような状況下において、個々の SMBH 連星系からの連続重力波を正確に特定する解析手法を開発するために、本研究では地上重力波検出器 LIGO での連続重力波解析で用いられている $\mathcal{F}$ -統計という手法を検討する。従来の $\mathcal{F}$ -統計を用いて背景重力波を構成する多数の波源を同時に分解しようとすると、特定するパラメータの数が膨大となるため、正確な連続重力波の特定ができない。この問題に対し、解像できない背景重力波をまとめて取り扱う新たなモデル化を提案し、 $\mathcal{F}$ -統計を SMBH 由来の重力波観測に適する形に改良することを試みる。本講演では連続重力波と背景重力波が同時に存在する PTA 観測の模擬データセットを用いて、この $\mathcal{F}$ -統計による連続重力波の特定精度を評価し、将来 PTA における実用的な解析手法の確立に向けた今後の展望を議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

U18a Dark Quest II: 伝播関数による赤方偏移空間の大スケール揺らぎモデリング

西道 啓博 (京都産業大学)

現行および将来の広域・深宇宙銀河掃天観測データから正確な宇宙論的情報を引き出すには、銀河がトレースする宇宙の大規模構造の精密なモデリングが不可欠である。エミュレータは、高計算コストの数値シミュレーションを多数の宇宙論パラメータで用意し、これを機械学習にかけることで、低コストの統計モデルに置き換える技術である。これにより、数値シミュレーションの精度を保ちながら高速に予測し、数万~100 万回の関数評価が必要なベイズ推定に活用できる。我々が推進する Dark Quest 計画では、銀河形成や進化の詳細には立ち入らず、 $10^{12} h^{-1} M_{\odot}$ 以上のダークマターハローの質量関数と 2 点相関関数、そして物質全体の密度場との相互相関関数を、宇宙論パラメータ、ハローの質量、赤方偏移の関数として学習し、解析的なハロー・銀河対応モデルを採用することで、銀河の射影相関関数と銀河・銀河レンズ効果の統合解析が可能な汎用モデルの構築を実現した。

Dark Quest 第 2 期では、銀河の特異速度場による赤方偏移歪みの精密なモデル化に取り組んでいる。 $10 h^{-1} \text{Mpc}$ 以上の大スケールの構造には赤方偏移歪みの他、バリオン音響振動などの重要な効果が含まれている。しかるに、 $\sim \text{Gpc}^3$ のシミュレーション体積を用意してもサンプル分散が大きく、解像度への要求と両立して解消することは難しい。そこで、摂動論の文脈で開発された伝播関数を赤方偏移空間のハローの分布に応用し、大スケールの不定性を大きく低減する手法を開発した。伝播関数は、線形揺らぎと目的とする揺らぎとの相互相関として書け、シミュレーション内でサンプル分散の影響をほとんど受けずに測定できる。伝播関数の持つ単純な波数ベクトル依存性を手掛かりに、これを単純な関数の組み合わせと多重極展開によりパラメトリックに表現した。得られたモデルは、ハローの質量や中心集中度などの特徴量に依らず、シミュレーションをよく再現することを確認した。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

U19a Dark Quest II: 宇宙論エミュレータによるハローアセンブリバイアスのモデリング

石川 慶太郎 (京都産業大), 宮武 広直 (名古屋大), 田中 賢 (京都大), 砂山 朋美 (アリゾナ大)

物質の空間分布は標準宇宙模型および暗黒物質・暗黒エネルギーの性質に感度を持つ。銀河や暗黒物質の高密度領域 (以下、ハロー) の空間分布は銀河クラスタリングなどを用いて測定可能であるが、暗黒物質の空間分布を厳密に再現しない。ハローと暗黒物質の分布のずれを表すハローバイアスの大きさはハローの質量に強く依存するが、その他のハローの性質 (中心集中度など) にも二次的に依存することが知られている (Wechsler et al. 2006)。これをアセンブリ・バイアスと呼ぶ。今後 10 年の観測データの急速な増加および観測領域の拡大により統計精度が飛躍的に向上することで、実観測に対する解析ではアセンブリ・バイアスの考慮の有無で標準宇宙論パラメータの制限に大きな影響を与えることがわかっている (Miyatake et al. 2022)。それゆえに、理論モデルにおいてこの系統誤差の影響を最小化した上で、標準宇宙模型を徹底検証する必要がある。本研究ではこのアセンブリ・バイアスを調査するため、Dark Quest II シミュレーションデータを用いて、ハローの中心集中度に着目した相関関数の振幅の違いを調べた。また、異なる質量と中心集中度をもつハローサンプルの間の相互相関関数を網羅的に計算し、これの特徴づける 4 つのパラメータ (M_1 , M_2 , c_1 , c_2) を入力とする順伝播型ニューラルネットワークで学習させた。学習の際、層の数やユニットの数などのハイパーパラメータは、自動最適化フレームワーク (Optuna) を使用して決定した。その結果、これまで知られていたアセンブリ・バイアスのハロー質量に対する非自明な依存性を再現し、任意の質量・中心集中度で精度良く予測することを可能とした。

[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](#)

U20a Impact of Reionization History on Constraining Primordial Gravitational Waves with Cosmic Microwave Background B-modes

Hanchun Jiang, The University of Tokyo, Toshiya Namikawa, Kavli IPMU

Primordial gravitational waves (PGWs) predicted by cosmic inflation are not yet confirmed by observations. Detecting B-modes from PGWs is one of the main goals of ongoing and future cosmic microwave background (CMB) experiments. The prediction of the B-mode power spectrum from PGWs depends on not only the tensor-to-scalar ratio (r) but also the reionization history. In this talk, we show the impact of the uncertainty of the reionization history on constraining r . We employ various reionization models, including the exponential model, the double reionization model, and random models, to calculate the corresponding CMB B-mode signals. We show that an incorrect model of reionization history can lead to a non-negligible bias on r . Specifically, with more random reionization histories and smaller r values, constraining PGWs becomes more challenging. This highlights the importance of accurately characterizing reionization history to constrain r .

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

U21a 時間変化を考慮した非等方な宇宙複屈折効果の解析

並河俊弥

宇宙マイクロ波背景放射 (CMB) の光子は、パリティ対称性を破る超軽量 axion との相互作用によって伝搬中に「複屈折」し、直線偏光面が回転する。この複屈折効果によって観測される CMB の E/B モード偏光は混合する。これを E/B モード偏光の相互相関関数 (EB 相関) を用いて測定すれば、超軽量 axion を検証できる。超軽量 axion 場の空間的な揺らぎは、各視線方向で異なる回転角を生み、非等方な複屈折効果となる。

これまでの研究では、非等方な複屈折効果を計算するさい、最終散乱面は瞬間的で、再結合期での超軽量 axion 場の揺らぎの時間変動は無視されてきた。また、観測データから非等方な複屈折効果を測定するさいには、CMB 光子は再結合期から飛来するものと仮定されてきたため、再イオン化で生じた CMB 偏光に対する非等方な複屈折効果は測定されてこなかった。しかし、非等方な複屈折効果を通じて超軽量 axion などのモデルを制限する場合、時間変動の寄与を正しく取り入れる必要がある。

本講演では、非等方な複屈折効果の時間変化を考慮し、最新の CMB 偏光データを解析した結果を報告する。特に、最終散乱面の厚みを考慮した場合の B モード・パワースペクトルの計算や、再イオン化で生じた CMB 偏光への非等方な複屈折効果に対する制限について紹介する。

[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](#)

U22a

Information content in anisotropic cosmological fields: Impact of different multi-pole expansion scheme for galaxy density and ellipticity correlations

井上拓也 (国立台湾大学, 中央研究院天文及天文物理研究所)、奥村哲平 (中央研究院天文及天文物理研究所)、嵯峨承平 (名古屋大学)、樽家篤史 (京都大学基礎物理学研究所)

現在の宇宙の加速膨張の原因と考えられている未知のダークエネルギーの性質及び、宇宙論スケールにおける重力理論の検証を行うために、銀河サーベイから得られる銀河の3次元分布の非等方性が利用されてきた。銀河の固有速度や赤方偏移及び角度から共動距離を推定する際の誤った宇宙論の仮定によって生じるこの非等方性は2点統計量の多重極成分を用いて検出でき、宇宙の構造成長率パラメーターや幾何学的距離の制限が可能である。近年の研究から、銀河の固有形状もまた有益な宇宙論的情報を含んでいることが報告されている。銀河分布や固有形状の2点統計量に対して、これまではルジャンドル多項式を用いた多重極展開がよく用いられてきた。銀河分布とは違って、銀河形状は視線方向に沿って射影された2次元のイメージとして観測されるため、幾何学的な非等方性を持つが、このような非等方性を持つ固有形状場の自己相関、銀河分布との相互相関に対して、どのような展開の仕方(基底)が宇宙論的な情報をより多く抽出するために最適であるかは明らかになっていない。本講演では、フィッシャー解析を通して、3次元の銀河の分布と固有形状から得られるパワースペクトルに対して、従来のルジャンドル多項式だけでなく、ルジャンドル陪関数を適用した多重極成分がそれぞれどの程度の宇宙論的情報を持つのか、構造成長率や幾何学的距離の制限にどのような影響を与えるのかを報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

U23a

Proving the Manner of End of the Universe by Using Mathematical and Physical Calculations and the Hubble's Law

Gh. Saleh (Saleh Research Centre)

Given that the universe originated from the Big Bang, an explosive event, it can be inferred that the universe continues to expand. Considering the universe's rotational and linear motions, we can formulate equations of motion for the cosmos. Additionally, we have estimated the initial energy released from the Big Bang explosion. A portion of this energy is utilized in the formation of galaxies and stars, and the amount of initial energy is reduced. Thus, it can be concluded that the universe's linear velocity decreases over time, eventually reaching zero. At this point, the rotational energy peaks. Using these energy dynamics, we propose that approximately 29 billion years after the Big Bang, the universe will reach a state of stagnation, where its linear velocity becomes zero and its rotational velocity reaches its maximum, causing the universe to revert to its initial state.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V101a テラヘルツ強度干渉計の特徴と将来性について

松尾 宏, 江澤 元 (国立天文台), 丹羽綾子, 小関知宏 (筑波大学)

ハンブリーブラウンとツイスの実験で知られる強度干渉計は、将来の遠赤外線テラヘルツ波領域の高解像度観測で有用な技術となる可能性がある。我々は熱光源からの光子バンチを用いた遅延時間測定を用いて、強度干渉計による開口合成を実現するための実験室実証を進めている (2023 年秋季年会 V102a, V103a, V117b)。

本講演では、従来型の電界振幅を用いた振幅干渉計 (ALMA などのヘテロダイン干渉計を含む) に対して強度干渉計が持つ特徴を示し、どのような天体観測で威力を発揮するのかを議論する。

強度干渉計の特徴は、1) 電界の 2 乗である強度の相関を用いること、2) 直接検出器を用いることができること、3) 強度相関が位相揺らぎに対して安定であること、4) データ記録後の相関処理が可能なこと、5) 素子アンテナの数に制限がないことである。一方で、6) 強度相関が振幅相関の 2 乗で減少すること、7) 十分な遅延時間精度を得るために高い S/N 比での観測が必要となることがあり、強度干渉計が威力を発揮できる条件に限られる。

具体的な例として、南極高地からのテラヘルツ強度干渉計では、位相揺らぎに対する安定性を生かして高輝度天体の長基線干渉計観測が可能である。また、スペース遠赤外線干渉計では、光子計数型検出器を用いることで背景放射限界の感度を実現し、ヘテロダイン干渉計と比較して約 5 桁の高感度 (受信機雑音温度で約 10 mK) の遠赤外線干渉計が実現できる。

講演では、南極テラヘルツ干渉計とスペース遠赤外線干渉計による天体観測性能について具体的に示すと共に、実験室における実証実験の成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](#)

V102a 強度干渉計の画像合成に向けた極低温高速読み出し回路の開発

小関知宏 (筑波大学), 丹羽綾子 (筑波大学), 松尾宏 (国立天文台), 江澤元 (国立天文台)

我々は光子検出器を用いることで光子の統計的揺らぎから遅延時間を測定し、強度干渉計で画像合成を行うための実証試験のシステムを構築している。黒体光源から放射された光子は、ボーズ・アインシュタイン統計に従う。これにより、検出される光子信号の揺らぎが生じ、望遠鏡に到達する電波の遅延時間を決定できる。遅延時間の決定精度を高めるためには、検出器と読み出し系が高速動作しなくてはならない。そのため、検出器には 500 GHz 帯に対応した SIS 接合を用いた直接検出器を採用している。この検出器は、他の光検出器と比較して高い応答速度が期待できる。一方で、2 pA の低リーク電流を実現するために高いダイナミックインピーダンスを持っており、インピーダンス変換をしなければ高速読み出しの実現はできない。我々は、インピーダンス変換を 0.8 K と 4 K の 2 段のソースフォロワー回路で行い、高速読み出しを実現する。ソースフォロワー回路には、極低温で動作する GaAs JFET および GaAs HEMT を使用し、これまで極低温評価を行い、低温の評価結果より出力インピーダンスを 50 Ω 程度まで変換可能であることを確認した。動作速度は 2 段のソースフォロワー回路間が遅延要因となり 82 MHz と見込んでいる。GaAs HEMT を用いたソースフォロワー回路では、100 MHz 以上の動作速度を達成した。一方、初段から 2 段目へのソースフォロワー回路の伝送速度は 82 MHz には至っておらず改良を進めている。

本講演では、現在の高周波化に向けた取り組みと今後の強度干渉計実験について報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V103a International Mars Ice Mapper 計画を見据えたテラヘルツヘテロダイン分光センサーの検討状況 - Measurement Definition Team の議論を踏まえて -

前澤裕之、藤春日菜子 (大阪公立大学), 佐川英夫 (京都産業大学), 青木翔平, 今村剛, 関華奈子 (東京大学), 黒田剛史, 寺田直樹 (東北大学), 西堀俊幸, 山崎敦 (JAXA), 他 THSS チーム

火星の宇宙天気・気候・水環境探査/周回・探査技術実証を目指す MACO+では、将来の国際 Mars Ice Mapper(MIM) 計画との協同も視野に、火星のハビタブル環境の持続性の理解に向け、火星宇宙天気・気候・水環境の探査・調査を見据えている。MIM では、将来の有人活動のために合成開口レーダーを用いた周回機から火星表層下の水や氷の分布を調査する狙いである。我々が MIM のサブサイエンス測器として提案しているテラヘルツヘテロダイ分光センサー (THSS) は、火星大気物質循環、居住可能な地球型惑星の大気の普遍的な特性と多様性を包括的に理解するための科学機器であり、MIM の Measurement Definition Team(MDT) でも高い評価を得た (I-MIM, Reconnaissance/Science MDT, Final Report, 2022)。

THSS は背景光源が不要なために広域の 4D 観測が可能である。また、火星の大気散逸を促進するような強い上昇流を伴う大規模全球ダストストームの時期でも大気内部を見通せる他、表層の水・氷と大気の相互作用を含む、境界層から 100km を超える高層までの大気結合・物質循環・大気化学をシームレスに捉えることができる。これらのデータを大気大循環モデルへ同化することで、火星の気象・気候予測や探査機の着陸の精度向上にも重要な役割を果たすと期待される。THSS では常温動作の 0.4~0.9 THz 帯ミキサ検出器の搭載を想定しており、MDT での検討・議論を踏まえ、現在新たに子午面循環と東西循環の 2 つの直交成分をリムサウンディングする仕様を検討しており、ナディア観測では大気重力波も捉える計画である。これら一連の検討状況を報告・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](#)

V104a 月面天文台 TSUKUYOMI の実現に向けた概念設計検討 5

井口聖 (自然科学研究機構国立天文台)、山田亨 (JAXA 宇宙科学研究所)、山崎康正 (自然科学研究機構国立天文台)、山内大介 (岡山理科大学)、松本健、大西利和 (大阪公立大学)、土屋史紀 (東北大学)、高橋慶太郎 (熊本大学)、磯部直樹、岩田隆浩、宇佐美尚人、関本裕太郎、宮崎康行、佐伯孝尚、森治、吉光徹雄 (JAXA 宇宙科学研究所)

我々はこれまで日本天文学会の年会などを通じて月面天文台構想に関する科学目的 (2022 年秋 U09a、2023 年秋 Z216b)、概念設計とフィジビリティ検討 (2022 年秋 V132a、V133a、2023 年春 V138a、2023 年秋 V141a、V141a、2024 年春 V107a、V108b) について報告を行ってきた。本構想では、特に星形成や宇宙再電離の影響を受けず純粹に宇宙論のみで決まるとされる「暗黒時代における 21cm 線グローバルシグナル (空間的な平均温度)」の検出を目指す検討を中心にシステム設計およびフィジビリティ検討を行ってきた。本講演では、21cm 線グローバルシグナルの検出に向けたさらなる概念設計の検討結果について報告する。これまで 1–50 MHz と最高周波数と最低周波数の比が 50 倍になる観測帯域を検討してきた。そこで天の川銀河放射がシステム雑音に対して支配的である中、低雑音でフラットなバンドパスレスポンスを持つ受信システムを構築するべく、5m ダイポールアンテナと初段増幅器を検討し (松本他 本年会)、アンテナ能率が観測感度特性にどう影響するかを検討した (山崎他 本年会)。これらを踏まえ、天の川銀河放射スペクトル、アンテナビームパターンとその周波数特性、初段増幅器とアナログ回路およびデジタル回路を含めた全システム全体での感度特性を評価することで、アンテナ台数、観測 (積分) 時間、周波数分解能、そして観測帯域といった主要な科学要求を検討した。本講演では、これに加えて、検出精度にとって重要なバンドパスレスポンスの要求や回路の校正方法についての検討結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](#)

V105a 月面天文台 TSUKUYOMI における電圧増幅システムへの性能要求

松本健、大西利和、小川英夫 (大阪公立大学)、井口聖、山崎康正 (自然科学研究機構国立天文台)、山内大介 (岡山理科大学)、土屋史紀 (東北大学)、高橋慶太郎 (熊本大学)、山田亨、磯部直樹、岩田隆浩、宇佐美尚人、関本裕太郎、宮崎康行、佐伯孝尚、森治、吉光徹雄 (JAXA 宇宙科学研究所)

月面の裏側での 50 MHz 以下の低周波電波観測には、地球の電離層による反射や人工電波源での電波汚染により、地上では困難とされてきた宇宙再電離期以前の観測的研究の実現が期待される。我々、月面天文台 TSUKUYOMI では、暗黒時代に相当する中性水素 21 cm 線グローバルシグナル検出を目標としたシステム設計を進めている。

理論モデルから予測される CMB に対して約 40 mK ほどの微かな吸収線の検出には、平坦な周波数特性を 1–50 MHz 帯にわたる広帯域で実現することが重要である。扱う波長が長いことから、アンテナ・プレアンプ間を集中定数回路による電圧増幅を行い、広帯域性能を保持する。周波数が小さくなるにつれ放射抵抗の値が減少するショートダイポールによるアンテナ受信により、主な雑音源となる銀河系からの前景放射がもつ 3 桁以上に及ぶ温度差を抑制する。松本他 2024 年春季年会では、アンテナがもつリアクタンス成分とプレアンプがもつ入力容量・回路の浮遊容量の相互作用が、周波数応答やアンテナ感度に大きく影響を与えることを示した。今回我々は、回路の容量性も考慮した雑音見積を行い、プレアンプの雑音電圧密度を $2 \text{ nV}/\sqrt{\text{Hz}}$ 以下に保ち、回路全体の浮遊容量を 25 pF に抑えることで、前景放射に比べて観測量への影響が十分小さい受信機雑音を達成できることがわかった。本講演では、前景放射の強度分布やアンテナのビームパターン、月面上での周辺環境など、より詳細なアンテナ受信電圧の推定をもとに導き出されるプレアンプの性能要求を紹介する。

[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](#)

V106a 宇宙の暗黒時代における中性水素 21 cm 線グローバルシグナルを検出するための月面電波分光システムに要求する感度

山崎康正、井口聖 (自然科学研究機構国立天文台)、松本健、大西利和 (大阪公立大学)、山田亨、磯部直樹 (JAXA 宇宙科学研究所)、山内大介 (岡山理科大学)、土屋史紀 (東北大学)、高橋慶太郎 (熊本大学)、岩田隆浩、宇佐美尚人、関本裕太郎、宮崎康行、佐伯孝尚、森治、吉光徹雄 (JAXA 宇宙科学研究所)

我々は標準宇宙論の検証を目指して、月面において暗黒時代における中性水素 21 cm 線を検出する TSUKUYOMI 計画を推進している。21 cm 線がレッドシフトした信号を空間的に平均すると 1–50 MHz に渡り CMB に対して最大 40 mK@15 MHz の吸収プロファイルとして検出されると予想されている (グローバルシグナル)。 5σ の検出精度を達成するための感度要求を検討した。システム雑音温度は、天の川銀河からのシンクロトロン放射、アンテナが受信する電力のうち天体方向の割合 η 、初段増幅器由来の雑音で決まる。初段増幅器については雑音電圧や入力容量を抑える設計により低雑音化が期待出来る。一方で、アンテナの高さや地面の誘電率、周囲の構造体によってビーム、つまり η が変化するため、感度の観点から詳細に調査する必要がある。波長がアンテナ高さの 2 倍よりも長い時、地面とのカップリングが卓越し、 η が 0.5 より小さくなる。逆にそれよりも短い時、地面での反射により η が 0.5 より高くなる。例えば、5m ダイポールアンテナと誘電率 3 の地面を仮定すると、アンテナ高さを 7m 以上にすることで、10 MHz 以上の周波数で η を 0.6 まで最大化出来る。誘電率を 2–10 まで変化させると地面での反射率の変化に伴って η が 0.5–0.7 まで変化したが感度にはほとんど影響ない。以上の結果に加え、アンテナ高さ、アンテナ台数、積分時間、周波数分解能、初段増幅器の雑音電圧や入力容量を考慮した感度の検討結果を報告する。

[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](#)

V107a SKA プロジェクトへの参加計画 10

赤堀卓也, 本間希樹, 町田真美 (国立天文台), 市来淨與 (名古屋大学), 新沼浩太郎 (山口大学), 他国立天文台水沢 VLBI 観測所 SKA1 サブプロジェクト

Square Kilometre Array (SKA) 計画の国内外の進捗を報告する。世界では、条約批准国が 10 ヶ国 (カナダが追加) に増え、初期アレイ AA0.5 の建設も全体的には順調である。一方、世界的なインフレ等による資金不足の課題は継続しており、また副所長を務めていた Joe McMullin 氏が退職し建設体制にも変化がある。サイエンスでは先行機での研究が盛んである。2025 年は 10 年ぶりに SKA 科学白書を更新する予定であり、2025 年 6 月にドイツで開催される SKA General Science Conference は科学白書とキーサイエンス観測の議論が中心となる。SKA Regional Centre (SRC) は 2024 年 3 月 SKAO 評議会によって新体制へと移行することが承認され、新たな体制で 2025 年初頭の SRCNet v0.1 のリリースに向けて開発が大詰めとなっている。

日本国内では、文部科学省ロードマップ 2023 に選ばれなかったことを受けて、参加計画の見直しをコミュニティと国立天文台水沢 VLBI 観測所 SKA1 サブプロジェクトとが協力して急ピッチで進めている。7/29-30 にコミュニティのシンポジウムを開催予定である。また並行して獲得を目指す競争的資金についても、複数の大型科研費の提案を行った。サブプロジェクトは大学等研究者の援助を得ながら組織の拡大を図っている。科学では SKA 先行機を使った研究と奨励を進めている。SRC は v0.1 への参加を表明し具体的実装を加速している。技術では MID AIV への参加を加速させながら、LOW AIV については技術開発もサブプロジェクトに位置付け発展中である。VLBI 記録系の開発も進む。

[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](#)

V108a 次世代太陽風観測装置用デジタルマルチビームフォーマの開発

竹原大智, 岩井一正 (名古屋大学)

名古屋大学では国内 3 か所に観測局を設置し、惑星間空間シンチレーション現象を用いた太陽風観測を行っている。既存装置では 1 度の観測で 1 つの天体を観測できるが、現在 1 度に最大 8 天体を同時に観測可能な次世代機の開発が行われている。次世代機は 1024ch のアナログ入力を持ち、4 ビームと 8 ビームが選択可能な 2 次元デジタルフェイズドアレイである。そのうち 64ch 分のデジタルバックエンド (64ch 系) が開発済みである。

本研究では、段階的に拡張可能な大規模フェイズドアレイを実現するための要素技術を獲得することと、64ch 系の評価試験の結果を基に量産に向けた改良を行うため、室内実験にて 64ch 系の評価試験を行った。

評価試験では、入力レベルを 5dBm ごとに変化させての線型性試験、アンテナの配置と間隔を数値的に変更してのグレーティングロブ測定、信号発生装置からの入力信号を 1kHz ごとに変化させたフィルタカーブ測定、約 32 時間連続で 7 秒おきにビームフォーミングを行いその出力値を取得したシステム安定度測定、以上 4 種類の試験を実施した。評価試験の結果から、ダイナミックレンジは 60dB 以上あることが分かった。ソフト面では、想定通りのグレーティングロブが確認され、実装したプログラムに不具合がないことが確認された。デジタルフィルタの性能は 8 ビームモードの方が 4 ビームモードに比べ、サイドロブレベルが約 20dB 高いことが分かった。課題としては、AD 変換を行うモジュールの動作不安定性や制御用 PC との接続不安定性、パケット損失が約 0.06% の割合で発生することが判明した。これらの課題は観測データの質に影響を及ぼすが 3 局合計 3072ch すべてを人力で対応するのは現実的でないため、AI を実装することで運用保守性を劇的に改善する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V109b 次世代太陽風観測装置用アナログ信号受信系の開発

渡部温, 岩井一正, 藤木謙一, 加賀尾勇典, 竹原大智 (名古屋大学)

太陽系は太陽から吹き出す超音速のプラズマ流である太陽風で満たされている。太陽風の観測手法として、太陽風プラズマが観測視線の背景にある電波天体の電波を散乱・干渉させる現象 (惑星間空間シンチレーション) を利用できる。これまで我々は、観測周波数 327 MHz、物理開口面積およそ 4,000 m² の大型望遠鏡を用いて惑星間空間シンチレーションを観測し、太陽風の解析を行ってきた。現在、次世代太陽風観測装置の開発が進められている。平面フェイズドアレイ・デジタルビームフォーマの技術要素を搭載することで、既存の装置の約 10 倍の観測天体数を実現可能であり、太陽風のさらなる詳細な構造を捉えることが可能となる。

本研究では、次世代観測装置のアナログ信号受信系の開発を行っている。アンテナ素子 16 本毎でアレイを構成するサブアレイにおいて、観測対象として 1 Jy 以下の微弱な電波天体を想定し、高い利得性能・雑音性能を実現することが目的である。受信系に要求される動作機能は、信号合成・増幅・フィルタの 3 種類である。

これまで、16 素子からの受信信号を一度に合成可能とする 16 ポートの信号合成器の試作・性能評価を行った。挿入損失 0.51 dB のこの合成器を用いた合成系は他の案に比べても最小限の挿入損失に抑えた合成系であると考えている。また、受信器チェーンの各モジュールの通過による雑音指数の遷移を見積もると、同軸ケーブルの挿入損失の大きさが受信系全体の雑音指数への寄与が最も大きいことが判明した。

この結果を受け、1.) 受信系の雑音指数改善のための低ノイズ同軸ケーブルの選定、2.) 電磁界シミュレータを用いたサブアレイアンテナの利得推定値を含めた受信器チェーンの利得・雑音指数の評価、3.) デジタルバックエンドとの整合を考慮した増幅器・フィルタ器の仕様、の 3 点について具体的な検討を進めている。

[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](#)

V110b 次世代太陽風観測装置用フェーズドアレイアンテナ系の開発

加賀尾勇典, 岩井一正, 藤木謙一, 竹原大智, 渡部温 (名古屋大学)

遠方に存在する天体の電波が、惑星間空間を流れる太陽風中のプラズマにより散乱される現象を惑星間空間シンチレーション (IPS) と呼ぶ。名古屋大学では、大型電波望遠鏡を設置し、327MHz 帯域において IPS 観測を行い、太陽風や太陽表面の爆発現象により太陽大気の一部が放出される現象 (CME) の検出に取り組んできた。IPS 観測から得られるデータは、太陽風や CME が地球へと到来する時間予測などに活用することができる。近年では、IPS 観測性能の向上による、太陽風や CME の到来予測時間の高精度化が期待されている。そこで、我々は IPS 観測の精度向上を目指して、「次世代太陽風観測装置」を開発する。次世代観測装置では、多数のアンテナ素子で構成されるサブアレイを、金属反射板の上に敷設した平面フェーズドアレイアンテナに、デジタルマルチビームフォーミングを搭載することで同時に多方向観測を可能にし、既存装置の 10 倍の IPS 観測を実現する。本研究では、次世代観測装置のアンテナ系統における、サブアレイの開発を行う。アレイアンテナは、アンテナ素子間に生じる相互結合により、アンテナ固有のインピーダンスが変化することが知られている。そのため、相互結合が観測周波数に対して与える影響をあらかじめ調査し、インピーダンス整合をする必要がある。そこで試作のダイポールアンテナを、塩化ビニル管上に素子間隔を 50 cm (半波長相当) で固定し、16 本×1 と 8 本×2 の配列パターンで反射損失 S_{11} を測定し単一素子の測定値と比較した。その結果、327MHz において S_{11} の値に変化は見られなかった。一方、最もインピーダンス整合のとれた周波数 357MHz においては、16×1 配列で S_{11} が最大 13dB 低減され、8×2 配列時にはこの周波数位置がおおよそ 2MHz 高周波側へ移動することを確認した。今後は、これらの相互結合の影響を考慮しアンテナ設計を行う必要があることがわかった。

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

V111b メートル波帯太陽・惑星電波観測用広帯域フィードシステムの開発-III

桑山陽次, 三澤浩昭, 土屋史紀 (東北大), 北元 (東北工大), 氏原秀樹 (立命館大)

東北大惑星プラズマ・大気研究センターでは 2001 年より物理開口面積が 1000m² 強の飯館メートル波帯電波望遠鏡 IPRT を運用してきたが、現在、より広帯域での高感度化に向けてフィードシステムの開発を進めている。現行の IPRT の受信系は、325MHz (& 650MHz: 開発中) 中心の狭帯域高感度観測用に加えて、100-500MHz 帯をターゲットとした広帯域太陽電波スペクトル観測システムを独立して備えているが、後者では開口効率が 20% 以上の実用的な帯域幅は 200MHz に届かず、一般天体の観測や太陽電波でも広帯域に出現するバーストの出現特性把握には、感度面で弱点があった。また、近年の大型電波観測装置の更新 (μ GMRT 等) や開発 (SKA 等) により、今後一層の展開が期待される低周波数 VLBI 観測推進に向け、広帯域フィードの高効率化は重要になってきている。そこで、当グループでは、高感度観測用と広帯域観測用フィードを統合し高効率化を目指す、新たな 100-700MHz 帯用フィードシステムの開発に着手した。これまで、SKA-MID band-1 用フィードとしても検討報告がある (c.f. de Villiers, 2017)、自己補対形の 4 アーム sinuous アンテナをモデルケースとして、電磁界解析ソフト FEKO を用いて設計検討を行ってきた (暫定目標: 325 & 650MHz 帯で 60 % 以上、全周波数帯で 40 % 以上)。IPRT の長方形パラボラ形状と製作の容易さを考慮し、角錐形状の sinuous アンテナで検討を進めた結果、全周波数帯で 50 % 以上の開口能率が期待される解が見い出せている。一方で、長方形パラボラの長辺と短辺それぞれに適合するビーム特性の付与とインピーダンス特性の両立が改善すべき課題となっている。現在は、2025 年度での実用化を目指し、1/4 スケールモデルの製作と実測に基づく特性評価や実用化へ向けた課題の洗い出しを進めている。講演では、設計の詳細と 1/4 スケールモデルを用いた評価計測について紹介する。

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

V112b 次世代センチ波帯干渉計に向けた超広帯域クアッドリッジアンテナの開発

向井一眞, 亀山晃, 抱江柊利, 小川英夫, 大西利和 (大阪公立大学), 長谷川豊 (情報通信研究機構), 山崎康正 (国立天文台), 新沼浩太郎, 野原祥吾 (山口大学), 石野雅之, 川原祐紀 (川島製作所)

SKA や ngVLA に代表される次世代大型電波観測装置の開発計画において、一つの観測装置に比帯域 100 % 以上という極めて広い適用可能帯域幅を要求する事例が急増している。他方、ALMA に代表される従来観測機器においては、矩形導波管フロントエンドの採用が一般的であった為、その比帯域幅は原理的に 66 % 以下に制限されてきた。この両者のギャップを克服するため、近年は比帯域 100 % 超が期待出来るクアッドリッジアンテナ (QRA) の開発が活発化している。VLBI における主要輝線は 22, 43, 86 GHz といったさらに高周波帯に存在するため、QRA の高周波化は次世代 VLBI 広帯域同時観測にとって非常に重要である。

そこで我々は 6-23 GHz 帯での VLBI 同時観測を目的として QRA の開発を進めている (2023 年秋季年会 抱江他, 2023 年秋季年会 山崎他, 2020 年秋季年会 長谷川他)。この QRA は、QRA ホーンと QRA 同軸変換から構成され、ホーンから入射したビームはクアッドリッジ導波管モードとして伝搬し、出力の同軸ケーブルへと給電される。すでに、電磁界解析ソフトを用いた QRA の設計を行っており、反射損失が -20 dB 以上の低損失な設計が得られている。その後、上記の設計で試作した QRA を VNA を用いて測定した結果、反射損失が -15 dB ほどと悪くなっているのを確認した。この特性劣化の原因として、QRA を構成している同軸ケーブルやリッジ部分などの切削誤差が考えられ、原因の追求を進めている。本講演では、6-23 GHz における QRA の測定結果とシミュレーション結果を比較し、結果が一致しなかった原因について具体的に考察する。これにより、QRA の性能向上と広帯域観測の実現に向けた具体的な課題を明らかにする。

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

V113b JVO 開発状況：野辺山共同利用観測処理済みデータの配信機能の開発

白崎裕治, 吉野彰, Christopher Zapart, 小杉城治, 森田英輔, 池田恵美, 清水上誠, 立松健一, 大石雅寿 (国立天文台)

JVO 開発グループでは、国立天文台が保有するすばる望遠鏡や ALMA, 野辺山望遠鏡の処理済みデータや、世界標準のアクセスインターフェイスを実装する Virtual Observatory (VO) サービスへの一元的なアクセスを提供する JVO portal (<http://jvo.nao.ac.jp/portal>) の開発を行っている。本講演では野辺山宇宙電波観測所 45m 電波望遠鏡の共同利用観測により取得され、パイプライン処理されたデータの JVO portal や VO インターフェイスによる配信機能の開発について報告を行う。

野辺山宇宙電波観測所の処理済みデータについては Nobeyama-45m / ASTE Science Data Archive (<https://nobeyama-archive.nao.ac.jp/>) において 2021 年より公開が開始された (日本天文学会 2022 年春季年会 V139b)。このデータアーカイブにおいて配信されているデータをさらに広く活用してもらうため、JVO システムからの配信も行うことにした。JVO システムから配信を行うことにより、以下のメリットを提供することが可能となる。(1) JVO ALMA FITS Archive においても利用されている FITS WebQL との連携により、データを手元にダウンロードすることなくデータの中身を確認することができる。(2) JVO portal において提供している多波長データ検索機能により、他の望遠鏡により取得されたデータの検索も簡単に行える。(3) VO インターフェイスによる配信により、VO に対応したアプリケーション上での利用や、Python 等の VO アクセス用ライブラリを利用することによりプログラムからのアクセスが可能となる。以上述べた機能について、それらの利用方法等について紹介を行う。

[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](#)

V114a The Next Generation Very Large Array - Autumn 2024

泉拓磨 (NAOJ), 百瀬宗武 (茨城大), 井口聖, 深川美里, 廿日出文洋, 伊王野大介, 片岡章雅, 永井洋, 長谷川哲夫 (NAOJ), 奥住聡, 田中圭 (東工大), 大屋瑠子 (京都大), 立原研悟 (名古屋大), 佐野栄俊 (岐阜大), 竹川俊也 (神奈川大), 新沼浩太郎 (山口大), 坂井南美 (理化学研究所)

We present progresses of the Next Generation Very Large Array (ngVLA) project in Japan. The ngVLA, led by NRAO, will be operated at frequencies from 1.2 to 116 GHz. The ngVLA consists of three arrays: the Main Array (214 × 18-m antennas with baselines up to 1000 km), the Short Baseline Array (19 × 6-m antennas and 4 × 18-m single dish), and the Long Baseline Array (30 × 18-m antennas with the longest baseline of 8860 km). The ngVLA will achieve 10× higher sensitivity and > 10× higher resolution than the current VLA and ALMA, which will revolutionize our understandings on various aspects of the universe. In this talk, we will first report the FY2024 status of the ngVLA Study Group in NAOJ. As one of the major technical contributions from Japan, we have been developing time/frequency reference distribution systems in NAOJ/ATC. This novel technique has now passed the Conceptual Design Review (CoDR) of NRAO, which then has a high chance to be accepted as a base-technology of this interferometer. We will report this milestone, as well as our plan for on-site experiments both in Japan and US. As another technical advancement, an initial design of ultra-low cost antenna will be completed in this FY2024. We will briefly introduce the requirements for the antennas and development timeline in FY2025. Lastly, we have organized, together with the community, a series of science workshops to update unique science cases in Japan. Major outcomes from these workshops will be highlighted.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V115a ASTE 望遠鏡の運用 (6)

南谷哲宏, 鎌崎剛, 阪本成一, 西谷洋之, 木挽俊彦, 藤井泰範, Javier Aguilera, Javier Zenteno, 他 ASTE 運用チーム (国立天文台他)

ASTE (Atacama Submillimeter Telescope Experiment) 望遠鏡は、2002 年にチリ・アタカマ高地 (標高 4860m) に設置された、口径 10m のサブミリ波望遠鏡である。2020 年からの COVID-19 の影響により、各国の国境閉鎖や渡航制限、チリ国内における移動制限が行われたため、約 1 年間運用を停止していた。その後、副鏡駆動系に障害が確認されたため、原因調査を行い、最終的に 2022 年 11 月のアンテナメーカーによる現地修理作業 (パルスボード、ブレーキリレー、副鏡駆動ジャッキ用モーター、チョッピング機構用モーター交換等) 及び 2023 年 5 月のチョッピング機構用モーター交換によって復旧した。この間、日本で開発・整備した、IF 帯を 4-18 GHz に広帯域化した Band 8 受信機 (科研費 PI: 岡)、分光計 XFFTS 及び IF 周波数変換機 (科研費 PI: 濤崎) の ASTE 望遠鏡への搭載作業を並行して行った。副鏡駆動系の復旧後、2023 年 6 月から 9 月にかけて、これらの分光観測システムによる、試験観測・科学観測を行い、CO(4-3) 輝線、[CII](³P₁-³P₀) 輝線の同時観測を実証した。その後、2023 年 10 月からは、オランダで開発が進められてきた、オンチップ型超伝導分光観測装置 DESHIMA2.0 (PI: 遠藤) が搭載され、試験観測が行われた。この試験観測中の 2023 年 11 月に副鏡駆動系に再び障害が発生したため、観測運用を中止せざるを得なかった。調査の結果、副鏡駆動ジャッキに問題があることが判明した一方、現地滞在のスタッフでは復旧できないことが明らかとなったため、この部分のジャッキを交換する、アンテナメーカーによる現地修理作業等を 2024 年 5 月に行い、2024 年 6 月から運用を再開できる見通しとなった。

本講演では、これらの進捗と今後の計画について報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V116a 南極 30cm サブミリ波望遠鏡の冬季保存対策と電力供給システムの開発

中井直正, 永原大暉, 吉田亮平, 門傳伸二, 瀬田益道 (関西学院大学), ほか南極天文コンソーシアム

南極地域観測第 X 期中の 2023-2027 年度に一般研究観測として南極内陸部の高原地帯 (標高 3800m) にあるドームふじ観測拠点 II に 30cm サブミリ波望遠鏡を設置して夏季に観測を行うが、冬季 ($-30^{\circ}\text{C}\sim 70^{\circ}\text{C}$) はアンテナを -40°C 以上に保って保管しておきたい。そのための極寒対策と電力供給システムを開発した。

望遠鏡を設置する台は望遠鏡の大きさや作業空間および観測船しらせに積載される 12 フィートコンテナに部材を収納できる $3\text{m} \times 3\text{m}$ (平面) の大きさとする。圧雪した雪面の上に低温に耐えられる天然ゴムのシートを敷き、その上に雪面の放射冷却による低温を避けるために高さ 90cm の断熱材 (高密度 $35\text{kg}/\text{m}^3$ な発泡スチロール) の台を設置し、その上に望遠鏡を置いて夏季に運用する。冬季は厚さ 20cm の同じ断熱材で囲み、その外側を 15cm の空間をあけて杉板で覆う構造とした。熱伝導、対流熱伝達および熱輻射の計算を熱・流体シミュレーションソフトを用いて行い、屋外での模型実験での実証も踏まえて、南極現地の気温下で -40°C 以上の温度に保つために必要な平均電力が 15W であることがわかった。この電力は高さ 9m に設置の小型風力発電機サザンウィンド 500 ($500\text{W}@13.0\text{m}/\text{s}$) で供給する。現地の風力 (平均 $5.8\text{m}/\text{s}$) と気圧 (598hPa) から期待される発電量は 53W である。

また観測時の望遠鏡運用に必要な電力 7kW を継続的に供給する電力供給システムも構築した。これにはディーゼル発電機の 200 時間毎に 3 時間必要な保守時の停電でも機械式冷凍機に電力 (2.5kW) を供給するシステムを含む。これらは 2023 年度に昭和基地に搬入済みであり、2024 年度にドームふじ観測拠点 II に設置される。望遠鏡は 2025 年度から運用される予定である。

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

V117a RFSoc 4x2 を用いた 7BEE 受信機用デジタル電波分光計の開発

西村淳, 立松健一 (国立天文台), 福岡耀, 立原研悟 (名古屋大学), 松本健, 大西利和, 小川英夫 (大阪公立大学), 徳田一起 (九州大学・国立天文台)

広帯域かつ高周波数分解能で安価な電波分光計の実用化が、RF/IF 帯域が飛躍的に増大した現代のマルチビーム受信機の性能を最大限引き出すために切望されている。本研究では比較的安価に流通されている RFSoc 4x2 を利用し、7BEE 受信機の観測効率を最大化する電波分光計システムの設計並びに基礎的な実装試験を行った。

7BEE は RF 帯域 70–116 GHz を同時観測できる能力を持ち、重水素化合物 (70 GHz 帯)、水素化合物 (80 GHz 帯)、一酸化炭素 (110 GHz 帯) など、銀河の中での物質循環や星形成を理解する上で重要な、低密度領域から高密度領域までをカバーする様々な輝線が観測可能である。そこで最初の目標設定として、各バンド (70, 80, 110 GHz 帯) にて、それぞれ 4 つずつ輝線を同時観測する事にした。RFSoc 4x2 は 5 GS/s で駆動する ADC を 4 つ利用可能ある。一方で、FPGA リソースはそれほど潤沢ではなく、4 つの高速サンプリングデータを、高周波数分解能を実現しつつ同時にリアルタイム FFT 分光することはできない。そこで、ADC 入力 IF のうち、任意の周波数帯を Polyphase Filter Bank (PFB) デジタルフィルタにより切り出し (以下、Frequency Slice; FS と呼ぶ)、帯域幅が狭くなった FS に対して FFT を行う事で、輝線の周囲の周波数帯だけを取り出しつつ、計算コストの低減を実現する。さらに本設計では、ADC と PFB の接続は自由に変えられるため、例えば 1 つの ADC に 4 つの PFB を接続したり、ADC と PFB を 1 対 1 で接続することができる。これまでに基本的な設計が完了し、また、PFB 無しの簡易的なリアルタイム FFT 分光計の実装が完了している。今後は、PFB の詳細なパラメータ設計と実装を行い、動作確認と性能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](#)

V118a 光線追跡を用いた 1.85 m 電波望遠鏡ビーム伝送系の設計

西川悠馬, 河本琉風, 藤巴一航, 小川英夫, 大西利和 (大阪公立大学), 今田大皓, 山崎康正, 小嶋崇文, 増井翔 (国立天文台), 長谷川豊 (情報通信研究機構)

我々は、大質量星形成領域の詳細な物理量を明らかにするため、野辺山に 1.85 m 電波望遠鏡を設置し、開発、運用を行ってきた (Onishi et al. 2013)。現システムは 210–375 GHz に特化し (Yamasaki et al. 2021, Masui et al. 2021)、開口能率 79–82% (フィードは HE11 モード)、交差偏波レベル (ピークゲインの比)–29 dBc を達成している。我々は、CO ($J=1-0$, $2-1$, $3-2$) 輝線のある 84–116, 210–375 GHz を同時観測するため、新たな受信システムの光学系開発を開始した。達成すべき設計目標は現性能と同等以上である。

従来、軸対称なガウシアンビームを用いて光学設計を行うことが多かったが、楕円鏡などがビームを歪ませたり、偏波を回転させたりする効果を十分に取扱いえていなかった。本研究は、光線追跡を用い、ビームの歪みの少ない設計を試みる。これは、ホーン開口面やホーンの位相中心位置での光線の通り方を制御することで実現される。副鏡とホーン開口を瞳にすることで、能率の周波数依存性を低減する (Imada et al. 2015)。

光学設計の制約は、1) 既存の主鏡と副鏡を使う、2) 仰角軸や真空窓にビームを通す、3) 84–116 GHz と 210–375 GHz で光路を分ける、4) 既存の 210–375 GHz 用のコルゲートホーンを用いる、5) 搭載予定の片偏波受信機、である。制約 3) は導波管比帯域に由来し、準光学フィルターを用いて実現する。電磁界解析により、開口能率や交差偏波レベル、指向誤差や主ビーム能率を評価し、設計案の妥当性を検証する。

光線追跡による光学系の最適化を予備的に実施したところ、開口能率は 84–116 GHz で 67–72%, 210–375 GHz で 75–76%、交差偏波レベルは –32 dBc を達成した。本講演では、結果の詳細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](#)

V119a Update on ALMA Development toward the WSU - Fall 2024

S. Ishii, S. Iguchi, M. Fukagawa, B. Hatsukade, K. Kikuchi, S. Sakamoto, K. Sugimoto, T. Kojima (NAOJ), and the ALMA Project team

In this presentation, we will offer an update on ALMA Development Program toward the Wideband Sensitivity Upgrade (WSU). As the top priority initiative for the ALMA2030 Development Roadmap, the WSU will initially double, and eventually quadruple, ALMA's system bandwidth and will deliver improved sensitivity by upgrading the receivers, digital electronics and correlator. Internationally, ALMA continues to develop detailed conceptual design and implementation plans for the WSU.

With the start of ALMA2 last year, vigorous development activities for the WSU are underway in East Asia. The existing 385-500 GHz ALMA Band 8 receiver cartridge will be upgraded to a substantially improved second-generation version, referred to as "Band 8v2." The Data Transmission System (DTS) is being developed to handle higher data rates from the antennas to both the correlator and the spectrometer. We will provide an overview and the latest status of these progresses.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V120a ACA システムとバンド 1、4、8、10 受信機の装置保守の現状 2024B

阪本成一, 山田真澄, 鎌崎剛 (国立天文台), ほか東アジア ALMA エンジニアリングチームメンバー

国立天文台が担っている ALMA の装置保守の現状について紹介する。

2024 年 6 月 10 日現在、ACA(Atacama Compact Array) システム用アンテナは、12m アンテナ 4 台、7m アンテナ 12 台すべてが健全であり、オーバーホール済みの 7m アンテナ 12 号機と修理を終えた 12m アンテナ 2 号機が山麓施設から山頂施設への移動を待っている以外は安定して科学運用に供されている。この 12m アンテナ 2 号機は 2023 年 11 月に AZ ダイレクトドライブのクリアランス不足で運用を停止したもので、コイルと磁石の間隔を保つための調整作業を実施することで復旧させた。類似の兆候が 1 号機にもみられるため、恒久対策のための改良型コイルサポートの設計などを進めている。

国立天文台が開発したバンド 4、8、10 受信機は全 66 台のアンテナに搭載されており、チューニングの最適化による感度や安定性の向上と、今後予想される故障頻度の増大に備えた技術継承に注力している。また台湾の ASIAA を中心に開発されたバンド 1 受信機の修理・評価手順の引き継ぎと評価環境の受け入れを完了し、故障品の修理を順次進めている。冷凍機の保守支援も 2019 年から担当しており、保守手順書の整備もほぼ完了した。

ACA 関連器では製造会社が 2019 年度末に保守支援業務から撤退した際に、国立天文台への故障診断のツールと手順についての技術移転がなされた。その結果、基板に使われている多数の部品の中から不具合のある LSI や経年劣化したコンデンサを自力で特定できるようになり、部品交換を外注しつつ修理と動作確認を進めることで、交換用の基板のライフタイムスペアを十分に納品することができた。今年 10 月からは 7m アレイの相関処理をベースライン相関器に引き継ぐことになっており、円滑な引き継ぎのためにデコミッションプランを策定した。

[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](#)

V121c ALMA バンド 1 の科学評価活動

永井洋 (国立天文台)

ALMA バンド 1 は 35-50 GHz の周波数帯をカバーする受信機で、ALMA の観測周波数の中で最も低周波帯の観測を行う。受信機は台湾中央研究院と国立天文台の協力により開発され、受信機雑音温度は 28-32 K、帯域の低周波端での典型的なシステム雑音温度は 40 K で、周波数とともに増加し、高周波端で 70 K 程度になる。バンド 1 は、サイクル 10 の途中 (2024 年 3 月) から部分的な観測機能を公募観測として提供し、サイエンス観測が進行中である。同時に、サイクル 10 の公募観測に提供できていなかった観測機能のコミショニングや、観測性能の実演のためのサイエンスヴェリフィケーションを、国立天文台と台湾中央研究院が中心となり、合同 ALMA 観測所と協力して進めている。2023 年は主に 12m アレイの偏波観測機能と、7m アレイの全放射強度 (Stokes I) 測定のためのコミショニングを行った。これらの観測機能は 2024 年 10 月から開始するサイクル 11 の公募観測から提供を開始することが決定している。現在、7m アレイの偏波観測機能の一部と、単一鏡観測のためのコミショニングを行っており、サイクル 12 からの提供を目指している。また、サイエンスヴェリフィケーションとして、大質量星形成領域の W51 と Orion KL の観測を実施し、前者を 2023 年 11 月に公開し、後者は現在解析を行っている段階にある。本講演では、2023-2024 年のコミショニング成果とサイエンスヴェリフィケーションのハイライトを紹介するとともに、今後のサイクルに提供予定の観測機能の紹介と、コミショニングの途中経過について報告する。

[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 広帯域 IF90 度ハイブリッドカプラ及び検証用回路の設計

手塚愛莉 (電気通信大学), 小嶋崇文, 増井翔 (国立天文台), 酒井剛 (電気通信大学)

ALMA のアップグレード計画である ALMA2 では、受信機の中間周波数 (IF) 帯域を 2 倍以上に拡張することが計画されている。我々は、この実現のために超伝導体を用いた 90 度ハイブリッドカプラの開発を推進しており、これまでも超伝導体を用いた試作を行った (有馬他 2021 年秋季年会)。しかし、国立天文台先端技術センターでは回路構成上必要な要素素子であるピアホールやエアブリッジ、評価等に必要な抵抗体に関しては、作製方法の確立に至っていない。そこで、これらの作製については別途推進する一方、設計手法の確立を目的とし、要素素子の製作が可能な外部ファウンドリに製作を依頼することを検討している。この場合、金属が常伝導体となることや、平面回路パターンニングの最小線路幅/スペースが $20\ \mu\text{m}/15\ \mu\text{m}$ 以上という制約があり、この条件ではランゲカプラによる強結合の実現が困難であった。そこで、我々は、ランゲカプラ部分の特性インピーダンスを、通常の $50\ \Omega$ より低インピーダンスにすることで、制約条件を満たしたまま強結合を実現する設計を考えた。設計した 90 度ハイブリッドカプラは、1・3 段目をエッジカプラ、2 段目をランゲカプラとした 3 段構成のカプラである。回路の入出力ポートを通常の $50\ \Omega$ とするため、90 度ハイブリッドカプラの両側に 3 段のインピーダンスマッチング回路を用いた。インピーダンスマッチング回路のうち 1 段は、エッジカプラがその役割を担う。よって、回路全体は 3 段の 90 度ハイブリッドカプラと 3 段のインピーダンスマッチング回路を組み合わせた、7 段構成の回路となっている。電磁界シミュレーションにより、この 90 度ハイブリッドカプラは最小線路幅/スペースの制約を満たしたまま、4-16 GHz の帯域において振幅比 0.7 dB、位相差 (90 ± 1) 度以下、反射損失及びアイソレーションが 20 dB 以上となることが確認された。本講演では、設計方法やシミュレーション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](#)

V123b Update on ALMA Operations - Fall 2024

M. Fukagawa, S. Iguchi, B. Hatsukade, S. Ishii, K. Kikuchi, S. Sakamoto, K. Sugimoto (NAOJ), and the ALMA Project team

In this presentation, an update on ALMA operations since the previous ASJ meeting in March 2024 will be given. Data acquisition and data delivery have largely progressed well in Cycle 10, where observations began in October 2023. The new ACA spectrometer, developed in the East Asia development project is working without issues. The Band 1 receivers, also developed in East Asia, started to be used for PI science observations in March 2024 for some observing modes. The automatic data delivery has been implemented during Cycle 10 step-by-step, with data being delivered without human intervention. Towards the next Cycle 11, the Call for Proposals opened on 21 March 2024 as scheduled and closed on 25 April. The new observing capabilities will be offered for Cycle 11, including full polarization on the 12-m Array and Stokes I on the 7-m Array in Band 1, and high-frequency and long-baseline up to Band 10 in C-10 configuration, i.e., the combination of the highest frequency and the longest antenna baseline of ALMA. Total 1712 proposals were submitted by the proposal deadline, and the amount of requested observing time for the 12-m Array continues to increase steadily: 31,610 hours stands as the most time ever requested in a single cycle. Since the preparations for the Wideband Sensitivity Upgrade (WSU) implementation have begun also in the areas of the science operations and software in addition to the relevant hardware, managing both operations for ongoing observations and the WSU has been a major challenge in ALMA.

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

V124b 野辺山 45m 鏡の運用状況：2024 年秋

西村淳, 立松健一, 宮澤千栄子, 高橋敏一, 半田一幸, 倉上富夫, 宮澤和彦 (国立天文台)

野辺山 45m 鏡は世界最大級の口径を誇るミリ波望遠鏡であり、2022 年度からは有料望遠鏡時間制度による運用が行われている。2024 年度は、開発プログラム向け CSV と研究室向け観測実習を対象とした秋時間 (10 月) に約 550 時間、科学観測を対象とした冬-春時間 (11 月-3 月) に約 3400 時間を提供する予定である。受信機は、FOREST (80-116 GHz)、Z45 (42-46 GHz)、H40 (42.5-44.5 GHz)、H22 (20-25 GHz) を提供中で、HINOTORI フィルタによる H22/H40、H22/Z45 の同時観測モードが利用可能である。さらに、進行中の開発プログラムとして、7BEE (70-116 GHz)、eQ (30-50 GHz)、H22/H40/TZ 同時観測モードの立ち上げが進められているほか、合計 9 件の開発プログラムが受理されて大学研究室等により推進されている。

2023 年度は望遠鏡の各種装置の老朽化が顕著に現れ始め、SAM45 電波分光計は分光ボード故障により 25 % の性能低下状態での観測時間提供となり、コリメータータワーのシャッター巻き取り機構故障によりアンテナの強風時退避位置は $EL=85\ \text{deg}$ での運用であった。これらは 2024 年夏季メンテナンス期間中に修理が完了する見通しであり、2024 年度は従来の性能・運用方法での望遠鏡時間提供を予定している。VLBI 観測モードは水素メーザー時計の故障により、2023 年度より提供を停止しているが、水沢 VLBI 観測所主導のもとに OCXO の利用を含めて VLBI 観測再開の可能性が追求されている。

本講演では、これら野辺山 45m 鏡の最新の運用状況を報告するとともに、各種プログラム (開発プログラム、観測実習プログラム、学生向け無料観測時間枠、など) のアクティビティについても簡単に紹介したい。

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

V125b DESHIMA 2.0:大気吸収補正を考慮した chop-and-nod 法の解析コードの開発

山中 珠里, 谷口 暁星, 田村 陽一 (名古屋大学), 竹腰 達哉 (北見工業大学), 藤田 真司 (統計数理研究所), 遠藤 光 (TU Delft), 唐津 謙一 (SRON)

DESHIMA (DEep Spectroscopic HIgh-redshift MApper) は、ASTE 10 m 望遠鏡に搭載されている超伝導フィルターバンクを用いたミリ波サブミリ波分光器である。2023 年には、観測帯域を 200–400 GHz に大幅にアップグレードした DESHIMA 2.0 が搭載され、今後本格的な銀河探索観測を行う予定である (Taniguchi et al. 2022, Rybak et al. 2022)。DESHIMA 2.0 では帯域幅の拡大や instrument efficiency の大幅な向上に加え、新たに高速 ON 点-OFF 点切り替え機構 (sky chopper) を搭載した。本装置は望遠鏡を駆動させることなく高速 (10 Hz) なポジショニング観測が可能のため、ON 点観測効率の向上 (30–40 %) が期待される。こうした機構では観測点ごとの光学特性のインバランスを補正するために、異なる OFF 点を観測する chop-and-nod 観測を一般的に用いる必要がある。しかし、サブミリ波帯の観測において必要不可欠な大気透過率の補正を組み込んだ解析手法はこれまで検討されていなかった。

本研究では、DESHIMA 2.0 における chop-and-nod 法の確立のために、大気透過率補正を考慮した chop-and-nod 観測データの解析コードを開発した。大気補正の計算においては、従来と同様の計算手法 (すなわち、 $T_R(T_{ON} - T_{OFF}) / (T_R - T_{SKY})$) を使用した。尚且つ、開発したコードを DESHIMA の解析ソフトウェア `de:code` に組み込み、木星の観測データを使って手法の妥当性を確認した。解析結果においては木星の連続波スペクトル形状が再現されていたため、大気吸収補正を組み込んだ観測方程式の妥当性を確認できた。これにより、DESHIMA 2.0 及び将来の集積超伝導分光器の標準的な強度較正法として採用できることを示した。

[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](#)

V126b 超伝導平面集積技術によるミリ波・サブミリ波帯マルチプレクサ回路の開発

中島 拓, 吉村 龍成 (名古屋大学), 關谷 尚人 (山梨大学), 江崎 翔平, Wenlei Shan (国立天文台)

ミリ波・サブミリ波帯ヘテロダイン受信機の大規模アレイ実現に対し、超伝導平面伝送線路の集積回路 (MMIC) 技術が重要となっている。これまでに、超伝導ニオブ薄膜によるマイクロストリップラインやコプレーナウェーブガイドで構成される D バンド (125–163 GHz; ALMA Band4 受信機の帯域に相当) の両偏波バランスドミクサや 2SB (サイドバンドセパレーション) ミクサが開発され、従来の導波管回路による受信機に迫る性能が報告されている (Shan, Ezaki et al. 2018; 2020 など)。一方、近年では RF 回路に導波管フィルタを用いた広帯域な SSB 受信機が開発され、複数の実機に搭載・実用化されている (Nakajima et al. 2020; Masui et al. 2021 など)。これは、局部発振周波数が固定されるという欠点はあるが、位相と振幅のバランスによってサイドバンド分離比が決まる 2SB 受信機に比べて高い分離比が容易かつ安定的に得られるため、科学観測では優位である。

我々は、このような高い分離比を有する広帯域 SSB 受信機の小型化と大規模アレイ化を目指し、これまで導波管で構成されていたマルチプレクサ回路の平面集積化を進めている。これまでに、要素回路の極低温評価用テストモジュールの開発 (Shan et al. 2023 年春季年会; Masukura et al. 2023)、CPW 型バンドパスフィルタのスケールモデルの設計 (吉村他 2023 年秋季年会) などについて報告してきた。現在は、大学構内でも容易に試験観測が可能な D バンドに存在する大気オゾン分子輝線 (142.2 GHz) をターゲットとした MMIC-SIS 受信機を開発しており、新たな CPW 型バンドパスフィルタや終端抵抗の設計を行っている。

本講演では、電磁界解析によるマルチプレクサを構成する要素回路の設計の進捗を報告するとともに、本計画の目的や今後の展望についても紹介する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V127b 局部発振器雑音低減に有効なミリ波帯可変帯域通過フィルタの周波数特性改善

谷川 貫太, 中島 拓, 小林 和宏, 加藤 渉 (名古屋大学)

ミリ波・サブミリ波帯受信機では、超伝導ミクサを用いたヘテロダイン受信が利用されており、周波数変換に局部発振器 (LO) を必要とする。受信機システム全体の雑音は、LO 系から流入する雑音によっても増加してしまうため、低雑音な LO 系を使用することが重要である。我々は、広い LO 周波数範囲に対して低雑音化に有効なミリ波帯の可変帯域通過フィルタ (BPF) を開発しており、これまでに先行研究の試作初号機 (堀他, 2023 年春季年会) に対し、周波数特性の向上に向けた導波管構造の再設計と、BPF 内部にある可動壁の電動制御化を進め、その初期的な結果について過去の年会で報告をした (谷川他, 2023 年秋季年会)。

その後、設計した新たな導波管構造を持つハイパスフィルタ (HPF) を大学内の装置開発室で試作し、ミリ波帯ネットワークアナライザを用いて周波数特性を実測した。その結果、HPF のカットオフ周波数はおよそ 60–130 GHz の範囲で、連続的に変化させることが出来た。これは従来機の変換範囲である 75–105 GHz に比べて、より広帯域化に成功している。通過帯域の挿入損失は周波数によって異なるが、概ね従来機と同程度の 3–9 dB であった。しかし、通過帯域の反射損失が 5 dB 程度しかない周波数があることや、高周波側で高次モードの発生による通過帯域の平坦性の悪化など、まだ改善の余地があることが分かった。

現在、特性の悪化の要因となっている構造を電磁界解析によって詳細に調べることで、導波管壁面の構造や可動部分に配置するチョーク構造を見直すことで、さらなる周波数特性の向上を図っている。本発表では、まず試作した HPF の実測結果を紹介し、さらなる特性改善に向けた構造の提案と、今後の実用化に向けた取り組みについて報告する。

[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](#)

V128b 南極 30 cm サブミリ波望遠鏡に向けたバックエンドシステムの開発

半田宙也, 但徠和夫, Dragan Salak, 齋藤碩人 (北海道大学), 瀬田益道 (関西学院大学), 久野成夫, 本多俊介, 橋本拓也, 瀧口風太, 栄野比里菜, 岩田将輝, 山崎豪 (筑波大学)

星形成と分子雲の構造の間にどのような関係があるのかを明らかにすることは、銀河における大域的な星形成の理解を進める上で重要である。南極 30 cm サブミリ波望遠鏡プロジェクトでは直径 30 cm の可搬型電波望遠鏡を使い、南極大陸の内陸高地にあるドームふじ基地にて $[CI] (^3P_1 - ^3P_0)$ (静止周波数 492 GHz) と $CO (J = 4 - 3)$ (静止周波数 461 GHz) の 2 輝線による銀河面及びマゼラン雲のサーベイから、 CO では捕捉できない分子雲領域 (CO 暗黒ガス) の検出を目指す。

本研究では当該プロジェクトにおける分光計及びバックエンドシステムの開発を行っている。使用している分光計は Radiometer Physics GmbH 社製の XFFTS である。ドームふじ基地は低温・低気圧の過酷な環境なので、高地での運用実績がある XFFTS を採用した。また低温環境に関しては、室内に配置することで対策する。帯域幅は 2.5 GHz、最大分光点数は 32768、ADC ビット分解能は 10 ビットである。これらの帯域幅、分光点数の場合、周波数分解能は約 76 kHz になる。これは 492 GHz の輝線を観測する場合、約 0.046 km s^{-1} の速度分解能に相当する。積分時間は $0.1 - 5 \text{ s}$ で設定可能であり、最速で 0.1 s 毎の積分、データ出力が可能である。2 輝線を同時観測するために 2 つの FFTS ボードを運用しており、両ボードの線形性を確認した。また、On-The-Fly 観測及びポジションスイッチ観測の実施に向けたバックエンドシステムとして、分光計の制御、スペクトルデータと天球座標の対応付け、強度較正、ドップラー追尾等の機能を開発している。性能試験の結果、開発したシステム、そして今秋の南極への移送前に実施予定の望遠鏡システム全体でのテストについて報告する。

[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](#)

V129b 南極 30 cm サブミリ波望遠鏡用新 IF ボックスの性能評価

山崎豪, 久野成夫, 橋本拓也, 本多俊介, 瀧口風太, 岩田将輝, 栄野比里菜 (筑波大学), 瀬田益道 (関西学院大学), 但徠和夫, Dragan Salak, 半田宙也, 齋藤碩人 (北海道大学)

南極 30 cm サブミリ波望遠鏡プロジェクトでは高温・高密度の分子ガスのトレーサーである $CO (J=4-3)$ 輝線 (461 GHz) と CO が解離されている希薄な分子ガスである”暗黒ガス”のトレーサーとして有効であると考えられる $[CI] (^3P_1 - ^3P_0)$ 輝線 (492 GHz) の同時観測による銀河面サーベイを行う予定である。2 輝線の同時観測により、観測時間の短縮に加え、ポインティング誤差を無くし正確な強度比が得られる。

南極 30 cm 望遠鏡ではサイドバンド分離 (2SB) 受信方式を採用しており、受信機は初段の冷却受信機と後段の IF ボックスからなる。冷却受信機では 500 GHz 帯の信号を 6-20 GHz の中間周波数 (IF) に変換し、IF 信号を USB、LSB の 2 系統に分離してシングルサイドバンド (SSB) として同時出力する。IF ボックスではこの信号を分光計の対応周波数帯域 (0-2.5 GHz) に変換し、信号強度を約 -8 dBm/GHz まで増幅させる。

本研究では、IF ボックス内 ($314 \times 424 \times 72 \text{ mm}$) に搭載するコンポーネントが収まるように配置設計を行い、作製した。また、受信機系全体で行う前段階として IF ボックス単体での性能評価を行った。周波数 0-2.5 GHz の出力の時間変動の安定性をアラン分散 (τ 秒毎のデータの平均値から求める出力の安定度を示す量) を指標として評価した。その結果、IF ボックス全体で約 60 秒以上の安定性を得た。実際の観測においても ON 点の 60 秒の積分をする観測に対し、十分な安定性だといえる。さらに、アンプ排熱用のファンの有無がアンプの温度、IF ボックスの安定性に与える影響を調べるため、同様の測定をファンを起動した状態で行った。その結果、ファンは温度上昇抑制の効果もあるので、アンプの温度上昇の差が約 1°C 程度あり、安定性にはほぼ違いはなかった。

[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](#)

V130b 南極 30 cm サブミリ波望遠鏡用新 IF 系の設計

岩田将輝, 久野成夫, 本多俊介, 橋本拓也, 瀧口風太, 栄野比里菜, 山崎豪 (筑波大学), 瀬田益道 (関西学院大学), 但徠和夫, Dragan Salak, 半田宙也, 齋藤碩人 (北海道大学)

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、2 輝線を同時にシングルサイドバンド (SSB) 観測する。受信機部分は冷却受信機と IF 系から構成されており、冷却受信機では 500 GHz 帯の信号を 6-20 GHz の中間周波数に変換し、2 系統に分離して SSB として同時出力している。IF 系ではこの信号を 0-2.5 GHz に変換を行っている。

今回、帯域幅 2.5 GHz の分光計を採用し、銀河中心の速度幅 280 km/s の輝線とデータ処理時のベースライン幅として速度幅 100 km/s を確保できる $\pm 0.62 \text{ GHz}$ を観測するべき帯域として設定した。イメージバンドからの僅かな漏れ込みも避けるため、イメージバンド帯の $[CI]$ または、 CO の輝線が観測帯域に重ならないローカル信号周波数領域を設定した。利得設計における帯域内偏差は受信機全体で 8 dB、冷却受信機で 1.5 dB、IF 系で 6.5 dB である。IF 系と分光計を繋ぐケーブルの偏差の影響も考慮しているため、これが偏差が大きくなっている一つの要因となっている。この偏差を考慮したうえで、分光計への入力信号を新分光計の入力レベルで線形性が保たれている $-14.7 \sim -3.7 \text{ dBm/GHz}$ に収めるために、イコライザで帯域内偏差を小さくし、信号強度の調節を行った。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V131a 岐阜大学 11-m 電波望遠鏡による NH_3 輝線マッピング観測の整備状況

杉野裕輝, 石倉丈裕, 北村哉太, 多田輝太, 濱田莉来, 浅野裕也, 井上陽登, 魚住光史, 豊田裕也, 山中祐里奈, 柘植紀節, 村瀬建, 佐野栄俊, 高羽浩 (岐阜大学), 泉奈都子 (NAOJ/岐阜大学), 須藤広志 (仙台高専)

岐阜大学 11-m 電波望遠鏡 (以後 11-m 望遠鏡) は、岐阜大学構内に設置されている電波望遠鏡である。2006 年に 22 GHz 帯の受信機を搭載して以降、主に AGB 星に対する H_2O メーザーの単一鏡サーベイ観測を継続的に実施してきた。2022 年度からは NH_3 分子輝線の観測へと拡張するため、複数輝線の同時観測化とマッピング観測の実施に向けて整備してきた。2022 年度には、信号伝送系を新たに 1 系統追加し、Monoceros R2, Orion KL などの代表的な大質量星形成領域の H_2O メーザーと 1 つの準安定状態の NH_3 分子輝線の 2 輝線同時観測に成功した。周波数 23 GHz における典型的なシステム雑音温度は $\sim 200\text{--}300\text{ K}$ であり、1 点 30 分の積分における rms ノイズレベルはアンテナ温度 T_a^* で $\sim 0.04\text{--}0.06\text{ K}$ である。現在、Orion KL に対して $\text{NH}_3(1,1)$, $(2,2)$ 輝線のマッピング観測を実施中である。観測仕様は、マッピンググリッド間隔を 2.5 分角、1 点における積分時間を 30 分とした。Orion KL を含む $12.5\text{ 分角} \times 35\text{ 分角}$ の領域に対するマッピング観測を実施した。観測点数は合計 70 点であった。23 GHz における本望遠鏡の性能を評価するため、11-m 望遠鏡の観測データと 11-m 望遠鏡のビームサイズに smoothing した Greenbank Telescope の観測データを比較した。ポインティングを考慮した上で、Greenbank Telescope の主ビーム輝度温度 T_{mb} と 11-m 望遠鏡の T_a^* の相関プロットを作成した結果、相関係数がおおよそ 0.7 の正の相関を得た。本講演では、11-m 望遠鏡における NH_3 分子輝線観測の整備状況、及び、23 GHz 帯における望遠鏡の性能について報告する。

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

V132a 電波天文用広帯域受信機のための超伝導ヘプタバンド帯域通過フィルタの開発

森田 有輝, 良知 颯太, 作間 啓太, 關谷 尚人 (山梨大学), 赤堀 卓也 (国立天文台)

UHF 帯での FRB の直線偏波の観測によって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があることが報告されているため (T. Akahori, PASJ, 70, 115, 2018), UHF 帯における広帯域受信機の開発が求められている。しかし、UHF 帯での観測には衛星通信や携帯電話による電波干渉 (RFI) が多いため、連続した広帯域観測は困難である。そのため、複数の RFI が少ない帯域を束ねて広帯域に観測することができる小型で高性能な超伝導マルチバンド帯域通過フィルタの開発が求められている。そこで、我々は以前報告した 5 つの帯域を持つ超伝導ペンタバンド帯域通過フィルタ (年会 2023 年 3 月) に対して、さらに帯域を 2 つ追加した超伝導ヘプタバンド帯域通過フィルタ (HB-BPF) を開発したので報告する。7 つの帯域は、シングルバンド共振器 5 つとデュアルバンド共振器 1 つで実現しており、各帯域の中心周波数と比帯域幅はシングルバンド共振器が 10.3% (0.7 GHz), 16.7% (1.3 GHz), 8.6% (1.6 GHz), 6.5% (2.3 GHz), 1.2% (2.5 GHz) であり、デュアルバンド共振器が 4.2% (2.1 GHz), 2.0% (2.7 GHz) である。以前開発したフィルタと同サイズの基板上で 7 つの帯域を実現するために、ID (Inter Digital) 給電線の ID の長さを変え、電流分布を制御することで各 BPF を並列に高密度に並べることを可能とした。開発した超伝導 HB-BPF は 0.7~2.7 GHz のほぼすべての空いている帯域を網羅している。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。

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

V133a 広帯域受信機のための高温超伝導マルチバンド帯域阻止フィルタの開発 (1)

末永 光, 湯山 義崇, 作間 啓太, 關谷 尚人 (山梨大学), 赤堀 卓也 (国立天文台), 新沼 浩太郎, 野原 祥吾 (山口大学), 小川 英夫 (大阪公立大学)

近年、無線通信による電波干渉 (RFI) が増え、センチ波帯域の広帯域観測は非常に難しくなっている。しかしセンチ波帯域は、FRB やマグネター、AGN のアウトバーストのような極限環境下の中で、非熱的なコヒーレント放射やインコヒーレント放射を捉えることのできる最も重要な周波数帯である。このため、広帯域に渡りすべての RFI を除去するために、帯域阻止フィルタ (BRF) を高密度実装できる小型・高性能超伝導マルチバンド帯域阻止フィルタ (MB-BRF) の開発が求められている。前回の年会 (2023 年 3 月) では、超伝導 MB-BRF の基礎検討として 6~18GHz に渡って、1 GHz ごとに 12 帯域をもつ MB-BRF の設計、作製、評価を実施した。今回は受信機を設置する国立天文台 (水沢) の RFI 調査が完了したため、そのすべての RFI を除去する 8 帯域の超伝導 MB-BPF を設計した。中心周波数と比帯域幅はそれぞれ、8.5 GHz (11.8%), 8.8 GHz (9.66%), 9.3 GHz (5.45%), 9.6 GHz (1.07%), 10.4 GHz (0.479%), 13.2 GHz (1.80%), 16.7 GHz (1.70%), 17.6 GHz (0.567%) である。基礎検討とは異なり阻止帯域が近接し、非帯域幅も各帯域で大きく異なるが、各 BRF の配置を工夫することで $38\text{ mm} \times 7.5\text{ mm}$ の基板内にすべての BRF を高密度実装できるようにした。設計した超伝導 MB-BRF のシミュレーション結果は、設計条件を満たした良好な結果が得られたが、帯域外の反射特性が十分に減衰していない課題が残った。超伝導 MB-BRF の作製と測定の詳細については当日報告する。

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

V134a 次世代マイクロ波放射計兼広帯域 VLBI 受信システムの開発 (VI)

氏原秀樹, 野坂秀之 (立命館大), 市川隆一, 関戸衛 (情報通信研究機構), 宗包浩志, 宮原伐折羅, 小林知勝 (国土地理院), 寺家孝明, 小山友明 (国立天文台), 竹内央 (JAXA), 今井裕 (鹿児島大)

JSPS 科研費 JP18H03828 で開発した広帯域フィード (16-64GHz) と OMT をもとに、21H04524 および 23H00221 にて任意の周波数帯で VLBI 観測を行いながら同一視線上の水蒸気量を測定できる広帯域受信機とフィールドでの水蒸気観測を目指した小型可搬局を開発中である。本システムは水蒸気 (22GHz 帯) 測定の誤差要因となる雲中の水滴 (30GHz 帯) と酸素 (50GHz 帯) の放射も同時に計測できるので成分の分離と誤差低減に有利である。しかし未だに全帯域を受信できる冷却低雑音アンプがないので、OMT で分けた 2 つの偏波を帯域が重なる 2 種類の LNA で受信している。OMT 内部で用いるプリント基板回路は極力細いビアを狭ピッチで並べて損失の低減を図ったが、NICT 鹿島での Gala-V で開発した Quad-ridge 導波管型 OMT よりは損失が大きい。

2024 年度は野辺山 45m に本システムを搭載して VLBI 観測での実証実験や大気測定を行う。どんなアンテナ光学系にもフィールドのビーム幅が合わせられるとはいえ NICT2.4m/11m は駆動系が故障しており、水沢 10m はフィードの交換が困難であり外付けになってしまう。VERA20m は副鏡が大きいために地面からの放射を拾いやすいこと、フィードの下で受信機位置が動くため定在波が定常的でないこと、これらの誤差要因に加えて受信機の新規設置場所の確保が難しい。よって本システムの最初の VLBI 実証実験には設置が容易かつ口径が大きくてビームが細く、夏には雷雲も見られる野辺山 45m を選択した。この実証実験の準備状況と試験結果を報告する。

今後、まずは上限 150GHz 以上を目標に更なる広帯域化と受信機回路の低損失化や小型化を進め、電波天文やリモセン、B5G/6G 通信への応用も目指していきたい。

[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](#)

V135a VERA 水沢搭載用 6–18 GHz 帯広帯域冷却受信機的设计

野原祥吾, 新沼浩太郎, 松原空洋 (山口大学), 赤堀卓也, 砂田和良, 山崎康正, 藏原昂平, 小山友明, 増井翔 (国立天文台), 作間啓太, 關谷尚人, 湯山義崇 (山梨大学), 亀山晃, 向井一眞, 小川英夫, 抱江柊利 (大阪公立大学), 長谷川豊 (NICT)

中性子星やブラックホールのようなコンパクト天体をはじめとする高エネルギー突発現象について、観測的理解を深めるためには、粒子加速に伴う非熱的放射を反映するセンチ波帯を広範にまたがり、同時に観測を行うことが重要である。一方、近年、メガ・コンステレーション計画によって約 1 万機の通信衛星が打ち上げられ、センチ波帯の強い送受信が行われるようになっていくとともに、地上でもセンチ波帯の利用は高まっている。そのため、地上でのセンチ波帯の観測は、広帯域装置の開発の難しさに加えて、これらの人工電波干渉 (RFI) の影響を避ける必要がある。このような状況から、電波観測システムの広帯域化が進んでいるにも関わらず、センチ波帯においては数 GHz を超えるような広い帯域を同時に観測するシステムの開発は最近まで進んでこなかった。

本研究では、このような状況を打開するために、特定の帯域を急峻に遮断でき、かつ低損失な高温超伝導フィルタの搭載および 6–18 GHz 帯を同時受信可能な給電部・光学系の開発によって、センチ波帯の広帯域受信システムを実現し、VERA 水沢 20m 電波望遠鏡に搭載することを目指している。まず、搭載予定のスターリング冷凍機の性能評価試験と、高温超伝導フィルタの通過特性や遮断帯域の温度依存性を調査し、冷却受信機部における予想雑音温度の定量評価を行った。現在、試験結果を踏まえ、要求仕様を満たすことのできる受信機の詳細設計を進めている。本講演では、以上の試験と新受信機設計の現状について発表する。

[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](#)

V136c VERA 搭載用 6-18GHz 帯広帯域受信システムの開発 - u-VERA 計画 III

新沼浩太郎, 野原祥吾, 松原空洋 (山口大学), 赤堀卓也, 砂田和良, 藏原昂平, 山崎康正, 小山友明, 増井翔 (国立天文台), 末永光, 湯山義崇, 作間啓太, 關谷尚人 (山梨大学), 長谷川豊 (NICT), 亀山晃, 向井一眞, 抱江柊利, 小川英夫 (大阪公立大学)

中性子星やブラックホールなどのコンパクト天体をはじめとする高エネルギー突発現象について観測的理解を深めるためには粒子加速に伴う非熱的放射を反映するセンチ波帯を広範にまたがり、同時に観測を行うことは極めて重要である。しかしながら、近年、いわゆるメガ・コンステレーション計画によって 1 万を超える通信衛星が打ち上げられ、センチ波帯の強い送受信が行われるようになっていくとともに、地上でもセンチ波帯の周波数利用は高まる一方である。そのため、地上におけるセンチ波帯の電波観測では、装置開発の難しさを克服するだけでなく、これらの人工電波干渉 (RFI) の影響を避ける必要もある。このような状況から、電波観測システムの広帯域化が進む昨今においても、センチ波帯においては数 GHz を超えるような広い帯域を同時に観測可能なシステムの開発は最近まで進んでこなかった。

本研究ではこの現状を打開するため高温超伝導フィルターや広帯域給電部および光学系の設計・開発 (例えば、山崎ほか 2023 年秋季年会 Z223a など) によってセンチ波帯広帯域受信システムを実現し、VERA 望遠鏡に搭載 (upgrade-VERA: u-VERA 計画) することを目指している。これまでに国立天文台水沢 VLBI 観測所における RFI 調査を実施し、観測帯域内の遮断周波数帯を決定するとともに高温超伝導フィルターの試作機の作成・評価を進めている。また、開発した給電部の性能評価およびスターリング冷凍機を用いた冷却試験も実施中であり、冷却受信機の詳細設計を進めているところである。本講演では同計画の概要と現状について紹介する。

[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](#)

V137a VERA86 GHz 帯受信機搭載用の広帯域円偏波分離器の開発

亀山晃, 近藤奨紀, 抱江柊利, 澤田-佐藤聡子, 岡田望, 小川英夫, 大西利和 (大阪公立大), 増井翔, 山崎康正, 上野祐治, 小山友明, 鈴木駿策, 砂田和良, 本間希樹 (国立天文台), 秦和弘 (名古屋市立大)

M87をはじめとする近傍の活動銀河ジェット天体において降着円盤に迫るスケールでジェットの付け根を観測するには、86 GHz 帯が最適な周波数領域であると考えられている。この周波数領域でモニター可能な高感度・高解像度 VLBI アレイの構築を東アジア VLBI 観測網で目指している。これを受け、我々は水沢と石垣の VERA20 m 望遠鏡に搭載する 86 GHz 帯低雑音受信機の開発を行っている (亀山 他 2022 年秋季年会, 秦 他 2023 年春季年会, 近藤, 亀山 他 2023 年秋季年会)。

搭載する受信機システムとして、導波管 90 度位相遅延器と直交偏波分離器を組み合わせた 67–116 GHz 帯広帯域円偏波分離器を開発中である。本円偏波分離器は、Double-ridge 型と Corrugated 型の二つの異なる周波数特性を併せ持つ位相遅延器と超低損失な直交偏波分離器を組み合わせたことで、より低損失で広帯域を実現するものである。電磁界解析ソフトを用いた設計はすでに済んでおり、位相遅延器では、反射損失が 25 dB 以上、位相差が 90 ± 5 度以下、直交偏波分離器では、反射損失が 25 dB 以上、交差偏波分離度が 30 dB の設計が得られている。その後、上記の設計で高周波 VNA を用いて測定した結果、概ね反射損失が 25 dB 以上の低損失な特性を得ることができたが、特に位相遅延器では、挿入損失に細かい共振や 10 度ほどの位相のずれを確認した。この特性の劣化は、VNA 測定時に使用する矩形 – 方形変換導波管との接続部分のずれや切削誤差などによる影響が考えられ、劣化原因の追求を進めている。本講演では、設計した広帯域位相遅延器の設計値と測定結果の違い及び、特性劣化の原因の考察について報告する。

[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](#)

V138b 86GHz 帯常温受信機の VERA 石垣局への搭載作業および試験観測の報告

近藤奨紀, 亀山晃, 岡田望, 澤田-佐藤聡子, 小川英夫, 大西利和 (大阪公立大学), 秦和弘 (名古屋市立大学), 砂田和良, 上野祐治, 小山友明, 朝倉佑, 島田かなえ, 山下一芳, 鈴木駿策, 本間希樹, 増井翔, 山崎康正 (国立天文台), 小山翔子 (新潟大学) 他

活動銀河中心核に存在する巨大ブラックホール (SMBH) からは相対論的に加速されたジェットが噴出していることが知られているが、ジェットの駆動理論は未解明である (2023 春季 秦)。Moscibrodzka et al. 2016 による理論モデルでは、シンクロトロン放射に対して光学的に薄くなる 86 GHz (波長 3.5 mm) 帯の観測によって、SMBH とジェットを同時に捉えることができる。さらに、Global mm-VLBI Array による 86 GHz 帯観測によって同時観測が確認された。(Lu et al. 2023) そこで我々は East Asia VLBI Network を 86 GHz 帯に拡張し、高解像度・高周波観測によってジェットの駆動原理を解明するため、VERA 水沢・石垣局に搭載するための受信機開発を進めている (2023 秋季 近藤 亀山)。本年 1~2 月にかけて、水沢局に続いて石垣局にも 86 GHz 帯常温受信機を搭載し、アンテナ性能の洗い出しを目的として天体観測を行った。(1) 86 GHz 帯における大気の影響: SecZ 法による測定から、 $\tau_0 = 0.19 \sim 0.31$ (天頂方向 $T_{sys}^* = 1000 \sim 1200$ K) が得られた。この結果は、水沢局での 5 月測定値 ($\tau_0 = 0.18 \sim 0.30$) と同程度だった。(2) 天体信号の受信: 木星からの連続波と Orion-KL 領域からの SiO メーザーを確認し、無事にファーストライトを迎えた。

本講演では、現地での搭載作業や測定項目 (1), (2) の結果についてまとめるとともに、水沢局に搭載した受信機による測定結果との比較を行う。また、今秋以降の VLBI 試験へ向けた展望を述べる。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V139b 大学連携 VLBI 新受信機搭載に向けた偏波変換プログラムの開発

藤巴一航, 澤田-佐藤聡子, 小川英夫, 大西利和 (大阪公立大), 松原空洋, 新沼浩太郎, 藤澤健太 (山口大), 米倉寛則 (茨城大)

現在の電波望遠鏡では、搭載されている受信機によって直線偏波か円偏波のいずれかを観測することができる。干渉計の設計には、それらのうち一方に合わせた受信機システムを採用してきた。特に VLBI では円偏波が主流である。そのため、既存の VLBI 関連器やデータ解析プログラムでは円偏波同士の相関処理および visibility 出力を想定しており、偏波の種類が異なる状態 (以後、混合偏波) での相関処理後に解析を行うことができない。

今後、より大規模な VLBI の観測では混合偏波状態になると考えられ、混合偏波 visibility を円偏波 visibility へ変換する工程が不可欠である。我々は相関処理後の混合偏波 visibility 変換に着目し、大学連携 VLBI に特化した初の偏波変換プログラムの作成に取り組んだ。この方法は、観測に参加するアンテナ数が多い場合に大変有利であると共に、過去に観測された混合偏波状態の visibility を円偏波 visibility として復元できる点でも優れている。

山口大学が運用している電波望遠鏡 (32m 鏡) に搭載する新受信機は、Dewar 内の構成を一部変更することにより円偏波と直線偏波の観測の切り替えが可能である。通常は 32m 鏡 (円偏波)–34m 鏡 (円偏波) 「山口干渉計」として運用しているが、切り替えることにより、32m 鏡 (直線偏波)–34m 鏡 (円偏波) の混合偏波観測が可能である。それら 2 台を用いて、本プログラムの実証実験を 2024 年夏に計画中である。さらにその後は、山口大学のアンテナ 2 台に加え、茨城大学が運用している日立 32m 鏡を用いて「山口-茨城間」の VLBI 観測にも応用したいと考えている。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V140b 野辺山 45 m 電波望遠鏡における OCXO を用いた VLBI 実験

今井 裕 (鹿児島大学), 河野裕介, 佐藤 元, 寺家孝明, 小山友明 (国立天文台水沢), 米倉寛則 (茨城大学), 西村 淳, 宮澤千栄子 (国立天文台野辺山)

野辺山 45 m 電波望遠鏡 (45m 鏡) に臨時で投入・運用されている oven controlled crystal oscillator (OCXO) を使った 22 GHz 帯 VLBI フリンジテスト (FT)(VERA 小笠原局 + 石垣島局・高萩局) に成功したので、その経緯と結果の詳細について報告する。

故障してしまったロシア製水素メーザー周波数標準の修理やその代替機の価格高騰は、VLBI (超長基線電波干渉法) 観測業界では問題になっている。45m 鏡においては、この問題が 2022 年 11 月に現実のものとなってしまった。そこで VLBI 局として復活させるべく、気球 VLBI 実験で使われてきた OCXO を急遽 45m 鏡に設置して運用することとなった。OCXO は、長時間の時刻安定性には課題があるが、2-3 分程度であれば VLBI で使える周波数安定度が期待される。まず、水沢 VLBI 観測にて水素メーザー信号と比較することにより、該当 OCXO 発信信号の周波数を厳密に 5 MHz に合わせた。45m 鏡は 2024 年 6 月現在、時刻基準系及び 10 MHz 信号を途切らずに注入する必要がある機器に対してはルビジウム時計から 1 PPS 信号と 10 MHz 参照信号が供給され、VLBI 観測にも利用されるその他機器へはこの OCXO から 10 MHz 参照信号が供給されている。2024 年 5 月 10 日、11 日に実施された上記 VLBI-FT では、テスト時間内 (各日 ~1 時間) でも GPS 時計とルビジウム時計の時刻差が $\sim 7 \mu\text{s}$ も変化していた。定常的な天文学目的の VLBI 観測に移行するには、この clock offset の自動調整が課題となる。ともあれ、コヒーレンスロスが存在するものの、VLBI-FT の検出によって OCXO 利用時における VLBI 観測の手順が確認され、より高周波数帯での VLBI 実験への実現性について明るい見通しが立った。

[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](#)

V141b 45m 鏡搭載 Perforated Plate 型 43/86GHz 帯周波数分離フィルターの開発

河本琉風, 小川英夫, 大西利和, 岡田望 (大阪公立大学), 山崎康正 (国立天文台), 今井裕 (鹿児島大学), 新沼浩太郎 (山口大学)

野辺山 45m 電波望遠鏡では 22/43/86 GHz 帯 VLBI 同時観測システムを構築すべく、perforated plate 型周波数分離フィルターが搭載されている (Okada et al. 2019)。また、43/86 GHz 帯フィルターの有無によって雑音温度に約 40~50K の差が生じることがわかっている (Tsutsumi et al. 2023)。このフィルターを 45m 鏡での設置角度と同様の入射角 30° で透過特性を測定した結果、86 GHz において -0.6 dB の損失が見られた。この結果は上記の雑音温度上昇と矛盾しない。対して、シミュレーションでは -0.4 dB の損失である (野曽原他、2022 年秋季学会)。つまり、フィルターのシミュレーションと実測の間には差があるが、原因は未だ不明である。この差に対する原因を今回調査した。

シミュレーションとの比較・再現性の確認をするため上記のフィルター測定の測定系と同じものを用いて、入射角 30°, 0° で透過特性を測定し、それぞれの入射角でのシミュレーションの透過特性と比較した。その結果、入射角 0° の場合は誤差 0.1 dB 以内でシミュレーションと一致しているが、入射角 30° の場合は上記の実測の結果と同様にシミュレーションとは一致せず、高周波側で損失が大きくなった。

入射角をつけることによりシミュレーションとの誤差が生じることから、フィルターの構造に対して電磁波が平面波としてではなく、斜入射成分を含む波として振る舞っていることが影響している可能性がある。今後は、これらを踏まえて測定方法等の改良を検討する。本講演では、上記の詳細な結果と今後の展望について報告する。本測定は国立天文台先端技術センターにて行った。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V142b 高萩・日立 32 m 電波望遠鏡の整備・運用状況 2024B

米倉寛則, 田辺義浩, 森泉怜, 古川真祐子, 高橋健太郎, 松島瑞樹, 村田千和, 百瀬宗武 (茨城大), 小川英夫 (大阪公大), 元木業人, 新沼浩太郎, 藤沢健太 (山口大), 高羽浩, 佐野栄俊, 村瀬建 (岐阜大), 久野成夫 (筑波大), 中川亜紀治, 今井裕 (鹿児島大), 本間希樹 (国立天文台), 他 JVN 関係者

茨城大学が運用する国立天文台水沢 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、東アジア VLBI 観測網 (EAVN) の共同利用観測や VERA 大型共同観測プログラム (VLCOP) の VLBI イメージング観測を 6.7, 22 GHz において実施するとともに、6.7, 8.4 GHz においては山口 32-m アンテナ、山口 34-m アンテナとともに少数基線 VLBI 観測によりコンパクトな連続波源の高感度観測を実施している。また、6.7, 12.2, 19.9, 23.1 GHz 等のメタノールメーザー源の単一鏡モニター観測を毎日実施している。日立アンテナは 1 年を通して 6.5-12.5 GHz 帯受信機を搭載し、高萩アンテナは 9 月から 6 月は 22 GHz 帯受信機を搭載している。EAVN 共同利用観測には、6.7 GHz 帯および 22 GHz 帯において、それぞれ年間 100 時間を提供している。

IF 系については、現在は冷却受信機出力を 3 分配し、6.7, 8.4, 12.2 GHz の観測に用いている。これを、6.7, 12.2 GHz およびサイドバンド分離型 (受信周波数可変) の 3 系統へと改造中である。これにより大質量星の形成過程における「アクリンションバースト」の発生時に、発生時においてのみ検出例のあるメタノールメーザー (7.6, 7.8 GHz など) と通常時から検出されている 6.7, 12.2 GHz の同時観測に即応できるようになる。

また、2024 年 5 月 10 日および 11 日に行われた野辺山 45-m 電波望遠鏡のフリンジ試験 (今井他、本年会) に高萩 32-m が参加し、22 GHz 帯において無事フリンジを検出した。(本研究は、国立天文台大学間連携プロジェクト「国内 VLBI ネットワーク事業 (JVN)」、JSPS 科研費 JP21H01120、23K20861 の助成を受けた)。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V143b 岐阜大学 11m 電波望遠鏡の運用状況 - III

村瀬建, 石倉丈裕, 北村哉太, 多田輝太, 濱田莉来, 浅野裕也, 井上陽登, 魚住光史, 杉野裕輝, 豊田裕也, 山中祐里奈, 柘植紀節, 佐野栄俊, 高羽浩, 若松謙一 (岐阜大学), 小川英夫 (大阪公立大), 泉奈都子 (NAOJ/岐阜大学), 須藤広志 (仙台高専)

岐阜大学 11m 電波望遠鏡は、岐阜大学構内に設置され、同大学工学部宇宙科学研究室が運用する電波望遠鏡である。AGB 星や星形成領域に対して、22 GHz 帯で検出可能な H_2O メーザーの単一鏡サーベイ観測を実施しつつ、大学 VLBI 連携観測事業 (JVN) の VLBI 1 局としても稼働させるために VLBI 観測モードの導入を進めている。2024 年春季年会では、2023 年観測シーズンでのメーザーサーベイの状況と、アンテナの性能評価、補修塗装について報告した。加えて、RF 信号を分岐するディバイダーの不具合により、2023 年 12 月から左円偏波 1 系統での運用を行なっていることを報告した (村瀬他 2024 年春季年会)。2024 年度は、観測周波数設定を 23 GHz へ変更し、 NH_3 分子輝線のマッピング観測を行うための整備、試験観測を進めている。また、23 GHz 帯における望遠鏡の性能評価を実施している (杉野他 2024 年秋季年会)。本講演では、11m 望遠鏡の今後のアップデートについて報告する。フロントエンドについては、現在搭載されている 22 GHz 帯受信機の広帯域化と両偏波化に向けて、苫小牧 11m 望遠鏡に搭載されていた受信機を元にした受信機開発に着手した。2024 年 4 月からは受信機開発のための実験室を岐阜大学工学部内に整備中である。搭載を予定している北欧製の新型 LNA の性能は、10 K 冷却で $T_{\text{RX}} \sim 10 \text{ K}$ である。従来の LNA の T_{RX} は 50 K であり、大幅にシステム雑音温度が軽減することが見込まれる。バックエンドについては、受信機の載せ替えに向けて、RF 信号分岐用ディバイダー、ダウンコンバート用ミキサー、IF 帯の常温増幅器など常温素子の更新を進めている。

[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](#)

V144a マイクロ波背景放射偏光観測宇宙望遠鏡 LiteBIRD 計画の進捗

海老沢 研 (宇宙航空研究開発機構), 他 LiteBIRD Joint Study Group

LiteBIRD はインフレーション起源の原始重力波を検出することを目指した JAXA 主導の国際共同ミッションである。JAXA の戦略的中型計画の 2 号機で、2032 年度の打ち上げを目指して開発が進められている。H3 ロケットによって太陽-地球系のラグランジュ点の一つである L2 に投入され、宇宙マイクロ波背景放射 (Cosmic Microwave Background, CMB) の偏光を 3 年間に渡って全天サーベイ観測し、原始重力波の痕跡である B モード偏光の強度を示すテンソル・スカラー比 r を、誤差 0.001 以下の精度で検出する。この目的を達成するため、およそ $30-70$ 分角の角分解能で視野 $18^\circ \times 9^\circ$ を持つ低周波望遠鏡 (34–161 GHz) および中高周波望遠鏡 (89–448 GHz) を搭載する。100 mK のベース温度で運用する多色超伝導転移端検出器アレイにより、34–448 GHz の周波数帯域で 15 バンドの多周波観測を行い、銀河ダストやシンクロトロン放射等の前景放射と CMB を分離する。LiteBIRD は、海外では仏 CNES を中心とするヨーロッパ各国およびカナダ、国内では KEK (「量子場計測システム国際拠点」を含む)、東大 IPMU、岡山大との協力に基づく計画で、米国機関も参加している。LiteBIRD は 2024 年 2 月にミッション定義審査 (MDR) を完了し、Phase A (プロジェクト準備段階) への移行準備を進めている。本講演では、LiteBIRD 計画の今年度の進捗と今後の計画について報告する。

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

V145a LiteBIRD 低周波望遠鏡 1/4 スケールモデルの低温近傍界アンテナパターン測定

高倉隼人, 関本裕太郎, 小田切公秀 (宇宙航空研究開発機構), 坂本佳蓮 (諏訪東京理科大学), 高橋理音 (東京大学), 三浦史弥 (横浜国立大学), 松田フレドリック, 小栗秀悟 (宇宙航空研究開発機構)

LiteBIRD は、宇宙マイクロ波背景放射 (CMB) の偏光観測により、インフレーション仮説の検証を目指す宇宙望遠鏡である。日本が開発を担当する低周波望遠鏡 (観測周波数 34–161 GHz) は、口径 400 mm、視野 $18^\circ \times 9^\circ$ の crossed Dragone 型反射望遠鏡であり、全体を 5 K に冷却した状態で観測を行う。開発課題として、アンテナ光学系での迷光や回折光が、銀河面からの放射と CMB の偏光信号を混信させることが懸念されている。目標観測精度を実現するには、アンテナパターンの広角サイドローブを -56 dB レベルで較正することが要求される。

アンテナパターンを望遠鏡開口面での電場の振幅・位相測定から求める近傍界測定法は、測定時の可動箇所が小さく、将来のスペースチェンバ内での地上光学試験に有利である。これまでに、低周波望遠鏡の鏡面と測定波長を 1/4 倍した光学系を用いて測定を行い、視野の端でも広角サイドローブを -70 dB レベルまで測定できること (H. Takakura *et al*, *IEEE TST* 9, 6, 598, 2019) や、参照信号との干渉を利用し強度測定のみから位相を復元しても同等の精度が得られること (R. Nakano *et al*, *JATIS* 9, 2, 028003, 2023) を、実験室環境にて実証した。

次の段階として、これらの測定を極低温チェンバ内で実現するための技術開発を進めている。真空環境で動作する可動熱シールド付きミリ波スキャナを開発し、これを低周波望遠鏡 1/4 スケールモデルの開口近傍に取りつけ、極低温チェンバ内に設置した。これにより、望遠鏡を冷却した状態においても、大気窓を通さずに開口面の電場を直接スキャンすることが可能となった。本講演では、測定系の詳細ならびに測定結果について報告する。

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

V146a 広視野ミリ波望遠鏡のアンテナパターン測定に向けた位相ステップホログラフィック電場復元法の開発

高橋理音 (東京大学, JAXA), 高倉隼人 (JAXA), 関本裕太郎 (東京大学, JAXA), 三浦史弥 (横浜国立大学), 稲谷順司 (JAXA), 松田フレドリック (JAXA), 小栗秀悟 (東京大学, JAXA), 中村正吾 (横浜国立大学)

宇宙マイクロ波背景放射 (CMB) の偏光のような微弱な信号を観測するため広視野のミリ波望遠鏡が開発されてきた。これらの望遠鏡では、フィードと一体となったボロメータ型検出器を使用することが多い。また、銀河面からの放射と観測信号との混信の可能性があるため、それぞれの検出器において広角サイドローブを含めたアンテナパターンを高精度に評価する必要がある。アンテナパターンの測定にはホログラフィック電場復元法を利用した近傍界測定が有効である。開口面での振幅と位相情報を利用するベクトル近傍界測定を、位相に感度を持たないボロメータ検出器を搭載した望遠鏡に直接適用することはできない。しかし、参照波との干渉縞の強度分布であるホログラムを利用するホログラフィック位相復元法を用いることで近傍界測定を行うことができる。

34–161 GHz で CMB と前景放射を観測する *LiteBIRD* 低周波望遠鏡 (LFT) の 1/4 スケールモデルに対して、ベクトル近傍界測定の開発 (H. Takakura et al, IEEE TST 9, 6, 598, 2019) や、時間領域へのフーリエ変換を用いたホログラフィック位相復元法の開発 (R. Nakano et al, JATIS 9, 2, 028003, 2023) が行われてきた。本研究では細かい周波数掃引を必要としない、参照波の位相ステップを利用したホログラフィック電場復元法のアルゴリズムを開発した。また、LFT1/4 スケールモデルを用いた実験を行い、本手法と VNA を使ったベクトル近傍界測定とを比較してアンテナパターンが -60 dB レベルで一致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](#)

V147a POLARBEAR 実験による大気円偏光の観測

高倉理 (QUP), 藤野琢郎 (横国大), 他 POLARBEAR Collaboration

宇宙マイクロ波背景放射 (CMB) の直線偏光ゆらぎは宇宙誕生直後の現象を探ることができるため現在盛んに観測されている。一方、CMB の円偏光ゆらぎはまだあまり観測されていない。POLARBEAR 実験は CMB 直線偏光ゆらぎの精密観測を目的とした 150GHz 帯に感度を持つ望遠鏡であるが、半波長板の非理想性を利用することで、円偏光を観測できる可能性がある。

この手法の実用性を示すため、まずはより大きな円偏光が期待される地球大気の円偏光信号の測定を行った。地磁気によるゼーマン効果により、大気中の酸素分子の熱放射はわずかに円偏光している。2014 年から 2016 年の観測データを用いて方位角方向に依存する円偏光成分を測定し、シミュレーションと比較した。その結果、期待される方位角依存性、および、検出器のバンドパス依存性を確かめることができた。本講演では以上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](#)

V148a CMB 受信機の光学特性測定にむけたフィードバック制御する出力可変な人工較正光源の開発

廣瀬開陽 (横浜国大, KEK 素核研), 長谷川雅也 (KEK 素核研, QUP), 金子大輔 (QUP), 長崎岳人 (KEK 加速器), 高久諒太 (QUP)

宇宙マイクロ波背景放射 (CMB) の角度スケール B モード偏光の検出は、原始重力波の発見とインフレーションモデルの実証になると期待されており、それを目指した CMB 偏光マップの精密観測実験が国際的に進行している。観測感度を向上するにあたり、観測機器由来の系統的な不確かさを十分に低減することが課題であり、ビームパターンを始めとした CMB 受信機の光学特性およびその非理想性を精密に測定・評価することが必要になる。CMB 受信機は、超伝導転移端 (TES) ボロメータのような、飽和電力が pW スケールと極めて小さい検出器を擁するため、光学特性を測定する際に検出器の非線形性の影響を受けない工夫が必要である。本研究ではこの問題を解決するべく、出力パワーが可変な狭帯域マイクロ波光源をフィードバック制御することで、CMB 受信機の光学特性を精密に測定する手法を考案した。また、この新しい手法の検証のため、実験室に構築した光学試験システムで、常温ダイオード検波器と組み合わせた角錐ホーンアンテナのビームパターンを -60 dB の小さなサイドローブまで精密に測定した。本講演では、2024 年春季年会での報告からの進展を中心として、試験手法および検証試験の結果を発表し、この手法を実際の CMB 受信器に適用するために進めている光源システムの開発および試験について報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V149a 広帯域ミリ波サブミリ波検出器のための多画素化に適した Magic-T の設計 2

井上修平, 陳家偉, 河野孝太郎 (東京大), 宇野慎介 (理化学研究所), 渡邊一輝 (総研大), 丹羽佑果 (東京工業大), 長沼桐葉, 山村亮介 (電通大), 竹腰達哉 (北見工大), 大島泰 (国立天文台)

我々は、運動学的スニヤエフ・ゼルドビッチ効果の検出を目指し、グリーンランド望遠鏡に搭載予定の超広帯域 (130–700 GHz) かつ広視野 (18 分角) カメラ GLTCAM の開発を行っている。本計画では、カメラの 2 焦点面に、ミリ波 (130–295 GHz; 比帯域 2.3 倍)・サブミリ波 (330–700 GHz; 比帯域 2.1 倍) の多画素超伝導検出器アレイを配置し、観測帯域と視野をカバーする。天体信号は、検出器基板上の直交偏波分離器 (OMT) に送られ、その両電極で位相反転した信号を、Magic-T (180° Hybrid) で 180° 反転して合成する。よって Magic-T には、多画素化しやすい構造で、比帯域 ~2.3 倍に渡り、入力での反射・出力での位相ずれを抑えた性能が求められる。

広帯域 Magic-T として、周波数依存の少ない位相反転が可能な結合線路、外界との反射を調節する多段のインピーダンス変換器を用いることで、理論上、比帯域 2.3 倍以上となる解析解が提案されている (Gruszczynski, S., et al., 2012)。ただし、広帯域解の結合線路のインピーダンスを満たすために、多画素化に適さない誘電体積層構造が使用される状況であった。そこで我々は、先行研究で課された拘束条件を精査した上で緩和し、かつ広がった範囲を計算が高速な回路シミュレータを用いて網羅的に掃引することで、比帯域 2.3 倍かつ多画素化が容易な単層の平面構造の解を得る手法を確立し、6–14 GHz スケールモデルでの設計を報告した (井上他, 2022 年秋季年会 V140a; Inoue, S., et al., JLTP, 2024)。今回は上記手法をアップデートした上で、ミリ波の超広帯域 (130–295 GHz) に渡って要求を満たす多数の解の中から、パラメータ摂動の影響が比較的少ない解を選び出し、製造誤差の影響を極力抑えた解の取得に成功した。本講演では設計手法の詳細およびミリ波の最適解について紹介する。

[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](#)

V150a ミリ波多色 MKID の小型化に向けたオンチップフィルター回路の設計改良

宇野慎介 (理化学研究所), 陳家偉, 井上修平, 河野孝太郎 (東京大学), 大島泰 (国立天文台), 小野哲, 酒井剛, 長沼桐葉, 山村亮介 (電気通信大学), 遠藤光 (TU Delft), 唐津謙一, Jochem J. A. Baselmans (SRON, TU Delft), 竹腰達哉 (北見工業大学), 丹羽佑果 (東京工業大学), 渡邊一輝 (総合研究大学院大学)

我々は銀河団における運動学的スニヤエフ・ゼルドビッチ効果の測定やサブミリ波銀河のサーベイを目指して、グリーンランド望遠鏡に搭載する広帯域ミリ波サブミリ波多色カメラ GLTCAM の開発を進めている。18 分角に及ぶ広視野の多色同時撮像を実現するため、GLTCAM の焦点面多色検出器アレイ (ミリ波帯 150/220/270 GHz、サブミリ波帯 350/400/650 GHz) では、各空間ピクセルにおけるオンチップバンドパスフィルター (BPF) とマイクロ波力学インダクタンス検出器 (MKID) との組み合わせによって 3 色の周波数弁別、多重同時読み出しを行う。

これまでにオンチップフィルターに関して、単層のコプレーナ線路構造によって各インダクタおよびキャパシタを作る準集中定数 BPF の設計手法を確立した (宇野他, 2023 年秋季年会 V107a)。また MKID については 1/4 波長共振器型 MKID のハイブリッド化によって高感度化を図る。しかし以前の BPF 回路では末端にシャントキャパシタがあるために 1/4 波長共振器型 MKID とは直接接続できないという課題があり、それを BPF 外部で解決するには占有面積と検出感度を犠牲にせざるを得なかった。そこで本研究では、BPF 回路末端の素子を変更して 1/4 波長共振器型 MKID へ直結可能な形にした新しいオンチップフィルター設計を考案した。この改良によって、MKID の高い感度を維持しつつも、ミリ波帯検出器アレイの 6 mm ピッチの空間ピクセル内に両偏波 3 色分の MKID 合計 6 個が収まるような設計が得られた。本講演ではオンチップフィルター設計の詳細、および設計した 150/220/270 GHz の各 BPF のシミュレーション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](#)

V151a ミリ波多色カメラに向けたオンチップ準集中定数フィルターのスケールモデルの評価

渡邊一輝 (総合研究大学院大学), 宇野慎介 (理化学研究所), 井上修平, 河野孝太郎 (東京大学), 大島泰 (国立天文台), 小野哲, 酒井剛 (電気通信大学), 竹腰達哉 (北見工業大学)

我々は、グリーンランド望遠鏡 (GLT) に搭載する広視野かつ超広帯域 (130–700 GHz) の同時多色撮像が可能なカメラ (GLTCAM) を開発している。このカメラを用いて、ミリ波・サブミリ波による広域サーベイを行い、スニヤエフ・ゼルドビッチ (SZ) 効果を用いた銀河団の動的進化と、サブミリ波銀河の探索による宇宙構造形成史・星形成史の解明を目指す。従来の多色カメラでは波長分割を行うために、準光学式フィルターを用いていたが、光学系が複雑かつ巨大になるという欠点があった。しかし、近年は小型かつ多色化が可能な新たな技術として、波長分割フィルターを検出器基板上へ集積化したオンチップフィルターが注目されている。

我々のフィルターは単層構造の CPW を用いた上で、フォトリソグラフィーを想定した最小線幅 $2 \mu\text{m}$ の制約下で要求値を満たすために、各インダクタ・キャパシタの寸法条件を波長の 4 分の 1 以下まで許容する「準集中定数」で構成される (宇野ほか 2023 年秋季年会 V107a)。この設計手法とデザインの確認のために、135–165 GHz 帯のオンチップフィルターを 6.5–8.5 GHz 帯のスケールモデルのフィルターとして作成した。スケールモデルでは、拡大率が大きくなるほどウエハ背面の導体によるインピーダンス変化の影響が大きくなる。本講演では得られたデザインの設計と製造したバンドパスフィルターを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](#)

V152a 100-GHz 帯野辺山 45 m 電波望遠鏡搭載用 LeKID カメラ:初期観測に向けた実験室での性能評価

石崎悠治, 本多俊介, 李豪純, 井上昂, 佐藤優馬, 新田冬夢, 久野成夫 (筑波大学), Damien CHEROU-VRIER (筑波大学, Univ. Grenoble Alpes), Juan Macias-Peres (Univ. Grenoble Alpes), 永井誠, 村山洋佑, 松尾宏, 都築俊宏 (国立天文台), 関本裕太郎 (宇宙研), 中井直正 (関西学院大学), 成瀬雅人 (埼玉大学), Alessandro Monfardini (Institut Neel)

ミリ波帯の広域探査を目的として、我々は野辺山 45 m 電波望遠鏡用 100-GHz 帯電波カメラを開発している。検出器候補のひとつはフランス・グルノーブル・アルプ大学が開発している 144 素子集中定数型 KID(LeKID) である。今季、本カメラを野辺山 45 m 電波望遠鏡に搭載し試験観測をする準備をしている。LeKID は両偏波受信が可能であり、アンテナやレンズを必要とせず集積化が容易である。多素子同時読み出し回路を用いた実験室での光学性能評価により LeKID が両偏波に感度を持つことを確認した (野地ほか, 2022 年春季年会 V132a)。一方で雑音等価電力 (NEP) は、地上観測での感度限界 10^{-16} W/Hz^{1/2} 台と比較して 2 桁大きい結果を得た。ひとつの原因として、多素子同時読み出し回路由来の雑音が大きいことが考察されている。

今回は LeKID 単素子ごとに雑音のパワースペクトル密度 (PSD) を測定するセットアップを構築して雑音性能を評価した。結果としてこれまで確認できなかった PSD でのロールオフが見られ、LeKID 由来の雑音を確認することに成功した。VNA で応答が確認できた 138/144 素子に対し同様の雑音測定を行い、LeKIDs アレイが観測に十分な性能であるか評価している。その他にも、ナイフエッジ法を利用して真空窓下に結ばれる焦点面が作るビームパターンを測定した。本講演ではこれらの解析結果、および今後の観測計画についてその詳細を報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V153b 850GHz 帯域用 MKID 開発に向けたダブルスロットアンテナ設計

井上昂, 本多俊介 (筑波大学), 永井誠, 村山洋佑, 松尾宏 (国立天文台), 李豪純, 石崎悠治, 佐藤優馬, 新田冬夢, 久野成夫 (筑波大学), 中井直正 (関西学院大学), 関本裕太郎 (宇宙研), 成瀬雅人 (埼玉大学)

我々はサブミリ波での遠方銀河探索をより好条件で実現するため、南極 12m テラヘルツ望遠鏡による連続波広域サーベイ観測を目指している。そこでは最大 850 GHz 帯域までの周波数領域で連続波観測用多素子カメラを運用する予定となっている。現在我々のグループは野辺山 45 m 電波望遠鏡に搭載する 100 GHz 帯域用 MKID (多素子化を得意とする超伝導検出器) を開発している。本研究ではこれを応用して、850 GHz 帯域 MKID カメラを実現する。そのために、コプレーナ線路 (CPW) に接続されているダブルスロットアンテナを 850 GHz 用に再設計する。

850 GHz 帯アンテナの設計では、電磁界シミュレーションソフト HFSS でシミュレーションを行い、2つの設計案で結果を比較した。スロットの大きさは観測波長によって決定され、スロットの全長は 100 GHz 帯では 840 μ m であるのに対して、850 GHz 帯では 98.8 μ m となる。この時、接続している幅 7 μ m の CPW の寄与を無視することはできず、アンテナの周波数特性やビームパターンに影響を及ぼす可能性がある。

シミュレーションの結果、CPW とスロットの距離が近いことで交差偏波に対する感度に影響が出ることが分かった。本講演では、アンテナに対する CPW の影響について、より詳細な考察を報告する。具体的には 2つの設計案に関して、CPW の有無での結果をシリコンレンズを接続させた時とそうでない時と比較し、その影響の度合いを評価した。アンテナが 850 GHz に感度を持ち、交差偏波も低減できる設計案についても述べる。

[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](#)

V201a Computer-Generated Hologram を用いた軸外し放物面の鏡面精度測定

石川あゆみ (広島大学), 鈴木竜二 (国立天文台), 近藤翼 (名古屋大学), 尾崎忍夫 (国立天文台), 中川貴雄 (ISAS/JAXA), 稲見華恵 (広島大学)

赤外線観測は熱放射の影響を受けるため、装置を極低温に冷却する必要がある。また、赤外線は地球大気に吸収されやすいため宇宙空間での観測が必須であり、観測装置の軽量・コンパクトが欠かせない。この実現には自由曲面鏡が有効である。自由曲面鏡の観測装置への応用は、次世代赤外線宇宙望遠鏡 GREX-PLUS や遠赤外線観測ミッション FIR-Probe 計画でも予定されている。しかし、自由曲面鏡の表面形状を保証 (測定) することは容易ではなく、極低温下ではなおさら困難である。そこで本研究では、まずは常温下において、軸外し放物面鏡を用いて自由曲面を模擬し、鏡面測定法の確立と測定精度の定量的な評価を目的とする。表面形状を数 nm の精度で別途測定することで表面形状をキャリブレーションし、以下に述べる本測定での測定精度を求めることができる。

本測定では、Computer-Generated Hologram (CGH) とフィゾー型干渉計を組み合わせた測定法を選択した。これは次のステップで行う冷却下での測定の際に、クライオスタット内に配置した被検面を非接触で測定するためである。加えて、CGH を用いて収束光を作ることによってクライオスタットの窓を小さくすることも冷却下での測定に有利である。測定に向け、最初に、鏡一枚あたり 0.1 % の感度低下を許容して測定精度の要求値を 32 nm に設定し、要求精度を達成するための光学設計、公差解析を行った。次に、必要な調整精度をもとに測定手順を立案し、立案した手順に沿って上述のキャリブレーション測定と CGH を用いた鏡面測定を実施した。本講演では、測定結果について報告し、CGH を用いた自由曲面鏡の測定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](#)

V202a 深層学習による光学系のミスアライメントの数値的予測を用いた光学調整法

橋本遼, 松浦周二 (関西学院大学), 飯田佑輔 (新潟大学)

望遠鏡を組み上げたとき、製造の公差や設置の誤差によって光学素子の平行移動や傾きといったミスアライメントが収差を発生させるため、設計通りの結像性能を得るために光学調整が必要である。ハルトマンテストのような定量的なミスアライメントの決定法では、焦点像の強度パターンから直接予測することは困難なため、複数の穴があいたマスクを用いて光源を有限に分割し光線ベクトルを測定して解析を行う。装置の改造と画像解析の手間を減らすため、焦点像の強度パターンから直接ミスアライメントを測定する方法として、画像解析や画像認識で近年急速に発展している深層学習に注目し、スルーフォーカスの画像から光学素子のミスアライメントを数値的に予測する深層学習モデルを開発した。このモデルは、マスクなどの装置への改造なく定量的な予測をおこなうため、要求された結像性能が得られるまでの調整回数を減らすことが期待される。光線追跡シミュレーションの設計上の光学素子にミスアライメントパラメータを加えスルーフォーカス画像のペアを生成し、実際に起こり得る公差範囲を繰り返し計算して学習データを生成した。シミュレーションを用いることで、光学系に発生するあらゆる種類のミスアライメントを想定できることがこのモデル開発の特徴である。この手法を実証するために、単純な放物面鏡とリッチークレチアン型宇宙望遠鏡の 2 種類の光学系に対して予測モデルを作成した。本講演では、実測したスルーフォーカス画像と、モデルの予測ミスアライメントに対応するスルーフォーカス画像の類似性を評価し、モデルの予測が妥当であることを示す。そして、モデルの予測に従って望遠鏡の副鏡を調整し、結像性能が設計通りの性能に近づいたことを示す。

[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](#)

V203a ガンマ線バースト探査衛星 HiZ-GUNDAM 搭載の可視光・近赤外線望遠鏡開発の現状

津村耕司、宮坂明宏 (都市大)、松原英雄、土居明広、篠崎慶亮 (ISAS/JAXA)、松浦周二 (関学大)、川端弘治 (広島大)、秋田谷洋 (千葉工大)、米徳大輔 (金沢大)、ほか HiZ-GUNDAM チーム

HiZ-GUNDAM 衛星は、ガンマ線バースト (GRB) の探査・即時追観測を行い、「初期宇宙探査」と「重力波天文学の推進」を実現することで、「タイムドメイン天文学」と「マルチメッセンジャー天文学」の進展に貢献することを目指している。搭載する広視野 X 線モニターで GRB や X 線突発天体を発見すると、その方向に自律的に衛星の姿勢を変更し、搭載した可視光・近赤外線望遠鏡で発見した GRB を即時に多波長同時観測することで、その天体までの赤方偏移を決定し、それらの情報を地上にアラートする。HiZ-GUNDAM 衛星は、JAXA 宇宙科学研究所の公募型小型衛星 5 号機候補として、2030 年代の打上げを目指して概念検討を進めている。

HiZ-GUNDAM 衛星に搭載される可視光・近赤外線望遠鏡は、ビームスプリッターとケスタープリズムによって 0.5-2.5 μm の波長範囲を 5 分割して同時観測することが可能である。特に、ケスタープリズムの採用により、近赤外線チャンネルは検出器 1 個で 4 バンド同時観測が実現可能となった。また、機械式冷凍機に依らない熱設計解を得ることができ、検出器の個数削減と合わせてコスト削減に貢献した。一方で、当初の光学設計では光学系のアライメント公差が厳しく、軌道上での姿勢変更に伴う光学系の温度勾配の変化で光学性能が劣化する懸念があった。そこで、光学性能を維持しつつ、公差をより緩和するような光学設計の改訂を行った。このほか、ケスタープリズムの試作品の製造およびその試験や、国産可視光検出器の搭載可能性の検討などを進めている。

本発表では、HiZ-GUNDAM 搭載の可視光・近赤外線望遠鏡開発の現状について紹介する。

[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](#)

V204a 紫外線宇宙望遠鏡 LOPYUTA 計画の検討状況

土屋史紀 (東北大学), 村上豪 (ISAS), 山崎敦 (ISAS), 亀田真吾 (立教大学), 鍵谷将人 (東北大学), 吉岡和夫 (東京大学), 古賀亮一 (名古屋大学), 木村淳 (大阪大学), 木村智樹 (東京理科大), 埴千尋 (NICT), 益永圭 (ISAS), 堺正太郎 (東北大学), 中山 陽史 (立教大), 生駒大洋 (NAOJ), 成田憲保 (東京大学), 大内正己 (NAOJ/東京大学), 田中雅臣 (東北大学), 桑原正輝 (立教大学), 鳥海森 (ISAS), 野津 湧太 (コロラド大), 行方 宏介 (京都大学), LOPYUTA 検討チーム

LOPYUTA は、宇宙科学研究所の公募型小型計画 6 号機候補として検討している紫外線宇宙望遠鏡である。宇宙の生命生存可能環境 (目標 1) と宇宙の構造と物質の起源 (目標 2) の理解を目指す。目標 1 では、多様な太陽系天体・系外惑星の外圍・電離大気を網羅的に観測し、太陽系内天体の理解の深化と系外惑星大気の特徴づけを行う。目標 2 では銀河周辺物質の構造の観測から、宇宙構造形成の枠組みで予言されたガスの流入による星形成を検証する。また、中性子星合体直後の高温ガスの観測から重元素合成過程を解明する。これらの課題を達成するため、水素、酸素、炭素の輝線を含む 110-190nm の真空紫外波長域で、高い空間分解能と波長分解能を持つ点が LOPYUTA の特徴である。有効面積 350cm² と解像度 0.1 秒角を達成するため、主鏡口径 60cm の紫外用ミラー開発に加え、高反射率をもつコーティングの成膜工程開発を進めている。現在 130nm において 88% を達成している。焦点面装置は、中分散分光器 (波長分解能 0.02nm)、高分散分光器 (0.003nm)、紫外イメージャ、及び広視野ガイドカメラからなる。視野 (3 分角) と空間分解能・高い波長分解能を両立するため高感度・大型検出器に着手している。高分散分光器はエシエル回折格子を用いて 3pm の波長分解能を目指す。ここで開発される成膜工程や大型検出器は HWO への参画を目指した技術実証とも位置付けられる。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V205a Nancy Grace Roman 宇宙望遠鏡計画: 日本の貢献課題の現状と今後の科学観測

山田亨, 田村隆幸, 富木淳史, 宮崎翔太 (JAXA 宇宙科学研究所), 住貴宏, 鈴木大介 (大阪大学), 村田泰宏 (福井工業大学), 村上尚史 (北海道大学), 田村元秀 (東京大学/アストロバイオロジーセンター), 小山佑世 (国立天文台), Roman チーム

Nancy Grace Roman 宇宙望遠鏡は、NASA の大型旗艦計画として 2027 年 5 月までに打上げが予定されている、口径 2.4m の大型宇宙望遠鏡である。Roman 宇宙望遠鏡の主力装置である広視野撮像装置 WFI は、ハッブル宇宙望遠鏡と同等の測光精度・空間分解能を持ちながらその 200 倍の視野を備えた可視近赤外線観測装置であり、それを用いた遠方銀河・Ia 型超新星の精密観測からダークエネルギー宇宙論の高精度な検証を行う。また、銀河系中心方向の連続測光観測を行うことで重力マイクロレンズ法による冷たい系外惑星を大量に発見し、系外惑星の分布を包括的に解明することが期待されている。さらに、Roman 宇宙望遠鏡にはコロナグラフ直接撮像装置 CGI が搭載されており、宇宙空間初の波面補償を成立させることで将来の超大型宇宙望遠鏡計画のための技術実証機として位置付けられている。日本・JAXA は国際協力パートナーとして Roman 計画に参加しており、2023 年に発足した科学チームやコロナグラフ装置技術実証検討チームにも日本の研究者が参加して、日本独自の研究成果や貢献の創出を目指し活動を行っている。本講演では、Roman 計画の進捗状況を示すと共に日本の貢献である JAXA 地上局を用いた科学データ受信協力における Ka 帯受信系開発と受信運用の準備状況、コロナグラフ装置光学素子の状況、国立天文台・すばる望遠鏡および大阪大学・PRIME 望遠鏡を用いた Roman との協調観測の進捗・準備状況について報告するとともに、今後の科学協力・技術実証協力についての展望を述べる。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V206a 高精度位置天文解析手法の開発とシミュレーションによる検証

大澤亮 (NAOJ), 河田大介 (UCL), 上塚貴史 (東京大学), 山田良透 (京都大学), Wolfgang Löffler, Michael Biermann (ARI/ZAH), JASMINE データ解析チーム

天の川銀河の構造および進化の研究は *Gaia* による位置天文情報によって大きく進展した。位置天文測定をミリ秒角を切るような高い精度で達成するためには、測定システム全体を目標に匹敵する精度で較正する必要がある。超高精度の較正を可能にする方法の一つが、測定システムの状態と測定量を含めた「観測モデル」を実際の測定値に適合させるセルフキャリブレーションである。我々は位置が精度良く求められている少数の天体を参照点としてもちいることで、撮像観測装置によって取得した多数枚の画像から画像の歪みと天体の座標を同時に推定する観測モデルを確率モデルとして構築した。参照点の情報は事前情報として自然にとりこまれる。モデルの最適化は一般に数万個のパラメータで数万個の観測量を説明する巨大な最適化問題となる。微分可能プログラミングと確率的変分推定法を採用することで、現実的な時間でパラメータの最適化と誤差推定を同時におこなう。

開発した手法を ISAS/JAXA が推進する宇宙赤外望遠鏡ミッション JASMINE の位置天文サーベイシミュレーションに適用した。3 年の運用期間のうち軌道周回 100 周分の観測を模擬した測定値 (検出器面上位置) を生成し、各軌道周回を独立したデータセットとして解析した。各データセットは 3 万程度のパラメータを持つ観測モデルで再現される。モデルは観測値をよく再現する解に収束し、各周回における天体座標を推定することができた。天体座標の時系列データは天体の真の運動 (固有運動+年周視差) と整合的であり、真の位置からの残差は測定誤差から期待される値と一致していた。提案した解析手法によって天体の座標が正しく推定できたこと、およびシミュレーションで採用した JASMINE の観測戦略に大きな問題がないことを確認した。

[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](#)

V207a 衛星機搭載予定の国産 InGaAs イメージセンサー小型試作器の性能評価

宮川浩平, 片坐宏一, 白井文彦, 河原 創, 笠木 結 (宇宙研), 多田将太郎 (総研大), 鹿野良平, 和田武彦, 尾崎正伸 (NAOJ), 小谷隆行 (ABC), JASMINE チーム

2030 年代に打ち上げを予定する天文衛星 JASMINE では、銀河中心方向の近赤外位置天文観測による天の川銀河の構造解明と、低温度な M 型星の測光探査による生命居住可能性の高いハビタブル惑星系の発見という 2 つを大きな目標としている。この赤外線観測のために、本ミッションでは衛星機では初となる国産 InGaAs イメージセンサーの使用を予定している。当該センサーは従来の米製品と比べ安価である点や供給が安定している点において優れているものの、宇宙使用にあたっては InP 基板層の宇宙線に対する蛍光現象が問題であった。このため我々は、InP 基板層の除去を施した 128×128 画素の小型試作を開発し、これに対して宇宙使用に向けた真空冷却試験を実施した。結果として、基板除去によって宇宙線に対する蛍光現象が有意に抑制されており、さらに量子効率が単波長側で向上していることなどが確認できた。一方では、従来器と比べて暗電流値が 30% 程度増加しており、これが検出器回路の発光に起因している可能性が新たに示唆された。本講演ではこれらの結果の報告に加え、JASMINE 搭載予定モデルである 2K×2K の大フォーマット素子の試験予定についても触れる。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V208a 赤外線位置天文観測衛星 JASMINE のプロジェクト進捗状況

鹿野良平, 郷田直輝 (国立天文台), 片坐宏一 (宇宙研/JAXA), ほか JASMINE チーム

JASMINE は、JAXA 宇宙科学研究所の公募型小型計画 (公募型小型 3 号機) であり、その目的は、我々が住む天の川銀河の形成と進化の探究とともに、生命居住可能領域に存在する地球に似た系外惑星の探究を行うことである。この目的のために、[SO1] 天の川銀河の中心核領域にある恒星の距離と運動を測定することにより、天の川銀河形成の鍵を握る中心核構造とその形成史を明らかにすること (銀河系考古学) と、[SO2] 将来の生命探査に有望な恒星に対し、生命居住可能領域に存在し、大気観測を行うことのできる地球型系外惑星の有無を明らかにすることを、科学目標に掲げている。厚い星間ダストの先にある天の川銀河の中心核領域は、強い吸収を受ける可視光では観測が困難で、先行する ESA の位置天文観測衛星 Gaia でも未開拓領域であるが、これを波長 1.0-1.6 μm の近赤外線で見守る。国立天文台が国内メーカーと開発した天文観測用 InGaAs 撮像センサーを、宇宙用化かつ大フォーマット化する開発が現在進められているが、これを、低熱膨張素材で構成された光学望遠鏡 (口径 $\sim 36\text{cm}$) に搭載し、ミッション機器全体の温度を安定化させる軌道運用を行う。これにより、光学性能 (特に画像歪み) の安定化を図り、高精度な位置天文観測を実現させる。観測運用の 3 年間のうち、天の川銀河の中心を観測できる春期と秋期には、SO1 のための位置天文観測を行い、その他の夏期と冬期には、SO2 のための系外惑星探査として、中期 M 型星を周回する地球型惑星探査のためのトランジット観測を主に行う。

JASMINE は、これまでの概念検討の成果を踏まえ 2024 年 3 月にミッション定義審査 (MDR) を開始した。本講演では、MDR 実施に向けて改めて整理された科学目標やそれに関連して期待できる科学成果等を簡単に復習するとともに、ミッション装置や衛星システムおよびデータ解析などの検討状況についてその概要を報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V209a JASMINE 衛星の望遠鏡の安定性の検討

磯部直樹, 白井文彦, 鹿島伸悟, 片坐宏一 (ISAS/JAXA), 大澤亮, 鹿野良平, 末松芳法, 間瀬一郎 (国立天文台), 山田良透 (京都大学), 服部友哉, 武田晃一, 有馬佑希那 (三菱電機), JASMINE チーム

JASMINE 衛星の望遠鏡サブシステムの熱構造の安定性とその光学性能への影響について、Structral, Thermal-Optical-Performance analysis (STOP 解析) を用いた基礎的な検討結果を報告する。JASMINE 衛星の主要科学目標の一つである「銀河系中心構造の探求」を行うためには、安定性の良い望遠鏡を用いた位置天文観測が必要である。JASMINE 望遠鏡サブシステムに対しては、画像のシフトや拡大縮小などの低次の補正を行った後の軌道上での画像歪みパターンの変動に換算して数 10 μas 程度以下 (像面上の距離にして $\lesssim 0.2\text{ nm}$) という極めて高い安定性が要求される。JASMINE 望遠鏡サブシステムでは、鏡やその支持構造に対して超低熱膨張率の素材 (CLEARCERAM や低温ゼロインバー) を採用すること、「遠火でじんわり」と称する優れた熱制御手法により望遠鏡の軌道上温度変動を $\lesssim 0.1\text{ }^{\circ}\text{C}$ に抑えること、によって、この要求を達成しようとしている。JASMINE 望遠鏡サブシステムでは、STOP 解析を導入してその安定性の検証を開始した。まず、望遠鏡サブシステムの熱構造モデルを構築し、軌道上温度変動の低減の実現性を検証した。次に、それをもとに、軌道上での望遠鏡全体の熱変形量の推定を行った。さらに、熱変形量を光学系にフィードバックして、画像歪みパターンの変動を評価した。その結果、現状の構造設計では、望遠鏡サブシステムとバスモジュールのインタフェース部分にあたるベースパネルの熱収縮が伝搬して鏡の偏心が起こり、それをもとに焦点位置のずれが生じることが分かった。ただし、第 5 鏡に搭載した駆動機構で焦点位置を適切に調節すれば、画像歪み変動は要求を満たす可能性が高いことが示唆された。今後、さらなる STOP 解析を通じて、JASMINE 望遠鏡サブシステムの熱構造設計の最適化を進めていく。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V210b 地球周回スペース位置天文観測における相対論効果

山田良透 (京大理), JASMINE チーム

位置天文観測では、ミリ秒角の精度で撮像プレート上の星の中心位置を測定する。測定回数 N に対して $1/\sqrt{N}$ で低減しない誤差については、 μ 秒角精度の誤差を知る必要がある場合もある。そのため、検出器や望遠鏡の特性も推定パラメータに含める。

衛星の運動による光行差や惑星の重力による光線の曲がりは、目標精度に比べて無視できないデータの位置ずれを発生させるため、これらも推定する必要がある。 1μ 秒角以上の影響がある観測対象の星と惑星との相対位置は、木星では 90 度以内、太陽ではいつでも影響がある。したがって、高精度位置天文観測を行う際は、観測する星のすぐ近くに惑星がある場合だけでなく、常に惑星や太陽との相対位置を考慮しなければならない。

また、衛星の慣性空間での速度は 22~37 km/s 程度である。このため、衛星の運動による光行差は約 10 秒角程度である。視野を 0.5° とすると、視野内の光行差の違いも約 100 ミリ秒角程度存在する。さらに、地球周回衛星の場合、時々刻々衛星の速度が変化するため、10 秒程度の間に 70 ミリ秒角程度の光行差による光の方向のずれが変化する。

ただし、重力による光線の曲がりや光行差による位置ずれは、視野内で一定のパターンを持っており、そのパターン自体は光行差の変化に比べて小さい。一方で、光行差の値が特定の位置天文パラメータと縮退するケースがある。これらの影響を評価することで、衛星の指向方向と速度を推定する際の精度、さらにこれらの値を得るための時刻精度やデータの頻度の要件を導き出すことができる。

本講演では、これらの影響をどのように取り扱うべきかの検討を行ったので、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](#)

V211b 多数枚撮像による高精度星像位置決定の地上実験における実証

矢野太平, 三好真, 浅利一善 (国立天文台), ほか JASMINE チーム

JASMINE ではミッション期間中観測領域中の様々な画像データを取得し、そこから、画像自身の歪 (系統的誤差) を解くとともに、多数枚データから、高精度に星像位置を決定するといった解析、運用を想定している。こうした解析に関して、地上実験データを用いての実証をさらに進める計画をしている。1 回の撮像により検出器上の 1 ピクセルの 100 分の 1 レベルの星像の位置決めが可能である事がすでに示されているが、こうした撮像を多数回繰り返し得られるデータから系統誤差を検出し、補正する事により 10 万分の 1 ピクセルレベルの高精度星像位置測定を達成させる。その際、適切に系統誤差を検出できている事、またその系統誤差を補正する事により高精度な星像位置測定ができているという事を以下方法で実証する。

1 つはコントロールされた熱環境で熱による装置の変形から検出器上での歪の影響を予想し、生じる系統誤差を見積もる。そして、撮像データから得られる系統誤差と矛盾がない事を示す。別の方法として、光学系レンズ位置を制御する事により焦点面上の星像サイズを制御し、星像の位置変動を見積もる。そして、矛盾なく測定できるのかという事を示す。以上、いくつかの方法を用いて系統誤差が正しく補正されている事の実証を行う予定である。これまでの実験装置組上げの準備状況や実証の方法の説明およびデータ取得における進捗を講演にておこなう予定である。

[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](#)

V212b HiZ-GUNDAM 可視光・近赤外線望遠鏡用ケスタプリズムの試作

川端弘治, 堀友哉 (広島大), 津村耕司 (東京都市大), 米徳大輔 (金沢大), 松浦周二 (関学大), 松原英雄, 土居明広 (ISAS/JAXA), 秋田谷洋 (千葉工大), ほか HiZ-GUNDAM チーム

HiZ-GUNDAM (HZG) 衛星は、広視野 X 線モニターが検出した増光天体の方向へ自律的に指向して可視光・近赤外域で多バンド同時撮像を行い、オンボードで photo- z を推定することにより、高赤方偏移のガンマ線バーストを効率的に探し出す。 $\lambda = 0.9\text{--}2.5\mu\text{m}$ の近赤外線域の多バンド観測を低コストで実現するため、HZG チームでは 2022-23 年よりケスタプリズムを用いた光学系を最優先候補として検討を本格化させている。ケスタプリズムは、多層コートが施された複数のプリズムが貼り合わされて構成されたビームスプリッターの一種であるが、天文学分野での利用実績は少なく、特に宇宙環境での運用実績は我々が知る限り殆ど無い。一部の面間は全反射をさせるためギャップを設けなければならない、保持機構にも工夫を要する。

我々は、Teledyne H1RG 検出器 (18mm×18mm) 上に 2×2 のフォーマットで視野 ($12'\phi$) を 4 バンドに分けて結像させるダブルケスタプリズムを試作し、その評価とホルダーの製作を進めている。プリズムは無水溶融石英製で、10mm 厚のベースプレート上に 3 つの支持板 (いずれも溶融石英製) を用いて接着されている。この試作に先立ち、我々は、暫定設計モデルに対する簡易構造解析に加え、3 種類の接着剤を用いた溶融石英板の接着サンプルを多数作成して耐真空・冷却試験、耐放射線試験を実施し、その前後で波長 $0.9\text{--}2.5\mu\text{m}$ の範囲内で透過率特性に変化は無く、80G に相当する静荷重 (せん断方向) を掛けても問題無いことを確認しており、宇宙環境に耐えられる目途を得ている。本年会においては、これら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](#)

V213a 光子計数型可視光システム IMONY における新基板システムの開発

佐藤杏樹, 佐藤知宙, 中森健之 (山形大学), 庄子正剛 (KEK), 橋山和明 (東京大学/山形大学), 長谷部愛奈, 前城美羽, 佐藤凜 (山形大学), 木野勝 (京都大学), 本多良太郎, 宮原正也 (KEK)

Crab パルサーで観測される巨大電波パルスや、放射起源の不明な高速電波バーストは、サブミリ秒スケールでの突発的な電波放射現象である。これらの放射機構は未解明であり、その解明には多波長観測が有効である。我々は可視光帯域でのこれらの現象の観測を目指している。この目標を達成するためには、高感度かつ高時間分解能な光子検出器が必要である。そこで我々は、センサとしてガイガーアバランシェフォトダイオードアレイを使用した、光子計数法による可視光観測システム IMONY を開発した。IMONY は 1 光子が検出可能で 100 ns 単位の時刻付けが可能なシステムである。このシステムは 64 の読み出しチャンネルを持つセンサに対して、信号読み出し基板と信号処理基板 Field Programmable Gate Array (FPGA) からなる読み出し系が 4 系統並び、イーサネットや PC ヘッダデータ転送を行うという仕組みであった。これまでは、基板や配線など部品点数の多さのため組み立てや設置・取り外しの手間がかかり、また接触不良等に伴う安定性にも改善の余地があった。これらの課題を解消するためだけでなく、多色カメラ化など今後のアップグレードを進める上でも、回路系の集積化と安定化が求められていた。そこで、我々は素粒子実験用に開発されたアナログ集積回路 (ASIC) を採用し、読み出し系を 1 系統にまとめた基板を新たに開発した。そして ASIC の制御に対応した FPGA のデジタル回路を開発した。本講演では、この読み出し系の開発内容とその実証実験の結果について報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V214a SPAD イメージセンサーが切り拓く可視光天文観測

酒向重行, 倉島啓斗 (東京大学), 東京大学アタカマ天文台 (TAO) グループ, 東京大学木曽観測所グループ

1990 年代に登場した CCD イメージセンサーは既存の光検出器の性能を凌駕し華々しい科学成果を生み出してきた。そして、2005 年頃にはシリコンの物理限界にせまる究極の可視光静止画センサーが実現されるようになった。2010 年頃から高速な読み出しが可能な CMOS イメージセンサーの天文観測での利用が始まり、木曽シュミット望遠鏡 Tomo-e Gozen や岡山せいめい望遠鏡 TriCCS などにて、CCD 天文学がカバーできなかった短時間の時間軸天文学の前進に大きく貢献した。現在、我々のグループでは CCD, CMOS に次ぐ革新的なセンサーとなる SPAD (Single Photon Avalanche Diode) イメージセンサーの世界初となる天文観測への導入を目指す研究を進めている。SPAD イメージセンサーは、光電子の大電圧加速で大量の 2 次電子を生成するなだれ効果型の可視光センサーである。なだれイベントの回数をカウントするため、CCD や CMOS イメージセンサーと異なり読み出しノイズを実質的にゼロにすることができる。現在、我々のグループが評価対象としている SPAD イメージセンサーは裏面照射型の 2k × 1k の大フォーマットを実現しており、感度、画素数ともに天文観測への早期導入が可能な状況にある。このセンサーは十分なフレームレートと画素カウンタのサイズを持つため一般的な天文観測の範囲では複数フォトンの検出が重なる影響は少なく、補正も可能である。また、SPAD イメージセンサーはイベントの回数をカウントする方式であるため宇宙線イベントによる影響も極めて少ないと考えられる。本講演では SPAD イメージセンサーを読み出しノイズが支配的となりやすい高速撮像装置や高分散装置に搭載した場合の感度の向上について示すとともに、予定しているセンサーの試験観測や観測装置への搭載計画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](#)

V215a SPAD イメージセンサーの実験室性能評価

倉島啓斗, 酒向重行 (東京大学), 東京大学アタカマ天文台 (TAO) グループ, 東京大学木曽観測所グループ

SPAD (Single Photon Avalanche Diode) イメージセンサーは、光電子の大電圧加速で大量の 2 次電子を生成するなだれ効果型の可視光センサーである。なだれイベントの回数をカウントする方式のため、CCD や CMOS イメージセンサーと異なり読み出しノイズを実質的にゼロにすることができる。SPAD イメージセンサーは天体光の検出において読み出しノイズが支配的となる高速撮像観測や高分散観測などにおいて感度の劇的な向上が期待できる。本研究では現在試作段階にある 2k × 1k 大フォーマット裏面照射型 SPAD イメージセンサーに対して天文観測での使用を想定した実験室性能評価を行った。

SPAD イメージセンサーを搭載した試験用のカメラモジュールを用意し、恒温槽にて照射光量、環境温度、駆動バイアス電圧を変えながら複数枚のダーク画像とフラット画像を取得した。恒温槽内に別途用意した較正済みのフォトダイオードを用いて照射光量を監視しながら、SPAD イメージセンサーが飽和するまで評価を進めた。結果、SPAD イメージセンサーの高い線形性と良質なボアソン統計、ゼロ読み出しノイズを確認した。また、-30°C のセンサー温度にて正常な動作と低いダークカウントレートを確認した。本センサーの多画素かつゼロ読み出しノイズという特長によって、高感度の広視野動画観測や高分散観測における感度の向上が期待される。

[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](#)

V216a 飛騨天文台ドームレス太陽望遠鏡/常設補償光学装置の機器偏光行列決定による偏光分光観測精度の向上

上野悟 (京大飛騨天文台), 一本潔 (立命館大), 黄于蔚 (株式会社 pluszero), 山崎大輝 (宇宙研)

京大飛騨天文台のドームレス太陽望遠鏡には可視光から近赤外まで幅広い波長範囲に対応可能な偏光分光観測装置 (Ichimoto et al. 2022) があり、特に近年それを用いた HeI 1083 nm における彩層偏光分光観測により、フィラメント磁場構造などの観測的研究が推進されている。一方、同望遠鏡には常設補償光学装置 (Miura et al. 2014, 2016) も設置・運用されてきているが、これまで計 16 枚の鏡を搭載するこの装置の機器偏光特性は測定されていなかったため、偏光分光観測においては補償光学装置を挿入しない状態で観測が行なわれてきていた。偏光分光観測においても大気揺らぎの影響を抑えて偏光測定精度や空間分解能を向上させるため、この度、補償光学装置の機器偏光特性の測定を行い、その偏光行列 (Mueller Matrix) の決定を行なったので、その概要を報告する。

Mueller Matrix の導出にあたっては、まずは人工光源と広波長域対応の小型分光器を搭載した Mueller Matrix Spectro-polarimeter (MMSP) (Ichimoto et al. 2006) を用いて各波長における行列成分の粗い値を求めておいた。その後、望遠鏡を通した太陽光を光源として、実際の観測に使用する偏光分光観測装置を用いた偏光測定を、補償光学装置を挿入した場合としない場合に対して実施し、それから算出される入射 Stokes parameters が一致するよう、人工光源で求めた行列の各成分の値を初期値として最小二乗フィッティングすることにより、最適解を導出した。これを複数の異なる時刻に取得したデータに対し行い、平均したものを機器偏光行列として採用した。

さらに、実際に補償光学装置を稼働させて偏光観測した場合、装置停止状態に比べて Stokes parameters の値や空間分解能がどの程度変化 (改善) し、それらがどの程度安定化するのかについても報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V217a 大気擾乱モニターシステム MAMO: 遺伝的アルゴリズムを用いた乱流プロファイルの推定方法と測定精度

小牧誠人, 坂部健太 (京都産業大学), 池田 優二, 毛利めぐみ (株式会社フォトクロス), 大屋真 (NAOJ)

補償光学 (Adaptive Optics, AO) における大視野化は、現代の天文学において喫緊の課題となっている。その実現には大気揺らぎ強度の高度依存性 (乱流プロファイル: $C_N^2(h)$) を高い高度分解能でかつリアルタイムに測定することが必要とされている (Costille & Fusco 2012)。

このような背景のもと、京都産業大学神山天文台では乱流プロファイルを高度分解能 $\Delta h \sim 1\text{km}$ でリアルタイム推定が可能な「大気擾乱モニターシステム (MAMO)」の開発を行ってきた。MAMO は望遠鏡の入射瞳面と共役な位置にマイクロレンズアレイ (MLA) を配し、個々のレンズレット上での波面の傾きとレンズレット間の光強度の相互相関を測定することで、フリード長 r_0 と乱流プロファイル $C_N^2(h)$ を測定可能である。ここで用いている方式は、Shack-Hartmann (SH) MASS-DIMM 法と呼ばれ、MLA によってより細かく瞳を分割できるので、 r_0 の測定精度の改善と $C_N^2(h)$ の高度分解能の格段の向上が期待できる (Ogane et al., 2022)。

MAMO は 2021 年の秋にエンジニアリングファーストライトを迎え、それ以降試験観測と改修を行ってきた。2023 年の夏に一端の完成を見たので、2023 年 9 月 ~ 11 月の間に得られたデータを用いて性能評価を行った結果、「 r_0 は Field Viewer の画像から直接的に得た seeing 値と高い相関 (相関係数 0.752) を示していること」、「 $C_N^2(h)$ は遺伝的アルゴリズムを用いることで高度 1km から 13km までを、 $\Delta h \sim 1\text{km}$ の高度分解能で推定可能であること」が分かった。これら結果は、当初から目標としている精度と高度分解能が得られたことを示している。本講演では、MAMO における解析アルゴリズムの詳細を紹介すると共に、MAMO の測定精度について議論する。

[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](#)

V218a 高コントラスト観測法 Coherent Differential Imaging on Speckle Area Nulling (CDI-SAN) の開発 4

米田 謙太 (NAOJ), 西川 淳 (NAOJ/総研大/ABC), 早野 裕 (NAOJ/総研大), 入部 正継 (大阪電通大), 山本 広大 (京大), 津久井 遼 (ロジストラボ), 村上 尚史 (北大), 田中 洋介 (農工大/ABC), 田村 元秀 (東大/ABC/NAOJ), 住 貴宏 (阪大), 山田 亨 (宇宙研), Olivier Guyon (NAOJ/ABC/アリゾナ大), Julien Lozi, Vincent Deo (NAOJ), Sébastien Vievard (NAOJ/ABC), Kyohoon Ahn (KASI/NAOJ)

地球に似た系外惑星を直接観測し、バイオシグナチャーを検出するためには、惑星の近傍に存在する恒星の光を 10^{-8} から 10^{-10} レベルにまで抑制する高コントラスト観測装置が必要となる。この装置を構成する要素のひとつの波面制御技術は、波面収差が原因となる恒星散乱光を抑制する技術である。しかし、従来の波面制御技術では、地上望遠鏡における大気揺らぎや、宇宙望遠鏡における温度変化に伴う装置変形などによって制御より速く変動する散乱光を、抑制することはできない。高速に変動する恒星散乱光を抑制する手法として、Coherent Differential Imaging on Speckle Area Nulling (CDI-SAN) 法が提案された (Nishikawa 2022, ApJ, 930, 163)。

我々は、室内実験光学系を構築し、CDI-SAN 法の実証実験を進めている (米田他, 2023 年秋季年会 V240a など)。これまでに、波面制御デバイスに可変形鏡、その制御に PC を用いた実験で、従来の波面制御技術と CDI-SAN 法を組み合わせ、 2.1×10^{-8} のコントラストを達成している。また、散乱光が変動する状況においても、CDI-SAN 法によってコントラストが改善される実験結果も得られている。現在、より高い位相分解能を有する可変形鏡の導入や、FPGA への波面制御と CDI-SAN 法の実装などの実験系の改修を行い、 10^{-9} から 10^{-10} レベルのコントラストの達成を目指して実験を進めている。

[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](#)

V219a 近紫外線における装置効率を追求した撮像装置の開発と初試験観測

秋田谷 洋, 諸隈 智貴 (千葉工業大学), 川端 弘治 (広島大学)

近年、近紫外線 (波長 300 – 400 nm) で十分な装置効率をもつ地上可視観測装置が少なくなり、この波長帯 (例えば SDSS u バンド) の観測を遂行する選択肢が得づらくなっている。一方で、中性子星連星合体に伴うキロノバなど、この波長域の観測が期待される新しい研究課題が提案されている。そこで我々は、近紫外線観測研究の推進のために、この波長帯の効率を追求した撮像装置の開発・製作を進めてきた (秋田谷ほか 2023 年秋季年会)。

2024 年 3 月までに、近紫外線における量子効率が高い CMOS カメラモジュールの導入、近紫外線の透過効率と結像性能を追求した補正カメラレンズユニット、 u バンド干渉フィルターの設計・製作を完了した。そして装置を東広島天文台口径 1.5m かなた望遠鏡の第 2 ナスミス焦点に装着し、天体光を用いた初の試験観測を実施した。

試験観測を通じて、想定していた主要な装置性能が得られていることを確認した。本装置の撮像視野は、かなた望遠鏡において 5 分角四方となるが、シーイングサイズ (最良で約 3 秒角) の範囲では視野全体で良好な結像性能を発揮している。設計から期待される点光源の限界等級は、地球大気・望遠鏡による減光も考慮して、測光精度 5%・60 秒積分で約 18.5 AB 等級であるが、同程度までの明るさの点光源が検出できていることを確認した。また、東広島天文台における u バンドの大気透過率の実測を行い、標準的な大気モデルから推定される透過率と矛盾がないことを確認した (諸隈ほか・本年会講演)。

今後、検出器窓材への AR コート施工による装置効率向上を図る。また、フィルター遠隔交換機構、望遠鏡焦点における装置自動交換機構を設計・製作する。これらを 2024 年度後半に導入し、かなた望遠鏡に装置を常駐させた定常観測を開始する。半波長位相板とワイヤーグリッド偏光子からなる直線偏光測定ユニットの導入も行う。

[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](#)

V220b 東広島天文台における近紫外線波長帯での大気透過率及び空の明るさの測定

諸隈 智貴, 秋田谷 洋 (千葉工業大学), 川端 弘治 (広島大学)

本講演では、東広島天文台における近紫外線波長帯 (300-400nm) での大気透過率・空の輝度を測定した結果を報告する。我々の研究グループでは、近紫外線における撮像性能に最適化した観測装置を開発している。2024 年 3 月に広島大学・東広島天文台・口径 1.5m かなた望遠鏡の第 2 ナスミス焦点に取り付け、試験観測を実施した (本年会・秋田谷講演参照)。安定的に快晴であったと考えられる 2024 年 3 月 9,10 日の晩に取得した複数の分光測光標準星の u バンド撮像データに対して、等級原点を測定し、それを airmass の関数としてプロットしたところ、ほぼ直線上に分布し、その $\sec(z)$ (z : 天頂角) に対する傾きはおよそ -0.75 であった。これは、大気透過率に換算すると約 50% に相当し、大気モデル LOWTRAN 7 を用いたかなた望遠鏡不動点 (標高 512m) における計算値とほぼ一致する。また、この測定から得られた $\sec(z) = 0$ における等級原点の値を用いて、各撮像データにおける背景光の輝度を計算したところ、 u バンドにおいて、上記観測データ取得時の月のない観測条件のもと、およそ $21 - 22$ [mag arcsec $^{-2}$] (AB 等級) という値を暫定値として得た。これは他国観測適地における空の輝度に匹敵するか 2-3 倍明るい程度である。これらの測定により、観測装置全体を近紫外線波長帯に最適化することで、日本国内であっても十分良好な感度を得られることがわかった。

[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](#)

V221b 都心部にある東京都市大学望遠鏡における天文観測システムの構築と観測限界の評価

吉崎謙, 津村耕司 (東京都市大)

東京都市大学世田谷キャンパス 9 号館屋上に新規に設置された口径 20cm 望遠鏡の性能評価を行った。本望遠鏡のシステムは、Vixen VC200L 鏡筒に Vixen SXD2 赤道儀を利用しており、追尾性を上げるためにデジタルフォーカサー (OPTEC TCF-Leo Low Profile Focuser)、およびオートガイダー (セレストロン オファキスガイダー DX + Atik 414EX 高感度冷却 CCD カメラ) を導入している。オートガイダーは主鏡の集めた光のうち主カメラ (ZWO ASI 1600MM-pro) の視野外の光をガイドカメラに向け反射してガイドしている。本オートガイダを採用したことにより、2 時間の露光で追尾誤差が 1 秒角以下の追尾性能を実現することができた。

本望遠鏡の立地は東京・川崎に挟まれておりとても明るく天体観測には不向きな環境である。中でも、望遠鏡の東側では一際明るい羽田空港が夜間常時滑走路を照らしているため明るい空域を作っているほか、北側の渋谷や南東の武蔵小杉などといった高層ビルが近くにある環境である。このような環境において、方角、時間ごとの光害と検出限界の関係を、U, B, V, R, I, CH4 (889 nm) の各バンド帯における実際の観測データをもとに評価した。また、カメラのノイズや線形性なども評価した。

本発表では、東京都市大学に新設した望遠鏡における上述の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](#)

V222b 太陽面ナイフエッジの原理に基づく大気ゆらぎ評価

黒住健吾, 三浦則明, 照山玄太, 桑村進 (北見工大) 上野悟, 一本潔 (京大理)

地上から天体観測を行う際、大気ゆらぎによって観測像がぼやけるという問題があり、これに対処するための技術として、波面補償光学（以下 AO）がある。しかし、我々が飛騨天文台に設置した AO システムでは、観測日や時間帯によって AO 効果が現れる場合とそうでない場合があり、その原因ははっきりしていない。そこで本研究では、AO 動作時に画像データと同時に波面情報を取得することで AO 効果との関係を調べることにした。

ここでの目的のためには、空間スケールの小さなゆらぎの情報が必要であり、かつデータ解析を容易にするために瞳面での波面位相を画像の強度分布として観測できることが望ましい。これを実現するため、ナイフエッジテストの原理を利用することにした。太陽像面にスリットを設置し、それを通過した光をカメラレンズでコリメートして高速カメラで撮像する。こうすることで、結像される瞳共役面上にゆらぎの空間周波数に対応した明暗の模様が観測される。開口形状に対応する円環領域において横 1 ラインごとにパワースペクトルを算出し全ライン分を足し合わせ、全フレーム分積算することで空間スケールごとのパワースペクトルを求めた。

観測は 2023 年 9 月に行った。250fps でおよそ十秒間データを取得し、その中間で AO を on から off に切り替えた。AO がある場合とない場合のパワースペクトルの低周波の空間スケールに渡る積分の比（揺らぎ削減率）を算出した。また、同時観測した太陽黒点像から AO がある場合とない場合のコントラストを導出した。全ての観測データについてコントラスト改善率とゆらぎ削減率を導出して比較したところ、9 月 9 日のデータでは相関係数が 0.80 であった。これにより、ここで開発した手法が AO 効果の評価に有用であると判断している。現在さらに解析を進めており、詳細な結果は当日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](#)

V223c 飛騨天文台補償光学系用の簡便な校正法の開発

照山玄太, 三浦則明, 黒住健吾, 桑村進 (北見工大), 上野悟, 一本潔 (京大理)

太陽可視観測用補償光学装置 (AO) を駆動する際、観測装置で最適な像を得るためには、観測装置の光学系と波面センサの光学系との違いを補正するように波面センシングの基準位置をあらかじめ決めておくことが必要である。ここでは基準位置を決めることを校正と呼ぶ。従来は観測に用いる波面センサのほかに、校正用の波面センサを観測装置の焦点面直前に設置して校正を行っていたが、時間と手間がかかり観測時間を圧迫する要因となっていた。これを解決するために実際に観測に使用するカメラを利用した新たな校正法を開発した。

校正はレーザー光を用い、AO 用 PC とカメラ用 PC をネットワークでつないだ状態で行う。初期基準位置を適当に設定し、それに直交関数系の個々のパターンに対応する位置ずれを付加したものを仮の基準位置として AO を駆動する。その状態でカメラ用 PC で画像のストレール比を求め AO 用 PC にネットワークを用いて送る。ストレール比が上がった場合その基準位置を新たな基準位置として採用する。上がらなくなるまで基準位置を変化させ続け、最後に使用した基準位置を保存し、観測時に使用する。

2023 年 9 月に太陽の黒点の観測を行った。AO 駆動し一定時間たった後、AO ありの状態では撮影を開始し中間に手で AO なしの状態にすることで 10 秒間連続 300 枚を撮影した。これを従来法で求めた基準位置または本手法で求めた基準位置を使ってデータ取得を繰り返した。観測像のコントラスト（画素値の偏差を画素値の平均で割った値）の多数フレームでの平均を求め、AO ありと AO なしで得られた値の比（コントラスト向上率）を計算した。従来法と本手法でコントラスト向上率を比較したところ顕著な差はみられなかった。簡便な方法にもかかわらず、従来と同程度の補正効果が得られることを確認した。

[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](#)

V224b 惑星モニター観測用多層共役補償光学系における補間による反応行列の作成

野田緋奈子, 渡邊誠 (岡山理科大), 大屋真 (国立天文台)

岡山理科大学では北海道大学 1.6 m ビリカ望遠鏡に搭載予定の太陽系惑星モニター観測用多層共役補償光学系を開発している。この補償光学系は地表 0 km と高度 2.6 km それぞれに共役した 2 台の 140 素子 MEMS 型可変形鏡と視野 16×16 秒角の 11×11 素子シャックハルトマン波面センサ 4 台を持ち、0.5 μm より長波長で、木星サイズ程度の 50 秒角の視野に渡り、0.4 秒角程度の分解能の達成を目標としている。波面測定用参照光源には惑星表面模様（広がった光源）を用いる。

多層共役補償光学系の制御行列は波面測定用参照光源の視野位置と配置に依存する。一般に制御行列は可変形鏡の変形に対する波面センサの応答を表す反応行列から疑似逆行列として作成される。本補償光学系では、波面測定に使用可能な惑星表面模様の位置と配置は一定ではないため、任意の視野位置に対する反応行列が必要となる。

そこで本研究では、視野上にグリッド状に並んだドット像の配列を作る較正光源を製作し、ドット像の位置（グリッド位置）に対して測定した反応行列データから、任意位置に対する反応行列をバイリニア補間によって半疑似的に作成する方法を検討する。補間に用いるデータ点の間隔は 2.68 秒角から 13.4 秒角の範囲とし、その配置は正方形と十字の 2 通りを検討する。疑似反応行列の再現性はドット像の位置に対する測定反応行列と疑似反応行列の要素ごとの差の全要素にわたる 2 乗平均により評価する。

本講演では、疑似反応行列の再現性の評価結果と補間に最適なデータ点の間隔と配置、補間に用いる反応行列に必要な測定精度について述べる。

[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](#)

V225b 系外惑星の直接観測を目指した連星 Self-Coherent Camera 法の開発

米田 謙太 (国立天文台), 村上 尚史 (北海道大学)

既知の恒星の多くが多重の連星系に属すると考えられており、連星系も系外惑星観測のための重要なターゲットである。これまでに、主に間接的な観測手法によって、連星系に 200 個を超える系外惑星が発見されている。今後、連星系の系外惑星を直接観測することによって、惑星の多様性の理解などにつながる知見が得られると期待される。しかし、連星系の系外惑星を直接観測するためには、近傍に存在する複数の明るい恒星が問題となる。そのため、複数の恒星光を同時に強力に抑制することができる高コントラスト観測装置が必要である。

恒星光のうち波面収差が起因となる散乱光は、高コントラスト観測装置に搭載される波面測定・制御技術によって抑制される。我々は、二重連星のための波面測定技術として、単一星のために提案された Self-Coherent Camera (SCC) 法 (Baudoz et al. 2006, Proc. IAU, 200, 553) を拡張することを提案している。SCC 法とは、高コントラスト観測装置における、惑星光と恒星散乱光が通過する絞りの隣に、恒星参照光が通過するピンホールを設け、焦点面における恒星散乱光と参照光の干渉縞を数値解析することによって、恒星散乱光の波面を測定する手法である。連星のための SCC 法 (連星 SCC 法) では、従来の SCC 法で 1 つであったピンホールを 2 つに増やし、各ピンホールで異なる恒星の参照光を作り出すことで、二重連星においても散乱光の波面測定を可能にする。高コントラスト観測テストベッド FACET に実証実験光学系を構築し、連星 SCC 法の室内実証実験を行ってきた。これまでに、連星 SCC 法によって二重連星モデルの散乱光の波面を測定し、その強度を復元することに成功している (米田他, 2023 年春季年会 V214a)。今回、連星 SCC 法によって得られた波面情報を基に波面を制御し、二重連星モデルの散乱光を抑制した。その結果、 3.2×10^{-8} のコントラストを達成した。

[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](#)

V226b すばる望遠鏡試験観測データによる多素子 Shack-Hartmann 波面センサー波面再構成手法の評価検討

田邊ひより, 秋山正幸 (東北大学), 美濃和陽典, 大野良人, 寺尾航暉 (国立天文台), 大金原 (オーストラリア国立大学)

補償光学では地球大気による波面の乱れを推定するために Shack-Hartmann 波面センサー (SHWFS) を用いる。SH-WFS は、瞳面を離散的に分割したサブ開口毎に参照位置からの光の重心位置ずれによりサブ開口内での波面の傾きを測定する。高速読み出し検出器の開発により SH-WFS の素子数は増加しており、8m 望遠鏡で $32 \times 32 \sim$ 約 1000 素子のサンプリングまで到達している。素子数の増加によってより細かい波面の構造が見えるようになり、空間周波数の広い領域でパワースペクトルの評価ができるようになった。

本研究では、すばる望遠鏡において SH-WFS を用いて自然ガイド星、レーザーガイド星を観測したデータを使用し、再構成する際の 2 通りの手法を比較評価した。手法の 1 つ目は滑らかな解を選択するフィルターを付け加えた上で最小二乗法や特異値分解を用いて逆問題を解く方法であり、2 つ目は最小分散推定を用いて大気モデルやノイズの統計性質を計算に含むことでフィルターを付け加えることなく逆問題を解く方法である。この再構成手法の検証には位相構造関数の傾きを Kolmogorov の乱流モデルと比較することによって行った。Kolmogorov の乱流モデルの位相構造関数の傾きは 1.667 であるが、SH-WFS のようにサブ開口内で平均化する離散的な測定の場合には、SH-WFS を用いて測定されたデータを使用した際の位相構造関数の傾きは 1.400 となる。

観測データに対してパワースペクトルの傾きを求めた結果、最小分散推定を用いた時の傾きが 1.407 となり最も近い値を取った。このことから最小分散推定を用いた時が波面再構成手法であると結論づけた。

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

V227c ULTIMATE-Subaru: 可変副鏡

大屋 真, 美濃和陽典, 沖田博文, 大野良人

ULTIMATE-Subaru はすばる望遠鏡で進められている地表層補償光学を用いた次世代広視野赤外線観測のためのプロジェクトであり、可変副鏡はその観測システムの主要コンポーネントの一つである。

補償光学装置は波面の乱れを補正して空間分解能を向上させる技術であり、地上望遠鏡により天体を観測する際には地球大気のゆらぎを補正対象とする。地表層補償光学は、大気ゆらぎ全体の高度分布の中で支配的成分である地表付近の大気ゆらぎを選択的に補正する方式である。地表付近の大気ゆらぎは望遠鏡の開口面付近にあるため、これを補正することで広い視野ほうこうで補正の効果が得られる。一方で高層の大気ゆらぎ成分は補正されずに残るため、補正性能は回折限界には届かないもののシーイングが改善される。

すばる望遠鏡があるマウナケア山は、大気ゆらぎが地表層に集中していることが知られており、地表層補償光学を用いるのに適したサイトである。地表層を補正するためには光学的に共役な位置に変形鏡を配置する必要がある。地表層補償光学の大きな利点である広視野を活かそうとすると、再結像光学系は一般的に大きくなってしまふ。望遠鏡の副鏡は地表近くに光学的に共役なので、これを可変形鏡に置き換えることで付加的な大型の光学系を省くことができる。ただし、既存の副鏡を置き換えるためには光学的にはもちろん機械的、さらには運用面も含めて望遠鏡とインターフェースを保つことが求められる。特に既存の副鏡は凸面であるため、可変形鏡も凸面であり面形状の光学的評価には専用の検査用光学系を用いる。

[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](#)

V228c 位相ダイバーシティ法を用いた望遠鏡光学系波面性能の評価について

末松芳法 (国立天文台)

大気揺らぎで乱された観測画像の元画像復元の手法として位相ダイバーシティ法が知られている。一般的には望遠鏡焦点位置とわざと焦点をずらした(デフォーカス 1λ PV 程度)位置に置いた2台のカメラで同時に画像データを取得し、大気乱れを含む望遠鏡波面収差と元画像を同時に推定する手法である。この際、波面収差はゼルニケ多項式で展開できると仮定するのが一般的である。位相ダイバーシティ法は、望遠鏡の波面収差を推定できるので、カメラを含む望遠鏡全系の光学性能評価にも用いることができる。波長は任意なので、実際に用いる観測波長での光学性能評価が可能となるのが利点である。また、望遠鏡が焦点調整機構を持っている場合、焦点を既知の複数位相ずらした画像取得も可能である。入力画像としてはピンホールをコリメータを介して望遠鏡開口から入力することになるので、測定できる望遠鏡口径は、手に入るコリメータ口径により制限される。大気乱れの影響を受けない宇宙望遠鏡では、観測画像を焦点をずらしながら撮像することで(この間、観測対象が変化しない)、位相ダイバーシティ法を用いることができる。ここでは、従来の方法に改善を行い、波面収差推定のシミュレーションを行った結果を報告する。天体望遠鏡では中心遮蔽を持つことが多いので、通常のゼルニケ多項式ではなく、直交関数系となる円環ゼルニケ多項式を用いることで収差係数の精度を上げた。複数のデフォーカス画像($-1\lambda \sim +1\lambda$ PV)を含む最小化するメリット関数を定式化し、37次のゼルニケ係数を精度よく非線形最小二乗法によりロバストに推定することができた。

[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](#)

V229c 結像および検出過程モデルに基づく天体像回復法の評価と改善

菅尾竜司, 桑村進, 三浦則明 (北見工大)

大気ゆらぎで劣化した短時間露光像から望遠鏡の回折限界像を再生する天体スペckル像再生において、短時間露光像を撮像するのに、電子増倍型 CCD カメラ (EMCCD カメラ) が使用される。スペckル像再生法では、結像過程に加え検出過程の物理的特性を考慮に入れる必要がある。我々は、結像過程の標準モデルと EMCCD の雑音モデルに基づく像再生アルゴリズムの開発を行ってきた。

本方法では、最適化アルゴリズム(準ニュートン法)を用いてスペckルフレームに対するモデル当てはめを行い、物体像の最尤推定を得る。昨年度秋季年会の発表において、本方法を連星の観測フレーム数セットに適用し、再生連星像の強度比を他方法による値と比較することにより、本方法の評価を行った。その結果、伝達関数の減衰や物体像に関する既知情報を初期推定で考慮に入れることによって再生結果が改善されることを見出した。今回、本方法の精度を統計的に評価するために、数十セットの連星データを本方法で処理した。本講演では、これらの評価結果について報告する。更に、今回、太陽系衛星のような広がった天体像の再生を試みた。シミュレーション実験によると、このような物体のスペckルフレームは SN 比が低く、本方法を直接適用しても正しい再生像が得られない。そこで今回、シフト加算法により、複数枚のスペckルフレームを高空間周波数成分を維持しつつ加算し、SN 比を向上させるような前処理を導入することを試みた。本講演では、この試みに関して行った研究結果も発表する予定である。

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

V230b 大フォーマット CMOS センサーを用いた高速広視野カメラの開発

鎌田有紀子、川野元聡、宮崎聡 (国立天文台)、小宮山裕 (法政大学)、藤田裕 (東京都立大学)、大栗真宗 (千葉大学)、今井有紀、浄法寺佑、杉山行信 (浜松ホトニクス株式会社)、程島文夫 (シマフジ電機株式会社)

高速で時間変動をする天体現象をとらえるためには読み出し時間の短縮が必要である。従来の電荷転送を必要とする CCD では出力アンプを増やして並列読み出しを行う対応が行われてきた。より高速な読み出しを実現するためには、電荷転送不要な CMOS センサーへの転換が必要となる。私達は浜松ホトニクス株式会社と共同で大型の CMOS センサーの開発に取り組んでおり、これを用いた高速広視野カメラの開発を進めている。

2023 年の年会において、私達は、 $2,560 \times 10,000$ ピクセル、ピクセルサイズ $7.5 \times 7.5 \mu\text{m}$ の CMOS センサーの基本性能と、この素子を用いた行った広島大学かなた望遠鏡での試験観測について報告した。この結果を踏まえ、私達はアリゾナ州スチュワード天文台に設置されている口径 2.3m、F2.66 の 90 インチ望遠鏡に搭載するカメラの開発を行っている。検討の結果、焦点面に 6 枚の CMOS センサーを 1 列に並べることで、 $63.6' \times 37.8'$ の視野をカバーすることができる。現在、入射窓を最適化、デューワーの新規設計・製作、読出回路の開発を進めている。読出回路は、東京大学とシマフジ電機株式会社で開発されたセンサー制御用 SOC 搭載ボード SPMU-002(CMOS センサー 1 つに付き 1 台使用)をベースに I/O ボード、信号分配ボード、VAC ボードを開発・製作している。分配ボードはマスターの役割を持つ SPMU-002 からの信号を分配し、スレーブの役割を持つ 5 枚の SPMU-002 の信号と同期させて、6 枚の CMOS センサーを同時に読み出す。VAC ボードは、カメラの内部から CMOS センサーの入出力を引き出す役割をもつ。本公演では、高速広視野カメラの紹介と開発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](#)

V231a SuMIRe-PFS[41]: PFS 試験観測の進捗報告

田村直之^{1,2}, 越田進太郎¹, 矢部清人^{1,2}, 森谷友由希^{1,2}, 川野元聡¹, Robert Lupton³, Craig Loomis³, Arnaud Le Fur³, 吉田裕茂¹, Chi-Hung Yan⁴, Jennifer Karr⁴, 田中賢幸¹, 石垣美歩¹, Wanqui He¹, 新井彰¹, 高木悠平¹, Jim Gunn³, 他 PFS 開発チーム (1: 国立天文台ハワイ観測所, 2: 東京大学カブリ IPMU, 3: Princeton University, 4: 中央研究院天文及天文物理研究所)

PFS (Prime Focus Spectrograph) はすばる望遠鏡次期基幹観測装置の一つとして東京大学カブリ IPMU を中心とした国際協力によって開発が進められている超広視野ファイバー多天体分光器である。すばる望遠鏡主焦点の直径約 1.3 度の視野内にアクチュエータが付いた 2394 本のファイバーを配置し、青・赤・近赤外のカメラを持った 4 台の分光器で 380nm から 1260nm までの波長範囲に亘る低・中分散スペクトルを同時に取得することができる、非常に強力な装置である。予稿提出時点で、2025 年前期の科学運用開始を目指し、装置の完成と試験観測を通じた装置性能評価、ソフトウェア開発や運用の議論を行っている。

我々は 2021 年 9 月に主焦点装置、メトロロジカメラ、分光器 1 台 (可視カメラのみ)、ファイバーケーブル 1 組を使い望遠鏡との統合試験及びスカイを使った試験観測を開始した (2022 年春季年会で報告)。3 年間で 10 回以上のランに亘って約 70 晩の観測が実行されたが、主な成果としては、ファイバー配置精度について 95% のファイバーで 20–30 μ m 以内に収まるようになってきたこと、ファイバー配置時間が約 130 秒に短縮されたこと、装置効率が予測と概ねずれていないことが挙げられる。またファイバーケーブルの敷設や分光器の納入も進み、2024 年からは約 2400 本のスペクトルが一度の積分で得られるようになった。更に、共同利用観測の運用を模した試験も行っている。本講演では上記を含む試験観測の現状と、運用開始までの課題や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](#)

V232a 東京大学アタカマ天文台 TAO 6.5m 望遠鏡計画 進捗報告 2024 秋

宮田隆志 (東京大学), 吉井譲 (東京大学, アリゾナ大学), 河野孝太郎, 峰崎岳夫, 酒向重行, 江草芙実, 左近樹, 小西真広, 上塚貴史, 高橋英則, 松林和也, 鮫島寛明, 山岸光義, 今井正亮, 堀内貴史, 平尾優樹, 柳引洗佑, 加藤夏子, 沼田瑞樹 (東京大学), 本原顕太郎 (国立天文台)

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、宇宙論から太陽系天体まで幅広いサイエンスを行う計画である。

山頂サイト工事は 2018 年度にスタートした。2022 年度には山頂観測運用棟が完成、エンクロージャー工事を進めてきたが、2023 年度末をもって建築工事が完了、回転試験やスリット開閉試験にも成功した。電気機械設備の設置もおおよそ終えており、給電などを含めた実運用をスタートさせている。2024 年 5 月にはチリ・サンチャゴでサイト完成の記念式典も開催された。光学系を含む望遠鏡もすべての部品がチリに到着している。鏡など大型部品の山頂輸送に関しても、モックアップを用いた試走に成功しており、準備は整っている。観測装置 (MIMIZUKU, NICE, SWIMS) も最終調整・輸送準備を進行中である。これら装置をチリで調整するための TAO 山麓施設の新実験棟の建設も 2024 年 5 月までにほぼ完了した。また第二期装置として、可視光観測装置の開発もスタートしている。

科学観測に向けた準備も進めている。日本のコミュニティに提供する国内枠観測時間については、外部委員を含んだ科学諮問委員会を立ち上げ、観測公募や審査方法について議論を行ってきた。これらについては前回 2024 年春季年会で特別セッションを実施するなど、周知活動を進めてきている。

本講演ではこの間の TAO 計画の進捗状況と今後の見通しについて述べる。

[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](#)

V233a TAO6.5m 望遠鏡光学調整用スクリーンカメラの開発

兒玉玄門, 松林和也, 酒向重行, 峰崎岳夫, 高橋英則, 堀内貴史, 宮田隆志 (東京大学)

東京大学アタカマ天文台 (TAO) 6.5m 望遠鏡は 2024 年度に駆動部と光学系の組み立てと調整を実施する予定である。光学系の調整では初めに各鏡を機械精度で設置した後に天体光を用いてアラインメントの粗い調整を行い、その後シャックハルトマンセンサーを用いた高精度な調整を実施する予定である。光学系の粗い調整を効率的に行うためには、視野全域の天体像を同時に確認する必要がある。しかし、6.5m 望遠鏡の焦点面は直径 545mm (25 分角) と大きくかつ曲面であるため、焦点面の全域をイメージセンサーで覆うことは非現実的である。

そこで我々は、スクリーンによる散乱を利用することで一台のイメージセンサーにて 6.5m 望遠鏡の焦点面の全域を同時に確認できる、調整用装置 (スクリーンカメラ) を開発した。スクリーンカメラは望遠鏡焦点面に設置された曲面の透過型スクリーンと市販のカメラレンズおよび CMOS センサーからなるカメラユニットで構成され、スクリーンに投影された天体像をカメラユニットで撮像する装置である。スクリーンには散乱角が 10 度程度であることと、視野の全域で天体像直径が 2 秒角程度となることが要求される。最初にスクリーンの候補となる素材の散乱特性の評価を行った。結果、アクリル板の片面にヤスリがけしたものがスクリーンカメラの要求を満たすことが確認された。また、カメラユニットの光学的空間分解能の評価も行った。スクリーンカメラによって視野の全域で 2 秒角程度までの光学調整が行えるという結果を得た。本講演ではこれら 2 つの評価実験の結果に加え、スクリーンカメラの限界等級や得られる画像の特性について述べる。

[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](#)

V234a TAO/MIMIZUKU による時間変動観測のための中間赤外線標準星の探索

小島裕樹, 宮田隆志, 上塚貴史, 平尾優樹, 左近樹, 成瀬日月, 妹尾梨子 (東京大学)

東京大学アタカマ天文台 (TAO) 計画は、チリのチャナントール山山頂に口径 6.5m 望遠鏡を建設し、銀河や惑星の起源を探るための観測を行う計画である。TAO の観測装置 MIMIZUKU は、サイトの優れた大気透過率を活かし、1-38 μm の中間赤外線 (MIR) 領域で観測を行うことができる。MIMIZUKU では最大 25' 離れた二視野で観測可能であり、二天体を同時観測することで時間変動する大気吸収の影響を高精度で較正することができる。この際、明るさが安定している星 (標準星) を用いることが重要となる。しかし、MIMIZUKU で観測を行う MIR 領域では既知の標準星が不足しており、MIMIZUKU の運用のために使用できる標準星の数を増やす必要がある。

そこで本研究では、MIR で明るい、明るさが大きく変動しない、星の数が多く、といった特徴を持つ K 型巨星に焦点を当て、MIR 領域での標準星候補としての妥当性を検討した。Gaia 衛星のデータから K 型巨星を抽出し、それらに対し 10 年間観測を行った NEOWISE 衛星の W1 (3.4 μm) と W2 (4.6 μm) の二つの MIR バンドでのデータから取得し、明るさの変化を調べた。そのうち MIMIZUKU の標準星として使える変光幅 (W1 標準偏差, W2 標準偏差 $< 0.01\text{mag}$) を持つ星の割合を調べると、NEOWISE で精度の良い観測が十分な回数 (少なくとも半年に 1 回) 行っている K 型巨星約 42,000 個中の 82.3 % がその基準を満たしていた。また、標準星として使える星と大きく変光する星 (W1 標準偏差, W2 標準偏差 $> 0.02\text{mag}$) を WISE 衛星のバンド W1, W2, W3 (12 μm), W4 (22 μm) のデータから作られる色を用いて区別することで、K 型巨星のサンプルから大きく変光する星を選ぶ確率を抑える試みを行い、変光していない星を 99.7% の精度で選ぶことができるようになった。以上より K 型巨星を MIMIZUKU での観測で用いる標準星として選ぶ目処をつけることができた。

[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](#)

V235a 広視野近赤外線望遠鏡 PRIME の進捗状況 2

鈴木大介 (大阪大学), PRIME コラボレーション

これまでに可視光を用いた銀河系中心方向の重力マイクロレンズ探査により 200 個以上の冷たい惑星が検出されてきた。統計量をさらに増やすためには、近赤外線を用いてよりイベントレートが高いと期待される低銀緯領域を探索する必要がある。我々は、南アフリカ天文台サザランド観測所に口径 1.8m の広視野近赤外線望遠鏡 PRIME (PRime-focus Infrared Microlensing Experiment) を 2022 年 8 月に建設した。同年 10 月に主焦点カメラの PRIME-Cam (平尾他, 2022 年秋季年会 V216c) をインストールしたが、読み出し回路等の不具合により検出器の半分しか使用できなかった。2023 年 6 月に全ての検出器を用いて画像取得できるようになったが、想定よりもカメラ内部の温度が高くなり、暗電流値の高い (かつ非線形性を持つ) ピクセルが多い状態での運用が続いている。一方、2024 年 6 月にはドーム回転速度・精度の改善、オートフォーカサーの導入が行われた。

画像処理パイプラインの開発を継続しつつ、2024 年から本格的に銀河系中心方向のマイクロレンズ惑星探査を開始した。2024 年内には、PRIME の初期データから銀河系中心方向のイベントレートマップに制約を与えることが目標である。2024 年前期まではコミッショニングフェーズであるため、銀河系中心が見えない時間帯は、重力波イベントの観測等を実施している (GCN 36306 など) が、2025 年前期からは PRIME の共同研究機関 (大阪大学、ABC、SAAO、NASA/UMD) で観測時間を分配する予定であり、それに向けた運用を検討・試験する必要がある。本講演では、PRIME のハードウェア進捗状況に加え、初期データの解析状況、運用状況に関して報告する。

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

V236a Tomo-e Gozen データプラットフォームの開発

瀧田 怜, 酒向 重行, 森 由貴 (東京大学), 大澤 亮 (国立天文台), Tomo-e Gozen コラボレーション

東京大学木曾観測所では 105 cm シュミット望遠鏡に広視野動画カメラ Tomo-e Gozen を搭載し、2 fps の動画サーベイをもとに超新星等の突発天体や小惑星等の高速移動天体の探索を行っている。この動画データの生成レートは一晩あたり最大で約 30 TB に達するため、長期アーカイブとしては時間方向に圧縮した二次元画像データのみを保存している。しかし二次元画像データであっても年間で 200 TB 弱のペースでデータが蓄積されるため、木曾観測所内でアーカイブし続けるのは困難な状況である。そこで我々は、東京大学 柏キャンパスに設置された「データ活用社会創成プラットフォーム mdx」に Tomo-e Gozen のデータプラットフォームを移設する計画を進めている。

2023 年に木曾観測所が SINET に接続されたことで、二次元画像データをリアルタイムに mdx に転送できることを確認した。転送されたデータから観測ログとして必要な情報を抽出しデータベース化することで、mdx 上にデータアーカイブ機能の構築を進めている。また Tomo-e Gozen の特徴である動画データの更なる活用を目指し、「秒」の時間スケールのライトカーブデータベースの開発も始めた。試験的に 1 露光分の 2 fps 動画データから作成されたフレーム単位の測光データを元にデータベースを作成し、必要なパラメータの洗い出しや等級原点の決定方法等の検討を行った。今後はこれらの項目の改修を行い、実際にライトカーブデータベースを構築する予定である。本講演ではデータプラットフォーム開発の取り組みについて紹介する。

[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](#)

V237a CIB 観測ロケット実験 CIBER-2：第3回打上げ報告

松浦周二, 中川智矢, 中畑秀太, 玉井桃子, 花井翔, 伊藤希美, 坂内峻真, 笹山涼, 高田真緒 (関西学院大), 佐野圭, 橋本遼, 中川俊輔 (九州工業大), 高橋葵, 瀧本幸司 (ISAS/JAXA), 津村耕司 (東京都市大), 和田武彦 (NAOJ), Michael Zemcov (RIT), James Bock (Caltech/JPL), ほか CIBER-2 チーム

宇宙赤外線背景放射 (CIB - Cosmic Infrared Background) は個別に分解できない微光天体や銀河間物質の放射を視線積分した拡散放射であり、大域的な星形成史を研究する上で重要な観測量である。CIBER-2 (Cosmic Infrared Background Experiment 2) は NASA の観測ロケットを用いて波長 $0.5\text{--}2.0\ \mu\text{m}$ の CIB 観測を行う国際共同実験である。液体窒素冷却のアルミ合金製口径 28.5 cm 反射望遠鏡とレンズ光学系、および $2\text{k}\times 2\text{k}$ の HgCdTe 検出器 (HAWAII-2RG) を使い、6 バンドでの撮像 (視野 $2.3\times 2.3\text{ deg}^2$) とフィルタ分光 ($\lambda/\delta\lambda\sim 15$) を行うことで、これまでにない高い精度で CIB の非等方性とスペクトルを観測する。

2023 年に実施した第2回実験ではロケット追尾の問題により飛行停止措置がとられ、着陸時には機器に大きな衝撃が加わったが、望遠鏡以外には検出器やレンズ光学系などの主要部品に大きな損傷はなく、望遠鏡を修理加工することで再実験が可能な状態に復帰した。観測装置は、NASA Wallops Flight Facility での結像試験と機械環境試験およびテレメトリ試験の完了後、射場である White Sands Missile Range へ移動した。最終的な結像試験や測光感度校正およびスタートラッカーの調整を完了し、ロケットシステムと組合せたシーケンス試験を経て、2024 年 5 月 5 日 21 時 32 分 (米国山岳時間)、第3回実験の打上げに成功した。最高高度は 316 km に達し、全ての観測装置が正常に動作した。降下時の伸展バフフルと真空蓋の駆動に問題があったが、観測装置のパラシュート回収は成功し、飛行中オンボードメモリに保存した観測データは良好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](#)

V238a CIB 観測ロケット実験 CIBER-2: 光学性能評価

玉井桃子, 松浦周二, 中畑秀太, 伊藤希美, 坂内峻真, 笹山涼, 高田真緒 (関西学院大), 佐野圭, 橋本遼, 中川俊輔 (九州工業大), 高橋葵, 瀧本幸司 (ISAS/JAXA), 津村耕司 (東京都市大), 和田武彦 (NAOJ), Michael Zemcov (RIT), James Bock (Caltech/JPL), ほか CIBER-2 チーム

CIBER-2 (Cosmic Infrared Background Experiment - 2) は、NASA の観測ロケットを利用した日米韓台共同の国際プロジェクトであり、波長 $0.5\text{--}2.0\ \mu\text{m}$ の宇宙赤外線背景放射 (CIB: Cosmic Infrared Background) の観測を目的としている。CIB は我々の銀河系外から届く赤外域の放射をすべて足し合わせた積分光のことで、これを観測し前景光を差し引くことによって宇宙初期の天体を検出することが可能となる。2024 年 5 月 5 日、CIBER-2 第3回打ち上げが米国 White Sands Missile Range で行われ、実験は成功した。本講演では、この実験結果、望遠鏡の光学調整および光学性能評価について詳細に報告する。望遠鏡は第2回打ち上げ後に回収された後、ミラーの損傷が大きかったため再切削、コーティングし当初の状態まで復帰させた。復帰後、常温での望遠鏡単体の結像性能試験で前回の打ち上げ前と同様の結像性能が確認されたためクライオスタットにレンズ光学系とともに望遠鏡を組み込み、CIBER-2 全体での低温結像性能試験を実施した。焦点調整を終えた後、NASA の Wallops Flight Facility へ移動し振動試験を実施した。振動試験前後での点像分布関数 (PSF: Point Spread Function) の評価を行ったところ、試験後での PSF の広がりが確認されたが、前回フライトの実績から望遠鏡の副鏡調整により対処できると判断した。その後、打ち上げ場へ移動し、最終の光学性能評価を行い所定の結像性能を確認し、打ち上げを許容した。観測中に検出した星を用いて PSF の評価を行った結果、打ち上げ前後での PSF の変化は認められなかった。これにより、望遠鏡の光学性能が打ち上げ後も保持されていることが確認された。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V239b CIB 観測ロケット実験 CIBER-2：感度校正試験

中畑秀太, 松浦周二, 玉井桃子, 伊藤希美, 坂内峻真, 笹山涼, 高田真緒 (関西学院大), 佐野圭, 橋本遼, 中川俊輔 (九州工業大), 高橋葵, 瀧本幸司 (ISAS/JAXA), 津村耕司 (東京都市大), 和田武彦 (NAOJ), Michael Zemcov (RIT), James Bock (Caltech/JPL), CIBER-2 チーム

宇宙赤外線背景放射 (CIB) は銀河系外からのあらゆる赤外線を足し合わせた積分光である。暗いため個々で検出することが不可能な初代星やブラックホールを探知するためには CIB は重要な観測量である。我々は NASA の観測用ロケットを使い、CIB 観測 (The Cosmic Infrared Background Experiment 2 (CIBER-2)) 計画を行っている。CIBER-2 では3つの検出器で $0.5\text{--}2.0\ \mu\text{m}$ の波長範囲において、6つのバンドに分けた撮像観測と比分解能 R-20 の分光観測を行う。観測精度を高めるため、我々は絶対感度校正値を精度良く算出することに取り組んでいる。

そこで、黒体炉で校正したスペクトロメーターを基準にした測光感度校正システムの構築を行った。校正光源にはタングステンハロゲンランプの白色光を導入した積分球からの拡散光の絶対値放射強度を用いる。様々な温度の黒体炉の放射輝度を校正したスペクトロメーターで測定し、プランク分布と比較することで整合性を見積もった。ND フィルターを用いて減光した拡散光を CIBER-2 に照射し、5%以内の精度で絶対感度校正値を算出した。また、分光フィルター (Linear Variable Filter: LVF) では検出器ピクセルと波長の対応関係を分光器を用いて算出した。CIBER-2 は 2024 年 5 月 5 日に米国ホワイトサンズ実験場で第3回目打ち上げが成功した。今後、地上試験で得られた絶対感度校正値と飛行中に検出された星の観測データから算出した感度校正値との比較を行う。

[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](#)

V240b 異種金属をコーティングした次世代宇宙望遠鏡搭載ミラーの冷却次の歪み評価

山下隼人, 庄子欽太郎, 小鹿哲雅, 松浦周二 (関西学院大学)

我々は宇宙赤外線背景放射の観測を目的とし、観測ロケットや衛星に搭載する反射望遠鏡の開発に取り組んでいる。これまでの望遠鏡では、主鏡・副鏡はアルミ鏡の上に銀を蒸着した鏡を使用していた。しかし、鏡面に白濁した斑点が数多く現れた。この斑点は短波長（可視光）での観測を妨げる。そこでアルミニウムと銀のイオン化傾向の違いによる腐食であると仮定し、アルミニウムと銀との間に、イオン化傾向の差が小さいニッケルの層を追加したコーティングの採用を検討している。ここで異なる材質の金属薄板を張り合わせたとき、それぞれの材質が持つ線膨張率によって板に反りが生じるバイメタル現象が起こる。本研究では、室温時と液体窒素を用いて冷却した時の、ミラーサンプルの厚みと鏡の反りを評価した。

まず、真空引きしたクライオスタット内で $3\text{cm} \times 3\text{cm}$ の厚みの異なる 3 種のミラーサンプルを約 83 K まで冷却し、He-Ne レーザー (633nm) を反射させ、波面センサを用いて波面を測定した。波面の評価方法はゼルニケ多項式を用いて、2 次的な曲がりを示す Defocus 項を使用した。結果、厚み 3mm におけるサンプルミラーは冷却前後で 0.23 波長、厚さ 5mm が 0.074 波長、厚さ 10mm が 0.024 波長の変化を確認した。横軸をミラーの厚み、縦軸をミラーサンプルの反りの変化量とし、べき乗でフィッティングしたところ、冷却によるミラー反りはミラーの厚みに対して -1.88 乗の依存性を持つことがわかった。これより本試験において、冷却によるミラーサンプルの反りの変化量を調べる測定系の構成から評価方法までを確立することができた。

今後は、3DCAD モデルを用いて試験と同じミラー形状に対して、熱応力解析を行うことで実測値との整合性を図るとともに、数十 cm の口径を持つ望遠鏡ミラーの熱応力解析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](#)

V241b Daniel K. Inouye Solar Telescope (DKIST) 搭載用近赤外チューナブルフィルターのタイプ選定について

永田伸一, 浅井歩, 上野悟, 横山央明 (京都大学), NIRTf 検討 WG

我々は、米国 National Solar Observatory の DKIST の第二世代装置として、近赤外偏光分光撮像装置 (Near Infrared Tunable Filter: NIRTf) の検討を行っている。NIRTf は、He I 1083 nm による彩層・フィラメントの 3 次元磁場計測、Fe I 1074nm によるコロナ磁場計測、Fe I 1564nm による高精度光球磁場計測、などを行う。そして、SOLAR-C(2028 年打ち上げ予定) との協調観測により、外層大気加熱の素過程、太陽フレアを引き起こす MHD 不安定性発現過程の解明などを目指す。フィルターには、(1) 線輪郭測定に必要な 10^4 (コロナ) から 10^5 (光球・彩層) の波長分解能、(2) 視野 $> 60''$ を確保する口径、(3) 現象に追従するための 100ms 以下での波長シフト、(4) 直交 2 偏光同時観測、などの機能が求められる。これらの科学要求に基づき、(a) Airgap Fabry-Perot、(b) LiNbO₃ (LN) Fabry-Perot、(c) Lyot (CaCO₃ 他) についての比較検討を行ってきた。入射角度による波長シフトと空間分解の劣化の影響を低減するためには、Fabry-Perot では技術限界に近い 200mm (Airgap)、100mm (LN) の口径が必要とされ、かつ、口径に応じて装置全体が大きくなる課題が生じている。他方 Lyot では、口径は調達可能な 60mm 程度にとどまるが、波長分解能を高めるためには、複屈折の一意性確保が困難な 300mm 以上の長さが必要とされることが分かった。これを受けて、Lyot の長大なブロックを Michelson フィルターに置き換える、(d) Lyot と Michelson の併用、の検討を開始した。これは SDO 衛星の Heliospheric and Magnetic Imager (HMI) などでも実績のある構成だが、赤外域での実績はないため、赤外化するための材料検討などを行っている。本講演では、上記 (a)~(d) の 4 案について、装置全体の実現性の観点から、比較検討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](#)

V242b The Grand Spherical Telescope Array (GSTA)

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)

次世代の 30m クラスの地上 ELTs をもってしても、掲げる科学目標 (地球型系外惑星, 宇宙初期天体, ダークエネルギーの探査等) に対して、望遠鏡の大きさは必要最低限である。8 m 広視野サーベイ望遠鏡も同様の状況である。我々は、それらを大きく超える望遠鏡コンセプトを考える必要がある。本稿は口径 22m の望遠鏡 16 台を 250m の範囲に密に並べた、口径 88m 相当の開口径を持つ望遠鏡コンセプトである (Nishikawa24, SPIE)。

主鏡は地面に固定した軸外球面鏡を採用してコストを抑え、3 面以上の非球面鏡からなる補正ユニットで主鏡収差の大半を補正する。補正ユニットは高さ 40m の屋の上に置き、主鏡と同じ曲率中心を持つ球面に沿って動かし、子午線通過前後の 20 分間の日周運動を追尾する。各望遠鏡において南北方向に離れた複数の補正ユニットを同時に使うと稼働効率が上がる。広視野のカメラと多天体分光器は補正ユニットと一体に配置する (広視野補正系は TBD)。他の観測装置は崖上に置き光をリレーして届ける。全望遠鏡に広視野カメラを配し、高速な Deep サーベイを可能とする。全望遠鏡に分光器を備え、高 S/N での分光観測を可能とする。さらに、全望遠鏡はレーザーガイド星補償光学、光遅延線、クーデ光路を有し、全ての望遠鏡からの光は 1 か所に同位相で集められて一つの究極の望遠鏡として機能し、高角度分解能・高感度で系外惑星や銀河天体の観測を可能とする。

現在、主鏡の曲率半径 90m, オフセット量 15.5m (まだ不足)、視野 1.8 分角で Spot Diagram が 1 秒角以下 (波面誤差 $\pm 6\lambda$) の 3 面補正系の例を得ており、補償光学で近軸光の回折限界は達成できる。地球型系外惑星探査には、2 素子ずつのナル干渉計よりも全開口を使うコロナグラフが望ましく、Pupil Swapping Coronagraph (Guyon+06) や Densified Pupil (Labeyrie08) が候補である。本形式は小口径望遠鏡への適用も有効である。参加者募集中。

[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](#)

V243b 近赤外線高分散分光器 SAND のための大気分散補正光学系の開発

小崎瑛子, 國生拓摩 (名古屋大学), 小谷隆行 (ABC/国立天文台), 高橋葵 (ISAS/JAXA), 永山貴宏 (鹿児島大学), 平野照幸, 葛原昌幸, 寶田拓也 (ABC/国立天文台)

系外惑星の探査に向けて、新たに南アフリカ望遠鏡用近赤外線高分散分光器 SAND (South Africa Near-infrared Doppler) の開発が進められている。SAND は近赤外域 (波長 0.85–1.09 μm) で視線速度観測を行うことで、これまで観測が進んでいない若い巨大ガス惑星や、晩期型星のハビタブルゾーンにある地球型惑星の検出を狙う。SAND は南アフリカ天文台サザーランド観測所の PRIME 望遠鏡に搭載される予定だが、同望遠鏡の観測時間のうち年間 13% しか SAND は利用できない。そこで同観測所の IRSF 望遠鏡と光ファイバーで接続して、これら 2 つの望遠鏡を活用した恒星スペクトルの高頻度観測を行い、上記のサイエンス目的を実現させる。

視線速度観測で系外惑星を検出する際に不可欠となるスペクトル安定性を達成する上で、地球大気の屈折率による恒星光の波長分散が問題となる。そこで我々は、大気分散を補正する機能を持った光ファイバー入射光学系の開発を進めている。これまで、観測所の大気データから期待される大気分散量を計算し、この分散をプリズムで補正する光学系を設計した。また、実験室にて大気分散を模擬した人工光源を使用して、本装置による補正性能の実証に成功した。さらに、現地の観測所にて大気分散量を実測するための追加光学系を検討している。本講演ではこれらの設計や測定結果、および今後の開発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](#)

V244a 赤外線天文衛星 GREX-PLUS 計画: 進捗報告 2024 秋

井上昭雄 (早稲田大), 山村一誠, 鈴木仁研, 中川貴雄 (宇宙科学研究所), 岩室史英, 橋ヶ谷武志 (京都大学), 江上英一, Jarron Leisenring, Andre Wong (アリゾナ大学), 金田英宏, 松尾太郎 (名古屋大), 本原顕太郎, 和田武彦, 野村英子, 守屋堯 (国立天文台), 播金優一, 野津翔太 (東京大), 児玉忠恭 (東北大), 山田亨 (宇宙科学研究所), 小宮山裕 (法政大), 大藪進喜 (徳島大), 大内正己 (国立天文台/東京大), 宇宙物理学 GDI, 他 GREX-PLUS チーム

JAXA 宇宙科学研究所が戦略的に進める中型計画は、GDI (Groupe de Discussion Intensive; 戦略的中型創出グループ) とコミュニティが協力して作り上げることになった。本講演では、宇宙物理学 GDI のもとに設置された銀河進化・惑星系形成観測ミッション時限 WG で検討されている Galaxy Reionization Explorer and Planetary Universe Spectrometer (GREX-PLUS) 計画の進捗状況について報告する。GREX-PLUS は、口径 1.2m、温度 50K の冷却宇宙望遠鏡に波長 2–8 μm 帯 5 バンドの広視野カメラと波長 10–18 μm 帯で分解能 30,000 の高分散分光器を搭載する。それぞれの装置に対応する「初代銀河」と「スノーライン」の探査という二大科学目標に加え、他の計画には無いユニークな観測機能を活用した合計 18 テーマにもおよぶさまざまな科学目標を達成することができる (GREX-PLUS Science Book; arXiv:2304.08104)。主な技術的課題は、擾乱伝達抑制による高安定指向制御技術、観測系と衛星姿勢系の協調による絶対指向制御技術、放射冷却系の試験検証技術、低温下での光学性能検証技術、そして、高分散分光器に用いるイマージンググレーティングの開発である。

今年度前半の最大の成果として、ミッションコンセプト提案書を取りまとめて宇宙科学研究所へ提出した。講演では、提案書の概要を説明し、その評価結果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](#)

V245a 赤外線天文衛星 GREX-PLUS 計画: 衛星システムの検討

山村一誠 (JAXA 宇宙研), 井上昭雄 (早稲田大学), 鈴木仁研, 中川貴雄, 小川博之, 小田切公秀, 坂井真一郎, 澤井秀次郎, 竹内伸介, 富木淳史, 豊田裕之, 橋本樹明, 坂東信尚, 福田盛介, 安田博実 (JAXA 宇宙研), 植田聡史, 内田英樹, 北本和也, 水谷忠均 (JAXA 研開部門), 奥平俊暁, 小林明秀, 萩野慎二 (JAXA), 飯田浩, GREX-PLUS 時限 WG, 宇宙物理学 GDI

GREX-PLUS は、口径 1.2m の冷却望遠鏡と広視野カメラ (WFC)、高分散分光器 (HRS) を搭載し、太陽—地球 L2 周リハロー軌道で観測を行う天文衛星計画である (井上他)。本講演は、GREX-PLUS のシステム概念検討の中で、特に衛星バス部について進捗を報告する。

2022 年度までの検討で、我々は衛星の基本構成と仕様を策定した。2023 年度は、それに基づくシステムの具体的な検討を行った。特に、衛星の軽量化、リソースの定量化とバス部システムとしての成立性、観測要求を満たす指向性能の達成方法が、重要な課題であった。バス部は、XRISM 等宇宙研の科学衛星として実績のある機器と、開発中の機器を組み合わせ、今後の宇宙科学ミッションのスタンダードとなる、実現性の高い構成とした。具体的な機器の質量、電力、発熱量等を集計し、これをもとに、バス部の形状、機器の配置案、構造案を検討し、熱数学モデルにより熱的成立性を、構造数学モデルによって衛星全体の剛性が要求を満たすことを確認した。衛星質量については、マージン込みでも要求に近い値を達成することができている。

一方、姿勢系については、姿勢変動の要因を、(1) 姿勢系のドリフト、(2) 姿勢系センサと望遠鏡のアライメント変動、(3) 姿勢制御系機器・冷凍機等からの振動擾乱、に分け、それぞれについて課題と検討方針を設定した。これに従い、今後検討を進めていく。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V246a 赤外線天文衛星 GREX-PLUS 計画: 無寒剤極低温冷却システムの検討 II

○鈴木仁研, 山村一誠, 中川貴雄, 小川博之, 杉田寛之, 篠崎慶亮, 小田切公秀, 山田亨 (宇宙航空研究開発機構), 井上昭雄 (早稲田大学), 本原顕太郎, 和田武彦 (国立天文台), 小宮山裕 (法政大学), 金田英宏 (名古屋大学), 宇宙物理学 GDI, 銀河進化・惑星系形成観測ミッション時限 WG

JAXA 宇宙科学研究所の宇宙物理学分野における次期戦略の中型ミッションの候補の一つとして、宇宙物理学 GDI(戦略的中型ミッション創出グループ) とコミュニティーが一体となり、「銀河進化・惑星系形成観測ミッション」GREX-PLUS 計画の概念検討を進めている。本計画は、口径 1.2 m の冷却宇宙望遠鏡 (望遠鏡 <50 K, 赤外線センサー <7-55 K) を用いた赤外線観測により、銀河形成進化論と惑星系形成進化論を刷新することを目指す。

高感度な赤外線観測の実現には、観測装置を含む望遠鏡からの熱放射や赤外線センサーの熱電流に起因するショットノイズを自然背景放射によるそれよりも十分小さくする必要がある。それ故、望遠鏡と赤外線センサーを極低温まで冷却しなければならない。従来の寒剤を用いた冷却方式は望遠鏡の口径や観測期間などに厳しい制限が課せられるため、GREX-PLUS はこの制限を大幅に緩和できる無寒剤冷却方式を採用する。

冷却システムは、望遠鏡と赤外線センサーを断熱放射冷却機構と機械式冷凍機により冷却する設計方針とした。SPICA の検討ヘリテージを最大限に活用した予備的热数学モデルによる熱解析により、断熱放射冷却機構と機械式冷凍機の具体的な構成の検討を実施した (2023 年秋季年会 V217a)。冷却システム構成に基づき GREX-PLUS ペイロード部の構造を検討し、その熱数学モデルを構築して熱要求の成立性を調べた。定常熱解析の結果、GREX-PLUS 冷却システムにおいて、望遠鏡および赤外線センサーの温度要求を満たすことを確認できた。

[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](#)

V247a 赤外線天文衛星 GREX-PLUS 計画: 望遠鏡光学設計検討

橋ヶ谷武志, 岩室史英 (京都大学), 井上昭雄 (早稲田大学), 山村一誠, 鈴木仁研, 中川貴雄 (宇宙科学研究所), 本原顕太郎 (国立天文台), 小宮山裕 (法政大学)

銀河進化・惑星系形成観測ミッション GREX-PLUS は初代銀河とスノーライン探索を目標とする赤外線の宇宙望遠鏡計画である。これらのサイエンスの実現に向けて次の要求仕様の望遠鏡光学系を検討した。(1) 望遠鏡の運用期間内で銀河探索に必要な体積を観測できる口径・視野を有すること。(2) 想定する検出器 HAWAII-2RG(ピクセルピッチ 18 μm) で波長 4 μm のエアリーディスクをナイクストサンプリングできるのに必要な F 値を有すること。(3) 像面がフラットであること。(4) 波長 4 μm のエアリーディスクに対してエンサークルドエナジー (EE) が 75%程度であること。(5) バックグラウンドが黄道光放射に比べて十分に小さいこと。

(1),(2) を満たす光学系として、口径 1.2 m・視野 0.67 平方度 (F232/F303/F395 $\times$ 3/F520/F680 のフィルターセットで分割)・F7.73 のリッチークリチアン (RC)+ゲルマニウム (Ge) 補正レンズ系と、同口径・視野・F 値のコーシュ型の光学系を設計した。RC+Ge 補正レンズ系は像面湾曲が存在するうえ、大きな副鏡による遮蔽や回折で EE が 66%である。また、Ge 補正レンズ系は迷光を生みやすい、振動によって壊れやすい、加工・コーティングが難しいという欠点を持つ。一方で、コーシュ型の光学系は像面湾曲を解消して、かつ EE は 72%である。さらに本光学系は中間焦点・瞳を持ち、必要に応じてフィルターの位置を原案の検出器直前から中間焦点に移すことでゴーストを低減できるうえ、中間瞳の位置にコールドストップを置くことで迷光を抑えられる。以上の比較検討からコーシュ型の光学系を採用した。なお、上記の設計思想を維持したまま口径を 1 m に縮小した光学系案の設計・検討も進めている。本講演では、以上の設計・検討結果と最新の状況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](#)

V248a GREX-PLUS 中間赤外線高分散分光器: CdZnTe イメージョン・グレーティング搭載分光系の開発

中川貴雄, 松原英雄, 馬場俊介, 鈴木仁研, 榎木谷海 (ISAS/JAXA), 平原靖大, 笹子宏史, 李源, 趙彪, 金田英宏 (名古屋大学), 古賀亮一 (名古屋市立大), 和田武彦 (国立天文台), 中岡俊裕 (上智大学), 細島拓也, 海老塚昇, 山形豊 (理化学研究所), 野津翔太 (東京大学), 野村英子 (国立天文台)

惑星系の形成過程においてガス惑星と固体惑星を峻別したと考えられているのは H_2O 分子のスノーラインである。その場所を、分光的に特定することを最終目標として、中間赤外線 ($\lambda = 10 - 18 \mu\text{m}$) における高分散 ($R = \lambda/\Delta\lambda \sim 30,000$) 分光技術の開発を進めている。スペースからの観測のため、2030 年代打ち上げを目指す GREX-PLUS (井上ら、本年会) 搭載の極低温 ($T < 20 \text{ K}$) 分光器に、本技術を適用することを想定している。

スペースからの高分散分光実現のため、分光器の小型化を目指して、イメージョン・グレーティング技術を採用した。その実現には、高透過率、高屈折率の光学材料が必要であり、CdZnTe をその候補としている。まず、材料の吸収係数を極低温において高精度に測定する技術を開発し、高抵抗を持つ CdZnTe 結晶の吸収係数が十分に小さい ($\alpha < 10^{-2} \text{ cm}^{-1}$) ことを実証した (李ら、本年会)。さらに、イメージョン・グレーティング設計に必要な「屈折率 n 」について、極低温での測定を進め、必要な測定精度 ($\Delta n < 10^{-4}$) を達成した (榎木谷ら、本年会)。これらの光学特性評価と並行して、へき開性をもつために加工が困難である CdZnTe 結晶に、グレーティング溝を高精度で「加工する技術」の開発に取り組んでいる。さらに、高屈折率のため反射損失が大きい CdZnTe に対して有効に働く「反射防止コーティング」技術の開発も進めている。これらの基礎開発の結果をまとめ、分光器 (馬場ら、本年会) を試作し、2025-26 年度に地上観測で性能を実証することを目指している。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V249a GREX-PLUS 中間赤外線高分散分光器：試作分光器の仕様検討

馬場俊介, 中川貴雄, 鈴木仁研 (ISAS/JAXA), 松原英雄, 榎木谷海 (総研大, ISAS/JAXA), 平原靖大, 笹子宏史, 李源, 趙彪, 金田英宏 (名古屋大学), 古賀亮一 (名古屋市立大学), 細島拓也, 海老塚昇, 山形豊 (理化学研究所), 中岡俊裕 (上智大学), 和田武彦, 野村英子 (国立天文台), 野津翔太 (東京大学)

我々は、惑星形成論で重要な H_2O スノーラインのサーベイを主な目標として、計画中の赤外線宇宙望遠鏡 GREX-PLUS に、イマージョン・グレーティング (IG) を用いた高分散分光器 HRS ($10\text{--}18\ \mu\text{m}$, $\lambda/\Delta\lambda \sim 30,000$) を搭載することを目指している。IG は高屈折率媒質中に回折面を作るエシエル格子で、光路差が屈折率で伸びる分、高い分散を小型の分光器で達成できる。IG の有望な材料として CdZnTe を選定し、現在その屈折率・透過率の測定 (本年会講演榎木谷ら, 李ら, 趙ら)、超精密加工法の開発、表面反射防止の開発 (各々 2023 年秋季年会 V220a 細島ら, V225b 和田ら) を進めている。 CdZnTe 製 IG を実証するため、まず地上用の分光器を試作する計画である。

試作分光器は波長範囲を N バンド ($8\text{--}13\ \mu\text{m}$) とし、HRS と同程度の波長分解能を達成させる。主な観測目標は原始惑星系円盤の波長 $12.453\ \mu\text{m}$ の H_2O 輝線である。これは HRS が狙う波長 $17.754\ \mu\text{m}$ の H_2O 輝線より光学的に厚く、円盤の赤道面だけでなく表面から放射されるためスノーラインは捉えられないが、速度分解することで円盤モデルを制限できると期待される。試験観測はまず宇宙科学研究所の 1.3m 望遠鏡で行う。検出器には天文衛星「あかり」のヘリテージである 512×412 ピクセル Si:As 検出器を使用する。検出器の幅の中にナイキストサンプリングを満たしつつ各回折次数のスペクトルを収めるため、 N バンドを多数の次数に分割し、クロスディスパーザーの切替えと回転によって全次数をスキャンする。極低温の回転機構には、 Ge 製 IG の高分散分光器 GIGMICS (Hirahara et al. 2012) で使われたものを用いる。講演では、試作分光器の仕様検討について現状を報告する。

[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](#)

V250a GREX-PLUS 中間赤外線高分散分光器：中間赤外線用イマージョン・グレーティング材料候補 CdZnTe の吸収係数とその温度・波長依存性

李源, 平原靖大 (名古屋大学), 古賀亮一 (名市大), 榎木谷海, 松原英雄 (総合研究大学院大学, ISAS), 中川貴雄 (ISAS/JAXA), 和田武彦 (国立天文台)

我々は、原始惑星系円盤のスノーラインの初検出を目指し、次世代赤外線天文衛星 GREX-PLUS に搭載可能な中間赤外線イマージョン・グレーティング (IG) 分光器の開発を進めている。IG は、波長 $10\text{--}18\ \mu\text{m}$ で高分散 $R = \lambda/\Delta\lambda \sim 30,000$ を実現するための、高屈折率材料に溝加工を施したコンパクトな回折格子であり、IG 材料の吸収係数 α が小さい必要がある ($< 0.01\ \text{cm}^{-1}$)。先行研究によると、高抵抗率 ($\sim 10^{10}\ \Omega\text{cm}$) の CdZnTe の吸収係数の値が誤差は大きい極低温でも上昇せず、IG の材料となりうることを示唆された (Maeshima et al. 2022)。

我々は、先行研究で用いた透過率測定装置を基に、コモンパス・ダブルビーム光学系による透過率測定装置を開発し、厚さ 10 mm の高抵抗 CdZnTe 試料に対する透過率の測定を行った (李他 2024 春季天文学会年会 V216a)。最新の屈折率測定値 (榎木谷他 本年会) を用いると、波長 $10.6\ \mu\text{m}$ 、試料温度 12 K では $\alpha \sim 0.00036\ \text{cm}^{-1}$ と求められ、高抵抗 CdZnTe が IG の材料としての適合性が示された。しかしながら、我々の常温から 6 K までの冷却下 (~ 90 分間) での波長 $10.6, 15, 19\ \mu\text{m}$ での透過率の連続測定結果において、 $\sim 2\%$ の単調な増減が認められ、検出器系への常温熱放射の流入が影響している可能性がある。そこで本研究では、真空窓、光学チョッパーや検出器集光放物面鏡等を格納可能な断熱容器を製作し、その内部温度を $\pm 0.1^\circ\text{C}$ に保つ制御機構を構築した。講演では、上記の 3 波長域に加えて新たに中心波長 12 および $17\ \mu\text{m}$ のバンドパスフィルタを用い、同一ロットのインゴットから切り出した厚さ $1, 5, 10\text{ mm}$ の新たな高抵抗 CdZnTe の透過率の波長および温度依存性の精密測定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](#)

V251a GREX-PLUS 中間赤外線高分散分光器： CdZnTe の屈折率温度依存性測定

榎木谷海, 松原英雄 (総合研究大学院大学, ISAS), 中川貴雄, 馬場俊介 (ISAS/JAXA), 平原靖大, 李源, 趙彪, 笹子宏史 (名古屋大学), 古賀亮一 (名古屋市立大学), 和田武彦 (国立天文台)

我々は中間赤外線高分散分光観測 (観測波長 $10\text{--}18\ \mu\text{m}$, 波長分解能 $R = \lambda/\Delta\lambda \sim 30,000$) の実現のため、次世代赤外線天文衛星 GREX-PLUS への搭載を目指し、中間赤外線用イマージョン・グレーティング (IG) の開発を行なっている。IG は高屈折率 n の媒質中に光を通すことで、通常の回折格子に比べその大きさを $1/n$ 倍にでき、装置全体を小型化できる。そのため、IG の材料には高い屈折率と小さい吸収係数が要求され、その材料候補として CdZnTe が選出された (Sarugaku et al., 2017)。現在は CdZnTe IG の実証に向けて、地上用の試作分光器 ($8\text{--}13\ \mu\text{m}$, $R = \lambda/\Delta\lambda \sim 30,000$) を検討している (本年会講演馬場ら)。このような分光器を作成する上で、目的波長を検出器の中心に合わせるためには CdZnTe の正確な屈折率が必要である。そこで、本研究の目的は中間赤外線領域における極低温での CdZnTe の屈折率を $\Delta n < 10^{-4}$ の精度で求めることである。

我々は CdZnTe の正確な屈折率を評価するために、極低温の高精度な測定系を開発している。測定波長は、 635 nm (ダイオードレーザ)、及び $10/12/15/17/19\ \mu\text{m}$ (熱源とバンドパスフィルター ($\sim 1\%$ の帯域幅)) であり、検出器にはフォトダイオード (可視光用)、液体窒素冷却単素子 MCT 検出器 (赤外線用) を用いている。また、 4K まで冷却能力のある冷凍機を導入し、現在は CdZnTe を 12.6 K まで冷却可能である。可視光によるオートコリメーション頂角測定に加え、複数の波長における最小偏角測定を行い、 $12.6\text{ K} \sim 300\text{ K}$ における屈折率を最小偏角法を用いて導出する。本講演では、 CdZnTe の波長 $10.68\ \mu\text{m}$ における屈折率とその精度、また温度依存性について報告する。

[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](#)

V252a GREX-PLUS 中間赤外線高分散分光器：波面分割型広帯域 FT-IR イメージング分光器の開発とイメージングレーティング材料の屈折率精密測定への応用

趙彪, 平原靖大, 笹子宏史, 根岸昌平, 李源, 趙宸コウ (名古屋大学), 古賀亮一 (名古屋市立大学), 笠羽康正 (東北大学), 中川貴雄, 松原英雄, 榎木谷海 (ISAS/JAXA), 和田武彦 (国立天文台)

宇宙望遠鏡 GREX-PLUS に搭載される高分散赤外線分光器 ($\lambda = 10 - 18 \mu\text{m}$, $R = \lambda/\Delta\lambda \sim 30,000$) の実現には高透過率・高屈折率の材料による Immersion Grating が必須である。材料の光学定数の測定には高強度・高安定な光源が必要であり、量子カスケードレーザー (QCL) が有力であるが (生駒他 2024ASJ V219a), 波長 $14 \mu\text{m}$ より長波長領域では QCL 素子の入手が困難なため、ランプ光源・バンドパスフィルター (BPF)・MCT 検出器を用いた、極低温での CdZnTe の屈折率や透過率の精密測定を進めている (榎木谷ら、李ら 本年会)。最小偏角法による屈折率の測定では、IR カメラを検出器として用い、入射角の変化に対する偏角変化方向の逆転の検出が有効である。

本研究では、最小偏角測定において BPF 無しで分光撮像測定が可能な、准共通光路波面分割型位相シフト干渉法に基づく、3 反射光学系による小型かつ汎用なイメージングフーリエ変換分光器 (2D FT-IR, 視野: 6° , F 値: 1.9, $\lambda = 10 \mu\text{m}$ での空間分解能: $23 \mu\text{m}$, 測定波長域: $4 - 20 \mu\text{m}$ $R = 200 \sim 1000$) の開発に取り組んでいる (趙他 ASJ2024 V218a)。広帯域赤外線カメラへの結像範囲 $\sim 6 \text{ mm}\phi$ の実現のため、直径 40 mm の 2 つの自由曲面鏡 (ピエゾ駆動位相シフター入射光コリメート鏡とカメラ結像鏡) を設計の上特注製作した。そして、波面分割可変位相シフター ($\pm 1 \text{ mm}$) とともに、全ての光学素子を公差解析で得られた組立精度 $< 20 \mu\text{m}$ の範囲で微調整可能な支持機構に装着のうえ、He-Ne レーザーと各種ピンホール、シアリング干渉計を用いたアライメントを完了し、 $170 \times 150 \times 80 \text{ mm}$ の真空筐体に格納した。本講演では、新しい 2D FT-IR 分光器の結像性能および分光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](#)

V253a 将来衛星計画に向けたマイクロミラー技術による可変 CGH 干渉計の開発

國生拓摩, 中原勇人, 近藤翼, 金田英宏 (名古屋大学), 木野勝 (京都大学)

自由曲面鏡は複数の光学面の役割を担うため、軽量かつ省スペースが求められる宇宙望遠鏡の観測装置に有用である。自由曲面鏡の表面形状を評価するため、我々は Computer Generated Hologram (CGH) を用いた干渉計の開発を進めている。CGH は干渉計原器として有用だが、ガラス基板にマスクパターンを転写して製作するため、鏡面に応じて専用の CGH を都度、製作する必要がある。そのため、例えば赤外線天文衛星 GREX-PLUS の観測装置のように、多くの異なる自由曲面鏡を用いる光学系の開発では、CGH の製作コストが肥大化する。そこで本研究では、Texas Instruments 社の Digital Micromirror Device (DMD) に着目した。DMD は数 μm サイズのマイクロミラーが 2 次元格子上に並んだデバイスで、各ミラーの角度を変えることで、開口パターンを自在に変えられる反射型回折格子として振る舞う。本研究では DMD を CGH に応用して、単一デバイスであらゆる理想波面を生成する可変 CGH 干渉計を実現し、赤外線観測に必要な極低温下における鏡面測定への適用を目指す。

本研究の最初のステップとして、 $5.4 \mu\text{m}$ サイズのマイクロミラーが 1920×1080 に並んだ DMD を用いて、球面鏡 (口径 25.4 mm , 曲率半径 1000 mm) の表面形状を測定した。CGH の開口パターンを DMD に反映するため、マイクロミラーのピッチで量子化した開口パターンを設計した。測定の結果、干渉縞を取得して表面形状の誤差マップを得ることに成功した。この結果をフィゾー干渉計による測定結果と比較したところ、本手法の絶対精度は 49 nm RMS と求まり、GREX-PLUS の観測装置の要求値 60 nm RMS を満たすことが分かった。本講演ではこれらの測定結果について報告し、本手法の絶対精度を制限する要因について議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V254a 気象衛星ひまわり 8 号・9 号を用いた恒星測光における系統的バイアス

谷口大輔 (国立天文台), 山崎一哉 (東京大学), 宇野慎介 (理化学研究所)

気象衛星ひまわり 8 号・9 号は赤道上空の静止軌道を周回する人工衛星であり、可視光～中間赤外線 ($0.45 - 13.5 \mu\text{m}$) に渡る 16 バンドで 10 分に 1 回の頻度で地球をスキャン観測している。ひまわり衛星は地球の縁から約 1° 以下の範囲の宇宙空間も撮像しており、この宇宙空間には月や惑星、更にはベテルギウスなどの明るい恒星が写り込むことがある。ひまわり衛星によって撮像された天体画像は、中間赤外線での光度曲線が得られる点などにおいて、通常の日望遠鏡観測と比べた利点がある (Taniguchi ら 2022, Nishiyama ら 2022)。

一方で、気象衛星は地球観測 (すなわち面源の観測) を目的とした人工衛星であるため、気象衛星データを用いて恒星観測 (すなわち点源の観測) を行った際の測光結果の信頼性が十分に調査されていない。とりわけ、異なる気象衛星による恒星測光結果の間の系統的バイアスの有無が検証されていない。

そこで本研究では、気象衛星ひまわり 8 号 (2015 年 7 月～2022 年 12 月まで運用) とひまわり 9 号 (2022 年 12 月から現在まで運用) を用いて非変光星であるリゲルとプロキオンの可視光域での測光を行い、両衛星による測光結果の間のバイアスの有無を調査した。得られた光度曲線を解析したところ、まずひまわり 8 号による観測データに関しては、Taniguchi ら (2022) が報告したように、運用開始初期は最大 2 割程度の時間依存するバイアスが見られた一方、2017 年 1 月から運用終了 (2022 年 12 月) までの 6 年間は測光精度の範囲内でリゲルとプロキオンの測光結果が一定であることが確認できた。一方、ひまわり 8 号と 9 号が得た光度を比較したところ、両者の間に最大 10% 程度の差が見られた。以上より、変光星の光度曲線をひまわり 8 号・9 号を用いて得る際には、非変光星などを用いて系統的なバイアスを補正する必要があることが明らかになった。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V255a SOLAR-C 観測装置 EUVST 設計・開発検討の進捗報告 (2024 年秋)

原 弘久, 石川遼子, 浦口史寛, 岡本文典, 勝川行雄, 川畑佑典, 久保雅仁, 小原直樹, 篠田一也, 都築俊宏, 鄭 祥子, 成影典之, 光武正明 (国立天文台), 清水敏文, 内山瑞穂, 加藤秀樹, 末松芳法, 太刀川純孝, 田中寛人, 鳥海 森, 備後博生, 藤原正寛, 松崎恵一, 峯杉賢治, 三好航太, 山崎大輝, 宮崎英治, 山中理代 (JAXA), 今田晋亮 (東大), 渡邊恭子 (防衛大), 浅井 歩, 永田伸一 (京大) ほか, 国際 SOLAR-C チーム

SOLAR-C 計画では、高い空間分解能 (0.4 秒角) をもつ高感度撮像分光観測装置 EUVST を国際協力で開発し、極端紫外線 (EUV) 領域の多数の輝線による撮像分光観測から、太陽上層大気の詳細な物理診断を行って、太陽の高温プラズマがどのように形成されるのか、太陽フレアがいつどのように発生するのか、という謎に挑む JAXA 小型衛星計画である。

本講演では、EUVST の主要性能である高解像力と高感度を構成する要素、そしてその性能の検証試験の概要について報告する。解像力は、光学素子の設計や製造精度のほかに、設置精度や変形による変移、光学機構部や衛星姿勢制御の安定性、内部擾乱による微小振動などが関与して決定され、それぞれの要素を開発モデルで設計を確認し、最終的にはフライトモデルで観測装置性能を検証する。感度についても、光学要素の個々の性能を定める項目の試作確認を経て製造後のフライトモデルの効率確認を行い、感度劣化防止のために設計初期から汚染管理設計を進めた上でフライト品の汚染管理を実施する。EUVST は複数国で分担して製作する観測装置であり、国内の分担となる望遠鏡部の結像性能確認は日本で実施し、その後に組み付けられる分光器部とスリット面撮像望遠鏡の結像性能確認は米国で、また全体の装置レベルの感度確認はドイツで実施というように、検証試験を国内外で実施する計画としている。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V256a SOLAR-C 搭載超高精度太陽センサ UFSS BBM のリニアリティ誤差評価

近藤勇仁 (東京大学), 山崎大輝 (ISAS/JAXA), 吉田南 (東京大学), 鄭祥子 (国立天文台), 内山瑞穂, 清水敏文 (ISAS/JAXA)

SOLAR-C は高時空間分解の紫外線分光観測を行う次世代太陽観測衛星である。高時空間分解能でのスリット分光観測を実現するために望遠鏡内にティップ・ティルト鏡制御による像安定化機能を持つが、それに加えて衛星ボディの制御により望遠鏡を太陽面上の観測目標に 1 arcsec オーダーで指向させる必要がある。そのためには、超高精度太陽センサ (Ultra Fine Sun Sensor, UFSS) が十分な精度で太陽指向角度を検出する性能を持たなくてはならない。UFSS は直交する二つの一次元 CCD センサから成り、各センサはレチクルで生み出される太陽光の明暗模様と UFSS 内の基準信号と比較することで太陽光の角度をリアルタイムに導出する。1.0 × 1.0 deg の視野に渡って、特徴付けされた系統誤差 (リニアリティ誤差) < 2 arcsec (p-p) が要求され、これを地上試験にて十分な精度で検証する必要がある。

これまでに我々は精密二軸ジンバルと太陽シミュレータ光源、及びレーザー干渉計を用いて 1.0 arcsec の精度で測定可能な測定系と測定手順を確立した (近藤他、天文学会 2024 春季年会 V229a)。UFSS BBM を用いて、リニアリティ誤差測定の停留点数と停留時間の検討を行い、特に指向方向の停留時間に依存してその値が大きく変動することがわかった。また、UFSS の視野内について 21 × 21 点で各点 20 秒の停留時間で測定することで、要求を満たすリニアリティ誤差 1.6 arcsec (p-p) を達成することがわかった。本発表ではリニアリティ誤差を変動させる要因について考察を行い、UFSS EM の性能検証試験の測定手順を紹介する。

[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](#)

V257a 大型低温重力波望遠鏡 KAGRA の現状

鷲見貴生 (国立天文台重力波プロジェクト), ほか KAGRA コラボレーション

大型低温重力波望遠鏡 KAGRA は岐阜県飛騨市・神岡の地下施設に建設された基線長 3 km のレーザー干渉計型重力波検出器である。2010 年のプロジェクト開始後、トンネルの掘削・真空系の設置をはじめとして、レーザー光源、防振・懸架系、鏡、低温系、入出射光学系、補助光学系、アナログ・デジタル制御系、校正装置、データ取得系など各構成要素のインストールと、レーザー干渉計としての全体動作の実現を進めてきた。KAGRA はこれまで、2020 年 4 月に GEO 600 との国際共同観測 (O3GK)、2023 年 5 月に LIGO, virgo との国際共同観測 (O4) に参加した。O4 観測は休止期間を挟みながら最長 20 か月継続する予定であり、その前半を O4a、後半を O4b と呼ぶ。KAGRA は 4 週間の観測運転の実施後、一旦観測を中断し、O4b へ向け感度向上作業を再開した。本講演では、KAGRA の概要と 2024 年 1 月に発生した能登半島地震からの復旧、および O4b へ向けた感度向上作業の現状とともに今後の計画について報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V258a 次期観測にむけた重力波望遠鏡 KAGRA における迷光対策 II

阿久津智忠, 平田直篤, 佐藤直久, 大淵喜之, 麻生洋一, 高橋竜太郎, 陳たん, 鷲見貴生 (国立天文台), 牛場崇文, 横澤孝章 (東大), KAGRA Collaboration

大型低温重力波望遠鏡 KAGRA は、岐阜県神岡の地下にある基線長 3 km のレーザー干渉計である。KAGRA は、望遠鏡としては 2023 年春に米国 LIGO らとの同時国際観測運転を行なった。その後、ひと足先に観測運転を中断し、2024 年春での再合流を期して、さらなる感度向上のためコミッショニング作業を続けていた。しかし、2024 年正月に発災した能登半島地震で大部分の装置がダメージを受けたため、3 km 腕部を除くほぼ全域にわたって真空槽を開き、さまざまな復旧作業に当たってきた。昨年末までの作業により感度・安定度の向上が見込まれた矢先のことで不運ではあったが、これを奇貨として真空槽内の迷光対策について全体的な見直しを行なった。迷光による雑音・不具合は、すでに重力波観測に成功した欧米の干渉計においてもそれぞれ最後まで実用上の感度を制限しており、その対策は世界のどの干渉計においても重要な課題となっている。今回の講演では、新たに設置予定の装置も含めたこれら一連の迷光対策について報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V259a 宇宙重力波望遠鏡 DECIGO/B-DECIGO

安東正樹 (東京大学 理学系研究科), ほか DECIGO グループ

宇宙重力波望遠鏡 DECIGO は初期宇宙からの背景重力波の観測を通して、宇宙の誕生と進化の謎を解き明かすことを目指す計画である。宇宙機 3 機の編隊飛行によってレーザー干渉計を構成し、前景重力波の影響を受けない、0.1-10Hz 付近の周波数帯での観測を行う。また、その前哨ミッションである B-DECIGO は、連星合体の時刻と方向を事前予告することで、合体の瞬間を他の電磁波望遠鏡などで観測する「マルチメッセンジャー観測」の中心的な役割を担う。さらに、DECIGO の観測技術の実証や前景重力波の観測と評価を行う。ブラックホールや中性子星に関連した高エネルギー天体物理学や原子核物理学、一般相対性理論や重力法則についての基礎物理学、宇宙の誕生・進化を解き明かす宇宙論など、自然界に対する人類の知の範囲を大きく拡大させる計画である。特に「宇宙のはじまりを直接観測する」という人類の夢の 1 つの実現に向けた大きな一歩となる。

B-DECIGO を構成する宇宙機は、お互いに 100km 離れた正三角形形状に配置される。それぞれの宇宙機内には、慣性基準となる鏡が非接触で保持されており、それらの間の距離変動をレーザー干渉計で精密に測定することで重力波をとらえる。宇宙空間では長い基線長がとれること、地面振動などが無いことから、地上の重力波望遠鏡では観測が困難な 10Hz 以下の周波数帯での観測が可能になる。加えて、鏡間で光を直接反射させてファブリー・ペロー共振器を実現し、光量子雑音で制限される感度限界を向上させている。太陽輻射圧変動などの外乱に起因する宇宙機の擾乱の影響を避けるために、宇宙機の位置・姿勢は、慣性基準となる鏡を基準に制御 (ドラッグフリー制御) され、精密な編隊飛行が実現される。

本講演では、宇宙重力波望遠鏡 B-DECIGO および DECIGO の科学的意義と概要を紹介する。

[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](#)

V301a X線分光撮像衛星 XRISM 搭載 Resolve の軌道上運用について

Y.Uchida^A, Y.Ishisaki^B, R.L.Kelley^C, H.Awaki^D, J.C.Balleza^C, K.R.Barnstable^C, T.G.Bialas^C, R.Boissay-Malaquin^C, G.V.Brown^E, E.R.Canavan^C, T.M.Carnahan^C, M.P.Chiao^C, B.J.Comber^C, E.Costantini^F, R.S.Cumbee^C, J.-W.den Herder^F, J.Dercksen^F, C.P.de Vries^F, M.J.Dipirro^C, M.E.Eckart^E, Y.Ezoe^B, C.Ferrigno^G, R.Fujimoto^H, N.Gorter^F, S.M.Graham^C, M.Grim^F, L.S.Hartz^C, R.Hayakawa^I, T.Hayashi^C, N.Hell^E, Y.Ichinohe^J, R.Iizuka^H, D.Ishi^H, M.Ishida^H, K.Ishikawa^B, B.L.James^C, Y.Kanemaru^H, S.J.Kenyon^C, C.A.Kilbourne^C, M.O.Kimball^C, S.Kitamoto^K, M.A.Leutenegger^C, Y.Maeda^H, D.McCammon^L, B.J.MaLaughlin^C, J.J.Miko^C, E.van der Meer^F, M.Mizumoto^M, T.Okajima^C, A.Okamoto^H, S.Paltani^G, F.S.Porter^C, L.S.Reichenthal^C, K.Sato^N, T.Sato^O, Y.Sato^H, M.Sawada^K, K.Shinozaki^H, R.F.Shipman^F, P.J.Shirron^C, G.A.Sneiderman^C, Y.Soong^C, R.Szymkiewicz^C, A.E.Szymkowiak^P, Y.Takei^H, M.Takeo^N, K.Tamura^C, M.Tsujimoto^H, S.Wasserzug^C, M.C.Witthoef^C, R.Wolfs^F, S.Yamada^K, N.Yamasaki^H, S.Yasuda^H (東理大創理^A, 都立大^B, NASA^C, 愛媛^D, LLNL^E, SRON^F, Geneva^G, JAXA^H, KEK^I, 理研^J, 立教大^K, Wisconsin^L, 福教大^M, 埼玉大^N, 明治^O, Yale^P)

2023 年 9 月に打ち上げられた X 線天文衛星 XRISM にはエネルギー分解能が 5 eV に達するマイクロカロリメータ検出器 *Reesolve* が搭載されている。2024 年 2 月までに機器の初期動作試験を完了し、Performance Verification 期として天体観測を行ってきた。*Resolve* は数 100 もの機器のテレメトリを有し、これらを衛星自動監視ソフトウェア (ATMOS) により監視している。本講演ではこれまでの運用実績と ATMOS の状況について述べる。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V302a X線分光撮像衛星 XRISM 搭載 X線望遠鏡 (XMA) 開発の現状 (10)

林多佳由, Takashi Okajima, 田村啓輔, Rozenn Boissay-Malaquin, Tahir Yaqoob, Maxim Markevitch, Danielle N. Gurgew, Larry Olsen, Richard Koenecke, Leor Bleier, Richard Kelley, Steve Kenyon, Gary Sneiderman, Meng Chiao (NASA's GSFC), 佐藤寿紀 (明治大), 森英之, 石田学, 前田良知, 飯塚亮, 富田洋, 金丸善朗 (ISAS/JAXA), 武尾舞 (埼玉大), 宮本明日香, 石崎欣尚 (都立大), 市川雄大, 森浩二 (宮崎大), 中嶋大 (関東学院大), 井上峻, 内田裕之 (京都大), Eric Miller, Laura Brenneman, Aysegül Tümer (MIT), Aurora Simionescu (SRON), Lia Corrales (U-M), 水本岬 (福岡教育大)

2023 年 9 月に打ち上げられた X 線分光撮像衛星 (XRISM) に搭載されている 2 つの観測システム、Xtend と Resolve の光学系を XMA (X-ray Mirror Assembly) と呼ぶ。我々は続々と取得されている XRISM の天体データを元に、XMA の軌道上校正を進めている。Aimpoint での Xtend の PSF は PDS 456 (full window) や NGC 4151 (1/8 window) の観測から、地上と近い結果が得られており、HPD は要求値の 1.7 分角を十分満たすことが確認された。Resolve ではピクセル (サイズ 0.5×0.5 分角) 毎の有効面積分布が、全 35 ピクセルのうち少なくとも 7 割で、地上の結果と 20% の精度で一致している。Aimpoint での有効面積の応答関数 (エネルギーの関数) は、標準的な校正天体 3C 273 を用いて他衛星と比較されている。Xtend では既に、flux とスペクトルの傾きの両方で、現在最も信頼されている NuSTAR 衛星と一致する結果が得られた。Resolve では傾きは一致しているが、flux が 5% ほど高い (応答関数がハードウェアの有効面積より小さい) 結果になった。他にも、off-axis PSF や光軸測定、迷光のデータが取得され、解析されている。本講演ではそれまでに得られた XMA の性能と校正の状況を報告する。

[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](#)

V303a X線分光撮像衛星 (XRISM) 搭載軟 X線撮像装置 (Xtend) の軌道上運用 (2)

小林翔悟 (東京理科大), 村上弘志 (東北学院大), 森浩二 (宮崎大), 中嶋大 (関東学院大), 富田洋 (ISAS/JAXA), 岡島崇 (NASA/GSFC), 野田博文 (東北大), 内田裕之 (京大), 鈴木寛大 (ISAS/JAXA), 萩野 浩一 (東大), 信川久実子 (近大), 米山友景 (中央大), 田中孝明 (甲南大), 信川正順 (奈良教育大), 内山秀樹 (静岡大), 松本浩典 (阪大), 鶴剛 (京大), 山内誠 (宮崎大), 廿日出勇 (宮崎大), 小高裕和 (阪大), 幸村孝由 (東京理科大), 山岡和貴 (名大), 石田学, 前田良知 (ISAS/JAXA), 林多佳由, 田村啓輔, R. Boissay-Malaquin (メリーランド大), 佐藤寿紀 (明大), 吉田鉄生, 金丸善朗, 伊師大貴 (ISAS/JAXA), 水野恒史 (広大), 平賀純子 (関西学院大), 堂谷忠靖 (ISAS/JAXA), 尾崎正伸 (国立天文台), 常深博 (阪大), 東竜一 (甲南大), 朝比奈遥, 中村彰太郎, 亀井貴光, 福田将大 (関東学院大), 善本真梨那, 袴田知宏, 青柳美緒, 島耕平 (阪大), 井上峻 (京大), 青木悠馬, 伊藤耶馬斗 (近大), 青木大輝, 二之湯開登, 清水康行, 樋口菜由 (東京理科大), 大塚芳徳, 横須晴彦, 米丸若菜, 市川雄大, 中野瑛子, 岳本康史, 松島司, 浦瀬伶香, 倉嶋順, 淵琴美 (宮崎大), 林田清 (阪大), 他 XRISM/Xtend チーム

2023 年 9 月 7 日に打ち上げられた X 線分光撮像衛星 XRISM に搭載されている軟 X 線撮像装置 Xtend は、X 線望遠鏡 (XMA) と 4 素子の X 線 CCD カメラ (SXI) で構成され、38 分角の広視野を実現することで分光性能に優れた Resolve と相補的な観測を行う。SXI は、立ち上げ後の初期機能確認運用を経て、今年 2 月から定常運用に移行し、科学観測を行いながら校正・初期性能検証を進めている。春季年会では、地上試験で得られたものと同等の雑音・分光性能が得られ、6 keV での分光性能が要求値 (半値全幅 < 200 eV) を満足していることを報告した。本講演では、その後の性能検証と軌道上校正の状況を踏まえ、最新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](#)

V304a X線分光撮像衛星 XRISM に搭載された軟X線撮像検出器 SXI の軌道上エネルギー較正

中野瑛子, 岳本廉央, 大塚芳徳, 横須晴彦, 米丸若菜, 市川雄大, 松島司, 森浩二 (宮崎大学), 青木悠馬, 伊藤耶馬斗, 信川久実子 (近畿大学), 信川正順 (奈良教育大学), 善本真梨那, 袴田知宏, 青柳美緒, 島耕平, 小高裕和, 松本浩典 (大阪大学), 中嶋大 (関東学院大学), 村上弘志 (東北学院大学), 内田裕之, 鶴剛 (京都大学), 田中孝明 (甲南大学), 米山友景 (中央大学), 富田洋, 鈴木寛大, 吉田鉄生, 金丸善朗, 伊師大貴 (ISAS/JAXA), 水野恒史 (広島大), 萩野浩一 (東京大学), 野田博文 (東北大学), 内山秀樹 (静岡大学), 山内誠, 廿日出勇 (宮崎大学), 樋口菜由, 幸村孝由, 小林翔悟 (東京理科大学), 山岡和貴 (名古屋大学), 堂谷忠靖 (ISAS/JAXA), 尾崎正伸 (NAOJ), 常深博 (大阪大学), 他 XRISM/Xtend チーム

X線分光撮像衛星 XRISM に搭載された軟X線撮像装置 Xtend は、軟X線反射望遠鏡 XMA と軟X線撮像検出器 SXI の組み合わせによって構成され、4 枚の CCD 素子をモザイク状に配置することで、0.4–13 keV において 38 分角平方の広視野の撮像分光をおこなう。SXI のスペクトルを導出する際には、偶数・奇数列の出力波高値のゲイン、電荷転送時の後続ピクセルへの電荷漏れ、電荷転送非効率の各種補正を行っている。これらの補正に用いる補正パラメータは、地上試験で取得したデータに基づき打ち上げ前に整備していたものの、軌道上では CCD の放射線損傷等により応答が経年変化するため、このデータベースを更新する必要がある。実際に、XRISM 打ち上げ後の初期機能確認フェーズの観測データにおいて、CCD の放射線損傷に起因すると考えられる較正線源からのX線の輝線中心値の経年的な減少を確認した。本講演では、この輝線中心値の減少を踏まえ、軌道上データに基く補正パラメータの導出、およびエネルギー較正結果を報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V305a X線分光撮像衛星 XRISM 搭載 軟X線撮像検出器 (SXI) の軌道上における低エネルギー帯域の検出効率と CCD 素子へのコンタミ物質の付着の評価

樋口 菜由, 二之湯 開登, 中武 隼汰, 青木 大輝, 幸村 孝由, 内田 悠介 (東理大), 米山 友景 (中央大), 萩野 浩一 (東京大), 鶴 剛, 内田 裕之, 井上 峻 (京都大), 森 浩二 (宮崎大), 中嶋 大 (関東学院大), 信川 正順 (奈良教育大), 信川 久実子 (近畿大), 内山 秀樹 (静岡大), 村上 弘志 (東北学院大), 田中孝明 (甲南大), 富田 洋, 鈴木 寛大 (ISAS/JAXA), 他 XRISM/Xtend チーム

2023 年 9 月に打ち上げられた X 線分光撮像衛星 XRISM 搭載の軟 X 線撮像検出器 (SXI) は 4 枚の裏面照射型の X 線 CCD からなり、0.4–13 keV の広いエネルギー帯域で高い検出効率を実現している。我々は SXI の低エネルギー帯域の検出効率と CCD 素子へのコンタミ物質付着の評価を行っている。2015 年に運用を終了した X 線天文衛星すざく搭載の X 線 CCD (XIS) では、衛星内部のコンタミ物質が可視光遮光膜に付着したことで ~1 keV 以下の検出効率が低下した。そこで SXI では紫外線の遮光とコンタミ物質の付着を防ぐことを目的として、コンタミネーション防止膜を装備している。また、CCD の X 線入射面に可視光遮光層として厚さ 230 nm のアルミニウムを蒸着している。我々は、2022 年に KEK の放射光施設 (KEK-PF) において、コンタミ防止膜の X 線透過率と CCD 素子の軟 X 線の検出効率の評価実験を行った。XRISM 打ち上げ後は、SXI のコンタミ防止膜が十分に機能しているかと、地上の評価実験で求めた SXI の検出効率が軌道上でも同等であることを確認するため、超新星残骸 1E0102.2-7219 や地球大気の大気 X 線などの軌道上の観測データを用いて解析を行っている。これまでの解析により、On-axis 上の CCD について、コンタミ物質の付着はないことと、検出効率が地上での較正結果と矛盾がないことを確認している。本講演では以上の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](#)

V306a X線分光撮像衛星 XRISM 搭載軟X線撮像検出器 SXI の応答関数の軌道上較正

島耕平, 善本真梨那, 袴田知宏, 大出優一, 青柳美緒, 小高裕和, 松本浩典 (大阪大学), 野田博文 (東北大学), 信川正順 (奈良教育大学), 信川久実子 (近畿大学), 鈴木寛大 (ISAS/JAXA), 内山秀樹 (静岡大学), 廿日出勇, 森浩二 (宮崎大学), 中嶋大 (関東学院大学), 樋口菜由, 幸村孝由 (東京理科大学), 他 XRISM/Xtend team

2023 年 9 月 7 日に打ち上げられた X 線分光撮像衛星 XRISM に搭載された軟 X 線撮像装置 Xtend は、X 線望遠鏡 XMA と軟 X 線撮像検出器 SXI で構成される。SXI は、4 枚の X 線 CCD を田の字状に配置することで、0.4 – 13.0 keV のエネルギー帯域において 38' × 38' の広視野で分光撮像観測を行うことができる。CCD のデータから入射 X 線の情報を正しく得るためには、正確な応答関数が必要不可欠である。SXI の応答関数は、地上試験で得られたデータを元に入射 X 線のエネルギーに対する関数でモデル化されている。そこで我々は、超新星残骸 1E 0102.2-7219 や、超新星残骸 N132D などの軌道上で観測された天体のデータを用いて、地上試験で構築された応答関数が十分に正確かどうかを検証した。その結果、この応答関数で解析を行うと天体由来の輝線の幅を過大評価してしまうことが判明した。この問題を解消するように応答関数を表すモデルのパラメータを補正する必要がある。現在我々は上述した軌道上データをもとに応答関数の再較正を行っている。本講演では、応答関数を軌道上で検証、較正する方法、及び現状の応答関数の較正精度について報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V307a X線分光撮像衛星 XRISM の科学運用の現状 (2)

吉田鉄生, 林克洋, 金丸善朗, 小川翔司, 福島光太郎 (JAXA), 寺田幸功, 田代信 (埼玉/JAXA), 高橋弘充, 水野恒史, 深沢泰司, 阪本菜月 (広大), 信川正順 (奈良教育大), 宇野伸一郎 (日福大), 中澤知洋, 大宮悠希, 大熊佳吾 (名大), 内山秀樹 (静大), 久保田あや (芝工大), 勝田哲, 塩入匠, 本上侑吾 (埼玉), 寺島雄一, 志達めぐみ, 新居田祐基, 高木利紘 (愛大), 山内茂雄, 太田直美, 白木天音, 鈴木那梨 (奈良女子大), 北口貴雄, 山田智史 (理研), 坪井陽子, 米山友景, 根本登 (中大), 内田悠介 (東理大), 江口智士 (熊本学園大), 谷本敦 (鹿大), 善本真梨那 (阪大), 内田和海, 海老沢研, 渡辺伸, 飯塚亮 (JAXA), Matt Holland, Tahir Yaqoob, Chris Baluta(NASA), Michael Loewenstein(NASA/U. of MD), Eric Miller(MIT)

2023 年 9 月 7 日に打ち上げられた X 線分光撮像衛星 (XRISM) の運用は、衛星搭載機器の機能確認等を実施する Commissioning フェーズを終え、予稿投稿時点 (2024 年 6 月) では定常運用 PV フェーズ (Performance Verification) に入っている。PV フェーズが終わるといよいよ世界中の研究者からの観測提案に基づいて天体観測を行う GO フェーズ (Guest Observation) に入る予定である。我々科学運用チームは XRISM の科学成果を最大限に引き出すために、観測スケジューリング (ToO 観測への対応を含む)、軌道上データを用いた高次データ処理およびアーカイブ処理とその結果の検証、即時解析データの検出器チームへの配布、X 線突発天体の検出と解析、研究者向けウェブサイトの保守・管理、公募観測に向けたヘルプデスクの立ち上げ、観測提案システムの検証試験などの活動をおこなっている。これらの活動は、衛星運用および検出器開発チーム、NASA/XRISM SDC, GOF や ESA/ESAC の地上ソフトウェアチームやユーザーサポートメンバーと連携して進めている。本講演では XRISM の科学運用について、主に PV フェーズのステータスをまとめ、今後の GO フェーズにおけるプランを報告する。

[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](#)

V308a X線分光撮像衛星 XRISM の指向精度の軌道上評価 (2)

金丸善朗, 飯塚亮, 前田良知 (JAXA), Takashi Okajima, 林多佳由 (NASA/GSFC), 清兼和紘, 二瓶雄斗, 小湊隆 (日本電気), 渡辺伸, 夏莉権, 石田学 (JAXA), 佐藤浩介 (埼玉大学), 寺田幸功, 田代信 (埼玉大学/JAXA), 戸田謙一 (JAXA), 前島弘則 (JAXA), 他 XRISM Science Operations Team

2023 年 9 月に打ち上げに成功した X 線分光撮像衛星 XRISM は、通常観測時の姿勢制御用センサとして、3 台の恒星センサ (STT) と 2 台の慣性基準装置 (IRU) を搭載する。天体指向の際には、望遠鏡の観測軸から 10 度傾けた 3 台の STT のうち、2 台の出力情報に基づいて姿勢を制御し、地蝕等で星位置を利用できない場合は、1 台の IRU 内のジャイロで検出した角速度に基づいて姿勢を保持する。初期運用期間中の評価では、STT 制御時の指向方向制御精度や、地上処理で補正した IRU 制御時を含む指向方向決定精度といった主要項目に対して、要求を達成していることが確認できた。一方、衛星に対する太陽方向に応じて、結像位置のずれが秒角単位で生じることがわかった。また、軟 X 線分光装置 Resolve と軟 X 線撮像装置 Xtend の結像位置のずれ方向は、太陽方向に対して異なる依存性をもつことがわかった。2 装置のずれ方向が一樣でないため、結像位置ずれの主因は姿勢制御の誤差ではなく、熱環境変化による検出器設置面の非一樣な変形である可能性が示唆される。本講演では、初期運用期間後の初期性能確認期間に新たに観測した X 線点源による指向精度の評価結果、および太陽方向に依存した熱歪と結像位置ずれの関係について報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V309a X線分光撮像衛星 XRISM の絶対時刻精度の軌道上較正

寺田幸功 (埼玉大/JAXA), 志達めぐみ (愛媛大), 米山友景 (中央大), 澤田真理 (立教大), 榎戸輝揚 (京都大), 田中孝明 (甲南大), Katja Pottschmidt(NASA), 新居田祐基 (愛媛大), 高木利紘 (愛媛大), 本上侑吾 (埼玉大), Eric Miller (MIT), and XRISM CAL-IP Timing Analyses Team, XRISM Science Operations Team

2023 年打上の X 線分光撮像衛星 XRISM は、その科学目標から、到来光子にタグ付けされた時刻に対し、 1σ で 1 ミリ秒の絶対時刻精度が要求される。打上前の開発では、XRISM 時刻システム全体でこの精度要求を満たすべく、地上系および衛星搭載機器を含む各コンポーネントごとに時刻精度のエラーバジェットを設定し、それぞれでバジェットを満たすよう設計した (2022 年春季年会 V328a)。その後、打ち上げ前の衛星熱真空試験において、フライト状態での検証を実施し、時刻システムに問題がないことを確認した (2023 年春季年会 V309b)。2023 年 9 月の打上後、コミッショニング期には、中性子星パルサー PSR B1937+21 の 1.5 ミリ秒の周期信号を用いて時刻精度の検証を実施し、時刻付けが正しく機能していることを確認している (2024 年度春季年会 V309a)。

本年会では、その後の Performance Verification (PV) 期における絶対時刻精度の較正についてまとめる。PV 期では、時刻決定精度の高い NICER と Crab パルサーの同時観測を実施し、XRISM 衛星の時刻パラメータの調整と、絶対時刻の相互確認を行っている。この同時観測キャンペーンには、NuSTAR 衛星、Insight-HXMT 衛星、および NinjaSAT 衛星も参加しており、互いの絶対時刻精度を相互に較正する機会となった。本年会では、この Crab 同時観測の結果を元に、XRISM 衛星の絶対時刻精度較正について講演する。

[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](#)

V310a X線分光撮像衛星 XRISM 用プレパイプラインの JAXA スーパーコンピュータシステムへの移植と初期運用期～PV 期観測データの再処理

江口智士 (熊本学園大学), 田代信, 寺田幸功 (埼玉大学/JAXA), 高橋弘充 (広島大学), 信川正順 (奈良教大), 海老沢研, 林克洋, 吉田鉄生, 金丸善朗, 小川翔司 (JAXA), XRISM Science Operations Team

X 線分光撮像衛星 XRISM(2023 年 9 月打ち上げ) では、地上局で受信された衛星のテレメトリ・データは SIRIUS (JAXA C-SODA 運用) でパケットの重複排除が行われた後、日本側のプレパイプライン (PPL) による First FITS File への変換、続く NASA 側のパイプライン (PL) による較正処理を経て、FITS プロダクトとして研究者に配布される。通常、観測時の軌道要素が確定次第 (観測終了後約 1 週間程度) PPL および PL 処理が実施されるが、両ソフトウェアの更新が並行して続いているため、どこかのタイミングで全 FITS プロダクトの品質を均質化する「PPL+PL 再処理」が必要になる。我々 XRISM Science Operations Center では、2024 年に入るとすぐに「初期運用期～PV 期の 80 観測の PPL 再処理を 2024 年 2 月下旬までに完了させる」目標を立てた。我々が通常の PPL 処理に使用している計算機「Reformatter」を用いた場合、PPL 再処理の完了が 2024 年 5 月頃になると見込まれたため、JAXA スーパーコンピュータシステム「JSS3」の「TOKI-RURI」システムを使用することにした。PPL の TOKI-RURI への移植作業を 2 週間で完了させるため、我々は Reformatter で稼働中の PPL ソフトウェア一式を Singularity でコンテナ化する方式を採用した。その際、ホストのファイル・システムとコンテナのファイル・システムを任意にマッピングできる “--bind” オプションを活用して、Reformatter と完全に同一なディレクトリ構造をコンテナ内に再現した。これら手法により、2024 年 3 月上旬には 80 観測の PPL 再処理がすべて完了した。本講演では XRISM のデータ処理の概要と、上記 PPL 再処理の詳細を報告する。

[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](#)

V311a X線分光撮像衛星 XRISM 搭載軟 X 線撮像装置 Xtend による突発天体探査 (3)

Yohko Tsuboi, Koichiro Akasu, Yuiko Ishihara, Noboru Nemoto, Tomokage Yoneyama (Chuo Univ.), Marina Yoshimoto (Osaka Univ.), Kotaro Fukushima, Katsuhiro Hayashi, Yoshiaki Kanemaru, Shoji Ogawa, Tessei Yoshida (JAXA/ISAS) and XRISM/Xtend Transient Team

The X-ray Imaging Spectroscopy Mission (XRISM) was launched on September 7th 2023, and the onboard Xtend, which have a wide field of view of 38 arcminutes, are now performing spectral imaging in the 0.4-13 keV band. Utilizing the wide field of view of Xtend, we have been conducting transient search, called “XRISM/Xtend Transient Search (XTS)”, once a day so far. We are now reporting to the world via a telegram within ~1 day from the observation, as originally aimed (e.g. ATel #16561). Since the beginning of January 2024, when the XTS began operations, through the end of May, we have issued six reports at the Astronomer’s Telegram (ATel). The lower limit of sensitivity is about 10^{-14} ergs cm^{-2} for a one-day observation, i.e. for the observation with an exposure time of ~40 ks and an observation efficiency of about 50%. This is orders of magnitude fainter than those obtained with all-sky survey satellites (e.g. MAXI and Einstein probe) and is comparable to those with Swift’s XRT and SRG’s eROSITA. XRISM’s typical exposure time is several days long, allowing for searches with practical sensitivity to variable sources with time scales of more than one day in the 10^{-14} erg s^{-1} cm^{-2} flux range. Together with these instruments, XRISM now plays a key role in time-domain astronomy.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V312a X線マイクロカロリメータの次世代読出方式の実証実験と宇宙応用に向けて

山田真也, 林 佑, 小湊 菜央, 橋本 玲華 (立教大), 早川 亮大 (QUP/KEK), 岡田 信二, 外山 裕一 (中部大), 橋本 直, 齋藤 岳志, 一戸 悠人, 磯部 忠昭, 東 俊行 (理研), 奥村 拓馬, 竜野 秀行 (都立大), 佐藤 寿紀 (明治大), 野田 博文 (東北大), D.A. Bennett, W.B. Doriese, M.S. Durkin, J.W. Fowler, J.D. Gard, K.M. Morgan, G.C. O. Neil, C.D. Reintsema, D.R. Schmidt, P. Strasser, D.S. Swetz, J.N. Ullom (NIST)

X 線分光撮像衛星 (XRISM) が 2023 年 9 月 7 日に打ち上げられ、2024 年 3 月に定常運用に移行し、非分散型の精密 X 線分光が動き出そうとしている。しかし、XRISM の画素数は 36 画素 (較正専用の 1 画素を含む) であり、精密な分光とイメージングを同時に実現するに次世代の X 線カロリメータ技術が必要である。その中でも有望視されているのが超伝導体の転移端を活用した超伝導転移端検出器 (TES) であり、我々 (HEATES チーム) は米国 NIST との協力を進め、J-PARC や SPring-8 などの大型地上施設と TES を組み合わせた実験を行い、技術の成熟度向上に努めてきた。昨年度は、従来の時間分割型読み出し方式ではなく、マイクロ波帯域を用いた読み出し方式を採用し、TES の原理実証実験を J-PARC/MLF で実施した。これは将来の多画素化に向けて重要な技術である。この読み出し方式は、4-8GHz の帯域を用い、TES の画素ごとに異なる共振ピークを持つ超伝導共振器の信号を一本の同軸ケーブルで 100 画素分読み出すものであり、DC バイアスで TES を動作させることもメリットである。観測可能なエネルギー帯域は吸収体のチューニング次第で軟 X 線から硬 X 線まで対応可能であり、今回の実証実験で用いた TES は 40keV や 100keV の観測に特化した素子である。この特性を生かし、超新星残骸からの核ガンマ線の精密分光や天の川銀河からの対消滅線の精密分光観測など将来計画も存在する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V313a 超伝導遷移端 X 線検出器 (TES) の多画素読み出し方式に向けた基礎開発

橋本 玲華, 林 佑, 山田 真也, 古山泰成 (立教大), 早川亮大 (KEK/QUP), 服部 香里 (AIST/QUP), 八木雄大, 田中圭太, 山崎典子 (ISAS/JAXA)

超伝導遷移端 X 線検出器 (TES) は、X 線分光撮像衛星 (XRISM) に搭載された半導体タイプのカロリメータに比べて、超伝導から常伝導への遷移を活用することで、より高いエネルギー分解能や多画素化、広帯域化が可能になる装置である。例えば、軟 X 線帯域に特化することで将来のダークバリオンの探索への活用が可能となり、様々な衛星計画が提案されてきた。その他、硬 X 線やガンマ線帯域に特化することで、超新星残骸からの核ガンマ線の精密分光や、天の川銀河で検出されている電子陽電子対消滅線の精密分光観測など、応用範囲は広い。しかし、有効面積の拡大や、精密なイメージングに向けて、読み出し画素数を、XRISM 衛星の 36 画素から何桁も増やす必要があるが、極低温検出器の特性上、配線数を単純に増やすことは不可能であり、広帯域の信号多重化方式の開発や、素子のデザイン工夫なども必要である。そこで、我々は多数の X 線吸収体を 1 つの温度計 (TES) で読み出す方式 (通称 hydra type TES) の開発を進めている。本技術は、現在までに開発されている数百素子の TES と組み合わせることで数千画素への拡張が原理的に可能となる。複数の X 線吸収体を 1 つの TES で読み出すことで、吸収体が接続された Au 薄膜のサーマルリンクを経路により、熱の移動時間すなわち信号の立ち上がり時間が異なるため、波形弁別法により X 線の入射した画素を特定できる。設計および製作は宇宙科学研究所のクリーンルームで行い、基礎的な性能測定および評価を進めた。このような素子レベルの改良と同様、マイクロ波を用いた読み出し方式の開発も重要であり、超伝導共振器の試作は性能評価など、読み出し部分の開発も進めている。本発表では、将来の TES 多画素化に向けた素子開発および読み出し方式の開発状況について紹介する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V314a X 線偏光観測衛星 IXPE の現状 (5)

玉川 徹, 北口貴雄 (理研), 水野恒史, Zhang Sixuan, 呉屋和保, 深沢泰司, 高橋弘充 (広島大), 郡司修一, 渡邊瑛里, 菅 佑真, 上小林 証, 森愛斗 (山形大), 三石郁之, 田原譲 (名古屋大), 榎戸輝揚 (京都大), 内山慶祐, 武田朋志 (東京理科大/理研), 岩切 渉 (千葉大), 林田 清 (大阪大), Philip Kaaret, Steven Ehlert, Steve O'Dell (NASA/MSFC), Imma Donnarumma (ASI), Paolo Soffitta (IAPS/Rome), Luca Baldini (INFN/Pisa) ほか IXPE 衛星チーム

NASA マーシャル宇宙飛行センターがイタリアと共同提案し、日本が国際協力で参加している IXPE (Imaging X-ray Polarimetry Explorer) は、2021 年 12 月 9 日に打ち上げられ、2-8 keV 帯域で世界初の高感度軟 X 線撮像偏光観測を実現した。X 線偏光観測は、高エネルギー天体の幾何構造や磁場、放射機構を探るすぐれた手段として期待されてきたが、可視光や電波にくらべ高感度な偏光計を製作するのが技術的に難しいことや、十分な光子統計が必要なことから、これまでほとんど実施されていなかった。

IXPE は 2022 年 1 月 12 日より科学観測を開始し、超新星残骸における磁場の配位や、ブラックホール近傍のコロナの形状を特定するなど、X 線偏光が宇宙を観測する有効な新手段であることを実証し続けている。2024 年 6 月頃までに IXPE Science Working Group により、63 報の発見論文が受理・出版された。これまでに取得した全データは、解析ソフトウェアとともに、NASA から一般に公開されている。2024 年 2 月からは公募提案に基づく General Observer 観測に移行し、コミュニティによる衛星活用と成果創出の体制が整えられた。現時点で衛星の健全性には問題はなく、今後も観測が継続される。本講演では IXPE による科学成果と運用の現状を報告する。

[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](#)

V315a 硬 X 線集光偏光計 XL-Calibur 気球実験の 2024 年フライトの準備状況

高橋弘充, 阪本菜月, 今澤遼, 眞武寛人, 水野恒史, 深沢泰司 (広島大), 青柳美緒, 袴田知宏, 石渡幸太, 鴨川航, 倉本春希, 島耕平, 白濱健太郎, 善本真梨那, 松本浩典, 常深 博 (大阪大), 田中虎次郎, 松本岳人, 宮本明日香 (東京都立大), 伊師大貴, 石田学, 前田良知, 斎藤芳隆, 内田和海 (宇宙科学研究所), 石橋和紀 (名古屋大), 内田悠介 (東京理科大), 宮澤拓也 (沖縄科学技術大学院大学) 今村竜太, 栗木久光 (愛媛大), 武尾舞 (埼玉大), 古澤彰浩 (藤田医科大), 郡司修一 (山形大), 榎戸輝揚 (京都大), 北口貴雄, 玉川 徹 (理化学研究所), 岡島崇, 田村啓輔, 林 多佳由 (NASA/GSFC), Henric Krawczynski (ワシントン大), Fabian Kislat (ニュー・ハンプシャー大) 他 XL-Calibur チーム

偏光観測は、撮像、測光、分光とは独立な物理量 (磁場や幾何構造など) が得られる強力な観測手段である。しかし X 線やガンマ線の高エネルギー帯域では未開拓であり、2021 年 12 月に打ち上がった IXPE 衛星による 2-8 keV の軟 X 線の偏光観測が始まったばかりである。我々は広帯域での偏光観測が重要と考え、日米間の国際協力で XL-Calibur 気球実験を推進し (PI: Henric Krawczynski)、15-80 keV の硬 X 線について望遠鏡により天体信号を集光し、高感度な偏光観測を実現する。偏光計は、Be 散乱体と CZT 半導体で、コンプトン散乱の際に光子は偏光方向と垂直に散乱されやすい (クライン-レンコ関係) ことを利用する。

XL-Calibur 気球は、2024 年 5~7 月に、スウェーデンからカナダまでの約 1 週間の長期フライトを予定している。2024 年 4 月から、打ち上げ場のスウェーデン Esrange 実験場でゴンドラへの組み上げを開始し、日本製の硬 X 線望遠鏡を含め、打ち上げ準備が完了した。5 月時点では、成層圏の西向きの風も整い、地上の気象条件が気球放球に適した日があれば、打ち上げられる状況にある。本講演では、フライト・回収状況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](#)

V316a 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 搭載電 鍍 X 線望遠鏡の応答関数構築の現状

作田皓基, 安福千貴, 藤井隆登, 吉田有佑, 吉原諒, 岡田久美子, 吉平圭徳, 叶哲生, 石田直樹, 加藤渉 (名古屋大学), 田村啓輔 (NASA/GSFC, メリーランド大学), 宮田喜久子 (名城大学), 成影典之 (国立天文台), 渡辺伸 (JAXA/ISAS), 山口豪太 (理化学研究所), 毛利柊太郎 (東京大学), 久米健大, 松澤雄介, 今村洋一, 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)

日米共同太陽観測ロケット実験 FOXSI-4 は、世界初となる太陽コロナの高解像度 X 線撮像分光観測を実施することで、コロナ加熱機構解明を目指した磁場加速などによる非熱的 X 線放射機構の理解及び、太陽コロナ中の重元素組成やその時間変化への観測的制約を目指し、2024 年 4 月に打ち上げと観測に成功した。我々は、フレア構造分解を可能とするため、独自の小口径超高精度電鍍技術を用いた X 線望遠鏡開発に着手し、12 keV において、HPD (Half Power Diameter) で ~ 16 秒角、FWHM で ~ 1 秒角の高角度分解能 X 線望遠鏡を実現させ (2024 年春季年会 三石他, 安福他等), 国産宇宙 X 線望遠鏡として初めて海外ミッション搭載という偉業を成し遂げた。

現在、設計製作・評価工程の最適化、性能の定量的な見積もり等のために構築した独自の光線追跡シミュレーター (2023 年秋季年会 作田他) を用いて、観測データ解析に向けた応答関数の構築を進めている。観測データから観測機器の影響を除去した情報を再現するために高精度の応答関数が必要であり、これまでに非光軸光の減光を較正するための exposure map 作成と有効面積のエネルギー依存の補正を行った。本講演では応答関数の構築に加え、後継ミッション (NASA に提案中) に向け更なる角度分解能向上を目指した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](#)

V317a 日米共同・太陽フレア X 線集光撮像分光観測ロケット実験 FOXSI-4 による軟 X 線光子計測の初期成果

清水里香 (総研大, ISAS/JAXA), 成影典之 (国立天文台), 坂尾太郎 (ISAS/JAXA), 佐藤慶暉 (総研大, 国立天文台), 加島颯太 (関学大, ISAS/JAXA), 長澤俊作 (SSL/UC Berkeley), 南喬博 (東大), Lindsay Glesener, Athanasios Pantazides (University of Minnesota), 高橋忠幸 (東大 Kavli IPMU), 渡辺伸 (ISAS/JAXA), 三石郁之 (名大), FOXSI-4 チーム

太陽観測ロケット実験 Focusing Optics X-ray Solar Imager の 4 回目の飛翔となる FOXSI-4 は、2024 年 4 月に打ち上げが実施され、M クラスフレアの観測に成功した。FOXSI-4 は、太陽フレアにおいて磁気再結合が引き起こす磁気エネルギーの解放とその変換機構を追求することを目的の一つとし、M1 クラスの中規模な太陽フレアに対する世界初の X 線集光撮像分光観測 (非分散型の光子計測) を行った。

我々は搭載機器のうち軟 X 線カメラの開発・運用を担当した。毎秒 250 枚の連続露光が可能な高速度カメラは、感受層 $25\ \mu\text{m}$ の裏面照射型 CMOS センサを用いており、0.5-10 keV 程度のエネルギー帯を観測できる。明るいフレアループと暗い周辺領域の構造を分離して観測するため、搭載した 2 台の一方はフレアループ、他方はループ周辺的光子計測が行えるよう運用した。打ち上げ後、観測装置はデータ記憶装置も含めて回収できており、現在取得データの較正を進めている。約 5 分間の観測で 1000 万個以上の光子イベントが検出され、高エネルギー側は 10 keV 以上の光子も計測している。これらを用いることで、太陽フレアが生み出した高エネルギープラズマの物理情報を時空間分解して定量的に評価することができる。本講演では軟 X 線用 CMOS カメラで取得した太陽フレア観測データとその較正状況を報告するとともに、初期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](#)

V318a 日米共同・太陽フレア X 線集光撮像分光観測ロケット実験 FOXSI-4 に搭載し た CMOS 検出器のノイズおよびゲインの評価

馬場 萌花 (名古屋大学), 成影典之 (国立天文台), 清水 里香, 佐藤 慶暉 (総合研究大学院大学), 加島颯太 (宇宙航空研究開発機構/関西学院大学), 須崎 理恵 (東京農工大学), 中澤 知洋, 三石 郁之 (名古屋大学)

日米共同・太陽 X 線観測ロケット実験 FOXSI (Focusing Optics X-ray Solar Imager) の 4 回目の飛翔計画である FOXSI-4 は、磁気再結合が引き起こす磁気エネルギーの解放とそれによって生じるエネルギー変換機構の解明及びその追究に必要な観測技術の実証を目的としている。FOXSI-4 は米国アラスカにて、現地時間 2024 年 4 月 17 日に打ち上げられ、太陽フレアの軟・硬 X 線集光撮像分光観測 (0.5-20 keV) に世界で初めて成功した。

本軟 X 線観測 (およそ 0.5-10 keV) には、 2048×2048 の画素数を持つ完全空乏化したシリコン厚 $25\ \mu\text{m}$ の裏面照射型 CMOS 検出器を用いている。その中でも太陽フレア領域をカバーできる 384×2048 ピクセルの領域で毎秒 250 枚 (1 枚あたり 4 ミリ秒露光) の撮像を行うことで太陽フレアが放つ X 線光子を個別に検出した。

フライト品として 2 台の CMOS 検出器が必要であったため、候補の検出器 3 台の特性を理解した上で選定する必要があった。そこで、(1) 読み出しノイズが小さいこと、(2) 暗電流のノイズが小さいこと、(3) 各ピクセル間のゲインのばらつきが小さいこと、の 3 項目を評価した。3 台の検出器の評価の結果、この 3 項目については大きな差異は見られなかった。しかし、1 台の検出器のバイアス値が、他の 2 台に比べて小さかったことから、この 1 台を除く 2 台をフライト品として選出した。本講演ではこれらの評価結果を示すと同時に、(3) のプロセスから得られたゲイン分布マップを用いた補正によるエネルギー分解能の向上の結果について報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V319a 日米共同・太陽フレア X 線集光撮像分光観測ロケット実験 FOXSI-4 による M-Class フレア硬 X 線直接撮像分光観測の実現

南 喬博 (東大理)、長澤 俊作 (SSL/UC Berkley)、渡辺 伸 (JAXA/ISAS)、高橋 忠幸 (東大 Kavli IPMU)、Lindsay Glesener、Athanasios Pantazides (UMN-CSE)、成影 典之 (国立天文台)、三石 郁之 (名古屋大理)、他 FOXSI-4 team

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 (Focusing Optics X-ray Solar Imager) は、高角度分解能、高エネルギー分解能、高感度での太陽の硬 X 線直接撮像観測を実現し、4 回目のフライトとなる FOXSI-4 は、世界初の NASA solar flare sounding rocket campaign として、軟 X 線、硬 X 線による中・大規模太陽フレアの観測を目指してきた。FOXSI-4 は、2024 年 2 月ニューメキシコ州ホワイツサンズミサイルレンジでのロケットへの組み込み、2024 年 3 月アラスカ州ボーカークフラットリサーチレンジでの打ち上げ準備を進め、2024 年 4 月 17 日 (現地時間) に M1.8 クラスのフレアの観測を実現した。硬 X 線撮像は、太陽において、磁気リコネクションやエネルギー放出に伴う太陽フレア時の粒子加速メカニズムを理解する上で重要であり、FOXSI-4 では、フレアループ中の構造の分解を可能とする。

我々は、硬 X 線焦点面検出器 wide-gap CdTe Double-sided Strip Detector (CdTe-DSD) とそのデータ取得システムである CdTe Data Encoder (CdTe-DE) の開発を行うとともに (2023 年天文学会秋季年会長澤発表、他)、打ち上げ準備に開発チームとして参加してきた。CdTe-DSD は、フライト中に毎秒 100 cnt/sec/detector 程度の光子を取得しており、現在、我々は、そのデータの較正を行うとともに、データの解析を進めている。本講演では、打ち上げ準備とその初期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](#)

V320a 超高角度分解能硬 X 線宇宙観測 SuperHERO に向けた 1mm 厚 CdTe 半導体検出器の開発

桂川美穂 (京大)、武田伸一郎、高橋忠幸 (Kavli IPMU)、古川湧基 (東京理科大)、渡辺伸 (ISAS/JAXA)、Nicholas E Thomas (NASA MSFC)

我々は、超高空間分解能の硬 X 線天体観測に向けた高位置分解能のテルル化カドミウム半導体検出器の開発を進めている。硬 X 線は 10 keV 以下の軟 X 線に比べて集光・検出が難しい。軟 X 線観測ではチャンドラ衛星の 0.5 秒角のように高い角度分解能の撮像が実施されている。一方で、硬 X 線宇宙観測では NuSTAR 衛星 (2012 年打ち上げ) に代表されるように角度分解能 1 分角程度での観測が多く、秒角オーダーでの高い角度分解能の撮像は未だ実現していない。我々は、角度分解能 10 秒角以下という非常に高い角度分解能で高エネルギー天体の観測を行う SuperHERO (Super - High Energy Replicated Optics) プロジェクトの焦点面検出器の開発担当として、テルル化カドミウム両面ストリップ検出器の開発を進めている。SuperHERO のエネルギー領域である 10-70 keV の硬 X 線への感度を向上させるため、ASTRO-H 衛星の硬 X 線イメージャ (HXI) に搭載された 0.75mm 厚のテルル化カドミウム両面ストリップ検出器 (CdTe-DSD) を改良し、1mm 厚の CdTe-DSD を開発した。1mm 厚 CdTe-DSD は 0.75mm 厚と同様に 32 mm×32 mm の検出面積に 250 μ m ピッチという高い位置分解能を持ち、その電極ピッチは SuperHERO (焦点距離 12m) の 4.3 秒角に相当する。本講演では、SuperHERO のミッションデザインや焦点面検出器である 1mm 厚 CdTe-DSD の開発状況、将来への展望を述べる。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V321b ガンマ線バースト観測超小型衛星群 CAMELOT のガンマ線応答関数の構築

横田雅人、深沢泰司、高橋弘充、水野恒史、大野雅功 (広島大学)、Norbert Werner、Jakub Ripa (Masaryk 大学)、Andras Pal、Laszlo Meszaros (Konkoly 天文台)、CAMELOT チーム

CAMELOT (CubeSats Applied for MEasuring and Localizing Transients) は、CubeSat を複数機打ち上げることで、広い観測視野、高い位置決定精度を目指すガンマ線突発天体全天観測ミッションであり、チェコ・ハンガリーの研究機関と共同で推進している。このミッションでは、重力波対応天体の同定を見据えたガンマ線バースト観測を目的とし、従来の検出器が持ち合わせていなかった、常に全天を観測しつつも数度レベルでの高い位置決定精度の両方を達成することが求められる。ガンマ線検出器は、シンチレーション光子発光量に秀でた CsI(Tl) シンチレーターと、コンパクトで低消費電力の SiPM である MPPC (Multi-Pixel Photon Counters) を搭載する。プロトタイプとして、2021 年 3 月、2022 年 1 月に衛星を打ち上げた CubeSats は 2 機とも問題なく動作している。これまでは 1 号機のガンマ線応答関数は、Geant4 ベースのモンテカルロシミュレーションを用いて作成し、観測結果の論文化に用いていた。一方、昨今ではユーザーインターフェースが簡単な MEGALib (Medium Energy Gamma-ray Astronomy Library) が国外で多く用いられている。MEGALib は、Geant4 をベースとしているが、ジオメトリとデータ取り出し設定をテキストファイルで簡単に設定できる。CAMELOT でも、今後は他ミッションとの比較、資産共有、メンテナンスの観点から MEGALIB を用いることとした。そこで、MEGALib を用いて、CAMELOT のシミュレーションを行い、応答関数を作成した。本講演では、もともとの Geant4 で作成した応答関数と MEGALib で用いた応答関数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](#)

V322b CMOS イメージセンサ IU233N5-Z によるシンチレーション光の読み出し

榎木大修, 高橋弘充, 丹羽怜太, 森下皓暁, 橋爪大樹, 深澤泰司, 須田祐介, 川端弘治 (広島大学)

X 線やガンマ線の偏光観測は高エネルギー天体の放射機構などを探る重要な手段の一つであるが難しく観測例が乏しい。CMOS イメージセンサは CCD などと比べて空間分解能が優れた検出器である。CMOS の感度は可視光から X 線であり、ガンマ線の感度はあまりない。それに対してシンチレータ検出器はガンマ線に感度はあるが空間分解能はないという特徴がある。しかし、近年数 μm と優れた空間分解能を持つシンチレータが研究されている。これらを組み合わせ X 線・ガンマ線の散乱や吸収の電子飛跡を検出することができれば、X 線・ガンマ線の偏光の検出が期待できる。本研究では CMOS 検出器として SONY 製の IU233N5-Z を用いた。IU233N5-Z はピクセルサイズが $1.12 \mu\text{m}$ 四方の最小クラスのピクセルサイズを持つ可視光用の CMOS 検出器である。IU233N5-Z の X 線に対する基礎特性については 2022 年春季年会にて報告を行った (V306a)。本公演では微細構造を持たない CsI(Tl) シンチレータに、ガンマ線源 ^{137}Cs と ^{241}Am を照射し、生じたシンチレーション光を IU233N5-Z で検出した。 ^{137}Cs の 662 keV では、線源の有無で取得した画像の輝度に変化が見られ、CMOS 検出器でシンチレーション光を検出することが確認された。さらに IU233N5-Z にレンズを取り付けることで、 ^{241}Am の α 線により生じたシンチレーション光と、 γ 線により生じたシンチレーション光をそれぞれ検出することができた。本講演ではこれらの結果について報告する。

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

V323b 気球実験用姿勢制御系の基礎開発 I

田淵優, 栗木久光 (愛媛大学), 斉藤芳隆 (宇宙航空研究開発機構宇宙科学研究所), 松本浩典 (大阪大学), 石村康生 (早稲田大学), 宮下朋之 (早稲田大学), 高橋弘充 (広島大学), 古澤彰浩 (藤田医科大学), 田中宏明 (防衛大学校)

硬 X 線帯域での高角度分解能撮像観測には、多くの科学的成果が予想されており、その観測が期待されている。我々はこの目的のために CFRP を用いた角度分解能 30 秒角以下の望遠鏡の開発を進めている。開発した機器の有効性と技術成熟度の検証を行うには、飛翔機会が多い気球実験が最適であり、将来の気球実験を検討している。天体を観測するには、望遠鏡を天体の方向に向け、その方向を安定させる高い指向性能が求められる。少なくとも望遠鏡分解能と同程度の性能が求められる。国内の気球実験では姿勢系は実験担当者が準備する必要があるが、8m 以上の焦点距離を持つ硬 X 線光学系を搭載可能な気球実験で、指向精度 1 分角以下のものは国内にはない。そこで、我々は指向性能の向上のために姿勢安定性の要素開発として姿勢制御系の基礎開発を行っている。

指向精度向上にはゴンドラの振り子運動に対応する必要があり、この揺れを軽減するために米国の WASP (Wallops Arc Second Pointer) で採用されている Azimuth と Elevation 方向の 2 軸のジンバル構造を導入する。我々は、姿勢制御技術獲得を目的に、1 軸のジンバル構造を持つテスト機の開発を行っており、HUB の製作まで終了している。本講演では、姿勢制御系のデザインとテスト機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](#)

V324a ぎんが衛星搭載全天モニター装置 (Ginga/ASM) のデータ解析ツールの開発.II

北本俊二 (立教大)

X 線放射天体の多くは、いろいろな時間スケールで強度やエネルギースペクトルを変化させる。その変化を調べることで、X 線放射天体の物理現象を知ることができる。X 線天体の観測が始まりすでに半世紀近く経過した。その間、X 線天体の強度やエネルギースペクトルをモニターする装置によるデータが蓄積されてきた。ぎんが衛星は 1987 年 2 月から 1991 年 11 月まで、搭載されている全天モニター装置 (All Sky Monitor(Ginga/ASM)) により、およそ 4 年半の間、X 線天体のモニターデータを取得した。この間のほとんどの期間で、X 線天体の全天モニター観測を行っている衛星は、世界で唯一であった。すでに既知の天体の光度曲線はデータベースとして公開されているが、データベースに無い天体の光度曲線の作成や、再解析のための解析ツールはなかった。そこで、現在、ぎんが衛星のテレメータの生データに立ち戻って、天空の座標を与えて、その座標からの X 線の活動を調べる解析ツールの開発を進めている。まだ、問題点は残っているものの、既知の天体の光度曲線を作成することができるようになった。今回、いくつかの天体の光度曲線を示し、すでに公開されているデータベースと比較する。とくに、強度が強くて安定しているカニ星雲の 4.5 年の光度曲線を作成し、光度曲線の誤差等を検討した結果を報告する。さらに、MAXI で検出された X 線新星等、現在公開中のデータベースには無い天体の光度曲線の作成結果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](#)

V325a 超小型 X 線衛星 NinjaSat 搭載ガス検出器の軌道上における応答関数の構築

青山 有未来 (理研/東理大), 玉川 徹 (理研), 榎戸 輝揚 (京都大/理研), 北口 貴雄, 加藤 陽, 三原 建弘 (理研), 岩切 渉 (千葉大), 沼澤 正樹 (都立大), 周 圓輝, 内山 慶祐, 武田 朋志, 吉田 勇登, 大田 尚享, 林 昇輝, 重城 新大, 渡部 蒼汰, 岩田 智子, 高橋 拓也, 山崎 楓 (理研/東理大), 佐藤 宏樹 (理研/芝浦工大), Chin-Ping Hu (彰化師範大/理研), 高橋 弘充 (広島大), 小高 裕和 (大阪大), 丹波 翼 (ISAS/JAXA), 谷口 純太郎 (理研/早大)

2023 年 11 月に打ち上げられた超小型 X 線衛星 NinjaSat には、2–50 keV に感度をもつ非撮像型ガス X 線検出器 (Gas Multiplier Counter; GMC) が搭載されている。GMC に入射した X 線はガスにより光電吸収され、発生した電子は電子増幅フォイル (Gas Electron Multiplier; GEM) によって増幅される。GMC では、場所によりその電子増幅度の温度変化が異なることが、地上校正試験でわかった。青山ほか (2024 年春季年会) では、10–25°C で温度補正後のエネルギースペクトルの比が高エネルギー側で最大 10% 程度、変化すると見積もられている。本研究は実際に軌道上で取得した観測データを用いて、軌道上における検出器応答関数を構築することが目的である。

NinjaSat により 2024 年 4 月 15–17 日に観測した強い鉄輝線を持つ X 線連星パルサー GX 301–2 の観測データを低温側 (3–9°C) と高温側 (9–15°C) に分け、同時期に全天 X 線監視装置 MAXI で観測した結果と比較した。その結果、どちらの温度でも鉄輝線のエネルギーは 2σ エラーの範囲で MAXI の結果に一致することが確認できた。本講演では、スペクトルが既知である X 線校正天体「かに星雲」の 1–15°C の観測データを用いた、軌道上の検出器応答関数の検証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](#)

V326a X 線突発天体監視速報衛星こよう搭載のガンマ線検出器 KGD の軌道上初期性能評価

高橋直暉, 米徳大輔 (金沢大学), 三原建弘 (理研), 有元誠, 井町智彦, 江口大智, 大滝健生, 岡本奏歩, 笠原禎也, 河本隆希, 木邑真理子, 小島寧隼, 坂田望祥, 澤野達哉, 軸屋一郎, 莊司泰弘, 中村駿介, 長谷川琢真, 堀田将史, 松田昇也, 宗像勇輔, 八木谷聡, 山口太暉 (金沢大学)

2017 年 8 月 17 日に重力波干渉計 LIGO と Virgo が連星中性子星の合体による重力波 GW 170817 を観測した。重力波の検出から約 1.7 秒遅れて、Fermi/GBM によって同一方向からのガンマ線放射 GRB 170817A が観測された。重力波と電磁波の同時観測は現在この 1 例のみであり、同時観測例を増やすことによる統計的な議論が重要である。そのため、我々は X 線突発天体監視速報衛星 KOYOH を開発した。KOYOH は、重力波と同期したガンマ線バーストを検出し、発生方向と時間を特定して地上に報告することを目的に開発され、2023 年 12 月 1 日 (UTC) に SpaceX 社の Falcon 9 で打ち上げられた。KOYOH には 2 つの検出器が搭載されており、そのうちの 1 つがガンマ線を観測し、short GRB 到来時刻を決定するガンマ線検出器 (以下「KGD」と称する) である。KGD は、CsI(Tl) シンチレータと光子計量半導体素子 MPPC を組み合わせたシンチレーション検出器である。KGD には、 $70 \times 70 \times 6 \text{ mm}^3$ の大きさのシンチレータを計 2 枚使用した。KGD は 20–300 keV の広いエネルギーバンドでガンマ線バーストのスペクトルを測定し、突発天体を自律的に検出するシステムを搭載する。KGD は起動投入後 1 週間後に最初の電源投入を行い、電気的・通信的な健全性を確認し、低緯度でのスペクトルを取得した。KOYOH は 4 月より観測を開始しており、自律的突発天体検知機能を確認した。本講演では、KGD の打ち上げ後の初期運用結果および軌道上での分光性能について報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V327a 地球磁気圏 X 線撮像計画 GEO-X (GEOspace X-ray imager) の現状 VII

沼澤正樹, 江副祐一郎 (都立大), 船瀬龍 (JAXA 宇宙研/東大), 永田晴紀 (北海道大), 三好由純 (名古屋大), 中嶋大 (関東学院大), 三石郁之 (名古屋大), 布施綾太, 川端洋輔 (東大), Ralf C. Boden, 中島晋太郎 (JAXA 宇宙研), Landon Kamps, 信原佑樹, 平井翔大 (Letara/北海道大), 石川久美 (都立大), 佐藤佑樹 (関東学院大), 萩野浩一 (東大), 松本洋介 (千葉大), 細川敬祐 (電通大), 伊師大貴, 上野宗孝, 山崎敦, 長谷川洋, 三田信, 三谷烈史, 藤本正樹, 川勝康弘, 岩田隆浩 (JAXA 宇宙研), 米山友景 (中央大), 満田和久 (国立天文台), 平賀純子 (関西学院大), 笠原慧, 小泉宏之 (東大), 佐原宏典 (都立大), 金森義明 (東北大), 森下浩平 (九州大), ほか GEO-X チーム

GEO-X (GEOspace X-ray imager) は X 線による地球磁気圏のグローバル撮像を目指す小型衛星である。近年、太陽風プラズマの多価イオンが中性大気から電子を奪う電荷交換反応によって、地球周辺で X 線を発光していることが分かってきた (Sibeck et al. 2018 Space Sci. Rev., など)。太陽風プラズマは衝撃波通過後の遷移領域やカスプと呼ばれる場所で密度を増すことが知られており、X 線はこうした磁気圏の大局構造を可視化する全く新しい手段となる (江副 天文月報 2018, Ezoe et al., 2018, 2023 JATIS)。しかし、従来の天文衛星は遠方天体を主眼とした狭視野かつ地球近傍からの観測であり、これまで X 線による磁気圏撮像は未実証である。そこで GEO-X は高推力の推進系を持つ小型衛星に広視野 X 線撮像分光装置を搭載して、地球磁気圏外にあたる月付近の軌道から俯瞰的な観測を実現する。観測装置には半導体加工技術を用いた独自の X 線望遠鏡と高速読み出しが可能な CMOS センサを採用し、地球からの可視光雑音を低減するための遮光フィルタも備える。来る太陽極大付近での打ち上げ・観測を目指して、現在急ピッチで設計開発を進めており、本講演ではこれら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](#)

V328a 超高層大気を観測する ISS 曝露部搭載 X 線カメラの開発状況

黒木瑛介, 武田彩希, 田中富貴 (宮崎大学), 信川久実子 (近畿大学), 勝田哲 (埼玉大学), 鶴剛 (京都大学), 中澤知洋 (名古屋大学), 信川正順 (奈良教育大学), 内田裕之, 松田真宗 (京都大学), 森浩二 (宮崎大学), 幸村孝由 (東京理科大), 上之町水紀 (東工大), 岸本拓海, 栗野慧, 松井怜生, 青木悠馬, 伊藤耶馬斗 (近畿大学), 山脇鷹也 (埼玉大学)

高度 100 km 付近の超高層大気は、地球温暖化による長期変動や太陽活動による短期の準周期変動 (年変動・日変動)、地震・火山等で生じた大気変動による突発変動のように様々な要因で大気密度が変化する。そのため、気候変動を予測する上で超高層大気は重要な観測対象である。大気変動を引き起こすメカニズムは複雑であり、全容解明には、継続的な観測による多くのデータが必要となる。しかし、人工衛星や気球によるその場観測が難しい高度のため、観測データが乏しく大気の性質は未だ解明されていない。近年、X 線天文衛星による、天体観測と地没が切り替わる短い時間を利用し、天体からの X 線の大气減光を用いて超高層大気の鉛直密度分布が測定可能であると実証された (Katsuda et al., JGR, 2021)。しかし、この観測手法で取得したデータは離散的で、大気変動を生じる様々な原因を完全解明するには不十分である。そこで我々は、宇宙 X 線背景放射 (CXB) の大気減光を用いた手法による超高層大気観測のため、独自に開発する X 線カメラを国際宇宙ステーション (ISS) の曝露部に搭載することで、超高層大気の継続的な観測を計画している。この X 線カメラは、超高層大気観測の専用装置として開発している。主検出器は、SOI 技術によるセンサ部・回路部一体型で、高い X 線感度と精密撮像分光を実現した「X 線 SOI-CMOS ピクセル検出器」を用いている。本計画は、太陽が極大期を迎える観測最適時期 (2025 年) での観測を目指す。本講演では、X 線カメラの概要と開発状況を報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V329a GRAMS 計画 13: 液体アルゴンコンプトンカメラ実証機の開発状況

新井翔大, 高嶋聡, 馬場彩 (東京大), 河村穂登, 石渡幸太, 小高裕和, 倉本春希, 島耕平, 白濱健太郎, 高塚紗弥菜, 巽隆太郎, 袴田知宏, 宮本愛子, 善本真梨那 (大阪大), 内海和伸, 田中雅士, 矢野裕太郎, 寄田浩平 (早稲田大), 米田浩基 (ヴュルツブルグ大), 丹波翼, 渡辺伸 (JAXA), GRAMS コラボレーション

Gamma-Ray and AntiMatter Survey (GRAMS) は、液体アルゴン Time-Projection Chamber (LArTPC) による、宇宙 MeV ガンマ線観測と低エネルギー反重陽子の検出による暗黒物質探索を行う日米合同計画である。LArTPC では、ガンマ線とアルゴン原子とのコンプトン散乱にて発生する電離電子とシンチレーション光を検出することで、入射ガンマ線の入射方向とエネルギーを測定する。LArTPC を用いることで大有効面積で高感度な MeV ガンマ線観測の実現を目指している。

我々は、LArTPC の MeV ガンマ線コンプトンカメラとしての技術実証を行うべく、大阪大学にて小型 (有感部: $5 \times 5 \times 10$ cm) の LArTPC、NanoGRAMS を構成している。NanoGRAMS では、電離電子読み出し系として低ノイズでの読み出しのために X 線観測衛星ひとみ搭載 SGD 検出器で採用された ASIC を用いている。また、シンチレーション光検出器としては小型化と検出効率上昇のために SiPM を用いている。そして、2024 年 2 月に NanoGRAMS で想定通りガンマ線信号を捉えられるか検証するために Co-60 線源などを使用した実験を実施した。その結果、ガンマ線のコンプトン散乱由来と考えられる電離電子信号を捉えることができた。本講演では、これらの実験の概要と現在の解析状況を報告するとともに、今後の NanoGRAMS の開発計画について述べる。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V330a MeV ガンマ線観測衛星 COSI 搭載 BTO 検出器の信号処理システムの開発

長澤俊作 (SSL/UC Berkeley), 高橋忠幸 (東大 IPMU), 中澤知洋 (名古屋大), Hannah Gulick, Claire Chen (SSL/UC Berkeley), 米田浩基 (JMU Würzburg), 大熊佳吾 (名古屋大), John Tomsick, Andreas Zoglauer, Juan Carlos Martinez Oliveros, Samer Al Nussirat, Derek Shah, Tommy Mician, Kaylie Ching, Cassandra Dove, Isabel Schmidtke (SSL/UC Berkeley), 他 COSI/BTO チーム

数百 keV から数 MeV のエネルギー領域は、核ガンマ線や 511 keV 輝線など重要なプローブを含む一方で、X 線や GeV/TeV ガンマ線と比べ 2 桁以上感度が低いギャップ帯域となっている。2027 年に打ち上げ予定の NASA SMEX ミッション COSI は、3D ゲルマニウム半導体検出器によるコンプトン望遠鏡を搭載しており、この現状を打破すると期待されている。一方で、COSI の性能を最大限に活かし、高感度の観測を実現するためには、軌道上でのバックグラウンド放射を常時モニターし、正確にモデル化する必要がある。そこで、独立した検出器として Background and Transient Observer (BTO) を 2 台搭載予定であり、その開発を進めている。

本講演では、BTO 検出器の信号処理、データ取得システムの開発について報告する。BTO 検出器は、NaI(Tl) 無機シンチレーターと SiPM で構成されており、30 keV から 2 MeV のバンドパスと 662 keV で 15% FWHM 程度のエネルギー分解能が要求される。また、NaI(Tl) に高エネルギーイオンが入射した際に発生する大信号とアフターパルス応答を適切に処理する必要がある。そこで我々は、SiPM からの信号の波形整形処理、トリガー生成、AD 変換、さらには大信号に対する禁止信号生成や不感時間計測を行うため、アナログボードと ADC ボードを新規に設計・開発を行った。加えて、ADC ボードの読み出しと制御を行うために、Microchip SAM V71 を使用したマイクロコントローラーボード上で動作するソフトウェアの開発を行った。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V331a MeV ガンマ線衛星 AMEGO-X に向けたピクセルセンサ AstroPix3 の基礎特性評価

仲野悟帆, 須田祐介, 深澤泰司, Abhradeep Roy(広島大学), 田島宏康, 九島信(名古屋大学), Regina Caputo, Amanda L. Steinhebel (GSFC/NASA), Manoj Jadhav (ANL), Nicolas Striebig (KIT)

全天 MeV ガンマ線観測は、ガンマ線バーストやブレーザーの放射機構など、未解決の物理の解明において重要な役割を果たすと期待されている。そこで我々は、GSFC/NASA を中心として AMEGO-X 衛星計画を進めている。AMEGO-X のガンマ線検出器はシリコントラッカーと CsI カロリメータから成り、シリコントラッカーの構成要素として、低消費電力かつ完全空乏化可能なピクセルセンサ AstroPix の開発を進めている。ピクセルサイズは版を重ねる毎に大きくしており、第3版である AstroPix3 では目標値の $500 \times 500 \text{ } \mu\text{m}^2$ に達している。ゲインの異なる2つのチップについて放射線源を用いた性能評価を行った結果、22 keV から 122 keV の光電ピークを確認した。また、エネルギー分解能について、ゲインの高いチップでは全ピクセルの 58%、ゲインの低いチップでは 12% ほどが目標値 ($< 10\%$ FWHM at 60 keV) を満たすことがわかった。AstroPix3 では、4つのチップを 2×2 状に並べて1つのセンサーとした Quad-chip も作成されており、これらはデジタイゼーションして読み出すことができる。2025 年夏にはこれを用いて宇宙空間での動作実証試験が行われる予定である。第4版である AstroPix4 も完成しており、このバージョンではピクセルごとに閾値を調整でき、AstroPix3 で見られた Time-over-threshold の大きなばらつきを補正することが期待される。本講演では、AstroPix3 チップのエネルギースペクトル、エネルギー較正、分解能、空乏層厚などの基礎特性評価結果を中心に、AstroPix 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 Recent results from the MAGIC Telescopes

S. Abe, K. Asano, J. R. Baxter, Y. Chai, D. Hadasch, H. Kubo, Y. Ohtani, T. Saito, M. Strzys, R. Takeishi, I. Vovk, P. K. H. Yeung (ICRR, U. Tokyo), K. Abe, J. Kushida, K. Nishijima (Sch. Sci., Tokai U.), Y. Fukazawa, R. Imazawa, T. Kawanishi, Y. Suda (Grad. Sch. Advanced Sci.&Eng., Hiroshima U.), Y. Kobayashi, K. Noda (Grad. Sch. Sci., Chiba U., ICRR, U. Tokyo), D. Mazin (ICRR, U. Tokyo, Max-Planck-Inst. Phys.), T. Nakamori (Fac. Sci., Yamagata U.), A. Okumura (ISEE, Nagoya U., KMI, Nagoya U.), H. Tajima, M. Takahashi (ISEE, Nagoya U.), K. Terauchi (Grad. Sch. Sci., Kyoto U.), T. Yamamoto (Fac. Sci.&Eng., Konan U.) for the MAGIC Collaboration

Since the first significant detections of gamma-ray sources in 2004 with the initial MAGIC telescope, the MAGIC collaboration has continuously worked on novel technical developments and year by year made exciting discoveries. Located at the Roque de Los Muchachos observatory on La Palma, Spain, the two 17m-diameter imaging atmospheric Cherenkov telescopes of MAGIC have significantly advanced very-high-energy astrophysics. This talk will update on recent scientific highlights from MAGIC in Galactic and extra-galactic astrophysics as well as fundamental physics, and discuss future prospects.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V333a Cherenkov Telescope Array (CTA) 計画：全体報告 (26)

吉越貴紀, 窪秀利, 齋藤隆之, 武石隆治, 手嶋政廣, 戸谷友則(東京大学), 吉田龍生(茨城大学), 井岡邦仁(京都大学), 山本常夏(甲南大学), 野田浩司(千葉大学), 田島宏康(名古屋大学), 他 CTAO Consortium

次世代大型地上ガンマ線天文台 CTA (Cherenkov Telescope Array) の建設が、世界 25 か国からの約 1500 名の研究者・技術者によって進められている。CTA の構成要素は解像型大気チェレンコフ望遠鏡 (IACT) と呼ばれ、宇宙ガンマ線由来の空気シャワーが大気中で発するチェレンコフ光を画像として捕らえる。CTA は約 100 基の IACT を備えることにより現行装置より一桁高いガンマ線観測感度を実現すると共に、大中小口径の異なる IACT を利用して観測エネルギー帯を一桁広げ (20 GeV から 300 TeV)、また、南北 2 サイトからの観測で全天をカバーする。現在よりおよそ一桁多い 1000 を超える多様な天体から TeV ガンマ線信号が検出されると予想され、研究テーマは高エネルギー天体の粒子加速機構や宇宙線起源の解明のみならず、宇宙論や基礎物理に関わるものまで多岐にわたる。日本の CTA グループは約 120 名からなり、大口径望遠鏡の主鏡および焦点面カメラの開発・製作において中心的役割を果たしてきた。その初号機が北サイトのスペイン・ラパルマに 2018 年に設置され、現在はコミッショニング中ではあるものの既に科学観測を開始している。標準星であるかに星雲を利用した性能評価に加え、活動銀河核、パルサー、銀河中心、再帰新星等からの TeV ガンマ線の検出に成功し、ガンマ線バーストやニュートリノ観測アラートのフォローアップ観測も行われている。北サイトの残る 3 基の大口径望遠鏡の建設は平行して行われ、2024 年 5 月には鏡面支持構造のマウントが始まる等、2026 年の完成に向けて急速に進んでいる。また、カメラ開発で日本が貢献している中小口径望遠鏡プロトタイプの試験観測も続けられている。本講演では、CTA 計画全体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](#)

V334a ALPACA 実験 7: ALPAQUITA 現状報告 2024

M. Anzorena (東大宇宙線研), D. Blanco (サン・アンドレス大), E. de la Fuente (グアダラハラ大), 後藤佳歩 (中部大工), 林優希 (信州大理工), 日比野欣也 (神奈川大工), 堀田直己 (宇都宮大), 今和泉銀河 (東大宇宙線研), A. Jimenez-Meza (グアダラハラ大), 片寄祐作 (横浜国大工), 加藤千尋 (信州大理), 加藤勢 (東大宇宙線研), 川島輝能 (東大宇宙線研), 川田和正 (東大宇宙線研), 小井辰巳 (中部大理工), 小島浩司 (中部大天文台), 横島拓音 (横浜国大工), 増田吉起 (信州大理), 松橋祥 (横浜国大工), 松本瑞生 (信州大理), R. Mayta (サン・アンドレス大), P. Miranda (サン・アンドレス大), 水野敦之 (東大宇宙線研), 宗像一起 (信州大理), 中村佳昭 (東大宇宙線研), C. Nina (サン・アンドレス大), 西澤正己 (国立情報学研), 野口遊翔 (横浜国大工), 荻尾彰一 (東大宇宙線研), 大西宗博 (東大宇宙線研), 奥川創介 (横浜国大工), 大嶋晃敏 (中部大工, 中部大理工), M. Raljevic (サン・アンドレス大), H. Rivera (サン・アンドレス大), 齋藤敏治 (都立産業技術高専), 塔隆志 (東大宇宙線研), 佐古崇志 (長野工科短大情エレ), J. Salinas (サン・アンドレス大), 柴崎季哉 (日本大生産工), 柴田祥一 (中部大天文台), 塩見昌司 (日本大生産工), M. Subieta (サン・アンドレス大), 杉本布達 (東大宇宙線研), 田島典夫 (理研), 鷹野和紀子 (神奈川大工), 瀧田正人 (東大宇宙線研), 多木田裕一郎 (大阪電通大工), 田中公一 (広島市大情), R. Ticona (サン・アンドレス大), I. Toledano-Juarez (グアダラハラ大), 土屋晴文 (原子力機構), 常定芳基 (大阪公大理, 大阪公大南部研), 有働慈治 (神奈川大工), 碓井玲 (横浜国大工), R. I. Winkelmann (サン・アンドレス大), 山岸元輝 (横浜国大工), 山崎勝也 (中部大理工), 横江諄衡 (東大宇宙線研) 他 The ALPACA Collaboration

南米ボリビアのチャカルタヤ山中腹 (標高 4,740 m) で超高エネルギーガンマ線の観測を行う ALPACA 実験を推進している。大面積 (3,600 m²) の水チェレンコフ型地下ミュオン観測装置と広視野連続観測の空気シャワー観測装置 (有効面積 83,000 m²) を連動することで背景となる原子核宇宙線からガンマ線を高純度・高効率で選別できる。10 TeV から 1 PeV 領域ガンマ線を高感度で観測し、南半球における超高エネルギーガンマ線天文学の開拓を目指す。本講演では ALPACA の一部である ALPAQUITA の現状について、地表空気シャワー観測装置の運転状況ならびに性能評価と、地下水チェレンコフ型ミュオン検出器の建設状況を中心に報告する。

[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](#)

V335a SOI 技術を用いた新型 X 線撮像分光器の開発 63:PDD 構造を導入した X 線天文用 SOI ピクセル検出器のサブピクセルレベルの X 線応答特性の評価

志賀文哉, 藤田紗弓, 土居俊輝, 幸村孝由, 内田悠介 (東京理科大学), 鶴剛, 内田裕之, 松田真宗, 成田拓仁, 上林暉, 上村悠介 (京都大学), 森浩二, 武田彩希, 西岡祐介, 行元雅貴, 木村明倫, 塩川朝日, 三谷美輝, 角谷昂亮, 鎌田信彦, 黒木瑛介, 齊藤悠人, 佐々木悠任, 淵田悠太, 吉田大雅 (宮崎大学), 信川久実子, 岸本拓海, 栗野慧 (近畿大学), 萩野浩一, 松橋裕洋 (東京大学), 鈴木寛大 (JAXA), 田中孝明 (甲南大学), 上ノ町水紀 (東京工業大学), 新井康夫 (KEK), 倉知郁生 (D&S)

我々は、次世代の X 線天文衛星への搭載を目指し、X 線 SOI ピクセル検出器「XRPIX」の開発を進めている。XRPIX は、SOI 技術により Si のセンサー層、SiO₂ の絶縁層、CMOS 回路層を一体化した検出器である。最新の PDD 構造を持つ XRPIX8.5(XR8.5) は、従来型の XRPIX と比べて、暗電流の抑制、ピクセル内での検出効率のばらつきの減少や、信号電荷の損失率が大きく改善し、エネルギー分解能の向上が確認されている。これまでの研究により、電極側から X 線が入射する表面照射型と電極のない面から X 線が入射する裏面照射型では、表面照射型の方が分光性能が良いことが確認された。その原因は、X 線で生じた電荷が検出器内で失われていると考えられる。この詳細を調査するために、直径 4 μm のピンホールを用いてビーム径を絞った単色の X 線を 1 ピクセルよりも小さい領域に照射し、その照射位置をピクセルサイズの 1/9 である 4 μm ビッチで変えながら表面、裏面照射で測定を行った。その結果、ピクセルの中心よりピクセルの境界に照射したときの方が電極で回収できた電荷量が少なく、X 線イベントのスペクトルで X 線のピークは低波高値側にずれることがわかった。本講演では、最新の PDD 構造を導入した XR8.5 の 1 ピクセル内の応答の詳細を報告する。

[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](#)

V336a SOI 技術を用いた新型 X 線撮像分光器の開発 64:周辺回路を内蔵した新型 XRPIX の開発と性能評価

松橋裕洋, 馬場彩, 萩野浩一 (東京大学), 武田彩希, 行元雅貴, 森浩二 (宮崎大学), 鶴剛, 松田真宗, 成田拓仁, 上林暉, 上村悠介 (京都大学), 田中孝明 (甲南大学), 鈴木寛大 (ISAS/JAXA), 倉知郁生 (D & S), 幸村孝由, 内田悠介 (東京理科大学), 新井康夫, 高柳武浩 (KEK)

次世代 X 線撮像分光衛星に搭載する予定の X 線 SOI-CMOS 検出器「XRPIX」は SOI 技術を用いて SiO₂ となる絶縁層を挟みセンサー層と CMOS 回路層を一体化した検出器である。XRPIX の時間分解能はトリガー機能を実装することで 10 μsec 以下となり時間変化する天体の観測に優れている。数百 μm の厚い空乏層を持つため、10 keV 以上の X 線に対しても高い検出効率を持つ。衛星に搭載するにあたり、XRPIX は衛星の限られたスペースで広い撮像面積を実現するために、周辺回路を検出器上 (on-chip) に搭載することが不可欠である。我々は、面積が 20 μm × 2 mm とコンパクトでありながら、約 6 μs と高速で AD 変換することが可能なサイクリック ADC を搭載した XRPIX9 を開発し、ADC が想定通りの性能を発揮することを確認した (松橋他 日本天文学会 2023 年秋季年会 V344a)。

今回は、on-chip ADC から取得した X 線スペクトル性能の詳細な評価を行なった。on-chip ADC によりノイズが約 44 eV 程度増加するが、X 線ピクセル信号出力を増幅することで低減に成功した。さらに、センサの動作に必要なトリガー閾値電圧やリセット電圧などを供給する DAC(デジタル-アナログ変換器) とそこに定電流を供給する回路も内蔵し、外部周辺回路を削減した新型 XRPIX12 を開発した。現在は、XRPIX12 の動作試験に向けたインターフェイス基板の設計と製作を進めている。本講演では、これらの評価結果を報告する。

[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](#)

V337a X線高速撮像分光に向けた CCD-CMOS ハイブリッドセンサの開発

高木 直矢, 中嶋 大, 佐藤 佑樹(関東学院大学), 平賀 純子(関西学院大学), 萩野 浩一(東京大学)

現在 XRISM、Chandra、XMM などの大型 X 線天文台では軟 X 線 (< 10 keV) 帯域の撮像検出器として CCD センサが用いられている。撮像と分光を同時に行うことが出来る一方で、典型的には 1~数 Mpixels の撮像領域に対して読み出しノードが数個であり、撮像領域全体を読み出すために数秒を要する。そのため明るい天体を観測する場合、一度の露光中に光子がパイルアップし分光性能を損なう。一般には時間分解能を向上させるために、撮像領域の一部のみを読み出したり (Window モード)、間欠的な露光をしたり (Burst モード)、さらには 1 次元方向にイメージを圧縮する (Parallel-sum モード) などの対応をしているのが現状である。今後、X 線望遠鏡の有効面積や結像性能が向上するに伴って高速読み出し可能なセンサが求められるが、CMOS センサでは 5 keV 以上の感度が制限され、PNCCD ではウエハ厚のカスタムが難しい、などの難点がある。

そこで我々は、CCD 撮像領域の 1 列毎に読み出し口を設けて高速に転送し、CMOS の読み出し回路で AD 変換を行うという、コラム読み出し構造を持ったハイブリッドセンサを開発して X 線撮像分光性能を評価している。試作素子では CCD 部と CMOS 部を配線基板を介して接続した形になっているが、将来的には両者を積載してモノリシックセンサと同様のパツパツ構造にすることを検討している。我々は今回室温の試作素子を動作させた。読み出し雑音は $11.7 \text{ e}^-_{\text{rms}}$ で、暗電流は $3.7 \times 10^3 \text{ e}^-/\text{pix}/\text{sec}@20^\circ\text{C}$ であった。ガラス越しに ^{109}Cd からの単色 X 線を照射し、露光時間 0.2 sec/frame で動作させた結果、単一ピクセルイベントについて 22 keV におけるエネルギー分解能が 1.43 keV(半値全幅) と、X 線分光に成功した。本講演では、試作素子の基本性能とその温度依存性、速度依存性などについて報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V338a 国産高角度分解能汎用電鍍 X 線光学系開発の展望

三石郁之, 作田 皓基, 安福 千貴, 藤井 隆登, 吉田 有佑, 吉原 諒, 田中 良磨, 吉平 圭徳, 叶 哲生, 石田直樹 (名古屋大学), 井上 良隆 (IMV 株式会社), 田村 啓輔 (NASA/GSFC, メリーランド大学), 宮田喜久子 (名城大学), 山口 豪太 (理化学研究所), 伊藤 駿佑, 毛利 柊太郎 (東京大学), 久米 健大, 松澤雄介, 今村 洋一, 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)

我々は地上 X 線結像系開発で培われた独自の小口径超高精度電鍍技術を応用した宇宙 X 線望遠鏡開発を進めてきた。特にこの数年は非常に光子統計に富む太陽観測ロケットミッションを中心に据えることで、1 枚鏡という最もシンプルなシステムにおいて、ニッケル反射鏡やステンレス製反射鏡支持機構開発に必要な要素技術の確立、および高性能化に向けた条件出しを実施してきた。同時に、独自の拡散 X 線評価システムを大型放射光施設の全面協力の下構築し、産学官連携、分野横断型開発プロジェクトとして開発体制の構築も進めてきた。結果、反射鏡厚みは 2 mm 程度と厚いものの、口径 60 mm、高さ 220 mm、焦点距離 2,000 mm という設計パラメータに対し、HPD 15-20 秒程度、FWHM 1 秒角程度の高い結像性能を有する望遠鏡の実現に成功し、また複数枚に対しての再現性も確認している (2024 年春季年会 三石他、安福他、藤井他、吉田他等)。

現在我々は、さらなる角度分解能の向上を目指し母型母線方向の形状誤差改善に向けた条件だしを進めると同時に、独自の光線追跡シミュレータ機能の拡張、有効面積増加に向けた複数反射鏡の高精度配置機構のデザイン検討と検証、短焦点光学系のデザイン検討および評価システムの構築に着手している。これらの基礎開発で得られる共通基盤技術は、将来の太陽・地球さらには深宇宙観測やプラズマ実験室での高解像度撮像実験への展開へとつながる。本講演では、設計パラメータの柔軟さ (=汎用性) を活かした本開発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](#)

V339a 国産高角度分解能汎用電鍍 X 線光学系開発の現状

吉田有佑, 作田皓基, 安福千貴, 藤井隆登, 吉原諒, 田中良磨, 吉平圭徳, 叶哲生, 石田直樹 (名古屋大学), 井上良隆 (IMV 株式会社), 田村啓輔 (NASA/GSFC, メリーランド大学), 宮田喜久子 (名城大学), 山口豪太 (SPring-8), 伊藤駿佑, 毛利柊太郎 (東京大学), 久米健大, 松澤雄介, 今村洋一, 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)

我々は世界で初めて太陽フレアの X 線撮像分光観測を実施した日米共同太陽観測ロケット実験 FOXSI-4 搭載用国産高角度分解能電鍍 X 線望遠鏡の開発を行ってきた (2024 年春季年会 安福他、藤井他、吉田他)。本ミッションを通し、広がった天体に対する感度の指標である HPD は欧米の大型 X 線天文衛星の搭載品に匹敵する ~16 秒角、点源の分解能力の指標である FWHM は世界最高レベルの ~1 秒角を達成した。そこで我々は、ここで得られた共通基盤技術を他ミッションに応用すべく、検討に着手した (2024 年春季年会 三石他)。

現在、我々は以下に掲げる 3 つの取り組みを進めている。1 つ目は地球オーロラ観測を目指した観測ロケット実験への参加である。本望遠鏡を用いて高感度 "X 線オーロラ" 観測を実現し、大気流出・地球大気変動過程の理解を目指す。X 線で暗いことが予想されるため反射鏡を積層する必要があり、複数の反射鏡を高精度に配置するシステムを構築中である。2 つ目は太陽観測等を目指した超小型衛星に向けた検討および基礎開発の着手である。短焦点距離化に伴う新たな X 線評価システムを検討している。3 つ目は地上プラズマ実験への実装である。特に理論計算が難しい非平衡プラズマ中の電子・イオン密度分布や重元素量の時間発展の観測的制約により X 線天文学へのフィードバックを目指す。現在はシミュレーションによる試験セットアップの構築や評価方法の検討を進め、今年度ファーストライトの取得を予定している。本発表ではこれら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](#)

V340a 高角度分解能汎用 X 線光学系に向けた光線追跡シミュレータを用いた設計パラメータの検討

藤井隆登, 作田皓基, 安福千貴, 吉田有佑, 吉原諒, 吉平圭徳, 叶哲生, 石田直樹, 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を応用 (Yamaguchi et al., RSI, 2024) し、国産高角度分解能 X 線望遠鏡開発に取り組んできた。角度分解能については、12 keV にて広がった天体に対する感度指標である HPD は $\sim 17''$ 、点源感度を示す FWHM は世界最高レベルの $\sim 1''$ にまで達した (Fujii et al., XOPT2023 & 2023 年春季年会 藤井他)。本望遠鏡は 2024 年 4 月に打ち上げられた日米共同太陽フレア観測ロケット実験 FOXS-4 に搭載され、フレアの撮像に成功した (Fujii et al., XOPT2024)。また、本技術は柔軟な設計パラメータの設定が可能のため、例えば数 10 mm 程度の小口径かつ $\ll 1$ m となる短焦点システムのような省スペース設計が可能であり、近年注目を集める超小型衛星や観測ロケット等への搭載が期待されている。

現在我々は製作・評価工程の最適化や様々な設計パラメータにおける望遠鏡性能の見積もりを定量的に実施するため、独自の光線追跡シミュレータを開発している。この検討には、小・中型の X 線天文衛星のみならず、6U サイズの超小型衛星や地上プラズマ実験室での応用までを含んでいる。例えば現在進行中の地上プラズマ実験プロジェクトでは、天体観測とは異なり光源までの距離が 10 m 程度に制限されることにより平行光の近似が成り立たず、光学系システムの検討も含めた設計パラメータの最適化を行わなければならない。実際に 3.5 m 先の光源を撮像する実証実験の結果は正規反射光以外の迷光が支配的になり、迷光抑制機構が必要になるというシミュレーション結果と一致した。今後はネスト化に向けた各反射鏡のアライメント、およびその配置誤差による角度分解能・有効面積への影響を検討予定である。

[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](#)

V341a グラフェン超薄膜を用いた高機能汎用型光学素子の開発 (3)

多胡諒弥, 三石郁之, 柏倉一斗, 丹羽由実, 小川ともよ, 廣田翠, 田原諒, 樋口公孝 (名古屋大学), 大町遼 (和歌山県立医科大学), 北浦良 (物質・材料研究機構), 河原憲治 (九州大学), 野本憲太郎, 清水貞行, 鶴岡和之 (ウシオ電機株式会社 新技術開発部), 田川雅人 (神戸大学), 田中清尚 (分子科学研究所 UVSOR)

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、可視光防護目的等のために利用されている。本素子には各飛翔体で要求される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 線透過特性が求められる。しかし、従来のポリイミドフィルムでは両立が難しく、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) にも関わらず機械強度に非常に優れたグラフェンに着目し、軟 X 線帯域において、超高透過率を実現しうる超薄膜光学素子の開発に着手した。これまで我々は、転写や緻密なアルミ成膜工程の検討、音響・高速原子状酸素・極低温などの宇宙環境耐性評価試験、軟 X 線透過率測定実験を実施してきた (三石他 日本天文学会 2022 年春季年会, 多胡他 2023 年秋季年会 他)。

現在我々は、100 - 500 eV 帯域における単層、および五層グラフェンの X 線透過率測定を実施し、ともに吸収端を除いて $> 94\%$ を達成していることを確認した (2023 年度 名大 柏倉修論)。また、初の自立グラフェン膜に対する高速原子状酸素照射試験にも着手しており、単層、および二層グラフェンに $3 \times 10^{15} \sim 10^{16}$ atoms/cm² を照射し、単層では約 9 割、二層では全てのサンプルが破壊されず残っていた。さらに、透過型電子顕微鏡 (TEM) の試料支持材として我々のグラフェンを応用する取り組みも行っており、Pt 粒子の TEM 観察において既存の試料支持材 (10 - 20nm 程度) よりも高いコントラストが確認できた。以上の詳細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](#)

V342a NiP 超精密加工を用いた CFRP 製 X 線望遠鏡の開発

村上海都, 松本浩典, 青柳美緒, 倉本春希 (大阪大), 森田晋也, 土屋魁琉 (東京電機大), 山形豊, 細昌拓也, 竹田真宏 (理研), 栗木久光 (愛媛大)

巨大ブラックホールの形成過程を解明する上で、軽量かつ高角度分解能・大有効面積の X 線望遠鏡は必要である。現在の X 線望遠鏡は開口面積を増やすために、多ければ約 200 層にもなる多数の反射鏡を同心円状に並べた多重薄板型が主流である。そのため、反射鏡基板として重量の軽い Al を用いることが一般的である。一方で、Al は強度が弱い形状が歪んでしまい、角度分解能が悪くなるという特徴がある。そこで、CFRP (炭素繊維強化プラスチック) を反射鏡基板に適用することを考えた。CFRP は Al よりも軽く、高い強度を兼ね備えており、かつ任意の形状に成形することが可能である。一方で、CFRP の表面は炭素繊維により粗く (プリントスルー)、そのまま金属膜を成膜しても粗さが残ってしまい、X 線望遠鏡としては使えない。そこで、CFRP の表面に NiP の層を作り、NiP の表面に超精密加工・精密研磨を行うことで、精度の良い表面粗さを持った X 線望遠鏡を作ること考えた。サンプルは平板と Wolter-I 型それぞれを製作することに成功した。そして、製作したサンプルの反射率等の性能を宇宙科学研究所の 27m ビームラインで測定した。その結果、1 keV 程度の X 線であれば十分に X 線を反射することが確認でき、Wolter-I 型のサンプルでは、角度分解能は約 9~10 分角ではあるが、X 線を集光していることが確認できた。本講演では、上記の製作のプロセスと宇宙科学研究所の 27 m ビームラインで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](#)

W01a Smart Kanata による新星 V4370 Oph 極大前の自動分光観測

植村誠, 中岡竜也, 佐崎凌佑 (広島大学), 田口健太 (京都大学)

新星は激変星の一種で、白色矮星表面に降着、蓄積した水素ガスが核融合を始めて起こる爆発現象である。最近、新星の発見直後の分光観測によって、NV や CIV といった高励起の輝線や、輝線輪郭の短時間変動が観測され、新星風形成の初期段階を理解するための重要な手掛かりとして注目されている。しかし、発見直後の新星候補は矮新星など他の天体の可能性もあるため、適切な型判定や追跡観測に関する意思決定が必要となる。広島大学かなた望遠鏡で開発中の Smart Kanata システムは情報理論の枠組みでそれらの自動化を実現し、2023 年 12 月より運用を開始した。

2024 年 3 月 10 日、小嶋正氏がへびつかい座に 11.5 等の新天体を発見、TOCP に通報した。Smart Kanata はこの報告を検出、新星と判断し、発見から 1.49 時間後には自動分光観測を開始した。観測されたスペクトルは P Cygni プロファイルをもつ幅 $1000\text{--}2500\text{ km s}^{-1}$ の水素や HeI 輝線を示した。この観測によって新天体は新星であることが確認され、V4370 Oph と命名された。極大後、この新星は $t_2 \sim 1.6\text{ d}$ で、非常に速く減光した。我々の観測は極大の約 11 時間前の貴重なスペクトルとなった。スペクトルには AlIII 輝線が見られた一方で、高励起の輝線は検出されなかった。我々は連続する 6 つのスペクトルを取得し、輝線輪郭の短時間変動を調べた。その結果、 $H\alpha$ の輝線成分は変化せず、吸収線成分だけが時間と共に有意に深くなる変動現象を検出した。これらの観測的特徴はいずれも光球面温度が急速に低下することで説明できる。また、5 日後に得られたスペクトルでは輝線輪郭が山型から箱型に変化し、速度幅は $5800\text{--}7600\text{ km s}^{-1}$ に増加した。これは新星風の高速成分が遅れて成長したことを示唆する。この現象は同じく速い新星である U Sco でも観測されている。

[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](#)

W02a 多色撮像観測による IW And 型矮新星 KIC 9406652 の研究

笠井理香子, 植村誠, 佐崎凌佑 (広島大学)

矮新星は白色矮星とロッシュローブを満たす晩期型主系列星から成る近接連星系であり、白色矮星の周囲に形成される降着円盤の変化によってアウトバーストと呼ばれる増光現象が繰り返される。矮新星のクラスの一つである Z Cam 型矮新星では静穏時とアウトバースト時の中間程度で光度がしばらくの間一定になるスタンドスティルと呼ばれる現象が起こる。その中でも IW And 型矮新星はスタンドスティル中に光度が周期的に変動した後、再増光するなどの特徴がみられる。この特徴は従来の理論モデルでは説明が難しく、現在は伴星からの質量輸送率が変化するモデルと降着円盤が軌道面に対して傾いているモデルなどが提唱されているが、詳しいメカニズムはまだ解明されていない。

本研究では 2023 年 10 月から広島大学かなた望遠鏡を用いた IW And 型矮新星の可視光・近赤外線領域での多色撮像観測を行った。観測の結果、IW And 型矮新星 KIC 9406652 で IW And 型特有の中間状態での光度変動が観測された他、スタンドスティル終了時の再増光と静穏時までの減光、通常のスタンドスティル、ノーマルアウトバーストといった IW And 型矮新星で見られる基本的な現象を観測することができた。また色指数と等級の時間変化の比較から、スタンドスティル中に通常の標準降着円盤モデルでの色変化とは異なる、明るくなる一方で色が赤くなる現象が初めて観測された。これは期間中に降着円盤の半径が増加していることを示唆しており、先行研究で確認されていたスタンドスティル中の円盤半径の増加を多色撮像の観点から支持する結果となった。一方で現在提唱されているモデルは円盤半径の増加を説明しておらず、異なるモデルの必要性も示唆された。

[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](#)

W03a 連星質量輸送に伴う輻射圧駆動アウトフローの生成

豊内大輔 (大阪大学), 仏坂健太 (東京大学), 稲吉恒平 (北京大学), Rolf Kuiper (University of Duisburg-Essen)

現在、系外銀河で数多くの超高輝度 X 線連星 (Ultra-luminous X-ray binary; ULX) が観測されており、その正体はロッシュローブ・オーバーフローによって質量を急速に輸送する大質量星と、中性子星や恒星質量ブラックホール (BH) などのコンパクト天体からなる連星系だと考えられる。ULX の典型的な X 線光度は恒星質量 BH の臨界光度を大きく上回るため、その物理状態は降着に伴い生成する輻射の影響を強く受けると予想される。本研究では、超臨界質量輸送の 3 次元輻射流体シミュレーションを行い、その詳細な流体構造を調べた。このシミュレーションでは、連星系特有の非軸対称重力ポテンシャルの下でガスの運動を解きつつ、粘性加熱によって生成される熱的放射の伝搬およびそれに伴う輻射圧を自己矛盾なく計算している。

結果として、恒星質量 BH への超臨界質量輸送では、大規模な輻射圧駆動アウトフローによって BH に降着するガス量は輸送された総量の 1% 未満に制限されることがわかった。このとき、アウトフローは降着円盤内の対流運動によるエネルギー輸送によって成長し、最終的に連星重力圏を脱出するに十分なエネルギーを獲得していることもわかった。さらに、アウトフローの 3 次元非等方性や角運動量分布が伴星重力や連星系のコリオリ力の影響を強く受けることも明らかになった。本講演では、これらの計算結果を紹介し、それに基づいて ULX の物理状態や質量輸送後の連星の終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](#)

W04a スリム円盤からの相対論的ジェット放出

井上 一 (JAXA 宇宙科学研究所)

スリム円盤では放射圧が優勢なので、赤道面から垂直方向 (z 方向とする) に、その圧力勾配に比例した放射流が生じる。その z 方向への放射流束の増減を調べると、赤道面付近では z とともに増加していった放射流束は、ある境界の高さ (中心からの距離に比例している) 以上では減少に転じることがわかる。これは、スリム円盤では、赤道付近の層 (底辺層) から流れ出た放射エネルギーがその境界以上の層 (上方層) で吸収され、底辺層から上方層へのエネルギー輸送が起こることを意味する。このエネルギー輸送により、上方層を流れる物質には、降下とともにエネルギーがどんどん蓄積されていくことになる。その量を計算すると、上方層降着物質の単位質量当たりの全エネルギーは正の値を持ち、上方層の相対的な降着率が小さい時には、その量は c^2 (c は光速) ほどの量になることがわかる。このようなエネルギーは、降着円盤の内縁付近の重力エネルギーをも超えるものなので、降着物質は z 方向に大きく膨らみ、最後はブラックホール半径を大きく越えた z 軸上で、ほかの方向から流れてきた降着物質と互いに衝突して流れの方向を変え、 z 軸にそった相対論的なジェット流となることが期待される。詳しくは、Inoue (2024, ApJ, 967:3) を参照ください。

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

W05a X 線分光撮像衛星 XRISM の Xtend による CXOU J174610.8-290019 の観測

吉本愛使, 山内茂雄 (奈良女子大学), 信川正順 (奈良教育大学), 内山秀樹 (静岡大学), 信川久実子 (近畿大学), 坪井陽子 (中央大学), 前田良知, 石田学 (ISAS/JAXA), 松本浩典, 善本真梨那 (大阪大学), 村上弘志 (東北学院大学), 鶴剛 (京都大学), 江口智士 (熊本学園大学), 渡辺伸, 鈴木寛大, 金丸善朗 (ISAS/JAXA), 中嶋大 (関東学院大学), 勝田哲 (埼玉大学), 澤田真理 (立教大学), 青木悠馬, 正嶋大和 (近畿大学), 内田裕之, 成田拓仁 (京都大学), 田中虎次郎 (東京都立大学), 倉本春希, 島耕平 (大阪大学), Richard Kelley (NASA/GSFC), Q. Daniel Wang (University of Massachusetts), Lia Corrales, Mayura Balakrishnan (University of Michigan), 他 XRISM 銀河中心チーム

銀河系中心領域に位置する CXOU J174610.8-290019 は、Chandra 衛星や XMM-Newton 衛星で観測された X 線源である。特に XMM-Newton 衛星 EPIC-pn の観測から、この天体は約 100 秒間のアウトバーストを持つ天体であることが示されている (Pastor-Marazuela et al. 2020, A&A, 640, A124)。しかし、詳細な観測は進んでおらず素性は調べられていない。

2023 年に打ち上げられた X 線分光撮像衛星 XRISM は、2024 年の 2 月末から 3 月頭にかけて銀河系中心領域を 2 度観測し、X 線 CCD カメラ Xtend の視野内で CXOU J174610.8-290019 の増光した様子を捉えた。その光度曲線から、この天体は非常に変動が大きいことが確認できた。また、スペクトル解析から Fe-XXVI と Fe-XXV の輝線強度比が、連続放射の形状から予想されるものとは一致しないことがわかった。これは、非常に高い電離状態を持つことを意味している。本講演では CXOU J174610.8-290019 のタイミング解析とスペクトル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](#)

W06a XRISM 衛星が捉えた超新星残骸 3C 397 近傍の点源 CXO J190741.2+070650 の再増光

大城 勇憲 (東京大学, ISAS/JAXA), 中嶋 大 (関東学院大学), 石田 学 (ISAS/JAXA), 山口 弘悦 (ISAS/JAXA), on behalf of the XRISM 3C 397 team

CXO J190741.2+070650 は銀河面上の超新星残骸 3C 397 の南東に位置する X 線天体で、2005 年の Chandra 衛星の観測で偶然検出された。その X 線スペクトルは強く吸収された連続成分と 6.4 keV 付近に鉄輝線成分を持ち、CXO J190741.2+070650 の起源が活動銀河核であることを示唆する (Safi-Harb et al. 2005)。加えて、2018 年の XMM-Newton 衛星の観測では CXO J190741.2+070650 由来の X 線は検出されておらず、光度変動があることを示している。

本講演では、2024 年 3 月末に行われた XRISM 衛星による合計 ~ 460 ks の長時間観測の結果について報告する。Xtend 検出器による撮像観測からは CXO J190741.2+070650 由来の点源が確認され、CXO J190741.2+070650 が再増光していることがわかった。Resolve 検出器による分光観測からは中性鉄 (6.4 keV)、24 階電離鉄 (6.6 keV)、25 階電離鉄 (6.9 keV) の輝線が初めて分光された。特に中性鉄輝線のプロファイルには幅が太い ($\sigma_E \sim 100$ eV) 成分と幅が細い ($\sigma_E \sim 10$ eV) 成分の 2 つが存在し、幅が細い成分の中心エネルギーは 6397 ± 2 eV であった。中性鉄輝線がほぼ赤方偏移しておらず、高階電離鉄の輝線と同時に観測されたことは、CXO J190741.2+070650 の起源が活動銀河核ではなく激変星であることを示唆する。さらに我々は位置天文衛星 Gaia のデータを探索したところ、CXO J190741.2+070650 の半径 5 秒角内に 3 つの対応天体候補を見出した。本講演では、これらの対応天体候補との関連を議論しつつ、CXO J190741.2+070650 の正体に迫る。

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

W07a MAXI/GSC が検出した 2024 年度前半の突発現象

根来 均, 中島基樹 (日大), 岩切 渉 (千葉大), 三原建弘, 河合誠之 (理研), 芹野素子, 杉田聡司 (青学), 松岡 勝 (理研) 他 MAXI チーム

全天X線監視装置 MAXI が前回の春季年会から本年会までに発見検出した突発天体を報告する。6 月 11 日現在までに新たなX線新星の発見はない。

近年、MAXI 以外にも Swift/BAT とロシアの ART-XC に加え、2024 年 1 月に打ち上げられた中国の Einstein Probe により広視野での X 線領域での突発天体探査が盛んに行われるようになった。MAXI は、それらが検出する数 mCrab 以下の微弱な増光は捉えられないが、約 1.5 時間毎に全天の約 8 割をカバーし、数分から数時間内に速報する体制を維持し、それらの点で依然優位性を保っている。

MAXI は、2024 年 3 月 28 日に Be/X 線連星パルサー 4U 0115+64 のノーマルアウトバーストを検出し、Astronomer's Telegram (ATel) に報告した (Nakajima+ ATel #16573)。4 月 24 日には、超コンパクト X 線連星 4U 1850-087 からの X 線バーストを捉え、ISS 軌上での NICER との自動連携観測 (OHMAN) が行われた (Iwakiri+ ATel #16600)。また、4 月 25 日には SMC 領域での増光を捉え、ATel に報告したが (Negoro+ ATel #16598)、その後の Swift/XRT の追観測では対応天体は見つからなかった。5 月 14 日には、GRB のアフターグローらしい突発現象を検出した (Negoro+ General Coordinate Network (GCN), 36485)。Swift/XRT の追観測は太陽角制限により行われなかったが、その後、近傍の恒星 BD-21 1074 からのフレアである可能性もあることがわかり、5 月 17 日に報告した (Mihara+ ATel #16622, GCN 36501)。これら以外に、GCN には重力波イベント S240422ed (Kawai GCN 36238) と S240513cx (Negoro+ GCN 36454) の上限値も報告した。

[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](#)

W08a MAXI が観測した GRB を用いた光度関数の推定

平松裕貴, 吉田篤正, 杉田聡司, 芹野素子 (青学大), MAXI チーム

Gamma-Ray Burst (GRB) での光度関数を理解することで、GRB の分布や物理モデルに関する情報が得られる。今日までに様々な検出器による推定が行われているが結果にはばらつきがあり、議論が続いている。そこで我々は MAXI のデータを用いて光度関数の推定を行った。MAXI は 2-20 keV に感度を持っており、他の GRB 検出器よりも軟 X 線領域を観測することができる。2022 年秋季年会で発表 (W53a) したように MAXI は他検出器よりも低光度 GRB を多く観測している可能性があるため、低光度なイベントに対する推定が可能である。光度関数の推定は通常、 z が測定されているイベントを用いるが、MAXI は z が測定されているイベントは少ないため典型的な GRB の発生レート R_{GRB} を仮定する必要がある。GRB の光度関数は多くの場合、broken power law で示されるため本研究でもそれを採用した。MAXI での光度関数を推定するために、まず Wanderman and Piran (2010) で推定されたベキ、 $\alpha = -0.2$ (低光度側)、 $\beta = -1.4$ (高光度側) を仮定し、そして Monte Carlo シミュレーションを用いて光度のサンプルを作成した。さらに仮定した R_{GRB} を用いて z に対するバーストの個数の分布を作成し、得られた光度と z を用いて観測者系でのフラックスを計算、その分布を作成し観測結果と比較した。その結果、光度関数のベキが折れ曲がる位置を表すパラメータ $L_{\text{break}} = 10^{49.5} \text{ erg s}^{-1}$ の場合に作成した分布と観測結果の分布が一致した。他検出器での光度関数のベキにはかなりばらつきがあり、かつ L_{break} も $10^{50} - 10^{52}$ と幅があるが、MAXI での L_{break} は他検出器と比較すると低い値を示しており、MAXI が観測している GRB の分布は低光度なイベントが多いことが分かる。エネルギーバンドの影響で他検出器で議論することが難しかった低光度のサンプルでの光度関数の推定をすることができた。

[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](#)

W09a AI による超新星内ニュートリノの Eddington tensor の予測

高橋正大 (東京大学), 原田了 (茨城高専), 山田章一 (早稲田大学)

超新星爆発とは、大質量星が最期に起こす劇的な天体現象である。その爆発機構は未だ完全に解決されていないが、ニュートリノ加熱メカニズムが有力な仮説として考えられており、数値計算を用いた解析が世界各地で行われている。ボルツマン方程式を厳密に解く手法とモーメント法を用いた近似解法が存在するが、両手法は厳密性と計算コストのトレードオフとなっている。モーメント法では、高次の方程式を閉じるために高次モーメント (Eddington tensor) を近似的に表す closure relation を要するが、現在最も使われる解析的な M1 closure はボルツマン方程式を解いた結果を再現できず厳密性に乏しい。特に、Neutrino sphere 付近と対流の影響が激しい領域で値が大きく異なる。

我々は現在機械学習を用いた closure relation の構築を行っている。M1 closure では、超新星中の様々な物理量 (流体速度、光学的厚さ等) を限定的にしか取り入れることができないが、機械学習を用いた手法では様々な情報を Eddington tensor の予測に用いることができる。結果として、M1 closure と比べて Eddington tensor の予測誤差を 100 分の 1 程度にすることができた。本講演では、このモデルについて詳細に説明し、今後実際の数値計算に適用する際の課題などを議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

W10b 全天X線監視装置 MAXI のアーカイブデータを用いた突発天体の系統的調査と光度曲線解析システムの改良

工藤優乃, 根来均 (日本大学), 森井幹雄 (JAXA/DATUM STUDIO)

MAXI はこれまでに突発天体発見システム (Negoro et al. 2016, PASJ, 68, S1) により 34 の X 線新星を発見してきた。しかし、銀河中心付近などの天体が密集している領域や明るい天体周辺では、天体同士が重なってしまい、それぞれの区別が付かず、十分な調査が行われていない。そこで我々は、MAXI/GSC (Gas Slit Camera) のデータを用いて銀河中心付近で等間隔の座標点ごとに光度曲線を作成し、未検出の X 線新星や既知天体の X 線強度の増光を検出する、無バイアスサーベイを試みている。

ここでは、MAXI のデータ解析手法の中では最も精度良く光度曲線を作成することができるイメージフィット解析手法 (Morii et al. 2016, PASJ, 68, S11) を用いている。現在、銀河座標系 $|l| < 20.0 \text{ deg}$, $|b| < 10.0 \text{ deg}$ の範囲において約 0.2 度間隔の 15 年に渡る約 40000 個の光度曲線を作成している。また、今回、調査点の光度曲線だけでなく、同時フィットされる周辺の既知天体の光度曲線も表示比較できるようにして周辺天体の影響も調査した。その結果、既知天体の強度が 1 日の検出限界である約 15 mCrab 以下で約 0.2 度以上離れていればその影響をほとんど受けないことが分かった (GSC の点拡がり関数の半値幅は 1.5-約 2 度)。一方、500 mCrab 以上の明るい天体が近傍にある場合は、それより 1 度以上離れていてもその影響が光度曲線に現れ、新たに検出された増光の多くが周辺天体からの光の漏れ込みであることがわかった。現在、その影響を抑えるべく、GSC のカタログ作成 (Hori et al. 2018, ApJS, 235, 7) でも用いられた、検出器への入射角依存性を考慮した点拡がり関数を個々のデータに対して解析的に求め、イメージフィット時に用いるようにシステムを改良中である。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

W11b ブラックホール/ディスク系の長周期揺らぎ

中道晶香 (京産大共教), 森川雅博 (お茶大/理研)

ブラックホール (BH) からの X 線時系列データの中に長周期のべき揺らぎが見出されています。MAXI の観測により、いくつかの BH 候補に対して X 線時系列のパワースペクトルにおいて 10^{-4} Hz 以下の低周波領域で、周波数にほぼ逆比例する信号が得られました。これはいわゆる $1/f$ 揺らぎです。我々は、この低周波揺らぎの普遍的な起源として「系統的に集積する周波数を持った複数の波のうなり」とであると提案してきました。本講演の趣旨は、上記の BH に由来する揺らぎにもこの提案を適用し、検証・発展させることです。

本講演では、「系統的に集積する周波数」を実現する自然な物理として、BH に付随するディスクにおける同期現象の起源を考察し、特にダイナモ機構に着目します。高速回転する伝導性ディスク内では、Taylor-Proudman 定理により回転軸にそった渦が生成され、そこに電流が巻き付くことで局所ダイナモが複数形成されます。ダイナモは相互作用により、回転軸方向に揃おうとします。このエッセンスを記述するマクロスピンモデルを応用します。このモデルでは、カオス共鳴により断続的な極性反転が必然的に誘導され、平均場も間欠的に大きく揺らぎます。なお、マクロスピンモデルはこれまで地磁気や太陽磁場のダイナミクスに応用され、これらの特徴をよく表現しています。

さらに、回転する導電性流体において、極性反転ダイナモが普遍的であるという提案についても議論します。

[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](#)

W12b ブラックホールシャドウからブラックホールスピンを推定する機械学習モデルの構築

高橋幹弥 (東京工業高等専門学校), 朝比奈雄太 (筑波大学)

Event Horizon Telescope (EHT) により、ブラックホール (BH) シャドウを含む観測イメージの撮像がなされた。BH シャドウの概形から BH スピンの推定が行われているが、依然として不定性が大きく、高回転する BH を緩やかに支持するという程度の制限しか得られていない。BH シャドウの概形が BH スピンと観測角度の 2 つにパラメータ依存するという点が困難の一つとなっているからである。

van der Gucht et al. (2020) では、一般相対論的磁気流体計算と一般相対論的輻射輸送計算に基づく大量の模擬観測イメージを学習し、Convolutional Neural Network (CNN) を用いて BH 質量やスピンをはじめとする様々なパラメータを復元する試みがなされた。ここで学習した模擬観測イメージには、わずか 5 パターンの BH スピンに対応するイメージしか含まれていなかったため、5 パターンの BH スピンを分類するのみであった。より正確な BH スピンの値を推定するためには、より多くの BH スピンについての模擬観測イメージを学習させた回帰分析を行う必要がある。

そこで我々は、先行研究より多くの BH スピンについて様々な観測角度で準解析的な模擬観測イメージを作成し、これを学習することで機械学習モデルの構築を試みた。その結果、解析的な BH シャドウの概形を録取るようなリング状のイメージを学習した場合は、平均相対誤差がおよそ 10% 以下の精度で BH スピンと観測角度の両方を推定できることがわかった。さらに、時間平均した現実の観測イメージを模した準解析的なイメージを学習した場合にも、平均相対誤差がおよそ 4% 以下の精度で BH スピンと観測角度の両方を推定できることがわかった。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

W13b 超臨界降着円盤の歳差運動による光度の時間変動

朝比奈雄太, 大須賀健 (筑波大学)

ブラックホール (BH) などのコンパクト天体近傍に形成される降着円盤は質量降着によって重力エネルギーを解放することでは、アウトフローや輻射のエネルギー源になっていると考えられている。質量降着率が高くエディントン限界光度を超えるような明るい天体で光度の準周期的な変動が観測されており (Atapin et al. 2019)、その原因の一つの可能性として降着円盤の歳差運動が挙げられる。BH のスピン軸と降着円盤の回転軸が一致しないような状況では、Lense-Thirring 効果と呼ばれる一般相対論的な時空の引きずりにより降着円盤が歳差運動することが先行研究によって示されてきた。しかし、エディントン限界光度を超えるような強輻射場を考慮した計算は未だない。

そこで我々は歳差運動する超臨界降着円盤の一般相対論的輻射磁気流体力学シミュレーションを実施してきた。日本天文学会 2023 年春期年会では降着円盤の歳差運動と共にアウトフローや輻射エネルギーの噴出方向も歳差運動することを報告した。しかし、計算コストの高さと歳差運動の時間スケールの長さから約 20 度の歳差運動しか計算することができていなかった。その後、計算手法の改善を行い長時間計算を実施することが可能になった (日本天文学会 2023 秋期年会)。長時間計算の結果、降着円盤の歳差運動による見込み角の変化により、光度が数十倍から数百倍程度大きくなり、その後数十分の一程度まで小さくなるという増光・減光現象を捉えることができた。本講演では光度の長時間の時間変動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](#)

W14a 大質量星内における中性子星への降着流の一般相対論の数値流体計算

櫻井大夕 (早稲田大学), 赤穂龍一郎 (早稲田大学), 山田章一 (早稲田大学)

近年、コンパクト連星合体からの重力波や Ia 型超新星の観測により、2 つの星が 1 つの外層に含まれる段階である共通外層進化に注目が集まっている。外層とコアの相互作用によって急速な連星間隔の減少が起きると考えられており、これは宇宙年齢以内に連星合体が起こるために必要なシナリオである。しかし、中性子星が伴星の場合は中性子星表面と外層のスケールハイトが十数桁異なるため共通外層進化を一貫して計算することは現実的ではない。そのため現在までいくつかの先行研究が行われてきたが、簡単な仮定をした解析的モデルである Bondi - Hoyle - Lyttleton (BHL) 降着率や簡易的な内部境界条件を用いた研究しか行われていない。

そこで本研究では、一般相対論的流体力学コードを用いて大質量星と中性子星の共通外層進化を計算した。特に、中性子星からの距離に応じて計算領域を階層的に分割することでスケールハイトの問題を解決した。そして中性子星への降着率や抗力を見積もった結果、BHL 降着率を用いた解析的モデルにおける抗力やニュートン重力の場合における抗力との違いが判明した。さらに、内部境界にシンクを設定してブラックホール周りの降着流を計算した先行研究と比較することで、ブラックホールと中性子星における降着率や抗力の違いも明らかになった。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

W15a ジャイアントアウトバースト後の Be/X 線連星 4U 0115+63 における星周円盤の時間変化

西尾美輝, 大槻祐士, 山内誠 (宮崎大学)

4U 0115+63 は中性子星を含む Be/X 線連星である。この系ではおよそ 3 年から 5 年ごとにジャイアントアウトバースト (以下 GOB) が観測されているが、稀に GOB 発生から 2 年以内という比較的短いインターバルで再び GOB が発生することがある。この 2 回目の GOB の発生には 1 回目の GOB 後の星周円盤の構造変化が密接に関わっていると考えられているが、過去に報告された観測結果より 1 回目の GOB 後の星周円盤の時間変化は一樣ではなく、2 回目の GOB も必ずしも発生するとは限らないため、その発生条件は完全には解明されていない。そのため 1 回目の GOB 後の星周円盤の変化について調査する必要がある。

本研究では 2023 年 3 月末に GOB が観測された 4U 0115+63 に対し可視光測光・分光観測、近赤外測光観測を行い、星周円盤の変化について調査を行った。その結果 2023 年 10 月以降は可視光・近赤外線が減光し、H α 線は非対称なプロファイルを示した。このことから光球からのガス供給が減少したことで星周円盤が散逸する段階に移行した可能性があることがわかった。また同時期から近星点通過付近でノーマルアウトバーストが発生するようになったことから、中性子星側に降着が発生する範囲まで星周円盤が広がっていた可能性があることもわかった。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

W16a XRISM 衛星の観測で得られた大質量 X 線連星 Cyg X-3 の星風構造

袴田知宏, 小高裕和, 都丸亮太 (大阪大学), Timothy Kallman (NASA/GSFC), 三浦大貴 (東京大学, ISAS/JAXA), 渡辺伸, 山口弘悦 (ISAS/JAXA), 榎戸輝揚 (京都大学), 北本俊二, 林佑, 山田真也 (立教大学), 中嶋大 (関東学院大学), 山岡和貴 (名古屋大学), XRISM/Cyg X-3 ターゲットチーム

Cyg X-3 はコンパクト天体とウォルフ・ライエ星 (WR 星) で構成される大質量 X 線連星である。この系では WR 星から速度 1000 km s^{-1} 、質量損失率 $6.5 \times 10^{-6} M_{\odot} \text{ yr}^{-1}$ に達する、WR 星の強烈な星風がコンパクト天体からの X 線で光電離されている (Kallman et al. 2019, Zdziarski et al. 2013)。我々は、XRISM 衛星に搭載された X 線マイクロカロリメータ Resolve によって得られた Cyg X-3 観測データの解析を行った。その結果、He-like や H-like の状態にまで高階電離された S, Ar, Ca, Cr, Fe, Ni からの輝線や吸収線を同定した。さらに Fe 原子に関しては、Li-like 以降の比較的低階電離な原子由来の $K\alpha$ (6.4-6.6 keV)・ $K\beta$ (7.2-7.8 keV) 線も検出した。これらスペクトル構造の放射領域を調査するため、観測データの軌道周期を 4 つのフェイズに分けて解析を行った。その結果、Fe Ly α では特に顕著な 2 倍程度の強度変動が見られた。

観測結果を解釈するため、Cyg X-3 の光電離プラズマのモデル化を行った。星風のモデルとして、 $v(r) = v_{\infty}(1 - R_*/r)^{\beta}$ (r : 動径位置, R_* : 星半径, v_{∞} : 終端速度) という速度則を仮定し、質量損失率をパラメータとして星風の密度・速度構造を得た。この星風に対して、コンパクト天体の連続 X 線による光電離構造を計算した。こうして構築した系に対して MONACO (Odaka et al. 2011) を用いた輻射輸送シミュレーションを行い、スペクトルを計算した。本講演では観測結果と星風モデルについて述べ、軌道位相ごとの観測とシミュレーションとの比較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](#)

W17a 星風降着型 X 線連星系における X 線電離による質量降着率の変動

鴈野重之 (九州産業大学)

OB 星をドナーとする大質量 X 線連星系では、ドナーからライン加速過程により噴き出した星風がコンパクト天体に降着し、X 線で輝く。しかし、コンパクト天体からの X 線による星風物資の電離は、ライン加速過程を阻害するので、質量降着により星風速度は変化する。星風速度は質量降着に影響し、X 線輝度を変化させるため、電離の影響は質量降着過程にフィードバックを及ぼす可能性がある。ここでは Toy Model を用いた数値計算により、コンパクト天体への降着率および星風物資の電離度の変動について調べる。

電離効果が顕著な場合には、星風加速が阻害され、コンパクト天体周辺への物質供給が滞るために、質量降着率が一次的に低下することがわかった。質量降着率の低下により X 線電離効果が弱まると、星風加速が再び効率的に効き始め、星風が供給されることにより再び X 線輝度が高まる。結果として、X 線電離を考慮すると、コンパクト天体への質量降着は自発的に振動する可能性があることが示された。このような質量降着率の振動は、短時間の X 線変動の原因となり得る。とくに Super-giant Fast X-ray Transient のような X 線連星系の光度曲線を説明し得るか否かを議論する。

[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](#)

W18a 直線偏光電磁波の電子・陽電子プラズマ中における伝搬過程

岩本昌倫 (京都大学), 井岡邦仁 (京都大学)

近年、高速電波バーストと呼ばれる、数ミリ秒程度持続する突発的な超高強度電波放射が発見され、注目されている (Lorimer et al. 2007)。高速電波バーストの発生源は不明であるが、最近になってマグネターからの高速電波バーストが報告され (The CHIME/FRB Collaboration, 2020)、マグネター由来とする説が有力になっている。マグネターでどのようにして超高強度電磁波を励起するかという点は現在でもはっきりしていないが、超高強度電磁波がマグネター周辺の電子・陽電子プラズマを通過するという点は変わらない。このような超高強度電磁波は電子・陽電子プラズマを通過する際、誘導コンプトン散乱やフィラメンテーション不安定を引き起こし、高速電波バーストの周波数スペクトルや分散量度に影響を与えると考えられている (Sobacchi et al. 2020; 2022; 2023, Ghosh et al. 2022, Iwamoto et al. 2023)。しかしながら、これらの過程はプラズマの非線形性に強く支配されており解析的アプローチが極めて困難であるため、まだ十分に理解されていないのが現状である。

本研究では、直線偏光電磁波の定常解を解析してパラメータ依存性を調べた。その結果、電磁波の周波数がプラズマ周波数よりも十分大きければ、振幅が大きくとも線形として扱って良いことを見出した。この定常解を第一原理シミュレーションに初期条件として与えて時間発展を追った結果、プラズマ不安定が成長したとしてもこの解析と矛盾がないことを確認した。本公演では、これらが高速電波バースト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](#)

W19a 相対論的に磁化されたプラズマにおける Alfvén 波の崩壊不安定性 II

石崎 渉 (東北大学), 井岡 邦仁 (京都大学)

高速電波バースト (FRB) やマグネターフレアのエネルギー源として、Alfvén 波の崩壊が注目されている。中性子星やブラックホールといったコンパクト天体の周囲に生じるプラズマ磁気圏は、磁場のエネルギー密度がプラズマの静止エネルギー密度を凌駕するような相対論的磁化を帯びたプラズマで構成されていると考えられており、このようなパラメータ領域における Alfvén 波の伝播およびその安定性を理解することは重要である。

我々は、これまで相対論的な MHD 方程式に対して、Alfvén 波が音波と Alfvén 波に崩壊するパラメトリック崩壊不安定性という過程を調べてきた。その中で、我々は簡単のため、波動のエネルギー密度がプラズマの静止エネルギー密度に対して十分小さい場合について解析を行ってきており、非相対論的な場合に得られていた既知の結果を拡張する結果を得ていた (2022 年秋季年会)。しかし、相対論的に磁化したプラズマ中においては、たとえば Alfvén 波の振幅 δB が背景磁場 B_0 に対して、あまり大きくない (つまり $\eta \equiv \delta B/B_0 \lesssim 1$) としても、波動のエネルギー密度がプラズマの静止エネルギー密度に匹敵あるいは凌駕する場合がある。我々は、波動のエネルギー密度の大きさに仮定を課さない解析をおこなうことで、波動のエネルギー密度が十分大きくなるような状況下では、非相対論的な場合と定性的に異なる新たな不安定性が生じうることを明らかにした。本講演では、これらの新たな不安定性について報告する。

[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](#)

W20a マグネター磁気圏における高速電波バーストのパラメトリック崩壊不安定

西浦 伶, 井岡 邦仁 (京都大学), 上島 翔真 (京都大学), 岩本 昌倫 (京都大学)

高速電波バースト (Fast Radio Burst, FRB) は、宇宙で最も明るい電波バーストの 1 つである。有力な起源天体の 1 つとして、マグネターが挙げられる。マグネターにおける FRB の発生モデルには、磁気圏内部で発生するモデルと、磁気圏外部で発生するモデルの 2 つがある。本講演では、磁気圏内部モデルについて議論する。磁気圏内部モデルでは、FRB がパラメトリック崩壊不安定、特に誘導コンプトン散乱と呼ばれる電磁波・プラズマ相互作用によって磁気圏を抜け出せないのではないかと議論されている。これまでの議論では、磁場無しの理論を援用して FRB の減衰が考えられていた。本研究では、プラズマ運動論から導かれるパラメトリック崩壊不安定に、背景磁場の寄与を正確に取り入れた理論を初めて構築した。その結果、磁場を考慮しない場合に比べて、素過程にデバイ遮蔽の効果が重要となり、プラズマ密度の大きい領域では誘導コンプトン散乱の反応率が大きく抑制されることが分かった。本講演では、この構築した理論を元に、誘導コンプトン散乱と呼ばれるパラメトリック崩壊不安定による FRB の減衰について議論する。

[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](#)

W21a XRISM time-resolved spectroscopy of the transient eclipsing low-mass X-ray binary AX J1745.6-2901

田中 虎次郎 (東京都立大学), 青木 悠馬, 正嶋 大和, 信川 久実子 (近畿大学), 内田 裕之, 鶴 剛, 成田 拓仁 (京都大学), 内山 秀樹 (静岡大学), 江口 智士 (熊本学園大学), 勝田 哲 (埼玉大学), 金丸 善朗, 鈴木 寛大, 前田 良知, 渡辺 伸 (ISAS/JAXA), Richard Kelley (GSFC/NASA), 倉本 春希, 島 耕平, 松本 浩典 (大阪大学), Lia Corrales, Mayura Balakrishnan (University of Michigan), 澤田 真理 (立教大学), 坪井 陽子 (中央大学), 中嶋 大 (関東学院大学), 信川 正順 (奈良教育大学), 村上 弘志 (東北学院大学), 山内 茂雄, 吉本 愛使 (奈良女子大学), Q. Daniel Wang (University of Massachusetts)

XRISM caught X-rays from the transient low mass X-ray binary AX J1745.6-2901 in 2024 Spring, only 1.5 arcmin off from the supermassive blackhole in our Galaxy Sgr A*. The exposure time is about 100 ksec, covering about 10 cycle of the binary orbit of AX J1745.6-2901. AX J1745.6-2901 is pointed just out of the corner of the Resolve array, so most of the photons accumulated by the Resolve XMA are lost. However, spill-over X-rays due to the XMA's PSF tail are falling into the Resolve array, providing a high resolution spectra for the first time. AX J1745.6-2901 is pointed at around the center of XtenD. The Resolve spectra clearly show absorption lines from highly ionized irons, which are likely to originate from the accretion disc coronae (ADC). Since this source is an eclipsing binary, AX J1745.6-2901 gives an opportunity of high inclination case study for the ADC.

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

W22a XRISM による低質量 X 線連星 4U1916–054 の観測

米山友景 (中央大学), XRISM Dipper Target Team

低質量 X 線連星 (Low-mass X-ray binary; LMXB) のうち、蝕によらない X 線光度の一時的な減少を示すものがある。これは「dip」と呼ばれ、降着円盤外縁のガスが視線方向を横切ることで発生すると考えられている。Dip 中の X 線スペクトルには多数の元素による吸収線が見られる。この吸収線を解析することで、ガスのイオン化状態や円盤風の発生半径を測定することができる。この研究には、他の元素の吸収線と混同しにくい鉄の吸収線を高エネルギー分解能で観測することが重要である。ところが、dip 中の X 線スペクトルは暗いため、grating 型の分光計 (*Chandra*/HETG) では十分な統計が得られない。このため、鉄吸収線の帯域 (~ 6 keV) では CCD のエネルギー分解能でのみ研究されてきた。

2023 年 9 月 7 日に打ち上げられた X 線分光撮像衛星 (X-Ray Imaging and Spectroscopy Mission; *XRISM*) は、それぞれ X 線マイクロカロリメータと X 線 CCD を焦点面検出器とする「Resolve」と「Xtend」の二つの X 線望遠鏡を搭載する。Resolve のエネルギー分解能は 6 keV でおよそ 5 eV であり、かつ分散系ではないため大きな有効面積をもつ。我々は、dipper 中で最も短い ~ 50 分の軌道周期をもつ 4U1916–054 の観測を 2024 年 4 月 15 日に行った。本発表では、Resolve と Xtend による 4U1916–054 のデータを用いて行った上記のような研究を報告する。また、同観測では少なくとも 1 回の type-I X 線バーストを検出した。このバースト中のスペクトル解析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](#)

W23b Be/X 線連星パルサー IGR J06074+2205 のノーマルアウトバーストの観測

中島基樹 (日本大学), 三原建弘 (理研), MAXI チーム

星周円盤を持つ B 型星と中性子星からなる連星系はトランジェント天体のサブグループの一つであり、Be/X 線連星と呼ばれている。離心率の大きな軌道 ($e > 0.4$) を持つ中性子星が B 型星の近傍を通過する際、星周円盤からのガスが中性子星に降着することにより X 線増光が観測される。準周期的に生じる X 線増光はノーマルアウトバーストと呼ばれ、連星軌道周期の推定に用いられてきた (e.g. Friedhorsky & Terrell, 1983)。2003 年に銀河中心と反対方向の銀河座標 (l,b)=(188, 1) に発見された X 線トランジェント天体 IGR J06074+2205 (Chenevez et al. 2004) は、光学対応天体が B0.5Ve と決定されて以降、X 線活動が無かったためその性質については不明な点が多く残されたままだった。距離は Gaia EDR3 より 7.2 kpc と求められ、outer arm の上にあると考えられる。発見から 14 年後の 2017 年の静穏期 ($\sim 10^{34}$ ergs/s) の観測より 373 秒の X 線パルスが発見され (Reig et al. 2018)、IGR J06074+2205 の性質が明らかになってきた。2022 年 3 月には 19 年ぶりとなる X 線増光を MAXI が捉え、発見時も含めた 2023 年 10 月までの 4 回の X 線増光の観測から我々は約 80 日の準周期性を発見した (Mihara et al. 2023)。2024 年 6 月まで準周期的な X 線増光は継続し、その周期は 81.3 ± 2.2 日と決定することができた。この X 線増光周期を軌道周期と解釈し、先に観測された X 線パルス周期と併せて連星 X 線パルサーの軌道周期と X 線パルス周期の相関を表す Corbet-diagram 上で比較すると、典型的な Be/X 線連星の分布と矛盾がないことを確認した。また 2023 年 12 月の NICER によるノーマルアウトバーストの観測より 374.6 秒周期の X 線パルスを検出し、そのプロファイルが 1 keV を境に single-peak/double-peak と変化することを発見した。本講演では上記結果について報告し、X 線パルスプロファイルのエネルギー依存性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](#)

W24b Common Envelope 期における軌道進化に対する恒星内部構造の影響

水谷耕介 (大阪大学), 高棹真介 (大阪大学)

重力波候補天体となる近接連星の一部は、連星進化の最中に連星間距離を効率的に縮める機構が働くことで形成されることが考えられている。このような過程として、共通外層期 (Common Envelope: CE) が有力視されている (Ivanova et al. 2013)。CE は連星のうち半径の大きな方 (主星) が進化によって膨張し、もう一方の星 (伴星) を飲み込む現象である。この過程において軌道エネルギーを共通外層部へ受け渡すことで、効率的に連星間距離を縮めることができる。しかし、CE 期は非線形な流体現象であるために軌道縮小効率が未だ十分に制約されておらず、連星進化的理論の不定性として残っている。CE を 3 次元流体計算で扱う研究 (MacLeod et al. 2018) は過去にあるものの、主星を静水圧平衡球として扱っており、内部構造の影響が十分に考慮されていなかった。そこで本研究では、主星の構造が連星軌道進化に与える影響を調査するため、Athena++ (Stone et al. 2020) を用いた 3 次元流体計算を実施した。主星をポリトロップ球で近似的に表現した上で、ポリトロップ指数やコア質量を変えたモデルの計算を行い、De Marco et al. 2011 に示されている定式化を参考に軌道縮小効率を比較した。結果として、まずコア部分の質量を増やすほど外層部の束縛エネルギーが小さくなり、軌道縮小効率が下がることが確認できた。さらに、外層部のポリトロップ指数を変更して対流優勢にすることで、軌道エネルギーに加えて内部エネルギーも束縛エネルギーの補填に使われ、軌道縮小効率は上がることがわかった。

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

W25b X線連星 SS433 ジェットの伝播に対する恒星風起源の擾乱の影響

丹海歩 (総合研究大学院大学/国立天文台), 五十嵐太一 (立教大学/国立天文台), 町田真美 (国立天文台)

SS433 は A 型超巨星とコンパクト星からなると推定される X 線連星であり、らせん状のジェット噴出が観測されている。このジェットは約 100pc 以上伝播し、電波星雲 W50 を形成していると考えられてる。SS433 ジェットの数値計算としては、らせんジェットの形成、W50 との相関など、0.1pc~100pc のスケールに着目された研究が主である。我々は、これまで注目されてこなかった中心天体から 1AU~0.01pc の領域に着目し、伴星による星風とジェットの相互作用の効果の影響を調べることにした (2024 年春季年会ポスター講演)。

本研究では、光速の 26 % のジェットをマッハ数 10 の流速として注入し、弱い方位角方向磁場を持つと仮定している。一般的に A 型超巨星の恒星風の速度は観測から 100km/s~300km/s とわかっているため、それを踏まえて擾乱の速度は 100km/s とした。擾乱の影響を比較するために、(i) 擾乱を与えないモデル (NT)、(ii) 100km/s で擾乱を与えたモデル (T-01) の 2 モデルについて計算を行った。2024 年春季年会では、NT モデルのコクーン内部に乱流が強く励起されると報告した。しかし、その後の解析によって乱流の駆動源は赤道面に反射境界を仮定した結果、境界に達したジェットのバックフローが衝突し、熱化したことが原因であることが分かった。本発表では、より安定的なジェット状態を調べるために赤道面境界を吸収境界にすることで双極ジェットの影響を排した。その結果、擾乱はジェット伝播や形態に有意な影響を与えず擾乱の影響は無視できることがわかった。本発表では、この他、ジェット内部の磁場構造に関しても報告する。

[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](#)

W26a クォーク・ハドロン連続性を考慮した中性子星の熱的進化

野田常雄 (久留米工業大学), 安武伸俊 (千葉工業大学), 土肥明 (理研), 橋本正章 (九州大学), 丸山敏毅 (原子力機構), 巽敏隆 (大阪産業大学)

中性子星は高密度な天体であり、その内部では通常の原子核では現れない様々な状態が出現すると考えられている。内部状態の違いは星の熱的進化を決定するニュートリノ放射に顕著に表れるため、星の表面温度の観測と理論計算を比較することで、高密度核物質の状態の探求が行われている。しかし、依然として内部の状態については未確定な部分が多い。

本研究では、クォーク物質が出現する状態方程式を用い、核子・クォークの超流動・超伝導状態の効果を取り入れ、中性子星の熱的進化シミュレーションを行った。その際、中性子の $^3P_2$ 超流動が d クォークに引き継がれる“クォーク・ハドロン連続性”について考慮し、クォークのカラー超伝導のペアリング (2SC/CFL) が冷却に及ぼす影響について調査した。近年の観測結果と比較し、中性子/ d クォークの $^3P_2$ 超流動が働くことで、一部のクォークがペアを組まず強い冷却を示す 2SC カラー超伝導の場合において、観測を説明できることが分かった。

[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](#)

W27a マグネター表面の定常放射モデル：時系列データと分光データの一貫性解析

屈楚舒, 諏訪雄大 (東京大学), 榎戸輝揚 (京都大学)

マグネターは極端な強磁場 (10^{13} G から 10^{15} G) をもつ中性子星で、その強磁場によって多種多様な高エネルギー現象を引き起こしている。

マグネターの磁極など星の表面に磁力線が突き刺さっている区域は局所的に磁気圧がクラストのクーロン力を勝り、その区域の星の表面は磁気エネルギーの開放に伴い加熱される (Thompson & Duncan 1996)。こうして形成された一部のホットスポットは X 線放射を出しており、このような放射は NICER や XRISM などの高エネルギー観測器によって光度変動 (パルス) として観測され、時系列データ解析を用いたマグネターの放射機構や構造の研究が進められている。同時にこの X 線パルスは分光解析も独立に行うことが可能である。マグネターは強重力環境を所持していて、星の表面からの X 線放射は強い相対論効果によって光路が曲がること (以下、光路屈曲と呼ぶ) が知られている。この光路屈曲により時系列解析と分光解析両方に相対論修正が必要となっており、過去にはそれぞれ別々に修正を考慮した研究が行われており、両方の解析から得たパラメータの一貫性を確認した上でマグネターの放射を議論する研究はまだ存在していない。

我々はマグネターのホットスポットによる X 線パルスの放射モデルを作成し衛星の X 線パルスデータから放射分布を特定する解析研究を進めてきた。2023 年秋季年会ではマルコフ連鎖モンテカルロ法を用いた光路屈曲効果を考慮した時系列解析のパラメータ推定結果を報告した。本公演では mock データによるモデルの妥当性の議論と実データによる解析の結果を示す。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

W28a 磁気応力による中性子星クラストの破断条件

小嶋康史 (広島大)

マグネターの表面の双極子磁場は $B \sim 10^{14}$ G 程度で、その内部にはより強い ($B \sim 10^{16}$ G 程度) 磁場成分も存在することが観測的に示唆されている。また、磁場の永年的な変化により生じた磁気応力と釣り合うように、中性子星の表面にある、固体であるクラストの歪みが増す。それが限界に達した時、大きな動的な変化 (バースト) が生じると考えられている。この強い磁気応力によるクラストの変形と破断、星震に至る過程を調べることはマグネターのバーストやフレア現象を理論的に解明するのに不可欠である。解放されるエネルギー量やバーストの時間間隔の分布に影響を与える。また、未知の天体現象である高速電波バースト (FRB) がマグネターに付随する観測例もあり、このテーマの重要性が近年増している。

磁場の捻れからクラストの変形と破断の考え取り入れたモデルが論じられてきた (例えば, Dehman et. al. ApJ(2020)902,L32)。そこで用いられているクラスト破断条件は固体の変形を具体的に計算せずに、概算評価だったり、ある種の近似に基づくものであった。磁気応力による弾性的変形を詳細に検討した。その結果、先行研究で利用した近似は弾性変形を忠実に反映することはなく、不適当であることがわかった。磁場進化によるマグネターのバースト頻度を求める先行研究があるが、用いられている破断決定が不適切のためにモデルの再考が必要となる。講演では、その他の関連研究の結果も踏まえ、結果とその意義も報告する。

[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](#)

W29a PSR J1838-0655 に付随するパルサー星雲の X 線スペクトルにおける折れ曲がりの発見と系統調査

本上侑吾 (埼玉大学), 寺田幸功 (埼玉大学, ISAS/JAXA), 馬場彩 (東京大学)

パルサー星雲 (PWN) はパルサー磁気圏で相対論的に加速された電子陽電子により駆動していると考えられており、電波から X 線帯域ではシンクロトン放射、ガンマ線帯域では逆コンプトン散乱で非常に明るい放射を持つ。PWN は宇宙線電子成分の起源候補として注目されており、スペクトルの理解が加速電子スペクトルの理解へとつながる。近年いくつかの PWN の X 線スペクトルに折れ曲がりが見えられた (e.g., Tsujimoto et al., 2011, Bamba et al., 2022)。折れ曲がりの起源は未だに不明のままであり、パルサーのパラメータとの経験的な相関が探索されている。PWN からの放射は中心のパルサーの活動、すなわちスピンドウンエネルギーの一部を受け取ることによって駆動している。Bamba et al., 2022 の系統調査の中で、この「スピンドウンエネルギーと X 線光度の比」と「X 線スペクトルの折れ曲がりの大きさ」の間に負の相関があることが報告されたがサンプルは数天体しかなく、パラメータ探索範囲も狭い。

本研究では、この相関がより広いパラメータ範囲でも成立するかを確認するため、系統調査に用いたどの系よりもスピンドウンエネルギーが低い系である、PSR J1838-0655 に付随する PWN の X 線スペクトルを調査した。NuSTAR 衛星の観測データを用いた軟 X 線から硬 X 線の広帯域 X 線スペクトル解析の結果、PWN のスペクトルに折れ曲がりを見つけた。Bamba et al., 2022 の提案した相関と比較したところ、スピンドウンエネルギーに対して X 線高度が高い側でも同様の相関がみられることを示した。本講演では、これらの結果を用いて、「パルサーの活動」と「PWN からの放射」の関連性について議論を行う。

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

W30a Central Compact Object における磁場の起源の解明：超新星爆発時のフォールバック降着流の一般相対論的磁気流体力学計算

井上壮大 (大阪大学), 高棹真介 (大阪大学), 檜山和己 (東北大学), Zhong Yici (東京大学), 高橋博之 (駒澤大学)

比較的若い中性子星 ($< 1 - 10$ kyr) は、そのエネルギー源から回転駆動型パルサー、マグネター、Central Compact Object (CCO) の 3 種類に分類される。特に CCO の双極子磁場強度 ($\sim 10^{11}$ G) は回転駆動型パルサーやマグネターよりも小さく、その起源がまだよくわかっていない。そのような状況の中、茂山らは重力崩壊型超新星爆発に伴うフォールバック降着流が原始中性子星磁場を星内部に埋め込むことによって、CCO の磁場強度を説明できる可能性を示した (Shigeyama & Kashiyama 2018)。しかし、双極子磁場が降着流によって圧縮されることによる磁気圧の増加や、降着衝撃波後面の高密度領域におけるニュートリノ冷却の効果は考慮されていなかった。そこで本研究では、一般相対論的磁気流体力学計算コード (UWABAMI, Takahashi & Ohsuga 2017) にニュートリノ冷却の効果を実装し、双極子磁場を有する中性子星へのフォールバック降着流の高解像度な 1 次元一般相対論的磁気流体力学計算を実施した。その結果、降着率が $10^{-5} M_{\odot} \text{ s}^{-1}$ 、初期の中性子星双極子磁場強度が 10^{12} G の場合、中性子星磁場が埋没する様子が得られた。一方、初期の中性子星双極子磁場強度が 10^{13} G の場合は中性子星磁場は埋没せず、圧縮で強められた磁気圧によって降着ガスが支えられることがわかった。この時、中性子星表面での磁場強度は 10^{14} G に達する。本講演では、これらの結果を用いて CCO が形成されるための条件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](#)

W31a Investigating the high-energy & very-high-energy gamma-rays of the Geminga pulsar with Fermi-LAT & CTAO LST-1

Paul K. H. Yeung^A, Giulia Brunelli^B, Giovanni Ceribella^C, Ruben Lopez-Coto^D, Alvaro Mas-Aguilar^E, Takayuki Saito^A, for the CTA LST Project; ICRR, U. Tokyo^A, INAF Bologna^B, Max-Planck-Inst. Phys.^C, IAA-CSIC Granada^D, IPARCOS-UCM^E

The Crab, Geminga and Vela pulsars are among the brightest gamma-ray pulsars detected so far. Fermi-LAT observations revealed that each of these three pulsars has its GeV pulse profile consisting of two peaks and a bridge between them. There are a number of candidate emission regions in a pulsar magnetosphere, and various leptonic mechanisms were proposed to explain pulsars' gamma-ray emission. Understanding the emission mechanisms for each pulsar has long been a subject of intense debates in recent years, and the currently developing Cherenkov Telescope Array Observatory (CTAO) could play an important role in this aspect. We analysed the $\gtrsim 15$ GeV gamma-ray data of the first Large Size Telescope (LST-1) of CTAO for Geminga, which have been accumulated for a total observation time > 50 hr. The LST-1 phase-folded light-curves (aka. phaseograms) of the Geminga pulsar reveal statistically significant emission ($> 10\sigma$). This complements the previously published results of Fermi-LAT and MAGIC. We also update the Fermi-LAT phaseograms with the analysis of 15.5 yrs of data. We compare the phaseograms of the Geminga pulsar among different energy bands (from hundred MeV to tens of GeV). Finally, we explore the similarities and differences between the Crab and Geminga pulsars.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

W32a X線連星パルサー A 0535+262 の X 線光度と中性子星の自転周期変化率の調査

新居田祐基, 志達めぐみ, 高木利紘 (愛媛大), 三原建弘, 杉崎陸 (理研), 中島基樹 (日大)

中性子星はほとんど中性子で構成された天体で、太陽程度の質量を持つ一方、半径がわずか 10km 程度のために内部は超高密度と考えられている。超高密度の物質の振る舞いを表す状態方程式 (EoS) が盛んに研究されており、観測によって中性子星の質量 (M) と半径 (R) を測定することで EoS に制限をかけようとする試みが行われている。中性子星と恒星の連星系で周期的な X 線パルスを示す天体は X 線連星パルサーと呼ばれ、中性子星へのガス降着の際に角運動量の受け渡しが行われることで中性子星の自転周期が変化することが知られている。ガス降着の理論モデルの一つとして Ghosh & Lamb (1979) があり (以後 GL79)、X 線光度 (L_X) と中性子星の自転周期の変化率 ($\dot{P}$) の関係式が提案されている。その式には M と R が含まれているので、観測で L_X と $\dot{P}$ の関係を求めると M と R を推定することができる (Takagi et al. 2016, Yatabe et al. 2018)。そこで我々は、数桁にも及ぶ X 線での増光を示す X 線連星パルサー A 0535+262 に着目し、全天 X 線監視装置 MAXI による観測で得られた L_X と Fermi 衛星 GBM 検出器で得られた $\dot{P}$ の関係から、 M と R の測定を試みた。常時モニタ観測を行っているこれらの装置を用いることで、数百日にわたる A 0535+262 の増光期間の全体をカバーするデータを得ることができた。MAXI は限られたエネルギー帯域 (2– 20 keV) に感度を持つため、観測期間全体の時間平均 X 線スペクトルを指数関数的カットオフを持つべき型モデルで再現し、そのベストフィットモデルを用いて 0.1– 100 keV の光度に変換した。こうして得られた L_X と $\dot{P}$ の関係に GL79 のモデルを適用したところ、 $M \sim 1.2M_\odot$ 、 $R \sim 10$ km という結果を得ることができた。

[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](#)

W33a XRISM 衛星による X 線連星 Vela X-1 初期観測の鉄輝線の解析

齊藤 裕次郎, 榎戸 輝揚 (京都大学), 渡辺 伸, 辻本 匡弘 (JAXA/ISAS), Tim Kallman, Maurice Leutenegger, Katja Pottschmidt (NASA/GSFC), Metteo Guainazzi (ESA/ESTEC), Ehud Behar (Technion), 米山 友景 (中央大学), Greg Brown, Natalie Hell (LLNL), Ralf Ballhausen (FAU), Maria Diaz Trigo (ESO), Javier Garcia (Cal Tech), Lia Corrales (UMich), 幸村 孝由 (東京理科大学), Hiroshi Nakajima (関東学院大学), 小高 裕和, 河村穂登 (大阪大学), 杉崎 陸, Rulcan Ma (NAOC)

Vela X-1 は中性子星と B 型大質量星からなる食を起こす大質量 X 線連星 (HMXB) であり、約 9 日の軌道周期と 283 秒のパルス周期を持つ。昨年 9 月に打ち上げられた精密 X 線分光衛星 XRISM によって、2024 年 1 月 4-5 日と 5 月 20 日に、それぞれ累計 67 ks、13 ks の Vela X-1 の観測が行われ、X 線マイクロカロリメータ Resolve では、平均 12 cts/sec (2-10 keV) でデータが取得できた。それぞれの観測での軌道位相は、0.67-0.88、0.20-0.30 である。この PV 観測は、X 線パルサーからの輻射と星風や降着物質との相互作用により生じる光電離プラズマから放射される輝線の解析などが目的として行われた。Resolve によるスペクトル中には Fe K α 、Fe K β 、Fe He α 、Ni K α などの輝線を確認することができた。1 月 4-5 日と 5 月 20 日の観測では、Fe K α 輝線の中心エネルギーが異なっており、中性子星の連星中での軌道運動との整合性や検出器の較正の検証を進める。また、パルス位相に分割した解析では、パルサーからのビームが非対称な星風・降着物質を照らした際の運動検出を調べる。本発表では、Vela X-1 の輝線の起源や星風の運動について時間分割での精密分光観測の初期結果を報告する。

[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](#)

W34a XRISM/Xtend で捉えた大質量 X 線連星 AX J1910.7+0917 のアウトバースト

善本真梨那 (大阪大学), 米山友景 (中央大学), XRISM W49B Target Team

AX J1910.7+0917 は、中性子星と B 型星から構成される大質量 X 線連星 (HMXB) である (Rodes-Roca et al. 2013, Israel et al. 2016)。パルス周期は 36200 ± 110 s (1σ ; 2011 年 8 月) であり、これを自転周期と解釈すると、X 線パルサーの中で最も長い自転周期を持つ天体となる (Sidoli et al. 2017)。しかし、このような長い自転周期の原因について詳細は明らかになっていない。一般的に中性子星 HMXB では、磁気圏半径より内側で物質が磁極に沿って落ち込み、磁極付近に形成された降着柱から X 線が放射される。本天体は、その自転周期の遅さから降着系と中性子星磁場の極端な例として貴重なサンプルといえる。

X 線分光撮像衛星 XRISM に搭載された軟 X 線撮像装置 Xtend では、2024 年 4 月 23 日から 2024 年 5 月 8 日にかけて行われた超新星残骸 W49B の観測中 (Xtend 有効観測時間 548 ks) に、AX J1910.7+0917 の X 線アウトバーストを検出した (Yoshida et al. 2024, ATel#16607)。アウトバースト時の X 線スペクトルは、吸収を受けた power-law モデルで再現され、X 線光度 ($0.4\text{--}10$ keV) は $\sim 1 \times 10^{36}$ erg s $^{-1}$ となった。これは、以前に報告された中で最も明るいものに匹敵する。また、周期解析の結果、アウトバースト時にパルスを検出し、その周期は 36846^{+72}_{-73} s (1σ) であった。

本講演では、スペクトル解析とタイミング解析の詳細を報告し、自転周期の急速な減衰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](#)

W35a 降着型パルサー Cen X-3 の連星運動とスピン位相に着目した XRISM 初期観測の解析

永井悠太郎, 榎戸輝揚 (京都大学), 辻本匡弘, 望月雄友 (ISAS/JAXA), Richard Kelley, Katja Pottschmidt, Ralf Ballhausen (NASA/GSFC), Natalie Hell (LLNL), 幸村孝由 (東京理科大学), 小高裕和, 善本真梨那 (大阪大学), 米山友景 (中央大学), Pragati Pradhan (ERAU), 高嶋聡 (東京大学)

降着型 X 線パルサー Cen X-3 は、青色超巨星と中性子星からなる食連星で、パルス周期は 4.8 秒、連星周期は 2.08 日である。この天体では、顕著な鉄 K 輝線が確認されており、これは中性子星の磁極付近から放射される X 線がパルサーの周辺を照らした際の再放射であるとされている (Kohmura et al. 2001)。したがって、この輝線は、強い磁場 ($> 10^{12}$ G) を持つ中性子星への質量降着の仕組みを解明するための強力なツールとなる。

精密分光衛星 XRISM は、Cen X-3 を連星位相の一周をカバーするように 2024 年 2 月 12–15 日に観測しており、観測時間は 156 ks である。この衛星に搭載された X 線マイクロカロリメータ「Resolve」で得られたスペクトルには、低電離の鉄輝線、ヘリウム様の鉄輝線の微細構造、水素様の鉄輝線などが確認された。とくに低電離の鉄輝線について 2 つのガウス関数で近似すると、15 eV 程度の有意な輝線幅が検出された。これは、様々な運動や電離の状態を持つ鉄輝線が重なることで広がっていると考えられる。そこで、我々は、連星位相で分割したスペクトルを確認した。すると、連星位相に伴って、低電離の鉄輝線の中心エネルギーが 6 eV の振幅をもつ正弦関数で変化することを確認できた。このような連星運動に由来するドップラーシフトの変化が Cen X-3 で明確に確認できたのはこれが初めてである。本講演では、XRISM と同時観測を行なった NICER 望遠鏡のデータも用いて、連星位相と自転位相で分割した Cen X-3 のスペクトル中の鉄輝線などの時間変動について議論する。

[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](#)

W36a NICER を用いた Cyg X-1 の吸収 Dip 観測

藤井大成 (立教大学), 北本俊二 (立教大学)

Cyg X-1 は、BH と O Iab 型超巨星 HDE226868 から構成される BH 連星系であり、公転周期は約 5.6 日、距離は ~ 1.86 kpc である。超巨星から放出される星風の一部がブラックホールの周りに降着円盤を形成し、そこから X 線が放出されている。X 線観測によれば、この連星系は high/soft state と low/hard state の 2 つの異なる状態を持ち、これらの状態は明るさやエネルギースペクトルが異なる。これらの変動は降着円盤の状態や構造の違いに起因すると考えられている。

Cyg X-1 は吸収 Dip と呼ばれる現象を示す。この吸収 Dip は、公転位相において外合付近で頻繁に発生し、低エネルギー側の X 線強度が減少する現象である。Dip 時の吸収スペクトルの分析から、Dip は、星風の密度が特に高い部分による吸収で、深い Dip では、吸収ガスはほぼ中性であると考えられている。この現象は部分吸収モデルを用いることで説明が可能であることが知られている。また、Dip 中に吸収ガスの柱密度や遮蔽率の割合が変化することが知られているため、Dip 中の吸収ガスの柱密度や遮蔽率の時間変化を調査し、吸収ガスとブラックホールの相対速度を仮定することで、X 線放射領域の大きさを推定できると考えられる。

そこで、低エネルギー側の有効面積が大きい NICER が観測した Cyg X-1 のデータを調査した。NICER では Cyg X-1 の Dip を多数確認でき、その中でも特に深く、短い変動を示すデータを抽出した。このデータに基づいて、Dip 現象を部分吸収モデルを用いてスペクトルフィッティングを行い、X 線放射領域の大きさ等について考察した。

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

W37a ジェット・強磁場降着流ハイブリッド多波長放射モデル: Cygnus X-1 への適用

久世陸 (東北大学), Ke Fang (University of Wisconsin-Madison), 木村成生 (東北大学)

ブラックホール連星は電波からガンマ線まで幅広い波長で観測されている。電波と X 線はそれぞれ相対論的なジェットと降着流に由来すると考えられているが、ガンマ線の起源はまだ確立されていない。ブラックホール連星が Low/Hard 状態にあるとき、ブラックホール周囲にはブラックホールを貫く磁束が飽和状態にある降着円盤 (Magnetically Arrested Disks, MADs) が形成される。我々は多波長光子がジェットと MAD からくると考え、ジェットと MAD からの放射を考慮した 2 ゾーンの放射モデルを Cygnus X-1 に適用した。このモデルでは、MAD の電子と陽子は乱流によって加熱・加速され、ジェットの電子は磁気リコネクションによって加速される。降着流中の熱的電子は、標準円盤からの光子を叩きあげて X 線を放射する。ジェット内の非熱的電子はシンクロトロン放射とシンクロトロン自己コンプトン散乱によってそれぞれ電波とガンマ線を放出する。MAD で加速された陽子は、ハドロン核相互作用と光中間子生成を通して、非常に高エネルギーのガンマ線とニュートリノを放射する。我々はこのモデルが多波長観測データを説明できる可能性を示し、TeV ガンマ線とニュートリノが将来の観測実験によって検出され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](#)

W38a 近傍セイファート銀河 GRS 1734-292 の GeV ガンマ線放射への活動銀河核円盤風の寄与

坂井延行 (大阪大学), 山田知也 (日立製作所), 井上芳幸 (大阪大学), 道山知成 (周南公立大学), Ellis R. Owen (大阪大学), 都丸亮太 (大阪大学)

GeV ガンマ線望遠鏡 Fermi-LAT によって、ブレーザーや電波銀河と比べてジェット活動が弱いセイファート銀河の検出が報告されはじめている (Abdollahi et al. 2020)。近年、スタッキング解析によって円盤風をもつ活動銀河核からの GeV ガンマ線が有意水準 $5.1\text{-}\sigma$ で検出されており (Ajello et al. 2021)、円盤風が有力なガンマ線放射起源となっている。しかし、母銀河に付随する星形成活動や中心核の弱いジェット活動もガンマ線を放射するため、決定的な証拠は得られていない。

Fermi-LAT によって検出されたセイファート銀河のうち、GRS 1734-292 は赤外線や電波の観測から星形成活動やジェット活動では GeV ガンマ線フラックスを説明できないことが、近年判明している。2024 年春季年会で報告したように、我々は活動銀河核円盤風起源の多波長多粒子放射モデルを構築している。このモデルは円盤風と星間物質の相互作用のダイナミクスを考慮しており、電子・陽子の両成分由来の多波長多粒子放射を含んでいる。我々の円盤風モデルを GRS 1734-292 に適用したところ、およそ 20 pc に広がる円盤風が GeV ガンマ線フラックスを説明できることがわかった。しかし、ガンマ線データだけでは、陽子由来なのか電子由来かの判別は難しく、将来のニュートリノ観測が必要となる。本講演では、我々の円盤風モデルと GRS 1734-292 の多波長データとの比較の詳細を議論するとともに、次世代の電波望遠鏡 next generation Very Large Array やガンマ線望遠鏡 Cherenkov Telescope Array の観測による本シナリオの検証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](#)

W39a NICER による GRS 1915+105 の小規模増光期における鉄吸収線観測

菅原一希, 小林翔悟, 松下恭子 (東京理科大)

GRS 1915+105 は 1992 年に発見された、K 型巨星と連星系をなす X 線ランジェント天体である。発見以来光度の激しい時間変動が観測されており、エディントン比は時に 100% 程度に迫るほど明るい活動状態が続いていた。しかし 2018 年に突如減光し、現在に至るまで光度の低い静穏状態が続いている (Miller et al. 2020)。本天体の降着描像については、特に静穏期において統一的な理解にほど遠い。この静穏期の X 線スペクトルに顕著に見られる 3 本の鉄輝線または鉄吸収線 (中性鉄による 6.4 keV の $K\alpha$ 線・He-like 鉄による 6.7 keV の $He\alpha$ 線・H-like 鉄による 6.9 keV の $Ly\alpha$ 線、Miller et al. 2020) が、ブラックホール近傍の物質の電離状態を探る鍵となる。

本研究では、この静穏期のスペクトルに着目し、2017 年 6 月 18 日から 2023 年 9 月 30 日までの 590 回に及ぶ NICER の観測を用いて、スペクトルの推移について解析した。静穏期の中には 7 回の小規模増光が確認でき、スペクトルの形状は他時期の鉄輝線が特徴的な形状とは大きく異なる。特に、2019 年 5 月～6 月、2019 年 11 月、2020 年 5 月、2021 年 6 月～10 月の 4 回の小規模増光期では He-like 鉄および H-like 鉄などによる吸収線が観測された。これら吸収線の強度比や中心エネルギーの時間変動から、吸収体の速度や電離状態などの物理描像を議論する。

[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](#)

W40a ブラックホール連星 XTE J1859+226 の 1999-2000 年のアウトバースト進化と準周期的変動 (QPO) との関係

山岡和貴 (名古屋大), 川口俊宏 (尾道市立大), M. McCollough (CfA), R. Farinelli (INAF), S. Trushkin (SAO)

ブラックホール連星 XTE J1859+226 は 1999-2000 年にアウトバーストを起こし、RXTE, ASCA, Beppo-SAX など様々な X 線衛星で観測された。ハードからソフト、そしてハード状態へと典型的なアウトバースト進化を遂げ、このアウトバーストの初期段階で 5 回の電波ジェット放射が示唆されている (Brocksopp et al. 2002)。このことから降着円盤とジェットに関連を調べる上で非常に重要な天体である。我々は広帯域 X 線データ (0.1–300 keV) を解析し、円盤からの多温度黒体放射とそのコンプトン散乱成分というモデル化を行い、その詳細スペクトル解析結果と出版済の時間変動解析結果 (Casella et al. 2004) を組み合わせ、以下のことを明らかにした。

20 keV 以下の X 線フラックスが増光するアウトバースト初期 (ハードから中間状態) では、多温度黒体放射の内縁半径 (R_{in}) と内縁温度 (T_{in}) が逆相関しながら激しく変動し、コンプトン散乱成分も強く現れ、様々なタイプ (A,B,C) の準周期的変動 (QPO) も観測された。スペクトルパラメータは QPO 周波数や変動率 (RMS) などの時間変動結果とも極めてよく相関している。初期期間をすぎると T_{in} が 0.9 keV から 0.2 keV まで徐々に下がる減光フェーズ (ソフトもしくは中間状態) となり、 R_{in} は約 60 km と極めて安定に保たれ、最内縁安定軌道 (ISCO) に達したことを示唆する。あらためて初期段階を見ると R_{in} は数 100 km から徐々に小さくなり、ISCO に近付いたり遠ざかったりを繰り返している。Type-C QPO が出現する時には R_{in} と QPO 周波数との間に逆相関の関係が成り立ち、高温の移流優勢流と円盤の境界でおきている現象であることを示唆する一方、Type-A と B では R_{in} は ISCO に達しほぼ変動せず、QPO 周波数はむしろ光子指数 Γ に相関している。

[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](#)

W41a IXPE 衛星による恒星質量ブラックホール Swift J1727.8–1613 の準周期的振動 QPO に伴う偏光の変動とその起源について

二之湯開登 (東京理科大学), 山田真也 (立教大学), 五十嵐太一 (国立天文台/立教大学), 内田悠介 (東京理科大学), 幸村孝由 (東京理科大学), 早川亮大 (QUP/KEK), 伊藤世織 (東京理科大学)

ブラックホール (BH) 連星では、伴星からの質量降着により BH 周囲に X 線を放射する降着流が形成される。X 線スペクトルは、数 keV の降着円盤と数十 keV の高温プラズマであるコロナの存在を示している。また、BH 連星ではしばしば準周期的な X 線強度変動 QPO が観測される。周波数が 10 Hz 程度の低周波 QPO は、降着円盤の内側の高温コロナの Lense–Thirring 歳差運動 (Ingram et al. 2009) によって生じると考えられているが、その詳細は解明されていない。近年、X 線偏光観測衛星 IXPE によって降着流の幾何構造の理解が進みつつあり、IXPE による偏光をプローブとした QPO の観測は BH 近傍の降着流の運動に新たな知見を与えると期待できる。

2023 年 8 月のアウトバーストにより発見された恒星質量 BH Swift J1727.8–1613 は、IXPE においても QPO が観測された (e.g., Zhao et al. 2023)。我々は、短時間 X 線強度変動を捉える「ショット解析」(Negoro et al. 1994) を用いた偏光検出法を構築し (2024 年春季年会 W15a)、IXPE による Swift J1727.8–1613 の観測データの解析を行なった。ショット解析により低周波 QPO 由来の変動を捉えたプロファイルが得られた。QPO のプロファイルから、QPO の強度変動で明るい時間帯と、暗い時間帯に分けて偏光を調べたところ、偏光度の時間変動の兆候を得ることができた。ただし、IXPE で得られる低周波 QPO は信号が小さく光子統計が限られるので、系統誤差の影響など、さらなる詳細な解析が必要である。本講演では、偏光の変動から考えられる低周波 QPO の起源及び、QPO のような激しい変動における偏光解析の手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](#)

W42a X 線トランジェント天体 Swift J1727.8-1613 に対する山口干渉計と JVN の観測で得られた強度変動のモデル化によるジェットのパラメーター推定

龜本正徳 (山口大学), 岩切渉 (千葉大学), 榎戸輝揚 (京都大学), 志達めぐみ (愛媛大学), 根来均 (日本大学), 米倉覚則 (茨城大学), 藤沢健太, 新沼浩太郎 (山口大学)

Swift J1727.8–1613 は 2023/08/24 に Swift/BAT によって発見された X 線トランジェント天体であり (Page+2023), X 線観測などで低質量ブラックホール X 線連星と判明した。発見から 80 日ほどと長い hard/intermediate state で、その間の電波観測では 100 mJy と明るいコンパクトなジェットが観測された (Nandi+2024, Williams-Baldwin+2023)。一方で discrete ejecta は観測されておらず、ジェットの速度などは不明である。我々は 2023/09/19 に山口干渉計 (YI) と Japanese VLBI Network (JVN) を用いて 6/8 GHz 同時で 2.5 時間の観測を行った。その結果、YI が観測したフラックス密度に対して JVN では有意に低い値が得られた。それらの差は時間スケールが約 30 分で変動しており、これは JVN の 8 GHz の角度分解能である 8 mas より少し広がった構造、つまりジェットが存在して膨張・散逸していることを示す。Wood+2024 によって南北に広がった非対称なコンパクトジェットが観測されており、速度 $\beta \geq 0.27$ と傾斜角 $i < 74^\circ$ の制限が設けられている。我々は単純なジェットの輝度分布と運動を仮定して、YI と JVN で得られた強度変動を再現するジェットの成分をモデル化して、Swift J1727.8–1613 のジェットの特性を明らかにすることを試みた。その結果、ジェットの膨張速度 β_{exp} が $0.1 \leq \beta_{exp} \leq 0.5$ 、変動成分の角サイズ θ_0 が $1.0 \leq \theta_0 \leq 5.0$ mas と推定された。これらの値は Wood+2024 の結果と辻褄が合う。

[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](#)

W43a Blandford-Znajek 過程におけるブラックホールの回転エネルギー減少のメカニズムについて

當真賢二 (東北大), 中村雅徳 (八戸高専)

Blandford-Znajek (BZ) 過程は回転するブラックホール (BH) を貫く磁力線に沿った電磁エネルギー流出であり、活動銀河やガンマ線バーストなどの相対論的ジェットを駆動する主要な物理過程であると考えられている。この過程が働くことは事象の地平面の内側まで張られた座標系を用いた一般相対論的電磁流体シミュレーションで示されており、さまざまな場合で外向きの電磁エネルギー流束を評価できている。しかし、この評価は物理的に正しい反面、BH から直接エネルギーが流出することになっていることが直観的ではない。言い換えると、この磁力線に沿って保存する電磁エネルギー流束は無限遠で観測量であるが、地平面近く (エルゴ領域内) では空間的な 4 元ベクトルであって観測できるものではない (Lasota, Gourgoulhon, Abramowicz et al. 2014)。これまで、BH エネルギーの減少に関していくつかの文献で「負のエネルギーの流入」を考える別のメカニズムが提案されているが、負のエネルギーの定義やその流れの速度の定義は曖昧であった。本研究では、Takahashi & Tomimatsu (2008) の方法を用い、BZ 過程が起きている MHD インフローを解析的に解き、粒子エネルギーは正であることをあらためて確認した。その上で Toma & Takahara (2016) の解析を応用し、事象の地平面が座標特異である座標系を用いて、BH エネルギー減少のメカニズムを再考した。その結果、電磁エネルギー流束は事象の地平面の外で作られ、それは負の電磁エネルギーの生成と対になっていることがわかった。この場合の電流回路の構造についても議論する。また BZ 過程のこれまでの多くの解釈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](#)

W44a 特殊相対論的リーマン問題解法の改善法 2: 横成分速度の取り扱い方について

北島欽大, 犬塚修一郎 (名古屋大学)

宇宙物理学に現れる現象には流体が光速に近い速度で動いている場合があり、こういった現象を扱うには相対論的な数値流体計算が有効である。しかし、特殊相対論的な数値流体計算において、衝撃波の速度等が解像度によって大きく依存するという困難があり、これは Riemann 問題という単純な場合でも生じる。Riemann 問題とは、初期に仕切りの左右に一定値をもつ流体を入れ、その仕切りを外した時の時間発展問題である。特殊相対論的な場合はローレンツ因子が顕になるため、非相対論な場合とは異なり、仕切りに沿った速度成分 (横成分) も解に影響を及ぼす。膨張波が形成される領域において初期の横成分が大きい場合には、膨張波内部でリーマン不変量といった物理量が鋭く変化するため、膨大な解像度が必要であることを一次元計算によって示した (天文学会 2023 年秋季年会)。このとき、一次元計算の場合は横成分で保存する物理量から横成分の時間発展を解いている。そこで本講演では、二次元計算を用いることで横成分の運動方程式を解いた場合の計算結果を解析し、困難の解決法を論じる。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

W45a 輻射フィードバックを考慮した連星ブラックホールの軌道進化計算

鈴口智也 (京都大学), 杉村和幸 (北海道大学), 細川隆史 (京都大学), 松本倫明 (法政大学)

近年、連星ブラックホール (BH) の合体によって放出される重力波の検出が相次いでいる。重力波の観測では合体した BH の質量がわかるため、初期質量関数や恒星進化モデルを制限できると期待されている。そのためには連星 BH の起源を知る必要があるが、未だに解明されていない。

このような連星 BH 形成シナリオの 1 つに、活動銀河核円盤での連星形成がある。これは、円盤内で形成、あるいは円盤外で形成された後に移動してきた連星が、円盤ガスとの相互作用によって軌道を縮め、やがて重力波放出に至るというものである。Antoni et al. (2019) では、重心が直線運動する連星の軌道進化を 3 次元流体シミュレーションによって調べてられており、円盤の寿命に比べて十分短い時間で軌道が減衰することが示されている。

しかし、これらの先行研究では、ガス降着に伴う輻射フィードバックが考慮されておらず、降着率が高くなり BH 質量が観測と合致しないという問題があった。輻射を考慮すれば電離によってガスの温度が上昇し、結果として密度が低下するため、降着率を抑制し BH 質量の増加を抑えることができる。密度が低下しても合体に至る軌道進化が可能かどうかは数値シミュレーションによる検証が必要であるが、そのような研究は未開拓である。

本研究では、3 次元輻射流体シミュレーションコードである SFUMATO-RT (Mastumoto 2007, Sugimura et al. 2020) を用いて、輻射を考慮した上で重心が直線運動する連星 BH の軌道進化計算を、ガスの初期密度をパラメータとして行った。その結果、初期密度が大きくなるにつれて輻射が効かなくなり、それに伴ってガス降着率が上昇することがわかった。また、輻射が効かなくなるにつれて周囲の構造も変化するため、軌道進化の時間スケールも変わることがわかった。講演ではこれらの結果と活動銀河核円盤での連星 BH 合体との関係についても議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

W46a 重力マイクロレンズ法による恒星質量ブラックホールのキック速度への制限

越本直季 (大阪大学), 川中宣太 (国立天文台, 東京都立大学), 津名大地 (カリフォルニア工科大学, 東京大学)

ブラックホール (BH) が出生時に受けるキック速度の分布は、BH 形成過程を理解する上で重要である。重力マイクロレンズ法は、銀河系における BH の分布を伴星や降着ガスの有無によるバイアスなく調査できる唯一の方法であり、2022 年には世界初の孤立恒星質量 BH が同手法を用いて発見された。本研究では、銀河系内の BH のキック速度の分布としてマクスウェル分布を仮定し、その平均速度 v_{avg} を様々に変化させた時に、銀河系バルジ方向のマイクロレンズ現象の分布がどう影響されるかを調べた。その結果、平均速度 v_{avg} が大きくなるにつれて、銀河系バルジ方向の BH レンズの発生頻度は減少することがわかった。これは、平均速度に伴って BH の銀河系内分布のスケールハイトが高くなり、銀緯が低いバルジ方向の BH レンズの数も相対的に減少するためである。次に、同じモデルを用いて、OGLE による 2010 年から 2017 年までのマイクロレンズサーベイ中に、上述の孤立恒星質量 BH イベント OB110462 と同じようなパラメータを持つ BH イベントが発生する期待値を v_{avg} の関数で計算した。その結果、 $v_{\text{avg}} = 25 \text{ km/sec}$, 50 km/sec , 100 km/sec , 200 km/sec , 400 km/sec で期待値はそれぞれ 0.26, 0.19, 0.095, 0.020, 1.8×10^{-3} 個となった。実際の発生数は少なくとも 1 個であるため、BH のキック速度分布の平均速度は $\lesssim 100 \text{ km/sec}$ である可能性が高いと結論づけた。本研究をまとめた論文は投稿中であり (arXiv:2405.07502)、本講演ではその内容を報告する。

[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](#)

W47c ブラックホール磁気圏 1 次元一般相対論的シミュレーション：ガンマ線放射のスピンの依存性

金混基 (東北大学), 木坂将大 (広島大学), 當真賢二 (東北大学)

星間空間には約 10^8 個に及ぶ恒星質量ブラックホール (BH) が存在すると予想されるが、そのほとんどが未検出である。その検出可能性の一つとして、恒星質量 BH への星間ガス降着に伴う電磁波放射が考えられる。我々はこれまでの研究で、ガス降着に伴う効率的な磁束輸送により BH 周辺に形成される、磁気圏と呼ばれる電磁場優勢領域について、1 次元一般相対論的プラズマ粒子シミュレーションを用いて調べた。その結果、BH が高いスピンをもつ場合において、磁気圏内部で局所的に強電場が発達し、非熱的粒子によるガンマ線放射が卓越することを示した。一方で、恒星質量 BH のスピンの典型値は不明である。強電場領域のダイナミクスは非線型であり、シミュレーションを用いて粒子加速効率・ガンマ線放射強度のスピンの依存性を明らかにすることは、検出可能性を幅広く議論する上で重要である。

そこで、本研究では、恒星質量 BH 磁気圏 1 次元一般相対論的プラズマ粒子シミュレーションにより、幅広いスピンの大きさに対して磁気圏強電場領域の挙動を調べた。その結果、低スピンの状況でも効率的な粒子加速が見られ、明るいガンマ線放射がみられることを示した。講演では、プラズマの挙動や放射効率のスピンの依存性についても考察する。

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

W48a JWST による銀河観測が与える高赤方偏移ガンマ線バーストへの示唆

松本達矢 (京都大学)

2022 年から本格的な観測を開始した James Webb Space Telescope (JWST) は人類がこれまで到達できなかった高赤方偏移宇宙の様々な情報を我々にもたらしている。特に、多くの遠方銀河を検出することで得られる光度関数は $z \gtrsim 10$ で従来の理論予想よりも明るい銀河が多いことを示唆しており、高赤方偏移宇宙での銀河・星形成過程が現在活発に議論されている。銀河以外に遠方宇宙のプロープになる天体として明るい爆発現象であるガンマ線バースト (GRB) が挙げられる。特に長い GRB は大質量星の重力崩壊によって駆動されていると考えられるため、高赤方偏移 GRB の検出は遠方宇宙の星形成過程に関する情報を提供しうる。そこで、我々は JWST によって得られた星形成史の情報を用いて高赤方偏移 GRB イベントレートの理論計算を行う。これまで Swift 衛星によって観測された GRB の分布などとの整合性を検討した上で、高赤方偏移 GRB が HiZ-GUNDAM や今年打ち上げられた Einstein Probe などの検出器で今後観測されうるかなどを議論する。

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

W49a ガンマ線バーストの後期ジェットとコクーン光子による Bulk Compton 放射

松井理輝, 木村成生 (東北大学)

ショートガンマ線バーストには Extended Emission、ロングガンマ線バーストには X 線フレアと呼ばれる数百秒続く X 線放射成分が伴うことがある。これらの放射成分は、ガンマ線バーストの中心エンジンが長期的に活動してジェットを生成していることを示唆するが、そのような長期活動で生成されるジェット (後期ジェット) の性質は明らかになっていない。後期ジェットの性質を探るため本研究では、後期ジェット中の低温電子がジェット周囲の光子をコンプトン散乱して生成する放射 (Bulk Compton 放射) についてスペクトル計算を行った。後期ジェットの周囲には、即時放射を起こすジェットと親星の相互作用で形成されたコクーンと呼ばれる構造があり、このコクーンが放つ光子が Bulk Compton 放射の種光子となることが考えられる。この種光子が熱的分布を持つことから、Bulk Compton 放射のスペクトルにも指数関数的カットオフが現れることがわかった。このカットオフ及びその周波数における光度は後期ジェットのローレンツ因子に強く依存する。本発表では、Extended Emission と X 線フレアに付随した Bulk Compton 放射スペクトルとその観測可能性を紹介する。また、この放射成分の検出の可否から後期ジェットのローレンツ因子が制限されることを示す。

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

W50a Late Engine Activity in Neutron Star Mergers As An Alternative Scenario for the Blue Kilonova

Hamid Hamidani¹, Shigeo Kimura¹, Masaomi Tanaka¹, and Kunihiro Ioka² ¹ Astronomical Institute, Tohoku University, Aoba, Sendai 980-8578, Japan ² Yukawa Institute for Theoretical Physics, Kyoto University, Kyoto 606-8502, Japan

Follow-up observations of short gamma-ray bursts (sGRBs) have continuously unveiled late extended/plateau emissions, attributed to jet launch due to late engine activity, the nature of which remains enigmatic. Observations of GW170817 confirmed that sGRBs are linked to neutron star (NS) mergers, and discovered a kilonova (KN) transient. Nevertheless, the origin of the early blue KN in GW170817 remains unclear. Here, we investigate the propagation of late jets in the merger ejecta. Our results reveal that late jets generate significantly brighter cocoons compared to prompt jets, primarily due to reduced energy loss by adiabatic cooling. Notably, with typical late jets, emission from the cocoon trapped inside the ejecta can reproduce the blue KN emission. We estimate that the forthcoming Einstein Probe mission will detect the early cocoon emission with a rate of a few events per year, and that optical/UV follow-ups in the LIGO-VIRGO-KAGRA O5 run will be able to detect about one cocoon emission events. As an electromagnetic counterpart, this emission provides an independent tool to probe NS mergers in the Universe, complementing insights from sGRBs and gravitational waves.

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

W51a 輻射輸送シミュレーションと解析的モデルを用いたキロノバ光度曲線の物理的解釈

北村文里, 田中雅臣 (東北大学), 川口恭平 (マックス・プランク研究所)

宇宙における重元素の起源、特に速い中性子捕獲反応 (r プロセス) で合成される元素の起源はまだ解明されていない。連星中性子星の合体現象は、r プロセスが起こる有力な候補である。中性子星合体には物質の放出が伴い、理論的には $v_{ej} > 0.1 c$, $M_{ej} < 0.01 M_{\odot}$ 程度で重い元素からなる dynamical ejecta と、 $v_{ej} \sim 0.05 c$, $M_{ej} > 0.01 M_{\odot}$ 程度で比較的軽い元素からなる post-merger ejecta といった多成分からなる放出物質の存在が予想されている。これらの放出物質は放射性崩壊をエネルギー源として電磁波放射 (キロノバ) を起こし、その光度や持続期間は放出された物質の質量・速度、元素の種類に依存する。キロノバの光度曲線からそれらの物理量を推定するため、超新星爆発などと同様に解析的モデルを用いたパラメータ推定がこれまで行われてきた。実際、Villar et al. (2017) などの先行研究では、観測例の GW170817 に対してこの手法が適用されたが、推定されたパラメータと数値相対論シミュレーションの結果が示唆する各 ejecta の性質には食い違いが指摘されている。本研究では、この食い違いの原因を明らかにするため、数値相対論シミュレーションを初期条件とした輻射輸送シミュレーションの結果を観測データとして仮定し、解析的モデルでパラメータ推定を行った。その結果、推定されるパラメータがシミュレーションの初期条件を必ずしも再現しないことが明らかになった。講演では、複数のシミュレーションモデルを用いて、視線方向や合体する中性子星の質量に対するパラメータ推定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](#)

W52a キロノバのスペクトルにおけるトリウムの特徴: 最も重い元素の同定可能性

土本菜々恵、田中雅臣 (東北大学)、和南城伸也 (マックス・プランク研究所)、加藤太治 (核融合科学研究所)

宇宙における重元素の起源、特に速い中性子捕獲元素合成 (r プロセス) を必要とする元素の起源は未だ解明されていない。2017 年には連星中性子星合体からの重力波 (GW170817) 検出とそれに付随した電磁波放射 (キロノバ) の観測により、中性子星合体で r プロセスが起こっていることが確認された。これまでに、可視光・赤外線のスpectrumにおける吸収特徴からストロンチウム (原子番号 38)、ランタン (原子番号 57)、セリウム (原子番号 58) の同定が、また輝線特徴からテルル (原子番号 52) の同定が報告されている。

非常に中性子過剰な放出物質では、r プロセスにより金やプラチナ (原子番号 78, 79)、アクチノイドなどの元素が豊富に合成されると期待されている。しかし、これらの元素が合成された証拠を観測的に得る方法は確立していない。ストロンチウム、ランタン、セリウムは全て周期表の左側に属して比較的単純な原子構造を持っており、これらの元素が spectrum に吸収特徴を作ることは原子の性質で説明できる。そこで我々はこれらの元素と同様の原子構造を持つと期待されるラジウム、アクチニウム、トリウム (原子番号 88-90) に着目し、それぞれの元素がキロノバの spectrum に吸収特徴を作るかどうかを調べた。分光実験のデータベースに基づいて束縛遷移データを構築し、これを用いてキロノバの輻射輸送シミュレーションを行った。その結果、中性子星合体の放出物質において唯一トリウムが強い吸収を示す束縛遷移を持ち、それらが赤外線領域で吸収特徴を作ることが明らかになった。講演ではトリウムの吸収特徴を検出するための条件や観測可能性についても議論する。

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

W53a 連星中性子星合体初期の自由中性子放射における水素ライン吸収の影響

石井 彩子 (山形大学)、茂山俊和 (東京大学)、高橋亘 (国立天文台)

2017 年に初めて観測された連星中性子星合体イベントでは、発生から約 20 日にわたってガンマ線、X 線、可視光、電波などの多波長の電磁波放射が観測された。しかしこのイベントを含め、合体後数時間以内のごく初期段階の電磁波放射はまだ観測例がない。合体直後の放射は、2 つの中性子星の接触面で生じる衝撃波によって加熱され高速で放出された物質から生じると考えられる。最初期の放射から放出された物質の質量や速度などがわかれば、合体直後に物質に与えられたエネルギーを推定でき、中性子星合体の物理にも迫ることができるため、最初期の放射のモデル化は重要である。中性子星合体からの電磁波放射はキロノバモデルでよく説明されるが、合体後約 0.1 日より前の放射については高温での重元素のオパシティデータの不足によりまだ明らかにされていない。

一方で、合体から数時間後に中性子星のもっとも外側にある自由中性子層から放射が起こる、とする自由中性子放射シナリオが提唱されている。中性子星最外層は光速に迫る速さで膨張しており、そこでは温度・密度が急激に低下するため重元素合成反応が抑制され自由中性子がたくさん存在するようになり、それらがベータ崩壊を起こして周囲の物質を温め熱的放射を起こす、というのがこのシナリオである。本研究では、この自由中性子放射シナリオに基づき、中性子星合体からの最初期の放射の特徴を予測することを目的とする。我々の先行研究において、1 次元相対論的流体計算および元素合成反応計算により自由中性子層が確かに存在することが示され、さらにその放射は合体後約 30 分で紫外線帯域において観測されることがわかった。本講演では、さらに自由中性子層における水素の電離・再結合反応の時間進化を計算し、自由中性子放射の spectrum において中性水素によるライン吸収の影響がどの程度生じるのか解析した結果を発表する。

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

W54a 相対論的衝撃と密度塊との相互作用が駆動する磁気乱流の性質

森川莞地、大平豊、大村匠 (東京大学)

ガンマ線バーストなどのコンパクト天体において、中心エンジンからは光速に近い速度で伝播するジェットが放出される。このジェットは周囲のプラズマとの相互作用により、相対論的衝撃波を形成することが知られている。相対論的衝撃波では 1 次 Fermi 加速により、粒子が加速されることが期待されており、そのためには十分に乱れた磁場が必要であることが示唆されている。しかしながら、この相対論的衝撃波での磁気乱流の起源は長年の謎である。

一つの磁気乱流生成機構の候補として、相対論的衝撃波での磁気乱流として、衝撃波と衝撃波上流に存在する密度塊との相互作用によるダイナモ効果が挙げられる。この物理プロセスは衝撃波速度 Γ_{sh} が $\Gamma_{sh} \lesssim 2$ の領域では効率的に磁場増幅が起きることが示されていたものの、相対論的な領域で磁気乱流が十分増幅されるかはわかっていない。

本研究では磁気流体シミュレーションを用いて相対論的衝撃波と密度塊の相互作用を計算し、衝撃波下流にどれほどの磁気乱流が駆動されるかを明らかにする。また、相対論的衝撃波での粒子加速に必要な磁場や密度塊の振幅などの依存性についても議論する。

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

W55a 重力波観測ラン O4b における J-GEM の電磁波対応天体探査

笹田真人, 高橋一郎 (東京工業大学), 内海洋輔, 吉田道利, 富永望, 柳澤顕史 (国立天文台), 伊藤亮介 (美星天文台), 田中雅臣 (東北大学), 諸隈智貴, 秋田谷洋 (千葉工業大学), 関口雄一郎 (東邦大学), 川端弘治 (広島大学), 太田耕司, 田口健太 (京都大学) J-GEM Collaboration

2023 年に始まった重力波観測ラン O4 では中性子星を含む連星合体現象から放射されたと考えられる重力波も検出され、重力波源の電磁波放射検出が期待されている。この電磁波対応天体を検出するためには、重力波到来方向の信頼領域内から突発的に増光する突発天体を検出する必要があるが、信頼領域の広さは稼働している重力波検出器の個数に依存し、数十から数千平方度にあたる。観測ラン O4a ではほとんどの期間で重力波検出器 LIGO のみの運用であったため、重力波到来方向の信頼領域が広すぎる電磁波対応天体の検出は困難であった。

2024 年 4 月から重力波検出器 LIGO および Virgo による重力波観測ラン O4b が開始され、信頼領域が数十平方度の重力波イベントが複数検出されるようになった。日本の重力波追跡観測チーム J-GEM (Japanese collaboration of Gravitational wave Electro-Magnetic follow-up) は、日本所属の望遠鏡群を用いて可視近赤外線でのフォローアップを行い、重力波電磁波対応天体の検出および追跡観測を目的とする。対応天体の検出・同定を効率的に行うために、J-GEM では重力波到来可能性を持つ体積内の候補母銀河の位置および各望遠鏡の観測記録等を情報共有するウェブシステムや観測画像から突発天体を発見するための画像解析システムを駆使し、O4 でもフォローアップを実施している。J-GEM による O3 ランでの観測実績から中小口径望遠鏡による観測では距離 100Mpc 以内の中性子星連星合体について、500 平方度以内の信頼領域であれば検出可能と見積もられ、O4b での重力波対応天体の検出が期待できる。講演では O4b における J-GEM による電磁波フォローアップ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](#)

W56a せいめい望遠鏡/TriCCS を用いた重力波天体の追観測用スクリプトの開発

田口健太, 太田耕司 (京都大学), 前原裕之 (国立天文台), 前田啓一, 川端美穂 (京都大学), J-GEM Collaboration

我々は、重力波源の電磁波対応天体の同定を速やかに行うために、京都大学せいめい望遠鏡のキューシステムおよび、3 色同時撮像カメラ TriCCS (Tricolor CMOS Camera and Spectrograph) を利用した、サーベイ観測スクリプトを作成した。重力波の到来方向は大きめにしか決まらず、2024 年 4 月に重力波検出器 LIGO と Virgo によって開始された観測ラン O4b では、狭いものでも数十平方度の誤差がある。一方、TriCCS の視野は 12.6×7.5 分角しかないため、この領域全てを撮像するのは現実的ではない。そこで、この領域内に存在する銀河を順番に撮像観測をするというアプローチをとる。重力波源の光赤外・電波追観測の日本のネットワークである J-GEM (Japanese Collaboration for Gravitational-Wave Electro-Magnetic Follow-up) では、重力波アラートを受け、その誤差領域内の銀河の中から、重力波源が存在する可能性の高い順に銀河リストを即時に生成する仕組みを準備している。このリストに従い、せいめい望遠鏡で観測可能な銀河を順次撮像観測する。O4b ランで検出された中性子星とブラックホールの合体現象である S240422ed に対して、本スクリプトを用いたテスト観測を行った。悪天候のため 1 銀河しか撮像できなかったが、本スクリプトが動作することは確認できた。さらに、本スクリプトで取得した観測データ用の自動解析スクリプトも開発中である。このスクリプトでは、基本的な一次処理を行い、J-GEM での観測データの集約・差分システムである J-GEM Image Server へ観測データを即時に転送ことを目指す。本発表では、これらのスクリプト開発の進捗状況を講演する。

[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](#)

W57a 重力波イベント S240422ed に対する J-GEM による電磁波対応天体探査

高橋一郎, 笹田真人 (東京工業大学), 諸隈智貴, 秋田谷洋 (千葉工業大学), 吉田道利, 富永望, 内海洋輔, 田中壱 (国立天文台), 田中雅臣 (東北大学), 伊藤亮介 (美星天文台), J-GEM Collaboration

重力波検出器 LIGO および Virgo, KAGRA による重力波観測が進められており、2024 年 4 月からは第四期後半の観測 (O4b ラン) が始まった。中性子星を含むコンパクト連星合体に対して電磁波による測光・分光観測によって、合体後の爆発・元素合成過程を明らかにするため、GW170817 に次ぐ重力波源の電磁波対応天体の同定が求められている。J-GEM は重力波の電磁波対応天体を同定・追観測することを目的に、日本の望遠鏡群を用いて可視光および近赤外線帯域でのフォローアップ観測を行う共同研究グループであり、O4b ランにおいても対応天体探査を行っている。

O4b ラン中に検出された重力波イベントの一つである S240422ed はその起源が中性子星とブラックホールの合体 (NSBH) である確率と電磁波対応天体発生の確率がともに極めて高い (>99%) ことが GCNC に報告された。そこで我々 J-GEM Collaboration は即座に対応天体の探査を開始した。重力波検出の 7.8 時間後からすばる望遠鏡 MOIRCS による重力波到来方向の誤差領域内にある銀河の近赤外線撮像観測を開始し、2 夜で約 200 の銀河を Y バンドと Ks バンドで観測した (GCNC 36265, 36302)。観測データの解析の結果、候補銀河 GL080850–243120 の付近に対応天体候補 J-GEM24a を発見し、座標と測光結果 (Y~19.7 等) を GCNC へ報告した (GCNC 36333)。その後、VLT/XShooter による母銀河候補の分光観測から赤方偏移 $z=0.055$ と求まり、イベントから 8.7 日後の Gemini-South/GMOS による測光観測ではこの天体は検出されず、z バンドで 23.9 等の上限値が報告された。

本講演では、S240422ed に対する J-GEM による電磁波対応天体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](#)

X01a JWST 輝線観測が解剖する原始銀河団に付随する大質量銀河の活動状態

嶋川里澄 (早稲田大学), 小山佑世 (NAOJ), 児玉忠恭 (東北大学), 田中賢幸, 田中壱 (NAOJ), et al.

近赤外線観測は紫外光や可視光に比べて塵の影響を受けにくいいため、塵の埋もれた大質量星形成銀河の性質を調べるのに非常に適している。近年 JWST 宇宙望遠鏡によって、高赤方偏移銀河の高分解能かつ深い近赤外線観測が初めて実現したことで、今まで謎に包まれていた様々な天体の近赤外線域における姿が詳細に明らかにされ始めている。本講演では、近傍銀河団の楕円銀河の形成史を暴くべく、JWST 近赤外線カメラで捉えた赤方偏移 2.2 にあるスパイダーウェブ原始銀河の $\text{Pa}\beta$ 画像解析の初期成果を報告する。これまで多波長データと SED 解析に基づく我々の先行研究から、スパイダーウェブ原始銀河団では大質量銀河の約半数に活動銀河核が存在し、かつその多くで星形成が衰退していることが示唆されていた。本研究はこれを直接検証するべく、JWST で撮られた高解像度 $\text{Pa}\beta$ 画像を使って大質量銀河の活動状態を空間分解して調べた。結果、活動銀河核を持たない大質量銀河では銀河円盤での星形成が顕著に見られる一方で、活動銀河核を宿す大質量銀河では、母銀河の星形成が検出できず、中心核のみから有意な $\text{Pa}\beta$ 輝線を放出している様子が確認できた。さらに後者ではより高い星集中度が観測されたことから、中心核に起因するフィードバックによる星形成抑制効果の現場を捉えたものであると結論づけた。本結果は近年支持される、活動銀河核に伴う銀河団の楕円銀河形論を強く支持するものである。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)[スケジュール \(全体\) に戻る](#)[講演者索引 TOP に戻る](#)X02a $z \sim 2$ の銀河団とその周辺領域における中性水素による $\text{Ly}\alpha$ の散乱効果

船木美空, 児玉忠恭, 久保真理子, 大工原一貴 (東北大学)

銀河形成には、冷たいガスの降着が重要な役割を果たしている。中でも、 $z \sim 2$ は銀河や銀河団へのガスの降着が効率的に行われ、星形成の活動性も最盛期を迎えた時代である (cosmic noon)。銀河団質量の成長に伴って、銀河団コアは衝撃波加熱によりいずれ高温になり、銀河団ガス (ICM) は完全に電離する。そのため、冷たいガスの降着は、銀河形成や宇宙の電離史を紐解く上で鍵となっている。しかし、冷たい中性水素 (H I) ガスを直接観測することは難しく、ガス降着の実態と銀河形成との関係は不明のままである。

そこで本研究では、 $\text{H}\alpha$ と $\text{Ly}\alpha$ の共鳴散乱効果の違いを利用したユニークな手法を用いて、間接的に H I ガスの分布を調査した。実際に、Subaru/HSC の狭帯域フィルターを使用し、COSMOS 領域に存在する $z = 2.23$ の原始銀河団及びその周辺の大規模構造の広視野撮像観測を行った。この領域では、HiZELS サーベイによってすでに多数の $\text{H}\alpha$ 発光天体 (HAE) が発見され、1 度超のスケールに渡ってフィラメント状の構造が確認されている。また、CLAMATO H I トモグラフィーサーベイにより、周辺領域では H I ガスの超過も発見されている。

観測の結果、原始銀河団を中心とする $40 \text{ cMpc} \times 40 \text{ cMpc}$ の領域内に 786 個の $\text{Ly}\alpha$ 発光天体 (LAE) を発見した。また、LAE と HAE の空間分布の比較と、両輝線プロファイルの比較により、 $\text{Ly}\alpha$ の共鳴散乱とダスト減光に大きな環境依存性があることを発見した。本講演では、これらの結果に基づき、冷たいガスが周囲のフィラメント構造に沿ってどのように銀河団へ降着し、その後銀河団コアがどのように電離され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](#)

X03a 原始銀河団周囲に形成される巨大電離バブルとクラスタリングの影響

矢島秀伸, 曾我健太 (筑波大学), 安部牧人 (呉工業高等専門学校)

初期宇宙の天体からの紫外線によって引き起こされたと考えられている宇宙再電離は、赤方偏移約 6 で完了したと考えられているが、その電離史や電離構造は未だ良く分かっていない。近年、ジェームズウェーブ宇宙望遠鏡による分光観測によって、遠方銀河周囲の電離バブルが制限されるようになってきた (Umeda et al. 2023)。また、赤方偏移 10 を超える銀河からのライマンアルファ輝線も観測されており、巨大な電離バブルの存在が示唆されている (Bunker et al. 2023)。

本研究では、原始銀河団に着目したシミュレーション FOREVER22 (Yajima et al. 2022) に対して輻射輸送計算を行い、銀河からの電離光子脱出率、そして銀河間ガスに形成される電離バブルについて調べた。結果として、赤方偏移 10 において、原始銀河団のコア領域には数 cMpc の半径の巨大電離バブルが形成されることが分かった。このような巨大電離バブルによって、ライマンアルファ輝線の銀河間ガス透過率は 10 パーセント以上になりえる。また、ハロー質量や星形成率が大きくない銀河も、クラスタリングの効果によって原始銀河団コアに分布している場合、巨大電離バブルに包まれていることが分かった。本講演では、これら電離バブルの統計的性質、形状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](#)

X04a 原始銀河団 SSA22 に位置する AGN を持つ爆発的星形成銀河の CO 輝線を用いた分子ガスの物理状態診断

岡内紀翔, 梅畑豪紀, 田村陽一, 谷口暁星, Shuo Huang, 萩本将都 (名古屋大学), 河野孝太郎 (東京大学), 中西康一郎 (国立天文台)

銀河団の祖先と考えられている原始銀河団の研究は、高密度環境における銀河進化の過程を理解する上で重要である。 $z = 3.09$ の原始銀河団 SSA22 は多波長の観測が盛んに行われており、ALMA によって原始銀河団中心部からダストが豊富な爆発的星形成銀河 (DSFGs) が多数発見されている。原始銀河団中心部の DSFGs や AGNs はガスのフィラメント状構造に付随しており、銀河外からのガス流入による銀河や超大質量ブラックホール (SMBH) の成長が示唆されている。環境効果によって、銀河や SMBH の成長が原始銀河団中心部全体で促進される描像は明らかになりつつあるが、個々の銀河における分子ガスの物理状態が環境から受ける影響は明らかではない。

本研究では、原始銀河団中心部で観測された DSFGs の中でも特に明るく (全赤外線光度 $L_{\text{IR}} \geq 10^{12.4} L_{\odot}$)、X 線で同定された AGN を持つ 4 つの DSFGs に注目し、JVLA による CO ($J = 1-0$)、ALMA による CO ($J = 3-2$)、CO ($J = 8-7$)、CO ($J = 9-8$)、CO ($J = 12-11$) の観測結果から、CO spectral line energy distribution (CO SLED) を作成した。同程度の L_{IR} を持つ $z = 2-4$ の DSFGs の CO SLED と比較して、high- J CO 側で特異性は見られなかった。また、非局所熱力学平衡の輻射輸送計算コード RADEX を用いて、CO SLED を再現するガスの運動温度、 H_2 の数密度、CO の柱密度を推定した。先行研究による他の天体の結果と比較して、運動温度は $T_{\text{kin}} > 500 \text{ K}$ と高い傾向を示し、AGN による加熱を示唆する結果となった。これらは銀河の分子ガスの物理状態が原始銀河団環境よりも、AGN のような局所的な高エネルギー現象からの影響を強く受け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](#)

X05a すばる HSC を用いた $1 < z < 3$ における [OIII] 強輝線銀河の統計的性質

今井聖也 (総合研究大学院大学/国立天文台), 田中賢幸, 矢部清人, 小山佑世, 小野寺仁人, 安藤誠 (国立天文台)

James Webb Space Telescope (JWST) の登場により、赤方偏移 6 を超える高赤方偏移銀河が多数観測されている。観測の結果、これらの銀河は大きい等価幅をもつ [OIII]+H β の強い輝線を持つこと、現代に進むにつれて等価幅が減少していくことがわかった。JWST は深い観測を行えるが、視野が狭いため観測できる領域は非常に限られている。一方、高赤方偏移の銀河同様に強い [OIII] 輝線をもつ銀河が局所宇宙でも稀に存在することが、JWST の登場以前に Sloan Digital Sky Survey の観測を用いた市民天文学プロジェクトによって発見されている。現在も局所銀河での [OIII] 輝線銀河探索は行われているが、等価幅が 1000 Å を超えるような [OIII] 輝線銀河は数十天体しか発見されていない。そのため、1000 Å を超える非常に強い [OIII] 輝線を持つ銀河の性質は未解明である。本研究ではすばる望遠鏡の Hyper Supreme Cam 戦略枠プログラム (HSC-SSP) で作成された、HSC の可視光観測と他の望遠鏡の近紫外線、近赤外線、近赤外線の観測を組み合わせた多色測光カタログを用いることで、赤方偏移 1 から 3 における [OIII] 輝線銀河の統計的性質を明らかにする。現在は初期解析として COSMOS と呼ばれる領域で J-H vs H-K の 2 色図と種族合成モデルを用いて赤方偏移 2 から 2.6 の [OIII] 輝線銀河を探索している。選択した天体に SED フィッティングを行った結果、赤方偏移 2 から 2.6 でおよそ 400 天体の [OIII] 輝線銀河候補を発見した。その中には等価幅が 2000 Å を超える天体も含まれていた。候補天体は $10^{9.5}$ 付近にピークをもち、 10^{10} より重い天体は個数が大きく減少することがわかった。本講演では、これらの結果を紹介し、その性質について議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

X06a ALMA Lensing Cluster Survey: 輝線銀河のブラインドかつ無バイアス探索

成田 佳奈香, 廿日出 文洋 (U.Tokyo/NAOJ), 河野 孝太郎 (U.Tokyo), Francesco Valentino (University of Copenhagen), 藤本征史 (University of Texas at Austin), Jorge Gonzalez Lopez (Pontificia Universidad Católica de Chile), Neil Nagar (Universidad de Concepcion), Jean-Baptiste Jolly (MPE), ALCS Collaboration 他

宇宙の分子ガス密度の変遷は、宇宙の星形成史を解明する上で重要であるにも関わらずその全貌は明らかになっていない。分子ガスは CO、[CI]、[CII] のミリ波・サブミリ波の輝線で観測することが出来るが、大半の観測は、他波長で選択された銀河のフォローアップ観測に留まっており、無バイアスな探索は極めて限定的であった。

我々は、ALMA Lensing Cluster Survey で得られたデータ (観測周波数 250.0 – 257.5 GHz と 265.0 – 272.5 GHz; 広さおよそ 133 arcmin²; 典型的なビームサイズ $\sim 1''$) を用いて、重力レンズで増光された 33 の銀河団領域に対して無バイアスかつブラインドで輝線銀河を探索した。速度幅 $\simeq 60 \text{ km s}^{-1}$ と $\simeq 150 \text{ km s}^{-1}$ の 3 次元データキューブを作成し、先行研究の ALMA 輝線探索で用いられたソフトウェアを用い S/N=5 以上の 68 の輝線銀河候補を検出した。そのうち可視/近赤外で対応天体を同定し、21 天体で SED フィットに成功し、測光赤方偏移、星形成率、恒星質量を導出した。推定された測光赤方偏移より、10 個の CO 輝線 ($z = 0.29-1.14$)、1 つの [CII] 輝線 ($z = 6.07$) と 1 つの [CI] 輝線 ($z = 0.92$) を同定した。その大半は、分子ガス量-星形成率平面上では一般的な星形成銀河と同様の位置に分布していた。過去の ALMA での一般領域の探索と比較して、分子ガス質量で 2 桁小さく (中央値で $2.3 \times 10^9 M_{\odot}$)、星形成率で 20 倍低い (中央値で $2.2 M_{\odot} \text{ yr}^{-1}$) サンプルを取得できた。これらは輝線銀河の光度関数や宇宙の分子ガス質量変遷を制限する上で有用なサンプルとなる。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

X07a GALAXY CRUISE: classifying HSC-like mock galaxies from the TNG50

Makoto Ando, Masayuki Tanaka, Michitaro Koike, Sei'ichiro Naito, Kumiko Usuda-Sato, Hitoshi Yamaoka (NAOJ), Kei Ito (Univ. Tokyo), Rhythm Shimakawa (Waseda Univ.), Conner Bottrell (ICRAR), and the GALAXY CRUISE project

GALAXY CRUISE is a Citizen Astronomy project led by the National Astronomical Observatory of Japan using deep optical imaging from the Hyper-Suprime Cam (HSC) Subaru Strategic Program. After a brief training course, participants ("crews") are invited to visually classify the morphologies of bright galaxies in the nearby Universe (i.e., $z \lesssim 0.2$). Equipped with the deep images produced by the 8-meter-class Subaru telescope, crews can capture even the faintest stellar structures, including the tidal signatures of galaxy interactions and past mergers. To better understand the role of interactions in galaxy evolution, the sensitivity of these signatures to key characteristics of interactions must be established – including the merger mass ratios and the time relative to coalescence. However, measuring accurate merger mass ratios and post-coalescence timescales for observed galaxies is not tractable a posteriori. In contrast, cosmological hydrodynamical simulations have the advantage of a priori knowledge of individual galaxy merger histories, including these key quantities. Therefore, we launched a campaign to classify mock HSC images of galaxies from the high-resolution TNG50 cosmological simulation on the GALAXY CRUISE platform. On our September 2023 to March 2024 sailing, we collected $\sim 270K$ classifications for more than 5000 mock images of TNG50 galaxies at $z = 0.1$. This talk will discuss the results of our initial analysis and its implications for GALAXY CRUISE classifications of "real" 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](#)

X08b 銀河の性質と環境の相互依存性: グラフニューラルネットワークを用いた解析

内田 舜也¹, 竹内 努^{1,2}, Suchetha Cooray³, 西澤 淳^{4,1} (1: 名古屋大学, 2: 統計数理研究所, 3: Stanford University, 4: 岐阜聖徳学園大学)

現在の宇宙において、銀河は孤立した天体ではなく、その性質は環境に大きく依存している。小スケール (~ 1 kpc) では、銀河の合体がガスの流入、ガスの金属量の変化、中心ブラックホールへの降着を通じて銀河の特性に影響を与えることが知られている。中間スケール (~ 1 Mpc) では、相互作用するハローの潮汐効果がそれぞれのハローの形成に影響を与え、銀河ハローの歴史に影響を与える可能性がある。より大きなスケール (ハローのビリアル半径より大きい距離; $1\sim 4$ Mpc) では、銀河の星形成率に相関があることが知られている (galactic conformity)。したがって、銀河とその空間分布との関係を理解することが重要である。空間分布の特徴の定量化の方法として、伝統的には二点相関関数などが用いられてきた。しかし、従来の統計的手法は銀河分布の平均的特徴量を扱うため、個別の位置情報は失われ、環境依存性の取り扱いが困難となる。そこで、銀河のグラフデータの情報をを用いた新たな解析法を考案した。グラフデータは、銀河の 3D 分布のような情報を持つ空間ポイントデータを表すのに理想的な数学的データ構造である。ノード (頂点) とエッジ (辺) から構成され、ノードは個々の特徴量 (例えば、銀河の恒星質量や SFR) を、エッジはそれらの要素間の関係や相互作用 (銀河間距離) を表す。このデータ形式は、銀河の特徴量と空間分布の情報を同時に関連させることができるため、環境効果の理解に適している。本研究では、UniverseMachine や IllustrisTNG などのシミュレーションデータからグラフデータを構成する。構成したグラフデータを用いて、銀河の性質が周囲の銀河からどの程度定まるのかを、機械学習手法の一種であるグラフニューラルネットワークの予測結果から定量的に評価し、パフォーマンスについて議論する。

[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](#)

X09b COSMOS 領域における $z = 0.7 - 0.9$ の外側から星形成活動が減衰している銀河の性質

藤本淳也, 鍛冶澤賢 (愛媛大学)

銀河の星形成の停止は銀河進化において最も重要な過程の一つであるが、その原因については明らかになっていない。星形成活動の減衰の進み方として outside-in/inside-out 両方が観測されているが、どちらがどのくらいの割合で起こっているかははっきりわかっていない。本研究では、外側のカラーが赤く、外側から星形成活動の減衰を起こしている天体に着目した。COSMOS 領域の $z = 0.7 - 0.9$, $i < 24$ の銀河について、ハッブル宇宙望遠鏡 (HST)/ACS F814W バンドの撮像データと、COSMOS 領域の一部を観測した COSMOS-DASH サーベイの HST/WFC3 F160W バンドの撮像データを用いて、銀河中心からの半径ごとに 5 つの範囲でカラーを測定し、最も外側のカラー $I_{F814W} - H_{F160W}$ が 1σ の誤差を含めて 0.5 より赤く、5 個の測定範囲の中で最も外側のカラーより青い領域が他に 2 個以上ある、 $A_V < 1\text{mag}$, 0-40Myr 前、321-1000Myr 前の sSFR がともに $10^{-10.5} - 10^{-8.5} \text{ yr}^{-1}$ の範囲であるという条件で外側が赤い銀河を選んだ。その結果、sSFR の条件のみで選んだ全銀河 4892 天体中 732 天体が該当した。星質量は、半径 0.1 秒角のカラーに依存しており、中心が青い天体 ($I - H_{0.1\text{arcsec}} < 0.5$) では $10^9 \lesssim M_{\text{star}} \lesssim 10^{10} M_{\odot}$ 、中心が赤い天体 ($I - H_{0.1\text{arcsec}} > 0.5$) では $10^{9.5} \lesssim M_{\text{star}} \lesssim 10^{11} M_{\odot}$ であった。銀河のサイズは、全銀河のサイズ-質量関係に対して外側が赤くかつ中心が青い銀河は平均 0.08 dex 小さく、中心が赤い銀河は星質量が重い側では全銀河と違いがないが、星質量が $10^{10} M_{\odot}$ より軽いと平均 0.02 dex 小さい。全銀河に対して、外側が赤くかつ中心が青い天体は 5.2%、中心が赤い天体は 9.8% を占めるが、X-ray groups/clusters (Gozaliasl et al. 2019, MNRAS, 483, 3545) 内の銀河の場合、それぞれ 3.8%、15.6% になった。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

X10b UNIONS データを用いたダストに覆われた銀河の広域探索と多波長 SED 解析

吉田猛人, 長尾透 (愛媛大学), 鳥羽儀樹 (国立天文台), 登口暁 (信州大学), 市川幸平 (早稲田大学), 小林星羅, 岩本凌 (愛媛大学), 油谷直道 (鹿児島大学)

これまでの研究から、巨大ブラックホールとその母銀河は共進化していると考えられているが、その共進化過程には未だ謎が多い。そこで我々は最も激しく共進化を起こしていると思われるダストに覆われた銀河 (dust-obscured galaxies; DOGs) に注目した。DOGs はダストの減光により可視光で暗く観測されるため、深い観測が要求される。そのため、先行研究では、深さと引き換えに観測領域の狭いデータを用いたものが多かった。

そこで、我々は UNIONS サーベイで取得された可視光波長帯で深く広い観測データに着目し、このデータを用いて先行研究に比べより広い天域に対して DOGs の調査を行うことを考えた。UNIONS は現在観測途中であり、今回はこの観測の早期データを用いた研究成果を報告する。本研究では、まず UNIONS と WISE 中間赤外線データを組み合わせることで、3743 天体の DOGs の発見に成功した。さらに UKIDSS 近赤外線データを組み合わせることで、57 天体に対して可視光・近赤外線・中間赤外線の多波長 SED の解析を行った。この解析過程で、近赤外線付近で折れ曲がった power-law (PL) を示す DOGs (Broken-PL DOGs) を 16 天体発見した。このような天体は先行研究では報告されておらず、本研究で初めて発見したものである。この Broken-PL DOGs は、可視光から近赤外線波長帯にかけては激しいダスト減光を示す一方で、中間赤外線波長帯では活動銀河核 (AGN) の活動を示唆する。そのため、これらの天体は共進化過程における興味深い段階にあるのではないかと予想される。今回の発表では、この Broken-PL DOGs を中心に DOGs の SED 解析の結果を報告するとともに、将来 UNIONS と Euclid を組み合わせた際に期待される、DOGs 研究の将来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](#)

X11a 爆発的銀河風で形成される odd radio circle の広帯域非熱的放射とその進化

藤田裕, 川中宣太 (東京都立大学), 井上進 (千葉大学)

Odd radio circle (ORC) は、最近の電波サーベイで発見された暗く拡散した円環状の放射であり、その一部は比較的銀河密度の高い環境下にある銀河と関連している可能性がある。本研究では、そのような ORC の起源が爆発的銀河風に伴うシンクロトロン放射である可能性を追求する。特に銀河風でできた構造を Outflow-from-Galaxy REmnants (OGRE) と呼び、その広帯域非熱的放射と進化について議論する。

我々のモデルでは、大量のエネルギーが過去に中心銀河から放出され、宇宙線を加速する外向きの衝撃波を作り出したと仮定する。周辺媒質の密度、温度、磁場の妥当な値を仮定すると、観測された ORC のスペクトル指数、サイズ、パワーとの整合性から、放出されたエネルギーは約 10^{60} erg と大きく、源は活動銀河核である可能性が示唆される。さらに我々は、OGRE の分光エネルギー分布 (SED) とその進化を、電子によるシンクロトロン、逆コンプトン (IC)、制動放射、および陽子によるパイ中間子崩壊放射を含めて計算した。その結果、電子の放射冷却が効果的であれば、若い OGRE の SED は、現在 ORC として観測されている古い OGRE の SED とそれほど大きく異なることがわかった。そのため、若い OGRE はより稀で小さいと予想され、容易に観測できない可能性がある。一方、電子の放射冷却が効果的でない場合、若い OGRE は X 線で検出可能かもしれないこともわかった。

参考文献: Fujita, Kawanaka, & Inoue, PASJ in press (arXiv:2311.12099)

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

X12a Measurement of the Hubble Constant from the Lensed Quasar WGD 2038-4008

Kenneth C. Wong (University of Tokyo), et al.

Time-delay cosmography is a powerful technique to constrain cosmological parameters, particularly the Hubble constant (H_0). The TDCOSMO collaboration is performing an ongoing analysis of lensed quasars to constrain cosmology using this method. In this work, we obtain constraints from the lensed quasar WGD 2038–4008 using new time-delay measurements and previous mass models by TDCOSMO. This is the first TDCOSMO lens to incorporate multiple lens modeling codes and the full time delay covariance matrix into the cosmological inference. The models are fixed before the time delay is measured, and the analysis is performed blinded with respect to the cosmological parameters to prevent unconscious experimenter bias. We obtain $D_{\Delta t} = 1.68^{+0.40}_{-0.38}$ Gpc using two families of mass models, a power-law describing the total mass distribution, and a composite model of baryons and dark matter, although the composite model is disfavored due to kinematics constraints. In a flat Λ CDM cosmology, we constrain the Hubble constant to be $H_0 = 65^{+23}_{-14}$ km s $^{-1}$ Mpc $^{-1}$. The dominant source of uncertainty comes from the time delays, due to the low variability of the quasar. Future long-term monitoring, especially in the era of the Vera C. Rubin Observatory's Legacy Survey of Space and Time, could catch stronger quasar variability and further reduce the uncertainties. This system will be incorporated into an upcoming hierarchical analysis of the entire TDCOSMO sample, and improved time delays and spatially-resolved stellar kinematics could improve the constraints from this system in the future.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

X13a WDM サブハロー質量関数に対するシミュレーションと準解析的モデルの比較

小野瑞季 (北海道大学)、岡本崇 (北海道大学)

Cold dark matter (CDM) モデルは現在の構造形成の標準的なモデルだが、銀河より小さなスケールで様々な問題が指摘されており、CDM モデルの代替モデルとして warm dark matter (WDM) モデルなどが挙げられている。WDM は初期に熱速度を持っており、小スケールの構造形成が抑制される。未だに WDM の質量は完全には制限されていないが、WDM の質量に依って天の川銀河のサブハロー質量関数が異なることが知られているため、観測で得られたものとシミュレーションで得られたものを比べることで WDM の質量に制限をつけることが可能である。しかし、WDM モデルのシミュレーションは数値ノイズの影響や非常に高い分解能を必要とすることから困難であるため、これらの影響を受けない準解析的モデルは WDM の質量制限をするのに有効である。Dekker et al. (2021) の準解析的モデルは extended Press-Schechter (EPS) 理論を拡張したモデルで、WDM の特性を考慮したサブハローの質量進化モデルが組み込まれている。この拡張された EPS 理論で merger tree を構築し、サブハロー質量関数などのサブハローの特性を計算する。この準解析的モデルは 2.3keV までの WDM モデルのシミュレーションを再現できることが確かめられているが、現在制限されている WDM の質量はそれよりも 2 倍程重い。そこで本研究では、この準解析的モデルがより重い WDM モデルのシミュレーションを再現できるかどうか調べた。我々は、CDM と 1keV、3keV、10keV の WDM 宇宙論的 N 体シミュレーションを行い、 $z=0$ に $\sim 10^{12} M_{\odot}$ となる DM ハローについて、CDM に対する各 WDM のサブハロー質量関数の比を求めた。この準解析的モデルと各シミュレーションで求められた値を比較した結果、どの WDM でも準解析的モデルはシミュレーション結果をよく再現することがわかった。本講演では、この結果について詳細に発表する。

[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](#)

X14a AI サロゲートモデルを用いた star-by-star 銀河形成シミュレーションの高速化

平島敬也, 森脇可奈, 藤井通子 (東京大学), 平居悠 (Notre Dame 大学/東北大学), 斎藤貴之, 牧野野一郎 (神戸大学), Shirley Ho (CCA/Princeton 大学/NYU)

多階層的な銀河進化を解明するため、これまで大規模シミュレーションを用いた研究が行われてきた。銀河進化において、詳細な星形成とフィードバックの影響を計算するには高い質量分解能が求められるが、超新星爆発の影響の適切な評価には $\sim 1 M_{\odot}$ の分解能が必要である (Steinwandel et al. 2020 など)。スーパーコンピュータの発展 (CPU コア数の増大など) に伴い、N 体/Smoothed Particle Hydrodynamics (SPH) などの粒子の手法を用いた計算では、シミュレーションで用いる粒子数が増加し質量分解能は向上してきた。しかし、従来のコードは、階層化独立時間刻み幅法を採用するため、ごく一部のタイムスケールの短い現象 (超新星爆発など) の時間刻み幅だけ短くなり、演算・通信回数が数百倍に増大しボトルネックとなっている。そのため、世界最高の分解能 ($\sim 1000 M_{\odot}$) を持つ天の川銀河のシミュレーション (Applebaum et al. 2021 など) でも個別の恒星は表現できず、フィードバックはサブグリッドモデルとして導入されている。

そこで、機械学習により $\Delta t = 10^5$ 年後の超新星フィードバックの密度、温度・速度まで予測可能なサロゲートモデル (Hirashima et al. 2023a,b) を独自に開発した。これにより、ボトルネックとなっているタイムスケールの短い領域の直接計算を回避でき、シミュレーションの加速が期待される。本講演では、我々のサロゲートモデルの実装の状況と、実際にサロゲートモデルを利用した銀河形成シミュレーションの結果を、星形成率・アウトフローなどの観点から報告する。

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

X15a Population-level inference of dust attenuation properties in local galaxies

Suchetha Cooray¹, Peter Behroozi^{2,3}, Andrew Hearin⁴, and Risa Wechsler¹

(1: Stanford University, 2: NAOJ, 3: University of Arizona, 4: Argonne National Laboratory)

Dust attenuation must be carefully considered when inferring the physical parameters of observed galaxies from their spectral energy distributions (SEDs). Our understanding of dust attenuation is limited due to known degeneracies between galaxy properties and dust attenuation in SED fitting of single galaxies (dust-metallicity-age degeneracy). We introduce a novel approach to infer dust attenuation properties by statistically matching observed galaxies with ones from cosmological simulations. The observation data sample used is the SDSS Main Galaxy Sample cross-matched with *GALEX*. The simulation data comes from the UniverseMachine (Behroozi et al. 2019). We use stellar population synthesis to generate unattenuated SEDs for the simulated galaxies. The parameters of dust attenuation laws are thereafter modeled as a probability distribution with a machine learning approach. The parameter distributions are constrained by minimizing the distance (Wasserstein distance) between the simulated and the observed distributions of SEDs, in color-color and color-magnitude spaces. This population-level inference approach has many benefits, including breaking the parameter degeneracy by incorporating number density evolution from cosmological structure formation. Our findings reveal a significant departure from the universality of the dust attenuation laws in local galaxies. This forms a crucial part of our ongoing efforts toward population-level inference of galaxy properties from their SEDs.

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

X16a 潮汐相互作用によってトリガーされた大質量星形成：Gaia 衛星の星の固有運動観測による検証

立原研悟, 玉城磨生, 中野覚矢, 山田麟, 福井康雄 (名古屋大学), 柘植紀節 (岐阜大学), 徳田一起 (九州大学・国立天文台)

局所群の大マゼラン雲 (LMC), M33 などの銀河では、銀河間潮汐相互作用が誘起した HI 雲の衝突が、活発な大質量星形成をトリガーしていることが明らかにされた (e.g., Tachihara et al. 2018; Tsuge et al. 2024; Tokuda et al. 2019; Muraoka et al. 2020; Fukui et al. 2017)。HI 雲が衝突した際に減速され高密度化したガスの中で星形成が進むと考えられるが、それらは星の誕生後に短時間で散逸されるため、詳細はまだよくわかっていない。我々は、Gaia 衛星による均一な星の測光データを用いることで、LMC 銀河全面にわたって大質量星を新たに特定した (玉城他 2023 年秋季年会)。これら大質量星は集団的な分布を示し、また銀河回転などの効果を差し引いた大質量星の固有運動は、領域ごとに同じ方向に整列する傾向が見られた (玉城他 2024 年春季年会)。これは大質量星の固有運動を用いることで、衝突によるトリガーが独立に検証できることを示す初めての結果である。この手法は、圧縮されたガスの分布と運動の詳細を pc オーダーで解明し、周囲のガスが散逸した星であっても、その形成史を 10 Myr にわたって描き出せる可能性を持ち、トリガーによる星形成研究における大きな進歩である。

今回、局所群の代表的な HII 領域約 20 個において、大質量星の固有運動の速度と方向について調べた。多くの HII 領域に付随する大質量星は、平均して 20-40 km/s 程度の固有運動を示しており、減速された衝突高密度ガス成分の銀河に対する相対速度と同程度である。また R136 のような極めて活発な星形成領域では、固有運動速度の分散も大きく、また方向もランダムであり、形成時の乱流的なガスの状態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](#)

X17a 大マゼラン雲における最大級の分子雲複合体の ALMA 観測: 銀河間相互作用によって駆動された複数方向からの H I ガス流による誘発的星形成

徳田一起 (九州大学/国立天文台), 北野尚弥, 小西亜侑, 國年悠里, 東野康祐, 安達大輝, 大西利和 (大阪公立大学), 山田麟, 立原研悟, 福井康雄 (名古屋大学), 柘植紀節 (岐阜大学), 南谷哲宏, 河村晶子 (国立天文台), 竹腰達哉 (北見工業大)

大マゼラン雲南東部には Molecular ridge 領域と呼ばれる同銀河の中で最も大質量 ($\sim 10^7 M_{\odot}$) な分子雲複合体が存在し、小マゼラン雲との近接遭遇による H I ガス衝突による誘発的星形成が有力視されていることから、大規模な星団システム形成の理解を深める上で重要な実験場である。我々は Atacama Compact Array (ACA) により得られた空間分解能 1.6 pc の分子ガス広域観測データの解析を進めており、これまで 200 pc に渡って存在するフィラメント状分子雲の類似性などを発見し、共通の衝突流に起因する誘発的星形成を論じてきた (徳田他 2022 年春季年会等)。さらに我々は観測領域中央部に位置する H II 領域 N160 に付随する分子雲と H I ガスに着眼した解析を行った。 ^{12}CO , $^{13}\text{CO}(2-1)$ 輝線でトレースされる分子雲は北東-南西方向に ~ 100 pc に渡って整列したフィラメント状分子雲が広がっており、複数の大質量原始星がそれに沿って分布する。この分子雲付近の H I ガスの特徴は、(1) CO と同じ速度に存在する H I ガスは北東方向が欠けたバブル状の形状を示し、 $\text{H}\alpha$ の分布とも類似する。(2) CO の速度から 50 km s^{-1} ほど赤方偏移した成分は分子雲との空間的な一致がよく、(1) の H I ガスと相補的な分布を示す。これらの結果から、N160 領域では北東方向から高速度な H I ガスが衝突し、整列したフィラメント分子雲、および大質量原始星を形成した可能性が浮かび上がった。講演ではこれまで報告されてきた N159 領域等の結果とも比較し、複数方向から飛来する H I 衝突流による領域全体の動的な星形成史を考察する。

[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](#)

X18a 大マゼラン雲 N113 における銀河間相互作用によって誘発された巨大分子雲と大質量星の形成

山田麟, 立原研悟, 福井康雄 (名古屋大学), 徳田一起 (九州大学/NAOJ), 柘植紀節, 佐野栄俊 (岐阜大学), 安達大輝, 小西亜侑, 村岡和幸, 大西利和 (大阪公立大学), 河村晶子 (NAOJ), Marta Sewilo (NASA), Rosie Chen (マックス=プランク電波天文学研究所), Remy Indebetouw (バージニア大学)

大マゼラン雲は活発に大質量星を形成しており、その形成機構解明は長年の課題であった。我々は 2017 年、R136 星団が潮汐力によって駆動されたガス雲衝突によって誘起されたことを指摘し、同様の機構が N159 等でも起きていることを示した。さらに最近、R136 から離れた N113 領域でも衝突による星団形成が起きている可能性を見出した (西岡講演 2021 年秋季年会)。本講演では、ALMA の CO 観測結果 (Cycle 3, ^{12}CO , $^{13}\text{CO}(J=2-1)$, 分解能約 1 秒角) の詳細解析に基づいて、以下の結果・考察を得たので報告する。

分子雲は 10 pc 長のフィラメント状成分 2 個からなり、両者は直交し南西向きの V 字型を示す。V 字の形成は Inoue et al. (2018) の磁気流体理論衝突モデルによって理解できる。このモデルでは、小ガス雲が広がった平板に衝突し、ガスと磁場が V 字に圧縮され、さらにガスが磁力線にそって V 字頂点に収束する。その結果、フィラメント内と V 字頂点に星が形成される。特に、頂点への強いガス収束が予言され、N159 で検証された。今回、Astrodendro を用いて、N113 の 2 個のフィラメントが計 200 個のクランプからなり、ビリアル化した最大質量クランプ 4 個が大質量星が形成されていることが明らかになった。しかし、N113 においては V 字頂点での星形成は見られなかった。講演では、この原因がガスの初期分布の差異によって理解できるという可能性を論じる。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

X19a 大マゼラン雲大質量星形成領域 N44NW に存在する整列したフィラメント状分子雲集団の起源

東野康祐¹, 徳田一起^{2,3}, 柘植紀節⁴, 小西亜侑¹, 村岡和幸¹, 大西利和¹, 立原研悟⁵, 佐野栄俊⁴, 福井康雄⁵ (1:大阪公立大学, 2:九州大学, 3:国立天文台, 4:岐阜大学, 5:名古屋大学)

大マゼラン雲では、小マゼラン雲との相互作用による中性水素原子 H I ガス同士の衝突により、大規模な星形成が誘発されていることが報告されている。N159E・N159WS 領域において発見された数 pc スケールの (ハブ) フィラメント構造は、互いに ~50 pc 離れているにも関わらず非常に酷似した構造を有しており、分子雲スケールを超えた大域的な星間ガスの衝突が構造形成を促したものと考えられている。この H I ガス衝突によるフィラメント構造の形成、及びそこで活発な星形成が行われているというシナリオの普遍性等を検証することを目的とし、我々は、大マゼラン雲内の H II 領域である N44, N11, N79 に付随する分子雲複合体に対して ALMA-ACA により取得された空間分解能 1.6 pc の ^{12}CO , ^{13}CO ($J=2-1$) データ等の解析を推進している (柘植ほか 2023 年春季年会)。我々は N44NW 領域において少なくとも 5 本以上の長さ ~100 pc に及ぶに南北に整列したフィラメント構造を確認した。これらは大質量星原始星が構造の南端付近に位置することが共通している。これらの分子雲は、原始星が付随していない分子雲に比べ、 ^{13}CO で観測される比較的高密度のガスが多く含まれており、ビリアル解析を行うと、重力的な束縛が強い傾向があることが示された。また、一部の原始星周囲の領域では、~0.1 pc の分解能で 0.87 mm 帯連続波と HCO^+ ($J=4-3$) のデータが取得されており、 ^{12}CO , ^{13}CO の空間分布と比較を行うと、スケールや密度が 1 桁以上異なるにもかかわらず非常に酷似した構造が確認でき、空間スケールの大きい現象が局所的な高密度ガスの構造形成にも影響を与え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](#)

X20a eROSITA 衛星を用いた LMC N11 領域の広がった X 線放射の観測的研究

K. Tsuge (Gifu University), M. Sasaki, J.R. Knies (FAU), F. Haberl, C. Maitra (MPE), S. Points (CTIAO), M. D. Filipovic (Western Sydney University), L. Staveley-Smith (ICRAR, University of Western Australia), B. S. Koribalski (ATNF), J. Kerp (AIfA, Universität Bonn)

宇宙の至る所で起きている「銀河同士の衝突」は星間ガスの進化や銀河エネルギー収支を理解する上で重要な現象である。これまで我々は最近傍の相互作用銀河である、大マゼラン雲 (LMC) に着目し、電波解析から小マゼラン雲との相互作用起源の $50\text{--}100\text{ km s}^{-1}$ の水素原子ガス衝突が有望な星団形成過程であることを明らかにしてきた (Tsuge et al. 2019; 2024a)。さらに X 線観測データを組み合わせることで、この大規模なガス衝突が星形成のみならず、LMC 南東部に kpc 規模に広がる高温電離ガス (Spur) の形成を引き起こしている様子を始めて明らかにした (Knies et al. 2021)。本研究では大規模な衝突による星間ガスの「加熱過程」の検証を LMC 全面に拡張するため、ガス衝突が示唆されている星形領域 N11 の広がった X 線放射のスペクトル解析を行なった。eROSITA の広視野高感度観測で得られた X 線放射と H I ガスの形態に基づいて 4 領域を定義し、スペクトル解析から熱的 X 線放射の物理量を決定した。その結果、全領域で 2 温度 ($kT_e \sim 0.2\text{ keV}$, $kT_e \sim 0.8\text{--}1.0\text{ keV}$) の吸収を受けた熱的プラズマ (vapec) で放射をモデル化できることが明らかになった。また X 線吸収柱密度と水素柱密度の比較から、N11 の北にある X 線のダークレーン H I/CO 雲による吸収によって引き起こされることが示唆された。さらに熱的プラズマのエネルギーを見積もると、中心のスーパーバブル領域では、X 線放射のエネルギーは大質量星による加熱で説明できるが、南部に kpc 規模に広がった X 線放射のエネルギーは星形成活動のみでは説明できず、大規模なガス衝突による衝撃による加熱の可能性があることがわかった (Tsuge et al. 2024b A&A)。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

X21b 銀河の星形成史モデルが SED フィッティングに与える影響の評価

曹愛奈¹, 竹内 努^{1,2}, 松井 瀬奈^{1,3}, Suchetha Cooray⁴ (1:名古屋大学, 2:統計数理研究所, 3:Ruhr University Bochum, 4:Stanford University)

星形成を正確に見積もることは銀河の形成・進化を明らかにする上で非常に重要である。銀河の恒星質量と星形成史 (SFH) は、星形成を理解するために用いられる基本的な物理量である。これらの量を推定するために、銀河のスペクトルエネルギー分布 (SED: spectral energy distribution) モデルを構築し観測データとフィッティングする手法が用いられている (e.g., Conroy 2013)。SED モデルを構築するにあたって、はじめに SFH モデルを仮定する必要がある。しかし、仮定する SFH モデルにより、推定される銀河の物理量は大きく変化する。この問題を解決するために、銀河の SFH に対してパラメトリックに解析的な SFH を用いる方法や、ノンパラメトリックに SFH を推定するなど、様々なアプローチが試されているが、依然として多くの議論が存在する。

本研究では、異なる SFH モデルが恒星質量や SFH などの推定結果に与える影響を評価した。はじめに、UniverseMachine (Behroozi et al. 2019) といったシミュレーションデータから模擬銀河のバンドデータの作成を行った。次に、指数関数的減衰モデル (τ モデル) などのパラメトリック SFH モデルなどを仮定して SED フィッティングを行い、恒星質量や SFH などの物理量を推定し、シミュレーションデータと比較検討した。SED フィッティングを行うために、Bruzual & Charlot (2003) による種族合成コード Bagpipes (Carnall et al. 2018) を使用している。本研究では比較の結果を踏まえ、異なる SFH モデルを用いた SED フィッティングが銀河の物理量の推定にどのような影響を与えるのか議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

X22b Characteristic Mass Scale for the Cusp-Core Transition in Dark Matter Halos

森正夫, 金田優香 (筑波大学)

銀河に付随するダークマターハローには、極めて興味深い普遍的性質が知られている。Burkert (1995) は、矮小銀河のダークマターハローのスケール半径と速度の間に相関関係があることを発見し、Strigari et al. (2008) では、ダークマターハローの中心から 300pc 以内の質量が一定値を持つことが示された。近年では、これらの研究以外にも同様のスケール関係が多数報告されている。Ogiya et al. (2014) では、これらの関係の起源がコールドダークマターハローの理論的相関と密接に関係する事を示した。また、Kaneda et al. (2024) では超高分解能の宇宙論的 N 体シミュレーションから導かれたダークマターハローの中心集中度と質量の相関関係 (c - M relation) を利用し、ダークマターハローの表面質量密度、maximum circular velocity、スケール半径等の物理量間の理論的なスケール関係を導き出した。その結果、矮小銀河や銀河で見つかったスケール関係は、ダークマターハローの c - M relation が起源であり、この理論的スケール関係は銀河団でも成立することが示された。このような理論と観測の整合性とは裏腹に、観測データと宇宙論的シミュレーションの予測が一致しないカスプ=コア問題が指摘されている。具体的には、シミュレーションでは銀河の中心部に高密度のカスプが形成されると予測されるが、実際の観測では中心部がより平坦なコア構造を持つことが多い。この不一致は、特に矮小銀河の中心部で顕著であり、大質量銀河や銀河団ではあまり指摘されない。ここでは、コールドダークマターハローで生じるとされるカスプからコアへの遷移モデルを導入し、カスプからコアへの遷移が発生するダークマターハローの臨界質量について議論する。特に超新星フィードバックで駆動されるバリオン揺動によるダークマターハローの中心部へのエネルギー輸送について検証し、臨界質量とスケール関係へ及ぼす影響について議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)[スケジュール \(全体\) に戻る](#)[講演者索引 TOP に戻る](#)X23a HSC-SSP と CHORUS サーベイに基づいた $\text{Ly}\alpha$ 輝線銀河の光度関数と空間分布から探る宇宙再電離史

梅田滉也 (東京大学), 大内正己 (国立天文台/東京大学), 菊田智史, 小野宜昭, 播金優一 (東京大学), 澁谷隆俊 (北見工業大学), 他 HSC Project 80, 85, CHORUS Project

宇宙再電離は銀河形成とともに進み、銀河からの紫外光によって銀河間中性水素 H I ガスが $z \sim 5-6$ まですべて電離されたと考えられている。一方、宇宙再電離がいつ始まり、どのように中性割合 $x_{\text{H I}}$ が赤方偏移進化したかはまだ分かっていない。 H I $\text{Ly}\alpha$ 光子が H I ガスによる散乱を受け減光することを利用し、銀河からの $\text{Ly}\alpha$ 輝線の観測から $x_{\text{H I}}$ が推定でき、特に広範囲で大量に検出される $\text{Ly}\alpha$ 輝線天体 (LAE) の光度関数 (LF) を用いると精度の高い $x_{\text{H I}}$ 推定ができる。また、銀河の個数密度が高い領域から大きな電離領域を形成し、高密度領域での $\text{Ly}\alpha$ の透過度が高まる一方、電離が進んでいない低密度領域からの $\text{Ly}\alpha$ は透過度が低くなり観測されづらくなるため、観測された LAE の空間分布 (e.g., 2 点自己相関関数; ACF) の赤方偏移進化からも $x_{\text{H I}}$ を推定できる。本研究では Subaru/HSC による $z = 5.7-7.3$ における大規模 LAE 探査で得た測光データに基づき作成された最大規模の LAE サンプル (Kikuta et al. 2023) を用いて $\text{Ly}\alpha$ LF 及び ACF を求めた。また、求めた $\text{Ly}\alpha$ LF と ACF の赤方偏移進化を理論モデルと比較し $z = 6.6-7.3$ における $x_{\text{H I}}$ を推定した。本研究で得られた $x_{\text{H I}}$ と JWST で観測された銀河を用いて得られた $z = 7-12$ での $x_{\text{H I}}$ の推定値 (e.g., Umeda et al. 2024a) を合わせることで、電離光子脱出率 $f_{\text{esc}} \approx 0.17$ である時の星形成率進化に伴う $x_{\text{H I}}$ 進化 (Ishigaki et al. 2018) と整合することを確認した。

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

X24a 初代銀河形成シミュレーション: FUV 輻射により誘起されるバースト的星形成

杉村和幸 (北海道大学), Massimo Ricotti (メリーランド大学), Jongwon Park (メリーランド大学), Fred Angelo Batan Garcia (コロンビア大学), 矢島秀伸 (筑波大学)

宇宙で最初の世代の銀河である初代銀河の形成は、現在までの銀河形成史の最初期段階にあたり、その解明は天文学上の最重要課題の一つと言える。最近のジェームズ・ウェッブ宇宙望遠鏡などの観測で初期宇宙に UV 光度の大きな銀河が大量に見つかるなど、これまでの銀河形成理論と遠方銀河観測の齟齬が明らかになりつつあり、銀河形成理論の進展がこれまで以上に強く求められている。本講演では、論文 Sugimura, Ricotti, Park, Garcia, Yajima (2024; ApJ accepted) に基づき、我々が最近おこなった初代銀河形成シミュレーションの結果を報告する。

本研究では、初代銀河形成の際に、初代星や第二世代星からの FUV や EUV による紫外線フィードバックがどのような役割を果たしたかについて、それらのフィードバックを ON/OFF した比較計算をおこなうことで調べた。その結果、特に、第二世代星からの FUV フィードバックによって、バースト的星形成が誘起されることが明らかになった。このことは、初代銀河中の低金属度のガスに FUV が照射することにより、冷却剤である水素分子が破壊されてガスの温度が 1 万 K 程度の高温に保たれ、星形成を引き起こす高密度雲が十分重たくなってから重力崩壊を起こすことで、急激に星形成が進んだためと説明できる。このようなバースト的星形成は、最近の観測で大量に見つかりつつある UV 光度の大きな高赤方偏移銀河の起源と関係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](#)

X25a JWST で観測された N/O が高い銀河における強い He I 輝線の起源

柳澤広登 (東京大学), 大内正己 (国立天文台/東京大学), 渡辺くりあ (総合研究大学院大学), 松本明訓 (東京大学), 中島王彦 (国立天文台), 矢島秀伸 (筑波大学), 長峯健太郎 (大阪大学), 高橋亘 (国立天文台), 中根美七海 (東京大学), 富永望 (国立天文台), 梅田滉也 (東京大学), 福島肇 (筑波大学), 播金優一 (東京大学), 磯部優樹 (早稲田大学), 小野宜昭, Yi Xu (東京大学), Yechi Zhang (国立天文台)

JWST による遠方銀河観測で、近傍銀河に比べて窒素 (N) と酸素 (O) の存在比 N/O が非常に高い銀河が見つかっている。このような特異な化学組成は、恒星内の CNO サイクルで反応速度の遅い N が蓄積したガスの組成によって説明できる可能性がある。CNO サイクルで作られたガスを選択的に放出する様々なモデルが提案されているが、どの過程が遠方銀河で支配的なのかは明らかになっていない。CNO サイクルでは N だけでなく、生成物であるヘリウム (He) も増加するので、He と水素 (H) の存在比 He/H を求めることで、初期銀河の化学進化について新たな制限が得られる可能性がある。しかし、これらの銀河の He/H はほとんど求められていなかった。そこで本研究では、N/O に制限がついている $z \gtrsim 6$ の銀河に対して He/H を求めるため、JWST/NIRSpec で得られた He, H 輝線スペクトルを解析した。その結果、N/O が高い銀河において近傍銀河よりも非常に強い He I 輝線が検出された。これらの輝線から、宇宙論の原始 He 組成研究に用いられている手法である YCMC を用いて He/H を求めた結果、N/O が高い銀河では He/H または電子密度が非常に高い可能性があることが分かった。さらに Wolf-Rayet 星や超大質量星、潮汐破壊現象などの化学進化モデルを用いて、このような化学組成を再現する物理過程についても考察する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

X26a Zackrisson Method を用いた宇宙再電離期銀河からの電離光子脱出率の推定

前原瑚菜 (総合研究大学院大学/宇宙航空研究開発機構), 山田亨 (宇宙航空研究開発機構)

宇宙再電離とは、高赤方偏移 ($z \geq 6$) において、宇宙を満たしていた中性水素を再び電離させた現象である。主な電離源は、再電離期に形成された銀河と考えられているが、どれほど再電離に寄与しているかは確定されていない。銀河間の水素ガスを電離する電離光子の総数 ($\dot{N}_{ion}$) は、UV 光度密度 (ρ_{UV}) と電離光子生成率 (ξ_{ion})、電離光子脱出率 (f_{esc}) の積から求められる。最近のジェイムズ・ウェッブ宇宙望遠鏡 (JWST) の観測結果からは再電離期の銀河の ξ_{ion} が高い値を示すことが知られており、低赤方偏移における再電離期銀河の類似天体から予測された f_{esc} と合わせる、再電離はかなり早期 (大きな赤方偏移) に終わると推定されており (Muñoz et al. 2024, arXiv:2404.07250), CMB から推定された再電離の時期と大きく矛盾する結果となっている。そのため、再電離期の銀河から生成された電離光子が銀河外へ脱出する確率 f_{esc} を正確に求めることは、再電離源としての銀河の寄与だけでなく、CMB から推定される再電離期の歴史との矛盾を解決する上で重要である。

本研究では、Zackrisson et al. (2013, ApJ, 777, 39) で提案された、全電離光子生成数と銀河内での電離光子消費数の関係による手法 (Zackrisson Method) を用いて、再電離期の銀河から f_{esc} の推定を行った。使用したサンプルデータは、JWST のプログラム "JWST Advanced Deep Extragalactic Survey (JADES)" から新たに GOOS-S 領域で発見された $6 \leq z \leq 10$ の計 122 天体である。解析の結果、Balmer 線を用いてダスト補正が行えた天体の多くはモデルの範囲内で f_{esc} を推定できた。一方で、ダスト補正後も特徴的な赤い色を示す天体や、逆に非常に青い UV continuum slope ($\beta \leq -3$) の値を示し、モデルとの単純な比較では大きな f_{esc} を持つ天体も存在した。

本公演では、電離光子脱出率の推定結果の他に、赤方偏移や紫外線光度等の物理量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](#)

X27a JWST の Ly α 銀河観測と 21cmFAST で探る宇宙再電離史と電離バブル進化

影浦優太 (東京大学), 大内正己 (国立天文台/東京大学), 播金優一, 梅田滉也, 中根美七海 (東京大学), 吉浦伸太郎 (国立天文台)

赤方偏移に沿って宇宙再電離がどのようなペースで進行してきたかは未解明の問題である。宇宙再電離史を探る 1 つの方法が、 $z > 6$ の銀河の Ly α 輝線の等価幅の観測である。高赤方偏移の銀河から出た Ly α 光子は中性水素 (HI) ガスの吸収を受けるため、水素の中性度 x_{HI} に応じて Ly α 等価幅は本来よりも小さくなる。しかし、HI ガスの分布や Ly α 銀河の性質もまた吸収率に影響するため、 x_{HI} を正確に決めるためには、こうした依存性を含むモデル構築が必要である。

そこで、本研究では宇宙論的準数値シミュレーションコード 21cmFAST (Mesinger et al. 2011) を使い、再電離期の銀河が発する Ly α 光子の吸収率を調べた。この際、過去の研究 (Nakane et al. 2024) では考慮されていなかった銀河の UV 光度 (Mason et al. 2018) や Ly α 輝線の速度オフセットの分布を入れたモデルを作った。そして JWST/NIRSpec による $z \sim 7 - 13$ の 42 個の銀河の観測データをモデルと比較し、 x_{HI} を求めた。その結果、 $z \sim 9$ から急激に再電離が進む「遅い再電離」シナリオを支持することが分かった。さらに、観測によって制限されたモデルから、再電離期の電離バブルの赤方偏移進化を中性度と合わせて調べた。その結果、平均自由行程によって定義したバブルのサイズの典型値が $z \sim 10$ で ~ 1 Mpc であったものが $z \sim 6$ で ~ 100 Mpc になることが分かり、 x_{HI} とバブルサイズの進化が統一的に示された。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

X28a 高解像度宇宙論的シミュレーションに基づいた準解析的初代星形成モデルの開発

石山智明 (千葉大学), 平野信吾 (神奈川大学)

過去 20 年以上にわたる研究により、宇宙論的な枠組みでの初代星の形成過程が明らかになってきた。近年は、宇宙再結合時のダークマターとバリオン間の相対速度や Lyman-Werner 輻射場が初代星形成に与える影響、そして水素原子冷却ハローにおける超大質量星形成などが高解像度の輻射流体計算を用いて活発に研究されている。一方、高コストな計算であるため、比較的少数の初代星形成に着目しており、宇宙全体にわたる初代星の質量分布や星形成率などの統計量はあまり研究されていなかった。

そこで本研究では、まず高赤方偏移で初代星が形成するダークマターミニハローを分解でき、1 辺 $16 h^{-1} \text{Mpc}$ の空間サイズをもつ高分解能宇宙論的 N 体シミュレーションを行った。そしてその上で初代星形成とその後の銀河形成を準解析的にモデル化し統計的研究を行った。近年の輻射流体計算の結果を再現するように、相対速度や Lyman-Werner 輻射場、そしてミニハローの性質に依存させて初代星の質量を与える。金属汚染を受けたハローは第二世代の星を形成し、それらの Lyman-Werner 輻射はセルフコンシステントにモデル化されている。

その結果、 $z = 7.5$ までは形成する初代星の質量分布はトップヘビーであり、水素分子 ($20 \lesssim z \lesssim 25$) と原子冷却 ($z \lesssim 15$) ハローそれぞれに対応する 2 つのピークが現れた。原子冷却ハローでは超大質量星 ($> 10^5$ 太陽質量) が形成され、その割合は相対速度とともに増加する。相対速度が大きくなるにつれて、初代星が形成する水素分子冷却ハローは減少し、原子冷却ハローは増加する。最終的には $z = 7.5$ でおおよそ 10^9 太陽質量のハローにひとつの超大質量星が存在し、ブラックホールの種として高赤方偏移のクエーサーを再現するのに十分な数である。

[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](#)

X29a スリット分光で探る $z \sim 6$ クエーサー $\text{Ly}\alpha$ ハローの光度依存性

星宏樹, 石本梨花子, 柏川伸成 (東京大学), 松岡良樹 (愛媛大学), 吉岡岳洋, 武田佳大, 有田淳也, 清水駿太, 菊田智史 (東京大学), 西村優里 (国立天文台), 川口俊宏 (尾道市立大学), 嶋川里澄 (早稲田大学), 百瀬莉恵子 (カーネギー天文台), 尾崎忍夫 (国立天文台), Chien-Hsiu Lee (W.M. ケック天文台), 岩沢一司 (バルセロナ大学)

銀河の周囲のハローに普遍的に存在すると考えられている銀河周縁物質 (CGM) を理解することは、銀河自身の星形成の持続期間やその中心に位置するブラックホールへの今後のガス供給を知る上で重要である。 $\text{Ly}\alpha$ 線が母銀河に対して有意に広がって観測される $\text{Ly}\alpha$ ハローは、こうした CGM を観測的に調べることのできる数少ない有効な指標として長年注目されてきた。銀河の $\text{Ly}\alpha$ ハローは表面輝度が低く個別に観測できる例は限られているが、強い輻射場を持つクエーサーであれば個々の天体で検出することができるため、これを解析することで銀河やブラックホールの進化に関するより詳細な描像を得ることができる。これまでの研究では主に面分光が利用されてきたが、この手法は手間がかかりデータの数に限られてしまっていた。そこで我々はスリット分光データを多数集めて $\text{Ly}\alpha$ ハローを検出した。

前回の年会では $z \sim 4$ クエーサーサンプルについて報告したが、今回は SHELLQs サンプルを用いた $z \sim 6$ サンプルについて報告する。これまで、 $z \sim 6$ では解析されている光度範囲が $-27.5 < M_{1450} < -26$ と狭く、 $\text{Ly}\alpha$ ハロー光度とクエーサー光度との相関が明らかにされていない。そこで我々は従来よりも暗いクエーサー 160 天体を解析し、約 20 天体から $\text{Ly}\alpha$ ハローを検出したことで、光度範囲を $M_{1450} \sim -22$ にまで拡大した。本講演では、 $\text{Ly}\alpha$ ハローとクエーサーの光度関係およびそこから推察される $\text{Ly}\alpha$ ハロー発光メカニズムについて議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

X30a 赤方偏移と金属量に依存した IMF を用いた高赤方偏移銀河の UV 光度関数

福島啓太 (早稲田大学), 北川周哉 (早稲田大学), 井上昭雄 (早稲田大学), 石山智明 (千葉大学), 鄭昇明 (東北大学/MPA), 大向一行 (東北大学)

銀河形成・進化の全体像を理解するために、銀河の統計的性質の研究は重要である。ジェームズウェッブ宇宙望遠鏡 (JWST) により観測された赤方偏移 $z > 10$ の銀河の UV 光度関数の Bright-end は、Schechter 関数で予想される数密度より一桁以上多い (Harikane et al. 2022)。これを説明する理論モデルの一つに、大質量星を多く含む Top heavy な初期質量関数 (IMF) を用いるものがある。

本研究では赤方偏移および金属量に依存する IMF (Chon et al. 2022) をモデル化し、スペクトル生成コード FSPS (Conroy, Gunn, & White 2009) を用いて星団のスペクトルテンプレートを作成した。低金属量、高赤方偏移の場合の Chon IMF は Kroupa IMF に比べ Top heavy になる。その場合、星団の年齢が若い場合は UV 光度が Kroupa IMF に比べ高くなり、10Gyr では低質量星の割合が低いため Kroupa IMF に対して低くなる。Shin Uchuu Simulation (Ishiyama et al. 2021) によって得られた merger tree に重元素汚染を含んだセミアナリティカルモデルを適用することで、銀河形成モデルを作成した。これにスペクトルテンプレートを適用して求めた UV 光度関数を観測と比較し、Top heavy IMF の影響を議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

X31a Exploring the faintest end of mid-infrared luminosity functions up to $z \simeq 5$ with the JWST CEERS survey

Tomotsugu Goto, Chih-Teng Ling, Seong Jin Kim, Cossas K.-W. Wu, Tetsuya Hashimoto, Tom C.-C. Chien, Yu-Wei Lin, Simon C.-C. Ho, and Ece Kilerci(NTHU)

Mid-infrared (MIR) light from galaxies is sensitive to dust-obscured star-formation activities because it traces the characteristic emission of dust heated by young, massive stars. By constructing the MIR luminosity functions (LFs), we are able to quantify the overall dusty star formation history and the evolution of galaxies over cosmic time. In this work, we report the first rest-frame MIR LFs at 7.7, 10, 12.8, 15, 18, and 21 μm as well as the total IR LF from the James Webb Space Telescope (JWST) Cosmic Evolution Early Release Science (CEERS) survey. We identify 506 galaxies at $z = 0 - 5.1$ in the CEERS survey that also have optical photometry from the Hubble Space Telescope. With the unprecedented sensitivity of the JWST, we probe the faintest end of the LFs at $z = 0 - 1$ down to $L^* \sim 10^7 L_\odot$, ~ 2 orders of magnitude fainter than those from the previous generation of IR space telescopes. Our findings connect well with and continue the faint end of the MIR LFs from the deepest observations in past works. As a proxy of star formation history, we present the MIR-based luminosity density up to $z \simeq 4.0$, marking the first probe of the early Universe by JWST MIRI.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

X32a MUSE view of outflows and the circumgalactic medium of extremely metal-poor galaxies: project description

Haruka Kusakabe¹, E. C. Herenz², Y. Isobe³, A. Monreal Ibero⁴, K. Nakamima¹, M. Ouchi^{1,5} et al. (1: NAOJ, 2: IUCAA, 3: Waseda Univ., 4: Leiden Univ. 5: Univ. of Tokyo)

Simulations predict that the highly ionized medium surrounding low-mass, metal-poor galaxies is driven by outflows (e.g., Fujita et al. 2003). These outflows and ionized circumgalactic medium (CGM) can be traced by extended H α emission (H α halo). Recently, the CGM of an extremely metal-poor galaxy (EMPG), defined as having metallicities of $Z \leq 0.1 Z_\odot$, has been observed with MUSE: SBS 0335-52E shows an H α halo and a highly-ionized CGM filament along with an outflow, implying a leaking channel of ionizing photons (Herenz et al. 2023). Unfortunately, this single case does not tell us whether these outflows and ionized CGM are common among EMPGs. We need to observe EMPGs with a wide-field optical integral field unit, which allows us to capture large-scale CGM structures up to 10 kpc to 100 kpc in a single FoV. To investigate the CGM of all known starburst EMPGs with MUSE, we selected 21 targets at $z = 0.008-0.09$ from $\simeq 100$ sources in a compiled catalog in Nakajima et al. (2022). Two of these sources have deep archival data. We proposed MUSE observations for the other 19 sources and were awarded 38 hours. Of the 19, 16 sources were observed, and we have 18 sources in total. In this talk, we would like to introduce the project details such as sample properties, observations, science cases, and early results of identifying H α halos.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

X33a JWST で探る $z = 6.6$ の Himiko の性質

清田朋和 (総合研究大学院大学/国立天文台), 大内正己 (国立天文台/東京大学), Yi Xu, 播金優一 (東京大学), 日下部晴香, 中島王彦 (国立天文台), 藤本征史 (The University of Texas at Austin)

Himiko は、 $z = 6.6$ の Ly α 輝線が空間的に広がっている (~ 17 kpc) 明るく ($m_{\text{UV}} \sim 25$) 巨大な Ly α blob である (Ouchi et al. 2009, 2013)。Himiko は、西から東に並ぶ、A、B、C の 3 つの連続光のクランプからなり、星質量 $10^{10} M_\odot$ 、星形成率 $\sim 100 M_\odot \text{ yr}^{-1}$ であることなどが報告されているが、なぜ非常に明るく、Ly α が空間的に広がっているのか、その起源は不明である。我々は、JWST/NIRSpec IFU によって得られ、公開された Himiko の 3 次元分光データ (PID: 1215) と PRIMER (PID: 1837) の JWST/NIRCam 撮像データを活用し、起源を探った。IFU データの [OIII] $\lambda\lambda 4959, 5007$ 輝線空間分布から、クランプ B から天球上 $0''.4, 1''.1$ (2.2 kpc, 6.1 kpc) 北に、連続光で暗く、輝線で明るい 2 つのクランプ D、E を新たに見つけた。[OIII] 輝線の速度分布からはクランプ同士の回転などの強い特徴は見えず、各クランプがランダムに動いていることがわかった。さらに、撮像データによって得られたクランプ A、B、C の UV 等級から、星質量は $\log(M_*/M_\odot) \sim 9.1, 9.3, 9.3$ と推定される。質量がほぼ等分されていることから、これらは triple major merger の過程にあると考えられる。さらに、少なくとも 2 つのクランプの [OIII] $\lambda\lambda 4959, 5007$ 輝線には、輝線幅の広い (FWHM $\sim 150 \text{ km s}^{-1}$) 成分があることを見つけ、これは outflow の兆候と考えられる。また、クランプ C の H α 輝線には FWHM $\gtrsim 700 \text{ km s}^{-1}$ の成分も確認でき、AGN の可能性もある。これらの結果から、Himiko は、多くのクランプや銀河合体、outflow によって Ly α が空間的に広がり、活発な星形成や AGN によって明るく輝く天体だと考えられる。本講演では、Himiko の性質と、初期大質量銀河形成メカニズムの物理的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](#)

X34a RIOJA:赤方偏移 7.9 の原始銀河団 A2744-z7p9OD のメンバー銀河の星間媒質

大曾根渉, 橋本拓也, 碓氷光崇 (筑波大学), 井上昭雄, 馬渡健, 菅原悠馬, Yi Ren (早稲田大学), 札本佳伸 (千葉大学), 田村陽一, 萩本将都 (名古屋大学), 橋ヶ谷武志 (京都大学), Tom Bakx (チャルマース工科大学), 仲里佑利奈, 吉田直紀 (東京大学), 松尾宏 (国立天文台), J. Álvarez-Márquez, L. Corina (El Centro de Astrobiología) 他 RIOJA グループ

原始銀河団の研究は、銀河の環境効果のメカニズムを理解する上で重要である。我々はこれまで、独自に取得した JWST の NIRSpec/IFS の面分光データを用いて原始銀河団 A2744-z7p9OD のコア領域に対して輝線比診断を行い、高密度領域における銀河の星間ガスの性質を調査してきた。その結果、コア領域の銀河のうち 3 天体は $O32(\log([O\ III]\lambda 5008\text{\AA}/[O\ II]\lambda\lambda 3727, 3730\text{\AA})) \sim 0.0 - 0.4$ であり、同じ時代にある典型的な天体と比較して ~ 0.8 dex 低く、 $z \sim 3$ の典型的なライマンブレイク銀河と同程度の値をとることが明らかになった (2024 年春季年会 X10b)。本研究では、JWST の NIRSpec/MOS のスリット分光データを用いてコア領域外のメンバー銀河 3 天体に対して輝線解析を行い、コア領域の銀河と O32 の比較を行った。結果、 $[O\ III]\lambda 5008\text{\AA}$ と $[O\ II]\lambda\lambda 3727, 3730\text{\AA}$ が共に検出された 1 天体は O32 がコア領域の銀河と比較して大きく、同じ時代にある典型的な天体と同程度の値をとることが明らかになった。また、JWST の NIRCамによる撮像データを用いて SED 解析を行い、同原始銀河団のメンバー銀河の星形成活動についても調査した。結果、コア領域の銀河のうち 3 天体が $\log(M_*/M_\odot) \sim 8.7 - 9.5$ であり、コア領域外のメンバー銀河と比較して星質量が高いことがわかった。この結果は、同じ原始銀河団に属するメンバー銀河でもその性質に多様性があることを示唆している。本講演では、SED 解析から求めた星質量などの物理量と O32 の関係を示し、本天体の性質を原始銀河団における銀河進化に関連づけ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](#)

X35a RIOJA. $z = 6.81$ 銀河の JWST+ALMA 解析：二層電離ガスの存在の示唆

碓氷光崇¹, 馬渡健², 橋本拓也¹, 大曾根渉¹, 井上昭雄², 菅原悠馬², Yi Ren², 札本佳伸³, 田村陽一⁴, 萩本将都⁴, 橋ヶ谷武志⁵, T. J. L. C. Bakx⁶, 仲里佑利奈⁷, 吉田直紀⁷, 松尾宏⁸, J. Álvarez-Márquez⁹, L. Corina⁹, L. Costantin⁹ (¹ 筑波大学, ² 早稲田大学, ³ 千葉大学, ⁴ 名古屋大学, ⁵ 京都大学, ⁶ チャルマース工科大学, ⁷ 東京大学, ⁸ 国立天文台, ⁹ El Centro de Astrobiología) 他 RIOJA グループ

JWST と ALMA を用いた分光観測は、宇宙再電離期 ($z \gtrsim 6$) にある銀河の星間媒質 (ISM) の物理的・化学的性質を詳細に解き明かす道を開拓した。2024 年春季年会 (X40a) では $z = 6.81$ の銀河 COS-2987 に対して、ALMA で観測された $[O\ III]88\mu\text{m}$ と我々が取得した NIRSpec/IFS データを組み合わせた ISM の物理状態 (電子密度、重元素量など) の測定結果について報告した。本講演では、本天体のさらなる ISM の物理状態の解析結果について紹介する。我々は NIRSpec/IFS データから $[O\ II]3727, 3730\text{\AA}$, $H\beta$, $[O\ III]4960, 5008\text{\AA}$ といった ISM 物理量推定に重要な輝線を検出し、 $[O\ III]5008/4364$ から電子温度 $T_e \sim 2.0 \times 10^4\text{ K}$ 、 $[O\ II]3730/3727$ から電子密度 $n_e \sim 700\text{ cm}^{-3}$ と測定した。一方、 $[O\ III]88\mu\text{m}/5008\text{\AA}$ 輝線比も含めて ISM の物理状態を測定したところ、誤差を考慮しても一つの電子温度、電子密度の組み合わせで全ての輝線比を説明できないことがわかった。これは一様な電離ガスから全ての輝線が放射されているという仮定の不適切さを示唆しており、そこで我々は二層の電離ガスを想定したモデル計算を行った。その結果、例えば $T_e \sim 2.3 \times 10^4\text{ K}$, $n_e \sim 700\text{ cm}^{-3}$ の高温高密度電離ガスと $T_e \sim 1.0 \times 10^4\text{ K}$, $n_e \sim 100\text{ cm}^{-3}$ の低温低密度電離ガスが体積比 1:1000 で存在する場合、観測された $[O\ III]$ 輝線フラックスを再現できることが明らかになった。このような JWST と ALMA の面分光データ同士の比較による ISM の物理状態の詳細な調査は前例がなく、遠方銀河の ISM の多層構造を理解するための重要な示唆を与えている。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

X36a RIOJA. Complex Dusty Starbursts in a Major Merger B14-65666 at $z=7.15$

Y. Sugahara¹, J. Álvarez-Márquez², T. Hashimoto³, L. Colina², A. K. Inoue¹, L. Costantin², Y. Fudamoto⁴, K. Mawatari¹, Y. W. Ren¹, S. Arribas², T. J. L. C. Bakx⁵, C. Blanco-Prieto², D. Ceverino⁶, A. Crespo Gómez², M. Hagimoto⁷, T. Hashigaya⁸, R. Marques-Chaves⁹, H. Matsuo¹⁰, Y. Nakazato¹¹, M. Pereira-Santaella², Y. Tamura⁷, M. Usui³, N. Yoshida¹¹ (¹ Waseda U., ² El Centro de Astrobiología, ³ Tsukuba U., ⁴ Chiba U., ⁵ Onsala Space Observatory, ⁶ U. Autònoma de Madrid, ⁷ Nagoya U., ⁸ Kyoto U., ⁹ Geneva Observatory, ¹⁰ NAOJ, ¹¹ U. of Tokyo)

Major mergers are predicted to occur more frequently at high redshift by $\propto (1+z)^{2-3}$, increasing an importance of merging build-up processes at higher redshift. In the 2023 autumn annual meeting in ASJ (X56a), we presented JWST NIRCам observations of a Lyman-break galaxy system B14-65666 at $z = 7.15$, which are taken as part of the JWST RIOJA project. B14-65666 is a bright major merger of $M_{UV} = -22.5$ mag and the NIRCам observations revealed complex morphology of the system. In this talk, we would like to present photometry and emission-line analyses based on a combination of JWST and ALMA data. The UV/optical and sub-mm SED fitting confirms that the system consists of a dusty starburst galaxy with a possible high dust temperature ($\geq 63\text{--}68\text{ K}$) and a less-dusty starburst galaxy that would have a low dust temperature ($\leq 27\text{--}33\text{ K}$) or patchy stellar-and-dust geometry. The optical-to-FIR $[OIII]$ line ratio shows that a core of the dusty starburst has a lower gas-phase metallicity ($\simeq 0.2\text{ Z}_\odot$) than the other less-dusty starburst. These results agree with a picture of nuclear dusty starbursts induced by less-enriched inflows accompanied with the major merger.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

X37a Rotating Disk at $z=10.6$ Revealed by JWST Integral Field Spectroscopy

Yi Xu (UTokyo), Masami Ouchi (UTokyo/NAOJ), Hidenobu Yajima, Hajime Fukushima (Tsukuba University), Yuichi Harikane, Yoshiaki Ono, Hiroya Umeda, Hiroto Yanagisawa, Minami Nakane (UTokyo), Kimihiko Nakajima, Yechi Zhang (NAOJ), Yuki Isobe (Waseda)

We investigate the dynamics of GN-z11, a luminous galaxy at $z = 10.60$, by analyzing the public deep integral field spectroscopy (IFS) data taken with JWST NIRSpec IFU. While the observations of the IFS data originally targeted a He II clump near GN-z11, we find that C III] $\lambda\lambda 1907, 1909$ emission from ionized gas at GN-z11 is bright and spatially extended significantly beyond the point-spread function (PSF) in contrast with the GN-z11's compact UV-continuum morphology. The spatially extended C III] emission of GN-z11 shows a velocity gradient, red- and blue-shifted components in the NE and SW directions, respectively, which cannot be explained by the variation of [C III] $\lambda 1907$ /C III] $\lambda 1909$ line ratios. We perform forward modeling with GalPak^{3D} and find that the best-fit model is a nearly edge-on disk with a rotation velocity of $v_{\text{rot}} = 376 \text{ km s}^{-1}$, a velocity dispersion of $\sigma_v = 113 \text{ km s}^{-1}$, and a ratio of $v_{\text{rot}}/\sigma_v = 3.3$, indicative of a rotation-dominated disk at $z = 10.6$. Interestingly, the disk rotation velocity is faster than the circular velocity at the virial radius, suggesting a compact disk produced under weak feedback such predicted in numerical simulations. While higher S/N data are necessary for a conclusion, these observational results would suggest that GN-z11 has a fast-rotating gaseous disk whose center possesses luminous stellar components or AGN providing weak feedback.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

X38a Unique Overdensity and Nature of Extreme Emission Line Galaxies at $z \sim 7$

Kazuki Daikuhara (Tohoku Univ.), Takahiro Morishita (IPAC), Tadayuki Kodama (Tohoku Univ.), Ranga-Ram Chary (IPAC)

Extreme emission line galaxies (EELGs) at high redshifts are considered to be a key contributor to the cosmic reionization at $z > 6$ due to their higher ionization efficiencies. It is thus critical to identify and characterize such EELGs in the early Universe, reveal their physical properties and investigate their interplay with surrounding large-scale structure. We have identified 120 $\text{H}\beta + [\text{OIII}]$ emitters at $z \sim 7$ selected by the flux excess in the medium-band filter F410M in the JWST public fields of Cycle 1 observations. Notably, we find a number of emitters with a considerably high $\text{H}\beta + [\text{OIII}]$ rest-frame equivalent width of $> 3000 \text{ \AA}$. Our spectral energy distribution analysis reveals that they have (i) low stellar mass ($\sim 10^{7.5} M_{\odot}$), (ii) blue colors ($\beta_{\text{UV}} \sim -2.2$), and (iii) low dust attenuation ($A_V \sim 0.1$). Some emitters show extended and/or offset $\text{H}\beta + [\text{OIII}]$ emission compared to the UV and stellar component, suggesting that strong feedback from massive stars and/or AGNs may be playing a role. Moreover, we find 13 objects with emission line distributions offset from the stellar and UV components, which may have been affected by shock heating. Lastly, we report an overdensity of EELGs in one of the observed fields. This may support the idea that dynamical events, such as gravitational instability and merger, trigger intense star formation seen in the EELGs.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

X39a Radiative-driven dusty outflows by compact $z > 10$ galaxies

Yurina Nakazato (The University of Tokyo), Andrea Ferrara (Scuola Normale Superiore)

JWST has observed several galaxies at redshifts exceeding 10. The observed UV luminosity function at $z \gtrsim 10$ suggests an overabundance of UV-bright ($M_{\text{UV}} \lesssim -20$) and massive galaxies in comparison to pre-JWST theoretical predictions. Several scenarios can explain this discrepancy, one of which is the negligible dust attenuation due to outflows (e.g., Ferrara+23, 24). The condition of outflow requires the system to be super-Eddington (i.e., Eddington ratio $\lambda_E \geq 1$). However, the classical Eddington luminosity does not account for radiation pressure by dust and the gravity of surrounding gas, making it inapplicable to galaxy systems.

In this study, we calculate the modified Eddington luminosity by setting parameters such as gas column density, stellar mass, and metallicity (a total of nine parameters) to reproduce $z > 10$ galaxy environments. We introduce a boost factor A as a ratio of the modified Eddington luminosity to the classical one. As a result, we find that the modified Eddington luminosity decreases by a factor of $A \sim 2000(Z/Z_{\odot})$ at $N_{\text{H}} \gtrsim 10^{21} \text{ cm}^{-2}$. This is because dusty gas is optically thick and A can be expressed as the product of the dust-to-gas ratio and the cross-section ratio of dust to Thomson scattering ($A \sim D\sigma_d/\sigma_T$). We apply this formula to $z > 10$ simulated galaxies and evaluate the modified Eddington ratio. The obtained results suggest that galaxies might have experienced a super-Eddington phase before the observed period.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

X40a 高赤方偏移銀河中心における星風由来の金属量汚染

斎藤貴之 (神戸大学), 藤井通子 (東京大学), 平居悠 (東北大学/ノートルダム大学), 磯部優樹 (早稲田大学)

GN-z11($z = 10.60$) は JWST の観測から N/O 比が太陽の値の 4 以上と非常に高い値を持つことが知られている (Cameron+2023)。GN-z11 は銀河形成初期のユニークな化学進化の状況を示している可能性がある。我々は、前回 (2024 年春季年会) の講演に引き続き、 $z \geq 10$ における化学進化の詳細を調べるため、高速回転する大質量星からの星風、超新星爆発、AGB 星からの質量放出という複数の化学進化チャンネルを考慮した N 体/SPH 法による宇宙論的 zoom-in シミュレーションを行った。今回は、始原ガスの非平衡進化、Lyman-Werner 背景光、種族 III 星を導入した。

我々のシミュレーションでは、 $z \sim 11$ ごろ、銀河中心部の数 10 pc にガスが急激に落ち込み、銀河中心部で $100 M_{\odot}/\text{yr}$ を超える爆発的星形成を起こす。このとき $\sim 10 \text{ Myr}$ 程度の短い期間、銀河中心部で N/O 比が星風で期待される高い値 ($\log(\text{N/O}) > -0.5$) になる。その後超新星爆発の影響により速やかに一桁以上下がる。したがって、銀河中心で N/O 比が高いのは限られた期間だけになる。このとき中心でできた星は非常にコンパクトで、その分布は円盤状であった。これはガスが散逸を強く受けながら中心に落ちてきたことを示唆する。Lyman-Werner 背景光の強度を変えたシミュレーション、種族 III 星を考慮しないシミュレーションの結果もこのことを支持する。

今回のシミュレーションでも、前回同様に多数の星団が存在し、それらは星の成分として高い N/O 比を持つ。また、星団のもつ N/O 比は銀河中心より高い傾向を持つ。これは、今回採用したイールドが低金属量側でイジェクタの N/O 比がやや高くなるからである。

[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](#)

X41a 準解析的銀河形成モデルによる始原的パワースペクトルの違いが銀河形成に与える影響の調査

長船大樹, 岡本崇 (北海道大学), 大木平 (旭川高専), 長島雅裕 (文教大学), 平野信吾 (神奈川大学), 石山智明 (千葉大学), 吉田直紀 (東京大学)

James Webb Space Telescope (JWST) の観測によって、高赤方偏移 ($z \gtrsim 9$) で現在の銀河形成シナリオの予想よりも多くの高恒星質量の銀河が発見された (Harikane et al 2023)。現在のシナリオで観測された銀河を説明するには、極めて高い星形成効率 ($\epsilon \sim 0.9$) を必要としており様々なシナリオが提案されている。そのシナリオの 1 つとして、Hirano & Yoshida (2024) は始原的パワースペクトルを変化させることで、標準的な星形成効率 ($\epsilon \sim 0.3$) で観測結果を再現することを示唆している。しかしながら、Hirano & Yoshida (2024) では単純な星形成モデルを導入しているため、始原的パワースペクトルの変化が銀河形成に与える影響は明らかではない。そこで本研究では、ある波数からパワースペクトルの傾きを変化させた始原的パワースペクトル (Blue Tilted Power Spectrum, BTPS) を初期条件とした高分解能宇宙論的シミュレーションに準解析的銀河形成モデル $\nu^2\text{GC}$ を用いた準解析的手法によって銀河を再現し、 $z \sim 9$ から $z \sim 4$ までの標準的な始原的パワースペクトルを初期条件に再現した銀河、観測データと比較した。その結果、BTPS を初期条件とした場合、標準的な始原的パワースペクトルの場合に比べて、 $z \sim 9$ で明るい銀河の高い恒星質量の銀河が増加し、暗い銀河が減少することがわかった。本講演では、高赤方偏移での結果の違いが、 $z \sim 4$ までの銀河の進化過程にどのように影響を与えているか議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

X42b 初代銀河の形成過程における種族 II 星の初期質量関数とその影響

石田怜士 (東北大学), 安部牧人 (呉高専), 矢島秀伸 (筑波大学), 大向一行 (東北大学)

初代銀河は宇宙で最初に形成された銀河であり、 $z \sim 10\text{-}20$ の間に形成されると考えられている。近年の James Webb Space Telescope (JWST) の進展によって $z \sim 8\text{-}14$ の宇宙初期の銀河が観測され始めており、初代銀河解明の機運が高まりつつある。一方で、JWST で観測された銀河は標準的な理論予想よりも紫外線で明るい銀河が多く報告されており、この観測を説明可能な銀河形成理論の構築が求められている。

JWST 観測と理論の不整合を解決するシナリオの一つが、初期宇宙では星の初期質量関数 (IMF) がトップヘビーになり、大質量星の割合が大きくなるというものである。Chon et al. (2022) では低金属量になるにつれ、IMF がトップヘビーになることが示されている。一方で大質量星の割合が増加すると、放出される金属量も多くなるため、JWST で観測された銀河で実際にそのような低金属量環境が実現しているかは不明である。

本研究では、IMF を変化させた初代銀河の形成・進化の宇宙論的流体シミュレーションを行い、宇宙初期環境における銀河の金属汚染がどのように進むのかについて調べた。本講演では、初代銀河の金属汚染と紫外線光度の関係、星の分布について紹介する。加えて、種族 III 星による初代銀河形成への影響、そして種族 III 星から種族 II 星への遷移過程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](#)

X43b 機械学習による第二世代星の超新星爆発単汚染星の抽出と初代星の性質

石川 諒 (東北大学), 千葉 柊司 (東北大学), 石垣 美歩 (国立天文台)

銀河系形成史を紐解く上で、初代星 (Pop III) の性質を知ることは銀河の最初期の情報を得るために重要である。初代星は現在の星よりも大きな質量分布を持つとされるため、既に超新星爆発を経験したために直接観測されない。現在、元素汚染については、核合成モデルを元に超新星爆発によって様々な元素がどの程度生成されるのか理論的な予測がなされるものの、多数の天体の観測による統計的な議論はなされていない。超新星爆発の影響を一度のみ受けた天体 (単汚染星) を抽出することで、単一の超新星爆発による元素汚染の効果が観測から解明されれば、超新星爆発した初代星の組成、光度や質量を決定できる。本研究では第二世代星に注目し、機械学習を用いて超低金属量星の中から単汚染星の抽出を試みた。星の金属量は元素汚染を繰り返すことで増加するため、金属量の極めて少ない天体は過去に経験した元素汚染の回数が少なく、第二世代星を多く含むと推定されるためである。先行研究 (Hartwig+23) の手法で、Pop III の超新星爆発による元素汚染イールドモデル (Ishigaki+18) を教師データとして、単汚染星とそれ以外の星を識別する機械学習のモデルを構築し、SAGA データベースから抽出した超低金属量星の観測データに適用した。先行研究での仮定に加えて、初期質量関数の仮定を入れて、結果がどう変わるかを調査した。本研究で、単汚染星の解析結果から、初代星の多くは孤立した系ではなく、複数の星が存在する系にあったと考えられ、この結果は流体シミュレーションによる結果と一致した。本講演では、適用した手法の妥当性と解析結果の詳細を発表する。

[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](#)X44c CUDA/HIP/SYCL を用いた direct N -body code の実装と NVIDIA/AMD/Intel 製 GPU 上での性能評価

三本 洋平, 塙 敏博 (東京大学)

GPU が演算加速器としてスパコンに搭載されるようになってから 10 年以上に渡って、国内外を問わず GPU スパコンといえば NVIDIA 製 GPU を搭載したものがほとんどであった。しかし、2024 年 6 月版の TOP500 リストで 1 位を獲得した Frontier は AMD 製 GPU を、2 位の Aurora は Intel 製 GPU を、3 位の Eagle は NVIDIA 製 GPU を搭載するなど、GPU ベンダー間の競争が活性化している。コード開発環境においても、NVIDIA 製 GPU のみを対象とする CUDA だけではなく、NVIDIA 製 GPU と AMD 製 GPU 両方に対応できる HIP や、より多様なデバイスに対応できる SYCL といった様々なプログラミングモデルが提供されている。そこで本研究では、NVIDIA 製 GPU 向けに CUDA で実装された既存の N 体計算コードを、HIP や SYCL を用いて移植・最適化した上で NVIDIA/AMD/Intel 製のデータセンター GPU 上での性能評価を行った。

NVIDIA H100 SXM 上では SYCL で実装したコードを Intel oneAPI でコンパイルしたコードが最も高い性能を示し、1 秒あたりの相互作用演算ペア数が 2.16×10^{12} に達した。この性能は CUDA 版よりも 2 割程度高い性能である。AMD MI210 上では HIP 実装が最高性能であり、相互作用演算ペア数は毎秒 9.10×10^{11} となったものの、SYCL で実装したコードを AdaptiveCpp でコンパイルした際の相互作用演算ペア数は毎秒 9.09×10^{11} であり、HIP 版の性能とほぼ一致した。Intel Data Center GPU Max 1100 上では SYCL で実装したコードを Intel oneAPI でコンパイルしたコードが動作し、1 秒あたりの相互作用演算ペア数は 8.87×10^{11} であった。したがって、NVIDIA/AMD/Intel 製 GPU 全てに対応したコード開発という観点で SYCL が有用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](#)X45a A quiescent galaxy pair at $z = 3.44$ in the Cosmic Vine

Kei Ito (U. Tokyo), Francesco Valentino (ESO, DAWN), and members of JWST GO 3567

近年、 $z \sim 3-5$ においても星形成活動が穏やかな大質量銀河が見つかった。それらの銀河のいくつかでは極めて近く ($4-10$ kpc) に別の大質量星形成銀河があることが報告されている (Schreiber et al. 2018, Kokorev et al. 2023, Kakimoto et al. 2024)。この付随銀河の存在は星形成活動の低下との関連が考えられている。本発表では $z = 3.44$ にある Cosmic Vine とよばれる大規模構造中における星形成活動が穏やかな大質量銀河のペアの発見を報告する。Cosmic Vine は EGS 領域に存在し、CEERS 等の JWST/NIRSpec を用いた分光観測によって $z = 3.44$ における銀河の密集が確認されている (Jin et al. 2023)。星形成活動が穏やかな $3 < z < 4$ の大質量銀河を NIRSpec を用いて観測する JWST 観測プログラム (GO 3567) において、我々は既に見つかった Cosmic Vine 中の星形成活動が穏やかな銀河の約 3kpc の距離に $z = 3.44$ の銀河を分光確認した。この銀河も大質量 ($\log(M_*/M_\odot) \geq 11$) かつ星形成率が低いことから、この 2 天体は星形成活動が穏やかな銀河のペアであることがわかった。両者の距離の近さからこのペアは今後 major merger を経て一つの銀河になると考えられる。Illustris TNG-300 シミュレーション (Nelson et al. 2019) で同様の構造を調査したところ、 $z = 3.5$ の星形成活動が穏やかな大質量銀河 44 天体の中に、星形成活動が穏やかな銀河との major merger を 1Gyr 以内に経験し、それらの銀河同士の距離が 3kpc 程度の銀河は存在しなかった。この結果は星形成活動が穏やかな銀河のペアが極めて珍しい構造である可能性を示している。本発表ではこれらの銀河の JWST スペクトルを解析した結果も紹介する。

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

X46a 高赤方偏移に存在する大質量 Quiescent 銀河の星形成の抑制と周辺環境

柿元拓実 (総合研究大学院大学), 田中賢幸, 小野寺仁人, 安藤誠 (国立天文台), 嶋川里澄 (早稲田大学)

近年、JWST や地上望遠鏡の近赤外線における観測で $z > 4$ に存在する星形成を終えた銀河 (大質量 Quiescent 銀河) が複数確認されている。その中の一つである $z = 4.53$ に存在する大質量 Quiescent 銀河は、他の天体に比べて形成時期が 2 億年前程度と若い。また、COSMOS 領域のカatalogから周辺環境を調査すると、この天体は最も銀河が密集した領域に存在することが明らかになった。これらの結果は、銀河の爆発的星形成や星形成の抑制に周辺銀河との相互作用が影響した可能性を示唆しており、これまでの活動銀河核等のアウトフローによる星形成の抑制シナリオに、環境という新しい視点を取り入れる必要性を示している。

そこで本研究では、大質量 Quiescent 銀河における具体的な周辺環境の影響を理解するため、 $z = 4.53$ に存在する大質量 Quiescent 銀河を含む銀河密集領域の分光観測及び、COSMOS 領域のカatalogを利用した Quiescent 銀河が持つ典型的な周辺環境の探索を行なった。Subaru/FOCAS を用いた分光観測では、周辺銀河のライマンブレイクを観測することで、正確な赤方偏移を確認した。また、COSMOS カatalogを利用した Quiescent 銀河の周辺環境については、特に高い赤方偏移 ($z > 4$) に存在するものに関して銀河数密度の高い領域に存在する可能性が示唆された。一方で $z < 4$ では、星形成銀河と Quiescent 銀河でほとんど同じ周辺銀河の数密度を持つことから、環境が特殊な天体は一部に限られることがわかった。講演では、Quiescent 銀河が持つ推定された質量、年齢等の銀河数密度との相関や星形成銀河を含めた周辺環境が特殊な天体の星形成活動について議論する。

[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](#)

X47a eROSITA/eFEDS X-ray view of WERGS radio galaxies selected by the Subaru/HSC and VLA/FIRST survey

Kohei Ichikawa, Sakiko Obuchi (Waseda), Takuji Yamashita (NAOJ), and WERGS team

We constructed the eROSITA/eFEDS X-ray catalog containing 393 radio galaxies discovered by the WERGS survey, made by cross-matching the wide area Subaru/HSC optical survey and VLA/FIRST 1.4 GHz radio survey. The sample contains the rare and most X-ray luminous radio galaxies above the knee of the X-ray luminosity function, spanning $44 < \log(L_{0.5-2\text{keV}}^{\text{abs,corr}}/\text{erg s}^{-1}) < 46.5$ at $1 < z < 4$. Based on the X-ray properties obtained by the spectral fitting, 37 sources show obscured AGN signatures with $\log(N_{\text{H}}/\text{cm}^{-2}) > 22$. These obscured and radio AGN reside in $0.4 < z < 3.2$, indicating that they are obscured counterparts of the radio-loud quasar, which were missed in the previous optical quasar surveys. We find that there are 14 sources with extremely high jet production efficiency at $\eta_{\text{jet}} \approx 1$, which might be a result of the decreased radiation efficiency of $\eta_{\text{rad}} < 0.1$, due to the low accretion rate for those sources, and/or of the boosting due to the decline of $L_{\text{AGN,bol}}$ by a factor of 10–100 by keeping P_{jet} constant in the previous Myr, indicating the experience of the AGN feedback. Finally, inferring the BH masses from the stellar mass, we find that X-ray luminous sources show the excess of the radio emission with respect to the value estimated from the fundamental plane. This radio emission excess cannot be explained by the Doppler boosting alone, and therefore the disk-jet connection of X-ray luminous eFEDS-WERGS is fundamentally different from the conventional fundamental plane which mainly covers the low-accretion regime.

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

X48a eROSITA Detected Radio Quasar Possibly Reaching Super-Eddington Accretion Limit

小淵紗希子, 市川幸平 (早稲田大), Bovornpratch Vijarnwannaluk (ASIAA), Andrea Merloni (MPE)

超巨大ブラックホール (SMBH) へのガス降着状態である活動銀河核 (AGN) を観測し、超巨大ブラックホールへの質量降着の始まりから終焉までの時間変動や質量降着変動を捉えることは、SMBH の質量獲得の起源を知ることにつながる重要な観測情報である。この質量降着の極値が、エディントン限界降着を超えたエディントン超臨界降着である。この状態を観測的に発見することができれば、超巨大ブラックホールが最も成長している段階を詳細に調べることができる。その一方で、この超臨界降着がどのようにして起こるのか、またどのような段階で起こるのかは観測的にはいまだわかっておらず、超臨界降着下での SMBH の環境や降着円盤の物理そのものを理解することは SMBH の成長過程を知る上で極めて重要である。

Ichikawa et al. (2023) では、eROSITA eFEDS 広域 X 線サーベイと VLA/FIRST 1.5 GHz 電波サーベイを合わせたことにより、 $0 < z < 4$ という幅広い赤方偏移において、X-ray and radio-loud AGN が多数報告された。本研究では、上記サンプルで分光赤方偏移同定されている天体のうち、0.5–2 keV 光度が $L_{0.5-2\text{keV}} > 10^{46} \text{ erg s}^{-1}$ (bolometric correction を考慮すると $L_{\text{bol}} > 10^{48} \text{ erg s}^{-1}$)、かつ non-Blazar である 1 天体に着目し、CIV 輝線を用いて BH 質量の見積もりを行った。その結果、 $M_{\text{BH}} = 7.3 \times 10^8 M_{\odot}$ 、エディントン比 $\lambda_{\text{Edd}} = 2.9 > 1$ の超臨界降着状態にある可能性が高いことがわかった。本講演では、本天体は電波で明るいことから、超臨界降着天体の一部は効率的にジェットが出しうる環境にあることがわかるだけでなく、本天体が eFEDS 100 deg² から検出されたことから、予想されていたより多くの radio-loud AGN が $z \sim 3$ に存在していることも議論する。

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

X49a Crimson Behemoth: $z \sim 5$ massive clumpy galaxy hosting X-ray dusty AGN

Takumi Tanaka (U.Tokyo/Kavli IPMU), John D. Silverman (Kavli IPMU), Masafusa Onoue (Kavli IPMU), Yurina Nakazato (U.Tokyo), Andreas L. Faist (Caltech/IPAC), Xuheng Ding (Wuhan U.), Zhaoxuan Liu (Kavli IPMU), Kazuhiro Shimasaku (U.Tokyo), and the COSMOS-Web team

Deep imaging and spectroscopic observations by *JWST* have discovered a large number of high- z , red, and compact objects, dubbed “little red dots” (LRDs). Based on the detection and analysis of broad emission lines, previous studies have argued that LRDs are low-luminosity AGNs hosting overmassive black holes. However, previous LRD selections are mainly based on color and compactness criteria, possibly biasing towards AGN-dominant, host-galaxy-undetected “dots”. To search for LRDs with extended host galaxy components, we apply a pixel-by-pixel color selection to the COSMOS-Web *JWST*/NIRCam images. To reliably select high- z AGNs, we cross-match the selected sources with *Chandra* X-ray and *Keck-II*/DEIMOS spectroscopic catalogs, discovering an object at $z_{\text{spec}} \sim 4.9$ with a red core and a massive ($M_* \sim 10^{11} M_\odot$) clumpy structure. The red core has a similar color to spectroscopically confirmed LRDs, suggesting it is a dusty AGN. Each clump has SFR and M_* comparable to $z \gtrsim 5$ Lyman-break galaxies but is more compact, indicating higher SFR and M_* densities. Comparison with a similar system in zoom-in simulations suggest a clump formation through violent disk instabilities. These uniquenesses make this system an unprecedented test case for discussing the evolution of the SMBH-galaxy relation during the high- z dusty evolutionary stage transitioning into unobscured quasars. In this presentation, we will report the analysis results from the COSMOS-Web imaging 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](#)

X50a Impact of mergers on star formation and AGN activity in the HSC-SSP

Kiyooki Christopher Omori (Ehime University), Tsutomu T. Takeuchi (Nagoya University, Institute of Statistical Mathematics), Connor Bottrell (University of Western Australia), Aaron Robotham (University of Western Australia), Sabine Bellstedt (University of Western Australia), Sara Ellison (University of Victoria), Andy Goulding (Princeton University), Mike Walmsley (University of Toronto), Hassen Yesuf (Shanghai Astronomical Observatory), John Silverman (Kavli IPMU), Xuheng Ding (Wuhan University), Tohru Nagao (Ehime University)

Galaxy interactions and mergers are not only the fundamental process of structure growth in the context of galaxies, but they also are considered to be a driver for numerous processes pertaining to galaxy evolution. When galaxies interact and merge, gas inflows towards the circumnuclear regions of the primary galaxy, which can trigger numerous galaxy evolution-related processes such as star formation and accretion onto supermassive blackholes and subsequent fueling of active galactic nuclei (AGN) activity. However, the relative role of galaxy mergers towards these processes is still heavily contested. In this work, we conduct a quantitative investigation on the role that mergers play in both star formation enhancement and AGN activity, using galaxies from the HSC-SSP. Merger galaxies are identified using a machine learning framework, through fine-tuning of the pre-trained deep representation learning model Zoobot (Walmsley et al. 2023). AGN properties are obtained based on the results of the full spectral fitting code PROSPECT (Robotham et al. 2020). We present our findings on the connection between mergers and star formation, as well as mergers and AGN activity.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

X51a ALMA によるレッドクエーサー ($z = 6.72$) の [CII] アウトフロー探査

澤村真星 (東京大), 泉拓磨, 中西康一郎 (国立天文台/総研大), 奥田武志 (国立天文台/東京大), 松岡良樹 (愛媛大), 尾上匡房 (Kavli IPMU), 他 SHELLQs チーム

$z = 6.72$ において発見されたレッドクエーサーに対する ALMA 望遠鏡の追観測結果を報告する。この天体は Subaru Hyper Suprime-Cam (HSC) によるサーベイ観測で発見されたものであり、銀河中心部分における高速なアウトフローの存在が、CIV と NV の Broad Absorption Lines (BALs) から確認されている (最大で $\sim 7400 \text{ km s}^{-1}$)。レッドクエーサーは銀河合体が駆動する進化の過程において、ダストに埋もれたスターバーストから可視光で明るいブルークエーサーへ移行する過渡期の形態であると考えられており、そのメカニズムとして活動銀河核 (AGN) 駆動のアウトフローにより周囲のダストやガスが銀河重力圏外へ吹き飛ばされる作用が考えられている。そのため、母銀河スケールに及ぶアウトフローの存在が予期されている天体である。我々はこの天体に対し、ALMA を用いた [CII] $158 \mu\text{m}$ 輝線と静止系遠赤外線連続波の観測を行い、[CII] 輝線と連続波の双方を明確に検出した。しかし、[CII] 輝線へダブルガウシアンでフィッティングを行い高速度成分 (= アウトフロー成分) の抽出を試みた結果、アウトフローを有意に検出することはできなかった。また、赤外線光度とそれに対応する星形成率はそれぞれ $2.3 \times 10^{12} L_\odot$ と $4.9 \times 10^2 M_\odot \text{ yr}^{-1}$ で、銀河質量に対する星形成率が通常の星形成銀河よりも高いことから、激しい星形成活動が行われていることが示されている。このため、アウトフローによる星形成活動の抑制はみられない。これらの結果から、このレッドクエーサーは銀河中心部分の星間物質は吹き飛ばされて間もないが、母銀河のスケールにはアウトフローが到達していないような、銀河進化における初期の段階である可能性がある。本講演では上記の観測結果に加えて、その他の可能性も考察し将来展望も述べる。

[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](#)

X52a 高質量分解能計算で明かす、銀河スケールから銀河中心核への質量輸送機構

油谷直道 (鹿児島大学)、斎藤貴之 (神戸大学)、川勝望 (呉高専)、和田桂一 (鹿児島大学)

超巨大ブラックホールとバルジの質量が強い相関関係にあることが知られているが、非常にコンパクトな領域に存在する SMBH と、バルジがどのように相互作用したのかは未だ分かっていない。この相互作用の詳細を知るためには、銀河スケール (~ 10 kpc) から銀河中心核 (< 10 pc) への質量輸送メカニズムを理解することが重要である。しかしながら、銀河スケールから銀河中心核への質量輸送機構の詳細な物理は、分解能の問題から包括的に理解されていない。

そこで本研究では、高密度領域 ($n_H > 10^3$ /cc) における星形成活動と、AGN フィードバックを考慮した N -body/SPH 法による銀河形成シミュレーションを行い、10 kpc スケールから 10 pc 以内の中心核への質量輸送機構に着目した。また、粒子分割法を用いて銀河中心数キロパーセク以内の星形成活動を高質量分解能 ($600 M_\odot$) でシミュレーションすることで、銀河スケールから銀河中心 4 pc 以内を同時に扱い、星形成活動と角運動量輸送を正確に評価することができた。

その結果、銀河円盤ポテンシャルが支配的な場合において、モード 2 の顕著な非軸対称構造 (渦状腕) による重力トルクが生じ、腕前面のガスが掃き集められることが確認できた。また、掃き集められたガスが高密度領域を形成し、腕内では粘性や圧力勾配力などの流体的な相互作用が加わることで銀河中心 (< 1 kpc) まで質量が輸送されることが分かった。本講演では、バルジポテンシャルと銀河中心での質量供給メカニズムの関係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](#)**X53a NASA FIR-Probe 候補 PRIMA の系外銀河サイエンス**

稲見華恵 (広島大学)、長尾透 (愛媛大学)、中川貴雄 (JAXA 宇宙科学研究所)、松浦周二 (関西学院大学)、山村一誠 (JAXA 宇宙科学研究所)、PRIMA 日本チーム、FIR-Probe リサーチグループ

Astro2020 の勧告を受け、NASA は Probe クラスの X 線および遠赤外線 (FIR) 望遠鏡の公募を行い、the PRobe far-Infrared Mission for Astrophysics (PRIMA) はその候補の 1 つである。PRIMA は口径 1.8m で $24\text{--}261\mu\text{m}$ (偏光は $80\text{--}261\mu\text{m}$) を連続的にカバーする冷却遠赤外線宇宙望遠鏡であり、2031 年 6 月の打ち上げを目指している。これが実現すれば、直前のミッションであったハーシェル宇宙望遠鏡の運用終了から 10 年以上ぶりにスペースからの遠赤外線観測が可能となる。PRIMA は撮像装置と分光装置を搭載しており、いずれも広視野のサーベイ観測に優れている。このため、多数の天体やスペクトル線は無バイアスに広範囲かつ多波長で検出し、天体の物理化学的状態を統計的および多角的に調査できる。従来の遠赤外線望遠鏡と比べて圧倒的に高い感度を活かし、銀河内の物質進化、惑星大気の起源、ダストと重元素の生成の解明を主な科学目標に設定している。日本も「あかり」や SPICA 計画で培われてきた遠赤外線科学・観測技術を活かして FIR-Probe ミッションへの参画を検討しており、宇宙科学研究所にてリサーチ・グループを設置した。本講演では、特に系外銀河で実現可能なサイエンスに焦点を当て、PRIMA が目指すサイエンス・ケースを紹介し議論する。これまで実現できていなかった遠方銀河の遠赤外線分光観測を通じて、赤方偏移 2-3 の宇宙最盛期から現在までの星形成、巨大ブラックホール、星間物質の性質と進化の解明が可能になることが期待される。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)[スケジュール \(全体\) に戻る](#)[講演者索引 TOP に戻る](#)**X54a 南極 12m テラヘルツ望遠鏡で可能なサイエンスの検討 I**

若杉航希、橋本拓也、久野成夫、矢島秀伸、本多俊介、長井悠 (筑波大学)、中井直正、瀬田益道 (関西学院大学)、松尾宏、永井誠 (国立天文台)、但徠和夫、Dragan SALAK (北海道大学)

近年 ALMA により、高赤方偏移の星形成銀河から遠赤外線の詳細構造線の観測が行われている。これらの輝線はダスト減光の影響が小さい利点があり、その輝線比から星間媒質の情報 (重元素量、電子密度) を推定できるため、銀河進化の研究では重要である。しかし、ALMA の Band9 (0.6 THz) 以上の高周波帯の観測は、観測条件が良い時に限られるため、例えば $[\text{O III}]\lambda 88\mu\text{m}$ ($[\text{C II}]\lambda 158\mu\text{m}$) 輝線の観測は主に赤方偏移 $z \geq 6(4)$ に制限される。また、再電離期の銀河の電子密度推定で重要な $[\text{O III}]\lambda 52\mu\text{m}$ 輝線の観測例も少ない。このような背景の中で、南極大陸内部は標高が高く寒冷であるため乾燥しており、地上で唯一テラヘルツ波帯の観測が可能である。加えて、大気が非常に安定しているためミリ波連続波の高感度観測にも適している。本講演では筑波大学を中心に推進している、南極 12m テラヘルツ望遠鏡 (ATT12) を使った高赤方偏移銀河の観測について検討状況を報告する。ATT12 の観測周波数帯域である 200 GHz - 2 THz において、冬季に 25% 程度実現が期待できる可降水量や量子雑音の 4 倍 (1 THz 以上では 7 倍) の受信機雑音をもとに大気減衰量を計算した。これを用いて ATT12 で分光できる輝線の 1) 検出限界とそれに対応する赤外線光度、及び 2) 赤方偏移の範囲を検討した。その結果、 $[\text{O III}]\lambda 88\mu\text{m}$ ($[\text{C II}]\lambda 158\mu\text{m}$) は $z = 2.5 - 4.5$ ($z = 1.0 - 4.0$) にある赤外線光度 $L_{\text{IR}} = 10^{12.5} L_\odot$ ($L_{\text{IR}} = 10^{11.5} L_\odot$) を持つ銀河を分光可能とした。また、 $z = 7$ にある明るい銀河 ($L_{\text{IR}} = 10^{13} L_\odot$) の $[\text{O III}]\lambda 52\mu\text{m}$ も観測可能であることを明らかにした。さらに、赤外線光度関数を用いて ATT12 の広視野カメラで観測可能な銀河候補の個数を推定した。その結果、 $z = 6$ の明るい銀河 ($L_{\text{IR}} = 10^{13} L_\odot$) の候補を南天全天で 600 個ほど観測可能であ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](#)

X55a A Pristine Look at Extended Globular Cluster Structures

Pete Kuzma, (National Astronomical Society of Japan); Miho Ishigaki, (National Astronomical Society of Japan), Annette Ferguson, (University of Edinburgh), Anna Lisa Varri (University of Edinburgh)

An exciting recent development in Galactic Astronomy has been the discovery that several Milky Way Globular Clusters (GCs) possess significantly extended structures, sometimes reaching out to a few hundred parsecs (corresponding to many half-mass radii). The number of GCs with extended structures (either in the form of tails or spherical diffuse envelopes) is unknown but has grown since the release of the Gaia Space Mission. The Gaia mission has transformed our view of these low-density structures, enabling member stars to be efficiently and reliably separated from the dominant foreground/background contaminant populations. However, Gaia lacks metallicities for many of the stars found in and around GCs. The Pristine survey provides metallicities for millions of stars, complementing the astrometric data from Gaia, and offers the opportunity to explore the stellar populations at the tidal radius and beyond for many Milky Way GCs. In this contribution, we will explore a selection of GCs with extended structure and present the findings of a survey of $[\text{Fe}/\text{H}]$ distributions beyond the tidal radii, which we relate to the stellar populations within. We will discuss the origins of the extended structures, and how upcoming instruments such as WEAVE, 4MOST and PSF will significantly advance our understanding of their origin.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

X56a Formation of the Andromeda Giant Southern Stream and Eastern Extent

山口未沙, 森正夫 (筑波大学), 桐原崇亘 (北見工業大学), 小上樹 (総合研究大学院大学), 千葉証司 (東北大学), 小宮山裕, 田中幹人 (法政大学)

近年の高精度な大規模イメージングと分光観測により、Andromeda Giant Southern Stream (AGSS) を含む M31 のハロー領域における重元素の空間分布が明らかになってきた。AGSS は中心から 100 kpc 以上にも渡って恒星が細長く分布する巨大な構造である。本研究では、progenitor の衝突前の重元素量の空間分布を仮定した N 体シミュレーションの結果を用いて、AGSS 内の重元素量の空間分布を調査した。これらを踏まえて、2024 年春季年会では、M31 中心からの AGSS の動径方向に沿った重元素の分布に関する解析を行った。その結果、動径方向に関しては金属量勾配は認められず、progenitor が元々持っていた金属量勾配の制限はつけられなかったが、平均金属量に関しては $[\text{Fe}/\text{H}] \simeq -0.5$ という制限をつけることができた。

今回は、AGSS の方位角方向の金属量の空間分布について解析を行った。その結果、 $[\text{Fe}/\text{H}] \simeq -0.5$ の条件を満たしつつ、観測によって示唆される AGSS の方位角方向の金属量分布の勾配が、 $\Delta[\text{Fe}/\text{H}] \approx -0.2$ 程度であることが分かった。さらに、この勾配を再現する progenitor の金属量勾配に制限をつけることができた。加えて、AGSS の奥行き空間への拡がりや視線方向速度、それらとの重元素量分布との対応を解析した結果、AGSS とは別に Eastern Extent に対応するような構造が見つかった。AGSS と Eastern Extent の関係性については、Fardal et al. (2008) や、Kirihaara et al. (2017) で議論されているが、今回の解析によりこの 2 つの構造が同じ衝突現象で形成された可能性を示唆した。本講演では、その理論モデルの詳細と観測による検証の可能性について報告する。

[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](#)

X57a Exploring the origin of the mysterious stellar stream "Leiptr" with Galactic Archaeology

松井瀬奈 (1, 2), 石垣美歩 (3), 服部公平 (4, 3), 辻本拓司 (3), 青木和光 (3), 竹内努 (1, 4) (1 : 名古屋大学, 2 : Ruhr University Bochum, 3 : 国立天文台, 4 : 統計数理研究所)

In the stellar halo of the Milky Way, more than 100 stellar streamers, which are left behind by orbiting dwarf satellite galaxies and globular clusters, have been found (Mateu 2023). The Leiptr stream is considered a candidate object from another galaxy's disrupted globular cluster (Ibata, et al. 2019, Bonaca, et al. 2021). However, this result consists of dynamical data from photometric observations, and high-dispersion spectroscopic data for this star are not available; to prove the origin of the Leiptr stream, data on its chemical composition are also needed. We observed one target in the Leiptr stream with the Subaru Telescope HDS. According to our result, one star belonging to the Leiptr stream has a typical feature of stars in UFD. On the other hand, a typical feature of stars belonging to globular clusters, is also seen in the same star. Since the line of sight velocities and chemical compositions of other stars have not been observed, it is not confirmed whether this stream originates from a UFD or a globular cluster. Although globular clusters and dwarf galaxies are thought to be distinctly different, the star in the Leiptr stream has both characteristics. In other words, the Leiptr stream may have originated from an unknown system that bridges the two. In this presentation we will discuss these results. In addition, the results of the analysis using metallicity data from the "Pristine survey" (photometric observations) will also be discussed.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

X58a すばる望遠鏡/Hyper Suprime-Cam で探る M83 恒星ハローの性質. I.

小上樹 (総合研究大学院大学/国立天文台), 岡本桜子 (国立天文台), Annette M. N. Ferguson (The University of Edinburgh), 千葉証司 (東北大学), 小宮山裕 (法政大学), 幸田仁 (Stony Brook University)

銀河の恒星ハローには、降着時に潮汐崩壊した矮小銀河や球状星団の残骸である恒星ストリームが存在する。恒星ストリームは、その力学時間の長さから降着時の化学動力学情報を保持し続けており、銀河形成史を解明する手がかりとなる。近傍銀河の M83 は、銀河系と同程度の質量スケールの棒渦巻銀河であり、銀河形成を理解する上で格好の観測対象である。しかし、M83 は ~ 4.8 Mpc と比較的遠方にあり、ハローで卓越している明るい赤色巨星分枝星 (RGB 星) も $i_0 > 25$ と暗く、詳細な構造を明らかにすることは困難であった。すばる望遠鏡/Hyper Suprime-Cam (HSC) は、このような M83 RGB 星の暗さまで観測をすることが可能である装置の一つであり、かつその視野の広さから M83 ハローを一網打尽に捉えることができる。

本講演では、国立天文台が提供する光学赤外線観測データアーカイブシステム (SMOKA) にある M83 のデータを用いて M83 恒星ハローの解析を行なった。古い RGB 星の空間分布を確認した結果、M83 ハロー南側において新たな恒星ストリームの検出に成功した。M83 の距離を仮定すると、このストリームは少なくとも 160 kpc にわたって広がっており、これまで検出されたストリームの中でも長い構造であることがわかった。また、今回新たに検出したストリームの平均測光金属量は $[\text{Fe}/\text{H}] \sim -1.33$ dex であり、質量-金属量関係を用いると、その progenitor の星質量が $1.4 \times 10^7 M_\odot$ であることが示された。本講演では、今回発見したストリームの性質について議論することに加えて、M83 に分布する若い星種族の解析結果も併せて議論する。

[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](#)

Y01a 日本の古代中世の地震史料における月の位置の記述

服部健太郎（関西大学）

日本の古代中世の地震史料に、月の位置およびそれに基づいた地震動の分類の記述が記されることがある。地震史料集の他、神田茂『日本天文史料』（恒星社, 1935）に、「月雑象」として、例えば次のように収録されている。

〔後法興院家記〕二十三
六月十二日丁丑、昨日地震勘文尋問記之、
只今申時大地震、月在弓宿（『日本天文史料』724 頁）

ところで月の位置の記述については、旧暦の月日に基づき割り当てられたものか、あるいは実際に観測した位置が用いられているかどうか、必ずしも明らかではない。本発表では、『日本天文史料』及び古代・中世地震・噴火史料データベース（β版）（古代中世地震史料研究会）に掲載された地震史料を中心に、月の位置の記述を伴うものに注目し、天文ソフトを用いて、その日の月の実際の位置との比較を行う。

[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](#)

Y02a 木村栄の書跡から学ぶ緯度観測所初代所長の地域コミュニケーション術

馬場幸栄（人間文化研究機構）

緯度観測所（岩手県水沢に明治 32 年設立された文部省直轄の天文台）の初代所長を務めた天文学者・木村栄は、緯度観測所と地域の人々との交流を重視し、地域から愛される緯度観測所をつくったことで知られる。しかし、木村がどのような範囲・レベルまで地域の組織・個人と交流していたのかを示す研究はこれまでほとんど行われてこなかった。そこで、地域の組織・個人に対して木村が自らしたためて贈ったという書跡について調査することで、木村が交流した組織・個人の範囲とレベルに迫ることとした。胆江日日新聞や聴取調査を通して情報収集を行ったところ、約 20 点の書跡の所在が確認された。そこで、各所有者のご了承を得てそれらを奥州宇宙遊学館に集め、来歴や文章の内容について精査したところ、木村から書跡を受け取っていたのは、組織としては地元の神社、小学校、女学校、商業高校、料亭等、個人としては緯度観測所の小使い（用務員のこと）や女性所員と、非常に幅広い層であることがわかった。また、木村は贈る相手ごとに相応しい文言を選び、ほぼ毎回異なる内容をしたためていたことも判明した。木村は緯度観測所の所長として、極めて広範囲にわたる組織・人々を対象に交流を行い、交流相手の特徴についても理解していたのである。こうした木村の幅広く細やかなコミュニケーション術は、地域の人々から愛される天文台をつくりたいと考えている現代の多くの天文台関係者たちにとって、ひとつの示唆となりうるだろう。

[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](#)

Y03a 現代型防災啓発および時代比較対象としての大規模目撃事例の観察：2023 年 12 月および 2024 年 5 月の事例より

玉澤春史（東京大学）

日本各地で同時に見られる天文現象は、様々な人々が目撃記録を残すことにより、その時点での現象の理解や社会情勢などを理解することができる機会となる。これは過去も現代もその構造は変わらず、大規模目撃事例による時代比較といったことも可能である。2023 年 12 月および 2024 年 5 月における磁気嵐においては、事前に日本でもオーロラが見られる可能性が指摘され、実際に写真撮影、2024 年の場合は肉眼での目撃が報告された。一部地域では過去の目撃例を広報として利用するなどの例も見られた。一方で不正確な情報の無意識的および意図的流布もみられ、拡散速度が過去とは比較にならないほど早い現代では事前対応、初期対応含め今後の課題である。稀な現象を記録し社会的に共有し、過去の目撃例と比較する例は過去にも繰り返され、そのたびにあらたな史料の掘り起こしがなされている。このような例は災害における史料利用でも同様に起こっていると考えられるが、現代型の災害にも関係するうえで、社会的な防災意識への寄与という点でも今後も動向を注意すべき案件である。

[スケジュール（セッション毎）に戻る](#)

[スケジュール（全体）に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Y04a 太陽黒点観測データの「市民科学」的なレスキュー活動とその成果

大西浩次(国立長野高専), 早川尚志(名古屋大学), 陶山徹(長野市立博物館), 渡辺真由子(茅野市八ヶ岳総合博物館), 「長野県は宇宙県」天文文化研究会メンバー、「市民科学」プロジェクト参加者ほか

「市民科学」の新しいモデルを提示することを目標に、「長野県は宇宙県」では、プラネタリウムや天文同好会のメンバーと研究者による協働研究を実施している。その一つが、日本で最初に継続的な太陽黒点観測を始めた三澤勝衛・70年に渡る観測を行った田中静人・1953年から観測を続けた藤森賢一ら、太陽黒点観測者(市民科学者)の100年間に渡る観測データの「市民科学」的なレスキュー活動(整理・解析・アーカイブ)です。

現代のようなデジタル社会では、宇宙天気予報・太陽活動の長期変動・地球気候への影響など、様々な分野において定常的な太陽活動のモニターが重要です。現在、この長期的な太陽変動に関する参照データとなる国際太陽黒点相対数の改定作業が進行中です。ここで、三澤勝衛、田中静人、藤森賢一の3人のデータを使う事によって、1921年から現在までの良質の時系列の構成が可能です。例えば、第1次世界大戦以降の混乱期には、国際太陽黒点相対数の元データがスイス国内のものを除いて体系的に保管されておらず、我々が整理した1921年から1934年の三澤勝衛による太陽黒点観測の記録は、この期間の改訂作業の確認・再校正のための基礎データと成り得る事を示しました(2023MNRAS.stad2791)。もう一例として、市民科学プロジェクトにおいて、信州に関わる市民科学者の紹介として、最近、諏訪清陵高校天文部の生徒やOBを中心に藤森賢一の観測記録のデジタル化を行い、約70年に渡る太陽黒点の蝶形図が制作できました。これらは、市民科学者による長期観測のデータが、「市民科学」的なデータレスキューの活動で現代天文学の参照データになり得ることを示した例の一つであり、科学研究・STEM教育・生涯教育・アウトリーチの複合的な新しい形態の「市民科学」の可能性を示す事例である。

[スケジュール\(セッション毎\)に戻る](#)

[スケジュール\(全体\)に戻る](#)

[講演者索引 TOPに戻る](#)

Y05a 若手天文教育普及ワーキンググループ(わか天)の活動 II: 若手を対象とした合宿企画の実施

村越麻友(青山学院大学), 桑田敦基(東京大学), 小林星羅, 齋藤有菜, 鈴木悠太(愛媛大学), 佐藤優衣(明治学院大学), 原直誉(京都大学), 松井瀬奈(名古屋大学), 松尾たま希, 松坂怜, 渡邊良介(鹿児島大学)

現在、若い世代を中心に、さまざまな天文や宇宙関連の活動が存在するが、一方で、「天文教育普及活動」への第一歩を踏み出せない若手が大勢いるのも現状である。そこで、一般社団法人天文教育普及研究会の若手天文教育普及ワーキンググループでは、「天文教育普及活動における若手のスキル向上」、「若手同士のコミュニティの構築」、「ベテランとのコネクション強化」を目標に掲げ、若手同士が研鑽できる環境作りを目指し、活動している。

これらの目標を達成するために、2024年3月に兵庫県立大学西はりま天文台にて、天文教育普及活動に興味はあるが経験に乏しい若手30人を対象にした合宿企画「学生のための星空交差点 〜はじめての観望会デザイン〜」を実施した。本企画では星空観望会を軸とした観望会デザインに焦点を当て、数々の経験や実績のある三浦飛未来氏を講師に招き、観望会デザインに関する研修会やグループワークを行った。加えて、西はりま天文台職員による天体望遠鏡に関する研修会や小型望遠鏡を用いた自由観望、西はりま天文台主催の観望会への参加、コミュニティ構築のための交流会等も行った。本企画の有意性をはかるため、合宿の前後に「科学コミュニケーションを行うための企画立案から実施までのスキルがあるか」など7項目のアンケートを行ったところ、全ての項目において顕著な変化が見られた。同様の企画を継続的に実施することが将来の天文教育普及業界で活躍する人材の育成に大きく影響を与えると考える。本講演では、実施した合宿の概要とその効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](#)

Y06a Starformation Boardgame Project(3):天文学普及ボードゲーム開発の経過報告と参加者の反応分析

三浦飛未来(インター宙ぼレーション), 深瀬雅央(雅ゲームス), 玉澤春史(京都市立芸術大学/東京大学)

教育普及・科学コミュニケーションの現場ではデジタルなものからアナログなものまで様々なコンテンツが使用される。それらは目的や狙う対象に合わせて開発され、制作の段階で対象に試用してもらい試行錯誤していく。当プロジェクトでは天文学の普及を目的とした星形成を題材にしたボードゲーム(以下:SFBG)を開発している。普及に効果的な戦略として異分野との融合が挙げられる。異分野の題材として、利用者が主体的にルールを理解し行動するという特性からボードゲームに着目した。ボードゲームは老若男女問わず遊べる敷居の低さ、利用者の能動性が高いことが特徴に挙げられる。天文学をモチーフにしたものは過去に様々なものが開発されているが、教育内容を重視するために利用者が独立して利用する場合を考慮せず結果として利便性(娯楽性)が必ずしも高くない場合や、反対に娯楽性を重視するために天文学的内容の精確性が低い場合がある。また、対象を広くし誰にでも受け入れられるものを目指す傾向がある。そこで我々は、対象をボードゲームのコア〜ミドル層に絞り、天文学への導線を引きつつボードゲーム側からより確実に天文学に引き込むため、コア〜ミドル層に評価される質の高いものを目指す。それに加え、天文学の知識や事象を忠実にルールに落とし込むため、最終的に天文学の専門家からも評価されるものを目指す。この両方向へのアプローチのため、ボードゲームコア〜ミドル層と天文学の専門家に試遊を重ねてきた。そして、一般の非専門家に対しての試遊も実施した。本発表ではこのSFBGの制作に関する経過と、試遊会参加者それぞれの反応の特徴や傾向を報告する。

[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](#)

Y07b

Starformation Boardgame Project(4): 複線径路等至性アプローチ (TEA) を参考にしたボードゲーム制作過程の試験的分析

玉澤春史 (東京大学)、三浦飛未来 (インター宙ぼレーション)、深瀬雅史 (雅ゲームス)

科学コミュニケーションや科学教育に使われるコンテンツ・教材は、構想から試作品作成、試験による改訂など、様々な課程を繰り返し経て最終的に仕様が決定する。制作過程において専門家による目的や目標の精緻化、あるいは変更が行われるが、この一連の流れは制作にかかわる専門家の間でのコミュニケーションの経過をたどっている時系列データともいえる。時系列データ分析に適した解析手法を選ぶことで、どのような情報をとりいれたか、その本段には何があったかという科学コミュニケーションの過程が示しやすくなることが予想される。そこで、試験的に複線径路等至性アプローチ (Trajectory Equifinality Approach: TEA) の手法を参考に、現在観察している星形成ボードゲームの制作過程記録を確認した。一例として、研究者への学術内容のヒアリングをへて要素をボードゲームのルールに取り入れる過程は、TEA における発生の三層モデル (Three Layers of Genesis: TLMG) での情報の取り込みといえ、その結果が社会的助成 (Social Guidance: SG) としてルール変更に至るというプロセスを数回繰り返したと考えられる。同様のプロセスは、プロダクトデザインを行うような授業やワークショップの分析にも同様に扱えると考えられる。

[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](#)

Y08b

地域貢献特別支援事業を活用した、大学生・大学院生によるサイエンスコミュニケーション活動の促進と実践

松井瀬奈 (名古屋大学, Ruhr University Bochum), 中島光一郎, 佐藤伸成 (名古屋大学), 他名古屋大学学生アウトリーチ研究会 IGNIMUS メンバー

名古屋大学では毎年「地域貢献特別支援事業」と称し自治体や学外団体と連携した企画に対し支援を行っている。大学での研究に社会からの理解を得たり、若い世代に早い段階から研究に興味を持ってもらうことが主な目的である。2023 年 4 月に我々が発足した「名古屋大学学生アウトリーチ研究会 IGNIMUS」には様々な専門分野の学生が所属しているが、特に理学研究科、工学研究科、さらには人文学研究科といった多様な研究科で天文・宇宙・宇宙工学に携わる学生が多く在籍する。本団体は曾イ講師、郭佳寧特任准教授 (人文学研究科)、Grib Dina 講師 (工学研究科) らと共に「大学院生による次世代研究者インキュベーション事業」を令和 5 年度本事業へ申請し、採択された。多くの大学院生がアウトリーチ活動の重要性を認知しているものの実際には行なっていない理由の一つとして、アウトリーチ活動に必要なスキルが身に付いていないことが挙げられる。学生が「専門外の人に分かりやすく、かつ興味を誘うプレゼンテーション」を行うため、専門分野の充実はもちろんのこと表現力を磨くことに焦点を充て、より魅力的な研究発信を促すワークショップを全 4 回主催した。さらにこれらのワークショップで得たスキルを活かし、東海地方の中高校生に向けてアウトリーチ活動を行なった。具体的には地域イベントへの参加や、中高生向け進路相談イベントの主催、地域の科学館との天文・宇宙に特化したコラボレーション等、一般市民、特に地域の子供たちへ天文学をはじめとするサイエンスのおもしろさを伝える活動を幅広く実施した。本発表ではこれらの活動結果に関して報告と議論を行う。

[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](#)

Y09a

月の遠隔観測の理科授業への導入ー東京学芸大学附属小学校での試行授業ー

土橋一仁、安藤深愛、佐藤吹風、齋藤和宜、堀口智史、松尾英里子、畑中美里、荒川悦雄、西浦慎悟 (東京学芸大学)、傳幸朝香、三井寿哉、小林靖隆 (東京学芸大学附属小金井小学校)、下井倉ともみ (大妻女子大学)

ここ数年、我々は東京学芸大学に 2020 年 3 月に導入した口径 40cm の光学望遠鏡 (以後、40cm 鏡) の開発を進めつつ、これをインターネットに接続して理科の授業中に学校の教室から遠隔天体観測を行うプロジェクトに取り組んでいる (例えば、2022 年秋季年会 土橋他、富田他; 2023 年春期年会 土橋他; 本年会 畑中他、松尾他)。本講演では、小学校理科の重要なテーマである月の満ち欠けの学習に、遠隔天体観測がどの程度役立つのかを調べるために実施した東京学芸大学附属小金井小学校での試行授業について述べる。

試行授業は、2023 年 9 月–10 月の間に、傳幸・三井・小林が勤務する同小学校 6 年生の 3 クラス (合計 90 人) に対して、それぞれ連続した 2 校時分の時間 (休み時間を含む合計 95 分) をかけて行った。試行授業では、次の 3 つの方法で月を観察した。まず、(1) 天文ドームに児童を集めさせ、40cm 鏡を直接覗き込みながら青空の中の月を観察した。次に、(2) 教室に戻り、40cm 鏡に搭載した CCD カメラで捉えた月の映像を教室のスクリーンに中継して皆で遠隔観測した。最後に、(3) 予め夜間に撮影しておいた月の写真や JAXA が制作した月の動画をスクリーンに投影して観察した。

本講演では、児童の月に対する学習意欲や興味・関心の変化について、上記の (1)–(3) の観察方法でどのような違いがあったか、参加児童に対するアンケート調査の結果や、授業中の児童の様子に基づいて論じる。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Y10a 月のクレーターの深さを求める教材開発と春日部高等学校での教育実践

畑中美里, 土橋一仁, 松尾英里子 (東京学芸大学), 富樫民樹 (春日部高等学校), 下井倉ともみ (大妻女子大学)

月の写真上のクレーターの影の長さから月面クレーターの深さを推定するための教材を開発し、その教材を用いて高校1年生と2年生の生徒を対象とした教育実践を行ったので報告する。

月は、小学校「理科」をはじめとして学校教育での複数単元で扱われており、学習者にとって馴染み深い天体であるといえる。月を扱う学習では「クレーター」は月面の代表的な地形として取り上げられているものの、クレーターに着目した教材は少なく、学習者がクレーターについて何らかの特別な実習を経験できる機会は少ないと思われる。そこで、本研究では、学習者が月のクレーターの深さを自ら計算して求めるための教材を開発した。開発にあたっては、ベクトルの計算方法を習得していない高校1年生程度の学習者でも、写真上のクレーターに見られる影の長さを定規で測定すればクレーターの深さを計算することができるよう、工夫した。

本研究で開発した教材を実際の教育現場で試すために、埼玉県立春日部高等学校の生徒を対象とした教育実践を行った。参加した生徒は、同校のスーパーサイエンスハイスクール (SSH) 講座を受講する合計 25 名の1・2年生である。教育実践は、SSH 中の第1回天文学講座として 2024 年5月14日に実施した。教育実践では、A0サイズに拡大プリントした月の写真を数枚用意し、参加生徒を3人1グループに分けて、それぞれクレーターの影の長さを測定させ、その値からクレーターの深さを計算させた。生徒は皆熱心に取り組んでいた。

実践後に実施したアンケート調査の結果、本教材は、学習者の月やクレーターへの関心のみならず、数学や理科の授業での実験や観測への関心を引き出すことに有効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](#)

Y11a 東京学芸大学 40cm 望遠鏡を活用した観測計画立案から始める遠隔天体観測—春日部高等学校での教育実践—

松尾英里子, 土橋一仁, 畑中美里 (東京学芸大学), 富樫民樹 (春日部高校), 下井倉ともみ (大妻女子大学)

天体観測を体験させることは、天文学の教育に重要である。しかし、児童・生徒を夜間に集合させて天体観測を行うことは、安全確保等の理由で難しい。そこで、我々は、東京学芸大学に設置された口径 40cm の光学望遠鏡 (以後: 40cm 鏡) をインターネットに接続して利用し、遠隔観測の教育実践を行っている (例えば、2022 年秋季年会 土橋他、富田他、2023 年春期年会 土橋他、本年会 畑中他)。遠隔観測によって、児童・生徒は夜間に外出することなく、教室や自宅から天体を観察できる。

本研究では、40cm 鏡を利用して高校生を対象とした遠隔観測の教育実践を行った。教育実践は、埼玉県立春日部高校のスーパーサイエンスハイスクール (SSH) の第2回天文学講座として 2024 年5月28日に実施した。参加した生徒は、SSH の講座を受講する1、2年生の計 24 名である。観測の準備として、生徒自身に観測したい天体を決めさせた。また、その天体の情報や観測可能時間等を調べさせることで、自ら観測計画を立てる作業を経験させた。遠隔観測は、好天に恵まれた翌5月29日の夜から30日の朝にかけて実施した。生徒たちは、Zoom を使って自宅から観測に参加した。

観測後に実施したアンケート調査の結果から、遠隔観測には、観測所までの移動時間を考慮しなくて良いため長時間の観測に専念できるというメリットがあることがわかった。本講演では、生徒が自宅に居ながら参加できる遠隔観測のメリットと、観測計画を高校生自身に立てさせたことによる学習意欲の向上について、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 天体観察支援機能を含む星空シミュレーションアプリ「SORA」の開発と教育利用

縣秀彦 (国立天文台), 豊田哲也 (アストロアーツ), 高島規子, 永井智哉 (科学成果普及機構), 中島静 (Peripatos LLC)

現在、日本の学校教育現場では従来の一斉授業のスタイルから、個々の児童・生徒の主體的な学びを目指した「個別最適な学びと協働的な学びの一体的な充実」に指導方法が一変しつつある。また、児童・生徒一人一人用の学習ツールとして「GIGA スクール構想」によってタブレット端末が各学校に配置されている。このような学習形態の変化に対応し、児童・生徒の興味・関心を活かした学習活動が天文教育にも求められている。

本研究は令和4年度「子どもゆめ基金助成プロジェクト」に採択され、自宅や学校等から誰もが気軽に天体観察可能な無料アプリ「SORA」を開発した。SORA は OS やデバイスの種類を問わないウェブアプリで、ネット接続すればどんなタブレット、スマホ等からも利用可能である。デバイスに内蔵されている位置センサーと連動することで、画面の方向に見える星空を表示し、観察初心者が手軽に星座や惑星を探すことができる。

加えて SORA は天体望遠鏡による月の撮影、金星の位相変化 (中3) の記録、木星の衛星の動きの記録、その他の天体の観測記録が可能で、学習者は天体望遠鏡に目的天体を導入し、用意されたデジタル式のワークシートに観察結果を記録することで発見学習・課題解決学習が行える。指導の手引書が PDF で用意されているため、事前・事後の指導や自己学習が容易である。本講演においてはさらに実際に使用しての学習効果の評価やアプリの改善点、今後の発展の可能性などを考察する。

[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](#)

Y13a ICE モデルに基づき設計した大学での反転授業のデジタル Diamond Mandala Matrix を使った実践と分析

青木成一郎 (京都情報大学院大学/京都大学), 小林信三 (コンソーシアム TIES), 土持ゲーリー法一 (京都情報大学院大学)

ある総合大学での宇宙の基礎に関する授業を、ICE モデルに基づく反転授業形式で設計して実施している。ICE モデルでは、学びが I (ideas) から C (Connections) を経て E (Extensions) へ転移するとされる。授業は、I から C や E への転移を促すように、アクティブラーニングで行っており、グループワークと発表及び議論を主体としている。グループワークの準備として、事前に教員が用意した授業コンテンツ (pdf とビデオ) で知識を得た (I) 上で、自分の考えを事前学習としてまとめる。授業では事前学習でまとめた考えをメンバーが持ち寄り、グループとしての意見へ集約し、発表及び議論する。授業後には、授業での発表や議論を踏まえ、同じテーマで再考して考えをまとめる。これらの考えをまとめて記入するツールとして、デジタル Diamond Mandala Matrix を用いた。ICE モデルでは動詞から I、C、E のいずれの学びの段階にあるかを把握するため、これらの活動を通した I から C や E への転移を捉える目的で、記入された文章で使用された動詞を I、C、E へ分類し、KH Coder を使って統計的に分析した。その結果、初回授業では I に対応する動詞の使用が多く、最終回の授業後 (総括) では C と E に対応する動詞の使用が多かった。つまり、授業を通した I から C や E への転移が確認された。発表では授業実践内容と分析結果を紹介する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Y14a 二年目となる宇宙天気インタプリタ育成カリキュラム開発の状況

野澤恵、高城有生 (茨城大学)、玉置晋 (茨城大学/ABLab)、カリキュラム開発チーム

本年 5 月に太陽活動が激しくなり、大規模太陽爆発である X クラスフレアが何回も発生した。5 月 11 日夜に日本各地で赤いオーロラの複数の確認報告があった。このように太陽活動の諸現象や電離圏や磁気圏などが地球に与えることを宇宙天気と呼ばれる。宇宙天気が与える被害に対して、社会的影響範囲の広さから宇宙天気の専門家では社会システム全てに及ぶことは難しい。宇宙天気に対応するためにはそれぞれの業界の専門家がリスク対応を正しく行う必要がある。そこで、今後様々な業界に就職し社会の中心となっていく学生に焦点をあて宇宙天気の教育を行う。このような教育プログラムが広まり学生のうちから宇宙天気に触れることで、宇宙天気リスクを評価し、対応する宇宙天気インタプリタの育成を促すことができると考える。

その実践として、昨年度の前期にオンラインで宇宙天気を学びたい大学生を中心にあつめ、ゼミ講義形式で開催した。社会人も多く、一般的な内容から一歩踏み込む必要がわかった。後期には宇宙天気を研究テーマとした先鋭化した学生中心のグループと、気象キャスター向けの宇宙天気予報士の取得を目指すグループの棲み分けを行ない、並行した講義となった。結果学生を中心とした先鋭化したグループは限定された内容が中心となり、育成プログラムの維持が難しくなった。一方、気象キャスター向けの宇宙天気予報士を目指すグループは、目的が明確だったため受講者には評価も高く継続が望まれ、今年度も引き続いて講義を行なっている。一方の大学生中心のグループは内容の見直しにより、宇宙天気を広めるため、初等者向けの資料を作ることを目指すこととなった。分かりやすくかみ砕いてはあるが、正しく宇宙天気を怖がるための内容とした。本講演では、昨年度のまとめと今年度前期の評価などの報告も行なう。

[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](#)

Y15b 教員養成系学生を対象としたぐんま天文台 150cm 望遠鏡を用いた観測実習

大朝由美子 (埼玉大学), 橋本修 (日本スペースガード協会), 田口光 (群馬県立ぐんま天文台)

初等中等教育では、児童生徒が理科の見方・考え方を働かせながら、自然の事物・現象に進んで関わり、科学的に探究を行なう学習を通して「知識及び技能」「思考力、判断力、表現力など」「学びに向かう力、人間性など」という理科の資質・能力を育成することが目標とされている。そのためには、教師自らが、自然の事物・現象を、質的・量的な関係や時間的・空間的な関係などの科学的な視点で捉え、科学的に探究する「理科の見方・考え方」を備えておくことが肝要である。加えて、OECD「2030 年に向けた学習枠組み」では、幅広い知識と専門的な知識の両方が求められ、学問分野を超えて考え「点をつなぐ」能力が、これまで以上に重要視されている。このような「点をつなぐ」知識・能力の獲得には幅広い理学の分野を駆使する天文学は有用である。

教員を目指す学生らがこれらの資質能力を育成すべく、埼玉大学では教員養成系学生を対象として、ぐんま天文台 150cm 望遠鏡を用いた観測実習を 2010 年から (コロナ禍の 2020 年を除き) 毎年継続的に実施してきた。自然科学に対して実感を伴った理解を深めるためには、天体観測による考察・探究は有効である。実習の目的は、観測実習や講義を通して、天体観測・解析に必要な基礎知識、観測方法について学ぶとともに、自ら観測・データ解析を行なうことから観測・解析過程の理解を深め、結果の考察・議論から理科の考え方や見方、主体的思考力を涵養することである。本実習では、主に教育学部自然科学専修 (理科専修) 天文学研究室の 3 年生が、ぐんま天文台 150cm 望遠鏡と低分散分光器 GLOWS を用いて、恒星の「観測」と「観望」、及びそのデータ解析を行なった。より効果的な学習とすべく、研究室の院生らが観測・解析方法についての指導の助言を行ない、学生同士の議論を重要視するように配慮した。講演では、本実習の内容やこれまでの取り組み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](#)

Y16b 日本天文学会の規範とハラスメント防止ガイドラインを作ろう

○林左絵子、片岡章雅、日下部晴香、小松英一郎、新永浩子、野村英子、望月優子（日本天文学会
Code of Conduct / ハラスメント防止ガイドラインタスクフォース）

日本天文学会の目的である天文学の振興と普及を、安心・安全・公正な活動環境を作りつつ、効果的に進めていくための心構えや行動の拠りどころはどのように表現するのが良いだろうか。学会の男女共同参画委員会ではハラスメント防止ガイドライン策定を理事会に提案した。このような状況から、日本天文学会のさまざまな活動の規範を明示できるよう、理事会がメンバーを指名し、タスクフォースを立ち上げた。このタスクフォースでは、まず日本天文学会の包括的な活動の規範について、議論を開始した。学会員の間で、また学会員と関係者との直接のやりとりが起きる年会や学会主催・共催の研究会や集会等での規範についても、別立てにすることも含め検討する可能性がある。またこれらの規範をもとに、男女共同参画委員会と連携しつつ、ハラスメント防止ガイドラインをまとめていこうとしている。

こうした約束事は、会員の誰もが活動の拠りどころとするので、広く会員の意見を集め、会員自身、自分たちが作り上げていくものとして集約していくことが必須である。日本天文学会秋季年会におけるポスター講演をその一つの機会として、規範の素案およびガイドラインのキーワード等を示し、会員諸氏との議論・検討を行う。

[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](#)

【2024 年 春季年会講演取消一覧】

- W38a 矮新星静穏時におけるX線放射プラズマの空間分布の解明およびX線放射スペクトルモデルの構築
武尾舞（埼玉大学）

講演者索引 (50音順)

【A】 – 【Z】

Baxter, Joshua Ryo.....	S23a
Cooray, Suchetha.....	X15a
Goto, Tomotsugu.....	X31a
HAMIDANI, HAMID.....	W50a
Han, Fang.....	P223b
Hirose, Yuki.....	Z123b
Jahoda, Keith.....	Z117r
Jiang, Hanchun.....	U20a
Keszthelyi, Zsolt.....	N17a
Kuzma, Pete Bryson.....	X55a
Miyamoto, Asca.....	N18a
Nakagawa, Shunsuke.....	Z121b
Noda, Hirofumi.....	Z212r
Ojika, Akimasa.....	Z113b
Omori, Kiyoaki Christopher.....	X50a
Perkins, Jeremy.....	Z102r
Saleh, Gh.....	U11b
Saleh, Gh.....	U23a
Sano, Kei.....	Z111b
Sato, Rin.....	Z122b
Shinnaga, Hiroko.....	Q40a
Strzys, Marcel C.....	V332a
Takahashi, Aoi.....	Z110a
Takimoto, Kohji.....	Z112b
Tanaka, Kazuo.....	Z124a
Tome, Yuto.....	Z116b
Tsuboi, Masato.....	Q20c
Werner, Norbert.....	Z118r
Wong, Kenneth.....	X12a
Xu, Yi.....	X37a
Yeung, Paul K. H.....	W31a
Zhou, Yu.....	R10a

【あ】

逢澤正嵩（あいざわ まさたか）.....	P205a
青木成一郎（あおき せいいちろう）.....	Y13a
青木悠馬（あおき ゆうま）.....	Q33a

青山有未来（あおやま あみら）.....	V325a
縣秀彦（あがた ひでひこ）.....	Y12a
赤穂龍一郎（あかほ りゅういちろう）.....	N27a
赤堀卓也（あかほり たくや）.....	V107a
秋田谷洋（あきたや ひろし）.....	V219a
穂本正徳（あきもと まさのり）.....	W42a
芥川慧大（あくたがわ けいた）.....	M32a
阿久津智忠（あくつ ともただ）.....	V258a
浅井歩（あさい あゆみ）.....	M08a
浅野裕也（あさの ゆうや）.....	Q13a
朝比奈雄太（あさひな ゆうた）.....	W13b
安達大揮（あだち だいき）.....	P133a
穴澤萌衣（あなざわ もえ）.....	N20a
安部大晟（あべ だいせい）.....	P108b
甘田溪（あまだ けい）.....	N08a
天野雄輝（あまの ゆうき）.....	Q01a
新居舜（あらい しゅん）.....	U12a
新井翔大（あらい しょうた）.....	V329a
有松亘（ありまつ こう）.....	P319a
有山諒（ありやま りょう）.....	Q48a
安藤誠（あんどう まこと）.....	X07a
安東正樹（あんどう まさき）.....	V259a
安福千貴（あんぶく かずき）.....	Q35a
安福千貴（あんぶく かずき）.....	Z131b

【い】

飯島陽久（いいじま はるひさ）.....	M36a
飯野孝浩（いいの たかひろ）.....	P321a
五十嵐太一（いがらし たいち）.....	Z205a
幾田佳（いくた かい）.....	M02a
井口聖（いぐち さとる）.....	V104a
池田達紀（いけだ とうき）.....	P134a
石井彩子（いしい あやこ）.....	W53a
石井峻（いしい しゅん）.....	V119a
石川あゆみ（いしかわ あゆみ）.....	V201a
石川慶太朗（いしかわ けいたろう）.....	U19a
石川竜巳（いしかわ たつみ）.....	Q37a
石川諒（いしかわ りょう）.....	X43b
石崎悠治（いしざき ゆうじ）.....	V152a

石崎渉(いしざき わたる).....S11b
 石崎渉(いしざき わたる).....W19a
 石田光宏(いしだ みつひろ).....N13a
 石田怜士(いしだ れいし).....X42b
 石山智明(いしやま ともあき).....X28a
 泉拓磨(いずみ たくま).....V114a
 泉奈都子(いずみ なつこ).....P129a
 泉奈都子(いずみ なつこ).....Q19b
 磯部直樹(いそべ なおき).....S14b
 磯部直樹(いそべ なおき).....V209a
 市川雄大(いちかわ かずひろ).....Q17b
 市川幸平(いちかわ こうへい).....X47a
 市川椋大(いちかわ りょうた).....M11b
 市原晋之介(いちばら しんのすけ).....N03a
 一本潔(いちもと きよし).....M07a
 出射旭(いでい あさひ).....P301a
 伊藤侃(いとう あきら).....N24a
 伊藤慧(いとう けい).....X45a
 伊藤拓冬(いとう たくと).....P103a
 稲見華恵(いなみ はなえ).....X53a
 井上昭雄(いのうえ あきお).....V244a
 井上壮大(いのうえ あきひろ).....W30a
 井上昂(いのうえ あきら).....V153b
 井上修平(いのうえ しゅうへい).....V149a
 井上峻(いのうえ しゅん).....M01a
 井上真(いのうえ しん).....R03a
 井上進(いのうえ すすむ).....Q18b
 井上進(いのうえ すすむ).....Z206a
 井上拓也(いのうえ たくや).....U22a
 井上剛志(いのうえ つよし).....Q25a
 井上一(いのうえ はじめ).....W04a
 井上陽登(いのうえ はると).....Q16a
 今井聖也(いまい せいや).....X05a
 今井裕(いまい ひろし).....V140b
 今西昌俊(いまにし まさと).....S24a
 岩井一正(いわい かずまさ).....M17a
 岩崎一成(いわさき かずなり).....P207a
 岩田智子(いわた さとこ).....Z107b
 岩田将輝(いわた まさき).....V130b
 岩田悠平(いわた ゆうへい).....N36a

岩本昌倫(いわもと まさのり).....W18a

【う】

上田佳宏(うえだ よしひろ).....Z214a
 上野悟(うえの さとる).....V216a
 植村誠(うえむら まこと).....W01a
 魚住光史(うおずみ こうし).....Q43a
 氏原秀樹(うじはら ひでき).....V134a
 碓氷光崇(うすい みつたか).....X35a
 宇田川賢(うだがわ けん).....Q44a
 内田舜也(うちだ しゅんや).....X08b
 内田裕之(うちだ ひろゆき).....Z207r
 内田悠介(うちだ ゆうすけ).....V301a
 内村迅渡(うちむら はやと).....P203a
 内山秀樹(うちやま ひでき).....Q05a
 宇野慎介(うの しんすけ).....V150a
 梅田滉也(うめだ ひろや).....X23a
 鵜山太智(うやま たいち).....P305a
 浦壁奈央(うらかべ なお).....Z109a
 浦川聖太郎(うらかわ せい太郎).....P318a
 浦郷陸(うらごう りく).....N07a
 浦田岬(うらた みさき).....Z103a

【え】

江口智士(えぐち さとし).....V310a
 榎木谷海(えのきだに うみ).....V251a
 榎谷玲依(えのきや れい).....Q42a
 榎戸輝揚(えのと てるあき).....Z128a
 柄本耀介(えのもと ようすけ).....U13a
 海老沢研(えびさわ けん).....V144a

【お】

大朝由美子(おおあさ ゆみこ).....Y15b
 大窪遼介(おおくぼ りょうすけ).....M21a
 大小田結貴(おおこだ ゆき).....P136a
 大里健(おおさと けん).....U06a
 大澤亮(おおさわ りょう).....V206a

大城榛音（おおしろ はると）.....	P217a
大城勇憲（おおしろ ゆうけん）.....	W06a
大曾根渉（おおそね わたる）.....	X34a
太田直美（おおた なおみ）.....	Z219a
大田尚享（おおた なおゆき）.....	Z106b
大西浩次（おおにし こうじ）.....	Y04a
大西宗博（おおにし むねひろ）.....	V334a
大野和正（おおの かずまさ）.....	P306a
大橋聡史（おおはし さとし）.....	P218a
大原有稀（おおはら ゆうき）.....	Z115b
大屋真（おおや しん）.....	V227c
大家寛（おおや ひろし）.....	S09a
大山航（おおやま わたる）.....	P225a
岡内紀翔（おかうち のりか）.....	X04a
岡崎敦男（おかざき あつお）.....	N14a
小形美沙（おがた みさ）.....	N28a
岡田佳純（おかだ よしずみ）.....	Q06a
小上樹（おがみ いつき）.....	X58a
岡本珠実（おかもと たまみ）.....	P229a
小川翔司（おがわ しょうじ）.....	Z213a
長船大樹（おさふね だいき）.....	X41a
小野瑞季（おの みずき）.....	X13a
小淵紗希子（おぶち さきこ）.....	X48a
小山貴裕（おやま たかひろ）.....	P141a
小山友明（おやま ともあき）.....	R14c
折原龍太（おりはら りゅうた）.....	P212a

【か】

加賀尾勇典（かがお ゆうすけ）.....	V110b
柿元拓実（かきもと たくみ）.....	X46a
影浦優太（かげうら ゆうた）.....	X27a
笠井理香子（かさい りかこ）.....	W02a
梶木屋裕斗（かじきや ゆうと）.....	M04a
柏木頼我（かしわぎ らいが）.....	P121a
勝田哲（かつだ さとる）.....	Q03a
桂川美穂（かつらがわ みほ）.....	V320a
加藤勢（かとう せい）.....	Q26a
加藤遼（かとう りょう）.....	P214a
金岡充晃（かねおか みつてる）.....	Z101r

金丸善朗（かねまる よしあき）.....	V308a
鹿野良平（かの りょうへい）.....	V208a
鎌田有紀子（かまた ゆきこ）.....	V230b
亀山晃（かめやま あきら）.....	V137a
榎木大修（かやのき たいしゅう）.....	V322b
鷹野重之（かりの しげゆき）.....	W17a
川勝望（かわかつ のぞむ）.....	S06a
川島朋尚（かわしま ともひさ）.....	S04a
川中宣太（かわなか のりた）.....	Q29a
川端弘治（かわばた こうじ）.....	V212b

【き】

北島欽大（きたじま かんた）.....	W44a
北出直也（きたで なおや）.....	P211b
北村文里（きたむら あやり）.....	W51a
北本俊二（きたもと しゅんじ）.....	V324a
吉川航輝（きっかわ こうき）.....	M41a
木下岳（きのした がく）.....	M24b
清田朋和（きよた ともかず）.....	X33a
金滉基（きん こうき）.....	W47c

【く】

草壁克典（くさかべ かつのり）.....	S05a
日下部晴香（くさかべ はるか）.....	X32a
草野完也（くさの かんや）.....	M15a
葛原昌幸（くずはら まさゆき）.....	P308a
久世陸（くぜ りく）.....	W37a
屈楚舒（くつ そじょ）.....	W27a
工藤葉奈子（くどう かなこ）.....	T02a
工藤智幸（くどう ともゆき）.....	P230a
工藤優乃（くどう ゆの）.....	W10b
國年悠里（くにとし ゆり）.....	P123a
国吉秀鷹（くによし ひでたか）.....	M06a
久保雅仁（くぼ まさひと）.....	M26a
倉島啓斗（くらしま けいと）.....	V215a
栗原明稀（くりはら みき）.....	Z221c
黒木瑛介（くろぎ えいすけ）.....	V328a
黒住健吾（くろずみ けんご）.....	V222b

黒田裕太郎(くろだ ゆうたろう).....Z216a
 桑山陽次(くわやま ようじ).....V111b

【こ】

小出眞路(こいで しんじ).....S01a
 黄天鋭(こう たかとし).....N21a
 河本琉風(こうもと るか).....V141b
 國生拓摩(こくしょう たくま).....V253a
 小崎瑛子(こざき えいこ).....V243b
 小嶋一生(こじま いっせい).....P111b
 小嶋康史(こじま やすふみ).....W28a
 小島裕樹(こじま ゆうき).....V234a
 小島諒也(こじま りょうや).....S12b
 越本直季(こしもと なおき).....W46a
 小関知宏(こせき ともひろ).....V102a
 小谷竜也(こたに たつや).....U04a
 兒玉工門(こだま えもん).....V233a
 小西亜侑(こにし あゆ).....R08a
 小西諒太郎(こにし りょうたろう).....R04a
 小橋亮介(こばし りょうすけ).....Q10a
 小林翔悟(こばやし しょうご).....V303a
 小藤由太郎(こふじ ゆうたろう).....S25a
 小牧誠人(こまき まこと).....V217a
 小松野蒼(こまつの あおい).....P143a
 呉屋和保(ごや かずほ).....Q36a
 小柳香(こやなぎ かおり).....P115b
 近藤克(こんどう かつし).....P219a
 近藤奨紀(こんどう しょうき).....V138b
 近藤翼(こんどう つばさ).....R05a
 近藤勇仁(こんどう ゆうと).....V256a

【さ】

斎藤貴之(さいとう たかゆき).....X40a
 斉藤裕次郎(さいとう ゆうじろう).....W33a
 嵯峨承平(さが しょうへい).....U14a
 坂井南美(さかい なみ).....P140a
 坂井延行(さかい のぶゆき).....W38a
 酒井優輔(さかい ゆうすけ).....Q07a

阪本成一(さかもと せいいち).....V120a
 坂本貴紀(さかもと たかのり).....Z126b
 坂元優一(さかもと ゆういち).....P110b
 作田皓基(さくた こうき).....V316a
 櫻井大夕(さくらい だいゆう).....W14a
 酒見はる香(さけみ はるか).....T01a
 酒向重行(さこう しげゆき).....V214a
 笹田真人(ささだ まひと).....W55a
 佐藤杏樹(さとう あんじゅ).....V213a
 佐藤浩介(さとう こうすけ).....Z217r
 佐藤寿紀(さとう としき).....Z208a
 佐藤愛(さとう まなみ).....Q02a
 佐藤佑樹(さとう ゆうき).....P303a
 佐藤璃輝(さとう りき).....S17a
 佐野栄俊(さの ひでとし).....Q12a
 澤田真理(さわだ まこと).....Z210a
 澤田涼(さわだ りょう).....N22a
 澤野達哉(さわの たつや).....Z104a
 澤村真星(さわむら まほし).....X51a

【し】

塩田大幸(しおた だいこう).....M16a
 志賀文哉(しが ふみや).....V335a
 茂山俊和(しげやま としかず).....N32a
 志達めぐみ(しだつ めぐみ).....Z202r
 篠田兼伍(しのだ けんご).....N30a
 芝池諭人(しばいけ ゆひと).....P221a
 柴崎清登(しばさき きよと).....M45a
 島耕平(しま こうへい).....V306a
 嶋川里澄(しまかわ りずむ).....X01a
 鳶田遼太(しまだ りょうた).....M44a
 島谷侑希(しまたに ゆうき).....Q31a
 清水里香(しみず りこ).....V317a
 下条圭美(しもじょう ますみ).....M27a
 霜田治朗(しもだ じろう).....Q24a
 周楽涵(しゅう らくかん).....Q41a
 城壮一郎(じょう そういちろう).....P104a
 庄田宗人(しょうだ むねひと).....P231a
 白崎裕治(しらさき ゆうじ).....V113b

城野信一（しろの しんいち）.....P220a

【す】

末永光（すえなが ひかる）.....V133a

末松芳法（すえまつ よしのり）.....V228c

須賀友也（すが ともや）.....Z125b

菅尾竜司（すがお りゅうじ）.....V229c

菅原悠馬（すがはら ゆうま）.....X36a

菅原一希（すがわら かずき）.....W39a

杉野裕輝（すぎの ゆうき）.....V131a

杉村和幸（すぎむら かずゆき）.....X24a

鈴木昭宏（すずき あきひろ）.....N31a

鈴木俊輔（すずき しゅんすけ）.....Q08a

鈴木大輝（すずき たいき）.....P227a

鈴木大介（すずき だいすけ）.....V235a

鈴木仁研（すずき とよあき）.....V246a

鈴木寛大（すずき ひろまさ）.....M25b

鈴木寛大（すずき ひろまさ）.....Z209a

鈴木嘉也（すずき よしや）.....M37a

鈴木智也（すずぐち ともや）.....W45a

須田拓馬（すだ たくま）.....N40a

諏訪雄大（すわ ゆうだい）.....N25a

【せ】

関響（せき ひびき）.....Z119a

【そ】

曹愛奈（そう あいな）.....X21b

【た】

大工原一貴（だいくはら かずき）.....X38a

田尾萌梨（たお もえり）.....Q21a

高石大輔（たかいし だいすけ）.....P135a

高城有生（たかぎ うき）.....M12b

高木直矢（たかぎ なおや）.....V337a

高倉理（たかくら さとる）.....V147a

高倉隼人（たかくら はやと）.....V145a

高棹真介（たかさお しんすけ）.....P201a

高橋一郎（たかはし いちろう）.....W57a

高橋亘（たかはし こう）.....P144a

高橋茂（たかはし しげる）.....P309b

高橋正大（たかはし しょうた）.....W09a

高橋直暉（たかはし なおき）.....V326a

高橋弘充（たかはし ひろみつ）.....V315a

高橋幹弥（たかはし みきや）.....W12b

高橋理音（たかはし りおん）.....V146a

高橋航（たかはし わたる）.....P315a

高山楓葉（たかやま ふうな）.....P118a

瀧田怜（たきた さとし）.....V236a

瀧田正人（たきた まさと）.....M28a

田口健太（たぐち けんた）.....W56a

竹川俊也（たけかわ しゅんや）.....Q38a

武田朋志（たけだ ともし）.....Z105a

武知可夏（たけち かな）.....S13b

竹原大智（たけはら だいち）.....V108a

多胡諒弥（たご りょうや）.....V341a

田代信（たしろ まこと）.....Z201a

立原研悟（たちはら けんご）.....X16a

立石大（たていし だい）.....Q23a

田中圭（たなか けい）.....P208a

田中虎次郎（たなか こじろう）.....W21a

田中賢（たなか さとし）.....U15a

田中孝明（たなか たかあき）.....Q09a

田中匠（たなか たくみ）.....X49a

田邊ひより（たなべ ひより）.....V226b

谷川衝（たにかわ あたる）.....N38a

谷川貫太（たにがわ かんた）.....V127b

谷口琴美（たにぐち ことみ）.....P116a

谷口大輔（たにぐち だいすけ）.....V254a

谷本敦（たにもと あつし）.....S18a

田渕優（たぶち ゆう）.....V323b

玉井桃子（たまい ももこ）.....V238a

玉川徹（たまがわ とおる）.....V314a

玉澤春史（たまざわ はるふみ）.....Y03a

玉澤春史（たまざわ はるふみ）.....Y07b

樽家篤史（たるや あつし）.....U08a

丹海歩(たん みほ).....W25b

【ち】

千葉公哉(ちば こうや).....N33a

千葉遼太郎(ちば りょうたろう).....N34a

趙光遠(ちょう こうえん).....S19a

趙彪(ちょう ひょう).....V252a

陳銘崢(ちん めいしょう).....R01a

【つ】

塚本裕介(つかもと ゆうすけ).....P216a

柘植紀節(つげ きせつ).....X20a

土屋史紀(つちや ふみのり).....V204a

恒任優(つねとう ゆう).....S02a

坪井陽子(つばい ようこ).....V311a

津村耕司(つむら こうじ).....V203a

津本明音(つもと あかね).....Z114b

【て】

手塚愛莉(てつか あいり).....V122b

出町史夏(でまち ふみか).....P124a

寺澤凌(てらさわ りょう).....U10a

寺田幸功(てらだ ゆきかつ).....V309a

手良脇大誠(てらわき たいせい).....U03a

照山玄太(てるやま げんた).....V223c

【と】

土井靖生(どい やすお).....P105a

堂込天太(どうごめ てんた).....P119a

當真賢二(とうま けんじ).....W43a

常盤晟(ときわ あきら).....U09a

徳田一起(とくだ かずき).....P112b

徳田一起(とくだ かずき).....X17a

徳野鷹人(とくの たかと).....N29a

戸頃響吾(ところ きょうご).....M34a

戸田俊光(とだ としみつ).....N10b

土橋一仁(どばし かずひと).....Y09a

土肥明(どひ あきら).....N16a

都丸亮太(とまる りょうた).....Z203a

富阪幸治(とみさか こうじ).....P120a

富永遼佑(とみなが りょうすけ).....P215a

土本菜々恵(どもと ななえ).....W52a

豊内大輔(とようち だいすけ).....W03a

島海森(とりうみ しん).....M40a

【な】

永井堤(ながい つつみ).....P302a

中井直正(なかい なおまさ).....V116a

永井洋(ながい ひろし).....V121c

永井悠太郎(ながい ゆうたろう).....W35a

中川亜紀治(なかがわ あきはる).....N06a

中川貴雄(なかがわ たかお).....V248a

仲里佑利奈(なかざと ゆりな).....X39a

中澤知洋(なかざわ かずひろ).....Z127b

中澤風音(なかざわ かのん).....P233a

中澤皓太(なかざわ こうた).....N04a

長澤俊作(ながさわ しゅんさく).....V330a

中島圭佑(なかしま けいすけ).....Q47a

中島拓(なかしま たく).....V126b

長島汀(ながしま なぎさ).....N05a

中嶋大(なかしま ひろし).....Q04a

中島基樹(なかしま もとき).....W23b

永田伸一(ながた しんいち).....V241b

永田晴飛(ながた はるひ).....N12b

仲谷峻平(なかたに りょうへい).....P226a

中西史美(なかにし ふみ).....N26a

中野覚矢(なかの さとや).....P101a

中野新太郎(なかの しんたろう).....U07a

仲野悟帆(なかの のりと).....V331a

中野瑛子(なかの はなこ).....V304a

中畑秀太(なかはた しゅうた).....V239b

中道晶香(なかみち あきか).....W11b

中村航(なかむら こう).....N23a

中村壮児(なかむら たける).....Z130b

中村文隆(なかむら ふみたか).....N11b

夏目純也(なつめ じゅんや).....	M03a
並河俊弥(なみかわ としや).....	U21a
行方宏介(なめかた こうすけ).....	Z120a
成田佳奈香(なりた かなこ).....	X06a
成田拓仁(なりた たくと).....	Q32a
成影典之(なるかげ のりゆき).....	M29a
成瀬元希(なるせ げんき).....	U05a

【に】

新居田祐基(にいだ ゆうき).....	W32a
新沼浩太郎(にいぬま こうたろう).....	V136c
西浦怜(にしうら れい).....	W20a
西尾茉優(にしお まゆ).....	P304a
西尾美輝(にしお みき).....	W15a
西川淳(にしかわ じゅん).....	V242b
西川智隆(にしかわ ともたか).....	Q27a
西川悠馬(にしかわ ゆうま).....	V118a
西塚直人(にしづか なおと).....	M19a
西道啓博(にしみち たかひろ).....	U18a
西村淳(にしむら あつし).....	V117a
西村淳(にしむら あつし).....	V124b
西山正吾(にしやま しょうご).....	R09a
新田伸也(にした しんや).....	M23b
二之湯開登(にのゆ かいと).....	W41a
庭野聖史(にわの まさふみ).....	N15a

【ぬ】

布田寛介(ぬのた かんすけ).....	P312c
布田寛介(ぬのた かんすけ).....	P313a
布田寛介(ぬのた かんすけ).....	R11b
沼澤正樹(ぬまざわ まさき).....	V327a

【ね】

根来均(ねごろ ひとし).....	W07a
根津正大(ねづ しょうだい).....	N01a

【の】

野崎信吾(のざき しんご).....	P127a
野澤恵(のざわ さとし).....	Y14a
野澤恵(のざわ さとし).....	Z132b
野瀬観見(のせ かんみ).....	U01a
野田常雄(のだ つねお).....	W26a
野田緋奈子(のだ ひなこ).....	V224b
野津翔太(のつ しょうた).....	P139a
野原祥吾(のはら しょうご).....	V135a
信川久実子(のぶかわ くみこ).....	Q34a
信川正順(のぶかわ まさよし).....	Z211a

【は】

袴田知宏(はかまた ともひろ).....	W16a
萩野浩一(はぎの こういち).....	Z215a
萩原喜昭(はぎわら よしあき).....	S07a
橋ヶ谷武志(はしがや たけし).....	V247a
橋本遼(はしもと りょう).....	V202a
橋本玲華(はしもと れいか).....	V313a
長谷川幸彦(はせがわ ゆきひこ).....	P224c
畑中美里(はたなか みさと).....	Y10a
服部健太郎(はっとり けんたろう).....	Y01a
花輪知幸(はなわ ともゆき).....	P137a
馬場俊介(ばば しゅんすけ).....	V249a
馬場萌花(ばば もえか).....	V318a
馬場幸栄(ばば ゆきえ).....	Y02a
浜響子(はま きょうこ).....	R07a
浜田佳澄(はまだ かすみ).....	R06a
濱田莉来(はまだ りく).....	Q15a
早川貴敬(はやかわ たかひろ).....	Q49a
早川尚志(はやかわ ひさし).....	M22a
林航平(はやし こうへい).....	Z220a
林左絵子(はやし さえこ).....	Y16b
林多佳由(はやし たかゆき).....	V302a
原弘久(はら ひろひさ).....	V255a
原田空凱(はらだ こうが).....	T03a
原田直人(はらだ なおと).....	P138a
半田宙也(はんた ちゅうや).....	V128b

【ひ】

東野康祐（ひがしの こうすけ）.....	X19a
樋口茉由（ひぐち まゆ）.....	V305a
樋口諒（ひぐち りょう）.....	Q28a
平岡勇人（ひらおか ゆうと）.....	M33a
平島敬也（ひらしま けいや）.....	X14a
平田悠馬（ひらた ゆうま）.....	S20a
平野佑弥（ひらの ゆうや）.....	P307a
平松裕貴（ひらまつ ひろき）.....	W08a
廣瀬維士（ひろせ ただし）.....	M30a
廣瀬開陽（ひろせ はるあき）.....	V148a
広瀬暖菜（ひろせ はるな）.....	M31a

【ふ】

深川美里（ふかがわ みさと）.....	V123b
深谷直史（ふかや なおふみ）.....	P132a
福井康雄（ふくい やすお）.....	P102a
福島啓太（ふくしま けいた）.....	X30a
福島光太郎（ふくしま こうたろう）.....	Z218a
福原優弥（ふくはら ゆうや）.....	P210b
福原優弥（ふくはら ゆうや）.....	P213a
藤井大成（ふじい たいせい）.....	W36a
藤井通子（ふじい みちこ）.....	P126a
藤井隆登（ふじい りゅうと）.....	V340a
藤田裕（ふじた ゆたか）.....	X11a
藤巴一航（ふじとも いっこう）.....	V139b
藤本源（ふじもと げん）.....	Q22a
藤本淳也（ふじもと じゅんや）.....	X09b
藤森愛梨沙（ふじもり ありさ）.....	M39a
藤原立貴（ふじわら たつき）.....	Q30a
船木美空（ふなき みく）.....	X02a
古澤和也（ふるさわ かずや）.....	U17a

【ほ】

星宏樹（ほし ひろき）.....	X29a
堀田英之（ほった ひでゆき）.....	M42a
堀友哉（ほり ともや）.....	P106a

【ま】

前澤裕之（まえざわ ひろゆき）.....	V103a
前田郁弥（まえだ ふみや）.....	R02a
前田龍之介（まえだ りゅうのすけ）.....	P128a
前原瑚菜（まえはら こまち）.....	X26a
前原裕之（まえはら ひろゆき）.....	N02a
正木寛之（まさき ひろゆき）.....	M43a
増田智（ますだ さとし）.....	M20a
松井瀬奈（まつい せな）.....	X57a
松井瀬奈（まつい せな）.....	Y08b
松井理輝（まつい りき）.....	W49a
松浦周二（まつうら しゅうじ）.....	V237a
松尾英里子（まつお えりこ）.....	Y11a
松尾太郎（まつお たろう）.....	Z129a
松尾宏（まつお ひろし）.....	V101a
松坂怜（まつさか れん）.....	R13b
松月大和（まつづき やまと）.....	Q45a
松永海（まつなが かい）.....	N19a
松野允郁（まつの ただふみ）.....	N39a
松橋裕洋（まつはし ひろゆみ）.....	V336a
松原英雄（まつはら ひでお）.....	Q39a
松原瑞加（まつばら みずか）.....	S15b
松本明訓（まつもと あきのり）.....	U02a
松本健（まつもと たける）.....	V105a
松本達矢（まつもと たつや）.....	W48a
松本凜（まつもと りん）.....	P222b
丸田哲温（まるた てつはる）.....	P107a

【み】

三浦大貴（みうら だいき）.....	Z204a
三浦飛未来（みうら ひびき）.....	Y06a
三木洋平（みき ようへい）.....	X44c
三澤浩昭（みさわ ひろあき）.....	M14c
水谷耕介（みずたに こうすけ）.....	W24b
水本拓走（みずもと たくと）.....	P114b
水本岬希（みずもと みさき）.....	S16a
道山知成（みちやま ともなり）.....	S27a
三石郁之（みついし いくゆき）.....	V338a

湊恵太(みなと けいた).....	U16a
南喬博(みなみ たかひろ).....	V319a
南谷哲宏(みなみだに てつひろ).....	V115a
宮川浩平(みやかわ こうへい).....	P310b
宮川浩平(みやかわ こうへい).....	V207a
宮崎翔太(みやざき しょうた).....	P311b
宮田隆志(みやた たかし).....	V232a
宮戸健(みやと けん).....	P117a
宮本愛子(みやもと あいこ).....	S22a
三好隆博(みよし たかひろ).....	M10a
三好真(みよし まこと).....	S08a

【む】

向井一真(むかい かずま).....	V112b
武藤恭之(むとう たかゆき).....	P206a
村岡和幸(むらおか かずゆき).....	R12b
村上海都(むらかみ かいと).....	V342a
村越麻友(むらこし まゆ).....	Y05a
村社伊樹(むらこそ いつき).....	P130a
村瀬建(むらせ たける).....	Q11a
村瀬建(むらせ たける).....	V143b

【も】

本上侑吾(もとがみ ゆうご).....	W29a
元木業人(もとぎ かずひと).....	P113b
百瀬宗武(ももせ むねたけ).....	P109b
森昇志(もり しょうじ).....	P202a
森正夫(もり まさお).....	X22b
森井嘉穂(もりい かほ).....	P125a
森川莞地(もりかわ かんじ).....	W54a
森川雅博(もりかわ まさひろ).....	S03a
森島啓太(もりしま けいた).....	M35a
森田有輝(もりた ゆうき).....	V132a
森谷友由希(もりたに ゆうき).....	V231a
守屋堯(もりや たかし).....	N37a
森山智生(もりやま ともき).....	M18a
諸隈智貴(もろくま ともき).....	V220b

【や】

矢島秀伸(やじま ひでのぶ).....	X03a
保田悠紀(やすだ ゆうき).....	N09a
柳澤一輝(やなぎさわ かずき).....	S26a
柳澤広登(やなぎさわ ひろと).....	X25a
矢野太平(やの たいへい).....	V211b
山響(やま ひびき).....	P314a
山岡和貴(やまおか かずたか).....	W40a
山口慎太郎(やまぐち しんたろう).....	M13b
山口未沙(やまぐち みさ).....	X56a
山崎豪(やまざき ごう).....	V129b
山崎大輝(やまさき だいき).....	M09a
山崎康正(やまさき やすまさ).....	V106a
山下隼人(やました はやと).....	V240b
山下真依(やました まい).....	M05a
山田智史(やまだ さとし).....	S21a
山田真也(やまだ しんや).....	V312a
山田亨(やまだ とおる).....	V205a
山田良透(やまだ よしゆき).....	V210b
山田麟(やまだ りん).....	X18a
大和義英(やまと よしひで).....	P228a
山中逸輝(やまなか いつき).....	Q46a
山中珠里(やまなか じゅり).....	V125b
山中雅之(やまなか まさゆき).....	N35a
山中祐里奈(やまなか ゆりな).....	Q14a
山村一誠(やまむら いっせい).....	V245a
山室良太(やまむろ りょうた).....	P209a
山脇鷹也(やまわき たかや).....	P316a

【ゆ】

油谷直道(ゆたに なおみち).....	X52a
---------------------	------

【よ】

横田雅人(よこた まさと).....	V321b
芳岡尚悟(よしおか しょうご).....	S10b
吉川真(よしかわ まこと).....	P317a
吉越貴紀(よしこし たかのり).....	V333a

吉崎謙(よしさき けん).....	V221b
吉田猛人(よしだ たけと).....	X10b
吉田鉄生(よしだ てっせい).....	V307a
吉田有宏(よしだ ともひろ).....	P204a
吉田南(よしだ みなみ).....	M38a
吉田有佑(よしだ ゆうすけ).....	V339a
吉野碧斗(よしの あおと).....	P122a
吉本愛使(よしもと あんじえ).....	W05a
善本真梨那(よしもと まりな).....	W34a
米倉覚則(よねくら よしのり).....	V142b
米田謙太(よねた けんた).....	V218a
米田謙太(よねた けんた).....	V225b
米山友景(よねやま ともかげ).....	W22a

【り】

李源(り げん).....	V250a
---------------	-------

【わ】

若杉航希(わかすぎ こうき).....	X54a
鷲ノ上遥香(わしのうえ はるか).....	P232a
鷲見貴生(わしみ たつき).....	V257a
和田羅文(わだ らもん).....	P131a
渡邊一輝(わたなべ かずき).....	V151a
渡部潤一(わたなべ じゅんいち).....	P320a
渡部蒼汰(わたなべ そうた).....	Z108b
渡邊堯(わたなべ たかし).....	P322a
渡部温(わたなべ はると).....	V109b
渡邊祥正(わたなべ よしまさ).....	P142a

2024 年 8 月 20 日発行

年会実行委員会

委員長	廿日出	文	洋	(国立天文台)	
委 員	和 泉		究	(宇宙航空研究開発機構)	
	泉	拓	磨	(国立天文台)	
	大 澤		亮	(国立天文台)	
	大 屋	瑤	子	(京都大学)	
	大 藪	進	喜	(徳島大学)	
	小 西	美穂	子	(大分大学)	
	佐 藤	寿	紀	(明治大学)	
	庄 田	宗	人	(東京大学)	
	鈴 木	知	治	(中部大学)	
	浅 井		歩	(京都大学)	保育室担当
	市 来	淨	與	(名古屋大学)	保育室担当

年会開催地理事

楠 瀬	正 昭	(関西学院大学)
-----	-----	----------