

2023年 秋季年会

講演予稿集

電子版

於 名古屋大学

2023年9月20日（水）～ 9月22日（金）

日 本 天 文 学 会

日本天文学会 2023年 秋季年会プログラム

期 日 2023 年 9 月 20 日 (水) ～ 9 月 22 日 (金)
 場 所 名古屋大学東山キャンパス
 電 話 090 - 4387 - 6893 (学会事務局) <使用期間 2023 年 9 月 19 日 (火) ～ 9 月 22 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19日 (火)						記者会見				理事会		
9月20日 (水)	A	受付 9:30 10:00		P3. 惑星系	昼 休 み 12:10 - 13:30		P3. 惑星系 / P1. 星形成		ポスター 16:00 17:00	天文教育 フォーラム 17:00 18:30		
	B			U. 宇宙論			U. 宇宙論					
	C			Z1. マルチメッセンジャー			Z1. マルチメッセンジャー					
	D			Q. 星間現象			Q. 星間現象					
	E			Y. 教育・広報・他			Z4. 汎恒星惑星					
	F			X. 銀河形成・進化			X. 銀河形成・進化					
	G			R. 銀河			R. 銀河					
	H			V2. 観測機器(光赤・重)			V2. 観測機器(光赤・重)					
	I			T. 銀河団			V3. 観測機器(X線・γ線)					
	J			M. 太陽			M. 太陽					
9月21日 (木)	A	受付 9:30 10:00		P1. 星形成	昼 休 み 12:10 - 13:30 (代議員総会)		P1. 星形成		ポスター 16:00 17:00	会員全体 集会 17:00 18:00	受賞記念 講演 18:00 19:00	
	B			W. コンパクト天体			W. コンパクト天体					
	C			Z1. マルチメッセンジャー			V1. 観測機器 (電波)					
	D			Q. 星間現象			Q. 星間現象					
	E			Z4. 汎恒星惑星			Z4. 汎恒星惑星					
	F			X. 銀河形成・進化			X. 銀河形成・進化					
	G			S. 活動銀河核			S. 活動銀河核					
	H			V2. 観測機器(光赤・重)			V2. 観測機器(光赤・重)					
	I			V3. 観測機器(X線・γ線)			V3. 観測機器(X線・γ線)					
	J			N. 恒星・恒星進化			N. 恒星・恒星進化					
9月22日 (金)	A	受付 9:30 10:00		P2. 原始惑星系円盤	昼 休 み 12:10 - 13:30		P2. 原始惑星系円盤					
	B			W. コンパクト天体			W. コンパクト天体					
	C			V1. 観測機器 (電波)			V1. 観測機器 (電波)					
	D			Z3. 編隊飛行			Z3. 編隊飛行					
	E			Z2. 低周波天文学			Z2. 低周波天文学					
	F			X. 銀河形成・進化								
	G			S. 活動銀河核			S. 活動銀河核					
	H			V2. 観測機器(光赤・重)								
	I			V3. 観測機器(X線・γ線)								
	J			N. 恒星・恒星進化			N. 恒星・恒星進化					
		9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19

【セッション時間】(午前) 10:00 ～ 12:10 (午後) 13:30 ～ 15:40

A 会場 : ES 総合館 2F (ES021 講義室)	I 会場 : 野依記念学術交流館 1F (情報ラウンジ)
B 会場 : ES 総合館 2F (ES022 講義室)	J 会場 : 多元数理科学棟 1F (109 講義室)
C 会場 : ES 総合館 2F (ES024 講義室)	K 会場 : 豊田講堂ホール
D 会場 : ES 総合館 2F (ES025 講義室)	※定員が超過した場合は、近くの予備室をご利用ください
E 会場 : ES 総合館 3F (ES034 講義室)	受 付 : 豊田講堂 1F ロビー 1
F 会場 : 理学南館 1F (坂田・平田ホール)	展示コーナー : 豊田講堂 1F ロビー 2
G 会場 : 理学南館 1F (ネオレックスプレイスセミナー室)	ポスター : 豊田講堂 1F シンポジオン周辺 / オンライン公開
H 会場 : 野依記念学術交流館 2F (カンファレンスホール)	

◎講演数

講演数：合計 661

(口頭講演 (a)：515、ポスター講演 (b)：126、ポスター講演 (c)：20)

◎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：2023 年 8 月 1 日正午～8 月 31 日正午

※直前参加申込受付期間：9/11 正午～9/22 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 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) はポスター会場での掲示およびオンライン上で公開いたします。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。各ポスター講演に 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。(添字 a の講演者にも Slack チャンネルをご用意いたします)
- 口頭講演者 (添字 a、b、r) は、原則として現地会場で発表していただきます。
セッション 開始 5 分前から座長が講演方法の説明をいたします。講演者にご参加ください。
また、口頭講演は原則としてご自身の PC を用いて Zoom に接続し、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。

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

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

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

- 講演の実施方法の詳細は、学会ホームページに掲載いたします。事前に講演方法についてよく確認いただいた上で準備を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18日(月・祝)	13:00 ～ 16:00	名古屋市科学館 / オンライン	公開講演会
9月19日(火)	13:00 ～ 14:30	オンライン	記者会見
9月20日(水)	17:00 ～ 18:30	K 会場 / オンライン	天文教育フォーラム
9月21日(木)	17:00 ～ 18:00	K 会場 / オンライン	会員全体集会
9月21日(木)	18:00 ～ 19:00	K 会場 / オンライン	受賞記念講演 (欧文研究報告論文賞)

◎会合一覧表

月 日	時 間	会 場	会 合 名	参加可否※
9月19日(火)	16:30 ～ 17:30	オンライン	理事会	D
9月20日(水) 9月22日(金)	12:20 ～ 13:20	E 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20日(水)	12:20 ～ 13:20	C 会場	女性天文研究者の会	A
9月20日(水)	12:20 ～ 13:20	J 会場	太陽研究者連絡会 報告会	C
9月21日(木)	12:20 ～ 13:20	現地会場:関係者に別途連絡 / オンライン	代議員総会	D
9月22日(金)	12:20 ～ 13:20	B 会場	理論天文学宇宙物理学懇談会 報告会	C
9月22日(金)	12:20 ～ 13:20	D 会場	高エネルギー宇宙物理連絡会 報告会	C

※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：「プラネタリウムと天文学の共進化 - プラネタリウムの 100 年と今後 -」

日 時：2023 年 9 月 20 日（水）17：00～18：30
 場 所：K 会場（豊田講堂ホール）/ オンライン（要申込。天文教育フォーラムのみ参加の場合、参加費は無料です）
 概 要： 2023 年は、近代的な光学式プラネタリウムが登場して 100 年目にあたります。この間、日本ではプラネタリウムは広く社会に浸透し、天文学や星空と人々を繋ぐ大事な場のひとつとなりました。日本の各地に根付くプラネタリウムは、それぞれの地域における星空の文化をつむぐ担い手であり、天文学コミュニティにとっても社会との幅広い対話を進めていく上で欠かすことのできないパートナーです。そのようなプラネタリウムと日頃から関わりを持っている人は必ずしも多くないでしょう。今回の天文教育フォーラムでは、日本のプラネタリウムの最新の状況や具体的な連携事例を知った上で、どのような未来を共に目指すことができるのか、皆で議論したいと思います。

話題提供：(1) 毛利勝廣氏（名古屋市科学館）
 (2) 高梨直紘氏（天プラ / 東京大学 EMP）

パネルディスカッション：話題提供者に加え、宮野彩氏（富山市科学館）他が登壇

実行委員：高梨直紘、玉澤春史、千栴翔、松本佳也、矢治健太郎、大朝由美子、鴈野重之
 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

正会員展示

◎「アルマーの冒険」で電波天文学の原理と歴史を自作しよう！

日 時：年会開催期間内
 場 所：豊田講堂 1F ロビー 2
 概 要： 電波天文広報まんが「アルマーの冒険」は、電波天文学の世界を紹介するアウトリーチコンテンツです。国立天文台の広報機関誌『国立天文台ニュース』誌上で 2011 年から掲載を開始し、2023 年現在も継続中の連載記事です（これまでに 11 話分を掲載）。親しみやすいストーリーまんがを下敷きに、自作アンテナによるさまざまな天体の電波を実地に観測して（これまでのターゲットは太陽、流星、木星など）、電波天文学の原理を学びその歴史を追体験する構成で、国立天文台のみならず、全国の研究教育機関による最新の研究成果も逐次紹介しています。当展示では、これまでの記事制作の経緯を振り返りながら、電波天文分野のアウトリーチ手法の試行錯誤とその成果を総括し、今後も継続予定の企画内容の検討とより体系的な電波天文学（+ 光天文学との多波長観測実験の切り口も含めて）の広報普及活動の可能性について考えます。ぜひブースにお立ち寄りください。

世 話 人：高田裕行（国立天文台）
 山岡均（国立天文台）
 唐崎健嗣（合同会社プラネタリウムワークス）

◎日本天文学会公開講演会

日 時：2023 年 9 月 18 日（月・祝）13：00～16：00（開場 12:30）

形 式：対面とオンラインを併用したハイブリッド形式

場 所：【対面】名古屋市科学館 生命館地下 2 階 サイエンスホール

住所：名古屋市中区栄二丁目 17 番 1 号

【オンライン】名古屋市科学館公式 YouTube チャンネルからのライブ配信

対 象：中学生以上・一般向け

テ ー マ：「名古屋が支える宇宙望遠鏡プロジェクト」

名古屋を含む中部地域はモノづくりが盛んな地域であり、中でも航空宇宙産業に関連する多くの企業が集中する航空宇宙産業の中心地となっています。

本講演会では特に宇宙を観測する衛星に注目し、名古屋大学が関わる 3 つの天文衛星、X 線天文衛星 XRISM、次期太陽観測衛星 SOLAR-C、宇宙重力波望遠鏡 DECIGO をとりあげ、宇宙開発が切り開く最前線の研究を紹介します。

講師・タイトル：下記をご参照ください。

参 加 費：無料（当日は常設展示室を自由に観覧できます）

定 員：【対面】200 名（事前申込制）

【オンライン】申込不要です。ライブ配信を自由に視聴していただけます。

<講演内容の紹介>

講演 1：「XRISM 衛星で宇宙に吹き渡る風を見よう！」

講師：中澤 知洋（名古屋大学 素粒子宇宙起源研究所 / 大学院理学研究科 准教授）

今年日本から打ち上げ予定の宇宙 X 線観測衛星 XRISM(クリズム)は、これまでより 30 倍も精密な分光ができます。ドップラー効果を用いて、「ブラックホール」から吹き出す光速の 3 割すなわち秒速 10 万 km の風、宇宙最大の天体「銀河団」の中を吹き荒れる秒速 500 km 以上の乱流など、激しく灼熱な宇宙の現象の中で「吹き荒れる嵐」の強さを初めて詳しく測定し、ダイナミックな宇宙を探ります。

講演 2：「最も身近な恒星「太陽」の不思議と SOLAR-C ミッション」

講師：今田 晋亮（東京大学 大学院理学系研究科 教授）

最も身近な恒星である太陽にも、まだまだ未解明の謎がたくさんあります。SOLAR-C は高空間分解能（太陽表面で 300km）、高時間分解能（1 秒程度）、広い温度範囲（1 万度から数千万度）で観測する極端紫外・紫外域の分光撮像観測装置で、日本が中心となって推進する 2020 年代に最優先で実現を目指した日本主導の国際協力ミッションです。SOLAR-C を用いて、どのようにして太陽の謎を解明しようとしているかをご紹介します。

講演 3：「重力波で宇宙の産声を聞こう！」

講師：川村 静児（名古屋大学 大学院理学研究科 教授）

重力波の音が初めて聞こえて以来、ブラックホールや中性子星の連星合体からやってくる、いろいろな重力波のメロディーが聞こえてきました。将来的には、宇宙重力波望遠鏡 DECIGO により、宇宙の産声を聞き、宇宙誕生の謎に迫ることも期待されています。本講演ではこれまでに聞こえた重力波のメロディーをお聞かせし、また、DECIGO のためのモノづくりについても解説します。

主 催：公益社団法人 日本天文学会、名古屋市科学館

共 催：名古屋大学

※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。

名古屋駅 → 名古屋大学	地下鉄 東山線 (藤が丘行き, 15分)「本山駅」乗り換え 地下鉄 名城線 (右回り, 2分)「名古屋大学駅」下車, 2番出口すぐ
中部国際空港 → 名古屋大学	名鉄線 (約30分)「金山駅」乗り換え 名古屋地下鉄 名城線 (左回り, 21分)「名古屋大学駅」下車, 2番出口すぐ

至本山

食堂(フォレスト)

レストラン・売店

北部食堂・売店

ES総合館

カフェ

コンビニ

地下鉄名城線 出口

M 3番

M 2番出口

M 1番

中央図書館

文学部本館

文系総合館

動物飼育

福利施設

教育学部本館

国際開発校舎

南部食堂

南部食堂・売店

アジア法交流館

豊田講堂

受付

レストラン

豊田講堂・名大シボゾロ

テニスコート

古川記念館

組合案内所

やこと

至八事

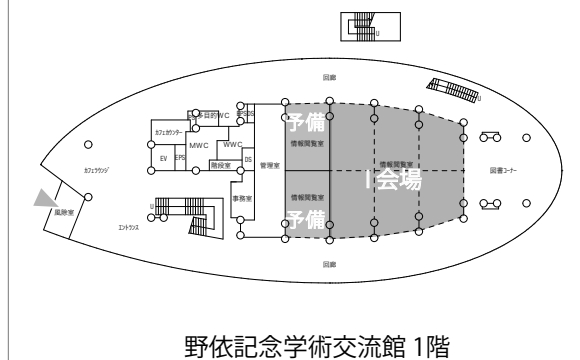
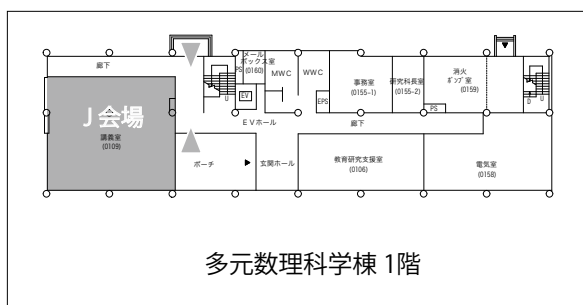
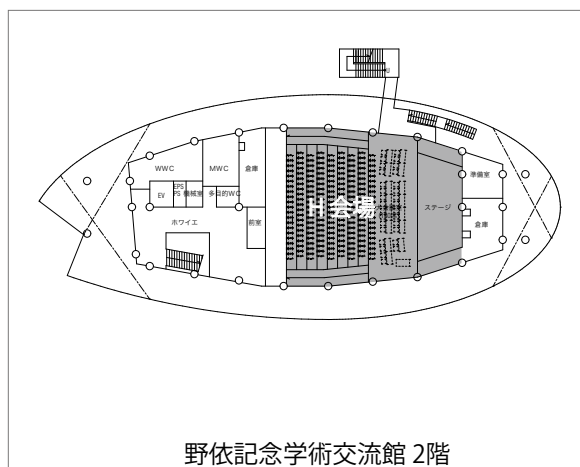
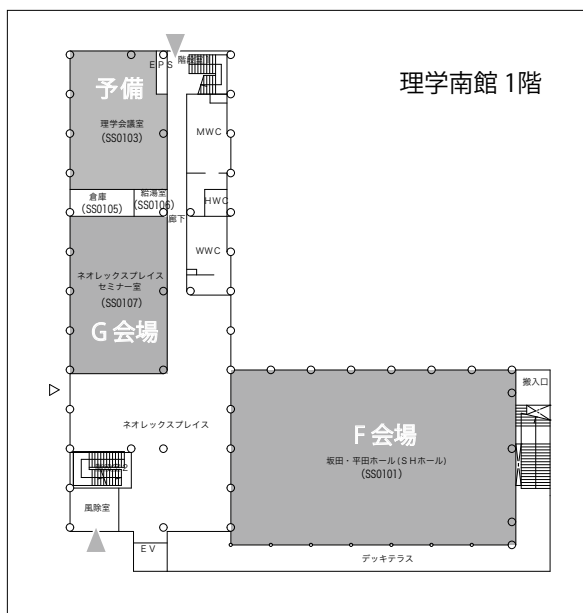
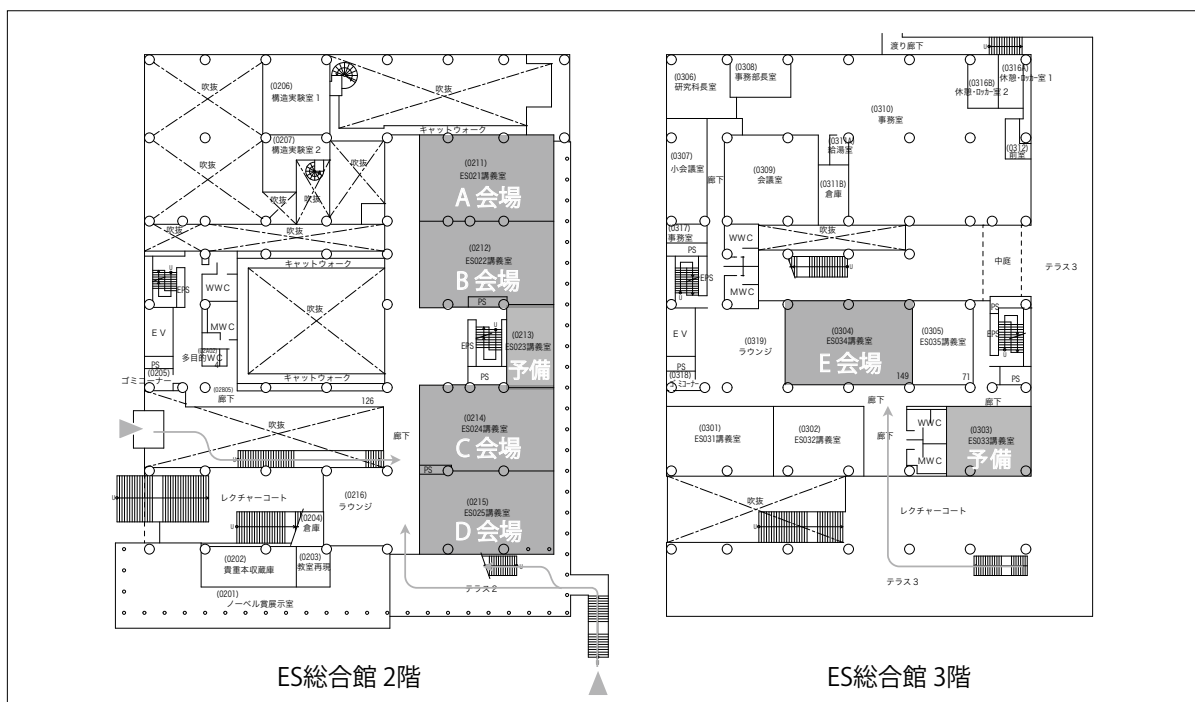
※ 飲食店あり

i 食堂フォレスト(200席)、北部食堂(300席)、南部食堂(1階400席、2階250席)が収容人数の大きい食堂です。

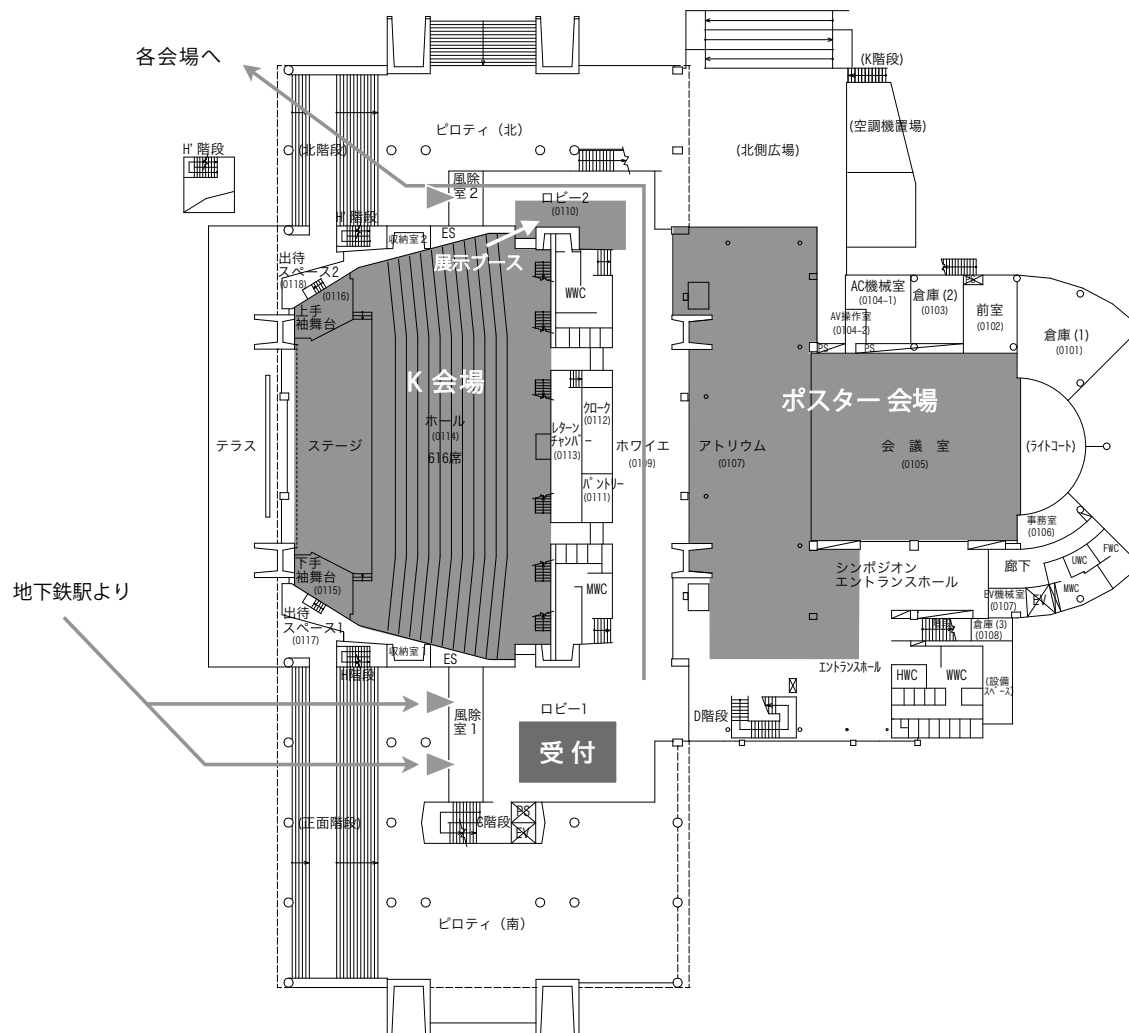
i 近隣の飲食店などの周辺情報は、随時年会ウェブサイトに掲載いたしますのでご利用ください。

! 公開講演会の会場は名古屋市科学館(地下鉄東山線 伏見駅)です。名古屋大学ではありません。

セッション会場のご案内



セッション会場のご案内



豊田講堂 1階

- ◎ 必ず1階ロビーにてQRコードによる受付後、参加証を受け取ってください。
- ◎ セッション会場が混雑している場合は、予備室をご利用ください。
- ◎ 構内での飲食は決められた場所をお願いいたします。

座 長 一 覧 表

2023 年秋季年会

日 時 会 場	9 月 20 日 (水)		9 月 21 日 (木)		9 月 22 日 (金)	
	10:00 - 12:10	13:30 - 15:40	10:00 - 12:10	13:30 - 15:40	10:00 - 12:10	13:30 - 15:40
A 会場	P3. 惑星系 黒崎健二 (神戸大学)	P3. 惑星系/P1. 星形成 住貴宏 (大阪大学)	P1. 星形成 下西隆 (新潟大学)	P1. 星形成 谷口琴美 (国立天文台)	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 富田賢吾 (東北大学)
B 会場	U. 宇宙論 井上開輝 (近畿大学)	U. 宇宙論 林航平 (仙台高等専門学校)	W. コンパクト天体 米山友影 (中央大学)	W. コンパクト天体 田中孝明 (甲南大学)	W. コンパクト天体 谷川衛 (東京大学)	W. コンパクト天体 川島朋尚 (東京大学)
C 会場	Z1. マルチメッセンジャー 田中雅臣 (東北大学)	Z1. マルチメッセンジャー 米徳大輔 (金沢大学)	Z1. マルチメッセンジャー 吉田滋 (千葉大学)	V1. 観測機器 西村淳 (国立天文台)	V1. 観測機器 石井峻 (国立天文台)	V1. 観測機器 前澤裕之 (大阪公立大学)
D 会場	Q. 星間現象 山本宏昭 (名古屋大学)	Q. 星間現象 竹川俊也 (神奈川大学)	Q. 星間現象 佐野栄俊 (岐阜大学)	Q. 星間現象 霜田治朗 (東京大学)	Z3. 編隊飛行 田村元秀 (アストロバイオロジーセンター)	Z3. 編隊飛行 和泉究 (宇宙航空研究開発機構)
E 会場	Y. 教育・広報・他 福江慧 (滋賀医科大学)	Z4. 汎恒星惑星 鈴木建 (東京大学)	Z4. 汎恒星惑星 野上大作 (京都大学)	Z4. 汎恒星惑星 藤井友香 (国立天文台)	Z2. 低周波天文学 町田真美 (国立天文台)	Z2. 低周波天文学 赤堀卓也 (国立天文台)
F 会場	X. 銀河形成・進化 柏野大地 (国立天文台)	X. 銀河形成・進化 久保真理子 (東北大学)	X. 銀河形成・進化 札本佳伸 (千葉大学)	X. 銀河形成・進化 橋本拓也 (筑波大学)	X. 銀河形成・進化 杉村和幸 (北海道大学)	
G 会場	R. 銀河 藤本裕輔 (会津大学)	R. 銀河 村岡和幸 (大阪公立大学)	S. 活動銀河核 上田佳宏 (京都大学)	S. 活動銀河核 高橋真聡 (愛知教育大学)	S. 活動銀河核 今西昌俊 (国立天文台)	S. 活動銀河核 三澤透 (信州大学)
H 会場	V2. 観測機器 松尾宏 (国立天文台)	V2. 観測機器 磯部直樹 (宇宙航空研究開発機構)	V2. 観測機器 和田武彦 (国立天文台)	V2. 観測機器 鈴木大介 (大阪大学)	V2. 観測機器 伊藤洋一 (兵庫県立大学)	
I 会場	T. 銀河団 赤松弘規 (量子場計算システム国際拠点)	V3. 観測機器 玉川徹 (理化学研究所)	V3. 観測機器 森浩二 (宮崎大学)	V3. 観測機器 鶴剛 (京都大学)	V3. 観測機器 林多佳由 (NASA/GSFC)	
J 会場	M. 太陽 庄田宗人 (東京大学)	M. 太陽 塩田大幸 (情報通信研究機構)	N. 恒星・恒星進化 内田裕之 (京都大学)	N. 恒星・恒星進化 諏訪雄大 (東京大学)	N. 恒星・恒星進化 前田啓一 (京都大学)	N. 恒星・恒星進化 松本仁 (慶應義塾大学)

口頭セッション 9月20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	惑星系	宇宙論	マルチメッセンジャー	星間現象	教育・他	銀河形成	銀 河	観測機器 (光赤・重)	銀河団	太 陽
10:00	P301a	U01a	Z101r	Q01a	Y01a	X01a	R01a	V201a	T01a	M01a
10:12	P302a	U02a		Q02a	Y02a	X02a	R02a	V202a	T02a	M02a
10:24	P303a	U03a		Q03a	Y03a	X03a	R03a	V203a	T03a	M03a
10:36	P304a	U04a	Z102r	Q04a	Y04a	X04a	R04a	V204a	T04a	M04a
10:48	P305a	U05a		Q05a	Y05a	X05a	R05a	V205a	T05a	M05a
11:00	P306a	U06a		Z103a	Q06a	Y06a	X06a	R06a	V206a	T06a
11:12	P307a	U07a	Z104a	Q07a	Y07a	X07a	R07a	V207a	-	M07a
			Z105a							
11:24	P308a	U08a	Z106a	Q08a	Y08a	X08b X09b X10b	R08a	V208a	-	M08a
11:36	P309b P310b P311b	U09a		Q09a	Y09a	X11b X12b X13b	R09a	V209a	-	M09a
11:48	P312b P313b	U10a	Z107a	Q10b Q11b Q12b	Y10b Y11b Y12b	-	R10a	V210a	-	M10a
12:00	-	U11b	-	-	Y13b Y14b Y15b	-	R11b R12b R13b	V211b V212b	-	M11b M12b M13b
12:12	-	-	-	-	Y16b Y17b Y18b	-	-	-	-	M14b M15b M16b
12:10	昼休み									
開始時刻	惑星系/ 星形成	宇宙論	マルチメッセンジャー	星間現象	汎恒星惑星	銀河形成	銀 河	観測機器 (光赤・重)	観測機器 (X線・γ線)	太 陽
13:30	P314a	U13a	Z108r	Q13a	Z401r	X19a	R14a	V213a	V301a	M17a
13:42	P315a	U14a		Q14a		X20a	R15a	V214a	V302a	M18a
13:54	P316a	U15a	Z109r	Q15a	Z402r	X21a	R16a	V215a	V303a	M19a
14:06	P317a	U16a		Q16a		X22a	R17a	V216a	V304a	M20a
14:18	P101a	U17a		Z110a		Q17a	X23a	R18a	V217a	V305a
14:30	P102a	U18a	Z111a	Q18a	Z403a	X24a	R19a	V218a	V306a	M22a
14:42	P103a	U19a	Z112a	Q19a	Z404a	X25a	R20a	V219a	V307a	M23a
14:54	P104a	U20a	Z113a	Q20a	Z405a	X26a	R21a	V220a	V308a	M24a
15:06	P105a	U21a	Z114b Z115b Z116b	Q21a	Z406a	X27a	R22a	V221a	V309a	M25a
15:18	P106a	U22a	Z117b Z118b Z119b	-	Z407a	X28a	R23a	V222a	V310a	M26a
15:30	P107b P108b	U23a	-	-	-	X29b X30b X31b	R24a	V223b V224b V225b	V311a	M27a
15:42	-	-		-	-	-	-	-	-	V312b V313b V314b
15:54	-	-	-	-	-	-	-	-	V315b	-
16:00	ポスター									
17:00	天文教育フォーラム									

	A 会場	B 会場	C 会場	D 会場	E 会場	F 会場	G 会場	H 会場	I 会場	J 会場
開始時刻	星形成	コンパクト天体	マルチメッセージャー	星間現象	汎恒星惑星	銀河形成	活動銀河核	観測機器 (光赤・重)	観測機器 (X線・γ線)	恒星進化
10:00	P109a	W01a	Z120r	Q22a	Z408r	X32a	S01a	V226a	V316a	N01a
10:12	P110a	W02a		Q23a		X33a	S02a	V227a	V317a	N02a
10:24	P111a	W03a	Z121r	Q24a		X34a	S03a	V228a	V318a	N03a
10:36	P112a	W04a		Q25a	X35a	S04a	V229a	V319a	N04a	
10:48	P113a	W05a	Z122a	Q26a	Z409r	X36a	S05a	V230a	V320a	N05a
11:00	P114a	W06a	Z123a	Q27a		X37a	S06a	V231a	V321a	N06a
11:12	P115a	W07a	Z124a	Q28a	Z410a	X38a	S07a	V232a	V322a	N07a
11:24	P116a	W08a	Z125a	Q29a	Z411a	X39a	S08a	V233a	V323a	N08a
11:36	P117a	W09b W10b W11b	Z126a	Q30a	Z412a	X40a	S09b S10b S11b	V234b V235b V236b	V324a	N09a
11:48	P118b P119b P120b	W12b W13b W14b	Z127a	-	Z413a	X41a	S12b S13b	-	V325a	N10b N11b N12b
12:00	-	-	-	-	-	-	-	-	V326b	-
12:10	昼休み (代議員総会)									
開始時刻	星形成	コンパクト天体	観測機器 (電波)	星間現象	汎恒星惑星	銀河形成	活動銀河核	観測機器 (光赤・重)	観測機器 (X線・γ線)	恒星進化
13:30	P122a	W15a	V101a	Q31a	Z414r	X42a	S15a	V237a	V327a	N13a
13:42	P123a	W16a	V102a	Q32a		X43a	S16a	V238a	V328a	N14a
13:54	P124a	W17a	V103a	Q33a		X44a	S17a	V239a	V329a	N15a
14:06	P125a	W18a	V104a	Q34a	Z415a	X45a	S18a	V240a	V330a	N16a
14:18	P126a	W19a	V105a	Q35a	Z416r	X46a	S19a	V241a	V331a	N17a
14:30	P127a	W20a	V106a	Q36a		X47a	S20a	V242a	V332a	N18a
14:42	P128a	W21a	V107a	Q37a		X48a	S21a	V243a	V333a	N19a
14:54	P129a	W22a	V108a	Q38a	Z417a	X49a	S22a	V244a	V334a	N20a
15:06	P130a	W23a	V109b V110b V111b	Q39a	Z418a	X50a	S23a	V245a	V335a	N21a
15:18	P131a	W24a	V112b V113b V114b	Q40a	Z419b Z420b	X51a	-	V246b V247b	V336a	N22b N23b N24b
15:30	P132a	W25b W26b W27b	V115b V116b V117b	-	-	X52a	-	-	V337a	N25b
15:42	P133a	-	V118b V119b V120b	-	-	-	-	-	V338b	-
15:54	P134b	-	-	-	-	-	-	-	-	-
16:00	ポスター									
17:00	会員全体集会									
18:00	受賞記念講演									

口頭セッション 9月22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	原始惑星系 円盤	コンパクト 天体	観測機器 (電波)	編隊飛行	低周波 天文学	銀河形成	活動銀河核	観測機器 (光赤・重)	観測機器 (X線・γ線)	恒星進化
10:00	P201a	W28a	V121a	Z301r	Z201r	X53a	S24a	V251a	V340a	N29a
10:12	P202a	W29a	V122a			X54a	S25a	V252a	V341a	N30a
10:24	P203a	W30a	V123a			X55a	S26a	V253a	V342a	N31a
10:36	P204a	W31a	V124a	Z302a	Z202a	X56a	S27a	V254a	V343a	N32a
10:48	P205a	W32a	V125a	Z303a	Z203a	X57a	S28a	V255a	V344a	N33a
11:00	P206a	W33a	V126a	Z304a	Z204a	X58a	S29a	V256a	V345a	N34a
11:12	P207a	W34a	V127a	Z305a	Z205a	X59a	S30a	V257a	V346a	N35a
11:24	P208a	W35a	V128a	Z306a	Z206a	X60a	S31a	V258a	V347a	N36a
11:36	P209b P210b P211b	W36a	V129a	Z307a	Z207b Z208b Z209b	X61a	S32a	V259a	V348a	N37a
11:48	P212b P213b P214b	W37a	V130a	Z308b Z309b Z310b	Z210b Z211b Z212b Z213b	X62a	S33a	V260a	V349a	N38a
12:00	P215b P216b	-	V131a	Z311b Z312b Z313b	Z214b Z215b Z216b	-	-	-	V350a	-
12:10	昼休み									
開始時刻	原始惑星系 円盤	コンパクト 天体	観測機器 (電波)	編隊飛行	低周波 天文学		活動銀河核			恒星進化
13:30	P217a	W38a	V132a	Z314r	Z217r		S34a			N39a
13:42	P218a	W39a	V133a				S35a			N40a
13:54	P219a	W40a	V134a				S36a			N41a
14:06	P220a	W41a	V135a	Z315r	Z219a		S37a			N42a
14:18	P221a	W42a	V136a		Z220a		S38a			N43a
14:30	P222a	W43a	V137a		Z221r		S39a			N44a
14:42	P223a	W44a	V138a	Z316a			-			N45a
14:54	P224a	W45a	V139a	Z317a	Z222a		-			N46a
15:06	P225a	W46a	V140a	Z318a	Z223a		-			-
15:18	P226a	W47a	V141a	Z319a	Z224a		-			-
15:30	P227a	-	V142a	-	-		-			-
15:42	P228a	-	-	-	-		-			-

※三日間とも各セッション(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20日(水)、9月21日(木)

【Z1. マルチメッセンジャー】(6) Z114b Z115b Z116b Z117b Z118b Z119b 【Z2. 低周波天文学】(10) Z207b Z208b Z209b Z210b Z211b Z212b Z213b Z214b Z215b Z216b 【Z3. 編隊飛行】(6) Z308b Z309b Z310b Z311b Z312b Z313b 【Z4. 汎恒星惑星】(2) Z419b Z420b 【M. 太陽】(10) M11b M12b M13b M14b M15b M16b M28b M29b M30b M31c 【N. 恒星・恒星進化】(10) N10b N11b N12b N22b N23b N24b N25b N26c N27c N28c 【P1. 星・惑星形成(星形成)】(8) P107b P108b P118b P119b P120b P121c P134b P135c 【P2. 星・惑星形成(原始惑星系円盤)】(8) P209b P210b P211b P212b P213b P214b P215b P216b	【P3. 星・惑星形成(惑星系)】(5) P309b P310b P311b P312b P313b 【Q. 星間現象】(3) Q10b Q11b Q12b 【R. 銀河】(3) R11b R12b R13b 【S. 活動銀河核】(6) S09b S10b S11b S12b S13b S14c 【U. 宇宙論】(2) U11b U12c 【V1. 観測機器(電波)】(12) V109b V110b V111b V112b V113b V114b V115b V116b V117b V118b V119b V120b 【V2. 観測機器(光赤外・重力波・その他)】(13) V211b V212b V223b V224b V225b V234b V235b V236b V246b V247b V248c V249c V250c 【V3. 観測機器(X線・γ線)】(7) V312b V313b V314b V315b V326b V338b V339c

ポスターセッション 9月20日(水)、9月21日(木)

【W. コンパクト天体】(9)

W09b W10b W11b W12b W13b

W14b W25b W26b W27b

【X. 銀河形成・進化】(14)

X08b X09b X10b X11b X12b

X13b X14c X15c X16c X17c

X18c X29b X30b X31b

【Y. 天文教育・広報普及・その他】(12)

Y10b Y11b Y12b Y13b Y14b

Y15b Y16b Y17b Y18b Y19c

Y20c Y21c

Z1. マルチメッセンジャー宇宙物理学

9 月 20 日（水）午前・C 会場		9 月 20 日（水）午後・C 会場	
10:00	Z101r 高エネルギーニュートリノと重力波が切り開くマルチメッセンジャー宇宙物理学 吉田滋（千葉大学）	13:30	Z108r 重力波天体からのマルチメッセンジャー 久徳浩太郎（京都大学）
10:30	Z102r ニュートリノ放射天体の理論モデル 木村成生（東北大学）	13:55	Z109r LIGO-Virgo-KAGRA 第4期重力波観測 運転の現状と将来の展望 塚田怜央 (Pennsylvania State University)
10:55	Z103a 光学望遠鏡フォローアップ観測のための 宇宙ニュートリノ観測装置 IceCube による オンライン multiplet 信号の研究 清水信宏（千葉大学）	14:20	Z110a キロノバのスペクトルで探る中性子星合 体の元素合成 土本菜々恵（東北大学）
11:07	Z104a IceCube と MAXI を用いた新たなマルチ メッセンジャーアラートの構築 岩切渉（千葉大学）	14:32	Z111a Early jet-cocoon emission in future GW170817-like events HAMIDANI, HAMID (Tohoku University)
11:19	Z105a 天の川銀河周辺物質とハロー内宇宙線 の多波長・マルチメッセンジャー探査 井上進（東京都立大学）	14:44	Z112a ガンマ線バーストの長期放射に伴う ニュートリノ放射 松井理輝（東北大学）
11:31	Z106a 電子陽子ヘリウムプラズマ中を伝播する 相対論的衝撃波での粒子加速とニュー トリノ放射 富田沙羅（東北大学）	14:56	Z113a 高速パラメータ推定手法を用いた重力 波源の正確な位置・質量情報の速報 森崎宗一郎（東京大学）
11:43	Z107a 超新星ニュートリノ解析コード SPECIAL BLEND による SN1987A の解析 原田了（理化学研究所）	15:08	Z114b 月の水資源探査と天文学・素粒子物理 の研究を連携させる MoMoTarO 計画 榎戸輝揚（京都大学）
11:55	質疑応答（10 分）		Z115b ガンマ線バースト観測超小型衛星群 CAMELOT の現状 深沢泰司（広島大学）
			Z116b 位置天文衛星 Gaia とせいめい望遠鏡 GAOES-RV によるコンパクト連星探査 谷川衝（東京大学）
		15:20	Z117b 近紫外線波長帯の効率を高めた撮像装 置の開発・製作 秋田谷洋（千葉工業大学）
			Z118b PRIME 望遠鏡を用いた南天での重力波 対応天体探査 濱田龍星（大阪大学）
			Z119b 光赤外線大学間連携 OISTER によるマ ルチメッセンジャー天文学 村田勝寛（京都大学）
		15:32	質疑応答（10 分）

Z2. センチ波・メートル波天文学の進展

9 月 21 日 (木) 午前・C 会場		9 月 22 日 (金) 午前・E 会場	
10:00	Z120r マルチメッセンジャー宇宙物理学と X 線観測 芹野素子 (青山学院大学)	10:00	Z201r 星間水素の精査で紐解く高エネルギー天文現象 佐野栄俊 (岐阜大学)
10:25	Z121r 重力波・ニュートリノ放射天体に対する可視光・赤外線観測 諸隈智貴 (千葉工業大学)	10:36	Z202a A high-resolution radio study of the L1551 IRS 5 binary jets Feeney-Johansson, Anton (The University of Tokyo/NAOJ)
10:50	Z122a ガンマ線バーストを用いた初期宇宙・極限時空探査計画 HiZ-GUNDAM 米徳大輔 (金沢大学)	10:48	Z203a 国内 VLBI 観測網による超新星爆発のフォローアップ観測 岩田悠平 (国立天文台)
11:02	Z123a 柔軟な連携観測を可能にする超小型 X 線衛星 NinjaSat 武田朋志 (理化学研究所/東京理科大学)	11:00	Z204a GMIMS-South による広帯域偏波データを用いた超新星残骸 G353-34 のファラデートモグラフィ解析 出口真輔 (国立天文台)
11:14	Z124a CTA 大口径望遠鏡初号機によるブレーザーの観測: マルチメッセンジャー天文学時代のブレーザー観測戦略 Baxter, Joshua Ryo (東京大学)	11:12	Z205a 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 松月大和 (名古屋大学)
11:26	Z125a 地上ガンマ線望遠鏡で挑むガンマ線バーストのマルチメッセンジャー観測 寺内健太 (京都大学)	11:24	Z206a Anomalous Microwave Emission から探るダストの特性 梨本真志 (東京大学)
11:38	Z126a 重力波観測ラン O4 における J-GEM の電磁波フォローアップ観測 笹田真人 (東京工業大学)	11:36	Z207b 低周波数電波観測による太陽~恒星・惑星科学 三澤浩昭 (東北大学)
11:50	Z127a 木曽超広視野高速 CMOS カメラ Tomo-e Gozen による重力波フォローアップ観測 新納悠 (東京大学)	11:36	Z208b 基準天体としての Vela パルサー国内電波観測 寺澤敏夫 (東京大学)
12:02	質疑応答 (10 分)	11:36	Z209b 野辺山 45m 鏡による赤外線バブル N49 のアンモニア分子輝線観測 河野樹人 (名古屋市科学館/名古屋大学)
		11:48	Z210b SPH シミュレーションの電波擬似観測に基づく渦状銀河磁場構造の解明 田嶋裕太 (総合研究大学院大学/国立天文台)

11:48	Z211b POSSUM を用いた重力レンズ銀河磁場 探査 大前陸人(総合研究大学院大学/国立 天文台)	9月22日(金)午後・E会場	
11:48	Z212b センチ波帯電波観測データを用いた銀河 団内部磁場構造の推定 酒見はる香(鹿児島大学)	13:30	Z217r 2つの次世代電波干渉計で解き明かす 超大質量ブラックホール進化 高橋慶太郎(熊本大学)
11:48	Z213b CIZA1410 中心部に見られる電波構造の 起源 赤堀卓也(国立天文台)	13:54	Z218a 低周波 21cm 線と遠方銀河や初期揺らぎ との関係 吉浦伸太郎(国立天文台)
12:00	Z214b 次世代センチ波帯干渉計に向けた超広 帯域クアドリッジアンテナの開発 II: 高 周波化を見据えた広帯域給電部の検討 抱江柊利(大阪公立大学)	14:06	Z219a 銀河団 Abell3322 中の Head-tail 銀河を 使ったプラズマ診断 藏原昂平(国立天文台)
12:00	Z215b VERA 搭載用 6-18GHz 帯広帯域受信 システムの開発: u-VERA 計画 新沼浩太郎(山口大学)	14:18	Z220a 銀河系中心部の磁気浮上ループ形成機 構の解明: MeerKAT による HI 観測結果 榎谷玲依(国立天文台/岐阜大学)
12:00	Z216b メートル波天文学を開拓する月面天文台 構想 井口聖(国立天文台)	14:30	Z221r 日本における cm 波電波天文学の現状 と将来計画 藤沢健太(山口大学)
12:12	質疑応答(10分)	14:54	Z222a 日本国内における327MHz帯VLBIについて 岳藤一宏(宇宙航空研究開発機構)
		15:06	Z223a 次世代センチ波帯干渉計に向けた超広 帯域クアドリッジアンテナの開発 I: カセ グレンアンテナへの応用 山崎康正(大阪公立大学)
		15:18	Z224a ngVLA m アンテナの光学系の最適化 今田大皓(国立天文台)
		15:30	質疑応答(10分)

Z3. フォーメーションフライトによる天文学の新機軸

9 月 22 日（金）午前・D 会場		12:00	Z311b 次世代宇宙赤外干渉計に向けた分光撮像法の提案 小島礼己（名古屋大学）
10:00	Z301r The LIFE initiative – atmospheric characterization of terrestrial exoplanets in the mid-infrared with a large space-based nulling interferometer Quanz, Sascha (ETH Zurich)	12:00	Z312b 超々小型衛星フォーメーションフライトによる超大型望遠鏡：科学要求と望遠鏡コンセプト 都築俊宏（国立天文台）
10:36	Z302a Revealing Habitable Planet Formation via High-Resolution Infrared Observation 小林浩（名古屋大学）	12:00	Z313b ラウエレンズを用いた MeV ガンマ線望遠鏡の実現に向けて 田中孝明（甲南大学）
10:48	Z303a 宇宙赤外線干渉計が解明する漸近巨星分枝星の星風駆動機構 上塚貴史（東京大学）	12:12	質疑応答（10 分）
11:00	Z304a Large Interferometer For Exoplanets (LIFE):Phase-space synthesis decomposition for planet detection and characterization Matsuo, Taro (Nagoya University)	9 月 22 日（金）午後・D 会場	
11:12	Z305a 宇宙赤外線干渉計ミッション SEIRIOS 実現に向けた地上テストベッドの構築 近藤宙貴（東京大学）	13:30	Z314r 超精密 FF 技術の研究 河野功（宇宙航空研究開発機構）
11:24	Z306a 超々小型衛星フォーメーションフライトによる超大型望遠鏡：人工衛星制御・通信技術 野田篤司（Our Stars 株式会社）	14:06	Z315r 宇宙重力波干渉計で期待されるサイエンス 瀬戸直樹（京都大学）
11:36	Z307a 遠赤外線強度干渉計に必要なフォーメーションフライトの条件 松尾宏（国立天文台）	14:42	Z316a 宇宙重力波望遠鏡 B-DECIGO 安東正樹（東京大学）
11:48	Z308b 強度干渉計実験と今後の展望 小関知宏（筑波大学）	14:54	Z317a 編隊飛行を用いた宇宙重力波望遠鏡におけるバックリンク干渉計の開発 大熊悠介（東京大学）
11:48	Z309b フォーメーションフライト赤外線干渉計 SEIRIOS の像再生手法に関する研究 小川巧海（東京大学）	15:06	Z318a 次世代天体観測ミッションを実現する精密フォーメーションフライト試験装置の開発 岩城拓弥（宇宙航空研究開発機構）
11:48	Z310b 中間赤外線宇宙干渉計 LIFE における系外惑星・系外衛星の検出可能性の検討 太田明日夏（名古屋大学）	15:18	Z319a ガンマ線観測編隊飛行衛星 FF-LAGRAN 実現のために必要な技術について 望月友貴（東京大学）
		15:30	質疑応答（10 分）

Z4. 汎恒星惑星系：恒星磁気活動と惑星環境をつなぐ

9 月 20 日（水）午後・E 会場		11:24	Z411a 太陽型の前主系列星の彩層活動と黒点・フレアによる光度変動の調査 山下真依（兵庫県立大学）
13:30	Z401r 恒星磁気活動と惑星環境をつなぐ汎恒星惑星進化学をめざして 横山央明（京都大学）	11:36	Z412a K2 星団領域の測光データ解析による恒星黒点進化の調査 宮川浩平（国立天文台）
13:54	Z402r 恒星物理学の諸問題の現状と展望 堀田英之（名古屋大学）	11:48	Z413a データ科学による恒星表面マッピング 幾田佳（東京大学）
14:30	Z403a 恒星 XUV 観測を用いたコロナ加熱モデルの検証 庄田宗人（東京大学）	12:00	質疑応答（10 分）
14:42	Z404a 太陽型星や低質量星における磁場と XUV 放射の経験則の理解 行方宏介（国立天文台）	9 月 21 日（木）午後・E 会場	
14:54	Z405a 音波固有振動 p モードにより生じるアルフベン波は太陽・恒星コロナ加熱に寄与するのか？ 国吉秀鷹（東京大学）	13:30	Z414r 系外惑星上層大気の観測と大気散逸 平野照幸（アストロバイオロジーセンター）
15:06	Z406a 金属量を考慮した恒星コロナループの一般化スケーリング則 鷲ノ上遥香（大阪大学）	14:06	Z415a 軌道が減衰する超低温矮星 -M 型矮星連星の発見 福井暁彦（東京大学）
15:18	Z407a 潮汐相互作用による M 型星とガス惑星間の角運動量共進化の性質 徳野鷹人（東京大学）	14:18	Z416r 紫外線宇宙望遠鏡 LAPYUTA 計画 土屋史紀（東北大学）
15:30	質疑応答（10 分）	14:54	Z417a 恒星 XUV スペクトルが及ぼす火星型惑星からの大気散逸への影響 堺正太郎（東北大学）
9 月 21 日（木）午前・E 会場		15:06	Z418a ホットジュピターの大気散逸における重元素の影響 三谷啓人（東京大学）
10:00	Z408r 恒星におけるスーパーフレアとそれに伴うプラズマ噴出現象 前原裕之（国立天文台）	15:18	Z419b 恒星磁気活動の紫外線観測：LAPYUTA 時代を見据えた今後の計画と展望 野津湧太（コロラド大学）
10:36	Z409r 太陽型星の自転・活動性進化の調査：系外惑星系の時間進化の解明に向けて 増田賢人（大阪大学）	15:18	Z420b 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 新田伸也（筑波技術大学）
11:12	Z410a X 線・可視光観測で探る T タウリ型星の磁気活動と原始惑星系円盤への作用 井上峻（京都大学）	15:30	質疑応答（10 分）

M. 太陽

9 月 20 日（水）午前・J 会場			12:00	M12b	2023 年 4 月 20 日皆既日食の可視白色光観測 花岡庸一郎（国立天文台）
10:00	M01a	SOLAR-C で目指す科学および Science Working Group (SWG) 活動 今田晋亮（東京大学）	12:00	M13b	極端紫外スペクトル線の仮想分光観測を用いた遷移層温度分布に関する研究 大場崇義（国立天文台）
10:12	M02a	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 の準備状況 成影典之（国立天文台）	12:12	M14b	次期太陽風観測衛星 SWFO-L1 地上局の整備 久保勇樹（情報通信研究機構）
10:24	M03a	磁気リコネクションがエネルギー輸送過程へ与える寄与の定量化手法 飯島陽久（名古屋大学）	12:12	M15b	京都大学花山天文台の黒点スケッチを用いた、黒点群の出現経度調査 山口慎太郎（明星大学）
10:36	M04a	SMART/SDDI による太陽大気における波動の伝播と磁場との関係の太陽全面にわたる観測的研究 白戸春日（京都大学）	12:12	M16b	SUSANOO-CME を用いたリアルタイム太陽嵐到来予測システムの開発 塩田大幸（情報通信研究機構）
10:48	M05a	1.5 次元 MHD シミュレーションによるプロミネンス形成過程の背景加熱率依存性に関する調査 吉久健朗（京都大学）	12:24		質疑応答（10 分）
11:00	M06a	多点観測による音波伝播時間の測定誤差見積もり 八田良樹（名古屋大学）	9 月 20 日（水）午後・J 会場		
11:12	M07a	SDO/HMI の連続光画像を用いた超粒状斑の面積の太陽周期依存性 長谷川幸大（新潟大学）	13:30	M17a	真空中の磁気リコネクション 柴崎清登（太陽物理学研究所）
11:24	M08a	広い領域の輻射磁気流体シミュレーションを教師データとした機械学習による太陽内部の熱対流構造推定 正木寛之（千葉大学）	13:42	M18a	飛騨天文台 DST 垂直分光器を用いた He I 10830 Å 偏光分光空間スキャン観測によるダークフィラメント磁場診断 II 山崎大輝（宇宙航空研究開発機構）
11:36	M09a	太陽サイクル極小期から極大期までの到達時間の違いが Grand Minimum を引き起こす確率に及ぼす影響 梶山侑里名（東京大学）	13:54	M19a	Data-driven Simulation of a Deflected Eruption in Solar Active Region 11283 Kang, Yeongmin (Nagoya University)
11:48	M10a	GAN を用いた太陽活動領域成長の画像予測手法の開発 横山光輝（新潟大学）	14:06	M20a	パーシステントホモロジーによる光球磁場構造のトポロジー解析 勝川行雄（国立天文台）
12:00	M11b	A unified model of solar prominence formation Huang, Chuji (Kyoto University)	14:18	M21a	AR 12673 で発生した Confined、Eruptive フレアから探る CME 発生の物理機構 寺岡耕平（東京大学/宇宙航空研究開発機構）
			14:30	M22a	磁気リコネクションにおけるプラズモイド不安定性の効果 広瀬暖菜（東京大学）

N. 恒星・恒星進化

14:42	M23a	太陽フレアに伴う諸現象の、4つの彩層ラインでの Sun-as-a-star 解析 夏目純也（京都大学）	9月21日（木）午前・J会場	
14:54	M24a	NICER 観測によるおひつじ座 UX 星フレアの非平衡電離過程の調査 栗原明稀（東京大学）	10:00	N01a NuSTAR で偶然観測された恒星フレアの起源と物理的描像 袴田知宏（大阪大学）
15:06	M25a	MHD+GCA テスト粒子計算を用いた太陽フレア中の電子加速効率の評価 佐藤慶暉（総合研究大学院大学）	10:12	N02a XMM-Newton を用いた A 型主系列星の系統的 X 線分光解析 中澤皓太（名古屋大学）
15:18	M26a	粒子シミュレーションによる太陽フレアの考察 芥川慧大（東京大学）	10:24	N03a なゆた望遠鏡による Be 星の伴星の近星点通過前後における中分散分光観測 石田光宏（横浜市立戸塚高等学校）
15:30	M27a	太陽フレア予測モデル DeFN の運用状況とフレア発生機構の考察 西塚直人（情報通信研究機構）	10:36	N04a 短周期アルゴル型連星系 U CrB の TESS との同時分光観測 鳴沢真也（兵庫県立大学）
15:42	M28b	Changes in the Photospheric Non-potential Magnetic Fields during Solar Flares and their Correlation with Flare Ribbons Ming, Qihui (Nagoya University)	10:48	N05a 潮汐変形した連星のスペクトル線輪郭を活用した質量推定 友善瑞雄（大阪大学）
15:42	M29b	Investigating differences of magnetic fields in Solar active regions that produce eruptive and confined flares Goto, Ichiro (Nagoya University)	11:00	N06a LAMOST/ すばる望遠鏡による金属欠乏星組成調査 IV: 特異な化学組成をもつ LAMOST J1645+4357 の組成とその起源 青木和光（国立天文台）
15:42	M30b	DeSIRe を用いた Ellerman Bomb の高度解析 市川椋大（茨城大学）	11:12	N07a Ia 型超新星のスペクトル細分類ごとの光度曲線の多様性 越諒太郎（東京大学）
15:54	M31c	太陽フレアの統計則を再現する結合自己組織化臨界モデル 黒石萌香（お茶の水女子大学）	11:24	N08a 多色光度曲線を用いた電子捕獲型超新星候補天体の同定 佐藤大仁（総合研究大学院大学）
		質疑応答（10分）	11:36	N09a SN 2022crv: Bridging the gap between SN IIb and SN Ib classes Gangopadhyay, Anjasha (Hiroshima University)
			11:48	N10b 食連星 MN Boo の分光観測 高妻真次郎（中京大学）
			11:48	N11b Brunt-Väisälä 振動数の勾配を考慮した高調波重力波モードの準解析的研究 八田良樹（名古屋大学）
			11:48	N12b H α 線強度変動の長期分光モニター観測による太陽型星の磁気活動性の調査 李尚姫（東京工業大学）
			12:00	質疑応答（10分）

9 月 21 日 (木) 午後・J 会場			
13:30	N13a	α Tau からの低速風 保田悠紀 (北海道大学)	N26c 原始中性子星外層における各ニュートリノ反応の影響の解析 Liao, Jinkun (東京理科大学)
13:42	N14a	Ibn 型超新星とその前駆天体の光度曲線から探る親星の性質 武井勇樹 (東京大学/理化学研究所)	N27c 回転する重力崩壊型超新星における流体不安定性の発達 中村航 (福岡大学)
13:54	N15a	X 線分光観測による WR140 の輝線放射領域のジオメトリと乱流速度の導出 宮本明日香 (東京都立大学)	N28c 3 次元シミュレーションによる超新星爆発の多次元対流効果の解析 佐々木俊輔 (総合研究大学院大学/国立天文台)
14:06	N16a	星団を用いたレッドクランプ星の近赤外線絶対等級と色指数の年齢・金属量依存性の調査 小野里宏樹 (国立天文台)	15:42 質疑応答 (10 分)
			9 月 22 日 (金) 午前・J 会場
14:18	N17a	2 次元平衡形状モデルを使用した高速回転する白色矮星の冷却進化 小形美沙 (早稲田大学)	10:00 N29a 原始中性子星から中性子星へ：クラスト形成はいつ起こるのか？ 諏訪雄大 (東京大学)
14:30	N18a	Mira 型変光星と AGB 星の進化 :Carbon star mystery と Superwind 機構の解明 浦郷陸 (アストロバイオロジーセンター)	10:12 N30a 新星 V1405 Cas の初期スペクトル: 太陽より軽い ONeMg 白色矮星の可能性 田口健太 (京都大学)
14:42	N19a	FLASHING 5 年間総括 今井裕 (鹿児島大学)	10:24 N31a 超新星爆発における乱流 α 効果により増幅された磁場の果たす役割 松本仁 (慶應義塾大学)
14:54	N20a	IIn 型超新星の性質の環境依存性 守屋堯 (国立天文台)	10:36 N32a 超新星フォールバックと親星水素外層の相関性 篠田兼伍 (東京大学)
15:06	N21a	対不安定型超新星の上限質量と $^{12}\text{C}(\alpha, \gamma)^{16}\text{O}$ 反応率応答性 川下大響 (東京大学)	10:48 N33a Mg-rich 超新星残骸 G359.0-0.9 の親星質量推定 内田裕之 (京都大学)
15:18	N22b	プレアデス星団に属する恒星の中性子捕獲過程元素の存在度 杉村風暁 (兵庫県立大学)	11:00 N34a SNR 1181 の現状観測と理論モデル：現在と未来の展望 黄天銳 (東京大学/理化学研究所)
15:18	N23b	VERA 新体制 (VLCOP) における AGB 星位置天文観測の継続とその進捗報告 中川亜紀治 (鹿児島大学)	11:12 N35a 超新星のボルツマン輻射輸送計算におけるニュートリノ集団振動の系統的解析 赤穂龍一郎 (早稲田大学)
15:18	N24b	Ia 型超新星 SN 2023bee の近赤外線光度曲線に基づく研究 山中雅之 (鹿児島大学)	11:24 N36a M101 で発生した超新星 SN 2023ixf の早期光度曲線モデリング 鈴木昭宏 (東京大学)
15:30	N25b	Seimei KOOLS-IFU mapping of the gas and dust distributions in Galactic PNe: the case of NGC7027 大塚雅昭 (京都大学)	

P1. 星・惑星形成(星形成)

11:36	N37a	Multi-Peak IIn 型超新星 2021qqp から探る複雑な星周物質と爆発環境 平松大地 (Center for Astrophysics Harvard & Smithsonian)	9 月 20 日 (水) 午後・A 会場	
11:48	N38a	星周物質との衝撃波相互作用で輝く超新星の新しい解析方法と特異な超新星 2021qqp への応用 松本達矢 (京都大学)	14:18	P101a 初代星超新星噴出物における気相中の化学反応を考慮したダスト形成 千秋元 (高知工業高等専門学校)
12:00		質疑応答 (10 分)	14:30	P102a 極初期宇宙における初代星の形成 伊藤茉那 (東北大学)
			14:42	P103a HD 冷却による初代星形成効率の低下: Lyman-Werner 輻射強度依存性 西嶋翔 (東京大学)
9 月 22 日 (金) 午後・J 会場			14:54	P104a 宇宙初期の超大質量星形成における星周円盤と原始星構造の共進化 木村和貴 (東北大学)
13:30	N39a	Subaru/HSC transient survey における Rapid Transient 探査 敏蔭星治 (東北大学)	15:06	P105a 収縮する始原ガスにおける乱流磁場の増幅と飽和 東翔 (甲南大学)
13:42	N40a	Iax 型超新星: 白色矮星の不完全核反応暴走爆発機構の検証 前田啓一 (京都大学)	15:18	P106a 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 II. 直交衝突 柏木頼我 (国立天文台/総合研究大学院大学)
13:54	N41a	近傍銀河 M101 に出現した II 型超新星 SN2023ixf の早期分光及び近赤外線観測 山中雅之 (鹿児島大学)	15:30	P107b cold accretion による超大質量星形成; 輻射フィードバックの効果 喜友名正樹 (京都大学)
14:06	N42a	急速な減光を示した超新星 SN 2021ukt の可視近赤外観測に基づいた研究 深田静 (広島大学)	15:30	P108b 偏波プロファイルを用いた乱流フィラメント の 3 次元磁場構造の研究 吹原瑤 (鹿児島大学)
14:18	N43a	低輝度超新星の初期観測で探る大質量星の爆発と星周物質の性質 村井結太 (東北大学)	15:42	質疑応答 (10 分)
14:30	N44a	超新星の輻射による星周物質の加速 津名大地 (カリフォルニア工科大学)		
14:42	N45a	Seimei KOOLS-IFU mapping of the gas and dust distributions in Galactic PNe: Unveiling the origin and evolution of the metal-deficient Galactic halo PN H4-1 大塚雅昭 (京都大学)		
14:54	N46a	SN2022jli: Multi-peaked Type Ic Supernova Singh, Avinash (Hiroshima University)		
15:06		質疑応答 (10 分)		

9 月 21 日 (木) 午前・A 会場			
10:00	P109a Q-band line survey observations toward 12 intermediate-mass protostars with the Yebes 40m telescope 谷口琴美 (国立天文台)	12:00	P121c 星間塵表面における P、S、Cl の吸着エネルギーの系統的評価 江刺拓哉 (東京都立大学) 質疑応答 (10 分)
10:12	P110a 星形成コアにおける COMs の炭素同位体分別の化学反応モデル計算 一村亮太 (総合研究大学院大学/国立天文台)	9 月 21 日 (木) 午後・A 会場	
10:24	P111a Class 0 原始星 B1-c に付随する Hot CH ₃ OH Core の解析 篠崎愛翔 (鹿児島大学)	13:30	P122a 星形成フィードバック効果を考慮した高速ガス衝突による星団形成 前田龍之介 (東北大学)
10:36	P112a 若い低質量原始星天体の円盤・アウトフローにおける硫黄関連分子の分布 大屋瑠子 (京都大学)	13:42	P123a Mass function to below the deuterium burning mass limit of young clusters in the outer Galaxy. JWST NIRCам/MIRI imaging of Digel Cloud 2 clusters Yasui, Chikako (NAOJ)
10:48	P113a A Complete View of Complex Chemistry in Gas and Ice using ALMA and JWST Yang, Yao-Lun (RIKEN)	13:54	P124a 球状星団形成期の星の暴走的合体からの中質量ブラックホール形成 藤井通子 (東京大学)
11:00	P114a JWST と ALMA を用いた原始星 IRAS 15398-3359 のアウトフローの解析 大小田結貴 (理化学研究所)	14:06	P125a 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 山田麟 (名古屋大学)
11:12	P115a 主成分解析を用いた分子流同定アルゴリズムの開発 石橋志悠 (鹿児島大学)	14:18	P126a 近傍の星形成領域における分裂過程の観測的研究 石原昂将 (総合研究大学院大学)
11:24	P116a 分子雲コアパラメータの違いが生み出す原始星アウトフローの多様性 高石大輔 (鹿児島大学)	14:30	P127a Early fragmentation found in 70 μ m-dark massive clumps 森井嘉穂 (東京大学)
11:36	P117a Class 0/I 原始星降着期の 10 万年進化: 軸ずれの解消 平野信吾 (東京大学)	14:42	P128a 分子雲形成モードが切り替わる金属量閾値 小林将人 (ケルン大学/国立天文台)
11:48	P118b 3 次元磁気流体計算に基づく、分子雲形成初期における化学進化過程 小道雄斗 (東京大学)	14:54	P129a 近傍銀河における巨大分子雲の Type 分類 出町史夏 (名古屋大学)
11:48	P119b HH270mms1 の偏波観測から推定する磁場構造 大村充輝 (九州大学)	15:06	P130a M16 分子雲の近赤外線偏光観測 楠根貴成 (名古屋大学)
11:48	P120b 乱流中の異なる星形成環境での分子雲コアの形成・進化 野崎信吾 (九州大学)	15:18	P131a 大マゼラン雲における O 型星の同定と大質量星形成の研究 玉城磨生 (名古屋大学)

P2. 星・惑星形成(原始惑星系円盤)

15:30	P132a ALMA による大マゼラン雲大質量原始星に付随する高密度分子ガスの観測 (3): 大質量ハブフィラメント形成と巨大分子雲の進化との関係 徳田一起 (九州大学/国立天文台)	9 月 22 日 (金) 午前・A 会場	
		10:00	P201a 原始星形成段階における円盤構造の観測的特徴について 高橋実道 (国立天文台/鹿児島大学)
15:42	P133a ALMA ACA 分子雲サーベイで探る大マゼラン雲の大質量星形成シナリオ (2): N44 分子雲複合体の解析 東野康祐 (大阪公立大学)	10:12	P202a ニューラルネットワーク U-Net を用いた原始惑星系円盤の電波干渉計画像構成 関口瑞希 (東京工業大学)
15:54	P134b 前主系列星の正確な有効温度の決定と微弱な彩層輝線の検出 山下真依 (兵庫県立大学)	10:24	P203a Possible flyby in the XZ Tau system as revealed by the multi-epoch ALMA archival data Kido, Miyu (Kagoshima University)
	P135c 球状星団の N 体シミュレーションにおける階層的な多体系の取り扱いについて 岩倉龍太郎 (神戸大学)	10:36	P204a 磁束輸送を考慮した円盤ガス面密度進化モデルの構築 榎本晴日 (東京工業大学)
16:06	質疑応答 (10 分)	10:48	P205a 原始惑星系円盤のガス-ダスト2成分2次元グローバル計算によるダストリング形成 松木場亮喜 (京都大学)
		11:00	P206a 原始惑星系円盤内側の熱構造: 輻射輸送入り大局的非理想磁気流体力学シミュレーション 森昇志 (東北大学)
		11:12	P207a 巨大惑星がつくる密度波による原始惑星系円盤の衝撃波加熱 岡村龍樹 (東京工業大学)
		11:24	P208a 原始惑星系円盤内側領域のダストと温度の共進化によるダスト濃集 加藤遼 (東京工業大学)
		11:36	P209b 周連星円盤の自己重力分裂過程の解明 久島慶大 (鹿児島大学)
		11:36	P210b ダスト散乱減光の円盤観測に対する影響 佐々木恵 (鹿児島大学)
		11:36	P211b 星形成初期段階の円盤進化と重力不安定によるダストの振る舞い 早川喬 (九州大学)
		11:48	P212b 原始惑星系円盤におけるストリーミング不安定性とダスト成長の共発展 富永遼佑 (理化学研究所)

11:48	P213b 大質量原始星円盤における岩石ダスト成長の観測的兆候の予測 山室良太（東京工業大学）	14:54	P224a ALMA 観測による FU Ori 型星 V883 Ori の円盤における $^{13}\text{C}^{17}\text{O}$ 輝線の検出 野津翔太（東京大学）
11:48	P214b 有機ダストプラズマにおけるダストの成分同定に向けた解析手法の検討 米津鉄平（大阪公立大学）	15:06	P225a 磁気的に降着する原始惑星系円盤でのスノーライン移動と岩石微惑星形成 近藤克（東京工業大学）
12:00	P215b 微惑星形成時の衝突帯電による雷発生：鉛直方向の運動と交換電荷量の影響 西澤諒（東京工業大学）	15:18	P226a スノーライン下方での氷微粒子の凝縮 城野信一（名古屋大学）
12:00	P216b 運動量保存を考慮した原始惑星系円盤ダストの乱流拡散：周惑星円盤へのダスト供給過程の理解に向けて 瀧哲朗（東京大学）	15:30	P227a 原始惑星系円盤内側領域における揮発性元素濃縮とガス惑星形成 中澤風音（東京工業大学）
12:12	質疑応答（10 分）	15:42	P228a 短寿命核種供給源として適切な近傍超新星爆発：原始太陽系円盤を破壊しない条件 澤田涼（東京大学）
9 月 22 日（金）午後・A 会場		15:54	質疑応答（10 分）
13:30	P217a ダストと円盤の共進化過程 塚本裕介（鹿児島大学）		
13:42	P218a ALMA 3 バンド観測で明らかにする原始星 DG Tau まわりの若い円盤でのダスト濃集と惑星形成の初期条件 大橋聡史（国立天文台）		
13:54	P219a 質量輸送を伴うダストアグリゲイト間の衝突と衝突エネルギー 長谷川幸彦（東北大学）		
14:06	P220a 原始惑星系円盤ダストは白か黒か？CO 輝線ウィングによるアルベドの測定 吉田有宏（総合研究大学院大学/国立天文台）		
14:18	P221a 円盤形成段階でのガス・ダスト進化による同位体空間不均質の形成 本間和明（東京工業大学）		
14:30	P222a 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）		
14:42	P223a 原始惑星系円盤 MWC 480 におけるジメチルエーテルの検出 大和義英（東京大学）		

P3. 星・惑星形成(惑星系)

9 月 20 日 (水) 午前・A 会場		11:48	P313b 遠いカイパーベルトの軌道構造の究明: 未知の惑星の存在? Sofia Lykawka, Patryk (近畿大学)
10:00	P301a ALMA Observations of 1 Ceres 高橋茂 (東京大学)		
10:12	P302a 視線速度法を用いた連星ブラックホール探査の提案と検証: Gaia BH1・Gaia BH2 に対する制限 林利憲 (京都大学)	12:00	質疑応答 (10 分)
9 月 20 日 (水) 午後・A 会場			
10:24	P303a 直接撮像とアストロメトリによる加速する恒星まわりの惑星の検出: HIP99770b 田村元秀 (東京大学/アストロバイオロジーセンター/国立天文台)	13:30	P314a 木星・土星のカオス励起による地球型惑星と小惑星帯の形成: 太陽系内部の包括的な力学モデル Sofia Lykawka, Patryk (近畿大学)
10:36	P304a MOA-II 望遠鏡の9年間の重力マイクロレンズ探査による地球質量浮遊惑星候補の発見 越本直季 (大阪大学)	13:42	P315a 衝突破壊プロセスとペブル集積を考慮した標準降着円盤からの検討に基づく惑星形成 N 体シミュレーション 神野天里 (神戸大学)
10:48	P305a MOA-II による浮遊惑星の質量関数 住貴宏 (大阪大学)	13:54	P316a 小天体衝突が形成する衝撃波圧力分布とその解析的取り扱い 宮山隆志 (名古屋大学)
11:00	P306a 可視光近赤外線トランジット観測による太陽系外惑星の天気の研究 平野佑弥 (兵庫県立大学)	14:06	P317a 分化小天体の衝突による岩石マントル消失効率 黒崎健二 (神戸大学)
11:12	P307a 高温星周辺のホットジュピター TOI-1518b の軌道歳差観測 渡辺紀治 (東京大学)	15:42	質疑応答 (10 分) ※ P108b の講演後
11:24	P308a すばる望遠鏡 IRD による T 型褐色矮星の高分散分光観測と高分散スペクトルモデル ExoJAX による大気特性の調査 川島由依 (理化学研究所)		
11:36	P309b ExoJAX2: 太陽系外惑星大気の勾配ベースリトリバルとそのユースケース 河原創 (宇宙航空研究開発機構)		
11:36	P310b Gyr スケールの恒星年齢に対するホットジュピターの存在頻度 宮崎翔太 (宇宙航空研究開発機構)		
11:36	P311b 浮遊惑星における生命の存在可能性について 伊藤洋一 (兵庫県立大学)		
11:48	P312b 水素・ヘリウム・水蒸気大気を持つ系外岩石惑星の進化: 大気散逸と脱ガスの影響 小林一生 (東京工業大学)		

Q. 星間現象

9 月 20 日 (水) 午前・D 会場		11:48	Q12b	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 前田郁弥 (東京大学)
10:00	Q01a			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 宇田川賢 (慶應義塾大学)
		12:00		質疑応答 (10 分)
10:12	Q02a	9 月 20 日 (水) 午後・D 会場		
				Line ratio map of [Ne V] fine-structure lines toward a colliding wind binary WR140 山口遼大 (東京工業大学)
10:24	Q03a	13:30	Q13a	銀河系中心の特異な分子雲を繋ぐフィラメント構造の発見 坪井昌人 (明星大学)
				高速で移動する強重力源と星間媒質の相互作用: BH の新しい観測方法の提案 北郁奈 (名古屋大学)
10:36	Q04a	13:42	Q14a	ALMA 望遠鏡による特異分子雲 “Tadpole” の高分解能観測 金子美由起 (慶應義塾大学)
				ALMA 校正用天体に対する分子吸収線 探索 IV: QSO J1851+0035 方向の銀河系内分子ガスの輝線比を用いた物理状態診断 成田佳奈香 (東京大学)
10:48	Q05a	13:54	Q15a	散乱 X 線を利用した銀河系中心分子層の 3 次元構造の推定手法 松永海 (京都大学)
				CO・C I 観測で探るオリオン星雲における星間物質の密度・温度構造 立原研悟 (名古屋大学)
11:00	Q06a	14:06	Q16a	CTA 大口径望遠鏡初号機による天の川銀河中心領域からの超高エネルギーガンマ線観測 阿部正太郎 (東京大学)
				かなた望遠鏡可視偏光サーベイ: 高銀緯分子雲 MBM 37 領域の磁場構造 堀友哉 (広島大学)
11:12	Q07a	14:18	Q17a	X 線と電波で探る「星の誕生から終焉」までの星間ガスの進化 柘植紀節 (東京大学)
				高密度ガストレーサーを用いた分子雲高密度領域の N-PDF (柱密度頻度分布関数) の特徴 柴田洋佑 (鹿児島大学)
11:24	Q08a	14:30	Q18a	銀河系円盤部における星形成史の包括的解明: ハローから円盤へのガス供給機構の理論的研究 瀬野泉美 (名古屋大学)
				銀河面に降り注ぐ中間速度中性水素雲 (2) 早川貴敬 (名古屋大学)
11:36	Q09a	14:42	Q19a	近赤外広域輝線マッピングで探る超新星爆発によるリン生成 國生拓摩 (名古屋大学)
				Precise measurement of line intensities and frequencies of CH ₃ OH in the ALMA Band 7 by using emission-type millimeter and submillimeter-wave spectrometer SUMIRE 小山貴裕 (理化学研究所)
11:48	Q10b	14:54	Q20a	Global Reaction Route Mapping による C ₂ H ₂ N ₂ の反応経路網の探索 / 解析 米津鉄平 (大阪公立大学)
				柱密度確率頻度分布関数を用いた分子雲の乱流構造解析 村瀬建 (岐阜大学)
11:48	Q11b	15:06	Q21a	高温真空昇温脱離法 (TPD) を用いた模擬星間有機物ダストの化学構造の分析 妹尾梨子 (東京大学)
				ALMA ACA による小マゼラン雲超広域 CO 探索 (4):N83/N84/N86 領域 ¹² CO, ¹³ CO (J=2-1) 輝線データ解析 松本健 (大阪公立大学)
		15:18		質疑応答 (10 分)

9 月 21 日 (木) 午前・D 会場		9 月 21 日 (木) 午後・D 会場	
10:00	Q22a ガンマ線超新星残骸 G15.9+0.2 に付随する分子雲と宇宙線加速 松原康平 (岐阜大学)	13:30	Q31a 「すざく」衛星を用いた白鳥座ループ「西の破れ」と「南の破れ」領域の観測 佐藤愛 (埼玉大学)
10:12	Q23a SS433 のジェットと相互作用する分子雲 N4 からの近紫外線放射 山本宏昭 (名古屋大学)	13:42	Q32a X 線天文衛星すざくによる超新星残骸 G82.2+5.3 の観測 正嶋大和 (近畿大学)
10:24	Q24a マイクロクエーサー SS433 のジェットと星間ダストの相互作用 石川竜巳 (名古屋大学)	13:54	Q33a X 線天文衛星すざくによる超新星残骸 3C 400.2 のプラズマ状態と近傍 X 線未同定天体の調査 小沼将天 (近畿大学)
10:36	Q25a SS433/W50 に付随する GeV ガンマ線源 Fermi J1913+0515 方向の CO 分子スペクトル線観測 有山諒 (慶應義塾大学)	14:06	Q34a 超新星残骸 W49B における電荷交換反応の検証 鈴木那梨 (奈良女子大学)
10:48	Q26a 衝撃波で加速された宇宙線による星間媒質の加熱効率について 霜田治朗 (東京大学)	14:18	Q35a 超新星残骸 G304.6+0.1 と G346.6-0.2 からの中性鉄輝線放射の起源 森川朋美 (近畿大学)
11:00	Q27a 分子雲と相互作用する超新星残骸の流体シミュレーション: 体積占有率と衝撃波速度の関係 辰己賢太 (甲南大学)	14:30	Q36a 超新星残骸 DEM L71 の精密 X 線分光観測による輝線強度比の空間分布の調査 天野雄輝 (宇宙航空研究開発機構)
11:12	Q28a 衝撃波加熱された非平衡プラズマの進化とその X 線放射モデルの構築 大城勇憲 (東京大学/宇宙航空研究開発機構)	14:42	Q37a 超新星残骸 HESS J1731-397 に付随する星間雲と X 線放射 山中祐里奈 (岐阜大学)
11:24	Q29a 超新星残骸 N132D における衝撃波加熱とプラズマ熱過程 岡田佳純 (青山学院大学)	14:54	Q38a NuSTAR を用いた RCW86 北東部の広帯域観測 加藤辰明 (東京大学)
11:36	Q30a 超新星残骸 RCW 86 の X 線スペクトルを用いた衝撃波速度および無衝突電子加熱効率の測定 鈴木俊輔 (青山学院大学)	15:06	Q39a 超新星残骸 SN 1006 北西部衝撃波の電子熱緩和過程の調査 市橋正裕 (東京大学)
11:48	質疑応答 (10 分)	15:18	Q40a 超新星残骸 RCW 103 南端・北端の X 線プラズマの急減速と逆行運動の発見 鈴木寛大 (甲南大学)
		15:30	質疑応答 (10 分)

R. 銀河

9 月 20 日 (水) 午前・G 会場		12:00	R13b	ALMA による近傍活動銀河 NGC 7469 における中心領域 (AGN vs SB 領域) の物理化学状態の比較 中野すずか (総合研究大学院大学/国立天文台)
10:00	R01a			天の川銀河の多領域多元素化学進化モデルに基づく太陽系誕生半径の推定 馬場淳一 (鹿児島大学)
10:12	R02a	12:12		近傍銀河のクラスタリング解析から探る天の川銀河の形態 宮本祐介 (福井工業大学)
10:24	R03a	9 月 20 日 (水) 午後・G 会場		
		13:30	R14a	星形成から数 100Myr の短時間に起こる、巨大分子雲による円盤加熱と恒星の動径移動 藤本裕輔 (会津大学)
10:36	R04a			近傍銀河における分子ガス - 原子ガス比と星生成の関係 浜響子 (北海道大学)
10:48	R05a	13:42	R15a	撮像画質差が深層学習による合体銀河分類器に与える影響と原因の調査 町田瑞樹 (新潟大学)
		13:54	R16a	伴銀河からの外的摂動に起因する銀河系円盤の振動 朝野哲郎 (東京大学)
11:00	R06a	14:06	R17a	渦巻銀河における形態学的特徴の検出手法の開発 清水一揮 (北海道大学)
		14:18	R18a	すざく衛星を用いた銀河系の超巨大バブル構造の解析 島谷侑希 (東京理科大学)
11:12	R07a	14:30	R19a	XMM-Newton RGS で探る M82 中心の O, Ne, Mg 組成比と電荷交換反応の寄与 福島光太郎 (東京理科大学)
11:24	R08a	14:42	R20a	NGC5128 におけるジェットとプラズマ温度の関係 浦田岬 (広島大学)
11:36	R09a	14:54	R21a	ALMA による分子ガス観測で探る FRB191001 母銀河の性質 山中逸輝 (東京大学)
11:48	R10a	15:06	R22a	潮汐矮小銀河の分子ガスの性質 1 前田郁弥 (東京大学)
12:00	R11b	15:18	R23a	PFS 観測に向けた $z \sim 1.6-2.4$ の [OII] 輝線銀河のターゲットセレクション 山田祐佳 (東京大学)
12:00	R12b			ALMA-FACTS : 近傍銀河の CO(J=2-1)/CO(J=1-0) 比の空間変動に関する系統的サーベイ 小麦真也 (工学院大学)

S. 活動銀河核

15:30	R24a	すばる望遠鏡 HSC を用いた銀河系中心方向のダスト減光の研究 (2) 鈴木大介 (大阪大学)	9 月 21 日 (木) 午前・G 会場	
15:42		質疑応答 (10 分)	10:00	S01a ジェット・強磁場降着流ハイブリッド多波長放射モデル: 粒子加速機構の影響 久世陸 (東北大学)
			10:12	S02a 時間変動する三日月状シャドウと輝度重心解析によるブラックホールスピンの推定 高橋幹弥 (筑波大学)
			10:24	S03a 輻射駆動アウトフロー起源の広輝線領域 II 和田桂一 (鹿児島大学)
			10:36	S04a 輻射駆動噴水モデルに基づく AGN 分子インフローの観測可能性の検証 馬場俊介 (鹿児島大学)
			10:48	S05a 真空ブラックホール磁気圏における荷電粒子の運動 高橋真聡 (愛知教育大学)
			11:00	S06a 状態遷移中の活動銀河核における反転磁場合体による円盤加熱 五十嵐太一 (国立天文台/立教大学)
			11:12	S07a 潮汐力の働く極低密度領域における二流体不安定性による磁気消滅の数値計算 小出眞路 (熊本大学)
			11:24	S08a Lense-Thirring 歳差を伴う降着流・ジェットからの多波長放射の時間変動解析 川島朋尚 (東京大学)
			11:36	S09b EHT データに基づく Sgr A* の極端 2 重星型超巨大ブラックホールの動画像作成について 大家寛 (東北大学)
			11:36	S10b ブレーザー S5 0716+714 の多波長スペクトルの時間変動解析 佐藤翔太 (東京工業大学)
			11:36	S11b 低金属量セイファート銀河の性質調査 土阪樹 (愛媛大学)
			11:48	S12b 紫外線光子の水素原子ラマン散乱によって生じる広輝線とその観測的特徴 小久保充 (国立天文台)
			11:48	S13b 大質量ブラックホールにおける超臨界降着流のアウトフローと輻射特性 芳岡尚悟 (京都大学)

12:00	S14c	吸収体の重複を考慮したAGNアウトフロー 立体構造の解明 古布諭(信州大学)	9月22日(金) 午前・G会場	
		質疑応答(10分)	10:00	S24a AGN number fraction in galaxy groups and clusters at $z < 1.4$ from the Subaru Hyper Suprime-Cam survey 鳥羽儀樹(国立天文台)
9月21日(木) 午後・G会場			10:12	S25a 多波長放射を用いたU/LIRGが持つAGN の探査方法 山田智史(理化学研究所)
13:30	S15a	JEDI(仮)による活動銀河核サーベイ のサイエンス 上田佳宏(京都大学)	10:24	S26a 近傍銀河 NGC 1068 の中心核のセンチ波 からミリ波の広帯域スペクトルの起源に 関する考察 道山知成(周南公立大学)
13:42	S16a	ダスト減光量に基づくAGN近傍 dusty/ dust-free gas 構造の性質調査 水越翔一郎(東京大学)	10:36	S27a クエーサー近接効果の異方性がもたらす ダストオーラスの傍証 三澤透(信州大学)
13:54	S17a	A Nearby TDE: AT2023clx – Constraining on The Radiation Mechanisms with Spectropolarimetry 宇野孔起(京都大学)	10:48	S28a Line-locked AGN アウトフローの変動メカ ニズムの解明 LIU, QIANG(信州大学)
14:06	S18a	軟X線で明るく硬X線で吸収を受けた 活動銀河核 島田明音(愛媛大学)	11:00	S29a クエーサー吸収線の時間変動で探る、 アウトフロー加速度の統計的調査 登口暁(信州大学)
14:18	S19a	軟X線強度が大きく変化したAGNのX線 スペクトル変動(2) 滝沢風佳(愛媛大学)	11:12	S30a Nature of photoionized outflow in late stages of gas-rich galaxy mergers 油谷直道(鹿児島大学)
14:30	S20a	Circinus GalaxyにおけるX線偏光の起源 谷本敦(鹿児島大学)	11:24	S31a EAVN/VLBAによる長期モニターが捉えた M87 ジェット根元の歳差運動 秦和弘(国立天文台)
14:42	S21a	低質量活動銀河核 ($M_{BH} \sim 10^5 M_{\odot}$) を 宿す矮小銀河 POX 52 における銀河と ブラックホールの共進化研究 川室太希(理化学研究所)	11:36	S32a VLBA 多周波偏波観測で探る狭輝線1型 セイファート銀河 1H0323+342 の相対論 的ジェットの内部分構造と磁場構造 高村美恵子(東京大学/国立天文台)
14:54	S22a	Pictor A 西側ジェット終端ホットスポット の多波長スペクトルの研究 砂田裕志(埼玉大学)	11:48	S33a 日韓 VLBI 観測網による電波銀河 NGC4261 の水メガメーザーの空間分布 澤田-佐藤聡子(大阪公立大学)
15:06	S23a	電波銀河 Pictor A の西ホットスポットの 赤外線超過のALMA ACAによる研究 磯部直樹(宇宙航空研究開発機構)	12:00	質疑応答(10分)
15:18		質疑応答(10分)		

T. 銀河団

9 月 22 日（金）午後・G 会場		9 月 20 日（水）午前・I 会場	
13:30	S34a 光度変動が周期的な超高光度クェーサーの測光モニター観測 堀内貴史（東京大学）	10:00	T01a ひとみ衛星とすざく衛星を統合したペルセウス銀河団からの暗黒物質由来の輝線探索 IV 福一誠（立教大学）
13:42	S35a 近傍高光度 Swift/BAT-AGNにおける質量降着と分子アウトフローの探査 池田裕（東京都立大学）	10:12	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 工藤葉奈子（東京理科大学）
13:54	S36a 電波ジェット NGC315 の磁場強度が示唆する強磁場降着流 紀基樹（工学院大学/国立天文台）	10:24	T03a すざく衛星によるペルセウス座銀河団外縁部の観測の再解析 松下恭子（東京理科大学）
14:06	S37a 3C84 における北側ジェットの長期間にわたる停滞現象と AGN 核周構造 新沼浩太郎（山口大学）	10:36	T04a SDSS/WISE 衛星の銀河観測による近傍銀河団の鉄質量－銀河質量比 近藤麻里恵（埼玉大学）
14:18	S38a 極端 2 重星型超巨大ブラックホール Sgr A* の検証と M87* 電波像理解への敷衍 大家寛（東北大学）	10:48	T05a 銀河団中心銀河の分子ガス質量と AGN feedback の相関 藤田裕（東京都立大学）
14:30	S39a 超高光度赤外線銀河中心核の塵に埋もれた AGN の探査－空間分解した HCN、HCO ⁺ 3 回転遷移輝線の観測で探る高密度分子ガスの物理/化学的性質 今西昌俊（国立天文台）	11:00	T06a ALMA による $z \sim 1$ 銀河団の高解像度 SZ 効果測定 北山哲（東邦大学）
14:42	質疑応答（10 分）	11:12	質疑応答（10 分）

U. 宇宙論

9 月 20 日（水）午前・B 会場					U12c	CMB レンズング解析における観測誤差の伝搬 IV 永田竜（宇宙航空研究開発機構）
10:00	U01a	ダークマターハロー位相空間内の新たな普遍的構造について 柄本耀介（京都大学）	12:12			質疑応答（10 分）
10:12	U02a	Subaru-IRCS を用いたアクシオンダークマター探索 林航平（仙台高等専門学校）	9 月 20 日（水）午後・B 会場			
10:24	U03a	Warm Dark Matter モデルの高解像度シミュレーションによる subhalo mass function 小野瑞季（北海道大学）	13:30	U13a	数値シミュレーションを用いた再電離期における 21cm 線と輝線銀河の相関シグナルの推定 森脇可奈（東京大学）	
10:36	U04a	First Constraints on Growth Rate from Redshift-space Ellipticity Correlations of SDSS Galaxies at $0.16 < z < 0.70$ 樽家篤史（京都大学）	13:42	U14a	ミニハロー内部構造による 21cm 吸収線への影響 成瀬元希（名古屋大学）	
10:48	U05a	宇宙大規模構造の 3 次元画像データを用いた機械学習による $f\sigma_8$ の推定 村上広椰（名古屋大学）	13:54	U15a	キュ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 小谷竜也（慶應義塾大学）	
11:00	U06a	深層学習による弱重力レンズ収束場生成モデル 白崎正人(国立天文台/統計数理研究所)	14:06	U16a	EMPRESS 3D 計画の全データを用いた原始 He 存在比と宇宙論への示唆 柳澤広登（東京大学）	
11:12	U07a	HSC 3年目と BOSS のデータを用いた一般相対性理論の検証 谷田幸貴（名古屋大学）	14:18	U17a	バリオン音響振動測定における測光赤方偏移不定性の影響 石川慶太郎（名古屋大学）	
11:24	U08a	すばる望遠鏡 HSC データを用いた弱重力レンズ質量マップで確認されたトラフ領域の視線構造 島末匠（東京大学）	14:30	U18a	Dark Quest II : 高精度宇宙大規模構造エミュレータ 田中賢（京都大学）	
11:36	U09a	最尤法を用いた宇宙論的重力レンズパワースペクトルの推定手法の開発 谷口貴紀（東京大学/Kavli IPMU）	14:42	U19a	機械学習を用いた銀河団形成史と観測量の関係の構築 YOON, Seongwhan（名古屋大学）	
11:48	U10a	宇宙のダークマター（自転よりできない電子のラブと陽子のラブ）はどのようにして活性化され、（自転と公転ができる電子のラブと陽子のラブ）になったか。自転と公転ができる電子のラブと自転と公転ができる陽子のラブになって、初めて原子に成ることができる。 小堀しづ	14:54	U20a	曲率を持つ宇宙のハローパワースペクトルの計算法 寺澤凌（東京大学/Kavli IPMU）	
12:00	U11b	ブラックホールからジェットが噴出したエネルギーはいくらか。ブラックホールからジェットが噴出した軌道はいくらか。 小堀しづ	15:06	U21a	ダークマターハロー由来の熱制動放射と小スケールゆらぎ 阿部克哉（千葉大学）	
			15:18	U22a	アストロメトリックレンズング B モードによるハローの視線距離の測定 井上開輝（近畿大学）	

V1. 観測機器 (電波)

15:30	U23a	銀河前景放射を回避する原始重力波の 新たな観測量 並河俊弥 (Kavli IPMU)	9 月 21 日 (木) 午後・C 会場
15:42		質疑応答 (10 分)	
	13:30	V101a 次世代太陽風観測装置に向けたプロトタイプ の開発 岩井一正 (名古屋大学)	
	13:42	V102a テラヘルツ光子計数システムの開発 - 超伝導検出器と極低温冷却系 江澤元 (国立天文台)	
	13:54	V103a SIS 光子検出器の評価に向けた GaAs-JFET による極低温回路の製作と評価 丹羽綾子 (筑波大学)	
	14:06	V104a 臼田 64m 鏡による OH 輝線観測のための L 帯受信機開発 深谷直史 (名古屋大学)	
	14:18	V105a 局部発振器雑音低減のための導波管 型ミリ波可変帯域通過フィルタの開発 1 - 試作機の評価結果と設計改良に向けた 取り組み- 中島拓 (名古屋大学)	
	14:30	V106a 電波望遠鏡を用いた超広帯域観測に向 けたダイクロイックフィルタの開発 野曾原千晟 (大阪公立大学)	
	14:42	V107a ミリ波サブ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の設計 宇野慎介 (東京大学)	
	14:54	V108a 北半球最高感度ミリ波サブミリ波ヘテロ ダイン受信システム LMT-FINER IV. 受 信システムの要素設計および装置計画 の策定 谷口暁星 (名古屋大学)	
	15:06	V109b 北半球最高感度ミリ波サブミリ波ヘテロ ダイン受信システム LMT-FINER V: 210- 375GHz 帯 2SB 回路の開発 手塚愛莉 (電気通信大学)	
	15:06	V110b 北半球最高感度ミリ波サブミリ波ヘテロ ダイン受信システム LMT-FINER VI. 広 帯域分光計出力の高階調化によるダイ ナミックレンジの改良 萩本将都 (名古屋大学)	
	15:06	V111b ミリ波補償光学の開発 VIII. 波面計測 データを用いた野辺山 45 m 望遠鏡主鏡 面の重力変形モデリング 岩上耕太朗 (名古屋大学)	

15:18	V112b 局部発振器雑音低減のための導波管型ミリ波可変帯域通過フィルタの開発 2 – 次期試作機に向けた周波数特性の向上と可動壁の電動制御化 – 谷川貫太（名古屋大学）	9月22日（金）午前・C会場	
15:18	V113b 平面統合型 SIS 受信機でのマルチプレクサ回路実現に向けたフィルタ設計 吉村龍成（名古屋大学）	10:00	V121a 大型サブミリ波望遠鏡のための発見的 手法による軽量・高剛性な主鏡支持構 造の設計および評価 今村千博（名古屋大学）
15:18	V114b 3D プリンターによる 6.5 – 12.5 GHz 帯 直交偏波分離器製作の考察 孫赫陽（大阪公立大学）	10:12	V122a 野辺山 45m 鏡 7BEE 受信機の試験観測 (4) 立ち上げ進捗 西村淳（国立天文台）
15:30	V115b FPGA を用いた太陽観測用電波望遠鏡 の開発 竹原大智（名古屋大学）	10:24	V123a 岐阜大学 11m 電波望遠鏡の運用状況-I 村瀬建（岐阜大学）
15:30	V116b 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 桑山陽次（東北大学）	10:36	V124a ブラックホール解明に向けた 86GHz 帯低 雑音受信機の開発 亀山晃（大阪公立大学）
15:30	V117b テラヘルツ強度干渉計の実験室実証へ 向けて 松尾宏（国立天文台）	10:48	V125a 86GHz 帯常温受信機を搭載した VERA 水沢局での試験観測と性能評価 近藤奨紀（大阪公立大学）
15:42	V118b 1.85m 電波望遠鏡での CO($J=1-0$, $2-1$, $3-2$) 輝線の同時観測実現に向けた光学 系の開発 西川悠馬（大阪公立大学）	11:00	V126a 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 (V) 氏原秀樹（立命館大学）
15:42	V119b 高萩・日立 32 m 電波望遠鏡の整備・ 運用状況 2023B 米倉覚則（茨城大学）	11:12	V127a CMB 偏光観測衛星 LiteBIRD 計画の焦 点面検出器開発の進捗 赤松弘規（量子場測定システム国際拠点）
15:42	V120b 臼田 64m 鏡による OH 輝線観測に向けた 整備2：進捗報告 山本宏昭（名古屋大学）	11:24	V128a CMB 望遠鏡 GroundBIRD のサイエンス 観測に向けた全検出器インストール作業 及び搭載された検出器の応答性能評価 辻井未来（東北大学）
15:54	質疑応答（10 分）	11:36	V129a 宇宙マイクロ波背景放射の精密観測に 向けた超伝導ミラー開発のための低ノイ ズ試験システムの研究 郷原康司（横浜国立大学）
		11:48	V130a CMB 観測のための大気中の雲の偏光 信号のスペクトルの見積もり 高倉理（京都大学）
		12:00	V131a 測位衛星システムを用いた可降水量測 定のミリ波・サブミリ波観測への応用 杉山純菜（東京大学）
		12:12	質疑応答（10 分）

V2. 観測機器(光赤外・重力波・その他)

9 月 22 日 (金) 午後・C 会場		9 月 20 日 (水) 午前・H 会場	
13:30	V132a Update on ALMA Operations and Development Program – Autumn 2023 Gonzalez, Alvaro (NAOJ)	10:00	V201a SOLAR-C 観測装置 EUVST 設計・開発 検討の進捗報告 (2023 年秋) 原弘久 (国立天文台)
13:42	V133a ALMA Band 1 Status 永井洋 (国立天文台)	10:12	V202a SOLAR-C(EUVST) 微小擾乱試験計画 の検討 川畑佑典 (国立天文台)
13:54	V134a Commissioning and Science Verification of the ACA Spectrometer 石井峻 (国立天文台)	10:24	V203a SOLAR-C 計画における科学運用・デー タ処理・地上系システムの検討状況 鳥海森 (宇宙航空研究開発機構)
14:06	V135a 東アジアエンジニアリングチームによる ALMA ハードウェア保守の 10 年 阪本成一 (国立天文台)	10:36	V204a SUNRISE-3 大気球太陽観測実験: 偏光 分光装置 SCIP による偏光データの高速 機上処理 久保雅仁 (国立天文台)
14:18	V136a ngVLA プロジェクトのための時刻・周波 数配信システムの開発 木内等 (国立天文台)	10:48	V205a 最小非球面量の自由曲面を用いた超広 視野軸外し光学系の設計 橋ヶ谷武志 (京都大学)
14:30	V137a Si 基板の貼り合わせ技術を用いた超伝 導 90 度ハイブリッドの設計 富岡紗有 (電気通信大学)	11:00	V206a 天文観測衛星「うみつばめ」搭載用紫 外線望遠鏡の熱設計 福田美実 (東京工業大学)
14:42	V138a スピリットブロック及び金属 3D プリンタで 製造可能な Q-Band 帯 Magic T 導波管 分岐の開発 政井崇帆 (総合研究大学院大学)	11:12	V207a 天文観測衛星「うみつばめ」による観測 画像の指向決定手法の検証 大平明日香 (東京工業大学)
14:54	V139a 南極 30cm サブミリ波望遠鏡 - ドームふじ 観測拠点 II での観測に向けた準備状況 本多俊介 (筑波大学)	11:24	V208a 宇宙可視光背景放射観測 6U 衛星 VERTECS: 全体進捗状況 佐野圭 (九州工業大学)
15:06	V140a SKA プロジェクトへの参加計画 8 小林秀行 (国立天文台)	11:36	V209a 超小型衛星 VERTECS 搭載の可視光望 遠鏡の開発進捗状況 瀧本幸司 (九州工業大学)
15:18	V141a 月面メートル波電波干渉計の実現に向 けた概念設計検討 3 井口聖 (国立天文台)	11:48	V210a JASMINE 計画の全体概要と現状 郷田直輝 (国立天文台)
15:30	V142a 月面天文台構想に向けたアンテナ設計 と地上観測実験の展望 松本健 (大阪公立大学)	12:00	V211b JASMINE 望遠鏡光学系の地上評価検 証計画 末松芳法 (国立天文台)
15:42	質疑応答 (10 分)	12:00	V212b JASMINE 光学系における星像位置の色 補正 矢野太平 (国立天文台)
		12:12	質疑応答 (10 分)

9 月 20 日 (水) 午後・H 会場		15:30	V223b 赤外線天文衛星 GREX-PLUS 計画：自由曲面鏡光学系のアラインメント手法および光学性能評価手法の開発 近藤翼（名古屋大学）
13:30	V213a 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）	15:30	V224b GREX-PLUS 中間赤外線高分散分光器：イマージョン・グレーティング材料の透過率の精密測定 李源（名古屋大学）
13:42	V214a HiZ-GUNDAM 衛星搭載の近赤外線望遠鏡の熱解析 福井陽喜（東京都市大学）	15:30	V225b 中間赤外線高分散分光器：CdZnTe 表面での反射防止の開発 和田武彦（国立天文台）
13:54	V215a バビネ相補型二重メタルメッシュ構造とシリコンサブ波長構造による耐環境赤外線バンドパスフィルタ 和田武彦（国立天文台）	15:42	質疑応答（10 分）
14:06	V216a 赤外線天文衛星 GREX-PLUS 計画：銀河進化・惑星系形成観測ミッションの進捗報告 2023 秋 井上昭雄（早稲田大学）	9 月 21 日 (木) 午前・H 会場	
14:18	V217a 赤外線天文衛星 GREX-PLUS 計画：無冷媒極低温冷却システムの検討 鈴木仁研（宇宙航空研究開発機構）	10:00	V226a 弾性体モデルを用いた滑らかで高精度な 2 次元データ同士の接続手法及びデータステッチングソフトウェア開発 杉津萌（京都大学）
14:30	V218a 赤外線天文衛星 GREX-PLUS 計画：CGH 干渉計を用いた極低温下における自由曲面鏡の表面形状測定 近藤翼（名古屋大学）	10:12	V227a 突発天体サーベイの差分解析における候補天体絞り込み手法の開発 笹岡大雅（東京大学）
14:42	V219a GREX-PLUS 中間赤外線高分散分光器：イマージョン・グレーティングの開発 中川貴雄（宇宙航空研究開発機構）	10:24	V228a すばる望遠鏡近赤外線高分散分光器 IRD のためのスペクトル抽出パイプラインの開発とその適用 葛原昌幸（アストロバイオロジーセンター/国立天文台）
14:54	V220a GREX-PLUS 中間赤外線高分散分光器：CdZnTe イマージョン・グレーティングの加工法の検討 細畠拓也（理化学研究所）	10:36	V229a 次期ひまわり搭載用静止軌道高エネルギー陽子線計測装置開発 II 大辻賢一（情報通信研究機構）
15:06	V221a GREX-PLUS 中間赤外線高分散分光器：イマージョン・グレーティング材料の極低温・中間赤外線屈折率測定装置の開発 榎木谷海（総合研究大学院大学/宇宙航空研究開発機構）	10:48	V230a PRIME 望遠鏡の近赤外線検出器 (H4RG-10) の非線形性補正 濱田龍星（大阪大学）
15:18	V222a GREX-PLUS 中間赤外線高分散分光器：イマージョン・グレーティング材料の光学特性評価のための 2D FT-IR 分光器の開発 趙彪（名古屋大学）	11:00	V231a 科学観測に用いる民生用冷却 CMOS カメラの性能評価 野口雄弘（東京電機大学）
		11:12	V232a 新しい透過型 Echelle Grating: Reflector Facet Transmission Grating 海老塚昇（理化学研究所）

11:24	V233a 高効率・回折限界を目指したゲルマニウム製エシェール回折格子の開発 小谷隆行(アストロバイオロジーセンター/国立天文台/総合研究大学院大学)	14:54	V244a Shack-Hartmann 光学系を用いた大気乱流分布測定 - すばるでのオンスカイ試験 -2 大金原(東北大学)
11:36	V234b Tomo-e Gozen 動画データの光度曲線解析へ向けた天体マッチング法の検討と処理速度評価 有馬宣明(東京大学)	15:06	V245a ULTIMATE-Subaru: GLAO 波面センサーに用いる sCMOS カメラの性能評価 寺尾航暉(国立天文台)
11:36	V235b 3次元面分光観測のための近赤外線波長走査型ファブリ・ペロー分光器の開発 高橋英則(東京大学)	15:18	V246b 24分割6次位相マスクとTMT開口対応アポダイザを併用したコロナグラフ 西川淳(国立天文台)
11:36	V236b 新しい高分散・高効率・広帯域透過型回折格子 海老塚昇(理化学研究所)	15:18	V247b 屋間の惑星観測に向けたハレアカラ東北大60cm望遠鏡に搭載する可視補償光学装置の開発 吉野富士香(東北大学)
11:48	質疑応答(10分)		V248c 平均パワースペクトルに対するモデル当てはめによる連星スペckル差測光 西田來樹(北見工業大学)
9月21日(木) 午後・H会場			V249c 結像および検出過程モデルに基づくスペckル像再生法の開発 菅尾竜司(北見工業大学)
13:30	V237a Mt.John 天文台 61cm 望遠鏡多色同時測光装置の開発 山響(大阪大学)		V250c TMT 第一期観測装置 IRIS の開発(冷却下における高反射低波面誤差鏡の実現にむけて) 鈴木竜二(国立天文台)
13:42	V238a 国産赤外線検出器を用いた JHKs バンド同時撮像カメラ kSIRIUS 永山貴宏(鹿児島大学)		15:30 質疑応答(10分)
13:54	V239a 2m 望遠鏡 Faulkes Telescope South 用の4色同時撮像カメラ MuSCAT4 の開発 成田憲保(東京大学)		
14:06	V240a 高コントラスト観測法 Coherent Differential Imaging on Speckle Area Nulling(CDI-SAN)の開発3 米田謙太(国立天文台)		
14:18	V241a 一次元回折限界コロナグラフを用いて4次のヌルを広波長帯域に得る方法 伊藤哲司(名古屋大学)		
14:30	V242a 高コントラスト観測技術テストベッド FACET および EXIST の開発状況 村上尚史(北海道大学)		
14:42	V243a 位相マスクコロナグラフと組み合わせた広帯域ダークホール制御系の実証実験 浅野瑞基(北海道大学)		

V3. 観測機器 (X線・ γ 線)

9 月 22 日 (金) 午前・H 会場		9 月 20 日 (水) 午後・I 会場	
10:00	V251a TMT 計画 - 進捗報告 臼田知史 (国立天文台)	13:30	V301a 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)
10:12	V252a TMT 広視野可視撮像分光器 WFOS 用面 分光ユニットの概念検討 3 尾崎忍夫 (国立天文台)	13:42	V302a X 線分光撮像衛星 XRISM の科学運用 準備の現状 (3) 林克洋 (宇宙航空研究開発機構)
10:24	V253a 東京大学アタカマ天文台 TAO 6.5m 望遠 鏡計画 進捗報告 2023 秋 宮田隆志 (東京大学)	13:54	V303a 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 米山友景 (中央大学)
10:36	V254a TAO/MIMIZUKU 用冷却チョッパの開発: 搭載機の製作と冷却動作試験 木下凌太 (東北大学)	14:06	V304a X 線分光撮像衛星 XRISM 搭載 X 線望 遠鏡 (XMA) 開発の現状 (8) 林多佳由 (UMBC/NASA's GSFC)
10:48	V255a SuMIRe-PFS[38]: プロジェクト概要と装置 開発進捗状況まとめ 2023 年秋季 田村直之 (国立天文台)	14:18	V305a X 線分光撮像衛星 XRISM 搭載 Resolve の開発の現状 XI 佐藤浩介 (埼玉大学)
11:00	V256a SuMIRe-PFS[39]: CableB 敷設と光学的 性能試験に関する報告 越田進太郎 (国立天文台)	14:30	V306a X 線分光撮像衛星 XRISM 搭載 Resolve の地上較正と性能評価 水本岬希 (福岡教育大学)
11:12	V257a Las Campanas 天文台における WINERED 近赤外線高分散分光器の運用開始 松永典之 (東京大学)	14:42	V307a X 線分光撮像衛星 XRISM の軌道上較正 計画 澤田真理 (立教大学)
11:24	V258a CIB 観測ロケット実験 CIBER-2 : 第 2 回 打上げ実験報告 松浦周二 (関西学院大学)	14:54	V308a X 線分光撮像衛星 (XRISM) 搭載軟 X 線 撮像装置 (Xtend) の開発の現状 (10) 内山秀樹 (静岡大学)
11:36	V259a 大型低温重力波望遠鏡 KAGRA の現状 内山隆 (東京大学)	15:06	V309a XRISM 搭載軟X線撮像検出器 SXI のエ ネルギー線形性の評価 米丸若菜 (宮崎大学)
11:48	V260a 次期観測にむけた重力波望遠鏡 KAGRA における迷光対策 阿久津智忠 (国立天文台)	15:18	V310a XRISM 衛星搭載 Xtendにおける受光部外 からの電荷侵入に強い新 CCD 駆動法 (2) 青柳美緒 (大阪大学)
12:00	質疑応答 (10 分)	15:30	V311a XRISM 衛星搭載 Xtend の軌道上エネル ギー較正に向けた準備 阪本菜月 (広島大学)
		15:42	V312b XRISM 搭載軟X線撮像検出器 SXI の衛 星熱真空試験における分光性能の評価 横須晴彦 (宮崎大学)

15:42	V313b X線天文衛星 XRISM 搭載 CCD 検出器における Goffset のシミュレーション (2) 青木悠馬 (近畿大学)	11:24	V323a GRAMS 計画 10: 液体アルゴン TPC 気球搭載試験 新井翔大 (東京大学)
15:42	V314b X線分光撮像衛星 XRISM 搭載 CCD 検出器における撮像モード間の X 線検出率の比較 伊藤耶馬斗 (近畿大学)	11:36	V324a GRAMS 計画 11: 液体アルゴンコンプトンカメラ実証機の開発 石渡幸太 (大阪大学)
15:54	V315b X線分光撮像衛星 XRISM 搭載軟 X 線撮像装置 Xtend のためのパイルアップシミュレータの開発 米山友景 (中央大学)	11:48	V325a GRAMS 計画 12: 液体アルゴン TPC 用多チャンネル光検出器の開発 白濱健太郎 (大阪大学)
16:06	質疑応答 (10 分)	12:00	V326b HiZ-GUNDAM ミッション搭載用 pnCCD 素子のノイズ評価 杉本葵 (関西学院大学)
9 月 21 日 (木) 午前・I 会場		12:12	質疑応答 (10 分)
9 月 21 日 (木) 午前・I 会場		9 月 21 日 (木) 午後・I 会場	
10:00	V316a X線偏光観測衛星 IXPE の現状 (4) 玉川徹 (理化学研究所)	13:30	V327a 硬 X 線偏光検出気球実験 XL-Calibur 用 X 線望遠鏡の開発 (4) 倉本春希 (大阪大学)
10:12	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 搭載電鍍 X 線望遠鏡の開発の現状と今後の展開 作田皓基 (名古屋大学)	13:42	V328a CMOS イメージセンサを用いた硬 X 線撮像偏光計の開発 VI 岩田季也 (東京大学)
10:24	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 搭載電鍍 X 線望遠鏡の性能評価 (3) 藤井隆登 (名古屋大学)	13:54	V329a 超小型 X 線衛星 NinjaSat に搭載するガス検出器の有感領域端の調査 渡部蒼汰 (理化学研究所/東京理科大学)
10:36	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 搭載電鍍 X 線望遠鏡の性能評価 (4) 安福千貴 (名古屋大学)	14:06	V330a 地球磁気圏 X 線撮像計画 GEO-X (GEOspace X-ray imager) の現状 V 中嶋大 (関東学院大学)
10:48	V320a 太陽フレア X 線集光撮像分光観測ロケット実験 FOXSI-4 に搭載する軟 X 線検出器評価とカメラ開発 清水里香 (総合研究大学院大学)	14:18	V331a Cherenkov Telescope Array (CTA) 計画: 全体報告 (24) 齋藤隆之 (東京大学)
11:00	V321a 太陽観測ロケット実験 FOXSI-4: 物理計測用 FPGA ボードと通信規格 SpaceWire を用いたデータ取得システムの構築 長澤俊作 (東京大学 Kavli IPMU)	14:30	V332a CTA 大口径望遠鏡のための SiPM モジュールに装着する集光器の開発 溝手雅也 (甲南大学)
11:12	V322a GRAMS 計画 9: 全体報告 丹波翼 (宇宙航空研究開発機構)	14:42	V333a CTA 小口径望遠鏡の開発状況 奥村暁 (名古屋大学)
		14:54	V334a ALPACA 実験 5: ALPAQUITA 現状報告 2023 大西宗博 (東京大学)

15:06	V335a 放射線損傷を受けた MPPC の室温から 100K に下げたときのエネルギー閾値の振る舞い 丹羽怜太（広島大学）	11:00	V345a 超伝導遷移端型 X 線検出器の多画素化に向けた位置分解型多吸収体 TES の読み出し開発 古山泰成（立教大学）
15:18	V336a プラスチックシンチレータを用いた、放射線劣化した MPPC の性能評価 森下皓暁（広島大学）	11:12	V346a 部分日食とリムフレアイベントを用いた太陽観測衛星 Hinode/XRT のミラー散乱成分の評価 加島颯太（宇宙航空研究開発機構/関西学院大学）
15:30	V337a ISS 曝露部に搭載するX線 SOI-CMOS ピクセル検出器 XRPIX で探る超高層大気の観測計画 武田彩希（宮崎大学）	11:24	V347a 像再構成型 X 線光学系に用いる Kirkpatrick-Baez（KB）ミラーの開発 松本岳人（東京都立大学）
15:42	V338b ISS 曝露部に搭載する超高層大気観測用 X 線カメラの概要と開発状況 河邊圭寿（近畿大学）	11:36	V348a 広視野 X 線集光系テストモデルの開発 川田智希（青山学院大学）
	V339c 超小型衛星による、宇宙空間からの太陽中性子の観測（VII） 山岡和貴（名古屋大学）	11:48	V349a Lobster Eye Optics を用いた広視野 X 線モニターの光学系 BBM 開発と性能評価 後藤初音（金沢大学）
15:54	質疑応答（10 分）	12:00	V350a 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（2） 多胡諒弥（名古屋大学）
9 月 22 日（金）午前・I 会場		12:12	質疑応答（10 分）
10:00	V340a JEDI(仮) のミッションデザイン 中澤知洋（名古屋大学）		
10:12	V341a SOI 技術を用いた新型X線撮像分光器の開発 58: PDD 構造を持つ X 線 SOI ピクセル検出器の放射線損傷による性能劣化機構の研究 萩野浩一（東京大学）		
10:24	V342a SOI 技術を用いた新型X線撮像分光器の開発 59 : PDD 構造を有するX線 SOI-CMOS ピクセル検出器 XRPIX における軟X線性能評価 木村明愉（宮崎大学）		
10:36	V343a SOI 技術を用いた新型X線撮像分光器の開発 60: 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 幸村孝由（東京理科大学）		
10:48	V344a SOI 技術を用いた新型 X 線撮像分光器の開発 61: 内蔵アナログ - デジタル変換器の性能評価 松橋裕洋（東京大学）		

9 月 21 日 (木) 午前・B 会場			9 月 21 日 (木) 午後・B 会場		
10:00	W01a	相対論的効果を考慮したマグネターの X 線パルス波形の解析：パラメータ推定 屈楚舒（東京大学）	11:48	W13b	強磁場激変星 RX J1712.6–2414 からの重力赤方偏移 林多佳由 (UMBC/NASA's GSFC)
10:12	W02a	マグネター SGR 1935+2154 の FRB に付随した 2 つのグリッチの発見 成田拓仁（京都大学）	11:48	W14b	Higher Order Methods for Numerical Simulations Including Self-Gravity Hanawa, Tomoyuki (Chiba University)
10:24	W03a	高強度電磁波によるフィラメンテーション不安定 岩本昌倫（京都大学）	12:00		質疑応答（10 分）
10:36	W04a	マグネター磁気圏における高速電波バーストの集団的散乱 西浦怜（京都大学）	13:30	W15a	すざく衛星による超コンパクト X 線連星 4U 1543–624 のスペクトル観測 吉野有咲（奈良女子大学）
10:48	W05a	強い磁場をもつ中性子星におけるクラストの弾性力の効果 小島康史（広島大学）	13:42	W16a	Understanding Optical and Near-Infrared Variability during the Periastron Passage of the Gamma-Ray Binary PSR B1259–63: Insights from 3D Simulations 岡崎敦男（北海学園大学）
11:00	W06a	ULX パルサー NGC 300 ULX–1 の X 線スペクトルを構成する放射成分の抽出 小林翔悟（東京理科大学）	13:54	W17a	X 線スーパーバーストに対する核物理の不定性の調査 土肥明（理化学研究所）
11:12	W07a	ULX パルサー NGC5907 ULX1 の自転位相分解スペクトル解析による超臨界降着流の構造の解明 三浦大貴（東京大学/宇宙航空研究開発機構）	14:06	W18a	MAXI/GSC が検出した 2023 年度前半の突発現象 根來均（日本大学）
11:24	W08a	低重元素量矮小銀河 IZw18 に存在する ULX の起源について 善本真梨那（大阪大学）	14:18	W19a	MAXI による X-ray flash type GRB 221006A の観測 杉田聡司（青山学院大学）
11:36	W09b	中性子星内部の超流動状態とパルサーのスピンドアウン 野田常雄（久留米工業大学）	14:30	W20a	ガンマ線観測衛星 INTEGRAL/SPI を用いた r-process 核ガンマ線解析による中性子連星合体残骸の探査 大住隼人（埼玉大学）
11:36	W10b	磁化中性子星への超臨界降着流によるアウトフロー；噴出角度の四重極子磁場強度依存性について 井上壮大（筑波大学）	14:42	W21a	HEX–P 衛星を用いた中性子星連星合体残骸の同定と r-process 核輝線検出の推定 本上侑吾（埼玉大学）
11:36	W11b	Swift 衛星を用いたガンマ線バーストの指数減光におけるスペクトル変動の研究 藤森愛梨沙（東京大学）	14:54	W22a	数値シミュレーションから探るロングガンマ線バーストの光球面放射の性質 伊藤裕貴（理化学研究所）
11:48	W12b	機械学習を用いたエディントンテンソルの推定 上野航介（筑波大学）	15:06	W23a	ガンマ線バースト残光の電波像とジェット構造の関係の研究 高橋和也（東京大学）

15:18	W24a	ガンマ線バースト残光の流体スケール 乱流磁場モデルによる偏光観測の解釈 桑田明日香（東北大学）	9 月 22 日（金）午前・B 会場	
15:30	W25b	ブラックホール降着円盤の大局的・長時間計算に向けた Local Adaptive Time Stepping 法の実装 朝比奈雄太（筑波大学）		
15:30	W26b	ブラックホール磁気圏強電場領域の研究：降着円盤由来 MeV 光子の影響 金湜基（東北大学）		
15:30	W27b	低角運動量ガスの超臨界降着流における降着衝撃波の調査 島田悠愛（筑波大学）		
15:42		質疑応答（10 分）		
			10:00	W28a 可視・近赤外線観測によるヘリウム激変星 PNV J0624+0208 のスーパーアウトバーストの変光メカニズムの研究 磯貝桂介（京都大学）
			10:12	W29a Tomo-e Gozen 高頻度サーベイデータに基づく銀河系外 Fast Optical Transient の発生率への制限 押切翔（東北大学）
			10:24	W30a WZ Sge 型矮新星 TCP J23580961+5502508 のアウトバースト初期の降着円盤構造の進化 佐崎凌佑（広島大学）
			10:36	W31a 数値シミュレーションによる、矮新星 SS Cyg における異常な光度変動の再現 木邑真理子（理化学研究所）
			10:48	W32a ガス中を運動する天体が受ける抵抗力の公式：降着の効果 鈴口智也（京都大学）
			11:00	W33a Evolution of hot white dwarf binaries McNeill, Lucy (Kyoto University)
			11:12	W34a 反復新星 U Scorpii の 2022 年爆発：食解析から探る光球面の後退と降着円盤の構造変化 村岡克紀（京都大学）
			11:24	W35a Ia 型超新星の Double Detonation model: 炭素爆轟波着火の He 外層質量の影響 鶴見薫樹（京都大学）
			11:36	W36a 超新星爆発におけるニュートリノ核子散乱の影響 伊藤侃（早稲田大学）
			11:48	W37a Core-collapse supernovae neutrinos: Effect of energy-dependent scattering on fast collective neutrino oscillations Delfan Azari, Milad (Waseda University)
			12:00	質疑応答（10 分）

X. 銀河形成・進化

9月22日(金) 午後・B会場		9月20日(水) 午前・F会場	
13:30	W38a A better image and time variation of Sgr A* from EHT2017 data 三好真(国立天文台)	10:00	X01a 可視光から近赤外の多波長広視野撮像データを用いた原始銀河団探査 石田光(東北大学)
13:42	W39a IXPE 衛星による恒星質量 BH Cyg X-1 の偏光 X 線の短時間変動の探査 二之湯開登(東京理科大学)	10:12	X02a New insight into the role of AGNs in forming the cluster red sequence 嶋川里澄(早稲田大学)
13:54	W40a ブラックホール天体 XTE J1550-564 の準周期振動とエネルギー依存性 水川竜希(埼玉大学)	10:24	X03a $z \sim 2$ における原始銀河団形成初期の構造と星形成銀河の性質 大工原一貴(東北大学)
14:06	W41a ブラックホール X 線連星 MAXIJ1820+070 の長期光度曲線の解析 樋口成和(東京工業大学)	10:36	X04a 赤外線全天観測アーカイブデータに基づく、 $z=1-3$ の明るい電波銀河周辺環境における隠れた星形成の進化 久保真理子(東北大学)
14:18	W42a MAXI J1820+070 における X 線変動の動的因子モデルによる物理成分分解 大間々知輝(総合研究大学院大学)	10:48	X05a 赤方偏移3から5の原始銀河団における明るい銀河の密度超過 利川潤(兵庫県立大学)
14:30	W43a 広帯域 X 線観測で探るブラックホール連星 GRS 1915+105 の降着状態の変化 菅原一希(東京理科大学)	11:00	X06a Ruby-Rush: Accelerated evolution of red monsters in $z \sim 5$ protoclusters 高橋宏典(東北大学)
14:42	W44a ブラックホール周囲の構造解明に向けたコンプトン散乱を考慮した一般相対論的偏光輻射輸送計算コードの開発 竹林晃大(筑波大学)	11:12	X07a JWST と ALMA による最遠方の原始銀河団コアの同定: 宇宙年齢 6.5 億年における環境効果の始まり 橋本拓也(筑波大学)
14:54	W45a 相対論的流体中での多重散乱光子が作る輻射強度分布の解析解 竹田麟太郎(筑波大学)	11:24	X08b Dark Matter Subhalo 衝突と Missing Satellite 問題 大滝恒輝(筑波大学)
15:06	W46a 円柱シアリング箱による降着円盤の磁気流体数値実験: 間欠的活動性と微細構造の形成 鈴木建(東京大学)	11:24	X09b Galaxy collisions and metal gradients of the Andromeda Giant Southern Stream 山口未沙(筑波大学)
15:18	W47a 相対論的リーマン問題解法の改善法: 高ローレンツ因子をもつ膨張波による解像度問題 北島欽大(名古屋大学)	11:24	X10b 色等級図を用いた星形成 - 化学進化史導出アルゴリズムの精度検証 佐藤恭輔(法政大学)
15:30	質疑応答(10分)	11:36	X11b The Extended [C II] under Construction? Observation of the brightest high- z lensed star-forming galaxy at $z = 6.2$ 札本佳伸(早稲田大学/国立天文台)
		11:36	X12b gzK 選択による赤方偏移2の電波銀河探査 小林星羅(愛媛大学)

11:36	X13b Investigating the onset conditions of galactic winds in dwarf galaxies of the Local Group 松井瀬奈（名古屋大学）	9月20日（水）午後・F会場	
	X14c 敵対的生成ネットワークを用いた天体画像の高解像度化 朝井建太（和歌山大学）	13:30	X19a The star formation history of a massive quiescent galaxy in the group environment at $z=4.53$ 柿元拓実（総合研究大学院大学）
	X15c すばる望遠鏡/Hyper Suprime-Cam画像の高解像度化による赤方偏移 $z \sim 2-6$ の銀河形態の研究Ⅰ：銀河合体率の環境依存性 澁谷隆俊（北見工業大学）	13:42	X20a 準解析的銀河形成モデルによる星形成 quenching メカニズムの調査 清水達生（北海道大学）
	X16c Application of machine learning to the spatially resolved SFR-Mass relation SHI, Wen E. (Nagoya University)	13:54	X21a JWST/NIRSpec による $z \sim 3-4$ quiescent 銀河の分光観測 佐藤理究（早稲田大学）
	X17c すばる望遠鏡/Hyper Suprime-Cam画像の高解像度化による赤方偏移 $z \sim 2-6$ の銀河形態の研究Ⅱ：合体銀河が豊富な原始銀河団の性質 伊藤呼人（北見工業大学）	14:06	X22a 初期宇宙での Bondi-Hoyle-Lyttleton 降着機構による中質量ブラックホールの進化 尾形絵梨花（筑波大学）
11:48	X18c JWST/MSA シャッターのスリットロスによる物理量測定への影響 碓氷光崇（筑波大学） 質疑応答（10分）	14:18	X23a 形成初期銀河 SBS 0335-052E が示す近赤外線放射の時間変動とその起源 波多野駿（総合研究大学院大学）
		14:30	X24a Rapid Growth of Galactic Supermassive Black Holes through Accreting Giant Molecular Clouds during Major Mergers of their Host Galaxies Lin, Chi-Hong (University of Tokyo)
		14:42	X25a HSC-SSP データによる $z \sim 5$ におけるクエーサーのクラスタリング解析 倉澤日菜（愛媛大学）
		14:54	X26a 低光度クエーサー候補を宿す $z = 6.05$ の銀河合体に対する ALMA 観測 泉拓磨（国立天文台）
		15:06	X27a 銀河とブラックホールの共進化過程における種ブラックホール質量の影響 桐原崇亘（筑波大学）
		15:18	X28a 重力波を用いた高赤方偏移 $z = 6$ での $M_{BH}-M_{halo}$ 関係の制限 古澤和也（名古屋大学）
		15:30	X29b COSMOS 領域における $z \sim 0.8$ の中心に非対称成分を示す Post-starburst 銀河の色勾配 藤本淳也（愛媛大学）

15:30	X30b	赤方偏移4における遠方電波銀河の性質 山本優太（愛媛大学）	9月21日（木）午前・F会場		
15:30	X31b	Euclid+UNIONS/WISHES サーベイが開く $z=3-8$ の活動銀河核探査 市川幸平（東北大学/早稲田大学）	10:00	X32a	Subaru/HSC-SSP データを用いた銀河系 ハローの動径密度分布の導出 鈴木善久（東北大学）
15:42		質疑応答（10分）	10:12	X33a	すばる望遠鏡/HSC 深観測による M33 恒星ハローの探査 小上樹（総合研究大学院大学/国立天文台）
			10:24	X34a	Stellar stream の分裂可能性と parallel stellar streams の形成 金田優香（筑波大学）
			10:36	X35a	宇宙論的N体シミュレーションデータの解 析によるダークマターサブハローの角運 動量ベクトルの獲得メカニズムについて 長船大樹（北海道大学）
			10:48	X36a	Estimating Galaxy Spectra from Photometry via Latent Representationn Iwasaki, Daiki (Nagoya university)
			11:00	X37a	すばる望遠鏡 HSC データと SDSS クエーサーカタログを用いた $z=0.3-1.0$ のクエーサー周辺環境の調査 柴田航平（愛媛大学）
			11:12	X38a	The properties of AGN-host galaxies at $z\sim 0.7-2.5$ unveiled with COSMOS-Web 田中匠（東京大学/Kavli IPMU）
			11:24	X39a	First detections of SII* haloes at $z>2$ with MUSE 日下部晴香（NAOJ/UniGE）
			11:36	X40a	赤方偏移 $z=3.3$ の DLA 母銀河からの $\text{Ly}\alpha$ 輝線の検出 小森楓雅（早稲田大学）
			11:48	X41a	遠方銀河団の近赤外線分光観測によっ て探る銀河の質量－金属量関係 安達孝太（東北大学）
			12:00		質疑応答（10分）

9 月 21 日 (木) 午後・F 会場			9 月 22 日 (金) 午前・F 会場		
13:30	X42a	種族 III 星が混在する初代銀河の形成過程 矢島秀伸 (筑波大学)	10:00	X53a	JWST/NIRSpec 分光データで探る $z=9-13$ における星形成活動 播金優一 (東京大学)
13:42	X43a	初代銀河形成シミュレーション：星団の形成と進化 杉村和幸 (北海道大学)	10:12	X54a	NOEMA observations of GN-z11: Constraining Neutral Interstellar Medium and Dust Formation in the Heart of Cosmic Reionization at $z=10.60$ 札本佳伸 (早稲田大学/国立天文台)
13:54	X44a	銀河衝撃波が銀河間空間に伝播するための星形成率閾値 照井勇登 (防衛大学校)	10:24	X55a	高い窒素酸素比を持つ高赤方偏移銀河 GN-z11 の元素の起源 渡辺くりあ (総合研究大学院大学)
14:06	X45a	Feedback Efficiency at $z \sim 4-8$ Probed by JWST NIRSpec and NIRCам WFSS Xu, Yi (University of Tokyo)	10:36	X56a	RIOJA: Optical and Far-Infrared View of a Major Merger at $z = 7.15$ 菅原悠馬 (国立天文台/早稲田大学)
14:18	X46a	Star-by-star 銀河形成シミュレーションに向けた超新星フィードバックのサロゲートモデリング 平島敬也 (東京大学)	10:48	X57a	EIGER: 宇宙再電離における銀河の役割と銀河間ガスの進化 柏野大地 (国立天文台)
14:30	X47a	巨大分子雲の進化像 福井康雄 (名古屋大学)	11:00	X58a	$z=7-12$ 銀河の $\text{Ly}\alpha$ 輝線等価幅とベイズ推定で探る宇宙再電離史 中根美七海 (東京大学)
14:42	X48a	Initial results of the CRISTAL Survey I. Overview and [CII] size measurements 池田遼太 (総合研究大学院大学/国立天文台)	11:12	X59a	銀河の $\text{Ly}\alpha$ 減衰翼吸収から探る $z=7-12$ の中性割合と電離泡半径の進化 梅田滉也 (東京大学)
14:54	X49a	Initial results of the CRISTAL Survey II: Resolved dust emission of typical star-forming galaxies at $z=4-6$ 三橋一輝 (東京大学/国立天文台)	11:24	X60a	多相星間物質モデルで探る赤方偏移 $z=8.312$ の星形成銀河における中性ガスの “porosity” の推定 萩本将都 (名古屋大学)
15:06	X50a	ALMA 観測による $z \sim 5$ の赤い大質量銀河のダスト吸収と星形成活動の研究 福島秀麻 (早稲田大学)	11:36	X61a	$\text{Ly}\alpha$ 輝線銀河の $\text{Ly}\alpha$ 輝線表面輝度プロファイルの広がりから迫る宇宙再電離 菊田智史 (国立天文台)
15:18	X51a	Importance of the scatter in the SFR-halo mass relation in analysing galaxy survey and line intensity mapping data Zhang, Rui Lan (University of Tokyo)	11:48	X62a	銀河形成シミュレーションを用いた再電離期における clumpy 銀河の形成 仲里佑利奈 (東京大学)
15:30	X52a	Simulating Galaxy Colors for Next-Generation Photometric Surveys Cooray, Suchetha (NAOJ)	12:00		質疑応答 (10 分)
15:42		質疑応答 (10 分)			

Y. 天文教育・広報普及・その他

9月20日(水) 午前・E会場		12:00	Y13b	小中学校理科におけるプラネタリウムの学習投影に関する現状と課題Ⅲ 二瓶美生(刈羽村立刈羽中学校)
10:00	Y01a			首都圏外の大学院生による学生アウトリーチ団体の発足と、天文・宇宙物理学に関するサイエンスコミュニケーション活動の実践 松井瀬奈(名古屋大学)
10:12	Y02a	12:00	Y14b	Star Formation Board game Project(1): 天文学普及ボードゲーム開発の報告 三浦飛未来(明星大学/川崎市青少年科学館)
		12:00	Y15b	Star Formation Boardgame Project(2): 科学コミュニケーションの場としてのコンセプトデザイン決定過程 玉澤春史(京都市立芸術大学)
10:24	Y03a	12:12	Y16b	IAU Astronomy Day in Schools project : 文化、社会、生活と関連した天文教育実践のこれまでのレビュー 富田晃彦(和歌山大学)
10:36	Y04a	12:12	Y17b	天文学に対する一般市民の意識調査の報告 高梨直紘(東京大学)
10:48	Y05a	12:12	Y18b	市民科学で読み解く国内外の「光害」研究史 大西浩次(長野工業高等専門学校)
11:00	Y06a		Y19c	星空と“Awe”の関係性についての予備調査とその考察 縣秀彦(国立天文台)
11:12	Y07a		Y20c	国立国会図書館デジタルアーカイブツールの天文学史教育研究相互利用 玉澤春史(京都市立芸術大学)
11:24	Y08a		Y21c	地震史料集に掲載された天文関係の史料の課題とその検討 服部健太郎(関西大学)
11:36	Y09a			岡山 188cm 望遠鏡ニュートン焦点撮像乾板カタログの公開 柳澤顕史(国立天文台)
11:48	Y10b	12:24		木曽シュミット乾板を対象とした太陽系天体プレカバリーの試み 柳澤顕史(国立天文台)
11:48	Y11b			国立天文台日食観測隊アーカイブ作成について(I) 米村優輝(中央大学)
11:48	Y12b			教育用簡易電波干渉計プロトコル“j-VLBI” 構想 Vol.3.5 木村正樹(株式会社 NEST EdLAB)
				質疑応答(10分)

予稿ページ

Z101r 高エネルギーニュートリノと重力波が切り開くマルチメッセンジャー宇宙物理学

吉田滋 千葉大学ハドロン宇宙国際研究センター

IceCube 実験による高エネルギー宇宙ニュートリノ観測と、LIGO 実験による重力波の観測は、非電磁波信号による新しい宇宙物理学研究の扉を開きました。ニュートリノと重力波は貫通力に優れたメッセンジャーであり、電磁波では直接探査できなかった高密度・高エネルギー極限環境の天体現象を研究することができます。分解能に優れた多波長電磁波観測と融合することで、こうした天体現象とその機構を明らかにするのがマルチメッセンジャー天文学研究です。本講演では、このアプローチによって、これまで何が分かってきたか、そして何が謎として提示されているのかを、主に高エネルギーニュートリノ観測の立場から概観します。そして、宇宙線の起源や強重力エネルギーが駆動する爆発的天体現象の機構の解明に、今後どのように挑んでいくのか、日本が参加する現在運用中または近い将来に実現が期待される観測ミッションを念頭におきながら議論していきます。

[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](#)

Z102r ニュートリノ放射天体の理論モデル

木村成生 (東北大学)

我々の宇宙は高エネルギーの荷電粒子である宇宙線で満たされているが、その起源天体や生成機構は発見から 100 年以上が経過した現在も謎に包まれている。宇宙線は星間磁場により曲げられてしまうため、宇宙線の観測から宇宙線の起源天体を同定することは困難である。宇宙線は周囲の物質と相互作用してガンマ線とニュートリノを放射する。ガンマ線は地球へと伝播する際に吸収されてしまうが、ニュートリノはエネルギーを失うことなく直進してくる。そのため、高エネルギーの宇宙ニュートリノの起源天体を同定することができれば、高エネルギー宇宙線の起源天体を同定することができる。

2013 年、IceCube 実験が宇宙ニュートリノの検出を報告し、宇宙ニュートリノ背景放射の存在を明らかにした。IceCube 実験は宇宙ニュートリノ事象を 10 年以上に渡って検出し続けており、2018 年には増光中のブレーザー TXS 0506+056、2022 年には近傍のセイファート銀河 NGC 1068 をニュートリノ放射源として報告している。また、近年の突発天体探索と宇宙ニュートリノの即時追観測アラートシステムによって潮汐破壊現象がニュートリノ源である可能性も指摘されており、様々な天体種別が宇宙ニュートリノを放射していると考えられる。しかし、宇宙ニュートリノ背景放射に最も寄与している天体はまだわかっていない。本発表ではニュートリノを放射している天体における高エネルギーニュートリノ生成過程を議論し、これまでのニュートリノ信号を説明するためにニュートリノ放射領域が満たすべき物理状態について考察する。また、近い将来に実現するニュートリノ多重信号アラートと、多天体可視分光観測サーベイにより同定できるニュートリノ突発天体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](#)

Z103a 光学望遠鏡フォローアップ観測のための宇宙ニュートリノ観測装置 IceCube によるオンライン multiplet 信号の研究

清水信宏, Colton Hill, Maximilian Meier, 石原安野, 岩切渉, 永井遼, 野田浩司, 吉田滋 (千葉大), 他 IceCube collaboration

IceCube は南極大陸に設置された宇宙ニュートリノ望遠鏡である。IceCube ではニュートリノ事象をオンラインで解析し、その情報を全世界の望遠鏡に対しアラートとして発信している。光学望遠鏡等の追観測によって、高エネルギーニュートリノの放射天体の同定を狙っている。しかし、ニュートリノの方向決定精度は典型的に 1 度程度と非常に大きく、この不定性の範囲に含まれた無関係な天体を偶然観測してしまうことにより、天体の同定の有意度を低下させてしまう。ニュートリノは相互作用が小さいため宇宙の遠方の天体から直接到来することのできるメッセンジャーであるが、遠くの天体はこの問題のために、ニュートリノ信号と天体の相関を高い有意度で主張することが難しくなる。そこで、比較的近距离にあり、追観測による天体同定可能性の高い天体からのニュートリノ信号を選択的に抽出するためある方向から一定の時間間隔内に複数のニュートリノが来る信号「マルチプレット」が有効である。本研究は、30 日の間に二つあるいは三つのマルチプレット信号が観測されることを特徴としたアラートの開発を行っている。この信号により赤方偏移 0.1 以下の天体を優先的に選択することが可能である。IceCube の主な背景事象である大気ニュートリノにより誤ってアラートを報告してしまう頻度 (False Alarm Rate) を評価するために IceCube がこれまで蓄積した過去 10 年のデータを解析した。本講演では、このマルチプレット信号をアラートとして用いたときの感度、蓄積したデータの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](#)

Z104a IceCube と MAXI を用いた新たなマルチメッセンジャーアラートの構築

岩切渉, 清水信宏, 野田浩司, 石原安野, 吉田滋 (千葉大学), 芹野素子 (青山学院大学), 三原建弘 (理研), 他 IceCube collaboration, MAXI チーム

10^{15} eV の高エネルギー宇宙ニュートリノの観測を可能とした南極の IceCube によって、長年の謎である 10^{18} eV を超える超高エネルギー宇宙線の故郷の特定に我々は迫りつつある。観測されたニュートリノ背景放射の輝度から、両者の起源は同一であることが示唆され、マルチメッセンジャー観測により、ニュートリノ源の 1 つはブレーザーであることが特定された。しかし、蓄積されたデータの比較から、期待されていたブレーザーやガンマ線バーストの寄与は予想より少なく、ニュートリノ背景放射の輝度を説明できないため、まだ見ぬ粒子加速源が存在することもわかった。この正体を探るため、我々はガンマ線で暗い、低輝度ガンマ線バーストのような突発現象に着目し、IceCube と国際宇宙ステーションに搭載されている日本の全天 X 線監視装置 MAXI のデータを基にした、新たなマルチメッセンジャーアラートの準備を進めている。現在の IceCube の公開アラートの流れは、まず南極でリアルタイムに解析を行い、大気ミューオン、大気ニュートリノ事象を除去するフィルター (GFU フィルター) を通過した数 mHz 程度のレートのイベントを、イリジウム衛星の通信サービスを利用して計算リソースが潤沢な機関に送信する。そこからより天体由来と考えられるニュートリノイベントを選別し、GCN にその位置や時刻の情報を投稿している。今回考案したアラートは、IceCube の GFU フィルターを通過したイベントの座標情報から、MAXI のデータも IceCube と同様にリアルタイムで取得、処理されていることを最大限に活かして、即座にその座標での X 線信号の有意度を検定し、閾値を超えたイベントに対してアラートを発出する、これまでに例のない宇宙ニュートリノ、X 線観測の合わせ技によるものである。本講演では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](#)

Z105a 天の川銀河周辺物質とハロー内宇宙線の多波長・マルチメッセンジャー探査

井上進（都立大）、辻直美（神奈川大）、川田和正（東大宇宙線研）、水野恒史（広島大）、長島雅裕（文教大）

銀河のハロー領域を満たしている銀河周辺物質 (circumgalactic medium=CGM) は、宇宙の大規模構造と銀河ディスク領域のインターフェースにあたり、双方の形成・進化にとって本質的であるにもかかわらず、観測的・理論的にまだ十分理解されておらず、銀河形成研究のフロンティアと認識されている。観測的には、CGM ガスから予想される熱的放射が主に遠紫外線-軟 X 線帯域であり、前景ガスによる吸収の影響で探査が困難であることが、大きな不定性の要因になっている。また近年、CGM に対して宇宙線が及ぼす圧力の効果が、銀河の形成・進化に重要な役割を果たしている可能性が、数値シミュレーションなどから示されている。宇宙線の CGM 中伝搬の物理的不定性も大きいですが、場合によっては宇宙線の圧力が卓越する可能性も指摘されている。

我々は、天の川銀河 CGM 中の宇宙線陽子について、Tibet/LHAASO などの観測装置によるハロー内中性水素ガス雲の PeV 帯域ガンマ線探査が、一つの有効なプローブとなることを示した (Inoue et al., in prep.; 前回年会 Q38a)。本講演では、高エネルギーニュートリノにも着目し、CGM 中宇宙線とガスに対し、マルチメッセンジャー観測から期待される新情報を議論する。特に、100 kpc スケールの CGM 中宇宙線とガスの衝突で生じるニュートリノが、IceCube で観測された拡散ニュートリノに大きな寄与をするモデルが提案されているが、これに対し、Magellanic Stream の SWGO/Mega-ALPACA による TeV-PeV ガンマ線観測を組み合わせることで、有効に制限できるはずである。さらに、今後の高速電波バーストの dispersion measure 観測や、高精度の紫外線・X 線観測で得られる CGM 電離ガスの情報も含め、多角的な CGM の物理の解明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](#)

Z106a 電子陽子ヘリウムプラズマ中を伝播する相対論的衝撃波での粒子加速とニュートリノ放射

富田沙羅（東北大学）、大平豊（東京大学）、木村成生（東北大学）

高エネルギー天体現象の駆動天体が放出する相対論的プラズマ流によって生成される相対論的無衝突衝撃波は、高エネルギー天体現象の主要な放射領域の 1 つである。しかし、衝撃波で生成される熱、磁場、非熱的粒子にわたるエネルギー比やそれを決める物理が未解明なため、放射スペクトルの理論モデルはそれらを仮定して観測と比較されている。これまで相対論的衝撃波での粒子加速を自己無撞着に調べるプラズマ粒子シミュレーションは、衝撃波上流が電子陽子/電子陽電子プラズマの場合を調べていた。星間空間を伝播する衝撃波上流プラズマは太陽組成で、数は水素の 10 分の 1 のヘリウムだが衝撃波の運動エネルギーにすると 25% を占め、これは衝撃波下流で期待される磁場エネルギー比や宇宙線に渡る典型的なエネルギー比に対し無視できない。本研究は、世界初の電子陽子ヘリウムプラズマ中を伝播する相対論的衝撃波のプラズマ粒子シミュレーションを行った。その結果、衝撃波上流が太陽組成の場合、衝撃波に流入した粒子のうち加速されるヘリウムの割合が陽子よりも多いことがわかった。また陽子の加速効率も電子陽子プラズマの場合よりも低くなった。これは従来予言されていたニュートリノ光度に影響を与えうる。本講演では、本シミュレーションから得られた各粒子種のエネルギースペクトルを用いて、予言されるニュートリノ放射のスペクトルについて議論する。また、上流ヘリウムの割合が陽子と同程度になるにつれ、陽子とヘリウムそれぞれの加速される数比は同程度になっていった。中性子星連星合体やガンマ線バースト親星の中を伝播するジェットで生じる衝撃波の上流で想定される重元素プラズマ中での粒子加速から期待される宇宙線についても議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Z107a 超新星ニュートリノ解析コード SPECIAL BLEND による SN1987A の解析

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

超新星の爆発メカニズムを調べる上で、超新星ニュートリノは有力な手がかりの一つである。我々は超新星ニュートリノ信号を調べるための理論テンプレートと解析手法を開発してきており、近年には SPECIAL BLEND という名前の公開解析パイプラインを開発した。これは超新星ニュートリノの解析的モデルに基づいて、中心の中性子星の質量や半径などを推定するものである。また、Google Colaboratory のような web サービスなどで誰でも簡単に使えるように github で公開している。本講演では、SPECIAL BLEND の性能について、従来の解析パイプラインとの比較や超新星までの距離への依存性といった観点から議論する。

加えて、SPECIAL BLEND は唯一の超新星ニュートリノの観測例である SN1987A にも応用できる。SN1987A の後に残されるコンパクト天体は爆発から 36 年たった現在でもまだ観測できていないが、電波観測などにより、中性子星ができていることが示唆されている。本講演では SN1987A のニュートリノ観測データを解析し、中心の中性子星の性質を推定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](#)

Z108r 重力波天体からのマルチメッセンジャー

久徳浩太郎（京都大学）

早期終了した第 3 期観測 O3 から 3 年の休止を経て、この 2023 年 5 月から LIGO-Virgo-KAGRA コラボレーションによる O4 が開始し、既にいくつも連星合体が検出されている。O2 までに発見されていた連星ブラックホール合体や通常の連星中性子星合体に加え、O3 の重力波観測では想定外に重い連星中性子星の合体 GW190425、ブラックホール・中性子星連星の合体 GW200115 などが発見され、コンパクト天体連星への理解が深まった。一方、ガンマ線バースト GRB 170817A やキロノヴァ AT 2017gfo が付随した GW170817 によって、重力波と電磁波とのマルチメッセンジャー天文学も O2 から華々しく幕を開けたように思われたが、O3 ではマルチメッセンジャー観測に成功した事象はなかった。この状況は Virgo や KAGRA が十分な感度を達成して重力波検出器ネットワークの位置決定精度が上がれば改善されるが、GW170817 が幸運に恵まれた近傍事象であったこともおそらく間違いなく、O4 やそれ以降に何が新たに明らかになるかはまだ予測がつかない。本講演では連星合体を中心に重力波天体から期待されるマルチメッセンジャー信号を、O2 やそれ以降の理論研究で培われた知見に基づいて概観し、今後どのような進展が期待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](#)

Z109r LIGO-Virgo-KAGRA 第 4 期重力波観測運転の現状と将来の展望

塚田怜央 (Pennsylvania State University)

2023 年 5 月 24 日、LIGO-Virgo-KAGRA コラボレーションによる第 4 期共同観測運転が開始され、重力波観測の新章が幕を開けた。同コラボレーションは過去 3 回の観測運転において、史上初の重力波検出およびブラックホール・中性子星を含むコンパクト連星系合体の観測を成し遂げている。その中でも 2017 年に観測された中性子星連星系合体の重力波信号 (GW170817)、および電磁波による対応天体の追観測の成功は未だ記憶に新しく、マルチメッセンジャー天文学の確立を印象付けた。そして前回の観測から 3 年間にわたる重力波検出器の検出感度向上に加えて、史上最長となる 18 ヶ月間に及ぶ観測期間から GW170817 のような共同追観測の機運が高まっている。

本講演では現在進行中である第 4 期共同観測運転の現状を、リアルタイム検出と天体の追観測の観点から報告する。特に、検出が既に公表されている重力波信号とその追観測から得られた示唆に関して概要をまとめる。加えて、以後の観測期間における重力波検出の見込みとマルチメッセンジャー天文学への貢献に関して将来の展望を述べる。

[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](#)

Z110a キロノバのスペクトルで探る中性子星合体の元素合成

土本菜々恵、田中雅臣 (東北大学)、加藤太治 (核融合科学研究所)、仏坂健太 (東京大学)、川口恭平、和南城伸也 (マックス・プランク研究所)

宇宙における重元素の起源、特に速い中性子捕獲元素合成 (r 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。連星中性子星の合体現象は r プロセス元素の起源の有力な候補として注目されている。実際、2017 年に中性子星合体からの重力波 (GW170817) とそれに付随した電磁波放射 (キロノバ) のマルチメッセンジャー観測により、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ている。

個々の元素の情報は元素の起源だけでなく、元素合成が起こった放出物質の物理状況を推測する上でも重要である。そこで本講演では、我々がこれまでに明らかにしてきた、キロノバの可視光・赤外線スペクトルから引き出せる情報についてまとめる。我々は、キロノバのスペクトルの解釈に用いるための、新しい重元素の束縛遷移の原子データリストを構築し、可視光・赤外線スペクトルに現れる特徴について調べてきた。その結果、(1) 可視光域でカルシウムとストロンチウムが吸収線を作り、これらが放出物質の物理状況を推測するのに有用であること、(2) 赤外線域ではランタノイド元素であるランタンとセリウムが吸収線を作り、スペクトルから直接ランタノイド元素が合成された証拠を得られることを示した。これらを GW170817 に付随して観測されたキロノバのスペクトルと比較しながらまとめ、将来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](#)

Z111a Early jet-cocoon emission in future GW170817-like events

Hamid Hamidani¹, Kunihito Ioka², Shigeo Kimura¹, and Masaomi Tanaka¹ ¹ Astronomical Institute, Tohoku University, Aoba, Sendai 980-8578, Japan ² Yukawa Institute for Theoretical Physics, Kyoto University, Kyoto 606-8502, Japan

Multi-messenger observations of the gravitational wave event GW170817 and its association with the short Gamma-Ray Bursts sGRB 170817 provided clear evidence for relativistic jet launch in neutron star mergers. In parallel, late optical-to-infrared observations revealed clear evidence for r-process nucleosynthesis powered “kilonova” (KN) emission. These observations identified an early blue KN component, whose origin is still under debate. Here, I will focus on the emission expected from the jet-cocoon at early times. I will show that this can power a blue emission peaking in UV in the first hours, and discuss its possible contribution to the blue KN. Considering this jet-cocoon emission and the soon to be operational wide field observatories (e.g., ULTRASAT, Einstein probe, and LSST), I will explain its potential usage for future localization and study of GW170817-like events.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Z112a ガンマ線バーストの長期放射に伴うニュートリノ放射

松井理輝, 木村成生 (東北大学)

ショートガンマ線バースト (SGRB) には Extended Emission、ロングガンマ線バースト (LGRB) には X 線フレアと呼ばれる 100-1000 s 続く長期放射成分が伴うことがある。このような放射成分は、ガンマ線バーストの中心エンジンが長期的に活動していることを示唆しているが、そのような長期活動が生成するジェットの状態は明らかになっていない。長期活動に伴ってジェットの内部散逸も長時間行われる場合、ジェットの散逸過程にコクーンという構造が寄与する可能性がある。即時放射のジェットが親星中を伝播することでコクーンが形成し、100-1000 s 経過するとそのコクーンが膨張する。膨張したコクーンを満たす光子が、長期活動由来のジェットの散逸領域に侵入するというシナリオが考えられる。そこで我々は、ガンマ線バーストの長期活動で生成されたジェットの散逸に注目し、散逸領域で加速された宇宙線と外から侵入する光子の相互作用で生成されるニュートリノの放射量を調べた。本発表では、SGRB の Extended Emission、LGRB の X 線フレアに付随したニュートリノの、IceCube および IceCube-Gen2 による検出可能性とその赤方偏移依存性を紹介する。また、10 年間の IceCube の観測ではガンマ線バーストに付随したニュートリノが検出されていないことから、長期活動由来のジェットの物理量が制限されることを示す。特にジェットの放射半径とローレンツ因子に対して、現在までの IceCube の観測による制限と、将来の IceCube-Gen2 の観測がこれらの物理量を制限する見通しを示す。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Z113a 高速パラメータ推定手法を用いた重力波源の正確な位置・質量情報の速報

森崎宗一郎・東京大学宇宙線研究所

本年 5 月に LIGO-Virgo-KAGRA コラボレーションによる第 4 次重力波観測 (O4) が始まった。この約 3 年ぶりの長期観測で期待されるのが、GW170817 に続く、中性子星を含む連星合体のマルチメッセンジャー観測である。このマルチメッセンジャー観測を成功させる上で、重力波データから推定される正確な位置・質量情報を速報することが重要となる。一方で、これら情報を推定するパラメータ推定解析は計算コストが高く、前回の観測では半分以上の信号に対して情報公開に約 60 時間もの時間がかかってしまった。申請者はこの問題を解決するため、Reduced Order Quadrature [1, 2] と呼ばれる高速化手法に着目し、この手法を改善することで、連星中性子星合体の解析時間を 10 分以下、ブラックホールを含む連星の解析時間を数時間以下に削減することに成功した [3, 4]。また、この手法による解析を LIGO-Virgo-KAGRA の重力波速報ソフトウェア GWCElery に組み込み、検出された信号を自動でパラメータ推定解析し、結果を重力波信号データベース GraceDB にアップロードするシステムを構築した。本講演では、この自動かつ高速なパラメータ推定解析システムについて説明するとともに、これが O4 にてどのように活用されているかについて解説する。

- [1] P. Canizares et al., Phys. Rev. Lett. **114**, no.7, 071104 (2015) doi:10.1103/PhysRevLett.114.071104.
- [2] R. Smith et al., Phys. Rev. D **94**, no.4, 044031 (2016) doi:10.1103/PhysRevD.94.044031.
- [3] S. Morisaki and V. Raymond, Phys. Rev. D **102**, no.10, 104020 (2020) doi:10.1103/PhysRevD.102.104020.
- [4] S. Morisaki, Phys. Rev. D **104**, no.4, 044062 (2021) doi:10.1103/PhysRevD.104.044062.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Z114b 月の水資源探査と天文学・素粒子物理学の研究を連携させる MoMoTarO 計画

榎戸輝揚, 辻直希 (京大), 中澤知洋 (名大), 木坂将大, 高橋弘充 (広大), 仏坂健太 (東大), Ethan van Woerkom (University of Amsterdam), 森本健志 (近大), 吉浦伸太郎, 本間希樹 (NAOJ), 長岡央, 谷口絢太郎, 高梨宇宙, 大竹淑恵, 若林泰生, 岩本ちひろ, 加藤陽, 玉川徹 (理研), 晴山慎 (聖マリアンナ医科大学), 小林泰三 (立命館), 池永太一, 中野雄貴, 塚本雄士 (SRE), 草野広樹 (QST), 尾崎直哉, 星野健, 上野宗孝 (JAXA), 他 MoMoTarO チーム

人類が 1969 年に月に降り立ってから半世紀以上になり、私達は再び月に向かっている。アルテミス計画などの月面探査は政府と民間企業の大きな潮流になった。月が人類の活動圏になる宇宙世紀に、月という天体を惑星科学の対象のみならず、私たちは天文学や素粒子物理学に活用する「宇宙時代の月面物理学」を構想している。

月の表面には絶えず銀河宇宙線が降り注ぎ、核反応によりで高速中性子が発生する。土中に水が存在すると散乱・熱化されて熱中性子として漏出するため、非接触の放射線測定で月の水資源を探査できる。これを狙う中性子・ガンマ線モニタ Moon Moisture Targeting Observatory (MoMoTarO) の開発を進めているが、この検出器は同時にガンマ線バーストも観測できる。地球低軌道でのガンマ線バーストに比べ、月までの距離のためバースト到来時間差が大きく、この時間差を活用してガンマ線バーストの到来方向を精度よく決めることができる。そのため、月探査での小型の放射線測定でも、マルチメッセンジャー天文学や将来の重力波宇宙論に向けて有効な貢献をすることができる。さらに、大気がなくノイズの少ない月で理想的な低周波電波の測定と組み合わせることで時間軸天文学への幅広い応用も期待できる。また、同型の検出器を月周回機に搭載し表面から漏出熱中性子の高度プロファイルを計測することで、素粒子物理学の未解決問題である中性子寿命の測定も狙っている。

[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](#)

Z115b ガンマ線バースト観測超小型衛星群 CAMELOT の現状

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)

重力波が検出されて以来、その電磁波フォローアップ観測の重要性が認識され、いろいろな観測がされている。重力波は、いつどこで起こるかかわからないので、広い視野を持つガンマ線観測装置が不可欠である。ただし、これまでのガンマ線観測では、位置決定精度が2度程度であり、それを受けたX線観測がなければ、なかなか光学望遠鏡で観測するのが難しかった。また、貴重な重力波イベントを電磁波で見逃さないためには、全天をカバーする必要がある。そこで、我々はチェコ・ハンガリーのグループとともに、超小型衛星に簡易ガンマ線検出器を搭載し、最少9個の衛星をいろいろな軌道に載せて、ガンマ線搭載時刻の差を利用して、重力波源の1つであるガンマ線バーストを全天をカバーしながら0.5度以下の精度で決定するCAMELOT計画を推進している。ガンマ線検出器は、CsIシンチレーターとSiPMという簡易的な組み合わせである。プロトタイプとして、これまで2021年3月、2022年1月に衛星を打ち上げ、2つも問題なく動作している。これまでガンマ線バーストを2つで30個以上検出している。また、SiPMの衛星軌道上での劣化データも得られている。そして、2022年10月9日の史上最も明るいガンマ線バーストGRB221009Aも無事に検出した。講演では、CAMELOT計画の状況およびGRB221009Aの結果を紹介する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Z116b 位置天文衛星 Gaia とせいめい望遠鏡 GAOES-RV によるコンパクト連星探査

谷川 衛 (東京大学), 前原裕之, 田實晃人 (NAOJ), 佐藤文衛 (東京工業大学)

重力波観測によってブラックホール (Black Hole: BH) や中性子星などのコンパクト星同士の合体が重力波天体として発見されている。その有力な起源は大質量連星であるが、決着していない。大質量連星から重力波天体に至る過程に理論的不定性が多い割に、関連する天体の観測事例が少なく観測的制限が弱いからである。観測事例は、初期状態である大質量連星と最終状態である重力波天体に集中している。一方で、中間状態である大質量星とコンパクト星からなるコンパクト連星の観測事例はほとんどない。注意すべきは、このようなコンパクト連星は軌道周期が $10^2\text{--}4$ 日で軌道離心率もあまり高くなく、X線連星として観測できないと予想されていることである。

この状況を変えつつあるのが位置天文衛星 Gaia である。Gaia は恒星がコンパクト星に振り回されている様子を通して、コンパクト連星を発見できる。Gaia はその観測間隔と運用期間により $10^2\text{--}4$ 日の連星の探査が可能であり、大質量連星から重力波天体となる途中のコンパクト連星を探査するのに適している。実際に Gaia の公開データから BH と恒星からなる BH 連星はこれまで2つ発見された (El-Badry et al. 2023ab; Tanikawa et al. 2023)。一方で、Gaia の公開データが必ずしも正しくないことが明らかになっている。公開データが正しければ BH 連星であることが確実な天体6個のうち4個は BH 連星ではなかった。そのため、Gaia のコンパクト連星候補に対して、別の望遠鏡によって視線速度変化を調べる分光フォローアップ観測が不可欠である。

我々は、Gaia の公開データの中から、せいめい望遠鏡 GAOES-RV によってコンパクト連星と確定可能な天体を選定した。本講演ではその選定方法の紹介を行い、さらに実際にコンパクト連星だった場合にどのように理論にフィードバックできるかについて議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Z117b 近紫外線波長帯の効率を高めた撮像装置の開発・製作

秋田谷 洋, 諸隈 智貴 (千葉工業大学), 川端 弘治 (広島大学)

我々は地上から近紫外線波長帯 (300-400nm) の天体観測を効率良く実施することを目指し、この波長帯における感度を高めた撮像装置の開発・製作を進めている。

近紫外線波長帯は、古くから U-band に代表されるように重要な観測波長帯である。それはマルチメッセンジャー天体現象が注目されるいまでも変わらない。中性子星連星合体現象に伴うキロノバ放射は新しい観測対象の一例である。また、超新星爆発や活動銀河核等における高温・高エネルギー現象を理解する上でも、近紫外線の光度が良い指標となる。しかし、近年の地上望遠鏡では、近紫外線で良感度を有し手軽に使える観測装置は少なくなっている。そこで我々は、この波長帯の感度を最優先とした観測装置を低コストかつ迅速に開発・製作して地上望遠鏡で用いることで、マルチメッセンジャー天文学の時代に近紫外線波長帯の撮像機能を提供する。

これまでに、装置の概念設計および結像光学系の設計を行った。装置は東広島天文台口径 1.5m かなた望遠鏡に装着する想定である。受光には近紫外線の量子効率が高い Gpixel 社の CMOS センサー GSENSE 400UV (2048×2048 pixels, 11 μ m/pix) を用いる。5 分角の視野全体で直径 0.3 秒角以下の結像性能を達成する。また、地上からの観測条件について過去の環境調査や LOWTRAN7 大気モデルをもとにした基礎調査を進め、充分な観測効率で近紫外線観測を実施できる見込みを得た。文献に基づく典型的な空輝度などを仮定すると、u-band 相当で限界等級は 18-19 mag(AB) である (100 秒露光、SN 比 20、かなた望遠鏡を想定)。空の透過率・輝度等の観測環境については、今後実地での詳細調査を進める。装置には簡便な直線偏光測定機能と超低分散分光機能も搭載する。2023 年度前半に光学系と装置筐体を製作し、2023 年度後半にかなた望遠鏡で試験観測を開始する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Z118b PRIME 望遠鏡を用いた南天での重力波対応天体探査

濱田龍星 (大阪大学), PRIME Collaboration, J-GEM Collaboration

2017 年 8 月に初の中性子星連星 (BNS) 合体からの重力波 (GW170817) が検出され、電磁波対応天体も発見された。電磁波対応天体である AT 2017gfo の観測により、BNS 合体が重元素合成の現場の 1 つであることが立証されたが、唯一の重要な現場であるかは不明である。重元素合成過程のさらなる理解のためにも、多くの重力波対応天体の発見が求められている。

PRIME 望遠鏡は南アフリカ天文台に設置され、1.8m の口径と広視野 ($\sim 1.29\text{deg}^2$) を活かした近赤外線バンド (Z, Y, J, H) での観測を行っている。PRIME 望遠鏡は主に近赤外線を用いたマイクロレンズ系外惑星探査を目的として開発されたが、重力波対応天体を含めた ToO 観測にも対応している。2023 年 5 月から行われている重力波観測ラン O4 では、PRIME 望遠鏡も南天・広視野を活かしたサーベイ観測を行っている。具体的には、LIGO/Virgo/KAGRA から得られた重力波の 2 次元確率マップと、あらかじめ決めておいた観測グリッドを照らし合わせ、高確率のグリッドから順に観測を行うことで、早期の重力波対応天体の発見を試みている。

本講演では、PRIME 望遠鏡を用いたサーベイ観測システムの概要と、O4 の探査実績を紹介する。

[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](#)

Z119b 光赤外線大学間連携 OISTER によるマルチメッセンジャー天文学

村田勝寛, 太田耕司, 野上大作 (京都大学), 高橋幸弘, 齊藤大晶 (北海道大学), 大朝由美子 (埼玉大学), 土居守, 瀧田怜 (東京大学), 谷津陽一, 高橋一郎 (東京工業大学), 金田英宏, 楠根貴成 (名古屋大学), 伊藤洋一, 高橋隼 (兵庫県立大学), 川端弘治, 中岡竜也 (広島大学), 永山貴宏 (鹿児島大学), 泉浦秀行, 花山秀和, 早津夏己 (国立天文台), 光赤外線大学間連携 OISTER

光赤外線大学連携 OISTER は、日本の 9 大学と国立天文台が国内外の可視光・赤外線望遠鏡を有機的に結びつけ、突発天体・現象に即応した多波長・多モード同時観測を実現し、また、各大学のみでは実現困難な人材育成をおこなうプロジェクトである。2022 年度から始まった第 3 期では、マルチメッセンジャー天文学や時間領域天文学を含む幅広い研究を進めている。OISTER に参加する望遠鏡は、これまでも、重力波イベント GW170817 の観測や、高エネルギーニュートリノ事象 IceCube-170922A の電磁波対応天体の探索に参加し、成功を収めてきた。また、ガンマ線バーストや超新星爆発など、重力波・高エネルギーニュートリノ事象と関連が予想される天体の観測にも積極的に取り組んでおり、成果を上げてきている。例えば、GRB 211211A は、継続時間が長いガンマ線バーストでありながら、紫外線から近赤外線の放射はコンパクト天体の合体によるキロノバ現象によって説明されうる特異な天体 (Troja et al. 2022) だが、この成果にも、OISTER の観測が貢献している。今後も、重力波・高エネルギーニュートリノ事象の可視光・赤外線対応天体のフォローアップ観測と、関連した天体の観測を進めることで、重力波源の多様性の解明、天体合体プロセスの物理の解明、r プロセス元素の起源の解明や、高エネルギーニュートリノ源やその発生プロセスの解明を目指していく。本講演では、特にマルチメッセンジャー天文学に関連した OISTER のこれまでの研究成果と今後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](#)

Z120r マルチメッセンジャー宇宙物理学と X 線観測

芹野素子 (青学大)

マルチメッセンジャー観測での X 線の第一の役割は、新しいメッセンジャーである重力波やニュートリノと、伝統的な観測手段である光や電波での観測をつなぐところにある。ニュートリノや重力波の観測はほぼ全天が見え、しかも観測対象のイベントは突発的である。電磁波でその対応天体を同時に捉えようとすると、あらかじめ天体が出現すると予想される方向に望遠鏡をむけておくようなことはできず、どうしても広い視野が必要になる。その点、X 線の観測装置は広い視野を持つものを作りやすく、突発天体と既知の天体とを見分けやすい。MAXI, KOYOHO, Swift/BAT, CALET/GBM, GRB alpha の広視野モニターで、マルチメッセンジャー観測のトリガーとなる未知天体や低輝度ブラックホール突発天体を発見し位置を速報することで、より詳細な観測につなげることができ、天体の正体解明や現象の理解に役立つ。

また第二の役割として、Swift/XRT, NICER, IXPE, XRISM を用いた追跡観測で、天体の光度や時間変動、さらに、天体の幾何学情報や元素情報をも取得することが挙げられる。これらの望遠鏡群では、装置ごとに強みとなるパラメータが異なる。例えば、ミリ秒というような速い時間変動が予想される天体を観測するためには時間分解能にとくにすぐれた NICER を使う、放射源にどのような元素が存在しそれがどのように運動しているかを知るためにエネルギー分解能の良い XRISM で観測する、等のように追跡観測の際には何を狙ってどのように観測するかという判断も必要である。

講演では、マルチメッセンジャーによる観測で解明したい物理とそれにむけた X 線での取り組みについて、最新の結果も含めて発表する。

[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](#)

Z121r 重力波・ニュートリノ放射天体に対する可視光・赤外線観測

諸隈 智貴 (千葉工業大学), J-GEM Collaboration, IceCube ニュートリノ光赤外追観測グループ

重力波望遠鏡及びニュートリノ実験により多数の宇宙からの重力波・ニュートリノの検出が達成され、高エネルギー現象の観測及び宇宙物理学の理解が目覚ましく進展している。これら非電磁波の観測情報を元に、放射天体のより正確・詳細な物理量を引き出すためには、多波長電磁波での観測が求められる。本講演では、その中でも可視光・赤外線での観測 (以降、光赤外観測) に着目する。

マルチメッセンジャー宇宙物理学の文脈において、光赤外観測の利点・役割として、多種多様な放射天体候補を観測可能 (あらゆる天体現象が可視・赤外放射を伴う)、起源天体の熱放射や噴出物の情報から爆発エネルギー・元素合成等の情報を抽出可能、天体までの赤方偏移 (距離) の精度良い決定が可能、広視野・深撮像観測を同時に実現可能、大型望遠鏡を含め世界に多くの望遠鏡が存在、などが挙げられる。一方で、重力波・ニュートリノ放射天体とは無関係の天体の大量混入が不可避、地上からは夜間のみ (1 日の 1/3 程度) 観測可能などの困難が伴っていたが、近年、機械学習を利用した効率的かつ正確な天体選出手法の開発や複数の異なる経度にもたがる望遠鏡ネットワークの構築等によりこれらは克服されつつある。

重力波においては、典型的には 100 平方度を超える位置決定精度の中、GW170817 の起源天体 AT2017gfo の排他的な同定 (Swope;1m, Subaru;8.2m)、高エネルギーニュートリノにおいては、IC170922A の起源天体 TXS 0506+056 の赤外線光度変動の即時検出 (Kanata;1.5m)・赤方偏移決定 (GTC;10m)、他のニュートリノ事象の起源天体としての潮汐破壊現象の発見 (ZTF;1.2m) など、様々な貢献が光赤外望遠鏡によってなされてきた。本講演では、これらの成果を振り返るとともに、今後のプロジェクトや新しい望遠鏡・装置を用いた展望についてまとめる。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Z122a ガンマ線バーストを用いた初期宇宙・極限時空探査計画 HiZ-GUNDAM

米徳大輔, HiZ-GUNDAM チーム

HiZ-GUNDAM は、高感度の広視野 X 線モニターによる突発天体の発見と、可視光・近赤外線望遠鏡による自律的な追観測を行なう衛星計画である。これにより、重力波や高エネルギーニュートリノと同期した突発天体の観測を行うことでブラックホールの形成や成長する瞬間の物理現象を理解し、また、第一世代星を起源とするガンマ線バーストの探査やそれを背景光とした初期宇宙の物理状態の観測を主要課題として掲げている。高エネルギー突発天体を利用して、2030 年代のマルチメッセンジャー天文学・時間領域天文学を強力に推進する計画である。

突発天体を監視する広視野 X 線撮像検出器は、micro pore optics と呼ばれる X 線結像光学系と 2 次元イメージセンサを用いたシステムを検討している。0.4–4.0 keV のエネルギー帯域において、0.5 ステラジアン程度の広視野を、 10^{-10} erg/cm²/s @ 100 sec 程度の感度で監視する。突発天体を発見した後、300 秒以内に衛星姿勢を変更し、近赤外線望遠鏡で追観測を行なう。望遠鏡の口径は 30 cm で、0.5–2.5 μ m の帯域において 5 バンドの同時測光観測を行い、マルチメッセンジャー天体や高赤方偏移 GRB を同定する。本講演では、(1) HiZ-GUNDAM 衛星計画が目指す科学、(2) 計画の状況、(3) ミッション機器検討状況を含めた進捗を紹介する。

[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](#)

Z123a 柔軟な連携観測を可能にする超小型 X 線衛星 NinjaSat

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), 内山 慶祐, 吉田 勇登, 大田 尚享, 林 昇輝, 重城 新大, 渡部 蒼汰, 青山 有未来 (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)

近年、超小型衛星の科学利用が急激に進んでおり、X 線分野に限っても米国の HaloSat や、中国の PolaraLight など科学的成果が上がり始めている。超小型衛星の運用上の大きな強みは、現代の大型 X 線衛星では実現の難しい、1 週間を超える長期観測を実現可能であるという点である。また、マルチメッセンジャー宇宙物理学では、突発天体の追観測が重要であり、迅速で柔軟性の高い観測を独自に行える超小型衛星との相性が良い。

NinjaSat は 2023 年 10 月に打ち上げ予定の日本初の超小型 X 線衛星であり、2–50 keV に感度を持つ 10 cm 立方の非撮像型ガス X 線検出器を 2 台搭載する。超小型衛星としては世界最大の有効面積をもち ($\sim 32 \text{ cm}^2 @ 6 \text{ keV}$)、全天で最も明るいさそり座 X-1 に対して $\sim 1000 \text{ cps}$ の光子統計を実現する。NinjaSat では超小型衛星の利点を活かし、大型衛星には観測の難しい明るい X 線源の可視光・電波と連携した長期的な多波長同時観測や、突発天体の追観測を行う。これに加えて、定常重力波の初検出に向けた X 線による連携観測も実施する。定常重力波探査では、中性子星の自転周波数でデータを畳み込むことによって S/N 比を劇的に改善することができるが、自転周波数は多くの場合未知な上に、質量降着率によって時間変動することが、その検出を難しくしている。そこで、定常重力波の有力候補であるさそり座 X-1 を占有観測し、自転周期の長期モニターを目指す。本講演では、NinjaSat の概要とこれまでの進捗、およびマルチメッセンジャー宇宙物理学への利用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](#)

Z124a CTA 大口径望遠鏡初号機によるブレーザーの観測：マルチメッセンジャー天文学時代のブレーザー観測戦略

Joshua Ryo Baxter (University of Tokyo), N. Álvarez Crespo (UCM, Spain), A. Arbet-Engels (MPI, Germany), A. Baquero Larriva (UCM, Spain), N. Biederbeck (TU Dortmund Univ., Germany), S. Caroff (USMB, France), G. Di Marco (IAC, ULL, Spain), V. Fallah Ramazani (RUB, Spain), D. Green (MPI, Germany), L. Heckmann (MPI, Germany), L. Nickel (TU Dortmund Univ., Germany), M. Nievas Rosillo (IAC, ULL, Spain), E. Pons (USMB, France), C. Priyadarshi (IFAE, Spain), D. Sanchez (USMB, France), M. Vazquez Acosta (IAC, ULL, Spain), 他 CTA-LST project

活動銀河核のうち、相対論的ジェットを視線方向から観測した天体をブレーザーという。多波長に跨がる高域な電磁波放射を行うブレーザーの放射機構は、簡易的なモデルにおいて、シンクロトロン自己コンプトン効果などによって説明されてきた。しかし 2017 年、ブレーザー TXS 0506+056 源と推定されるニュートリノ放射が IceCube によって検出されたことにより、ニュートリノフラックスを含めた多波長解析が初めて可能になり、Leptonic+Hadronic の混合モデルや複数の放射領域を仮定するモデルなど、様々な理論解釈が提案されている。こうした多波長によるブレーザー観測を今後さらに推進していくために、広範囲にわたる感度を持つ次世代地上ガンマ線望遠鏡アレイ Cherenkov Telescope Array (CTA) の建設が計画されている。本講演では、2018 年に竣工した CTA 大口径望遠鏡初号機が 2020–2022 年間に観測した Mrk 421, Mrk 501, 1ES 1959+650, 1ES 0647+250, PG 1553+113 といったブレーザーの観測結果を報告する。さらにマルチメッセンジャー天文学時代における、地上ガンマ線望遠鏡の特にブレーザーに対する観測戦略について議論する。

[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](#)

Z125a 地上ガンマ線望遠鏡で挑むガンマ線バーストのマルチメッセンジャー観測

寺内健太 (京都大学)

ガンマ線バースト (GRB) は宇宙最大の爆発現象であるが、中心エンジンの正体・粒子加速メカニズム・電磁波放射プロセスなど未だ多くの謎が未解明のままである。また、GRB のうち即時放射のガンマ線光度の低い種族である Low Luminosity GRB (LL-GRB) は系外宇宙線の起源候補天体であり、IceCube 実験によるニュートリノ観測結果を説明しうる天体でもあるので、この種族の性質を調べる上でマルチメッセンジャー観測が重要となる。特に GRB からニュートリノが検出されれば、それは GRB ジェット内でのハドロン加速を強く示唆することになる。さらに近年 GRB の物理を探索する新たな手段として、地上ガンマ線望遠鏡による VHE (数十 GeV 以上) ガンマ線観測が注目され始めている。本講演では主に LL-GRB からの GeV-TeV ガンマ線に焦点を当て、まずこれまでに現行の地上ガンマ線望遠鏡 MAGIC、H.E.S.S. で観測された比較的光度の暗い GRB (GRB 190829A, GRB 201015A) を取り上げる。そして、現行地上ガンマ線望遠鏡に比べてより広帯域・高感度・高角度分解能の特長を合わせ持つ次世代地上ガンマ線望遠鏡アレイ Cherenkov Telescope Array (CTA) による今後の LL-GRB の観測戦略について議論する。

[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](#)

Z126a 重力波観測ラン O4 における J-GEM の電磁波フォローアップ観測

笹田真人 (東京工業大学), J-GEM Collaboration

2015 年以来、重力波望遠鏡 LIGO および Virgo により多数の重力波が検出されている。特に 2017 年 8 月には連星中性子星合体からの重力波 (GW170817) が検出され、同時に電磁波での対応天体も発見された。連星中性子星合体における系の放射エネルギーやスペクトル、時間進化を電磁波で観測することで、合体後の爆発過程や元素合成過程について調べることができると、GW170817 以来のさらなる重力波源の電磁波対応天体の発見が求められる。日本の重力波源電磁波観測ネットワーク網 (J-GEM) は、重力波望遠鏡稼働初期から重力波の電磁波対応天体を検出・追観測することを目的に、多経度、南北半球に点在する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ってきた。重力波望遠鏡によって検出された重力波の到来確率領域での電磁波対応天体の同定を効率的に行うために、重力波の 3 次元確率マップ内にある候補母銀河を GLADE 近傍銀河カタログから選定し、銀河位置情報やその場所での重力波の到来確率、J-GEM の望遠鏡による観測状況をウェブ上で共有するシステムを開発している。そして 2019 年から 2020 年にかけて重力波観測ラン (O3) が行われ、56 のイベントが重力波望遠鏡により検出され、J-GEM は 23 のイベントに対してフォローアップ観測を行った。そのうち 10 の重力波イベントにおいて、重力波の検出後 0.5 日以内に観測を開始することに成功した。そして J-GEM 望遠鏡群では約 100Mpc 以内の距離にある連星中性子星合体に対して 500 平方度以内の重力波確率領域を持つ重力波イベントであれば、放射源の電磁波放射モデルを制限することが可能であることを示した。

2023 年 5 月から LIGO-Virgo-KAGRA による重力波観測ラン O4 が開始され、高感度で高位置決定精度の重力波観測が期待される。本講演では J-GEM による O3 の観測結果と O4 のフォローアップ戦略について議論する。

[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](#)

Z127a 木曾超広視野高速 CMOS カメラ Tomo-e Gozen による重力波フォローアップ観測

新納悠, 土居守, 酒向重行, 松林和也, 有馬宣明, 津々木里咲, 茂山俊和, 鹿内みのり (東京大学), 諸隈智貴 (千葉工大), 富永望, 大澤亮 (国立天文台), 田中雅臣 (東北大学), Tomo-e Gozen コラボレーション

Tomo-e Gozen は東京大学木曾観測所の 1.05m シュミット望遠鏡に搭載された広視野カメラである。Tomo-e Gozen は 84 枚の CMOS センサーによる計 20 平方度もの広い視野と短い読み出し時間を特徴としており、空の広い範囲の掃天観測に優れた性能を有する。2017 年の GW170817/AT2017gfo 観測以来となる重力波イベントの可視光対応天体発見を実現するため、木曾観測所では VOEvent アラートを用いた自動追観測システムを整備し Tomo-e Gozen の掃天観測性能を活かした重力波イベントの可視光対応天体探査を実施している。2019 年 4 月から 2020 年 3 月に行われた重力波検出器の第 3 期観測運用 (O3) では、重力波観測グループから発せられた 78 件の重力波イベントアラートの内 32 件に対して追観測を行った。O3 で発見された重力波イベントはいずれも GW170817 よりも距離が遠く、Tomo-e Gozen によるものを含めあらゆる追観測で有力な電磁波対応天体候補は見つからなかったが、Tomo-e Gozen によって広い誤差領域を迅速に追観測可能であることを実証できた。2023 年 5 月に始まった第 4 期観測運用 (O4) においても、我々は O3 に引き続いて重力波イベントの即時追観測を実施している。本講演では、O4 での木曾観測所の重力波フォローアップ観測体制を紹介し、O4 初期におけるフォローアップ観測実施状況を報告する。

[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](#)

Z201r 星間水素の精査で紐解く高エネルギー天文現象

佐野栄俊 (岐阜大学)

近年のX線・ガンマ線観測の躍進により、宇宙のさまざまな階層における高エネルギー天文現象が明らかになりつつある。超新星残骸を例にとると、X線分光観測では、プラズマの元素組成比、温度、視線速度などの物理情報に加え、宇宙線電子による非熱的放射が、十分な光子統計と空間分解能をもって調べられてきた。ガンマ線観測は、パイ中間子崩壊に起因するGeV帯域のスペクトルブレイクを特定し、TeV領域では超新星シェルを空間分解するに至っている。PeV領域のガンマ線も見つかり、宇宙線加速機構の全容解明に期待が高まっている。重要なことは、これら高エネルギー天文現象をより良く理解するためには、波長にして最大10桁ほど短いミリ波・センチ波で捉えられる星間水素—中性水素分子ガス(分子雲)と原子ガス(HI雲)—の分布や物理量の理解が欠かせない、ということだ。特にHI雲については、光学的に厚い成分の特定・精密定量が、宇宙線陽子起源のガンマ線を捉えるうえで本質的な役割を果たしていることがわかった。また、宇宙線電子起源の非熱的X線のみならず、熱的X線プラズマの起源を考えるうえでも、低温の中性星間水素を考慮した議論が至る所で展開され始めた。本講演では、電波天文学と高エネルギー宇宙物理学の融合研究がもたらした新しい地平を俯瞰するとともに、次世代大型低周波干渉計 Square Kilometer Array (SKA) 並びに next generation Very Large Array (ngVLA) 時代を見据えた研究課題や方策について、主に超新星残骸やそれに関連する高エネルギー天文現象に焦点を絞って議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Z202a A high-resolution radio study of the L1551 IRS 5 binary jets

A. Feeney-Johansson (The University of Tokyo/NAOJ), S. J. D. Purser (SKAO), T. P. Ray (DIAS), C. Carrasco-González, R. Galván-Madrid, S. Lizano, L. F. Rodríguez (IRyA-UNAM), A. Rodríguez-Kamenetzky (IATE, CONICET-UNC), J. Eisloffel (Thür. Landessternwarte), J. Lim (Univ. of Hong Kong), H. Shang, P. Ho (ASIAA), and M. Hoare (Univ. of Leeds)

Using observations with e-MERLIN and the VLA, together with archival data from ALMA, we obtain high-resolution radio images of the binary young stellar object L1551 IRS 5, covering a wide range of frequencies from 5 - 336 GHz, and resolving emission from the radio jet on scales of only ~ 15 au. By comparing these observations to those from a previous epoch, it is shown that there is a high degree of variability in the free-free emission from the jets of the two components. In particular, the northern component of L1551 IRS 5 shows a remarkable decline in flux density of a factor of ~ 5 , suggesting that the free-free emission of this source has almost disappeared. In contrast, the southern component shows an increase in flux density of a factor of ~ 2 . By fitting the spectra of the components, the ionized mass-loss rates of the jets are derived and it is shown that there is significant variability of up to a factor of ~ 6 on timescales of ~ 20 years. Using radiative transfer modelling, we also obtained a model image for the jet of the southern component of L1551 IRS 5 to help study the inner region of the jet in more detail.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Z203a 国内 VLBI 観測網による超新星爆発の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 (東京大学, ASIAA), 藤澤健太, 新沼浩太郎, 穂本正徳 (山口大学), 米倉覚則 (茨城大学)

重力崩壊型超新星爆発は、大質量星が進化の最終段階で起こす爆発現象であり、爆発前の親星からの恒星風による星周物質と、超新星爆発によるイジェクタとの相互作用によって生じた電波放射を伴うものがあることが知られている。したがって超新星爆発の電波観測からは親星の進化に関する示唆が得られるものの、その観測数は可視光観測に比べて著しく少ない。我々は、電波の検出可能性が高い近傍 (≤ 15 Mpc) で発生した重力崩壊型超新星爆発について、Japanese VLBI Network (JVN) の日立-山口 1 基線電波干渉計を用いた 6/8 GHz 帯でのフォローアップ観測を行っている。第一回の観測は 2023 年 2 月に実施し、過去に VLA など検出が報告されていた SN 2018ivc の最新のフラックスを測定し、また微弱な天体に対する位相補償の試験を行った。発表では上記の成果のほか、2023 年 5 月 19 日に近傍銀河 M101 (6.4 Mpc) で発見された II 型超新星爆発 SN 2023ixf についての JVN 観測と、所長裁量時間によって実施した VERA による 22/43 GHz 観測について紹介する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Z204a GMIMS-South による広帯域偏波データを用いた超新星残骸 G353-34 のファラデートモグラフィー解析

出口真輔 (国立天文台), Marijke Haverkorn (ラドバウド大学), Xiaohui Sun (雲南大学), Ettore Carretti (INAF), JinLin Han, XuYang Gao (CAS), and GMIMS team

超新星残骸 G353-34 は南天にある直径 10° ほどの巨大なシェル構造である。この構造は偏波でのみ見えるという特徴を持ち (Testori et al. 2004)、これまで詳細な研究はほとんどなされていない。GMIMS-South は Parkes 望遠鏡を用いた広帯域南天偏波サーベイ計画である (Wolleben et al. 2009)。単一鏡を用いるため広がった構造に感度があり G353-34 の観測に適しており、300-1800 MHz という広周波数帯域での観測であることからファラデートモグラフィー (以下、トモグラフィー) 解析に適している。今回は Parkes による S 帯偏波サーベイ S-PASS (Carretti et al. 2019) も組み合わせることで、300-2400MHz という超広帯域データを用いて G353-34 のトモグラフィー解析を行った。GMIMS は現在も進行中の計画であり、今回用いたデータには周波数空間においてデータが存在しない領域 (周波数ギャップ) が広く存在するため、従来のトモグラフィー解析法は一般に適用できない。本研究では QU-fitting と呼ばれるモデルフィッティング法を大規模に適用することで、大きな周波数ギャップのあるデータについてトモグラフィー解析を実現化した。結果として構造に付随する磁場に観測者を向いた一様な成分があることがわかった。本講演では、GMIMS、G353-34、ファラデートモグラフィーの概要と、G353-34 に付随する磁場構造、さらには本結果を用いた天の川大スケール磁場モデルの制限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](#)

Z205a マルチガウシアン分解アルゴリズムを用いた H I ガスの相分離

松月大和, 山本宏昭, 立原研悟 (名古屋大学)

分子雲の主成分である水素分子は中性水素原子雲 (H I 雲) の中で形成される。H I 雲は高温低密度の Warm Neutral Medium(WNM) 相から熱的に不安定な中間相の Lukewarm Neutral Medium(LNM) 相を経て、低温高密度の Cold Neutral Medium(CNM) 相へ進化し、CNM 内で水素分子が形成されると考えられている (Inoue & Inutsuka 2012)。これまでの研究では H I 雲のみで議論が行われてきたが、我々はダストや CO との比較により分子雲形成環境やメカニズムを明らかにすることを目指している。従来の H I 相研究の多くは吸収線観測に基づいて行われているが (e.g., Heiles & troland 2003), 近年では輝線の相分離の試みもなされている (e.g., Kalberla & Haud 2018)。本研究では H I 輝線の相分離により H I 相の空間分布を明らかにし、水素分子形成に直結する CNM の性質を調べた。

観測される H I 輝線は複数成分の輝線の和であり、複数のガウシアンに分解できる。我々は、多重解像度マルチガウシアン分解アルゴリズム ROHSA (Marchal+2019) を用いて HLCG92-35 領域の H I 雲の相分離を行った。HLCG92-35 領域は $(l, b) = (92^\circ, -35^\circ)$ 付近にある高銀緯雲であり、CO 形成途上の分子雲が存在する (Yamamoto+2003)。

本研究では ROHSA で設定する 5 つのパラメータについて 48 パターンの分離モデルを計算し、モデルが元データを再現できているか、相分離が適切かの観点からモデル選定を行った。得られたモデルから、CNM の周りを LNM が取り囲むように分布していることが分かった。また、HLCG92-35 領域での質量分率は CNM : LNM : WNM $\sim 45 : 43 : 12$ と CNM と LNM が大きく、Kalberla & Haud で示されたフィラメント状 H I 雲における質量分率とも類似していることから、Cold H I ガスが豊富であることが明らかになった。また CNM 相のクランプを同定し、物理量を求めたところ、その大半が質量 $2.0 M_\odot$ 以下で、線幅が 3.0 km s^{-1} 以下であった。

[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](#)

Z206a Anomalous Microwave Emission から探るダストの特性

梨本 真志 (東京大学), 服部 誠 (東北大学), Frédéric Poidevin (IAC/La Laguna 大学), Ricardo Génova-Santos (IAC/La Laguna 大学)

波長 1cm 付近にピークを持つ新たな電波放射成分が様々な環境下で観測されている。この anomalous microwave emission(AME) と呼ばれる正体不明の電波放射と遠赤外線ダスト放射に空間的な相関があることから、AME の放射源はダストであると考えられている。一方、どのダスト種がどのような放射機構で AME を放射しているのかは明らかとなっていない。センチ波天文学の進展に伴い高感度・高解像度データが集まることで、AME の起源解明、ひいては AME を通じたダスト特性の理解の深化が期待される。

AME 起源として、星間塵の大半を占めるアモルファスダストによる熱放射が提案されている。アモルファス物質の乱雑な結晶構造によって生じる二準位系 (TLS) の低エネルギー遷移を記述する TLS モデルに基づき、アモルファスダストの吸収断面積を求め、放射スペクトルをモデル化した。分子雲の観測データと比較したところ、AME を含めたセンチ波から遠赤外線のスペクトルをアモルファスダスト放射で説明できることが分かった。この結果は、AME の起源となり得るアモルファスダストは実験室で測定されるアモルファス物質には見られない低温熱物性を示す可能性があることを示唆する。一方、超微小ダスト粒子が高速回転することで生じる双極子放射 (スピニングダスト) もまた AME 起源の候補である。本講演ではアモルファスダスト放射モデルの詳細、及び観測との比較の結果を示すとともに、スピニングダストモデルとの比較について議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Z207b 低周波数電波観測による太陽～恒星・惑星科学

三澤浩昭, 土屋史紀, 熊本篤志 (東北大), 北 元 (東北工大), 小林秀行 (国立天文台), 寺澤敏夫 (東大宇宙線研), 岳藤一宏 (JAXA), 木坂将大 (広島大)

東北大では宮城・福島両県に低周波数帯 (メートル～デカメートル波帯) の地上電波観測設備を有し、太陽、木星等の太陽系内天体の長期継続的な観測を国内外諸機関とも連携し行うとともに、惑星探査ミッションを支援してきた。また、近年は共同研究によるパルサー他の系外天体のキャンペン観測や、同周波数帯の国内外の大型アンテナ施設 (名大 ISEE 豊川局やインド TIFR Ooty 局) と近未来の VLBI 研究観測の実現を目指し、試験観測を行ってきた。現在の観測装置は、デカメートル波帯は八木、ログペリタイプアンテナ、メートル波帯は開口面積 1000 平米クラスのパラボラアンテナ (飯館惑星電波望遠鏡:IPRT) であるが、近未来計画として、前者についてはアレイ・アンテナを用いた高感度化を、後者については広帯域化・高感度化に向けて設計・検討を進めており、デカメートル・メートル波帯を結合した電波観測系構築を目指している。また、このプロジェクトは、近未来の SKA 等大型低周波数アンテナ・アレイと組み合わせての協同観測研究へ供することも考えている。本講演では、東北大の低周波数帯観測設備とこれまでの科学観測内容を紹介するとともに、近未来の SKA との協同観測に向けた太陽～恒星・系内外惑星の科学研究の狙いと観測概要に言及する。

[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](#)

Z208b 基準天体としての Vela パルサー国内電波観測

寺澤敏夫¹, 岳藤一宏², 米倉覚則³, 小山友明⁴, 鈴木駿策⁴, 亀谷修⁴, 本間希樹⁴, 浅山信一郎⁵, 関戸衛⁶, 高橋慶太郎⁷, 久野晋之介⁷, 宮本祐介⁸, ¹ 東京大学宇宙線研究所, ² 宇宙航空研究開発機構, ³ 茨城大学, ⁴ 国立天文台, ⁵ SKA-Observatory, ⁶ 情報通信研究機構, ⁷ 熊本大学, ⁸ 福井工業大学

Vela パルサーは低周波帯電波で全天最強のパルサーであり、偏波面の時間変化は教科書的であるなど、基準天体としての資格を備えている一方、グリッチが頻発するという興味深い性質がある。Vela パルサーは Dec -45 度と南で、本州中央の緯度からは南中高度は 10 度以下と低いが、試験観測してパルスをつえた例があり (2011, 岳藤, 鹿島 1.4GHz 帯), 日本からも観測可能であることが示されていた。そこで、2022 年夏以後、石垣 VERA20m アンテナでの L バンド観測、茨城日立 32m アンテナでの C バンド観測、更に水沢 10m アンテナでの S バンド観測を行った。観測対象が Vela パルサーであることの確認は、(1) 石垣、水沢観測では平均パルス波形の検出、日立観測では平均パルス波形およびシングルパルスの検出、(2) 群遅延補正処理を行う際の分散量度 (Dispersion Measure) の最適値 ($\sim 67.97\text{cm}^{-3}\text{pc}$) が文献値と一致、(3) これらの観測で得られたパルス周期 (89.416938ms @ 23 Nov 2023) とその時間変化率 ($\sim 1.6 \times 10^{-13} \text{ s s}^{-1}$) が文献値と一致、の 3 点でなされ、これらをもって検出成功と結論した。講演ではこれまでの Vela パルサー国内観測の概要を紹介し、今後のパルサー偏波観測実験, “Pulsar Timing Array の反面教師” としてのグリッチ観測などの可能性について述べる。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Z209b 野辺山 45m 鏡による赤外線バブル N49 のアンモニア分子輝線観測

河野樹人 (名古屋市科学館/名古屋大), Chibueze James O (North-West University/University of Nigeria), Burns Ross A (理研), 面高俊宏, 半田利弘 (鹿児島大), 村瀬建 (岐阜大), 永山匠, 砂田和良 (国立天文台), 仲野誠 (大分大), 山田麟, 立原研悟, 福井康雄 (名古屋大)

スピッツァー宇宙望遠鏡による中間赤外線 $8\mu\text{m}$ の観測によって、銀河面にシェル状構造を持つ天体がおおよそ 600 個同定された (Churchwell et al. 2006)。中でも赤外線バブル N49 は、太陽系から距離 5.07 kpc の銀河面にある大質量星形成領域である。中心に O 型星があり、バブルの縁にクラス II メタノールメーザー源を伴う大質量原始星の存在が示唆されている (Deharveng et al. 2010)。我々、鹿児島大学を中心としたグループは、野辺山 45 m 望遠鏡を用いて、2014 年 12 月から 2015 年 6 月にかけて、波長 1.3 cm (静止周波数 23 GHz) のアンモニア分子輝線 $\text{NH}_3 (J, K) = (1, 1), (2, 2), (3, 3)$ のマッピング観測を行った。観測の結果、3 輝線全てを検出し、 $^{13}\text{CO } J=1-0$ で長さ ~ 20 pc、幅 ~ 3 pc のフィラメント状分子雲に沿って、3 つのアンモニアクラumpが分布することを明らかにした。 $\text{NH}_3 (2,2)/(1,1)$ の輝線強度比から求めた運動温度 (T_{kin}) は、バブルの縁に対応する中央のクラumpで局所的 (~ 3 pc) に高く $T_{\text{kin}} \sim 27$ K だった。これらの結果は、メタノールメーザー放射を伴う埋もれた大質量星からのフィードバックによって、高密度分子雲が ~ 3 pc の空間スケールで局所的に加熱された可能性を示唆している。さらに今回の観測結果と、FUGIN プロジェクトによって得られた $^{13}\text{CO } J=1-0$ の結果を比較したところ、視線速度の異なる 2 つのフィラメント状分子雲の重なった位置に、高密度分子雲が存在することがわかった。これは、先行研究 Dewangan et al. (2017) で提案されている 2 つの分子雲の衝突によってバブルの縁にある高密度分子ガスが作られ、そこで若い大質量星が形成されたシナリオを支持する結果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](#)

Z210b SPH シミュレーションの電波擬似観測に基づく渦状銀河磁場構造の解明

田嶋裕太 (総研大/国立天文台), 馬場淳一 (鹿児島大学), 町田真美 (国立天文台)

渦状銀河の磁場は、数マイクロガウスの平均磁場構造とそれと同程度の乱流磁場で構成されており、銀河での様々な現象に影響を与える重要な物理量である。これらの磁場は、主に電波連続波の偏波観測によって調べられており、銀河円盤の大局的な磁場は一般に渦状腕に沿っていることが知られている。しかし、観測量は視線方向上の個々の領域での偏波放射やファラデー回転が積分された値となっているため、視線方向上のどの位置でファラデー回転が生じたか、どの位置で偏波放射が生成されているかなどは分離することができない。そこで、我々は 3 次元の磁気流体 (MHD) 計算結果から観測量を導出することで、3 次元的な物理量分布を抽出する手法を検討してきた (Tashima et al. 2023)。MHD 計算では主に磁気回転不安定性と差動回転による巻き込み効果が磁場形成の重要な役割を担っている。そこで、本研究ではこれら以外の磁場形成要因の影響を調査するために、棒渦巻銀河の SPH シミュレーション結果 (Baba et al. 2017) を用いて電波帯擬似観測を行った。擬似観測に必要な磁場は SPH シミュレーションで得られた速度場を元に、誘導方程式を用いて算出した。

その結果、銀河中心部のバー内の星形成に起因するアウトフロー周辺で磁場が増幅され、エッジオン観測ではスターバースト銀河で良く見られるような X-shape 構造に近い構造が得られることが分かった。これは、銀河中心での星形成が銀河ハローの磁場の形成に大きく影響することを示す結果である。また、これまで行ってきた MHD シミュレーションの磁場構造と比較すると、SPH シミュレーションの擬似観測では円盤内のスパイラル磁場構造は得られなかった。これは誘導方程式を独立に解いたためであり、銀河円盤内の磁場形成には磁気回転不安定性による増幅と差動回転の巻き込み効果が重要であることを示している。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Z211b POSSUM を用いた重力レンズ銀河磁場探査

大前陸人 (総研大/国立天文台), 赤堀卓也 (国立天文台/SKA 天文台), 町田真美 (国立天文台)

銀河磁場は星間ガス雲の形成、宇宙線の伝搬等を通して、星形成や銀河進化に影響を与えている。ゆえに銀河磁場の進化の十分な理解が不可欠である。銀河磁場進化を理解するために宇宙の各年代での銀河磁場の性質の違いを知る必要があり、そのためには近傍銀河だけでなく遠方銀河の磁場観測が重要である。近年、重力レンズ効果を受けたクエーサーの偏波から遠方銀河の磁場構造が検出できると報告された (Mao ら 2017)。重力レンズ銀河の磁場観測は、電波シンクロトロン放射の観測では難しい銀河磁場の宇宙論的進化を探る将来の有力な方法として期待される。

現在、SKA 先行機を用いた偏波全天観測 (POSSUM) が始まっており、重力レンズ効果を受けた偏波源の検出が期待される。しかしながら、POSSUM では重力レンズ天体を空間分解できない可能性がある。我々は理想的なデータの場合には QU-fitting 法を適用することで、空間分解能以下の重力レンズ像の RM の平均や分散を切り分けが可能であることを示した (2023 春季年会)。本講演では、POSSUM pilot1 survey の領域で可視光重力レンズ天体を探査したところ、9 天体から電波放射が見られ、その中の 1 天体は偏波が検出された。そこで、先の手法を適用したところ、ファラデー深度 (FD) 成分は 1 成分検出された。今回、重力レンズ像と同数の偏波構造が検出されなかった理由としては、1) FD 空間上の分解能以下の差であること、2) 観測周波数帯で偏波解消を受けている、3) 一つの視線のみ偏波解消を強く受けている、などの原因が考えられるが、磁場強度や分散に制限をつけることが可能である。本講演では、本結果を用いて POSSUM の full survey でどの程度観測できうるのかも議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Z212b センチ波帯電波観測データを用いた銀河団内部磁場構造の推定

酒見はる香 (鹿児島大学), 赤松弘規 (QUP/KEK), 町田真美, 藏原昂平 (国立天文台), 大前陸人 (総研大/国立天文台)

宇宙の標準理論の検証は、我々の宇宙が誕生してから現在までどのような進化を辿っているかを明らかにするために必要不可欠である。近年、この標準理論のパラメータの 1 つである宇宙の構造形成の進化度合いを表す宇宙論パラメータ S_8 が、宇宙マイクロ波背景放射の測定結果から得られる遠方宇宙での値と可視光での重力レンズ効果を利用した観測から得られる近傍宇宙での値とで一致しないことが問題となっている (Miyatake ら 2023)。この不一致はこれまでにない宇宙の新しい物理の必要性を示唆していると考えられるが、まずはさらに他手法を用いて求めた値でもこの不一致が見られるのかどうかを確認する必要がある。

他手法としては近傍宇宙の場合、銀河団の持つ全エネルギーから推定するというものがある。銀河団の熱的成分のエネルギーと運動エネルギーは X 線等の観測から決定が可能であるが、磁気エネルギーに関しては銀河団磁場の構造や乱流状態などが不明であることから不定性が残っている。銀河団磁場の調査には銀河団を構成する構造からの偏波放射の検出が必要であるが、観測装置の感度限界のためこれまで十分な偏波情報が得られている天体が一部に限定されていた (Bonafede ら 2010)。しかし新たな観測装置によって高感度なサーベイ観測が実現され、従来より数倍から 10 倍程度多くメンバー銀河からの偏波の検出が可能となっている (Knowles ら 2021)。

我々は SKA 先行機で観測された銀河団について偏波解析を行った。さらに観測で得られた銀河団内の RM 構造と簡易な銀河団モデルから予測される RM 構造と比較し、銀河団内部の磁場構造の推定を複数の銀河団について行い、各銀河団の磁場構造の類似点や相違点を調査した。本講演ではこれらの結果について報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Z213b CIZA1410 中心部に見られる電波構造の起源

赤堀卓也 (NAOJ), 大木愛花 (東京大学), 藏原昂平 (NAOJ), 赤松弘規 (KEK)

近年の高感度なセンチ波・メートル波の観測は、銀河団中に広がったシンクロトロン電波放射の多彩な姿を明らかにし、銀河団中の高エネルギー宇宙線や磁気乱流を含めた磁場の存在を確かなものになっている。これらの非熱的成分は、衝突・合体を経て成長してきたとする銀河団形成の体系にはまだ十分に取り込めておらず、非熱的成分がいつどこにどのように存在するかを観測的究明は極めて重要である。その際、宇宙線や磁場を銀河間空間に供給している AGN ジェットとの関係も注意して見ていく必要がある。

銀河団 CIZA J1410.4-4246 (CIZA1410) は、ガスのスロッシングが X 線観測から示唆されている近傍銀河団であり、中心部に広がった電波放射を有するが、電波ローブなのか電波ミニハローなのか、その起源については過去の低解像度の観測では分からなかった。そこで我々はその起源に迫るため、uGMRT(P 帯) と ATCA(SCX 帯) の高感度・高分解観測を行い、MeerKAT(L 帯) のアーカイブデータも組み合わせた。その結果、AGN コアを中心に 8 の字様の特徴的な形状を初めて明らかにした。これはローブと解釈するほうが自然だが、その形状の外側にまで淡く広がって放射が見られる点はミニハローも混在している可能性を示唆する。さらに我々は、銀河団ガスのスロッシング構造の境界面に沿い、中心部と不連続な強度で連なる北東方向の構造を発見した。そこでは冪指数に折れ曲がりが見られ、また北東構造およびスロッシング境界から離れる方向に急峻化していた。もしこれが電波ローブから逃げた電子が境界面でゆるく再加速され、そして加齢しているのであれば、スロッシング境界でも粒子が加速するという興味深い示唆を与える。衝撃波統計加速が難しければ、Abell3376 で議論されたコールドフロントでの磁場の増幅や磁気リコネクションを考える必要があるだろう。

[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](#)

Z214b 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 II: 高周波化を見据えた広帯域給電部の検討

抱江柊利, 長谷川豊, 山崎康正, 小川英夫, 大西利和 (大阪公立大学), 新沼浩太郎 (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が、構造的な問題からその周波数は最大 20 GHz 程度に留まる。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。我々はこれまで 6–23 GHz 帯での VLBI 同時観測を目的として QRA を開発しており、シミュレーション設計において全体域で −19 dB 以下の反射損失となる有力な解が得られている (長谷川他 2020 年秋季年会)。このモデルは光学系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ホーン中を伝搬し、出力の同軸ケーブルへと給電される。それらのインピーダンス整合を考慮すると、リッジの先端が 0.5 mm 程度になることから同軸芯線の径を 0.2 mm 程度まで小さくする必要があり、高周波化する上での最大のネックとなる。給電部を同軸ではなくマイクロストリップライン (MSL) に変換する手法が報告されており (山田他 2015 年電子情報通信学会)、構造の比較的単純さから高周波化に適すると考えた。そこで我々は同軸モデルと同帯域である 6–23 GHz 対応の QRA-MSL 変換を開発し、同軸モデルとの比較を行っている。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Z215b VERA 搭載用 6-18GHz 帯広帯域受信システムの開発: u-VERA 計画

新沼浩太郎 (山口大学), 赤堀卓也, 砂田和良, 小山友明, 増井翔 (国立天文台), 關谷尚人 (山梨大学), 長谷川豊, 山崎康正, 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 (湯山ほか 2023 年春季年会 V104a) や広帯域給電システム (長谷川ほか 2020 年秋季年会 V123a, 山崎ほか 本年会) の開発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。RFI は国際協力で計画が進んでいる SKA や ngVLA といった大型低周波電波干渉計においても大きな懸念となっており、本計画は日本が同周波数帯で先駆的な研究を進めるための足掛かりになると期待される。本講演では同計画の概要および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](#)

Z216b メートル波天文学を開拓する月面天文台構想

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), 大西利和, 山崎康正, 松本健 (大阪公立大学), 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), 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)

2030 年代に日本のアルテミス計画への参画を念頭に、我々は JAXA 国際宇宙探査センターの計画検討の呼びかけに応じ、JAXA 宇宙科学研究所が中心となり関連機関および大学等の研究者が協力し、月面からの天体観測 (月面天文台構想) を含む3つの主要な科学課題とフィジビリティ検討を追究してきた。月面天文台を構想にするにあたり、電離層や電波障害 (RFI) も含め地上の厳しい環境下では観測することができないメートル波帯 (観測周波数 50MHz 以下) に着目し、我々はこれまで日本天文学会の年会などを通じて月天文台構想に関する科学目的 (2022 年秋 U09a)、概念設計とフィジビリティ検討 (2022 年秋 V132a, V133a, 2023 年春 V138a) について報告を行ってきた。これまで検討してきた科学目的の主要項目は、大きく分けて「宇宙物理」、「惑星科学」そして「月の科学」の3つ分野にまたがる。この観測周波数帯域 (1-50MHz) は、宇宙物理では星形成や宇宙再電離の影響を受けず純粋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)」の検出そして「メートル波帯での天の川銀河」を、惑星科学では「巨大木星型の系外惑星で発生するオーロラからの電波」や「恒星電波バースト」などを通じて「系外惑星のハビタブル環境」の調査を、そして月の科学では「月の電離層」、「月の地下構造」そして「月のダスト環境」を観測的に研究できる潜在能力を秘めている。本講演では、月面天文台構想の中で、これまで検討してきたこれらの科学目的について整理し紹介する。

[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](#)

Z217r 2つの次世代電波干渉計で解き明かす超大質量ブラックホール進化

高橋慶太郎 (熊本大学)

多くの銀河の中心に位置する超大質量ブラックホールがどのように形成され進化してきたかは未解明の謎である。銀河は宇宙の構造形成のプロセスの中で衝突合体を繰り返しており、合体した銀河の中で2つの超大質量ブラックホールは天体との重力的相互作用によって中心部に移動して連星を組み、重力波の放射によって角運動量を失って合体すると考えられている。2つの次世代電波干渉計 SKA (Square Kilometre Array) と ngVLA (next-generation Very Large Array) はこのシナリオの検証において革新的な役割を果たすと期待されている。

超大質量ブラックホール連星の軌道長半径が 1 mpc 程度になると周波数ナノヘルツ、波長数 pc の重力波の放射が効率的になる。このような低周波重力波は、多数のミリ秒パルサーを長期間精密に計測するパルサータイミングアレイによって検出することができる。現行のパルサータイミングアレイにより初検出が見込まれ、SKA では背景重力波のスペクトルや異方性の測定、個々の重力波源の検出が可能になる。これにより超大質量ブラックホール連星がどこにどれだけあり、宇宙の歴史の中でどのように進化してきたかがわかると期待される。

一方、合体した銀河の中で2つの超大質量ブラックホールが連星を組むには星や分子雲などとの重力的相互作用が重要になる。特に連星の軌道が 1 pc 程度になると相互作用する天体が不足してそれ以上縮まず、重力波放射や合体に至らないという”final parsec problem”が存在する。ngVLA は他の電波望遠鏡との VLBI により、赤方偏移 0.1 程度までの銀河の中心領域の中性水素ガスをパーセクスケールで分解できる能力を持つ。これにより銀河中心領域でのガス降着やダイナミクスが明らかになり、超大質量ブラックホールの連星形成の様子を理解できるようになると期待される。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Z218a 低周波 21cm 線と遠方銀河や初期揺らぎとの関係

吉浦伸太郎 (国立天文台), 箕田鉄兵 (清華大学), 高橋智 (佐賀大学)

初代星誕生以前の宇宙暗黒時代や、初代星が誕生した宇宙の夜明け期は、星形成やその後の銀河進化を理解する上で重要な時代である。当時の宇宙には中性水素ガスが豊富にあったため、水素原子から放射される中性水素 21cm 線は遠方宇宙を探る有力な観測量である。当時の中性水素ガスの電離度や状態は初代星や宇宙初期の銀河の放射を受けて進化するため、21cm 線の解析から当時の天体の性質を明らかにすることができる。本研究では、人工ニューラルネットワークを元に、初期揺らぎの性質や天体のパラメータを入力に持つ宇宙再電離以前の 21cm 線のエミュレータを開発した。訓練データには、既存の 21cm 線のシミュレーションコードを用いて計算したさまざまなモデルの 21cm 線グローバルシグナルを用いた。作成したエミュレータは 21cm 線グローバルシグナルを数 mK 程度の誤差で高速に予言することができる。さらに、作成したエミュレータを用いて EDGES 望遠鏡による 21cm 線グローバルシグナル低周波電波観測データ (50MHz-100MHz) の解析を行った。銀河系シンクロトロン放射などの前景放射や系統誤差のモデル、複数のノイズモデルなどを組み合わせ、ベイズ統計に基づくモデル比較を行った。今回の解析で前景放射には 6 次以上の多項式が必要であることや理論的に予測される以上のノイズの存在が示唆された。また、各パラメータの事後分布から、21cm 線シグナルの確率分布を推定したところ、21cm 線のシグナルは解析の際の仮定等に依り、21cm 線の吸収線の有意な検出には至らなかった。本講演では今回の解析で得られた 21cm 線への制限に加え、JWST で報告された遠方銀河光度関数との関係も議論する。

[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](#)

Z219a 銀河団 Abell3322 中の Head-tail 銀河を使ったプラズマ診断

藏原 昂平, 吉浦 伸太郎 (国立天文台), 赤堀 卓也 (国立天文台/SKAO), 大村 匠 (宇宙線研究所/国立天文台), 酒見 はる香 (鹿児島大学)

Head-tail 銀河は一般的に銀河団内部に存在しており、活動銀河核 (AGN) ジェットと銀河団ガス (ICM) の強い相互作用によって、歪んだ電波構造を持つ。AGN ジェットによって励起される層流や乱流は、宇宙線電子の加速や磁場の増幅に重要な役割を果たすことが期待され、最近の低周波電波観測では Head-tail 銀河から供給される宇宙線電子の再加速現象の間接的な証拠が報告されている (e.g., Chiebueze et al.2021)。このように、銀河団とその構成銀河の相互作用は銀河団・銀河の進化や構造形成だけでなく、プラズマの物理特性を評価するために重要であることが示唆されているが、そのような相互作用は観測的に十分に理解されていない。

我々は、銀河団と構成銀河との相互作用を調査するため、銀河団 Abell3322 を対象としてインドとオーストラリアの電波干渉計である upgraded Giant Metrewave Radio Telescope (uGMRT) と Australia Telescope Compact Array (ATCA) による高感度・高空間分解能観測を行った。Abell3322 は 2022 年に公開された MeerKAT Galaxy cluster legacy survey (Knowles et al.2021) にて、銀河団外縁部に Head-tail 銀河が見つかった。我々の観測では uGMRT を使って 300–500 MHz、ATCA では 4000–6000, 8000–10000 MHz の電波を観測しており、さらに MeerKAT の 908–1656 MHz のアーカイブデータを組み合わせて、超広帯域データの解析を行った。その結果、銀河団外縁部に存在する Head-tail 銀河を複数の周波数で検出することに成功し、また同時に偏波の検出に成功した。本講演では検出した Head-tail 銀河に着目し、それぞれの磁場や宇宙線電子の特徴から、銀河団ガスとの相互作用について議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Z220a 銀河系中心部の磁気浮上ループ形成機構の解明: MeerKAT による HI 観測結果

榎谷玲依 (国立天文台/岐阜大学), James Chiebueze (North-West University), 酒見はる香 (鹿児島大学), 町田真美 (国立天文台), 立原研悟, 山本宏昭, 福井康雄 (名古屋大学)

一般に星間空間では磁場が凍結しているため、多量のガスが集中し高密度である銀河系中心部では磁場強度が高い。そのため、磁場は、銀河中心部の進化において本質的な役割を果たす。近年の磁気流体シミュレーションによれば、磁気エネルギーはパーカーループを通じてガスの運動エネルギーに変換される (Kakiuchi+18)。そこで本研究では、HI, CO の詳細観測を通して、銀河系中心部に発見された磁気浮上ループ天体候補 (ループ 1, 2; Fukui+06) の形成起源を明らかにすることを目指す。

ループ 1, 2 は、パーカーループに特徴的な位置速度分布を示すため磁気浮上ループ天体であると考えられているが、軽い HI ガスだけでなく重い分子ガスまでもがループ状に浮き上がった構造をしており、その形成起源は不明である。このような分子ガス構造を形成するもっともらしいシナリオとして、本研究では、1. 磁気浮上が超音速運動であるため生じる衝撃波圧縮によって HI ガスから分子ガスが形成されたというその場形成モデルと、2. 磁気浮上の際に薄く広がった分子ガスを掃き集めたとする掃き集めモデルを提案する。上記モデルの切り分けを行うには、現状の低分解能の観測データ (ATCA+Parkes; $2' \sim 6.5$ pc) では不可能である。そこで、今回我々は、MeerKAT を用いて角度分解能 $20'' (=0.7$ pc)、合計 4 時間の HI 観測を実施した。本講演では、高分解能データから新たに見つかった HI 詳細構造や、HI ガスと分子ガス分布の比較を通し、ループ 1, 2 の形成起源について議論を行う。近年、爆発的星形成銀河 NGC253 の中心部でも磁気浮上ループ候補天体が報告されており (Konishi+22)、銀河中心部の進化を理解する上で磁気ループの形成起源の解明は重要な役割を果たすであろう。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Z221r 日本における cm 波電波天文学の現状と将来計画

藤沢健太 (山口大学)

1960 年代の黎明期から日本の電波天文学はミリ波の開拓に力を注ぎ、1970 年に 6m ミリ波望遠鏡、1982 年には野辺山 45m 電波望遠鏡が完成し、2010 年代の ALMA へと発展した。一方、cm 波の電波天文学でも VLBI を中心にして多くの研究が行われてきた。1997 年に打ち上げられたスペース VLBI 衛星 VSOP は、日本の VLBI 天文学に AGN の研究グループをもたらした、これが現在の EHT までつながっている。2000 年代に始まった VERA は位相補償に特化することで、電波観測による銀河系動力学という分野を開拓した。

この流れの中から、鹿児島、岐阜、苫小牧、山口、茨城、鹿島、白田など、cm 帯の電波望遠鏡を VLBI 観測網として組織化する動きが生じて、日本 VLBI 観測網 JVN が構築された。JVN・VERA の観測網は、隣国の観測網と結合して東アジア VLBI 観測網 EAVN にまで至っている。

日本の cm 波電波望遠鏡がもたらした成果の一つは 6.7 GHz メタノールメーザーの研究である。これまでに強度変動・バーストするメーザーの発見、励起機構の解明、大質量星周囲の回転降着円盤の発見などの成果が得られている。茨城局が既に 10 年間行っているメタノールメーザーの大規模モニター観測は世界のメーザー研究を牽引している。連続波の観測でも AGN、星形成領域、X 線連星など多様な研究が行われている。

近年、改めて cm 波帯の電波観測に注目が集まっている。パルサー観測による重力波検出や、より低周波数の観測による宇宙再電離や宇宙磁場など全く新しい研究分野を開拓する期待も生じ、さらに ALMA の成果を踏まえて cm 波帯へ進むという新しい展開なども生じてきた。このような背景において、低周波数帯の大型干渉計画 (SKA1 および ngVLA) への参加が電波天文コミュニティで広く議論され推進されている。

[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](#)

Z222a 日本国内における 327MHz 帯 VLBI について

岳藤一宏 (JAXA 白田), 徳丸宗利 (名古屋大学), 三澤浩昭 (東北大学), 土屋史紀 (東北大学), 北 元 (東北工業大学)

これまでに名古屋大学の豊川電波観測所や東北大学の飯館電波観測所、蔵王電波観測所のアンテナを干渉計としてもちいた 327MHz 帯の VLBI 実験を複数回実施し、フリンジを得ることに成功している。また、2021 年には飯館とインド Ooty 局との約 6500km の基線長での国際 VLBI 実験に成功した。通常、ギガヘルツ帯の VLBI 実験では水素メーザーなどの超安定な基準信号系が必要となるが、観測周波数帯が低いと GPS 基準でフリンジを得ることが可能であると実証した。また、観測局同士の時刻差を得るために事前・事後で Crab パルサーを観測し、ランダムに発生するジャイアントパルスを受信したタイミングから時刻差を得て VLBI のデータ処理に活用する工夫を取り入れている。本講演ではそれらの結果について報告するとともに、2022 年度に飯館局と蔵王局で実施した、Drift-scanning 方式の VLBI 実験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](#)

Z223a 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 I: カセグレンアンテナへの応用

山崎康正、長谷川豊、抱江柊利、小川英夫、大西利和 (大阪公立大学)、新沼浩太郎 (山口大学)

次世代大型電波干渉計における広帯域フィードの一つとして、比帯域 100 % 以上の帯域を持つクアッドリッジアンテナ (QRA) が検討されている。広い周波数での観測が必要な場合 (例えば ALMA では 35–950 GHz)、導波管を用いた比帯域 60 % 以下の受信機を複数用意するのが通常であるが、近年、センチ波望遠鏡への応用に向けて、QRA の反射、ビーム対称性、交差偏波といった課題を克服する研究が急速に発展し、比帯域 100 % を超える受信機が SKA-Mid (0.35–1.05 GHz) や ngVLA (1.2–3.5, 3.5–12.5 GHz) などで実用化されつつある。国内における VLBI ネットワークの受信機広帯域化の重要性も増しており (e.g. 新沼ほか 本年会)、QRA は更なる広帯域化への鍵となる。しかし、従来の QRA は非常に広帯域な伝送特性を持つ一方で、ビームサイズ 50 deg 程度の広いビームを放射するため、VERA、野辺山 45m 鏡、茨城/山口 32 m アンテナのようなカセグレンをベースとした光学系でそのまま使用するのは困難であった。そこで我々はカセグレン系とのカップリングが広帯域に良いコンカルホーン (ビームサイズ 10 deg 以下) を放射器、QRA を同軸給電部として使用することで、比帯域 100 % に渡って開口能率が高く、低反射なフィードシステムを提案する。6–23 GHz 帯 (比帯域 117 %) での VLBI 同時観測を見据えて電磁界シミュレーションにより QRA を最適化し、準光学の式を用いて設計したコンカルホーンを合わせた系を解析したところ、全体域に渡って反射損失 ~ 20 dB 以上、開口能率 0.5–0.7 であることを確認した。これにより国内に多く存在するセンチ波帯カセグレンアンテナ用受信機の帯域を 3 倍以上拡張することが期待でき、QRA を高周波化する研究 (抱江ほか 本年会) を進めることでミリ波帯受信機へ応用出来る可能性がある。

[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](#)

Z224a ngVLA 6 m アンテナの光学系の最適化

今田 大皓, Alvaro Gonzalez (国立天文台)

Next generation Very Large Array (ngVLA) は NRAO が主導するプロジェクトであり、VLA, VLBA の後継となる干渉計である。244 台の 18 m アンテナと 19 台の 6 m アンテナとから構成される予定であり、1.2–116 GHz を観測する。6 m アンテナの初期設計は Chalmers ら (2020) によって 18 m アンテナをスケールダウンして得られている。我々は、得られていた 6 m アンテナの設計を光学性能という観点でさらに向上させることに取り組んでいる。

性能向上の際に鍵となる技術は入射光線と焦点面 (またはホーン開口面) の光線の間隔を定める写像関数である。ngVLA 6 m アンテナに必要な写像関数は、天球から入射する光線の等間隔をホーン中心付近で狭い間隔に、周縁部で広い間隔に変換する関数である。写像関数を調整することで、ガウシアンビームの基本モードをフィードとした際に、開口能率が 91 % 以上、スピルオーバー能率が 97.8 % 以上、交差偏波のピークゲインが主偏波のピークゲインに対して -41 dB 以下という設計解を見つけた。本講演では、ガウシアンビームではなく、計画されている axially corrugated horn に対してさらなる性能向上を目指し、得られた暫定的な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](#)

Z301r The LIFE initiative - atmospheric characterization of terrestrial exoplanets in the mid-infrared with a large space-based nulling interferometer

Sascha Quanz (ETH Zurich)

The LIFE initiative has the goal to develop the science, the technology and a roadmap for an ambitious mid-infrared nulling interferometer space mission. Such a mission will allow humankind to detect and characterize the atmospheres of hundreds of nearby extrasolar planets - including dozens that are similar to Earth - by probing the objects' thermal emission spectra. As underlined in the "Voyage 2050" recommendations from the ESA Senior Committee, the direct detection of the thermal emission of temperate terrestrial exoplanets is given very high scientific priority in ESA's future science program and is considered as a candidate theme for a future L-class mission. By now, the LIFE initiative is supported by more than 300 international colleagues from various ESA member states, the US, Japan and Australia. In this talk I will demonstrate the unique discovery space for a large mid-infrared exoplanet mission, in particular for the detection and characterization of terrestrial exoplanets similar to Earth and Venus in the Solar System and the search for atmospheric biosignatures. Synergies between LIFE, ground-based efforts with the ELTs, and future ESA and NASA missions will be mentioned and a short overview of ongoing technology developments and related challenges will be given.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Z302a Revealing Habitable Planet Formation via High-Resolution Infrared Observation

Hiroshi Kobayashi, Taro Matsuo (Nagoya University)

Observation of planet formation events around temperatures of ≈ 300 K is necessary to reveal the origin of Earth-like habitable planets, which is allowed by mid-infrared observations with milliarcsecond-scale spacial resolution. In the late stage of terrestrial planet formation, Earth-like planets are believed to be formed from collisions among Mars sized protoplanets due to a long-term orbital instability in several 10Myrs. This formation scenario is consistent with the formation ages of Earth and Mars inferred from the Hf-W chronometer. Such collisions between protoplanets produce a large amount of fragments, whose thermal emission is bright enough for observation (Genda et al. 2015). Such a fragment cloud forms characteristic small structures with time evolution. Therefore, 0.1 au-scale observations reveal collisional events in habitable planet formation. In addition, high-resolution observations are effective for planetary systems after completion of planet formation. In the solar system, asteroidal collisions and/or cometary activities form dust grains, which drift inward via the solar radiation to be zodiacal dust. The clumps of drifting zodiacal dust are formed around planets due to their gravities, as seen around Earth (Ueda et al. 2017). Observations of such exo-zodi clumps may reveal hidden faint planets as well as the "activity" of collisions and comets in the planetary systems. High-resolution and high-contrast ($< 10^{-5}$) observations are required for the detections of exo-zodi clumps, which will be achieved by future IR-interferometers, such as Large Interferometer for Exoplanets (LIFE).

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Z303a 宇宙赤外線干渉計が解明する漸近巨星分枝星の星風駆動機構

上塚貴史, 宮田隆志 (東京大学), 松尾太郎 (名古屋大学)

漸近巨星分枝 (Asymptotic Giant Branch; AGB) 星は、小中質量星の後期進化段階である AGB 段階の星である。これらの天体は固体微粒子 (ダスト) に富んだ星風による顕著な質量放出を示し、星間ダストの主要な供給源の一つとして宇宙の化学進化の一端を担う。その星風の駆動機構を理解することは、宇宙の化学進化の理解、ならびに恒星進化の理解につながる重要な課題である。星風の駆動機構として、中心星脈動による恒星大気ガスの浮上・浮上ガスからのダスト形成・ダストにかかる放射圧による星風加速の組み合わせという描像がシミュレーションに基づく理論的研究から示唆されているが、これを検証する観測が求められている。

星風駆動機構の解明には、関連する現象が起きる恒星半径の数倍以内の領域を空間分解することが有用である。そのためには距離 100 pc の近傍天体であっても、10 ミリ秒角程度の空間分解能が必要となる。このような空間分解能は可視光補償光学観測・電波干渉計観測で達成されてきており、恒星近傍のダスト、およびその材料分子の空間分布が観測されてきている。しかし星風駆動機構の解明の決め手として、恒星近傍ダストの化学組成情報が不足しており、これを与える 10 ミクロン帯を中心とした中間赤外線の超高空間分解能分光観測が求められている。

宇宙赤外線干渉計は、このような観測を実現できる。その例である Large Interferometer for Exoplanets (LIFE) 計画では、数ミリ秒角の空間分解能を持った分光観測を、波長 4-20 μm 、波長分解能 $R \sim 300$ で実施予定であり、必要となる観測が実現できる。編隊飛行を駆使して十分な UV coverage が実現できれば、星周ダストの非対称分布も考慮した星近傍ダストの化学組成分布を明らかにでき、星風駆動機構が解明できると期待される。本講演では、漸近巨星分枝星の星風駆動機構研究における宇宙赤外線干渉計への期待について述べる。

[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](#)

Z304a Large Interferometer For Exoplanets (LIFE):Phase-space synthesis decomposition for planet detection and characterization

Taro Matsuo (Nagoya University), Felix Dannert (ETH Zurich), Romain Laugier (KU Leuven), Sascha P. Quanz (ETH Zurich), Andjelka B. Kova (University of Belgrade), and LIFE collaboration

Large Interferometer for Exoplanets (LIFE) is a future mission concept to characterize thermal light from habitable planet candidates around Sun-like stars. However, one of the main challenges for achieving this ambitious goal is a high-precision stability of the optical path difference (OPD) and amplitude over a few days for planet detection and up to a few weeks for in-depth characterization. Here we propose a new method called phase-space synthesis decomposition (PSSD) to shorten the stability requirement to minutes, significantly relaxing the technological challenges of the mission. Focusing on what exactly modulates the planet signal in the presence of the stellar leak and systematic error, PSSD prioritizes the modulation of the signals along the wavelength domain rather than baseline rotation. Modulation along the wavelength domain allows us to extract source positions in parallel to the baseline vector for each exposure. The sum of the one-dimensional data converts into two-dimensional information. Once the planets are detected, the modulation signals while rotating the baseline can be estimated and separated from the stellar leak through the singular value decomposition without prior assumptions for each spectral element. In the numerical simulations, we found that PSSD could shorten the duration of the stability to a few minutes and relax the requirement on the stability of OPD by a factor of 10.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Z305a 宇宙赤外線干渉計ミッション SEIRIOS 実現に向けた地上テストベッドの構築

近藤宙貴 (東京大学), 原健介 (名古屋大学), 松尾太郎 (名古屋大学), 五十里哲 (明星大学), 中須賀真一 (東京大学)

宇宙赤外線の観測は、宇宙空間の様々な天体の情報を知るための手段として長い間利用されている。赤外波長領域は大気に吸収される波長範囲が広く、また大気からの熱放射もあるため宇宙からの観測が望ましい。しかしながら単一宇宙望遠鏡のサイズには物理的な制約があり、より高い解像度の画像を取得しようとしても限界が存在する。このような問題を解決する手段として、宇宙空間において宇宙機の編隊飛行を利用して直接干渉計を構成するという方法があり、宇宙機編隊飛行による宇宙干渉計の構築が長い間検討されてきた。一般的にはこの編隊飛行には厳しい相対位置・姿勢制御要求が課されるが、近年この要求を緩和するために瞳収縮分光の干渉計への応用が提案され、これをベースに、3 機の超小型衛星によるミッション SEIRIOS が実現に向けて検討されている。この宇宙赤外線干渉計ミッション SEIRIOS を実現するために、必要となる光学機器を搭載した地上テストベッドを構築した。実際の衛星サイズやミッションのスケールよりも小さい規模ではあるものの、瞳収縮分光器などの必要な機器はすべて組み込まれたテストベッドを構築しており、実際に検出器上で干渉縞の観測に成功している。このテストベッドを利用し、ミッションに課される要求を理論と実験の両方の側面から検証していき、最終的には干渉縞を安定して検出するために光路長の高精度な制御実験を行う予定である。本発表では、SEIRIOS の概要を述べるとともに、SEIRIOS の実現の要である瞳分光干渉計の試験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](#)

Z306a 超々小型衛星フォーメーションフライトによる超大型望遠鏡：人工衛星制御・通信技術

野田 篤司 (OurStars), 都築 俊宏 (自然科学研究機構 国立天文台), 小原 直樹 (自然科学研究機構 国立天文台), 松田 有一 (自然科学研究機構 国立天文台), 満田 和久 (自然科学研究機構 国立天文台), 山口 和馬 (東京都立大学 理学研究科), 森下 弘海 (東京都立大学 理学研究科), 江副 祐一郎 (東京都立大学 理学研究科), 村上 尚史 (北海道大学 工学研究院)

太陽系外の人々が住めるような表層環境を持つ地球に似た惑星 (第 2 の地球) や宇宙で最初の天体 (初代星) の観測には、口径数十 km と言う今までは何桁も違う光学望遠鏡が必要になる。我々は、1 枚鏡を使用するのではなく、宇宙空間に浮かべた多数の超々小型衛星それぞれに回折格子を搭載し、フォーメーションフライト (編隊飛行) させ、全体として巨大な望遠鏡として機能する方法を検討している。

超々小型衛星同士は、観測波長に相当するオーダーの精度で精密に位置制御する必要があるが、如何に無重力な宇宙空間とは言え、高度な制御技術が必要となる。従来の衛星フォーメーションフライトは、ヒドラジンなどの化学燃料を搭載し、小型のロケットエンジンであるスラスタを用いて行っていたが、それでは、各衛星が複雑で高価になる。そこで、非常に重力傾斜の小さい太陽〜地球系のラグランジュポイント 2(L2) のハロー軌道に多数の衛星を置き、衛星間を電磁石を用いて、フォーメーションフライトを行う方法を検討している。

ここでは、L2 ハロー軌道における重力傾斜とそれを電磁石により制御技術、L2 ハロー軌道からの観測可能領域解析、取得した観測データを地球に送るために多数衛星をアクティブフェーズドアンテナとして使用する通信技術について、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](#)

Z307a 遠赤外線強度干渉計に必要なフォーメーションフライトの条件

松尾 宏 (国立天文台)

テラヘルツ波および遠赤外線領域の高解像度観測を目的として、強度干渉計を用いた画像合成技術の開発を進めている。本講演では、強度干渉計を将来のスペース干渉技術に用いるために必要となるフォーメーションフライトの条件について議論する。

強度干渉計は 1950-1960 年代に用いられ、Hanbury-Brown & Twiss の干渉計として知られ、量子光学の基礎となる。我々は遠赤外線的光子バンチを用いた遅延時間測定により画像合成の実現を目指している。強度干渉計の長所は、宇宙空間からの低背景放射環境を生かした高感度観測が可能なこと、VLBI のように独立した望遠鏡を軌道に配置できること、素子アンテナの数に制限がないこと、データ処理がオフラインで可能なことである。このため、長基線の遠赤外線干渉計に有利である。精度の良い画像合成にのためには適切な基線配置 (UV 平面) と精度の高い望遠鏡の相対位置 (精度 $1\ \mu\text{m}$) と相対時刻 (精度 $10\ \text{fs}$) の計測が必用である。

校正天体の明るさと望遠鏡口径、観測帯域により観測光子数が決まり、天体を用いた遅延時間の校正精度を見積もることができる。観測周波数 $1\ \text{THz}$ ($300\ \mu\text{m}$) で $1\ \text{Jy}$ の天体を口径 $10\ \text{m}$ の望遠鏡で帯域 $100\ \text{GHz}$ で観測すると、積分時間 $100\ \text{秒}$ で $1/10$ 波長の精度で遅延時間測定 (位相測定) が可能である。一方で、冷却望遠鏡に必要な太陽同期極軌道あるいは太陽-地球の L2 軌道での軌道擾乱の解析により、相対位置精度が確保できる時間が制限されると考えられる。また、天体の構造に応じて基線配置を最適化するためには、軌道上での望遠鏡配置を制御するための検討が必要である。

[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](#)

Z308b 強度干渉計実験と今後の展望

小関知宏, 丹羽綾子 (筑波大学), 江澤元, 松尾宏 (国立天文台)

我々は、テラヘルツ波および遠赤外線領域の高角度分解能観測を目的として、強度干渉計を用いた画像合成技術の開発を進めている。本講演では、将来のスペース干渉技術に用いるために必要となる強度干渉計の光学実験について議論する。

我々が研究を進めている強度干渉計は直接検出器を利用できるためヘテロダイン受信機と比較して量子雑音による制限を受けない高感度の観測が可能である。そのため、将来大気による感度の制限を受けない宇宙に強度干渉計を展開することで高感度・高角度分解能の観測が期待される。これまで、強度干渉計による画像合成の実証試験を行うために周波数 $500\ \text{GHz}$ 、口径 $76.2\ \text{mm}$ 、基線長 $10 - 50\ \text{cm}$ の光学システムを開発してきた。強度干渉計の画像合成は、直接検出器信号による強度の相互相関をとることで得られる遅延時間を導入することで (u,v) 平面上を埋めることが必要である。しかし、強度相関から振幅の複素ビジビリティを正確に求められるかどうかは課題である。我々はそのために光学試験を始めており、その成果について報告する。

また、今後の展望としてスペース干渉計につなげるために、極地域観測第 X 期 6 か年計画で南極ドームふじ基地から画像合成の実証試験を行う予定である。これは南極新ドームふじ基地に口径 $30\ \text{cm}$ の望遠鏡を 2 台設置し、強度干渉計での観測を目指している計画であり、本講演ではこちら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](#)

Z309b フォーメーションフライト赤外線干渉計 SEIRIOS の像再生手法に関する研究

小川巧海 (東京大学), 近藤宙貴 (東京大学), 松尾太郎 (名古屋大学), 五十里哲 (明星大学), 船瀬龍 (東京大学), 中須賀真一 (東京大学)

フォーメーションフライト (以下 FF とする) を用いた宇宙干渉計は基線長を長くとれるため、打ち上げ時などの物理的制約によって口径が制限される単独衛星の宇宙望遠鏡と比較して、空間分解能の理論上の限界が高い。SEIRIOS は FF 宇宙干渉計計画の一つであり、FF 干渉計で従来課題となってきた相対位置姿勢の制御精度要求の高さを、瞳収縮分光干渉計の技術を用いることによって緩和することで、超小型衛星での宇宙赤外線干渉計の構築を目指している。この計画が実現すると、天文観測の高解像度化に加えて、太陽系内天体の撮像を行う際に、従来の探査機を送り込む手法と相補的に地球周回軌道からも直接撮像を行う、という新たな観測手法の実現につながる。

本研究は、この SEIRIOS ミッションの理学的目標の一つである、木星の衛星エウロパ表面の水蒸気間欠泉の検出をケーススタディとしている。SEIRIOS に搭載する干渉計の特徴として、基線長制御精度の要求が緩和されている点のほかに、複数波長での複素鮮鋭度を同時に観測できるという点が挙げられ、これは一度の観測あたりに得られる情報が多いことを表す。ここから、短時間の観測で像再生が行える手法や目標の波長方向変化を捉えることが可能な手法といった複数の手法が考えられ、これらを比較・検証するために観測を模擬するシミュレータを構築した。手法の比較・検証の結果、観測する全波長での像が得られる手法を用いると観測時間が長くなる一方で、水蒸気の検出に目的を絞る、水蒸気による特定波長の光の吸収を検出するのであれば、観測時間を抑えることができることが示された。

[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](#)

Z310b 中間赤外線宇宙干渉計 LIFE における系外惑星・系外衛星の検出可能性の検討

太田明日夏 (名古屋大学), 藤井友香 (国立天文台), 松尾太郎, 小島礼己 (名古屋大学)

系外惑星の観測における直接撮像法は、大気組成などの惑星の重要な情報を得ることが可能であり、今後惑星形成・進化の研究を進めていくにあたって重要な観測方法である。しかし、冷たい/温暖な温度の系外惑星の直接撮像は、従来の観測では行われていなかった。これは、冷たい/温暖な温度に感度をもつ中間赤外線・遠赤外線において、高い空間分解能を持つ望遠鏡がこれまで実現しなかったからである。しかし、2040 年代の将来計画である中間赤外線宇宙干渉計 LIFE は、最大基線長 300 m による高い空間分解を実現し、中間赤外線領域での直接撮像を実現する可能性がある。本研究では、LIFE における系外惑星の検出可能性の検討を行なった。木星サイズの惑星を仮定したところ、LIFE で検出できる惑星の温度の下限値は、主星が太陽型星の場合は ~ 240 K、M 型星の場合は ~ 150 K であることがわかった。またカタログデータを用いて、既に検出された惑星の中で LIFE で検出可能な系外惑星の数を調べたところ、270 個以上あることがわかった。

さらに、冷たい (~ 150 K) 木星型惑星の周りにおける系外衛星の存在を調査できる可能性があると考え、その方法として (1) 衛星食を用いる方法、(2) 衛星に大気がある場合にその吸収線を検出する方法の 2 つを検討した。特に、冷たい木星型惑星の周りに潮汐力で ~ 300 K 程度に温まった地球サイズの衛星がある場合は、中間赤外線においては衛星からの熱放射の方が強くなる場合があり、衛星検出の可能性が十分考えられる。そのような設定で衛星の検出可能性を検討した結果、(1) の方法で食を検出するのに必要な観測時間は、主星が太陽型星の場合は ~ 1.8 h、M 型星の場合は ~ 1 h であることがわかった。(2) の方法でオゾンの $9 \mu\text{m}$ 付近の吸収線を検出するのに必要な観測時間は、主星が太陽型星の場合は ~ 450 h、M 型星の場合は ~ 190 h 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](#)

Z311b 次世代宇宙赤外干渉計に向けた分光撮像法の提案

小島礼己, 松尾太郎 (名古屋大学)

衛星のフォーメーションフライトで構成する宇宙赤外干渉計は、地上干渉計に比べ多くの観測メリットをもたらす。1 つめに、フォーメーションフライトでは、望遠鏡の役割を担う衛星間の距離 (基線長) を、複数台の望遠鏡間の距離が固定された地上干渉計よりも長くとれるため、より高い空間分解能で撮像を行うことができる。2 つめに、宇宙空間での観測は、地上観測のように天体からの到来電磁波を吸収するような地球大気がないため、観測帯域幅の制限がない。しかし、従来の撮像法においては、空間的に広がった光源に対して基線長を変化させながら U-V 空間を埋めていくため、基線長が長くなるにつれて、より観測時間が必要になり観測効率が低下する。以上を踏まえ、私たちは、宇宙空間から取得できる観測波長の連続性に着目して、基線長を変化させずに回転させるだけで天体の輝度分布の二次元情報を復元できる像再生法を提案する。具体的には、基線長を変化させた時に得られる複素ビジビリティと同等の情報を分光データから取得する。そして、その複素ビジビリティのフーリエ変換から得られる天球面上での各天体の位置情報からそれぞれの天体のスペクトル情報を抽出することができる。提案手法は、高い空間分解能かつ、長い積分時間が要求される遠方天体に対して有効であると期待される。本講演では、本手法の概要及び、利点と不利点について議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Z312b 超々小型衛星フォーメーションフライトによる超大型望遠鏡：科学要求と望遠鏡コンセプト

都築 俊宏, 小原 直樹, 松田 有一, 満田 和久 (国立天文台), 山口 和馬, 森下 弘海, 江副 祐一郎 (東京都立大学), 村上 尚史 (北海道大学), 野田 篤司 (OurStars)

太陽系外に人類が住めるような表層環境を持つ地球に似た惑星 (第 2 の地球) は本当に存在するのだろうか? 宇宙で最初の天体 (初代星) はどのように形成されたのだろうか? これらの問いに答えることは現代天文学における究極の目標である。地球から 10 pc 以内にある第 2 の地球候補の表層環境や、初期宇宙の初代星へのガス降着による円盤構造を直接空間分解して調べるには、口径 75 km 以上の超大型の光学宇宙望遠鏡が必要とされる。しかしながら、現在実現および計画されている光学宇宙望遠鏡の口径に対して 3 桁大きい 75 km の超大型光学宇宙望遠鏡の実現は技術的難易度が高く、既存の望遠鏡の発想にとらわれないブレークスルーが必要である。

そこで我々は、「超々小型衛星の電磁石による編隊飛行」と「回折光学素子」の組み合わせによる大口径望遠鏡の実現を検討している。75 km 口径を持つ 1 枚の光学素子を宇宙空間に打ち上げることは将来においても現実的ではないと予想されるため、宇宙空間で複数の光学素子を編隊飛行させつなぎ合わせることで大口径を実現する。使用する光学素子は、表面形状を高精度な非球面にする必要があるレンズやミラーではなく、表面構造により光を曲げる回折光学素子を使用する。回折光学素子は表面構造処理の費用は必要であるが、基板は厚み数 mm の平面基板でよいので、多数の打ち上げを考えた際の研磨費用、搭載時の格納性、重量の観点で有利である。

本発表では、科学要求から導かれるシステム仕様および回折光学素子を使用した望遠鏡概念をおさらいした後、光学システムを実現する上での課題のひとつである位置・姿勢精度要求について、現在の検討状況を報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Z313b ラウエレンズを用いた MeV ガンマ線望遠鏡の実現に向けて

田中孝明, 鈴木寛大 (甲南大学), 佐藤寿紀 (明治大学), 山口弘悦 (ISAS/JAXA), 内田裕之 (京都大学)

天文学において、あらゆる波長の電磁波による観測が行われているが、その中で、最も到達感度が低いのが MeV ガンマ線であろう。この帯域の感度を向上させるべく、国内外で、様々な技術を用いたコンプトンカメラの開発が進んでいる。コンプトンカメラと相補的な役割を担うであろう観測技術が、ラウエ回折を利用したガンマ線集光系「ラウエレンズ」である。ラウエレンズは MeV ガンマ線の観測感度を飛躍的に向上させると期待できるが、比較的狭いエネルギー帯域のための集光系しか作れないという欠点がある。これを逆に利用して、超新星爆発における $^{56}\text{Ni} \rightarrow ^{56}\text{Co} \rightarrow ^{56}\text{Fe}$ の崩壊チェーンからの 847 keV の輝線や、銀河面から検出されている 511 keV の輝線など、あらかじめ決めた輝線に特化して感度を持たせる。そして、例えば、コンプトンカメラによって見つかった有望な天体を、ラウエレンズを用いたガンマ線望遠鏡で追観測することで、上に挙げたような輝線の検出はもちろん、輝線幅やドップラー速度などの情報を得ることも可能になるであろう。ラウエレンズのもう一つの欠点は、数 10 m から 100 m の長い焦点距離が必要であるという点である。そこで必要となるのが、集光系衛星と焦点面検出器衛星の距離を焦点距離に保ちながらフライトさせるフォーメーションフライトの技術である。本講演では我々が実現を目指すガンマ線望遠鏡のコンセプトを紹介するとともに、今後始めようとしている開発の計画について発表する。

[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](#)

Z314r 超精密 FF 技術の研究

河野 功 (宇宙航空研究開発機構)

近年注目を浴びているフォーメーションフライト (FF) 技術は、複数の宇宙機が相互の相対位置を正確に保つことで、宇宙機のサイズと言う物理的な制約を打破して、長焦点距離の望遠鏡や超長基線の干渉計などの様々な最先端ミッションが提案されている。宇宙工学委員会の FF WG では、長焦点距離の X 線望遠鏡である FFAST や重力波望遠鏡である DECIGO の実現を目指して超精密 FF 技術の研究を行ってきた。我が国は 1998 年に ETS-VII 「おりひめ」「ひこぼし」により、世界最高性能の RVD (ランデブードッキング) / FF 技術を実現した。FF WG の技術ロードマップは世界最高性能の ETS-VII の技術をベースにしている。X 線望遠鏡 FFAST は、X 線スーパーミラー (集光部) の焦点位置に SD-CCD (撮像部) を cm 程度の精度で位置させる必要があり、ETS-VII よりも高精度であるが、ETS-VII の技術の延長線上にある。しかし、重力波望遠鏡 DECIGO ではサブ μm 精度で干渉計を構成するプルーフマスを制御する必要があり、宇宙機本体を制御する宇宙機のバス系と、干渉計を構成するミッション機器の観測データを利用した協調制御が必要になる。まず、宇宙機のバス系により cm 程度の精度でプルーフマスを安定させてレーザ干渉計を捕捉した後、サブ μm の安定度でレーザ干渉計を維持する必要がある。このためプルーフマス間で異なる相対重力加速度を推定して低減し、干渉計を維持するとともに、プルーフマスと筐体の空隙の距離を計測して、これを慣性センサとして利用して太陽輻射圧等を推定し、プルーフマスを筐体の中央に位置させるために宇宙機のバス系の制御を行うドラッグフリー (DF) 制御を行うことで超精密 FF 制御を実現する。本講演では、FF WG の技術ロードマップ、干渉計のための超精密 FF 制御技術と技術実証衛星 SILVIA 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](#)

Z315r 宇宙重力波干渉計で期待されるサイエンス

瀬戸直樹 (京都大学)

LIGO、Virgo、KAGRA といった地上に建設された重力波観測装置は 10-1000 Hz 周辺の重力波に感度を持ち、中性子星や ~100 太陽質量以下のブラックホールからなる連星の合体を多数報告しており、現在第四期観測を実施しているところである。また、これらに並行する形で Einstein Telescope (ET) 等の地下の将来計画も検討が進んでいる。

一方、地球上の重力波干渉計では計測することが困難な低周波領域の重力波を狙って、LISA、Taiji、TianQin、B-DECIGO を始めとする宇宙重力波干渉計の計画が提案され、2030 年代以降の打ち上げを目指して開発が進められている。重力波の周波数が低くなると、より大きなブラックホールを含む連星や白色矮星連星など新たな重力波源が観測対象に入ってくる。本講演ではこれらの宇宙重力波干渉計の計画を簡単に紹介し、期待されるサイエンス成果について説明する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Z316a 宇宙重力波望遠鏡 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 B-DECIGO は、宇宙機 3 機の編隊飛行によって構成されたレーザー干渉計である。0.1-10Hz 付近の重力波を観測し、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、初期宇宙からの重力波観測を目指す将来計画 DECIGO のための前哨ミッションの役割も持ち、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](#)

Z317a 編隊飛行を用いた宇宙重力波望遠鏡におけるバックリンク干渉計の開発

大熊悠介 (東京大学), 杉本良介 (総研大), 小森健太郎 (東京大学), 長野晃士 (LQUOM), 和泉究 (JAXA)

B-DECIGO などの宇宙重力波望遠鏡では人工衛星間でのレーザー光の共振を用いる Fabry – Perot 型が提案されている。従来提案されている方法では単一のレーザー源からの光を異なる二本の基線での共振に用いており、その条件で重力波の検出に必要な三台の人工衛星間全てでの共振を維持することが求められていた。そのためには 100 km に及ぶ基線長を 10^{-9} m の精度で制御することが必要であり、三台の人工衛星間でこの精度の編隊飛行を実現することは Fabry – Perot 型の達成における大きな課題であった。この課題を克服するために提案された BLFP (Back-linked Fabry – Perot interferometer) では、一台の人工衛星に二基のレーザー源を搭載し、また共振を実現するために人工衛星の位置の制御でなくレーザー光の周波数の制御を用いる。この手法を用いると従来要求されていた高精度での人工衛星の編隊飛行が必要なくなり宇宙重力波望遠鏡の実現に近づくことができる。一方で二基のレーザー源を用いるため、レーザー周波数雑音を除去するのに従来使われていた同相雑音除去法を用いることができなくなった。そのため BLFP では共振器入射前の信号をモニタし二基のレーザーのビート光を取得することで事後的にこれを除去するという手法を考案、採用している。現在、実験により BLFP の技術実証を進めており、基線長 46 cm の二本の共振器を用いた実験ではレーザー周波数雑音を約二桁低減できることを確認した。本講演では BLFP のシステムを説明した後、現在までの技術実証の成果を報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Z318a 次世代天体観測ミッションを実現する精密フォーメーションフライト試験装置の開発

岩城拓弥, 横田健太郎 (宇宙航空研究開発機構), 長野晃士 (LQUOM), 森かれら (法政大学), 小森健太郎 (東京大学), 和泉究, 伊藤琢博 (宇宙航空研究開発機構)

フォーメーションフライト技術は相対距離・姿勢関係を一定に保持しながら複数の宇宙機を飛行させる技術である。制御精度が相対位置 $1 \mu\text{m}$ を下回る超精密な編隊飛行技術を獲得することで、衛星間距離を 100 – 1000m に離れた赤外線干渉計や 100 – 1000km に離れた重力波望遠鏡 (DECIGO/B-DECIGO) などの巨大な観測システムを宇宙空間に構築でき、天文・宇宙物理学をはじめとする複数の宇宙科学分野にブレークスルーをもらすと期待されている。このような複数宇宙機のフォーメーションフライトによる観測システムの実現には、単体宇宙機で実現される従来のミッションにはない多種多様な制御が要求される。そのため、これらの制御要求を事前に地上で試験・検証するプラットフォームを構築することが必要不可欠である。JAXA では、将来のフォーメーションフライトによる高精度天体観測ミッションを見据えた、超精密フォーメーションフライトの地上試験装置の開発を行っている。これまでの開発過程において、その地上試験装置の鍵となる宇宙空間の衛星運動を超精密に模擬するモーション装置系を構築し、衛星間の相対距離を測定するレーザ干渉計 (理学機器を模擬) と超精密フォーメーションフライトアルゴリズムのプロトタイプを用いた μm 級制御実験を実施した。本発表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](#)

Z319a ガンマ線観測編隊飛行衛星 FF-LAGRAN 実現のために必要な技術について

望月 友貴, 関根 啓貴 (東京大学), 小高 裕和 (大阪大学), 五十里 哲 (明星大学), 川端 洋輔, 船瀬 龍, 中須賀 真一 (東京大学)

宇宙における MeV (Mega electron Volt) ガンマ線の観測は、重元素の合成や銀河系内における物質循環等の重要課題に迫ることを初めとした様々な宇宙現象の解明に重要である。しかしながら、地上からの宇宙線の観測は、大気外乱や宇宙線の大气吸収などの理由で困難となっている。

MeV ガンマ線を高感度に観測する機器として、液体アルゴンを検出器媒体とするコンプトンカメラが提案されている。従来よりも大容量かつ高密度の検出器媒体となる液体アルゴンを用いることで、従来の 1000 倍以上の感度での観測を目指すことが可能となる。加えて、コンプトンカメラ前方に符号化開口マスクを配置することで、MeV ガンマ線の角度分解能を向上させることができる。

そこで本発表では、MeV ガンマ線の感度を向上させるために提案した編隊飛行衛星 FF-LAGRAN (Formation Flying Liquid Argon Gamma Ray AstroNuclear telescope) の概念設計結果について発表する。FF-LAGRAN は、SEL2 (第 2 太陽-地球ラグランジュ点) のハロー軌道に挿入された 2 つの衛星で構成されている。FF-LAGRAN は SEL2 ハロー軌道をとって、突発天体現象が生じたときに指向方向を即座に変更することが要求されているため、SEL2 ハロー軌道でのフォーメーションフライング衛星の最適な軌道設計を行うことが不可欠である。また、ガンマ線の到来方向を高角度分解能で計測するために、衛星間の相対位置・姿勢の決定精度要求も高い。その上、液体アルゴンを用いているためコンプトンカメラ内部の温度を 80 K から 84 K に保つことも求められる。そこで、本発表では、上記で述べた技術的要求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](#)

Z401r 恒星磁気活動と惑星環境をつなぐ汎恒星惑星進化学をめざして

横山央明 (京都大学), 堀田英之 (名古屋大学), 鈴木建 (東京大学), 木村智樹 (東京理科大学), 藤井友香, 前原裕之 (国立天文台), 平野照幸 (アストロバイオロジーセンター)

惑星大気はその進化の中で、中心恒星からのプラズマ流や紫外線X線の影響を強く受けており、それらは惑星大気の消失や散逸、ひいてはハビタビリティを規定しうる。しかし、その影響を探るには、恒星の磁気活動と、惑星大気の応答とを、進化段階と多様性のもとに恒星・惑星系を包括的に理解することが必要であるが、これまでは互いの研究結果を表面的に参照するにとどまっている。本講演の共同発表者をはじめとする私たちは、このような状況を打開すべく、太陽恒星太陽圏・惑星・系外惑星を横断した研究の枠組みを作るべく取り組んでいる。この枠組みでは、恒星の磁場形成、放出過程、惑星電磁気圏・惑星大気の加熱散逸過程など、未解決の重要課題を連結的に取扱い、恒星圏進化と惑星大気散逸やハビタブルゾーン付近にある惑星の大気の可能性を議論する。そしてこれらを融合し、恒星・太陽と多様な惑星を包括した「汎恒星惑星学」という新しい研究分野の開拓を目指す。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Z402r 恒星物理学の諸問題の現状と展望

堀田英之、飯島陽久 (名古屋大学)、庄田宗人 (東京大学)、行方宏介 (国立天文台)、増田賢人、鷲ノ上遥香 (大阪大学)

太陽程度からそれより低質量の恒星の主系列段階では、恒星内部の外側に乱流的な対流層を持ち、磁場を生成し続けている。そこで生成された磁場は、表面へと浮かび上がり一部は黒点を作り出す。恒星の磁場は、コロナ加熱・恒星風・恒星フレア・コロナ質量放出など多様な活動現象の源となり、系外惑星を含む恒星圏を形成している。近年では、恒星観測の中からいくつかの重要な傾向が見えてきている。1つ目は、恒星の自転とX線の関係である。恒星のX線放射は自転が速くなるほど強くなることが知られているが、ある程度の自転周期で飽和する。2つ目は、恒星の年齢と自転周期の関係である。恒星の自転周期は年齢とともに長くなることが知られているが、ある程度の年齢でその傾向が停止することが知られている。これら2つは未解決問題であり、その解決には恒星磁場の構造やその強度を正しく理解することが必要不可欠であると考えられている。恒星磁場の詳細を観測的に明らかにすることは現状では困難が多く、理論的なアプローチが重要である。本講演では、これらの観測事実の現在の理解、今度の理論的研究の展望についてまとめる。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Z403a 恒星 XUV 観測を用いたコロナ加熱モデルの検証

庄田宗人 (東京大学), 行方宏介 (国立天文台)

コロナ加熱問題は実に 80 年にもわたって研究され続けている問題であるが、未だに太陽物理学の最重要未解決問題の一つとして広く認識されている。未解決問題とはいふものの、少なくとも理論的にはコロナ加熱問題は着実に進んでおり、特に太陽表面の熱対流と磁場の相互作用が作り出すエネルギーを熱源としてコロナを加熱するのだろうというモデル、いわゆる「熱対流駆動コロナ加熱モデル」が完成しつつある。実際熱対流駆動コロナ加熱モデルはいくつもの成功を収めており、近年では直接数値計算によるコロナ加熱の実現や、コロナから放射される太陽 X 線・極端紫外線 (XUV) 放射スペクトルの定量的再現も可能になった。特に後者は熱対流駆動コロナ加熱モデルを他の恒星へ適用することで恒星 XUV 放射を理論的に制限できる可能性を示唆するが、そのためには熱対流駆動コロナ加熱モデルが太陽以外の恒星についても有用かを検証しなければならない。

そこで我々は太陽型星の XUV スペクトルを理論と観測で比較することで、熱対流駆動コロナ加熱モデルの普遍性の検証を行った。XUV 放射は特に長波長側で強い星間吸収を受けてしまい観測が難しいが、EK Dra, π^1 UMa, κ^1 Ceti の三つは太陽の近傍に位置する若い太陽型星であり、短波長 XUV (< 36 nm) や磁場強度、コロナ元素組成がよく調べられている (故に絶好の検証対象である)。我々はこれらの恒星について、星の磁束量とコロナ金属量を観測値に整合的に置き換えた上で熱対流駆動コロナ加熱モデル計算を実行、得られた XUV スペクトルを観測と比較した。その結果、比較的活動性が低い π^1 UMa, κ^1 Ceti については観測を非常に良く再現できたものの、非常に活動的な EK Dra は観測に比べ理論スペクトルが有意に低いことがわかった。我々の結果は熱対流駆動コロナ加熱モデルは磁気活動が非常に強い恒星については成り立たず、別の物理機構を考慮する必要を示唆する。

[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](#)

Z404a 太陽型星や低質量星における磁場と XUV 放射の経験則の理解

行方宏介 (国立天文台), 鳥海森 (ISAS/JAXA), 野津湧太 (コロラド大), Vladimir Airapetian (NASA), 庄田宗人 (東大), 渡邊恭子 (防衛大)

太陽型星 (G 型星) や低質量星 (K/M 型星) からの X 線と極端紫外線 (EUV) の放射 (以下、XUV) は、恒星のコロナ加熱の特性を理解し、さらに系外惑星大気への主星の影響を理解する上で不可欠である。しかし長波長 EUV (36-92 nm) は強い星間吸収を受け観測できず、全 XUV スペクトルを観測で特徴付けることは困難な課題である。先行研究では、X 線や遠紫外線 (FUV) の強度や星の年齢を通し、EUV 放射を間接的に推定する手法が多くなされた。これらは宇宙からの高価な観測が必要であり、さらに物理的解釈には至らないという難点がある。そこで、我々は太陽観測データを活用し、地上観測が可能な「恒星表面の総磁束量」を通した XUV 放射の理解および予測に取り組んできた。まず、太陽における XUV の複数の輝線の強度と総磁束量の冪乗則に物理的解釈を与え、その冪乗則が活動的な太陽型星に拡張できることを示した (Toriumi & Airapetian 2022, Toriumi et al. 2022)。さらに、太陽の経験則の拡張により、磁場観測から、太陽型星の広域の XUV/FUV スペクトルを 1 桁以内の精度で再現できることを示した (Namekata et al. 2023)。ただし本検証では、再現精度が 1 桁程度しかない波長帯 (例: 4~10 nm) があることが課題であり、恒星フレアの混入やコロナ元素組成の大小が原因として挙げられる。また、K/M 型星にも我々の経験則が適用できるかは未検証である。今後我々は、これらの課題解明に向け、太陽フレアでの XUV スペクトルの経験則の構築や、元素組成に対する恒星 XUV 強度の依存性の調査を行うことを計画している。また、K/M 型星に関して、アーカイブデータでの経験則の検証も行う。これらは、30 年代の紫外線衛星計画 LAPYUTA での恒星惑星研究の基盤となる。本講演では、一連の研究成果と将来展望を紹介する。

[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](#)

Z405a 音波固有振動 p モードにより生じるアルフベン波は太陽・恒星コロナ加熱に寄与するのか？

国吉秀鷹（東京大学）、庄田宗人（東京大学）、Richard Morton（Northumbria University）、横山央明（京都大学）

彩層プラズマのジェットであるスピキュールは音波衝撃波と遷移層との相互作用により生じることが知られている。スピキュールの水平方向振動はアルフベン波の観測指標として広く用いられており、コロナの波動加熱説の調査に欠かせない現象である。近年の観測によって周期 100 秒以下の「高周波」アルフベン波はコロナ加熱に十分なエネルギーを輸送する可能性が指摘されており、そのため高周波スピキュール振動には多くの注目が集まっている。高周波アルフベン波は粒状斑の典型的な時間スケール（5-10 分）を大きく下回るため粒状斑の水平方向擾乱による駆動は不可能であり、衝撃波形成による非線形効果でカスケードした高周波音波が彩層でアルフベン波にモード変換して生じた可能性が指摘されている。音波は粒状斑だけでなく音波固有振動である p モードによっても発生するため、p モードも高周波アルフベン波生成に寄与している可能性がある。そこで本研究では 2 次元輻射磁気流体シミュレーションを用いて p モード入り・無しの 2 種類の計算を行うことで、p モードが高周波スピキュール振動に無視できない寄与をするか否かを検証した。その結果生じたスピキュール振動の性質は、p モード有りの場合が無しの場合に比べて振動振幅、速度ともに 1.5 倍ほど大きくなった。以上の結果は p モードが高周波スピキュール振動に無視できない寄与を示している。本講演では p モード由来のアルフベン波について、太陽や太陽型星のコロナ加熱への寄与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](#)

Z406a 金属量を考慮した恒星コロナループの一般化スケーリング則

鷲ノ上遥香 (大阪大学), 鈴木建 (東京大学)

恒星の金属量は、大気中の輻射によるエネルギー損失に影響することから、恒星コロナの性質を決める主要要素の 1 つである。近年の観測によって恒星特性量の違いに由来する多様な恒星磁気活動が明らかになりつつあるものの、金属量の違いがコロナの物理状態に与える影響を調査する試みはほとんど無く、これを考慮した恒星大気モデリングも未着手のままであった。本研究では、Rosner+1978 によって導出された太陽コロナループの物理関係式 (RTV スケーリング則) の拡張として、様々な金属量を持つ恒星コロナループのスケーリング関係を準解析的に導出した。さらに、コロナループ加熱の磁気流体数値シミュレーションを金属量を変えた複数の場合で実施し、一般化スケーリング則の検証およびコロナの性質に対する金属量の影響を調査した。我々のシミュレーションにより、金属量が低い場合は輻射冷却効率が小さいため、より高い温度・密度を持つコロナが形成されるという結果が得られた。また、コロナ密度に対する金属量依存性が特に大きいことから、恒星金属量はコロナからの XUV 放射量にも影響を及ぼすことが明らかになった。導出した一般化スケーリング則はシミュレーションの結果と整合的であり、今後は観測データとの組み合わせによるコロナ物理量推定など、様々な恒星環境下におけるコロナ基本描像の理解に有用となる見込みである。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Z407a 潮汐相互作用による M 型星とガス惑星間の角運動量共進化の性質

徳野鷹人, 福井暁彦, 鈴木建 (東京大学)

一般に恒星は磁気制動効果によって自転の角運動量を失う。恒星周囲に惑星がいる場合はこれに加え、惑星による潮汐効果により恒星の自転と惑星の公転の間で角運動量輸送が生じる。特に距離が近く、質量比が大きくない恒星 – 惑星系において潮汐効果は顕著となり、観測結果を解釈する上で無視できなくなる。

ここでは、上述した質量比が大きくないという条件を満たし易い、小質量の M 型星とガス惑星の角運動量共進化に議論を絞る。この場合には、恒星の自転周期が惑星の公転周期より短いという初期条件から、(1) 磁気制動効果により恒星の自転が減速する (2) 潮汐効果により惑星から恒星へ角運動量が渡される効果が効き始める (3) 潮汐効果が磁気制動効果のバランスが保たれ恒星自転と惑星公転が共に加速する という現象が順に生じる。そして、この角運動量共進化を主に支配するのは質量や半径という天体の基本的な物理量に加え、磁気制動効果の強さや潮汐効果の強さなどの天体物理学なパラメーターと、初期の惑星配置に代表される惑星系の多様性である事がわかっている。

一方近年では TESS 望遠鏡の長期間に渡る高精度観測により、この効果の影響を受けていると推察される恒星 – 惑星系が一定数判明している。これを踏まえ当研究では、これらの観測結果と共進化のモデル計算を比較することで、天体物理学的パラメーターと初期惑星配置に関する傾向を抽出した。当講演ではその結果と物理的な解釈について報告する。

[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](#)

Z408r 恒星におけるスーパーフレアとそれに伴うプラズマ噴出現象

前原裕之、(国立天文台)

太陽においてはフレアに伴ってフィラメント/プロミネンス噴出やコロナ質量放出 (CME) のようなプラズマ噴出現象が発生することがあり、特に後者は高エネルギーの荷電粒子や磁気嵐などの原因となり、人工衛星の故障や送電網の障害といった形で我々の社会にも影響を及ぼす。太陽以外の恒星では「スーパーフレア」と呼ばれる最大級の太陽フレアの $10\text{--}10^6$ 倍ものエネルギーを解放する巨大フレアが起こることが知られている (e.g., Maehara et al. 2012)。もし太陽の場合と同様に、恒星スーパーフレアに伴って巨大な CME が起こるのであれば、恒星からの定常的な紫外線や X 線放射・恒星風に加え、フレアや CME といった突発的な現象も星の質量・角運動量損失や恒星の周りの惑星の大気の流れ・組成変化に大きな影響を及ぼすと考えられる (e.g., Aarnio et al. 2012, Lammer et al. 2007, Airapetian et al. 2016)。しかしながら、恒星 CME の確実な検出例はまだなく、恒星スーパーフレアと CME の関係や恒星 CME の発生頻度分布など、分かっていないことが多い。

近年、フィラメント/プロミネンス噴出によって生じる $H\alpha$ 線の青方偏移した吸収/輝線成分 (e.g., Namekata et al. 2022, Inoue et al. 2023) や、CME によって生じるフレア後の紫外線や X 線での減光 (e.g., Veronig et al. 2021, Loyd et al. 2022)、恒星からの Type II/IV 電波バーストの探査 (e.g., Zic et al. 2020) など、恒星からのプラズマ噴出現象の観測的研究が盛んにおこなわれている。また、太陽を星として観測した場合にフレアに伴うプラズマ噴出現象がどのように観測されるのかを調べる研究も進められている (e.g., Otsu et al. 2022)。講演では、恒星スーパーフレアやそれに伴うプラズマ噴出現象の観測的研究の最近の進展を紹介し、スーパーフレアと CME の関係やそれらが惑星へ及ぼす影響を研究する上で今後どのような観測が必要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](#)

Z409r 太陽型星の自転・活動性進化の調査：系外惑星系の時間進化の解明に向けて

増田賢人 (大阪大学), Erik A. Petigura (UCLA), Oliver J. Hall (ESTEC), 宮崎翔太 (JAXA/ISAS)

惑星系の物理的性質や軌道は形成後も様々に変化すると考えられる。例えば、太陽型星まわりの公転周期 100 日程度以下の系外惑星の物理半径分布に見られるギャップは、海王星サイズ以下の惑星大気の光蒸発によりよく説明される。この解釈が正しければ、これらの惑星のコアは主に岩石からなるという重要な結論が得られる。また、公転周期が数日程度以下の木星型惑星が、潮汐相互作用により主星に落下しつつある兆候も近年観測されている。このような惑星の物理的性質・軌道の進化のタイムスケールの決定は、主星と惑星の相互作用の物理過程の理解や、観測された系の性質に基づく惑星形成過程の議論において重要である。

近年、散開星団やアソシエーションに属する若い恒星については、トランジット系外惑星探査衛星 *TESS* による惑星探査が進んでいる。一方で、より長い ($\geq$ Gyr) タイムスケールでの進化を調べるには、フィールドの主系列星の年齢推定が必要である。そのための主な方法の一つが、恒星の自転周期や活動性と年齢の経験的な関係を用いるものである。特に自転周期については、上述の *TESS* や *Kepler* 探査機による測光データを用いて大量の恒星で測定が可能となり、その適用範囲は大きく広がった。一方で、このような情報を惑星の存在頻度の推定に適用するには、自転周期の検出におけるバイアスの理解や、しばしば大きな年齢の不定性を適切に考慮した推定の方法論が必要となる。さらに、近年の星震学や分光観測に基づく解析からは、太陽より若い恒星から構築された従来の自転-年齢関係が、より老いた恒星では破綻することも示唆されている。主系列後半における自転-年齢関係の理解は、惑星系の年齢決定のみならず恒星磁場の生成過程の理解においても重要である。本講演では、太陽型星の自転・活動性の進化に関するこれらのトピックについて、我々が最近取り組んでいる研究を紹介する。

[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](#)

Z410a X 線・可視光観測で探る T タウリ型星の磁気活動と原始惑星系円盤への作用

井上峻, 榎戸輝揚 (京大), 野津湧太 (コロラド大), 行方宏介 (国立天文台), 内田裕之, 鶴剛 (京大)

恒星フレアは星の表面に置いて磁気エネルギーが突発的に解放される爆発現象である。晩期型星だけでなく原始星や T タウリ型星もフレアを起こすことが、あすかや *Chandra* などの X 線観測により明らかにされた (e.g., Imanishi et al. 2003)。近年、これらの前主系列星が起こす磁気活動が惑星形成に与える影響が注目されている (e.g., Notsu et al. 2021)。具体的には、前主系列星の起こすフレアによる X 線放射が円盤の化学組成を変化させることやフレアに伴って発生するコロナ質量放出が円盤の質量を変化させることなどが考えられる。これらの検討については現在シミュレーションによる研究が先行しており、観測研究は遅れている。

前主系列星でのフレア中にしばしば検出される中性鉄輝線 (6.4 keV) は中心星の X 線放射の円盤に対する作用が放射起源と指摘されており (Tsujiimoto et al. 2005)、上記の検討に観測的にアプローチする足がかりとなる可能性がある。一方で、6.4 keV 輝線は円盤を持たない晩期型星のフレアにおいても検出されており (e.g., Testa et al. 2008)、その放射起源に未だ論争がある。また、コロナ質量放出については、X 線・紫外線でのコロナ減光 (Veronig et al. 2021) がプローブになると検討されているが、その減光量の小ささなどから検出方法として完全には確立していない。そこで、我々は X 線望遠鏡 *NICER* のアーカイブデータを用いた系統解析によりこれらの点について理解を進めた上で、古典的 T タウリ型星の多波長観測を計画している。本観測では、まもなく打ち上げられる次期 X 線天文衛星 *XRISM* を中心として、*NICER*、京都大学岡山天文台の 3.8m 可視光望遠鏡せいめい、兵庫県立大学西はりま天文台の 2m 可視光望遠鏡なゆたなどを連携し、円盤由来の中性鉄輝線とコロナ質量放出の検出を目的とする。本講演では、系統解析も含めた *XRISM* 時代における我々の研究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](#)

Z411a 太陽型の前主系列星の彩層活動と黒点・フレアによる光度変動の調査

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

前主系列星は自転が速く、対流層が分厚い。そのため、ダイナモ活動を起源とする強い磁場が形成され、巨大な黒点や明るい彩層輝線が生じると考えられている。前主系列星は、原始惑星系円盤の消失に伴うスピナップを示した後に角運動量を失いスピンドアウンするとともに、内部構造も全対流層型から対流層+放射層へと変化する。

本研究では太陽程度の質量を持つ前主系列星を対象とし、TESS データが示す光度変動から黒点占有率とフレアを解析し、彩層輝線の強度との関係を調査した。TESS データは約 27 日間にわたり 30 分間隔で天体の光度をとらえることができ、13 等で 0.1% 程度の測光精度を持つ。

今回調査した前主系列星では周期が 0.54 – 14.18 日の変光を検出した。振幅は 0.011 – 0.552 等級で、光球の 1% 以上を黒点が占めることが分かった。これはスーパーフレア星が持つ巨大黒点でもトップクラスの面積に相当する。近赤外 Ca II 彩層輝線 ($\lambda 8542 \text{ \AA}$) の強度は零歳主系列星のうち最大級のものと同程度である。彩層輝線強度と光度変動の大きさは太陽、スーパーフレア星、零歳主系列星、前主系列星で一続きの正の相関を示すことから、太陽に類似した磁気活動のうち、規模が大きいものが前主系列段階から続いていることが示唆される。また一部の前主系列星には、TESS データにフレア現象が見られた。フレアのエネルギーは $\sim 10^{33} - 10^{35} \text{ erg}$ と算出され、スーパーフレア星と同程度である。フレアの発生頻度はスーパーフレア星や零歳主系列星よりも高い。講演では磁場強度との関連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](#)

Z412a K2 星団領域の測光データ解析による恒星黒点進化の調査

宮川 浩平 (国立天文台), 平野 照幸 (アストロバイオロジーセンター/国立天文台)

恒星表面の磁気活動は、惑星形成進化過程を議論する上で欠かすことのできない要素の一つである。ケプラーなどの衛星による測光データでは、年齢を問わず幅広い恒星について黒点などの表面活動由来の顕著なシグナルが確認されており、こうした定常的・突発的表面活動は惑星大気の進化などに影響を及ぼす可能性が指摘されている。すなわち、特に惑星進化の過渡期である数千万 - 数億年の恒星表面活動の様相に対して統計的な理解を進める必要がある。従来の黒点などの調査には高分散分光を要し、観測コストが高いという点が課題であったが、Miyakawa et al.(2021b) では多波長測光データを利用して効率よく黒点の温度分布に制限を与えるアルゴリズムを開発し、これを解決した。本研究では新たに、K2 で観測されたプレアデス、ヒアデス、プレセペの 3 つの代表的な星団領域の計 500 個程度の若い恒星に対して TESS のデータを加えた 2 色の可視光度曲線を適用し、黒点の温度・サイズへの制限を行った。年齢 1 - 7 億歳の恒星の進化について多波長光度曲線の観測的な知見を踏まえた上で、黒点の温度変化や数年スケールのサイズ変動について先行研究と比較しながら紹介する。

[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](#)

Z413a データ科学による恒星表面マッピング

幾田 佳, 森 万由子, 福井 暁彦, 成田 憲保 (東京大学), 行方 宏介, 前原 裕之 (国立天文台), 野津 湧太 (コロラド大学), 本田 敏志 (兵庫県立大学), 野上 大作 (京都大学), 柴田 一成 (同志社大学)

恒星黒点は太陽黒点と同様に星表面の局所的に磁場の強い領域であり, M, K, G 型星などにおいて普遍的に存在している. 恒星磁気活動の一つの指標である黒点の理解は, 恒星フレアやフレアに伴うプラズマ噴出との関係, 恒星ダイナモ機構による磁場形成への制限, 視線速度観測による系外惑星検出への影響及び系外惑星大気スペクトル観測への影響 (トランジット光源効果) の評価に不可欠である. そこで, ベイズ推論やスパースモデリングなどのデータ科学的方法によって, 測光観測データから恒星表面にある黒点の情報 (温度, 大きさ, 位置, 生成消滅率) や恒星の差動回転を推定する方法を開発してきた. まず, トランジット系外惑星探査衛星 TESS などによる単色の測光観測データからパラレルテンパリングによって黒点のパラメータを推定することで, M 型及び G 型フレア星においてドップラーイメージングの結果との比較, 及びフレアやフレアに伴うプラズマ噴出との対応関係を調査した (Ikuta et al. 2020 & 2023). また, 地上観測を含めた多色の測光観測データを想定し, スパースモデリングによって黒点の表面分布をマッピングすることで, その妥当性や必要な観測精度を検討した (2023 年春季年会 N35a).

これら一連の研究と合わせて, せいめい望遠鏡などによる高分散スペクトル観測でのドップラーイメージングと同時に恒星表面マッピングを行うことで, より精密に黒点の表面分布の情報が得られる. また, James Webb 宇宙望遠鏡などによる系外惑星大気スペクトル観測でのトランジット光源効果の定量化を可能にする. 講演では, 恒星の磁場形成の観測的観点から「汎恒星惑星学」の開拓に向けて, 現在までの一連の研究の方法論と結果, 及び観測データから最大限情報を引き出すためにどのようなデータ科学的方法が必要か検討する.

[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](#)

Z414r 系外惑星上層大気の観測と大気散逸

平野照幸 (アストロバイオロジーセンター/国立天文台/総研大), 福井暁彦 (東京大学), 川内紀代恵 (立命館大学), Eric Gaidos (ハワイ大学), Vigneshwaran Krishnamurthy (マギル大学), すばる/IRD チーム

近年宇宙からのトランジット系外惑星探査により, 地球の 1.5-2 倍程度の半径を持つ惑星の欠乏 (半径ギャップ) や公転周期と相関した惑星サイズの分布等, 系外惑星の分布・特徴には統計的な偏りが存在することが明らかになった. こうした惑星分布の偏りは, 惑星形成機構そのものに加えて, 恒星からの XUV 照射による大気散逸を含む恒星圏における長期的な大気進化が強く関与していると考えられている. ただし, その鍵となる物理機構や時間スケールは恒星自身の放射特性の時間進化等の理解の欠如のため, 多くの部分が未解明である.

我々は系外惑星大気の進化を解明するため, 主にトランジット惑星の透過分光観測に焦点を当て, 惑星からの大気散逸を調査している. 特に地上からの観測が可能な近赤外ヘリウム三重線 (1083 nm) の透過分光観測を実施し, 準定常状態にあるヘリウム大気の広がりとそこから予想される惑星の質量損失を制限してきた. すばる望遠鏡の近赤外分光器 IRD によるこれまでの観測では, 特に若い太陽型恒星のまわりの惑星でヘリウム三重線の強い超過吸収が検出されているが, 半径ギャップを含む系外惑星分布の謎の解明にはさらなる観測とより精密な恒星惑星共進化の記述が必要な状況である.

本講演では, 系外惑星科学における上記未解決問題を紹介し, 恒星圏における惑星大気の進化とその観測的制約法を概観する. 特に, 惑星大気の進化を理解する上で, 恒星そのものの進化と精密な恒星 XUV スペクトルの構築が本質的に重要であることを議論する.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Z415a 軌道が減衰する超低温矮星-M 型矮星連星の発見

福井暁彦, 成田憲保, 徳野鷹人, 鈴木建 (東京大学), 平野照幸 (アストロバイオロジーセンター), 生駒大洋 (国立天文台), MuSCAT チーム, IRD インテンシブチーム, IRD 装置チーム

本講演では、M 型矮星を 10.4 時間の周期で公転する超低温矮星の発見を報告する。この天体 (TOI-XXXXB) は、当初 TESS 衛星の探索により巨大惑星候補として発見され、その後、我々が MuSCATs を用いて実施した多色測光観測や、Subaru/IRD を用いて実施した視線速度観測などにより、質量が約 90 木星質量の超低温矮星 (褐色矮星と晩期 M 型矮星の境界) であることが判明した。さらに我々は、TESS の光度曲線の解析から、伴星の公転周期が 1 年に約 30 ミリ秒の速度で減衰していることを発見した。M 型矮星をまわる伴星の軌道減衰の検出は世界初である。さらに、主星の自転周期は伴星の公転周期とほぼ一致していることが分かった。つまり、主星の自転と伴星の公転は潮汐作用により同期しており、主星は伴星の周期減衰と同じ速度でスピナップしている可能性が高い。一方、系全体の角運動量は軌道の減衰に伴い減少しており、その減少速度は主星の飽和磁気制動で説明可能である。M 型星の近接連星系において、伴星の軌道と主星の自転速度が潮汐作用と磁気制動を介して共進化する様子が初めて直接的に明らかとなった。

[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](#)

Z416r 紫外線宇宙望遠鏡 LOPYUTA 計画

土屋 史紀 (東北大), 村上 豪 (JAXA), 山崎 敦 (JAXA), 亀田 真吾 (立教大), 益永 圭 (JAXA), 堺 正太郎 (東北大), 吉岡 和夫 (東大), 鍵谷 将人 (東北大), 中山 陽史 (立教大), 生駒 大洋 (NAOJ), 桑原 正輝 (立教大), 成田 憲保 (東大), 小玉 貴則 (東大), 寺田 直樹 (東北大), 鳥海 森 (JAXA), 野津 湧太 (コ罗拉ド大), 行方 宏介 (NAOJ), 木村 智樹 (東京理科大), 埜 千尋 (NICT), 古賀 亮一 (名大), 木村 淳 (阪大), 大内 正己 (東大/NAOJ), 田中 雅臣 (東北大), 塩谷 圭吾 (JAXA), LOPYUTA 検討チーム

LOPYUTA は、宇宙科学研究所の公募型小型計画 6 号機候補に選定された紫外線宇宙望遠鏡計画で、宇宙の生命生存可能環境 (目標 1) と構造と物質の起源 (目標 2) の理解を目指し、紫外線の分光及び撮像観測により 4 つの課題に取り組む。太陽系天体では木星の水衛星と地球型惑星大気に着目する。水衛星には氷殻の下に地下海が存在し、地球とは異なる生命生存可能環境を持つ可能性がある。火星と金星では、過去に大量に存在したと考えられる水や温室効果ガスが大気散逸を通して失われた可能性があり、大気進化の解明は生命生存可能環境の理解につながる (課題 1)。系外惑星では大気の検出と特徴づけを目指す。太陽系の知見を系外惑星大気の特徴づけに拡張するとともに、惑星環境に影響を与える恒星活動の探査を進める (課題 2)。目標 2 の課題に対しては、宇宙の構造形成において未解決の銀河形成 (課題 3) と、鉄より重い重元素の起源 (課題 4) の問題に焦点を当てる。天体表層から噴き出す水や大気散逸により、外圏大気・電離大気が形成される。課題 1 と 2 では、多様な太陽系天体・系外惑星の外圏・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。課題 3 では銀河周辺物質の構造を調べ、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。課題 4 では中性子星合体直後の高温ガス中の重元素イオンの観測を通して重元素合成過程を解明する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Z417a 恒星 XUV スペクトルが及ぼす火星型惑星からの大気散逸への影響

堺正太郎 (東北大), 中山陽史 (立教大), 関華奈子 (東大), 寺田直樹 (東北大), 品川裕之 (NICT), 坂田遼弥 (東北大), F. Leblanc (LATMOS/CNRS), D. A. Brain (LASP, CU-Boulder), 田中高史 (九大)

惑星がどのようにしてハビタブル環境を維持することができたかを理解するための重要なパラメータの一つが大気進化である。太陽活動が現在よりも活発であった太古火星では、現在よりも非常に高い大気散逸率だったことから、XUV 照射強度はイオン散逸率を決定する重要なパラメータであると考えられる。近年、多くの太陽系外惑星が発見されており、その中でも M 型・K 型星はハビタブル環境を持つ可能性がある。これらの星のハビタブルゾーン (HZ) は主星から非常に近い位置に存在しているため、HZ 内にある惑星は強烈な XUV 放射と恒星風に晒されている。近年の数値計算によると、プロキシマ・ケンタウリ b からのイオン散逸率は、現在の火星の値の 3 桁程度大きかった (Dong et al., 2017)。ただ、Dong et al. (2017) では、イオン散逸率を決定するために、太陽の数十倍の XUV 強度を仮定していたが、実際には XUV スペクトル形状が熱圏プロファイルを決め、イオン散逸率を制御する。そこで本研究では、系外惑星の熱圏モデルと多成分 MHD モデル (REPPU-Planets) を用いて、恒星 XUV スペクトルがイオン散逸に与える影響を調査する。本研究では恒星系として、太陽、HD85512、及び GJ581 を用いる。これらの星は、プロキシマ・ケンタウリと比較して不活発な XUV 環境である。惑星は火星型を用いて、現在の火星軌道と同じ照射量となる、1.524 AU、0.622 AU、および 0.174 AU の位置にそれぞれ配置する。まず熱圏モデル計算を行ったところ、HD85512 系の熱圏が最も広がっていた。これらの熱圏プロファイルを入力として、MHD 計算を行う。その結果、XUV 放射が最も強い HD85512 系のイオン散逸率が最も高くなった。本発表では、異なる波長での XUV 強度を比較することで変化する散逸過程について議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Z418a ホットジュピターの大気散逸における重元素の影響

三谷啓人 (東京大学)

恒星の周りを数日程度で公転するガス惑星であるホットジュピターは恒星からの強い紫外線放射に晒される。特に主星からの Extreme-Ultraviolet (EUV; $> 13.6\text{ eV}$) は上層大気中の水素原子の光電離を通じて大気の流体力学的散逸を駆動する。大気散逸過程は惑星進化を左右する重要な過程である。散逸した大気は恒星のライマンアルファ放射などの吸収によって観測される。近年の観測によって太陽以上の金属量が見込まれるホットジュピターが発見されている。しかしながら、これまでのホットジュピターの大気散逸の輻射流体シミュレーションの多くでは重元素の影響を取り入れておらず、金属量が高いホットジュピターの散逸大気の熱化学構造が明らかにされていない。重元素は放射冷却によって大気の冷却率を変え、ダストを形成する場合はダストによる恒星からの紫外線の吸収等によって大気の熱化学構造を変化させ得る。

本研究では非平衡化学反応を含む 2 次元輻射流体シミュレーションを行い重元素がホットジュピターの大気散逸に与える影響を調べた。金属量が非常に高い場合 ($Z > 10Z_{\odot}$) は金属による放射冷却によって大気散逸率が小さくなることが明らかになった。大気散逸が弱くなる一方で大気中の鉄の吸収量は金属量が高い場合に大きくなることもわかった。こうした結果は近年観測された上層大気中の重元素を理解する上で重要である。また、強い恒星風は上層大気を圧縮して観測されるシグナルを減少させることがシミュレーションによって示唆されている。大気中の鉄による吸収も強い恒星風 ($\dot{M}_{\odot} > 10\dot{M}_{\odot}$) の場合は抑制されることがわかった。本講演では恒星風が惑星大気散逸の観測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](#)

Z419b 恒星磁気活動の紫外線観測: LAPYUTA 時代を見据えた今後の計画と展望

野津湧太 (コロラド大), 行方宏介 (国立天文台), 鳥海森 (ISAS/JAXA), Vladimir Airapetian (NASA/GSFC), Kevin France (コロラド大学)

F5 型より低温の恒星は、磁気活動によって加熱されたコロナ ($\gtrsim 10^6\text{K}$), 遷移層 ($10^4\text{--}10^6\text{K}$), 彩層 ($\sim 10^4\text{K}$) を持つ。これらの領域から放射される X 線および極端紫外線 (EUV, $\sim 100\text{--}920\text{\AA}$), 遠紫外線 (FUV, $\sim 920\text{--}1800\text{\AA}$) の放射は、惑星大気の加熱や散逸という形で惑星へ影響を及ぼし、特に低温の M 型星周りの系外惑星大気観測や、初期太陽系での惑星大気進化の観点でも重要視されている (Linsky 2019, Jakosky et al. 2018, Kreidberg et al. 2023 他)。一方、特に重要な EUV 領域については、星間物質の影響により観測的な制限が難しいという問題があり、恒星大気の加熱過程の理解を通じた推定が重要である。しかし、観測データの不足から、太陽とその他の恒星 (特に低温の K, M 型星) において、加熱過程の統一的理解は確立していない。

私達はこの数年、太陽長期データをもとに、恒星表面の総磁束量から X 線+EUV+FUV 放射の波長毎の強度を推定する手法の開発に取り組んできており (cf. 本セッションでの行方氏講演参照)、Hubble 等のアーカイブデータを用いた検証にも着手している。そして、日本では LAPYUTA 計画が始動し、2030 年代にかけて恒星紫外線観測の大きな進展が期待される。特に、(1) 様々な温度 FUV 輝線と X 線を用いた、恒星大気温度・密度分布 (Emission Measure 分布) の観測 (静穏時/フレア時) によって恒星大気加熱過程に迫ることや、(2) 輝線の Doppler shift やコロナ輝線の Dimming による質量放出現象の理解 (cf. 本セッションでの前原氏講演も参照)、といった観点についての研究が期待される。本ポスター講演では以上の詳細を紹介し、LAPYUTA 時代に向け、恒星のアーカイブデータや、太陽観測・理論モデルとの比較研究、惑星分野との連携に向けた議論を行う場としたい。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Z420b 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

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)。非相対論モデルが完成したので、これを実証するための現象論的研究に移行している。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、太陽と地球にほぼ限定される。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、今回は、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。

太陽側マグネトポーズでの 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: CS) であるマグネトポーズに沿って生じる。従来の観測的研究では、マグネトポーズの太陽-地球方向の運動 (観測衛星の軌道運動より高速) と定常 RX を想定して、RX アウトフローを横切る断面を観測している前提で解釈されてきた。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り、RX システムが周辺の Alfvén 速度の程度 (マグネトポーズの移動速度と同程度かより高速) で拡大する。このため、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。

我々の自己相似 RX に関する 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。今回は、RX 開始時の衛星位置が CS 近傍であった場合に相当する RX アウトフローにほぼ沿った軌跡での擬似観測結果と MMS 衛星群による実観測結果を比較し、自己相似 RX モデルでのみ排他的に説明可能なイベントを複数発見した。これを報告し、太陽現象での自己相似 RX モデル検証を目指した提案を行う。

[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](#)

M01a SOLAR-C で目指す科学および Science Working Group (SWG) 活動

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

SOLAR-C は高空間分解能 (0.4 秒角)、高時間分解能 (1 秒程度)、広い温度範囲 ($10^4 - 10^7 \text{K}$) で観測する極端紫外・紫外域の分光撮像観測装置で、2020 年代に最優先で実現を目指す日本主導の国際協力ミッションである。SOLAR-C の科学目標として、I) 彩層・コロナと太陽風の形成に必要なエネルギー・質量輸送機構および散逸機構の究明、II) 太陽面爆発現象の物理過程の解明を掲げており、2028 年夏の打ち上げに向けてサイエンスの議論も進めている。

JAXA SOLAR-C Science Working Group (SWG) は、SOLAR-C の国際プロジェクトチームと、SOLAR-C の科学的成果の向上に関心のある科学者で構成されるより広範な国際的な科学コミュニティとの間の架け橋としての役割を果たすものであり、活動が始まったところである。SWG の主な任務は、(1) プロジェクトチームに科学に基づくアドバイスを提供すること、(2) 国際科学コミュニティによる科学活動を促進することによって、Solar-C の科学的成果を最大化することである。SWG 活動を促すため、Mission Operation sub-WG、Data Analysis sub-WG、Science Center sub-WG などのサブワーキンググループを組織する予定である。本講演では SOLAR-C の科学目標およびアウトカムをレビューし、現状の SWG 活動に関して報告する。

[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](#)

M02a 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 の準備状況

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, 長澤 俊作 (東京大学 Kavli IPMU), 南 喬博 (東京大学), 佐藤 慶暉, 清水 里香 (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 (名古屋大学), Glesener Lindsay (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 回目の飛翔計画である FOXSI-4 は、太陽フレアに対する X 線集光撮像分光観測 (0.5keV~30keV) を世界で初めて実施する。その目的は、磁気再結合が引き起こす磁気エネルギーの解放とそれによって生じるエネルギー変換機構の追究に必要な研究手法および観測技術の実証と研究基盤の構築である。本計画は、米国 NASA の観測ロケットを用いて 2024 年春に米国・アラスカで打ち上げ予定であり (NASA に最高評価の Excellent で採択)、日本では科研費と JAXA 宇宙科学研究所の小規模計画 (2020 年度公募に満額査定で採択) の枠組みで準備を進めている。発生予測が困難な太陽フレアを観測時間が約 5 分間に限られるロケット実験で観測するための方法として、即時打ち上げ可能状態で待機、太陽 X 線強度をリアルタイムでモニタ、フレア発生と同時に打ち上げるという NASA でも初の試みを行う。用いる観測手法・装置は、過去 3 度の飛翔と同様、高精度ミラーと高速度カメラの組み合わせによる X 線集光撮像分光であるが、太陽フレア観測に向け各コンポーネントにアップデートを施している。2023 年度に入り、日本が担当している各コンポーネントのフライト品製作が山場を迎えており、8 月に米国・カリフォルニア大学バークレー校にて装置全体の組み立てと試験を行い、11 月に予定されているホワイトサンズでの観測ロケットへの組み込み作業へと進んでいく。本講演では、FOXSI-4 計画が目指すサイエンスと観測装置の準備状況について報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

M03a 磁気リコネクションがエネルギー輸送過程へ与える寄与の定量化手法

飯島陽久, 松本琢磨, 堀田英之 (名古屋大学), 今田晋亮 (東京大学)

宇宙プラズマにおいて、磁気リコネクションは磁気エネルギーの高速変換過程として盛んに研究されてきた。特に太陽大気中では、磁気リコネクションはプラズマ波動、特にアルフベン波の寄与と並んで、コロナ加熱・太陽風加速の重要なメカニズムであると位置づけられている。

一方で、磁気リコネクションの寄与を定量的に評価することは容易でない。太陽大気では多次元的・動的に変化を続ける磁力線と、様々なモード・振幅のプラズマ波動が複雑に混ざりあっている。背景場と擾乱のような区別も一般には困難である。このため、磁気リコネクションとアルフベン波の太陽大気形成への寄与は長年議論されながらも、同じモデル内で両プロセスが平等かつ定量的に比較されることはなかった。

そこで我々は、磁気リコネクションがエネルギー輸送過程へ与える影響に着目した。磁気エネルギーが支配的なプラズマでは、エネルギー輸送は基本的に磁力線に沿ったものとなる。一方で、もし磁気リコネクションが発生すれば、磁力線の繋ぎ変えに伴って磁力線を横切る輸送が発生する。つまり、磁力線を横切る輸送量を評価することで、磁気リコネクションが大気中のエネルギー輸送過程へ与える影響を定量化することが可能になる。

本研究では、一般のスカラー輸送方程式について、磁力線に沿った輸送と磁力線を横切る輸送に分離し、それぞれを定量的に評価する手法を提案する。提案手法を複雑な磁場構造を含む対流層から太陽風までの包括計算に適用したところ、太陽風へ注入されるエネルギーの約半分がコロナループから供給されていることが明らかになった。定式化は特定のプラズマやスカラー量に限定されないため、広い応用を期待している。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

M04a SMART/SDDI による太陽大気における波動の伝播と磁場との関係の太陽全面にわたる観測的研究

白戸春日, 一本潔 (立命館大学)

彩層・コロナ加熱問題において、上層へのエネルギー輸送のメカニズムを波動の観点から明らかにするためには、大気中の波の伝播と磁場構造の関係を明らかにする必要がある。そして特に静穏領域において、低周波の音波が如何にして上層大気に伝播しエネルギーを散逸するかが焦点となっている。傾斜した比較的強い磁場があると、acoustic cutoff 周波数が低下することで長周期の波が彩層に漏れ出ていくことがある (De Pontieuet et al.2004)。実際、磁気要素や彩層の mottle での振動特性は 5-7 分の振動が多く、ネットワークの内部は 3 分振動が多いことが観測的に報告されている (Tsiropoula et al.2009)。しかしこれまで行われた数多くの観測研究では、disc center 付近の限られた領域で、しかも長く 2-3 時間という短い時間でしか観測が行われていなかった。

そこで本研究では、京都大学飛騨天文台 SMART/SDDI で 2022 年 5 月 4 日に得られた、太陽全面の、 $H\alpha$ 線による 12 時間以上の分光撮像データを時系列解析し、ドップラー速度や強度の振動パワーの空間分布を調べた。その結果、彩層でしばしば観測される 3 分振動および 5 分振動に加え、20 分周期の振動が全面にわたって存在することが明らかになった。特に 20 分周期のパワーは、静穏領域における傾斜磁場や、enhanced network・プラージュ・活動領域などの強磁場領域との著しい空間的相関が見られた。また、リムに近い領域ほどパワーが大きいという特徴も見られた。20 分周期の振動はこれまでの先行研究では観測時間の短さゆえにほとんど報告事例がないが、超低周波振動も磁場との相互作用を経て上層に伝播している可能性を示唆する結果である。本講演では 20 分周期の振動パワーの磁場との関係や伝播特性を紹介する。

[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](#)

M05a 1.5 次元 MHD シミュレーションによるプロミネンス形成過程の背景加熱率依存性に関する調査

吉久健朗, 横山央明 (京都大学), 金子岳史 (新潟大学)

太陽コロナ中のプラズマは、しばしば低温高密度なプラズマに凝縮される。この現象はプロミネンス等として長年観測されているが、その形成機構や物理的性質は完全には理解されていない。有力なプロミネンス形成機構の一つである彩層蒸発-凝縮モデルでは、コロナ下部での局所加熱によってループが熱的非平衡状態になって凝縮が生じるとされている。この過程は非線形現象であるため、現象の理解には数値計算を用いて、プラズマの冷却項と加熱項の物理量依存性や時間変化を考慮する必要がある。しかし、多くの先行研究ではコロナ加熱を考慮する難しさから、加熱項はアドホックなモデルに基づいて導入している。また、加熱のプロセスを含めて、実際の太陽大気が凝縮現象に与える影響を考慮するには、光球や彩層が磁気流体波やエネルギー収支に与える影響を考える必要がある。そこで、本研究は光球からコロナまでを含めた領域で、衝撃波と乱流的効果による磁気流体波のエネルギー散逸を考慮した窪んだコロナループに沿った 1.5 次元 MHD シミュレーションを行った。上記の加熱とは別に彩層蒸発を起こすために足元に人工的に加える一時的な局所加熱や、ループ足元に境界条件として与えている速度場などのパラメーターを変化させることで、凝縮現象やプロミネンスの熱的性質に与える影響を調べる。結果として、横波の振幅の大きさが凝縮現象の発生の有無に影響を及ぼすことを確認した。これは、加熱と冷却のエネルギーバランスに与える影響とコロナ温度が衝撃波の圧縮率に与える影響を考慮する重要性を示唆する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

M06a 多点観測による音波伝播時間の測定誤差見積もり

八田良樹, 堀田英之 (名古屋大学), 関井隆 (国立天文台/総合研究大学院大学)

子午面流は、ダイナモ機構において大きな役割を担っていると考えられている (Charbonneau 2014 など)。そのため、局所的日震学に基づいた子午面流探査の試みがこれまでに数多く行われてきた (Giles 2000, Zhao et al. 2013, Gizon et al. 2020 など)。しかし結果にはばらつきがあり、収束の気配も見られない。子午面流測定を難しくしている要因の一つは、熱対流由来の観測ノイズが極域に近づくほど大きくなることである。我々はこの困難を打開すべく、次世代太陽観測計画として太陽極域探査ミッションを構想している。本講演では、特に子午面流探査に焦点を当てて、太陽極域ミッションによる観測ノイズ低減について議論する。本研究では、Gizon and Birch (2004) の解析的ノイズ見積もりに基づいた準解析的アプローチを取った。研究の結果、高黄緯からの観測により、より広い緯度で、小さい測定誤差を実現可能であることが明らかになった。また、以上の結果を踏まえ、子午面流検出に向けた具体的な観測計画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](#)

M07a SDO/HMI の連続光画像を用いた超粒状斑の面積の太陽周期依存性

長谷川幸大 (新潟大学), 飯田佑輔 (新潟大学)

SDO/HMI が取得する連続光画像から超粒状斑を検出し、その大きさの太陽周期依存性を調べた結果を報告する。これまでの研究において、太陽超粒状斑面積の太陽活動周期依存性について、様々な種類のデータ・検出方法を用いて調べられてきたが、一定の結果が得られていない。例えば、Singh and Bappu (1981) は彩層画像に対し自己相関法による検出から -0.861 の相関があることを、Chatterjee et al. (2017) は彩層画像に対し分水嶺法を用いた検出から 0.76 の相関があることを報告している。また、Meunier et al. (2008) は連続光画像に対して局所相関追跡を用いて -0.78 の相関があることを報告している。従来の研究では超粒状斑は、画像データの局所相関追跡や閾値検出による粒状斑の追跡によって、その速度場構造から検出されてきた。しかし、変形する粒状斑に対して追跡誤差が大きいことや背景輝度が局所的に変化するため閾値検出に適さないなどの問題が考えられる。そこで、本研究ではこれらの問題を解決するために、SDO/HMI の連続光画像に分水嶺法を用いた検出から、個々の粒状斑を追跡することで超粒状斑検出を検出し、その大きさの太陽周期依存性を調べた。1 日分の連続光データの追跡結果を積算しその発散を計算することで、超粒状斑程度の大きさの円状構造を検出できた。また、超粒状斑の大きさを測定し、年ごとに大きさの平均を計算した。超粒状斑の大きさは 19~23Mm の間でピークを持つ一方で、超粒状斑の大きさと太陽周期には有意な依存性は見られず、連続光画像を用いた Meunier et al. (2008) とは矛盾する結果となった。これは、先行研究で検出できなかった小さい超粒状斑が検出できるようになったことで、今まで大きく検出されていた領域が分割されて依存性は見受けられなくなった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](#)

M08a 広い領域の輻射磁気流体シミュレーションを教師データとした機械学習による太陽内部の熱対流構造推定

正木寛之 (千葉大学), 堀田英之 (名古屋大学)

広い領域のシミュレーションを教師データとして、太陽内部の熱対流構造を推定するニューラルネットワークを構築した。太陽内部の熱対流は、磁場生成 (ダイナモ) や波動生成といった太陽における基礎過程を理解する上で重要である。そのため、多くの太陽観測プロジェクトが存在し、成果を上げているが、それらは太陽表面からの光を観測するため、直接内部の様子を知ることはできない。太陽内部の構造を探るためには、音波の伝播を用いる日震学が用いられ、大規模流れや熱対流構造について多くの成果を挙げている。しかし、日震学ではその評価に長い時間平均を必要とする。

本研究では太陽の対流層を再現した輻射磁気流体シミュレーションを行い、そのデータを用いてニューラルネットの機械学習を行うことにより新たな手法を開発した。2022 年秋季年会 (M43a) では、6Mm 程度の小さな領域で同様の試みを実施したが、今回は超粒状斑を含むスケールでの数値シミュレーションを行い、その結果を用いて学習を進めた。放射強度、視線方向速度場、視線方向磁場を入力とすることで太陽表面から 10 Mm ほどの深さにおける上昇流の速度場は数 Mm 程度の空間スケールでは構造がある程度一致しており全体の相関係数 0.3 程度で推定できることがわかった。さらに 1 時間ほど離れたデータを入力に加えることで相関係数は 0.4 まで増加す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](#)

M09a 太陽サイクル極小期から極大期までの到達時間の違いが Grand Minimum を引き起こす確率に及ぼす影響

梶山侑里名, 今田晋亮 (東京大学), 飯島陽久 (名古屋大学)

太陽活動は通常、黒点数に顕著に現れているように 11 年周期で盛衰を繰り返しているが、数百年のスケールで、極度に太陽活動が低下した時期 (Grand Minimum) が存在することが知られている。このような太陽活動の低下が過去に地球に小氷期をもたらした可能性も示唆されており、極度の活動低下を引き起こす要因を理解することは重要であるが、未だに解明されていない。

太陽活動は前サイクルの極域磁場と強い相関があり、極域磁場は観測から出現した黒点が移流や拡散により輸送されることで変動すると考えられている。出現する黒点は太陽内部のダイナモによって生成され、数、緯度、面積、傾斜角等の情報が含まれるが、これらは統計的に不定性があり、どのような黒点が極域磁場の変動にどの程度寄与するのかは十分な理解が得られていない。本研究では、出現した黒点から極域磁場を計算する表面磁束輸送モデル (SFT モデル) を用いて、極域磁場の変動を確率的に予測することで、Grand Minimum が引き起こされる確率および Grand Minimum を引き起こす要因について考察した。

ここで、黒点周期の形として、太陽サイクル極小期から極大期までの到達時間が違う 2 つのモデルを用い、比較することで、黒点周期の形が Grand Minimum を引き起こす確率に与える影響について検証した。その結果、黒点周期の形の違いによって、低調な太陽活動が現れる頻度は大きく異なることが明らかになった。本研究の成果は、周期後半に出現する黒点が主に極域磁場に貢献すること、また観測に基づく黒点数の時間変化では Grand Minimum を説明できず、磁場と子午面環流速の相関などの非線形成分を考慮する必要性を示唆する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

M10a GAN を用いた太陽活動領域成長の画像予測手法の開発

横山光輝 (新潟大学), 飯田佑輔 (新潟大学), 加納龍一

太陽フレアは地球へ大規模停電や通信障害などの被害を引き起こすため、その予測研究は宇宙天気予報において重要である。一方で、それらの研究の多くは成長した活動領域のみを対象にしており、24 時間以内という短い予測時間に留まっている。そこで成長前の活動領域の成長を画像予測することができれば、より早い段階でのフレア予測と、加えてフレア予測に重要な太陽特徴量である磁気中性線の予測が可能になると考えられる。以上より、本研究では AutoEncoder(AE) と Generative Adversarial Network(GAN) と呼ばれる 2 種類の深層学習モデルを用いて太陽活動領域の画像予測手法の開発に挑戦する。

データセットは、SHARP の 2010 年 5 月から 2019 年 4 月に撮影された鉛直方向磁場データを 1 時間間隔でダウンロードし、それらのデータから目視で十分に大きな黒点が確認できた約 10,000 枚のデータで作成した。

本実験ではまず、鉛直方向磁場データを入力として 12 時間後の予測画像を生成する AE モデルと GAN モデルを開発し、それらの予測結果を比較した。結果として、GAN モデルでは AE モデルと比べて正解画像と予測画像の総磁束量のずれが 35% 減少し、さらに予測画像のぼやけが改善されてより細かな磁気中性線が予測可能になった。一方で、未だに GAN モデルにおいても総磁束量のずれが 57% と大きな差があるといった課題が見つかった。そこで、開発した GAN モデルの損失関数に正解画像と予測画像の総磁束量の差を追加して予測を行った。結果として、損失関数の変更前よりも総磁束量のずれは 15% 減少し、磁気中性線の総合長の予測精度も倍以上向上した。

本研究により、GAN モデルの損失関数に物理量を追加することで AE モデルと比較して予測画像のぼやけの改善と太陽特徴量の予測精度向上を達成した。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

M11b A unified model of solar prominence formation

Huang, C.J. (Kyoto University) et al.

Solar filaments are cool and dense plasma suspended in the hot and tenuous corona above the photospheric magnetic neutral lines. They appear dark against the solar disk, but look bright above the solar limb, where they are called solar prominences. Several mechanisms have been proposed to account for the formation of solar prominences or filaments, among which direct injection and evaporation–condensation models are the two most popular ones. In the direct injection model, cold plasma is ejected from the chromosphere into the corona along magnetic field lines; in the evaporation–condensation model, the cold chromospheric plasma is heated to over a million degrees and is evaporated into the corona, where the accumulated plasma finally reaches thermal instability or non-equilibrium so as to condensate to cold prominences. In this work, we try to unify the two mechanisms: The essence of filament formation is the localized heating in the chromosphere. If the heating happens in the lower chromosphere, the enhanced gas pressure pushes the cold plasma in the upper chromosphere to move up to the corona, such a process is manifested as the direct injection model. If the heating happens in the upper chromosphere, the local plasma is heated to 1–2 million degrees, and is evaporated into the corona. Later, the plasma condensates to form a prominence. Such a process is manifested as the evaporation–condensation model. With 1D radiative hydrodynamic simulations we confirmed that the two widely accepted formation mechanisms of solar prominences can really be unified in such a single framework. A particular case is also found where both injection and evaporation–condensation processes occur together

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

M12b 2023 年 4 月 20 日皆既日食の可視白色光観測

花岡庸一郎 (国立天文台, SEPnet), 坂井美晃 (市原高校, SEPnet), 増田幸雄 (SEPnet)

太陽コロナの可視白色光での観測では、コロナ質量放出のような現象をとらえることの他、偏光情報を合わせて取ることで温度によらないコロナの物質量を得ることもできる。このため、現在いくつかのコロナグラフが主としてスペースで稼働中・計画中である。ただ、コロナグラフは散乱光が多く、輝度・偏光度の較正の努力がされているものの、依然として不確実さを残している。一方、皆既日食も白色光コロナの観測機会となってきた。皆既日食では、空の明るさの影響を受けるとはいうものの、バックグラウンドの暗さはコロナの定量測定においてきわめて有利である。

我々は、2023 年 4 月 20 日の皆既日食を、偏光を含めて白色光で観測することに成功した。過去の日食で確立した較正手法を適用することで、信頼度の高い輝度・偏光度の分布を得ており、さらに K コロナ・F コロナの分離も行うことができています。

過去の日食における結果も合わせた解析では、太陽黄経による F コロナの見え方の違いが再現できている。このことは逆に、各日食において精度の高い K コロナ輝度が得られていることを意味する。日食ではその瞬間のコロナの情報しか得られないが、日食の機会ごとに高信頼度のコロナ輝度・偏光度の情報を得ていくことは、現在稼働中のスペースコロナグラフはもちろん、今後稼働が予定されているもののデータの較正をも可能にし、結果としてコロナの高精度な定量的情報を継続的に得ることを可能にするものである。

[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](#)

M13b 極端紫外スペクトル線の仮想分光観測を用いた遷移層温度分布に関する研究

大場崇義, 鄭 祥子 (国立天文台), 横山央明 (京都大学), 鳥海 森 (ISAS/JAXA), 今田晋亮 (東京大学), 原 弘久 (国立天文台)

遷移層とは、彩層・コロナを繋いでおり、数百 km の厚みにおいて温度が 2 桁上昇する領域である。観測されている遷移層の温度分布 (DEM) は特徴的であり、1 次元大気モデルでは説明困難であるため、磁気ネットワーク構造を含めた 3 次元大気モデルがいくつか提案されている。有力なモデルとして、微細な双極子磁場が形成する数秒角以下のループ構造の分布を考えたものがあるが (Dowdy et al. 1986, Hansteen et al. 2014), それだけでは観測量を説明できないとの指摘もなされている (Judge 2021)。この説を検証するには、2020 年代後半に打ち上げを目指す次期太陽観測衛星 SOLAR-C が鍵になると考えられる。搭載される望遠鏡 (EUVST) は、遷移層の連続的な温度大気を初めてサブ秒角の解像度で診断することができる。そこで我々は、EUVST を用いて本課題にどう迫れるかを検証することを目的とし、遷移層を含む 3 次元数値シミュレーション大気の仮想観測を行うことで、微細な遷移層構造による DEM への寄与に関する評価、さらに微細遷移層構造の生成メカニズムの理解を目指している。計算する輝線には、過去の観測において微細ループ構造を捉えていた Ne VII 465.2 Å (形成温度: $\log T \sim 5.7$) を選んだ。Ne VII の放射強度図を確認したところ、大規模なループだけでなく、コロナ温度の輝線では現れなかった遷移層温度の微細構造が至るところに見られた。この微細構造は、平均放射強度のうち数十%程度を占めており、観測されている DEM への寄与が考えられる。発光原因を調べたところ、遷移層が著しく波打っており、一部の領域においては遷移層温度大気が視線方向に重なることで、放射強度の大きい領域が局所的に現れていることがわかった。この発光原因については、分光観測による輝線強度比を用いた密度診断によって検証することが可能である。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

M14b 次期太陽風観測衛星 SWFO-L1 地上局の整備

久保勇樹, 塩田大幸, 山川浩幸 (情報通信研究機構)

24 時間 365 日、途切れることなく太陽風をリアルタイムに監視することは、宇宙天気予報を行う上で極めて重要である。惑星間空間で太陽風を直接監視するために、1997 年に Advanced Composition Explorer (ACE) 探査機が第一ラグランジュ点 (L1 点) に打ち上げられ観測を開始した。その後、ACE の後継機として Deep Space Climate Observatory (DSCOVR) が同じく L1 点に打ち上げられ、2015 年から太陽風の監視を続けている。

これらの探査機は、L1 点に位置していることから、地上の夜間には、データをダウンリンクすることが出来ないため、24 時間 365 日のリアルタイム監視を実現するためには、国際協力が必須である。現在、情報通信研究機構 (NICT) は、Real-time Solar Wind Net と呼ばれる ACE 及び DSCOVR のリアルタイム受信地上局の国際ネットワークの一拠点として太陽風の 24 時間 365 日監視に貢献している。

DSCOVR は打ち上げ後既に 8 年が経過し、現在、米国 NOAA 主導で 2025 年打ち上げを目指して、DSCOVR 後継機 SWFO-L1 計画が進んでいる。SWFO-L1 も SWFO Antenna Network (SAN) と呼ばれるリアルタイム太陽風監視ネットワークが組織されることになっている。NICT は NOAA から SAN への参加を打診され、SAN の一拠点として SWFO-L1 地上局の整備を進めている。

本ポスターでは、NICT 鹿島宇宙技術センターに整備中の、次期太陽風観測衛星 SWFO-L1 地上局整備の進捗状況について報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

M15b 京都大学花山天文台の黒点スケッチを用いた、黒点群の出現経度調査

山口慎太郎、小野寺幸子(明星大学)、鴨部麻衣(京都大学)、萩野正興

本研究は、太陽黒点群の出現する経度の変動を長周期的に調査し、活動経度の性質について議論する。黒点群の活動経度は、緯度分布(蝶形図)と同様に活動領域の生成に意味を持っており、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と考えられている。

我々は京都大学大学院理学研究科附属花山天文台で観測された黒点スケッチから黒点群のキャリントン経度(出現経度)を測定した。このスケッチによる観測は口径 11.5cm の屈折望遠鏡で 2004 年 8 月から行われ、第 23 周期後半から第 25 周期前半の約 2 太陽周期をカバーしている。このデータを用いて広がった黒点群の中央をその群の経度として代表させ、経度分布のヒストグラムを作成した。さらに、求めたキャリントン経度に対して周期解析を行った。この結果、黒点群の出現経度には周期性があることがわかった。

本講演では花山天文台のみの黒点スケッチを扱ったため、太陽活動周期との関係などの統計的な解析には至っていない。そのため、今後は 1938 年から国立天文台で行われてきた黒点スケッチのデータアーカイブの利用へと発展させる。

[スケジュール\(セッション毎\)に戻る](#)

[スケジュール\(全体\)に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

M16b SUSANOO-CME を用いたリアルタイム太陽嵐到来予測システムの開発

塩田大幸、大辻賢一、久保勇樹(情報通信研究機構)、八代誠司(米国カトリック大学)

X クラスを超える大規模なフレアとそれに伴う CME(太陽嵐)が発生し、地球に到来すると宇宙天気には大きな擾乱を及ぼす。情報通信研究機構では 24 時間太陽を監視し、宇宙天気予報を発出している。大規模な太陽嵐が社会活動に影響を及ぼしうる場合、警報等の情報をいち早く出すことが求められている。

そのためのツールの一つとして、惑星間空間の太陽風・CME の伝搬を解く MHD シミュレーション SUSANOO-CME(塩田&片岡 2016)を用いた太陽嵐到来予測システムを開発してきた。2021 年 10 月より初期運用を、2022 年 8 月から機能を追加した本格運用を開始した。このシステムでは、スパコンのアカウントを持たない予報担当者がウェブブラウザからアクセスし、SOHO/LASCO 等のコロナグラフの観測データを解析、SDO 等の太陽フレアの観測と合わせて CME の入力パラメータを推定し、複数の予測シミュレーションを開始、1 時間前後で予測結果を得ることができる。特に、社会に影響が及ぶ大規模な太陽フレア・CME では、地球に到来するまでの所要時間が短くなり、早急な予測が求められる。コロナグラフのデータが揃うにはフレア発生から数時間程度かかるため、そのデータを待たなくても速度等のパラメータを仮定することで、太陽フレアの情報から予測シミュレーションを開始する機能も備えている。

2019 年 12 月より始まった第 25 太陽活動周期は、2025 年前後に極大を迎えると推定されており、黒点数が増加し、大規模な太陽フレアの発生する可能性が高まりつつある。本講演では、システムの概要を紹介するとともに実際に予測に使用した事例を示し、今後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](#)

M17a 真空中の磁気リコネクション

柴崎清登 (太陽物理学研究所)

太陽物理学や関連分野において磁気リコネクションの果たす役割は非常に大きいと考えられている。太陽表面活動は磁場と相関がよいため、磁気エネルギーが熱エネルギーに転換することによって活動が引き起こされていると考えられている。このエネルギーの転換（解放）機構として磁気リコネクションが有力視されている。逆向きの磁場が接近するとその間に電流層が形成され、この電流が異常抵抗によって散逸することによって磁気リコネクションがすすみ、プラズマが熱化すると考えられている。

しかし、逆向きの磁場が接近しても電流は流れない。たとえば、真空中で逆向きのふたつの磁石を近づけるとその中間点では逆向きの磁場が重なって磁気リコネクションが発生する。その際流入方向と直交する方向に磁場が流れ出て、 $\nabla \times \mathbf{B} = 0$ が満たされ、電流は生じない。磁場配位としてはペチェック型の磁気リコネクションに近い。磁場はベクトル量であり重ね合わせが成り立つ。ふたつの磁石を源とする磁場が中間点において逆向きで大きさが同じであれば磁場は 0 となり、磁力線は繋ぎ変わる。さらに全空間においてふたつの磁石を源とする磁場が重なるので、いたるところで部分的リコネクションが発生する。これらの磁気リコネクションに伴って電磁エネルギーの分布は変化するが、他のエネルギーに転換することはない。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

M18a 飛騨天文台 DST 垂直分光器を用いた He I 10830 Å 偏光分光空間スキャン観測によるダークフィラメント磁場診断 II

山崎大輝 (JAXA/ISAS, 京都大)、黄于蔚、橋本裕希、上野悟 (京都大)、Denis P. Cabezas (名古屋大, 京都大)、川手朋子 (核融合研)、一本潔 (立命館大, 京都大)

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、ダークフィラメントの磁場強度について、数 G から数百 G まで開きがある (Casini et al. 2003, Kuckein et al. 2009)。また、磁場構造については順極性型 (Kippenhahn & Schlüter 1957) と逆極性型 (Kuperus & Raadu 1974) が提案されている。ダークフィラメントを支える磁場強度や磁場構造について、観測的制限を加えるためには、He I 10830 Å に出現するハンレ効果とゼーマン効果を適切な精度 (3.0×10^{-4}) で観測する必要がある。我々は、 3.0×10^{-4} の偏光測定精度を達成する DST 近赤外偏光観測装置を開発してきた (cf. 2021 秋年会 M13b, 2022 年秋年会 M37a)。本研究では、ダークフィラメントの磁場強度及び磁場構造を明らかにするため、開発した装置を用いて静穏領域上空のダークフィラメント 8 例について、He I 10830 Å の空間スキャン偏光分光観測を行ってきた (2023 年春季年会 M35a)。HAZEL (Asensio Ramos et al. 2008) を用いたストークスインバージョンの結果、磁場強度は 8 – 35 G、磁場構造は 8 例中 1 例が順極性型、7 例が逆極性型とそれぞれ得られた。磁場強度は、静穏領域上空のダークフィラメントを調査した先行研究 (Casini et al. 2003) の 10 – 70 G と概ね一致する結果である。また、磁場構造についても静穏領域上空のダークフィラメントは逆極性型とする先行研究 (Leroy et al. 1984, Bommier et al. 1994) と一致する結果である。本講演では、ダークフィラメントの磁場構造を X 線や極端紫外線の撮像観測で見られる構造と比較し、ストークスインバージョンにおける不定性除去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](#)

M19a Data-driven Simulation of a Deflected Eruption in Solar Active Region 11283

Yeongmin Kang (ISEE, Nagoya Univ.), Takafumi Kaneko (Niigata Univ.), K.D. Leka (NWSA, USA, and ISEE, Nagoya Univ.), Kanya Kusano (ISEE, Nagoya Univ.)

Solar flares are commonly known to be caused by the release of magnetic energy accumulated in the solar atmosphere. To understand the mechanism of solar flares, numerical modeling of coronal magnetic fields based on magnetohydrodynamics (MHD) theory has been developed. These numerical approaches enable exploration of the mechanisms involved in flare initiation. More recently, data-driven MHD modeling, which continuously introduces time-series of observational data in the bottom boundary has been developed. In this study, we conduct a long-term data-driven simulation of the M5.3 flare observed on Sep., 6, 01:59 UT, 2011 in NOAA Active Region 11283 (AR 11283) to explore the mechanism of the flare production in this AR. We use a model developed by Kaneko et al. (2021), which uses the electric field inversion from the photospheric magnetic field. We use 36 snapshots of the photospheric magnetic field (SHARP) obtained from SDO/HMI, and the simulation covers the period from Sep., 4, 19:48 UT, 2011 to Sep., 6, 06:48 UT, 2011. In our modeling, we have successfully reproduced both the formation of magnetic flux ropes (MFRs) and the eruption of the reproduced MFRs, which exhibits an inclination with respect to the photosphere. To explain the mechanism of the inclined eruption, we apply a new methodology for calculating the decay index, which takes into account all eruptive directions of a torus plasma. This methodology allows us to evaluate the possibility for the torus instability growth and to determine the potential eruptive direction of the torus plasma.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

M20a パーシステントホモロジーによる光球磁場構造のトポロジー解析

勝川行雄 (国立天文台), Pablo Santamarina Guerrero (IAA-CSIC), 鳥海森 (JAXA 宇宙科学研究所)

太陽表面では磁場と対流によって多様な磁場構造が形成される。静穏領域で発生する磁気浮上やキャンセレーションと大局的な磁場構造の関係や、活動領域における磁場構造の時間発展と太陽フレアに代表される活動度との関係など、定性的な解釈を脱却し定量的に理解することが求められている。そこで、位相的データ解析手法の一つである「パーシステントホモロジー」をひので・SOT と SDO・HMI の磁場データに適用し、太陽表面磁場構造の分類と定量化を試みた。パーシステントホモロジーでは、構造の連結と孔 (穴) が磁束密度の関数としてどのように変化するか、すなわち発生と消失をパーシステント図で表す。正極と負極の両者に対して構造を抽出するために、下限側から構造を検出するサブレベルフィルトレーションと、上限側から構造を検出するスーパーレベルフィルトレーションを組み合わせる手法を導入した。静穏領域のパーシステント図から、正負それぞれの孤立した磁場構造が主であることが分かり、磁気浮上やキャンセレーションに伴い正負の磁極構造が同期して変化する様子を示された。活動領域では、孤立構造に加えて連結構造が増加し、さらに孔構造も見られるようになる。本解析から活動領域磁場の複雑さをパーシステント図で表現できることが示された。さらに、磁極の正負を区別したパーシステント図と区別しないパーシステント図の差から、 δ 型黒点のように正極と負極が近接することで作られる構造を抽出することにも成功した。今後、パーシステント図から得られる磁場構造の情報を定量化し、紫外線・X 線放射やフレア活動との関係を調べることで、パーシステントホモロジー解析が磁場構造の分類と定量化の新しい指標となり得るか明らかにする。

[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](#)

M21a AR 12673 で発生した Confined、Eruptive フレアから探る CME 発生 の物理機構

寺岡耕平 (東京大学, ISAS/JAXA), 清水敏文, 山崎大輝 (ISAS/JAXA), 川畑佑典 (国立天文台), 今田晋亮 (東京大学)

太陽フレア発生時、コロナ質量放出 (CME) を伴うものは eruptive フレア、伴わないものは confined フレアと呼ばれるが、両者の違いを生む物理機構は明らかとなっていない。CME はフレアに伴うコロナ磁場の噴出によって発生することから、CME の有無の理解にはフレア中の磁場構造の時間変化の理解が重要である。また、breakout モデルでは、大局的な磁場構造が磁力線の繋ぎ変わりにより変化することで CME が発生すると考えられている。

本研究では CME の有無を決定する物理機構を明らかにするため、2017 年 9 月 6 日に AR 12673 で連続発生した confined フレアと eruptive フレアを調べた。大局的な磁場構造の変化を見るため、フレアエネルギー解放の中心にある磁気中性線 (PIL) 付近の磁場に加えて、PIL 右側から北の黒点に伸びる磁場構造に着目した。北の黒点は、非線形フォースフリー磁場で計算したねじれ数は 1 未満ではあったが、光球面における観測磁場とポテンシャル磁場の差が 1,000G 以上あったため、磁気エネルギーが余剰に溜まった領域であったと考えられる。SDO 衛星 AIA の 1,600Å データで見られる増光であるフレアリボンが confined フレアでは PIL 付近のみに 1 組存在する一方、eruptive フレアでは PIL 付近の 1 組に加えて PIL 右側と北の黒点との間にも 1 組のフレアリボンが見られた。PIL 付近のフレアリボン距離が confined フレアでは約 20 秒角なのに対し、eruptive フレアでは約 40 秒角あったため、後者がより高い位置で磁力線の繋ぎ変わりがあったと思われる。eruptive フレアでは、confined フレアより高い位置での磁力線の繋ぎ変わりがトリガーとなってより広域で磁力線の繋ぎ変わりが起き、大局的な磁場構造が変化したことで CME に繋がったと推測されるが、そのような差異が生じた原因の特定までには至らなかった。

[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](#)

M22a 磁気リコネクションにおけるプラズモイド不安定性の効果

広瀬暖菜, 今田晋亮 (東京大学)

磁気リコネクションとは、磁力線の繋ぎかえによって磁場のエネルギーをプラズマのエネルギーに変換する物理現象である。太陽コロナで起こる爆発現象である太陽フレアも磁気リコネクションをその駆動源とすると考えられている。しかし、リコネクションレートを決める物理プロセスは完全には解明されていない。たとえば、磁気リコネクションの伝統的なモデルである Sweet-Parker モデルを使うと、太陽コロナでのリコネクションレートは 10^{-6} から 10^{-7} となるが、実際の太陽フレアでのリコネクションレートは 10^{-3} から 10^{-1} という値をとる。このギャップを説明するプロセスとして、プラズモイド不安定性の存在によってリコネクションレートが上昇するというプロセスが考えられている。

そこで、本研究ではプラズモイド不安定性によって実際にリコネクションレートが上昇するかを、太陽フレアの解析によって検証することを目的とした。具体的には、プラズモイド不安定性が見られるとされている 2010 年 8 月 18 日の太陽フレアと、プラズモイド不安定性の見られない 2017 年 9 月 10 日の太陽フレアについて、SDO/AIA を用いて、リコネクションレートとプラズモイド不安定性の時間変化を求め、両者の関係を比較した。その結果、プラズモイドがあるケースではプラズモイドが発達していない段階よりも十分に発達している段階の方がリコネクションレートが大きくなっていることがわかった。一方で、プラズモイドのないケースではリコネクションレートの時間的な変化は小さかった。また、プラズモイドとプラズモイドの間といったカレントシート構造内の構造を求めて解析した結果も報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

M23a 太陽フレアに伴う諸現象の、4つの彩層ラインでの Sun-as-a-star 解析

夏目純也, 浅井歩, 上野悟, 一本潔 (京都大学)

空間分解が難しい恒星の磁気活動現象を、空間分解可能な太陽の物理の知見を用いて理解するために、太陽の観測データを敢えて空間積分し恒星観測を模したデータを得る解析、「Sun-as-a-star(星としての太陽) 解析」が近年行われている。Namekata et al. (2022a) では、太陽型星スーパーフレアに伴う H α 線の吸収成分と、フレアに伴う太陽フィラメント噴出の Sun-as-a-star 解析との比較から、このスーパーフレアもフィラメント噴出を伴っていたことを明らかにした。フレアなどの短時間の磁気活動現象の Sun-as-a-star 解析に用いる彩層ラインは H α 線が主だが(例: Otsu et al. 2022)、他の彩層ラインも含む同時観測により、各ラインの形成高度や温度、密度等の物理条件への感度の違いから、より多くの物理情報を得られる可能性がある。例えば He I 10830 Å では、太陽フィラメント噴出の高速成分が検出された例があり (Penn 2000)、恒星の CME とフィラメント噴出の関係の解明に役立つことが期待される。

我々は、2022 年 8 月 19 日に京都大学飛騨天文台ドームレス太陽望遠鏡水平分光器で観測した、活動領域 NOAA 13078 の太陽フレアに伴う増光とフィラメント活動に対し、4つの彩層ライン (H α 線、Ca II K 線、Ca II 8542 Å、He I 10830 Å) の Sun-as-a-star 解析を行った。その結果、フィラメントの吸収成分については、He I 線と H α 線の wing の部分でよく似た線幅や感度を持つが、H α 線中心付近はフレアの増光で吸収成分が検出できない場合でも、He I 線中心付近では増光成分が弱く吸収成分を検出できる場合があることが分かった。一方で Ca II K 線では、H α 線に比べてフィラメントの吸収成分の影響が小さいと考えられ、フレアの増光が検出しやすいたことが分かった。

[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](#)

M24a NICER 観測によるおひつじ座 UX 星フレアの非平衡電離過程の調査

栗原 明稀 (東京大学), 岩切 渉 (千葉大学), 辻本 匡弘, 鳥海 森, 海老沢 研 (JAXA/ISAS), 笛吹 一樹 (東京大学), 坪井 陽子 (中央大学)

突発的な恒星フレアの現場においては、X 線放射の主成分となる $T \sim 10^{7-8}$ K の衝突電離平衡 (CIE) プラズマに加え、非平衡プラズマの発生が予想される。しかし、その観測的な存在証拠は乏しい。天球上のどこで発生するか予測できない突発的なフレアを捕捉し、詳細解析することが単一の装置でできないことが一因にあげられる。2017 年 6 月に開始した「MANGA (MAXI and NICER Ground Alert)」プロジェクトは、この困難を克服することに成功した (岩切ほか 2018 天文学会秋季年会)。これは、低感度だが広視野を持つ全天 X 線監視装置 MAXI で検出した突発天体を、狭視野ながら高統計 X 線観測ができる NICER 装置で即時追観測するシステムである。

本研究では、MANGA の代表的な成功例である、RS CVn 型連星 おひつじ座 UX 星 (UX Ari) が 2020 年 8 月 17 日に起こしたフレアイベントを扱う。MAXI による検出の約 90 分後、NICER で初めてフレアピーク以前から観測を行うことに成功し、十分減衰するまで 5 日間ほど継続的に観測できた。0.5-8 keV 帯域において、ピーク時の X 線光度は 2×10^{33} erg s $^{-1}$ 、フレア期間の X 線放出エネルギーは $\sim 10^{38}$ erg であった。X 線スペクトル解析では 0.5-8 keV を複数温度の CIE プラズマモデルでフィットした。フレア期は、静穏期から存在していた 0.2-2 keV の 2 温度 CIE 成分増光に加え、新たな 1 温度の CIE 成分を加えることでスペクトルを説明できた。追加 CIE 成分の温度はフレア進化に従って $kT \sim 10$ keV から $kT \sim 4$ keV まで低くなっていった。また、鉄の He α , Ly α 輝線の強度変動も確認でき、強度比から求めた電離温度は、追加 CIE 成分のプラズマ温度と有意なずれを生じた。これは非平衡プラズマの存在を示唆する結果である。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

M25a MHD+GCA テスト粒子計算を用いた太陽フレア中の電子加速効率の評価

佐藤慶暉(総研大), 金子岳史(新潟大学), 成影典之(国立天文台), 高棹真介(大阪大学)

これまでの硬 X 線や電波での観測により、太陽フレアは数十 keV から MeV 帯に至る高エネルギー電子を生成することが知られているが、電子の加速メカニズムについてはモデルが乱立している状態で未解決である。

一方、太陽フレアの理論的研究では、MHD シミュレーションを用いたフレアの再現がこれまで多数試みられており、近年では粒子加速の候補となりうるプラズモイドや終端衝撃波といった様々なプラズマ構造が見つまっている ([Takasao & Shibata 2016] 等)。しかし、流体近似を用いる MHD シミュレーションでは、粒子 1 つ 1 つの運動 (加速) を追跡することができず、MHD の枠組だけでは加速への寄与を定量的に評価することは難しい。そこで [Birn et al. 2017] 等の先行研究では、MHD 計算の結果を背景場 (電場、磁場) として用いた、相対論的案内中心近似 (Guiding Center Approximation, GCA) に基づくテスト粒子計算を行うことで、MHD フレア構造の加速効率の評価がなされてきた。

本研究では、磁気拡散領域からフレアループの足元までの領域をカバーする MHD 計算モデルをベースとしたテスト粒子計算を、複数の MHD 時刻データに対して実施することで、同一のフレアモデル内でセルフコンシステントに再現された衝撃波、プラズモイド、フレアループ構造について、粒子加速効率の定量的な評価・比較を行った。結果、曲率の大きいプラズモイド周辺を周期的に運動する電子が、効率的に加速され得ることが分かった。本講演では、その他のプラズマ構造での加速効率の結果も含め、フレア中の電子加速について議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

M26a 粒子シミュレーションによる太陽フレアの考察

芥川慧大, 今田晋亮 (東京大学)

磁気リコネクションは短い時間で磁気エネルギーを運動エネルギーや熱エネルギーに変換するプロセスであり、太陽フレアのドライバーの一つであると考えられている。本来、磁気リコネクションは運動論スケールの物理が重要になるプロセスであるが、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ものが主流であった。本研究では 2 次元粒子 (PIC) シミュレーションを用いて、太陽フレアにおける運動論スケールの物理を含みかつ大きな MHD スケールの現象の理解に挑戦した。

太陽フレアを想定した粒子シミュレーションをするにあたり、(1) 光球を想定した境界条件、(2) ガイド磁場の効果、(3) イオン・電子温度の違い、に注目した。(1) より磁気拡散領域は太陽表面と反対側に流される (Oka et al. 2008)。(2) のガイド磁場の存在によって、磁気拡散領域から正極黒点方向に放出される電子と負極黒点方向に輸送される電子に偏りが出ることが分かった。この結果は正極黒点および負極黒点に粒子輸送が異なることを示しており、いくつかの太陽フレアに伴う正極黒点および負極黒点の非対称な発光現象を説明できるのではないかと考えている。(3) イオン・電子温度は地球磁気圏では一般に 5 倍程度異なる事が知られており、通常電子は冷たい事を過程して計算を行う。太陽コロナにおいてはイオン・電子温度の違いについての議論はある (Imada et al. 2009) もののよく分かっていない。そこで、イオン・電子温度比を変えて計算を行った。その結果、磁気リコネクションに伴って形成されるプラズモイドの形状・数が異なることが分かった。本公演では以上の (1)-(3) を複合的に考察した結果を議論する。本研究のように運動論スケールまで迫ることで、将来的に太陽フレアにおける粒子加速プロセスの解明につながると期待できる。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

M27a 太陽フレア予測モデル DeFN の運用状況とフレア発生機構の考察

西塚直人 (情報通信研究機構)

太陽フレアの予測手法は、演繹的手法と帰納的手法とに分類される。演繹的手法とは、モデルや仮説に基づくもので、数値シミュレーションなどを使って物理解釈の仮説検証に用いられる。一方で帰納的手法は、データ駆動の統計解析や機械学習を用いたアプローチで、網羅的であり、物理解釈の仮説を立てるのに便利である。両手法の組み合わせによって、太陽フレアの発生機構は理解を深めることができる。

現在、情報通信研究機構では太陽観測画像と深層学習を用いた太陽フレア AI 予測モデル Deep Flare Net (DeFN) を開発し、2019 年から予報運用を行っている。また 2019 年から宇宙天気予報の 24 時間 365 日運用も開始し、人手予報の支援ツールとして宇宙天気予報会議でも活用している。DeFN と DeFN-R の 2 モデルを用いて、3 時間毎に M クラス以上、C クラス以上の太陽フレアの発生予測を行っている。また同時に SHARP の水平磁場画像と磁気中性線画像を作成し、人手予報と比較しながら予測モデルの改良に活用している。

予報運用を行いながら、現状予測が難しいフレアの発生というのもわかってきた。1 つ目は、磁場が弱く磁気中性線のない領域で起こる M クラスフレア。全体の 1 割ほどがこのタイプに該当する。2 つ目は、インパルスに起こる M クラスフレア。活動領域全体でのエネルギー蓄積などが見られず、局所的に短時間で発生するため予測が難しい。また X クラスと M クラスの境界、M クラスと C クラスの境界も予測は難しく、予測結果が 24 時間の中でも変化することがある。これらは同規模のフレアでも発生パターンが複数あることを意味している。さらに、規模が異なると予測に重要な特徴量は変化するため、規模によってもフレア発生機構は異なる可能性を示唆している。本講演では DeFN の予報運用状況を紹介しつつ、帰納的観点から太陽フレアの発生機構を考察する。

[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](#)

M28b Changes in the Photospheric Non-potential Magnetic Fields during Solar Flares and their Correlation with Flare Ribbons

Qihui Ming¹, Kanya Kusano¹, K.D. Leka^{1,2} (¹ ISEE, Nagoya Univ.; ² NWRA)

Solar flares are highly energetic phenomena on the sun, driven by its dynamic magnetic field in active regions. Flares produce ribbon-shaped brightenings in the lower solar atmosphere, which are believed to correspond to the footpoints of magnetic reconnected field lines. Kusano et al. 2020 suggested that the flare triggering mechanism is likely contained within high free-energy regions (HiFERS), subdomains of active regions with strong non-potential magnetic fields. However, the spatial relationship between HiFERS and flare ribbons is not yet understood. Our research is focused on the correlation between the evolution of HiFERS and the development of flare ribbons.

We analyzed photospheric magnetic fields of flaring active regions, using vector magnetograms from the Helioseismic and Magnetic Imager (HMI) onboard the Solar Dynamics Observatory (SDO). We examined the evolution of spatial distribution and physical properties of HiFERS in the context of flare ribbons as detected by UV 1600Å images from the Atmospheric Imaging Assembly (AIA) onboard the SDO. We find that during flare onset, while the non-potential magnetic fields are typically enhanced overall near the magnetic polarity inversion lines, the major enhancement sites tend to be located specifically between the initial flare ribbons. This spatial association between HiFER changes and flare ribbon onset supports the causal relationship between these two phenomena.

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

M29b Investigating differences of magnetic fields in Solar active regions that produce eruptive and confined flares

Ichiro Goto (ISEE, Nagoya University), KD Leka (NWSA, USA and ISEE, Nagoya University), Kanya Kusano (ISEE, Nagoya University)

Solar flares and coronal mass ejections (CMEs) are massive eruptions in the solar corona. Because they may impact geospace and social infrastructures, their prediction is important. Although larger flares are more likely to be accompanied by CMEs, some flares, even X-class flares, are not accompanied by CMEs. Hence, the relationship between flares and CMEs is not fully understood, and it is difficult to predict CMEs' occurrence accurately. Recently, Liu et al. (2022) analyzed the evolution of the twist parameter α in eruptive and confined flare regions averaged for a flare-ribbon-defined region of interest (ROI). They showed that for CME-producing flare events, this averaged α tends to decrease before flare onset and increase immediately after the flare onset, whereas it does not show such behavior in confined flares, and remains almost constant. We investigate the causes of this different behavior. We hypothesize that high- α regions become concentrated near the magnetic polarity inversion line (PIL) before flares. We test this hypothesis through analysis of the change in the distribution of α values and the distance of high- α regions to the PIL and extending the analysis to include additional targets. Initial results confirm the proposed concentration, but show that the behavior of averaged α may depend on the choice of ROI.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

M30b DeSIRE を用いた Ellerman Bomb の高度解析

市川 椋大 (茨城大学)、野澤 恵 (茨城大学)、Carlos Quintero Noda (IAC)、川畑 佑典 (国立天文台)、上野 悟 (京都大学)

本ポスターでは、Inversion Code の一種である DeSIRE を用いて、Ellerman Bomb 発生時の物理量の高度時間変動の解析結果について報告、議論する。

Ellerman Bomb とは、 $H\alpha$ 線などのウィング部分が明るくなる特徴的スペクトルプロファイルを示す短時間増光現象である。彩層底部で起こる磁気リコネクションが発生メカニズムだといわれているが、詳細は未だにわかっていない。DeSIRE とは Inversion Code の一種であり、Inversion とはスペクトルプロファイルからその高度における物理量を推定する方法で、DeSIRE は NLTE 問題を解くことができ、計算速度も早いことが特徴です。そこで、DeSIRE を用いて Ellerman Bomb のスペクトル特性から、立体的な構造を解明することが本研究の狙いである。

2023 年春季年会の発表 (M11b) では、 $H\alpha$ 線と $CaIIK$ 線の二波長を使い Ellerman Bomb 発生時の物理量の高度時間変動を求めた。結果では、彩層底部でリコネクションが起こりその双方向流を観測したが、課題点も見つかった。一つ目は、 $H\alpha$ 線と $CaIIK$ 線が同時に光る Ellerman Bomb を観測できず、5 分割した解析が行えなかった点。二つ目は、高度分割が荒く求めたかったリコネクションポイントの高度などが詳しくわからなかった点。三つ目は、温度が導出できなかった点である。

以上の点を解決するために今回は Inversion Code を用いた。観測は京都大学飛騨天文台ドームレス太陽望遠鏡の水平分光器を用いて、5 月に $H\alpha$ 線と $CaIIK$ 線、 $Ca(854.2\text{nm})$ を同時に観測し、7 月でさらに観測する波長を増やすことで、より信頼度を増した状態で物理量を求めるようにした。

[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](#)

M31c 太陽フレアの統計則を再現する結合自己組織化臨界モデル

黒石萌香 (お茶大理), 田代徹 (愛工科大基礎)

太陽フレアとは太陽表面で発生する爆発現象で、そのエネルギーはおよそ 10^{22} – 10^{25} J にも及ぶ。この膨大なエネルギーによって加速されたプラズマ等が地球に飛来すると、衛星通信等に不具合を引き起こすことが知られている。これまでの太陽観測衛星の観測によって、太陽フレアに関する様々な統計則の詳細が明らかになり、また、太陽フレアの発生の起源は、磁気リコネクションであることが確実なものになった。しかし、磁気リコネクションがどのようにして開始するかというトリガーの問題など、未解決の課題も多い。

我々は最近、磁気リコネクションの物理を元にした、太陽フレアの統計則を再現するトイモデルを構築した。これについて本講演で発表する。空間と時間を離散化したこのモデルでは、磁気リコネクションのトリガーが何らかの臨界状態にあると仮定、そのダイナミクスを自己組織化臨界モデルで表現し、磁場のエネルギーのダイナミクスを記述するモデルをこれとカップルさせる。当日の講演ではこのモデルの詳細と、数値計算によって得られる、開放されるエネルギーの分布などの統計則を、実際の観測結果と比較しながら議論する。

[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](#)

N01a *NuSTAR* で偶然観測された恒星フレアの起源と物理的描像

袴田知宏, 松本浩典, 小高裕和, 野田博文, 常深博, 高棹真介, 善本真梨那 (大阪大), 朝倉一統 (JAXA)

2013 年 4 月 25 日、硬 X 線天文衛星 *NuSTAR* が (RA, Dec) = (23^h00^m59.88^s, +58°57'25.86") に X 線突発天体をその光度曲線の立ち上がりから減衰まで観測した。本天体については 2022 年春季年会 (N21a) でも言及しており、希薄高温プラズマモデルによる X 線スペクトルフィットを行った結果、温度は 8 keV 程度であった。さらに *Chandra* や *XMM-Newton* の軟 X 線観測データを加えた解析によって、0.5–10.0 keV のフラックスが静穏時の数百倍にまで達していることがわかっている。この突発天体の起源を探るため、X 線に加えて可視光・赤外線観測データから得られたスペクトルエネルギー分布 (SED) の解析も行った。その結果、この突発天体は温度が 3300 K 程度の恒星で起こったフレアである可能性が高いとわかった。このような大規模な恒星フレアを立ち上がりから減衰まで硬 X 線で観測したという点で、本研究で解析した観測データは非常に興味深い。

解析を進めると *GAIA* が観測した年周視差から、恒星までの距離が 281 pc とわかった。求めた距離と SED 及び *Chandra* の観測によって得られた水素柱密度から、この恒星は半径が $0.73 \pm 0.17 R_{\odot}$ の M 型星連星である可能性が高いという結果になった。この結果を踏まえて、X 線で観測された M 型星フレアの先行研究と *NuSTAR* が観測したフレアの解析結果から得られた物理パラメータの比較を行った。本講演では可視光・赤外線を含む多波長観測データによって得られた結果からフレアの起源となる恒星の種族について議論する。加えて X 線観測データから得られた結果を用いて、他の M 型星で発生したフレアとの時間的・空間的スケールの類似点及び相違点を先行研究をもとに評価する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

N02a *XMM-Newton* を用いた A 型主系列星の系統的 X 線分光解析

中澤皓太, 伊藤駿, 三石郁之 (名古屋大)

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 型星をはじめとする早期型星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晩期型星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中質量星には強烈な星風や磁場は存在しないと考えられており、いくつかの中質量星にて見られる X 線放射の起源は未だに分かっていない。この中で我々は、中質量星と考えられる F 型星に着目し、単独の F 型主系列星に対する系統的な X 線分光解析を実施し、放射量度と温度およびロスビー数と X 線活動星の関係性が、単独 G 型主系列星で見られた観測的特徴と一致することを明らかにした (2022 年秋季年会 三石他; Shimura, Mitsuishi, et al., ApJ, submitted)。

そこで我々はさらにスペクトル型を拡張し、A 型星の X 線放射機構の解明を目指し、まずはその X 線分光特性を系統的に調査した。まず我々は単独の A 型主系列星に着目し、大規模な可視光カタログと X 線カタログをマッチングした。さらに、光子統計数が 400 cts 以上、カタログにて時間変動が無しとされており、周辺にその他の X 線源がないという選定条件を加え、最終的に高品質な 9 天体を選定した。これらの分光特性を調べた結果、温度 0.4–1 keV、放射量度 $1\text{--}100 \times 10^{52} \text{ cm}^{-3}$ 、X 線光度 $2\text{--}100 \times 10^{29} \text{ erg/s}$ となった。また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。さらに連星系も 9 天体追加し分光解析を実施したところ、単独星と同程度の温度と放射量度の上限値を示し、G/F 型主系列星サンプルとは異なる振る舞いをしていることが分かった。本講演では晩期型星や早期型星との共通点と差異に触れ、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](#)

N03a なゆた望遠鏡による Be 星の伴星の近星点通過前後における中分散分光観測

石田光宏 (横浜市立戸塚高等学校)

Be 星 (γ Cas 型変光星) とは、数か月から数十年のタイムスケールで変光する星であり、爆発型変光星に分類される。光度階級が III-V の B 型星のうち、過去に一度でも水素の輝線がみられたものは Be 星と呼ばれる。水素輝線は、星が高速で自転しているため赤道周りにガス円盤を作り、そこから放出されるというのが定説となっている。1900 年代前半より、様々な Be 星で等級や水素輝線等価幅等のモニター観測が行われており、円盤の拡大・縮小が報告されている。しかし、円盤への角運動量輸送機構等明らかになっていないことも多い。講演者は 2018 年 9 月より、勤務校の天文台での低分散分光観測で、水素輝線等価幅に加え、観測の報告が少ないバルマー通減率 (本研究では $H\alpha$ と $H\beta$ の輝線等価幅の比) の変動を調べた。その結果、有意な変動を示す Be 星 (δ Sco、 π Aqr、 ϕ Per) が見つかり、それぞれの伴星の近星点通過時期と照合することで、伴星の近星点通過前後で円盤がリング化するというモデルを構築した (石田 2022)。このモデルの検証には、分光器の分解能を上げ、近星点前後で、主に円盤の内側から出る $H\beta$ 輝線の裾の幅が小さくなっていくかを測定する必要がある。講演者は伴星の軌道周期がおおよそ 10 年である δ Sco において、兵庫県立大学西はりま天文台で中分散分光観測を 2022 年 4 月 (近星点通過時期) と 2023 年 4 月に行った。その結果、 $H\alpha$ 、 $H\beta$ 輝線ともに裾の幅 (FWHM) に有意な変動はなかった。一方、Be 星スペクトルデータベース (BeSS) に登録されている過去 10 年間にわたるデータを解析すると、 $H\beta$ 輝線の FWHM は 2011 年 7 月 (近星点通過時期) をピークに徐々に減少し、2022 年 4 月の近星点に近づくにつれて上昇していることを確認した。これは講演者が提唱したモデルとは逆の傾向である。本講演では、この現象の解釈と、2023 年 8、9 月に予定されている π Aqr の結果も合わせ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](#)

N04a 短周期アルゴル型連星系 U CrB の TESS との同時分光観測

鳴沢真也 (兵庫県立大学)、前野将太 (美星天文台)、永井和男 (VSOLJ)、西村昌能 (京都産業大学)、前原裕之 (国立天文台)

短周期アルゴル型連星系の中には、主極小時の光度曲線が突発的に変動する (TPD) ものが知られている。アルゴル系においては、伴星からの質量移動により主星周辺に降着円盤などが形成されることが知られているが、一般的に TPD はこれらの星周物質が原因とされている。U CrB も TPD が知られているアルゴル系である。この系の主極小は部分食であるが、皆既食を彷彿させる平底の出現が報告されている。2022 年春に TESS が U CrB の観測を行ったので、我々は星周物質と TPD との関連にヒントを得るため、同時期に美星天文台 101 cm 鏡でこの系の $H\alpha$ 分光観測を試みた。実際に観測ができたのは 4 月 6 日と 11 公転後の 5 月 14 日で、どちらも主極小であった。観測で得られたプロファイルからモデルのそれを引いた差分プロファイルは、ダブルピークを両端に持つ吸収線となったが、これは降着円盤によるものであろう。今回の観測で特記すべきことは、吸収線中に幅の狭く赤方偏移している輝線 (以下 NREA) が見られることであり、これは先行研究では特に議論されていない現象である。NREA は 11 公転後の観測でも検出でき視線速度は変化がなかったが、同位相での初観測に比べて衰退していた。NREA の原因は降着円盤の内側に存在し、赤方偏移している accretion annulus の可能性がある。これまで accretion annulus の 10 公転程度の期間での変動は報告がないので、今回の観測でそれを捉えることができたと考え。一方 TESS の光度曲線には特に明瞭な光度曲線の乱れは確認できなかった。したがって今回の分光観測で検出した星周物質は、少なくとも TESS の観測波長域での光度曲線に TPD を起こすものではなかった。

[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](#)

N05a 潮汐変形した連星のスペクトル線輪郭を活用した質量推定

友善瑞雄, 増田賢人 (大阪大学)

主星が潮汐変形している近接連星では、伴星の位相に応じて観測者から見た主星の面積が変化し、それと共に光度も変化する (ellipsoidal variation)。この効果を、視線速度観測から得られる軌道運動の情報や主星半径に関する情報と組み合わせることで連星質量を決定でき、実際に X 線連星などに対してこの方法を用いて質量推定が行われている。しかし、降着円盤などの主星以外の光が混在している場合、ellipsoidal variation に基づく質量推定には系統誤差が生じる場合があることが指摘されている (Kreidberg et al. 2012)。

この問題に対して、主星の分光スペクトル線輪郭に現れる潮汐変形の影響を用いた対処法が提案された (Masuda & Hirano 2021)。具体的には、主星の潮汐変形によってスペクトル線輪郭が伴星の位相に応じて歪み、測定される視線速度に周期的なシグナルが加わることを活用する (以後、潮汐視線速度モデル)。このシグナルは ellipsoidal variation と等価な情報を含むので原理的には視線速度データのみを用いた連星質量の推定が可能である。

そこで本研究では、V723 Mon を例として潮汐視線速度モデルの実用性を検証した。V723 Mon は、潮汐変形のシグナルが視線速度データに現れている連星である。さらに、二重線分光連星でもあるため、各恒星の視線速度曲線から主星-伴星の質量比を潮汐視線速度モデルとは独立に推定できる。我々は、すばる望遠鏡 IRD を用いて観測され一次処理ツール PyIRD で処理した分光スペクトルの解析から求めた射影自転速度 $v \sin i$ と、潮汐視線速度モデルを組み合わせることで連星質量を推定し、視線速度振幅の比から得られた値と比較した。本講演では、この比較結果に基づいて潮汐視線速度モデルの実用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](#)

N06a LAMOST/すばる望遠鏡による金属欠乏星組成調査 IV.: 特異な化学組成をもつ LAMOST J1645+4357 の組成とその起源

青木和光、富永望 (国立天文台)、Li, H.-N., Zhao, G. (NAOC), 松野允郁 (Univ. Groningen)、本田敏志 (兵庫県立大学)

中国の分光探査望遠鏡 LAMOST で検出された金属欠乏星候補天体に対し、すばる望遠鏡を用いて高分散分光観測を行い、約 400 天体の化学組成を決定して結果を報告してきた (Aoki et al. 2022, ApJ 931, 146; Li et al. 2022, ApJ 931, 147; 2021 年秋季年会)。そのなかで特異な化学組成を持つ星が発見され、波長域を広げて高精度のスペクトルを取得して化学組成を詳細に決定した。この天体 (LAMOST J1645+4357) は金属量 $[Fe/H] = -2.9$ の比較的進化の進んだ赤色巨星である。炭素組成はこの進化段階の金属欠乏星のなかではやや高く、加えて窒素組成が非常に高い ($[N/Fe] = +1.4$) ことがわかり、もともと炭素過剰天体であったと推定される。 α 元素と鉄組成の比は金属欠乏星のなかで平均的な値を示す一方、鉄より重い中性子捕獲元素の組成は極めて低い。これらの特徴は、鉄をはじめ重元素の放出が少ない「暗い超新星」が作り出した化学組成を起源とした星として説明できる特徴である。しかし、この天体が特異なのは、Ti、Sc、Co、Zn の 4 元素の組成が、従来知られている金属欠乏星に比べて有意に低く、逆に Cr と Mn 組成は高いことである。前者の特徴は、球対称爆発を仮定した超新星元素合成モデルでよく説明できる (逆に、多くの金属欠乏星のこれらの元素組成は球対称爆発だとよく説明できていない)。一方、後者の特徴を説明するには、超新星元素合成モデルに修正を加えるか、Ia 型超新星などの寄与を加える必要がある。全体的な元素組成の特徴は「球対称爆発を起こした暗い超新星」で説明できるが、どうしてこの天体のような組成を持つ星がこれほど稀なのか、という新たな問題を提起する結果である。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

N07a Ia 型超新星のスペクトル細分類ごとの光度曲線の多様性

越諒太郎, 土居守, 高梨直紘 (東京大学)

Ia 型超新星 (以下 SNe Ia) は恒星進化、宇宙の化学進化、観測的宇宙論など天文学の様々な分野にとって重要な天体であるが、その起源や親星についてはいまだに解明されていない。しかし、観測的な性質として光度曲線が互いによく似ていることが知られている。“Stretch-magnitude relation”と呼ばれる SNe Ia の光度曲線の幅と最大光度の間に成り立つ経験的な関係を用いた補正を行うことにより最大光度が概ね一定になることから、SNe Ia は観測的宇宙論において優れた距離の指標となっている。しかし、この補正だけでは SNe Ia の明るさのばらつきを全て解消することはできず、明るさをより精度良く揃えるためには別の観点からの補正が必要になる。以上より、SNe Ia の起源を探るためにも、そして距離測定の精度を上げるためにも、SNe Ia の多様性を解明することが課題となっている。

そこで本研究では 99 個の SNe Ia について、スペクトル細分類の観点から光度曲線の多様性を調べた。スペクトル細分類は 5750Å 付近と 6100Å 付近に見られる 2 つの SiII 吸収線の幅によって SNe Ia を 4 つの subgroup に分類する Branch 分類 (Branch et al. 2006) を採用した。光度曲線テンプレートをを用いたフィッティングを行うことで各 subgroup について平均の UBVRI 光度曲線を作成し、その形を分析・比較した。4 つの subgroup は UVB バンドでは概ね似た形を示したが、RI バンドで多様性が見られた。特に I バンドで見られる secondary maximum 付近での光度曲線の多様性が顕著であった。

本講演では、作成された平均光度曲線やその比較結果を紹介する。さらに secondary maximum の光度曲線の形やスペクトルなどからそれが示唆する Branch subgroup の特徴の違いについて議論する。

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

N08a 多色光度曲線を用いた電子捕獲型超新星候補天体の同定

佐藤大仁 (総合研究大学院大学), 富永望, 守屋堯 (国立天文台), 平松大地 (Center for Astrophysics | Harvard & Smithsonian), Sergei I. Blinnikov (NRC Kurchatov Institute)

約 10 太陽質量 ($M_{\odot}$) を超える星は鉄コア崩壊型超新星となり、約 $8M_{\odot}$ を下回る星は白色矮星として一生を終える。この間の $8-10M_{\odot}$ の星の結末を明らかにすることは、恒星進化理論だけでなく、超新星の爆発機構や元素合成、銀河の化学進化など、様々な観点で重要な課題である。これらの星は、理論的には ONeMg コアを形成し超漸近巨星分枝星となり、白色矮星又は電子捕獲型超新星となるとされるが、電子捕獲型超新星の観測が少なく、観測による制限が不十分である。近年、候補天体として SN2018zd が提案された (Hiramatsu et al. 2021) が、電子捕獲型超新星及び $8-10M_{\odot}$ の星の進化の理論に制限を与えるには、より多くの候補天体の観測、調査が必要である。

そこで今回、電子捕獲型のプラトーの青さを用いる判別手法 (佐藤他 2023 年春季年会 N02a) を用いて、過去に観測された天体に電子捕獲型超新星がないか調査した。本手法では、プラトーからテイルフェーズに移る時刻 (t_{PT}) 及び、 $t_{PT}/2$ における色指数 $B - V(t_{PT}/2)$ もしくは $g - r(t_{PT}/2)$ を用いており、同じ t_{PT} の場合に、電子捕獲型では鉄コア崩壊型に比べて、色指数が低い (青い) 値になる。観測データは、Zwicky Transient Facility (ZTF)、Open Supernova Catalog から、多色光度曲線が取得可能であり、IIP 型超新星と考えられるものを取得した。更に、これらの候補天体及び SN2018zd の観測結果から、それぞれの爆発の特徴を調べた。本講演では、候補天体の選定手法・結果、及び各天体の観測結果と爆発の特徴について報告する。更に、電子捕獲型超新星の割合など、本結果から得られる観測面からの制限や、今後の展望に言及する。

[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](#)

N09a SN 2022crv: Bridging the gap between SN IIb and SN Ib classes

Anjasha Gangopadhyay, Singh Avinash, Tatsuya Nakaoka, Taisei Hamada, Ryo Imazawa, Koji S. Kawabata (Hiroshima U), Masayuki Yamanaka (Kagoshima U), Miho Kawabata (NHAO, U Hyogo), Kenta Taguchi, Kohki Uno, Keiichi Maeda (Kyoto U), Takashi Moriya, Nozomu Tominaga (NAOJ), Masaomi Tanaka (Tohoku U)

Stripped envelope supernovae (SNe) are a sub-class of core-collapse SNe that strip off their outer Hydrogen/Helium envelope either due to strong stellar winds or due to accretion with a nearby binary companion. We present a peculiar case of SN 2022crv, which showed H features initially typical of a SN IIb and transitioned quickly to a SN Ib. We carried out long term observing campaign of the SN from Japan and Indian telescopes. The transition is shown by the equivalent width of H α which diminishes significantly from pre-maximum to post-maximum phase increasing in He strength. The spectral modelling well-reproduces the 6200 Å dip with a combination of H α and Si. The photometric analytical light curve modeling of the bolometric light curve helps to infer a thin outer H envelope of mass $0.015 M_{\odot}$ and a compact progenitor of $R_{env} \sim 4 R_{\odot}$. The radio synchrotron self absorption model shows that the shock radius, mean shock velocity and magnetic field varies as $1.07 - 1.79 \times 10^{16}$ cm, 0.1c, and 0.87–0.53 G respectively, at the peak phase. The mass-loss rate is derived to be $(2-3) \times 10^{-5} M_{\odot} \text{ yr}^{-1}$ (at $v_w=1000 \text{ km sec}^{-1}$) as compared with other compact SNe IIb/Ib. The radio-optical progenitor space indicates a very compact progenitor with a high CSM density and thus, a high mass-loss rate. SN 2022crv, thus, provides a continuity between the compact and extended progenitor scenario of SNe IIb/Ib.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

N10b 食連星 MN Boo の分光観測

高妻 真次郎 (中京大)、内藤 博之 (なよろ市立天文台)

近接連星において、質量比は系の性質を調べるために非常に重要なパラメータである。ロッシュローブの形状は質量比に強く依存し、系の物理パラメータを決定するためにも精確な質量比の取得が欠かせない。特に接触連星では、2つの成分星のロッシュローブが満たされた状態にあるため、質量比を決定できれば連星の形状も明らかとなる。

MN Boo は、公転周期がおおよそ 0.388 日の食連星であり、V バンドで 9.3 等の明るさをもつ。TESS により得られた光度曲線の形状は、典型的な EW 型であり、接触型の連星である可能性が高い。しかし、MN Boo に関する先行研究は非常に少なく、分光観測もこれまでにほとんどなされていない。

我々は、MN Boo の視線速度曲線および質量比を取得するため、美星天文台の 101cm 望遠鏡に搭載された中分散分光器 ($R \sim 10000$) を用いて分光観測を行った。波長域を 4800–5200 Å、スリット幅を 90 μm 、露出時間を 6 分として、複数のスペクトルを得た。一次処理を施した後のスペクトルには、いくつかの吸収線において、位相の変化とともに 2 つに分離していく様子が見られ、二重線分光連星であることが確認された。また、相互相関数を使った暫定的な解析で視線速度を算出した結果では、質量比が比較的小さな連星である可能性が高い。講演では、得られたスペクトルおよび視線速度曲線についてくわしく紹介する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

N11b Brunt-Väisälä 振動数の勾配を考慮した高調波重力波モードの準解析的研究

八田良樹 (名古屋大学)

近年、Kepler 探査機や TESS などによる長時間高精度測光観測により、多くの中間質量主系列星（1.5-6 太陽質量ほど）において重力波モード（浮力を復元力とし、典型的な周期は 1-3 日）が受かっている。恒星振動の漸近理論によれば、低周波の極限において高調波重力波モードの周期間隔が一定値となることが予想されているが（Tassoul 1980 など）、現実の観測では、その一定値の周りを準周期的に揺れていることがしばしば確認されている（Van Reeth et al. 2015 など）。この特徴的なパターンは、Brunt-Väisälä 振動数分布（以下、BV 振動数分布）に内在する“不連続性”に由来すると考えられているので（Miglio et al. 2008 など）、高調波重力波モードの周期間隔パターン（以下、 ΔP_g pattern）の解析は、そのような“不連続性”の原因となる恒星内部混合過程の解明につながりうる点で非常に重要である（Pedersen 2022 など）。

Cunha et al. (2019) は BV 振動数分布をヘヴィサイド型の階段関数で表現できると仮定し、それぞれの区画における JWKB 解を接続することで固有値条件を定め、 ΔP_g pattern の準解析的表示を導出することに成功した。しかし一般に、低質量星になるほど BV 振動数分布の“不連続性”は弱まることが知られており、Cunha らが想定したヘヴィサイド型階段関数では BV 振動数分布の記述が不十分となってしまうことがある。そこで我々は Cunha らのアプローチを発展させ、BV 振動数分布がランプ関数で表現できるという仮定のもと ΔP_g pattern の準解析的表示を導出した。新しい表式は、Cunha らの表式では再現できなかった「重力波モードの周期が長くなるほど ΔP_g pattern の振幅が小さくなる」傾向を再現できている、という点で改善が見られた。また、新しい表式を利用した恒星内部特徴量推定への応用可能性についても報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)[スケジュール \(全体\) に戻る](#)[講演者索引 TOP に戻る](#)N12b H α 線強度変動の長期分光モニター観測による太陽型星の磁気活動性の調査

李尚姫, 佐藤文衛 (東京工業大学), 野津湧太 (コロラド大学)

太陽型星の磁気活動性は彩層における活動現象として現れる。この磁気活動性は磁場やダイナモのような星の特徴を調べるためにも重要であり、活動性のサイクルを観測することは磁気活動性を理解する手段となる (Baliunas et al. 1995)。一方で、太陽近傍の太陽型星は系外惑星探査においても重要なターゲットとして期待されている。近傍の系外惑星の発見は視線速度法 (RV) を用いた観測で主に報告されているが、この RV は星の活動性からの影響も受けており (Lagrange et al. 2010)、また、hot Jupiter を持つ星ではその惑星との相互作用による活動性の変化 (Star-Planet Magnetic Interaction, SPMI) も示唆されている (Cunz et al. 2000; Shkolnik et al. 2008)。

我々は岡山 188cm 望遠鏡の高分散分光器 HIDES を用いて τ Boo (2022 年秋季年会 N26a) を含む複数の太陽型星の H α 線 (6563Å) を長期モニター観測し、その強度から周期的変化を含む活動性変動の傾向および RV への影響を調べたので報告する。また、H α 変動性の恒星パラメータへの依存性や Ca II H&K 線強度との相関から、恒星磁気活動性の指標としての H α 線の有用性についても議論する。

太陽近傍の FGK 型星の 13 天体に対して数年以内の連続かつ密な観測を行った結果、それぞれ異なる周期の特徴、特により短い周期の活動性変動を調べることができた。F 型星では 1~2 年以内の短い周期の傾向が示唆され、これは過去の Ca II H&K 線の結果を支持している (Mittag et al. 2019)。一部の星に対しては、周期の一時的な不在など特定の活動挙動が示唆された。Hot Jupiter を持つ星では有意な SPMI のシグナルは検出されなかったが、その上限値を得た。また、各星における H α 変動性の RV への影響は数 m/s 程度の精度では探知されるほどでは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](#)

N13a α Tau からの低速風

保田悠紀 (北海道大学)、鈴木建 (東京大学)、小笹隆司 (北海道大学)

近傍の K 型非コロナ巨星の星風特性 (質量放出率 $\dot{M}$ とガス速度 v_{gas}) は観測から見積ることが可能であり、特に α Tau と前回 (2023 年春季年会) 考察した α Boo については表面磁場の見積もりもあり磁気駆動風が吹くと予想される。彩層線や遷移層線の輻射輸送計算を用いて見積った $\dot{M}$ の値は両天体とも Reimers(1977) の経験式に基づいた値よりも数桁低く、しかも表面重力の低い α Tau の方がやや低い。($\dot{M}_{\alpha\text{Tau}}/\dot{M}_{\alpha\text{Boo}} = 1.2\text{--}1.8(2.5\text{--}4.0) \times 10^{-11} M_{\odot} \text{ yr}^{-1}$; Robinson et al. 1998; Harper et al. 2022)。両天体の星風特性を再現し、かつその違いの原因を反映可能な星風モデルの構築が望ましい。今回は我々が開発してきた MHD モデルを α Tau に適用する。質量を $1.3M_{\odot}$ 、半径を $45.2 R_{\odot}$ 、有効温度を 3981 K (Abia et al. 2012) とした。

表面磁場を 0.25G (Aurière et al. 2015) とし、乱流圧により大気を拡張させ圧力スケールハイトが 0.05 星半径となるようにした。その場合、観測される低速度 $v_{\text{gas}} (\sim 35 \text{ km s}^{-1}; \text{Wood et al. 2016})$ を再現する上で前回議論したように内部境界での横波の擾乱速度 $\delta v_{\perp}$ が縦波の擾乱速度 $\delta v_{\parallel} (\geq 13 \text{ km s}^{-1})$ より低いことが要求される。このように K 型非コロナ巨星の星風特性を再現する上で内部境界での擾乱速度の非等方性の導入が望まれる。しかし現状ではその非等方性について理論的根拠に乏しい。一方擾乱速度を両方向とも高くする ($\delta v_{\parallel} \sim \delta v_{\perp} > 12 \text{ km s}^{-1}$) と、一度 10 星半径程にまで持ち上げられた物質が降着し 2 星半径付近に高密度領域が形成されることで磁束管は実質蓋をされた状態となり、星風が止まってしまう。しかしその場合の管内の温度構造は広がった CO 分子大気存在 (Ohnaka 2013) と矛盾しない。そのため擾乱速度の異なる複数の磁束管分布が存在する可能性がある。本講演ではこれらの計算結果を示し、星風モデルの改善点 (内部境界の位置、磁束管の形状) 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](#)

N14a Ibn 型超新星とその前駆天体の光度曲線から探る親星の性質

武井勇樹 (東京大学/理研)、津名大地 (カリフォルニア工科大学/東京大学)、黄天銳 (東京大学/理研)、茂山俊和 (東京大学)

Ibn 型超新星はスペクトル中に水素輝線が見られない一方で狭い幅のヘリウム輝線を持ち、全重力崩壊型超新星の内およそ 1% 程度を占める比較的稀な天体である。輝線幅の狭さは主にヘリウムで構成されている高密度な星周物質に由来する。星周物質は恒星風に比べて密度が高く、超新星の直前に大規模な質量放出が起きて形成されると考えられている。実際に何例かの Ibn 型超新星では前駆天体が観測されており、大規模な質量放出を示唆するものである。どのような星が Ibn 型超新星として最期を迎えるかは未解明な部分が非常に多いが、親星の一部は単独星進化では考えられないほど低質量である、つまり連星由来である可能性が指摘されている。そこで、連星相互作用によって形成されると考えられる低質量の親星を一次元恒星進化計算コード MESA で作成し、我々が開発したオープンソースコード CHIPS によって星周物質の形成とその後の超新星についてシミュレーションを行った。本講演では、前駆天体と超新星の光度曲線の計算結果から、想定される親星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](#)

N15a X線分光観測によるWR140の輝線放射領域のジオメトリと乱流速度の導出

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

Wolf-Rayet (WR) 140 は WC7pd 型の WR 星と O5.5fc 型の O 型星による大質量連星系であり、両星から 3000 km s^{-1} ほどの高速な星風が放出されている。またその質量損失率は $10^{-5} M_{\odot} \text{ yr}^{-1}$ ほどと非常に大きく、この星風同士の衝突により O 型星を包み込むように広がるコーン状の衝撃波が形成される。この衝撃波にて加熱・圧縮されたプラズマから温度 0.1-4 keV ほどの X 線が観測されている (Sugawara et al. 2015)。

我々は、XMM-Newton 衛星が WR140 の軌道一周に及ぶ 2008 年 5 月から 2016 年 6 月までに観測した Reflection Grating Spectrometer (RGS) のデータを解析している。これまでの X 線分光解析により (1) He-like, H-like に電離した O, Ne 等の KX 線や Fe の LX 線を検出し、それらの輝線について、(2) H-like と He-like の $K\alpha$ 線の強度比から輝線放射領域における温度を導出し、(3) He-like triplet の強度比を用いることで輝線放射領域の密度を導出した。また、(4) 2 つの星からの星風の動圧のつり合いを解くことで衝撃波のコーン状の形状を計算し、(5) 計算から求めた衝撃波に沿ったプラズマ流速をもとに、各元素の輝線の視線速度及び速度分散を用いて、Ne, O 輝線放射領域の衝撃波面上での場所を特定した。また、その結果から一部の phase で (6) プラズマの乱流成分を検出した (日本天文学会 2021 年秋季年会、2022 年秋季年会及び Miyamoto et al. 2022 MNRAS)。

我々は、Ne, O 輝線を放射しているプラズマが持つ熱エネルギーと放射率から冷却時間を見積もり、これと流速の積からプラズマの衝撃波コーン上での広がりを求め、それがコーンの頂点からの距離の高々 10% ほどであることを確かめた。本発表ではこの過程と、結果として得られた乱流速度の大きさについて報告する。

[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](#)

N16a 星団を用いたレッドクランプ星の近赤外線絶対等級と色指数の年齢・金属量依存性の調査

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

レッドクランプ星は絶対等級や色指数が狭い範囲に分布するため、距離や星間減光を調べる際の標準光源として利用されている。しかしながら、レッドクランプ星の絶対等級や色指数は年齢や金属量に強く依存することが示唆されている (種族効果)。恒星進化の理論の検証、および標準光源としての精度を高める上で種族効果を検証することは重要である。ほとんど同時に生まれた星の集団である星団は年齢・金属量を知ることができ、レッドクランプ星の絶対等級と色指数の種族効果を検証するための理想的な天体である。我々はこれまでに大マゼラン雲や小マゼラン雲の星団を用いてレッドクランプ星の絶対等級や色指数の種族効果を調べ、それらを補正する経験的な式を導出してきた (Onozato et al. 2019, MNRAS, 486, 5600, 2022 年春季年会 N08a など)。マゼラン雲の星団は低金属量環境下での種族効果を調べるのに有用であったが、太陽金属量程度まで含めた広い範囲のパラメーターで種族効果を調べることはできていなかった。

そこで我々は、天の川銀河の散開星団を用いてレッドクランプ星の絶対等級や色指数の種族効果を調べた。2MASS の近赤外線観測データと Gaia の距離データを組み合わせることで、太陽程度の金属量を持つレッドクランプ星の絶対等級や色指数を調べることができる。その結果、若いレッドクランプ星の絶対等級の高金属量で明るくなるという理論予測の金属量依存性と逆の傾向が得られた。本公演では、これまでの大小マゼラン雲の星団と今回の天の川銀河の星団からレッドクランプ星の種族効果について得られた結果、経験式や理論との比較について報告する。

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

N17a 2次元平衡形状モデルを使用した高速回転する白色矮星の冷却進化

小形美沙 (早稲田大学), 大川博督 (早稲田大学), 藤澤幸太郎 (東京大学/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)

恒星進化理論は非常によく研究されている分野であり、あらゆる進化段階の恒星モデルは1次元進化計算を用いて求めることができる。この1次元球対称の計算でも精度の良い恒星モデルが得られている一方、連星合体や質量輸送などによって角運動量を得て高速回転をすると考えられる星は2次元軸対称以上のモデルが必要になってくる。しかし、遠心力による変形を始めとする角度方向への依存性を正しく考慮した進化計算コードは存在していない。恒星進化のタイムスケールが力学的タイムスケールよりも圧倒的に長くなるため、進化計算では進化の各段階を力学平衡形状とし、平衡形状計算の合間で輻射などの物理過程を計算して、その系列を並べることで進化を考えることができるようになってきている。我々はまずこの2次元での星の平衡形状計算を、進化への適用を見越して、Lagrange 的な定式化から求める計算コードの開発を行ってきた。

本発表では連星合体後の白色矮星を想定し、高速で回転する白色矮星の冷却過程の構造進化計算を行った結果を紹介する。状態方程式や冷却過程の取り扱いをこれまでより現実的なものを導入し、冷却に伴って収縮する白色矮星の様子を扁平化した形状も考慮して示していく。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

N18a Mira 型変光星と AGB 星の進化: Carbon star mystery と Superwind 機構の解明

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)

AGB 星の恒星進化において残された課題は Carbon star mystery と superwind の機構である。前者は (Iben 1981) は、LMC の Carbon star の観測で、理論的に予想よりも (1 等) 暗いことが判明し、dredge-up の効率の問題であるとして議論されてきたが、その原因については未解決である。後者については、Renzini(1980) が、planetary nebula の形成との関連で、AGB 星の最後に通常の AGB 星から観測されるよりけた違いに大きい ($> \sim 10^{-4} M_{\odot}/yr$) mass loss が必要とした指摘に始まる。この大きな mass loss は観測的にも heavily enshrouded 星などで確認されている。かつて、Paczynski(1965) は AGB 星の最後と H と He の相転移による外層の動的不安定性を結び付けて議論したが、未だ、具体的な mass loss の機構としては理解されてこなかった。これらの問題は、モデル計算では AGB 星の対流層などの複雑な構造によって解決することが難しいため、観測的事実より解明することが求められる。近年では、変光星の観測が進み多数のサンプルが公開されていることと多波長のアーカイブデータ公開によって統計的に有意な観測研究が可能となった。

本講演では、Carbon star mystery と Superwind のメカニズムについての新たな描像を提案する。天の川銀河のミラ型変光星の距離を決定し、アーカイブデータを駆使して天体の bolometric luminosity を見積もった。光度関数と period-bolometric luminosity 図を作成し、マゼラン雲と比較した。Carbon star mystery では、星周ダストによる再放射が視線方向とは異なる方向へ向かう“ブランケット効果”を採用した。Superwind の機構では、Dynamical instability を改良し、継続する脈動によってモーメントが星周の質量へ与えられ、加速されるモデルを提案する。以上の問題点を中心に、AGB 星進化の最終段階及び終末についての全体的な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](#)

N19a FLASHING 5 年間総括

今井 裕, 甘田 溪, 濱江勇希, 中島圭佑, 沈 嘉耀, 笠井梨名 (鹿児島大学), José Francisco Gómez (スペイン高等学術研究院), Lucero Uscanga (メキシコ自治大学), Daniel Tafoya (チャルマース工科大学), Ross Burns (理化学研究所), Gabor Orosz (JIVE)

FLASHING (Finest Legacy Acquisitions of SiO-/H₂O-maser Ignitions by Nobeyama Generation) は、野辺山 45m 電波望遠鏡と新規搭載された周波数バンド分離フィルタを利用して、「宇宙の噴水」天体（終末星又はその連星系から放出される毎秒 10 km を超す双極状高速ジェット）や後 AGB 星に付随する水及び一酸化珪素 (SiO) メーザー源を長期監視観測を実施する事業である。これらの天体は、運動学的年齢が 100 年未満で、複雑な惑星状星雲形状を作り上げる初期段階にあり、監視期間中に実時間で付随するメーザー源の進化を捉えられることが期待される。それを直接確認するべく、VLBI などの電波干渉計を使った追加撮像観測をすることもある。

FLASHING 観測は 2018 年 12 月から始まり、今年で 5 年目を迎えた。本講演ではこれらの成果をまとめる。ジェット最高速度を更新する様な視線速度成分を持つ水メーザーの発見 (Imai+2020; Uscanga+2023)、新 SiO メーザー源出現の捕捉 (Amada+2022) については報告済みである。今回、前出 2 例以外の宇宙の噴水においてもジェット最高速度が 10–20 年間で更新されたこと、元々 W 43A で見られていた SiO メーザー源が消滅してしまいジェットが成熟期を迎えたこと、その成熟期まではジェットによる分子ガスの加速が水メーザー源視線速度ドリフトとして見られること、別の天体では水メーザー源の視線速度幅が大幅に減少した、等について確認できた。こうして、上記運動学的年齢が宇宙の噴水としての寿命に相当することが示唆される。今後の監視観測を通して、中心部恒星系の正体（共通物質縁を伴った連星系？）や恒星ジェットの進化・退化の一部始終を解明したい。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

N20a II_n 型超新星の性質の環境依存性

守屋 亮 (国立天文台), L. Galbany, C. Jiménez-Palau (Institute of Space Sciences), J.P. Anderson (ESO), H. Kuncarayakti (U. Turku), S.F. Sánchez (UNAM), J.D. Lyman (U. Warwick), T. Pessi, J.L. Prieto (U. Diego Portales), C.S. Kochanek (Ohio State U.), S. Dong (Peking U.), P. Chen (Weizmann Institute of Science)

II_n 型超新星は水素を含む高密度星周物質中で超新星爆発が起こった際に観測される超新星である。II_n 型超新星の親星の爆発直前の質量放出率は典型的に約 $10^{-3} M_{\odot} \text{ yr}^{-1}$ 以上であると推定されている。どのような親星からどのようなメカニズムでこのような質量放出が起こっているかはまだ分かっていない。質量放出メカニズムによっては質量放出率が金属量といった親星の環境由来の性質に依存することが知られている。そこで我々は、II_n 型超新星の性質と II_n 型超新星の現れた環境に何らかの相関がないかどうかを調査した。母銀河の面分光データがあり、光度曲線の立ち上がりが十分に観測された II_n 型超新星から、金属量といった環境に由来する性質と、超新星の最大光度や星周物質密度といった超新星の性質を推定し、両者の間の相関を調べた。この結果、最大光度の明るい II_n 型超新星は低金属の環境で起こりやすいことが明らかになった。これは II_n 型超新星の爆発エネルギーが低金属環境下の方が高いことを意味する可能性がある。また、星周物質密度は金属量に依存していないことが明らかになった。この結果が II_n 型超新星親星の質量放出メカニズムに与える示唆を議論する。

[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](#)

N21a 対不安定型超新星の上限質量と $^{12}\text{C}(\alpha, \gamma)^{16}\text{O}$ 反応率応答性

川下大響, 澤田涼, 諏訪雄大, 谷川衡 (東京大学), 守屋堯, 富永望 (国立天文台)

対不安定型超新星 (Pair-instability supernova: PISN) とは初期質量 $200M_{\odot}$ 前後の質量レンジの恒星の最期の姿である。PISN は Ia 型超新星と同じ熱核反応型超新星で、残骸を残さないため、ブラックホールの mass function には $50 - 130M_{\odot}$ に Pair-instability mass gap (PI mass gap) と呼ばれる間隙をもたらすことが予言されている。しかし、GW190521 をはじめ、近年の重力波観測によってこの mass gap 範囲内に存在している可能性があるブラックホールの存在が続々と確認されている。

PISN を起こす下限質量に $^{12}\text{C}(\alpha, \gamma)^{16}\text{O}$ 反応率が応答することが明らかになったため、PISN の下限質量まわりについての研究は盛んにおこなわれ、よく理解が進んでいる。しかし、上限質量側の応答性については、PISN そのものの上限質量についての理解が不足しており、検討が十分にされているとはいえない。

本研究では、PISN を起こす質量上限の $^{12}\text{C}(\alpha, \gamma)^{16}\text{O}$ 応答性について、恒星進化コード MESA を用いて検討した。その結果、反応率に依存する炭素燃焼プロセスの多寡に星の implosion の最大進行度が応答していることが明らかになった。また、PISN の質量上限付近では ^4He の光分解の進行に伴って爆発の成否が切り替わっ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](#)

N22b プレアデス星団に属する恒星の中性子捕獲過程元素の存在度

杉村風曉, 伊藤洋一 (兵庫県立大学)

鉄より原子番号の大きな元素は中性子捕獲過程によって生成される。中性子を捕獲する時間が β 崩壊より短い r 過程は、中性子星合体で起きると考えられている。一方で、中性子を捕獲する時間が β 崩壊より長い s 過程は、漸近巨星分枝星 (AGB 星) で起きていることが分かっている。そのため、s 過程元素の放出は r 過程元素の放出から時間が経った後に行われたと考えられている。今までの研究で s 過程元素は近年生まれた恒星ほど多く存在することが示唆された。一方で、若い恒星の集団である散開星団で 5 種類以上の中性子捕獲過程元素を調べた先行研究は数例しかない。

そこで本研究では、Keck 望遠鏡のエッセル分光器 HIRES で撮られた可視光高分散スペクトルを用いて、プレアデス星団で 7 種類の s 過程元素 (Y, Zr, Ba, La, Ce, Pr, Nd) の存在度を調べた。プレアデス星団に属する恒星のうち本研究で調べた恒星は 9 天体である。まず、スペクトルにある鉄の吸収線の等価幅からモデル大気計算プログラム TGVIT を使って有効温度、表面重力、微小乱流速度を求めた。次に、これらのパラメータを用いた合成スペクトルを作成し、観測スペクトルとフィッティングすることで元素の存在度を求めた。その結果、プレアデス星団に属する恒星で元素の存在度は各元素で一様で、Ba・La・Ce の存在度は太陽の 2-4 倍と大きいことが分かった。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

N23b VERA 新体制 (VLCOP) における AGB 星位置天文観測の継続とその進捗報告

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

国立天文台 VERA プロジェクトは従来の運用体制を 2022 年末で完了し、新たな運用体制である VERA 大型共同観測プログラム (VLCOP) を 2023 年の 1 月にスタートした。我々の従来の観測対象は周期が 300 日前後の Mira 型変光星であったが、2017 年頃から対象をさらに長い変光周期を示す AGB 星に広げている。我々は VLCOP の運用体制下においても、引き続き AGB 星の観測的研究を続けており、現在の観測対象は厚い星周ダストに覆われ、周期が 500 日から 1000 日を超える様な広い周期範囲の AGB 星である。AGB 星は質量に応じて進化も多彩で、また質量と変光周期の間には密接な関連がある。例えば質量が $7-10M_{\odot}$ 程度の AGB 星は Super-AGB (Karambelkar et al. 2019) と呼ばれ、また質量放出率が $10^{-4}M_{\odot}\text{yr}^{-1}$ (Super wind) に達するような星は Extreme-OH/IR 星 (Justtanont et al. 2015) として知られる。さらに Post-AGB 期に移行する前には脈動変光が弱まり、この時期は non-variable OH/IR 星として知られる (Kamizuka et al. 2020)。

このように AGB 星にも様々な進化段階があるが、各段階での星周構造を解明するための系統立った VLBI 観測はいまだ不十分である。様々な進化段階の AGB 星を対象とした我々のチームによる研究は世界的にもユニークな位置づけとなっている。非常に厚いダスト層を持つ一部の AGB 星では、現在も VLBI が唯一の距離計測手段であることを年周視差の比較などを通して強調しておきたい。本講演では 2023 年に新たに観測を開始した天体の初期解析結果を示す。またこの数年の OH/IR 星観測から見えてきた WISE W3-band データを用いた中間赤外線領域での周期光度関係 $M_{W3} = (-7.21 \pm 1.18) \log P + (9.25 \pm 3.09)$ 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](#)

N24b Ia 型超新星 SN 2023bee の近赤外線光度曲線に基づく研究

山中雅之, 永山貴宏 (鹿児島大学), 他鹿児島大学 1m 光赤外線望遠鏡グループ

Ia 型超新星は、近接連星系を成す白色矮星がチャンドラセカール限界質量付近に到達した時に引き起こされる熱核暴走反応由来であると考えられている。観測的性質は一様性を示し、光度曲線における減光速度と絶対等級には相関関係が認められる。このような性質を用いて未知の銀河までの距離を測定するツールとして用いられ、宇宙の加速膨張が発見されるに至った。特に、近赤外線極大光度は可視光より高い一様性を示し、精度の良い距離指標天体である。一方で、ある Ia 型超新星においては近赤外線波長域で星周ダストによる放射が観測されるなど、親星システムに制限を与えることができる可能性もある。我々は、鹿児島大学光赤外線グループで新しく開発された近赤外線 3 色同時撮像装置 kSIRIUS を用いて、比較的近傍の銀河に出現した Ia 型超新星 SN 2023bee の J, H, Ks バンド 3 色撮像観測を実施した。観測は、極大光度の 2 週間前からおよそ 100 日後まで実施された。我々が得た近赤外線光度曲線は、いずれの波長においても明瞭なダブルピークを示した。他の Ia 型超新星との比較を行ったところ、スペクトルにおいて shallow silicon に分類される SN 2012fr, SN 2017cbv によく類似していることがわかった。これは先行研究で示された可視・紫外線における SN 2023bee の性質に一致している。また、これまでのサンプルを集め光度曲線の性質を比較調査したところ、全体的な相関関係に従うことがわかった。本講演においては、様々な光度曲線パラメータの調査結果について報告を行う。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

N25b Seimei KOOLS-IFU mapping of the gas and dust distributions in Galactic PNe: the case of NGC7027

大塚雅昭 (京大岡山天文台)

We investigate the physical and chemical properties of the gas and dust components in a well-studied carbon- and dust-rich planetary nebula (PN), NGC7027 using multiwavelength dataset. Using the optical Seimei/KOOLS-IFU 2-D emission-line maps with superior angular resolution, we successfully derive the 2-D maps of electron densities/temperatures, ionic/elemental abundances, and the dust and gas masses in a data-driven way without any assumptions. In the PSF matched 1-D spectra extracted from the UV *IUE* and the optical KOOLS-IFU, we detect over 200 gas emission lines, and derive their abundances of fourteen elements including *s*-process Kr with the same way. We construct a detailed photoionisation model to be consistent with all the observed quantities and theoretical AGB models' predictions. In this poster, we will present preliminary results of this PN and discuss future collaborative research. We demonstrate the capability of KOOLS-IFU and how the spatial variation of the gas and dust components in PNe derived from IFU observations can help understand the evolution of the circumstellar/interstellar medium.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

N26c 原始中性子星外層における各ニュートリノ反応の影響の解析

Liao Jinkun(東京理科大学), 加藤ちなみ(東京理科大学), 鈴木英之(東京理科大学)

超新星爆発の後に、原始中性子星 (PNS) が中心に出来上がる。PNS はニュートリノの放出に伴い、冷えていく。ニュートリノは物質との相互作用が弱くて、強い透過性をもつので、天体の高密度領域の見るのに、ニュートリノ観測が有力である。近年ニュートリノ検出器の感度の向上により、長時間の観測が期待されている。我々は球対称一般相対論的な準静的原始中性子星冷却計算コードを用いて、原始中性子星の ~ 50 秒の進化を計算した。ニュートリノ反応としては電子型の (反) ニュートリノの荷電カレント吸収放出反応、全てのニュートリノに関する核子や原子核との中性カレント散乱、電子散乱、電子陽電子のペア反応、核子制動放射などが含まれている。これまで、PNS 外層の後期熱的進化を調べて、エネルギー交換する反応の中の吸熱プロセスについて詳細な解析をした。本研究では、正味の温度変化を説明するために、冷却プロセスに関する解析を行い、温度構造とニュートリノ反応の時間発展を説明する。また、核物質の状態方程式による PNS 外層の後期熱的進化の影響も議論していく。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

N27c 回転する重力崩壊型超新星における流体不安定性の発達

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

大質量星は進化の最終段階で重力的に不安定になり崩壊し、中心に原始中性子星を形成してコアバウンスを経て衝撃波を形成するが、その衝撃波は背面で鉄の光分解等でエネルギーを失い徐々に停滞する。第一原理的な球対称モデルでは停滞した衝撃波を復活させることは困難であったが、近年の数値的研究からこの過程で多次元的な不安定性が成長し、ニュートリノによる加熱を助長して衝撃波の復活に大きく影響することがわかっている。このように重力崩壊型超新星の爆発機構において、流体不安定性の成長は重要な役割を果たしていると考えられている。

一方、回転運動は対流や停滞衝撃波不安定性 (Standing Accretion Shock Instability; SASI) といった流体不安定性に影響すると考えられているが、その効果は十分には調べられていない。また回転は磁場を増幅する場合もあり、磁場の効果と合わせて両者は超新星研究にとって開拓すべきパラメータ領域である。

そこで本研究では、回転する重力崩壊型超新星の 3 次元磁気流体計算を実行した。親星として Sukhbold et al. (2016) の 14 太陽質量および 23 太陽質量の 2 モデルを選び、中心の鉄コアに無回転・弱回転・高速回転の 3 通りに対応する角運動量を与えて重力崩壊からコアバウンス、衝撃波の停滞・復活に至る一連の過程を調べた。その結果、与える角運動量によって衝撃波の発展に明確な違いが生じることを発見した。本講演では衝撃波背面の流体運動に注目し、回転によって SASI や対流運動が受ける影響を報告する。

[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](#)

N28c 3 次元シミュレーションによる超新星爆発の多次元対流効果の解析

佐々木俊輔 総研大, 国立天文台

太陽の 8 倍以上の質量を持つ星はその進化の最終段階に、超新星爆発を引き起こすと考えられている。超新星爆発のエネルギー源は重力崩壊によって解放される重力ポテンシャルエネルギーであるが、その爆発メカニズムは完全に理解できていない。ニュートリノ加熱や乱流といった複雑な流体現象を伴うためである。近年計算機科学の発展に伴い、3 次元の超新星爆発シミュレーションでも爆発可能であることが示された。その結果、ニュートリノ加熱に伴う複雑な乱流現象が爆発に重要な役割を果たすことがわかってきた。しかし、多次元的な対流効果は 3 次元の複雑な流体現象であり、解析も困難であるため、爆発メカニズムにどのような影響を与えるのか、未解明な点が多い。乱流に着目したシミュレーション研究も行われ、乱流のエネルギー生成や散逸、乱流圧などのメカニズムに対する効果が議論されている。本研究では実績ある超新星爆発のシミュレーションコード 3DnSEe をを用いて、先行研究では議論されていなかった乱流によるエネルギー生成や散逸が爆発メカニズムにどのような影響があるか解析を行った。その結果レイノルズ分解した $R_{\tau\tau}$ の半径分布は先行研究らと対応する結果が得られ、乱流のエネルギー生成や散逸がシミュレーションの解像度に依存性を示唆する結果が得られた。今回は初期の成果としてシミュレーションの詳細と現在得られている乱流の解析結果について紹介する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

N29a 原始中性子星から中性子星へ：クラスト形成はいつ起こるのか？

諏訪雄大（東京大）

超新星爆発によって形成される中性子星は、爆発直後は原始中性子星とよばれている。原始中性子星は初期には 10^{11} K という高温状態のため流体として振舞う。その後、主にニュートリノ放射により冷えることで、粒子間のクーロンエネルギーが熱エネルギーを卓越することで結晶化が起こり、中性子星の表面付近にクラスト（地殻）が形成される。これが、原始中性子星から中性子星への遷移である。クラスト形成によって中性子星の磁場が閉じ込められるため、この形成がいつ起こるのかを理解するのは中性子星を理解する上で非常に重要である。しかし、これまでのところ中性子星クラストの形成時間の定量評価はほとんど行われていない。

原始中性子星からのニュートリノ放射の解析解を用いることで、中性子星の長時間熱進化を追い、クラスト形成がいつ起こるのかを計算した結果を報告する。この結果は、今後の超新星シミュレーションや原始中性子星冷却シミュレーションで目標となる時間スケールの一つの指標となる。

[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](#)

N30a 新星 V1405 Cas の初期スペクトル: 太陽より軽い ONeMg 白色矮星の可能性

田口健太, 前田啓一 (京都大学), 前原裕之, 田實晃人, 新井彰 (国立天文台), 山中雅之 (鹿児島大学), 磯貝桂介, 柴田真晃, 反保雄介, 小路口直冬, 野上大作, 加藤太一 (京都大学)

新星とは、白色矮星と晩期型星 (伴星) からなる近接連星系において、伴星から白色矮星表面に降着した水素を主成分とするガスが、暴走的な熱核反応を起こすことで発生する爆発現象である。熱核反応の暴走開始後、典型的には 1 日以内のタイムスケールで V バンドで 10 等ほどの急増光を示す。その後、白色矮星が重い場合は数週間、軽い場合は数十年かけて元の等級に戻る。我々は 2021 年春季年会 (N19a) にて、京都大学岡山天文台 3.8 m せいめい望遠鏡を用いて取得した新星 V1405 Cas の急増光途上と終了後のスペクトルとを比較し、前者でのみ He II, N III などの輝線が検出されたこと、この輝線の変化は温度の低下で定性的に理解できることを報告した。このような新星爆発開始直後の急増光が終わる前の分光観測は殆ど前例がない。

我々は、新星放出物質の性質 (温度・密度・元素組成) とスペクトル輝線強度との対応づけを行う LTE 1-zone 近似モデルを作成し、V1405 Cas の初期スペクトルに適用した。この結果から、発見 9.88 時間後 (急増光期) での V1405 Cas 系の温度は $\geq 20,000$ K であったのに対し、発見 33.94、81.90 時間後 (急増光終了後) にはどちらも $\sim 10,000$ K まで低下したことが分かった。また、窒素、アルミニウムは太陽組成よりそれぞれ約 10、40 倍超過していることが判明し、V1405 Cas の白色矮星が ONeMg 白色矮星であることが示唆された。一方、V1405 Cas の光度曲線の緩やかさからは、白色矮星が太陽よりも軽いと推測される。この結果は、ONeMg 白色矮星の最小質量が 1.1 太陽質量程度であるとする標準的な恒星進化モデルとは相反するものであり、新星爆発に伴い白色矮星が質量を失う効果や、ONeMg 白色矮星形成に至る進化における連星効果等の再考を促すものである。

[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](#)

N31a 超新星爆発における乱流 α 効果により増幅された磁場の果たす役割

松本仁 (慶應義塾大学), 滝脇知也 (国立天文台), 固武慶 (福岡大学)

重力崩壊型超新星の爆発エネルギーは 10^{51} erg の典型値を示す一方で、極超新星まで考慮すると爆発エネルギーには $10^{50} - 10^{52}$ erg の幅がある (e.g., Murphy et al. 2019, Iwamoto et al. 1998)。この爆発エネルギーの分布の多様性は、重力崩壊を起こす大質量星の質量や金属量、回転速度や磁場といった特徴を反映している可能性があり、多様性の理解にはこれらの効果を網羅的に調べる必要がある。主な爆発機構と目されるニュートリノ加熱メカニズムに基づき数値シミュレーションを用いて超新星の爆発メカニズムを解明する研究が精力的に行われているが (e.g., Takiwaki et al. 2014)、磁場の果たす役割については未解明な部分も多く十分な理解には至っていないのが現状である。

我々の研究グループでは、ニュートリノ輻射輸送込みの三次元電磁流体シミュレーションを用いて大質量星の爆発メカニズムにおいて磁場の効果を調べる研究を進めている。2022 年春季年会では、無回転大質量星における磁場強度依存性について報告した (N27a)。本研究では、重力崩壊直前の 27 太陽質量の親星コア (Woosley et al. 2002) に $0.1 - 0.3$ rad/s 程度の剛体回転を与えたモデルについて、その進化を調べた。その結果、ゲイン領域でのニュートリノ駆動による対流に強い運動学的ヘリシティが生じ、乱流 α 効果により指数関数的に増幅された磁気圧の効果で、無回転モデルより停滞衝撃波の復活が早く爆発エネルギーが大きくなることがわかった。本講演では、この物理メカニズムについての詳細を報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

N32a 超新星フォールバックと親星水素外層の相関性

篠田兼伍, 澤田涼, 諏訪雄大 (東京大学), 岩崎一成 (国立天文台), 富田賢吾 (東北大学)

重力崩壊型超新星爆発 (以下、超新星) は、 $8M_{\odot}$ を超える大質量星の恒星進化の最終段階に起きる爆発である。超新星はその爆発過程で中心に中性子星やブラックホールを形成するため、爆発内部でエジェクタの一部が中心天体の重力場によって落ちていくフォールバック降着という現象が起こる。超新星のフォールバック降着が重要となる問題として、水素外層のある II 型超新星と水素外層のない Stripped-Envelope 超新星 (SE 超新星) における ^{56}Ni 問題が挙げられる。この二つの超新星における違いは外層のみで、内部構造は同じであると考えられている (Smartt 2009)。しかし、近年の観測では内部構造を反映する ^{56}Ni 量が II 型超新星より SE 超新星の方が少ないことが報告され (Meza & Anderson 2020)、SE 超新星と II 型超新星 で爆発中心の性質が異なる可能性がある と結論づけられている。一方、衝撃波が水素外層を伝搬する途中で逆行衝撃波を形成し、フォールバック降着量を増加させる見込みがある (Woosley & Weaver 1995)。この逆行衝撃波によって、II 型超新星 での ^{56}Ni 放出量が抑制される可能性があるが、水素外層によるフォールバック降着量の増加を定量的に求めた計算は現在まで行われてきていない。

本研究では流体シミュレーションコード Athena++ (Stone et al. 2020) を用いて、水素外層の有無がフォールバック降着量に与える影響を定量的に計算した。この結果、水素外層の束縛エネルギーが大きいほどフォールバック降着量は増加し、 ^{56}Ni 問題を解決しうることがわかった。

[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](#)

N33a Mg-rich 超新星残骸 G359.0–0.9 の親星質量推定

内田裕之, 松永海 (京都大学), 佐藤寿紀 (明治大学), 榎谷玲依 (国立天文台/岐阜大学), 梅田秀之 (東京大学), 成田拓仁, 鶴剛 (京都大学)

超新星爆発を起こす親星の質量分布を明らかにすることは、重力崩壊型の爆発機構を特定する上で重要な手がかりを与える。これまで超新星残骸の観測研究では、爆発噴出物の元素組成比からその親星質量を推定する試みが頻繁に行われてきた。しかし一般にこの方法は爆発モデルの不定性が大きく、確実な結果を得ることは困難である。本研究で我々は、系内の超新星残骸 G359.0–0.9 の X 線観測に基づき、恒星進化段階の元素合成に着目して親星質量の推定を行う。G359.0–0.9 は、銀河中心付近に位置する重力崩壊型の超新星残骸である。我々は XMM-Newton 衛星搭載 EPIC によるスペクトル解析から、この天体の爆発噴出物が太陽組成比で $\text{Mg}/\text{Ne} \sim 2.1$ と、通常と異なる “Mg-rich (Ne-poor)” な特性を持つことを発見した。このような Mg-rich 超新星残骸は、これまで 2 例しか見つかっておらず (N49B, Park et al. 2003; G284.3–1.8, Williams et al. 2015)、その素性はわかっていなかった。近年 Sato et al., *in prep.* は、恒星進化段階の「燃焼殻融合 (shell merger; e.g., Yadav et al. 2020)」が起きると Mg-rich に至る可能性を指摘している。この効果によって Si 殻が外層と融合すると、外層の Ne 燃焼が促進され Mg (および Si) の生成量が相対的に上昇する。興味深いことに、燃焼殻融合は $> 20 M_{\odot}$ の大質量星の爆発可能性を上げると考えられ、超新星残骸の親星推定に大きなヒントを与える。本講演では、G359.0–0.9 の観測結果の他、我々がこの手法で見出した他の Mg-rich 超新星残骸についても紹介し、爆発可能な親星質量という観点で議論を行う。

[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](#)

N34a SNR 1181 の現状観測と理論モデル：現在と未来の展望

黄天銳 (東京大/理研), 鈴木寛大 (甲南大), 樫山和己 (東北大), 内田裕之 (京都大), 田中孝明 (甲南大), 津名大地 (東京大/カリフォルニア工科大), 藤澤幸太郎 (東京工科大/東京大), 馬場彩, 茂山俊和 (東京大)

IRAS 00500+6713 は赤外線で見える星雲であり、その中心には白色矮星が存在することが示唆されている。また、白色矮星表面から約 15,000 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。この星雲と白色矮星の性質は、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。また、地球上の位置や星雲の膨張速度から、歴史的な超新星である SN1181 の残骸の有力候補となっている。X 線観測からこの星雲は広がった領域と強い光を放つ中心領域から構成されていることが判明した。本研究は、このような多層構造が、SN1181 の残骸と中心の白色矮星から吹き出す星風の衝突によって形成されることを提案し、多波長観測と整合的なモデルを構築することに成功した。その結果、SN1181 の前駆天体は系全体の質量が 1.3–1.9 太陽質量の連星白色矮星であり、その合体によって爆発が引き起こされ 0.2–0.6 太陽質量の質量が放出され、現在の天体が形成されたことを明らかにした。中央の X 線源の広がりから、この星風は過去 30 年以内に吹き始めたことも明らかにした。本講演ではこのモデルの性質について説明し、加えて、残された課題やこのモデルの検証可能性についても議論を行う。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

N35a 超新星のボルツマン輻射輸送計算におけるニュートリノ集団振動の系統的解析

赤穂龍一郎 (早稲田大学)、長倉洋樹 (国立天文台)、財前真理 (早稲田大学)、山田章一 (早稲田大学)

大質量星はその進化の最後に重力崩壊型超新星爆発を起こすことが知られている。超新星ダイナミクスはニュートリノが支配しており、それを正確に考慮することが理論モデル構築に不可欠である。ニュートリノは質量固有状態とフレーバー固有状態が異なることからニュートリノ振動を起こすことが広く知られている。そして特に超新星コア内ではニュートリノ密度が非常に高いことから、自己相互作用によるニュートリノ集団振動が起きる可能性がある。集団振動の発生により、ニュートリノ加熱率などが変化し、超新星ダイナミクスを大きく左右すると考えられる。

我々は、超新星爆発シミュレーションに関して集団振動の発生を系統的に解析した。集団振動の発生は運動量空間分布によって決定されるため、本研究ではボルツマン輸送計算を用いた結果を用いる。これは古典的輻射輸送を厳密に解くもので、モーメント法を用いた研究とは一線を画すものである。本講演では集団振動の不安定モードのうち fast flavor instability (FFI) と collisional flavor instability (CFI) が超新星コア内でどのように発生するか議論する。

[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](#)

N36a M101 で発生した超新星 SN 2023ixf の早期光度曲線モデリング

鈴木昭宏 (東京大学)

SN 2023ixf は 2023 年 5 月 19 日に板垣公一氏によって渦巻銀河 M101 で発見された超新星であり、発見後プロ・アマチュア問わず様々な追加観測が行われている天体である。距離 6.9 Mpc という近傍での早い時期からの発見となったことで様々な観測的情報が得られることが予想され、近年において最も詳細に観測された超新星の一つとなることが期待される。初期スペクトルからは、この天体が水素のスペクトル線を示す II 型超新星であることが判明しており、特に爆発後 1 週間以内の可視スペクトルからは、超新星が周囲にある密度の高い星周物質と衝突していることが示唆されている。また、Hubble 宇宙望遠鏡および Spitzer 宇宙望遠鏡のアーカイブデータからの親星推定により、11-15 太陽質量の赤色巨星が親星である可能性が指摘されている。

本研究では、SN 2023ixf の詳細を明らかにする目的で、爆発後 15 日程度までの多色光度曲線を説明する理論モデルを輻射流体力学シミュレーションに基づいて構築した。親星モデルとしては恒星進化シミュレーションコード MESA によって計算された 14 太陽質量の赤色巨星を仮定し、中心に人工的に熱エネルギーを注入することで重力崩壊に駆動される衝撃波を再現する。この際、親星の周囲に配置された星周物質が超新星エジェクタと衝突することで明るい熱放射が行われるようにしておく。爆発エネルギーや星周物質の質量・外縁半径といったパラメータを変えたときに光度曲線がどのように変化するかを明らかにし、観測される多色光度曲線を最もよく再現するパラメータを探索した。現時点において、 3×10^{51} erg 程度の通常より大きな爆発エネルギーによって爆発し、外縁半径 $< 5 \times 10^{14}$ cm まで広がった 0.2 太陽質量程度の星周物質と衝突する超新星が観測をよく再現することが分かった。講演では、光度曲線モデリングの詳細について述べ、SN 2023ixf 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](#)

N37a Multi-Peak IIn 型超新星 2021qqp から探る複雑な星周物質と爆発環境

平松大地 (CfA/IAIFI), 松本達矢 (京都大学), Edo Berger (CfA/IAIFI), 他 Global Supernova Project

水素に富んだ II 型超新星の中で、細い水素輝線 ($\sim 100\text{--}1000\text{ km s}^{-1}$) を見せるものは IIn 型と分類され、その光源は主に超新星放出物質の運動エネルギーが星周物質との衝突により変換されたものだと考えられている。光度曲線とスペクトル進化は星周物質の複雑な密度分布を反映し、全超新星分類の中で最も多様な振る舞いが観測されている。しかし、主な超新星放出物質は観測可能な衝突域よりも中心部に埋もれ、親星や爆発機構そのものの特定は困難である。そのため、予想される超新星は大質量星 ($\gtrsim 30$ 太陽質量) の重力崩壊型や対不安定型から、低質量星 ($\sim 8\text{--}10$ 太陽質量) の電子捕獲型超新星、中間質量星から成る連星系衝突等までと多岐にわたる。

本講演において、我々は IIn 型超新星 2021qqp の詳細な観測を発表する (Hiramatsu et al. 2023)。超新星 2021qqp の光度曲線は ~ 300 日間に渡る緩い増光から始まり、その後の ~ 500 日間に複数の鋭く明るいピークを見せる極めて特異なものである。スペクトルの水素線プロフィールからは、 $\sim 1000\text{--}2000\text{ km s}^{-1}$ の星周物質と超新星放出物質の衝突により形成される $\sim 6000\text{--}8000\text{ km s}^{-1}$ の層が光源であることが示唆される。これらの観測量と新しい解析方法 (次講演: 松本) を通して、超新星 2021qqp は複数の密度ピークを持つ総質量 $\sim 2\text{--}4$ 太陽質量の星周物質内での高エネルギー ($\sim 3\text{--}10 \times 10^{51}\text{ erg}$) の爆発であることが推定される。最後に、その様な星周物質と爆発環境に至る親星系や、今後の LSST 等大型サーベイ観測への展望を議論する。

[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](#)

N38a 星周物質との衝撃波相互作用で輝く超新星の新しい解析方法と特異な超新星 2021qqp への応用

松本達矢 (京都大学), 平松大地 (Harvard 大学)

一部の超新星爆発はスペクトルに $\sim 10^2\text{ km s}^{-1}$ ほどの狭い幅を持つ輝線を示すものが存在する。これらは超新星爆発から放出される物質 (イジェクタ) が周囲の物質 (星周物質) に衝突する際に放射されたものと考えられている。しかし、観測を説明するためには典型的な星風に比べて 100 倍以上の質量放出率 ($\dot{M} \gtrsim 10^{-3} M_{\odot} \text{ yr}^{-1}$) が必要とされ、その具体的な機構はよくわかっていない。また、さらに大きな質量放出率に対応する高密度な星周物質の場合、イジェクタとの衝突によって形成される衝撃波からの放射は超新星の主要な放射機構となる。実際に非常に明るい超新星の一部はスペクトルに狭輝線を示し、星周物質とイジェクタの衝撃波相互作用が駆動源と考えられている。

近年、ピークが 2 つ以上ある特異な光度曲線を持った超新星が発見されている。これら複数のピークをつくるメカニズムとしても星周物質との衝撃波相互作用は有力である。この場合、星周物質の密度分布 (もしくは質量放出率) もピークに対応した非一様性を持ち、これらを推定することで超新星爆発前の星が経験した質量放出の情報を得ることができる可能性がある。しかし、従来の理論モデルでは幂分布などの単純な星周物質分布が仮定されており、このような複数のピークをもつ光度曲線の解析には適していない。そこで我々は従来のモデルを一般化し、複雑な時間変動を示す光度曲線に対しても適用できる新しい解析方法を提案する。本講演では、我々の手法の基礎を概観し、実際に 2 つのピークを持つ超新星 2021qqp へ適用することで星周物質の分布や超新星イジェクタのエネルギーや質量などが推定できることを示す。

[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](#)

N39a Subaru/HSC transient survey における Rapid Transient 探査

敏蔭 星治, 田中 雅臣(東北大学), 高橋 一郎(東京工業大学), 安田 直樹(東京大学), 鈴木 尚孝(Lawrence Berkeley National Laboratory), 小久保 充, 富永 望, 守屋 堯(国立天文台), 他 HSC Transient WG

Rapid Transient は一般的な超新星に比べて光度進化のタイムスケールが短い (≤ 10 day) 突発天体である。近年, Zwicky Transient Facility など観測間隔の短い超新星サーベイが進んだことで, Rapid Transient の発見数が増加し, 統計的な議論が可能となってきた。その結果として, Rapid Transient の一部は星周物質との相互作用で光る超新星の種族であることが示唆されており, 恒星進化を考える上で大変重要な天体である。

本研究では, Subaru/HSC transient survey において COSMOS・SXDS フィールドで発見された超新星 3381 天体に対して, 測光データをもとに機械学習によるタイプ分類を行うことで Rapid Transient を選別し, その性質や発生頻度を調査した。機械学習による分類では, シミュレーションで得られた Ia 型, Ibc 型, II 型超新星, そして Rapid Transient の光度曲線をもとに学習し, 観測で得られた超新星を 4 つのクラスに分類する教師あり学習モデルを開発した。このモデルを用いることで, シミュレーションデータにおいて平均して 94 % という高い分類精度が得られた。この機械学習モデルを実際の観測データに適用した結果を過去の Rapid Transient と比較することで, Subaru/HSC transient survey における Rapid Transient が 15 天体得られた。これらの天体について, 先行研究 (Ho et al. 2021) に基づき光度進化のタイムスケール・最大光度を比較することで, 星周物質との相互作用で光る超新星 (Ibn 型超新星) の候補を選び出した。本講演では, Ibn 型超新星候補の性質とその発生率を議論する。

[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 Iax 型超新星：白色矮星の不完全核反応暴走爆発機構の検証

前田 啓一(京都大学), 川端 美穂(兵庫県立大学)

Iax 型超新星は Ia 型超新星の亜種であり, 初期において Ia 型超新星よりも高階電離なイオンで形成される低速なライン吸収で特徴づけられる。通常の Ia 型超新星と多くの類似点を持ち, 白色矮星の核暴走爆発という共通の爆発機構を持つと考えられている一方, Ia 型超新星と Iax 型超新星の違いを生み出す起源は未解明である。実際, Iax 型超新星には通常の Ia 型超新星に見られない観測的特徴が存在し, その起源を理解することが爆発機構の特定の鍵であると考えられる。特に特徴的な振る舞いとして, 爆発後数日に渡り許容遷移ラインの卓越する‘光球’スペクトルを示すことが挙げられるが, その理由は未解明である。我々は SN Iax 2019mu μ j の後期観測をすばる望遠鏡・FOCAS を用いて実施し, そのデータの詳細な解析を行った。その結果を本講演で報告する。

この解析から, 非常に高密度の鉄リッチな低速コアの存在が明確になった。これは, 通常の Ia 型超新星では見られない構造である。さらに我々は, 白色矮星の不完全核暴走シナリオで起こり得る状況を検討することで, この特徴が自然に説明できることを示した。不完全核暴走シナリオにおいては, ^{56}Ni を取り込んだ白色矮星残骸が残るが, この ^{56}Ni の放射性崩壊によるエネルギー注入により, 最初の爆発に二種間程度遅れて第二の鉄リッチ・高密度・低速イジェクタが形成される。この機構は, Ia 型超新星と Iax 超新星の観測的相違点を説明するのみならず, Iax 型超新星の多様性をも説明可能である。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

N41a 近傍銀河 M101 に出現した II 型超新星 SN 2023ixf の早期分光及び近赤外線観測

山中雅之、永山貴宏 (鹿児島大学)、藤井貢 (藤井黒崎観測所)、他鹿児島大学 1m 光赤外線望遠鏡グループ

非常に近傍の銀河に出現する超新星は爆発直後に発見され、即応フォローアップ観測により多くの新しい知見がもたらされる見込みが高い。SN 2023ixf は、世界時 5 月 19 日 17 時 25 分に 6.4Mpc の近傍銀河 M101 にて 14.9 等の明るさで板垣公一氏によって発見され、世界中で多波長・多モード・多メッセンジャーによるフォローアップ観測・解析が実施された。我々は発見翌晩の 5 月 20.5 日より岡山県藤井黒崎観測所 40cm 望遠鏡で低分散分光観測を実施した。また、20.7 日より鹿児島大学 1m 望遠鏡及び近赤外線 3 色同時撮像装置 kSIRIUS にて撮像観測を開始した。我々が得た初期のスペクトルは、強いバルマー系列、HeII、NIII などの輝線を示した。H アルファは異なる 3 つの速度成分に分離される。また、CIV や NIV などの高励起の輝線が検出された。強い輻射による電離ガス由来と考えられ、密度の高いガスが親星周囲に存在していることが示唆される。全体的なスペクトルプロファイルは SN 2014G や SN 2020pni といった比較的明るい II 型超新星によく類似している。また、我々が得た初期の近赤外線光度曲線は絶対等級で -17.8 等に到達し、その進化もこのサブクラスによく類似している。先行研究ではモデル計算によってこのサブクラスが過剰な窒素やヘリウムの組成を持つ II 型超新星であることが示されている。これらの事実から、我々は SN 2023ixf は窒素・ヘリウム過剰な星周ガスを持つ明るい II 型超新星であると結論付けた。我々はその後も SN 2023ixf の継続観測を実施しており、年会ではこれらの結果と合わせた議論を行う。

[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](#)

N42a 急速な減光を示した超新星 SN 2021ukt の可視近赤外観測に基づいた研究

深田静、川端弘治、中岡竜也、今澤遼、Anjasha Gangopadhyay、Avinash Singh (広島大学)、川端美穂 (兵庫県立大学)、前田啓一、田口健太、宇野孔起 (京都大学)、山中雅之 (鹿児島大学)

太陽の約 8 倍以上の質量を持つ恒星は重力崩壊型超新星となって一生を終えると考えられている。また、太陽の約 30 倍以上の質量を持つ星の中には、ウォルフ・ライエ星のように進化の最終段階で大量の外層大気を放出するものもあることも判っている。このような親星による超新星は、過去に放出された星周物質と爆発によるイジェクタとが相互作用を起こし、II_n 型超新星として観測されると考えられる。II_n 型超新星は典型的に明るく、スペクトル中に幅の狭い輝線を持つことが特徴である。

我々は 2021 年 7 月 31.44 日に発見された、II_n 型超新星 SN 2021ukt について、広島大学 1.5 m かなた望遠鏡及び京都大学 3.8 m せいめい望遠鏡を用いて、可視近赤外域の継続的観測を行った。SN 2021ukt の r' バンドの光度曲線は、極大付近がフラットで、その後急激に減光するといった特徴を示した。その減光率は極大後 50 日間で ~ 0.064 mag/day (典型的な II_n 型では ~ 0.024 mag/day) であった。また、スペクトルの水素輝線はほかの II_n 型超新星のものに比べて弱く、爆発後 18 日からはイジェクタのものと思われるヘリウム吸収線が見られた。これらのことは、比較的早い段階で星周物質とイジェクタの相互作用が弱まり、光球面が後退したことを示唆する。また、得られた SED に黒体放射フィットをしたところ、極大付近の光球半径は他の急激な減光を示す II_n 型超新星と同程度かやや大きかったものの、光球温度は約 7000K と他よりも約 3000K ほど低く、特異な傾向を示す II_n 型超新星であることを見出した。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

N43a 低輝度超新星の初期観測で探る大質量星の爆発と星周物質の性質

村井結太, 田中雅臣 (東北大学), 守屋亮 (国立天文台), 冨永望 (国立天文台), 諸隈智貴 (千葉工業大学), 川端弘治 (広島大学), 中岡竜也 (広島大学), 前田啓一 (京都大学), 田口健太 (京都大学), 川端美穂 (兵庫県立大学), 長尾崇史 (University of Turku), 齋藤晟 (東北大学)

重力崩壊型超新星は、星の進化の最後に大質量星のコアが重力崩壊することで起こる爆発だと考えられている。爆発後数日の明るさは主に爆発直前の星の大規模な質量放出で作られる星周物質などの性質で決まるが、放射のタイムスケールが短い観測データを得ることが難しい。そのため、爆発直前の星の進化や性質はよく理解されていなかった。近年は高頻度突発天体サーベイによって爆発直後のデータが取られるようになりつつあることで、爆発直前の星についての理解が進められている。しかし、重力崩壊型超新星の中でも特に低輝度な超新星は観測することが難しいため観測例が少なく、未だに理解されていないことが多い。

本研究では、東京大学木曽観測所 105cm シュミット望遠鏡、京都大学 3.8m せいめい望遠鏡、広島大学 1.5m カナタ望遠鏡を用いることで、低輝度な超新星爆発 SN 2021gmj の爆発初期のデータを取得することができた。そこで、SN 2021gmj の撮像観測データを超新星噴出物と星周物質の相互作用の光度曲線モデル (Moriya et al. 2023) と比較することで、爆発直前の星の質量放出率を推定した。その結果、質量放出率が $10^{-3} M_{\odot}/\text{yr}$ のモデルが初期の観測を再現することを確認した。これは爆発直前の星に高密度星周物質が存在することを示唆しており、爆発直前の星の進化を調べる上で重要である。さらに、極初期の分光観測データからも高密度星周物質による輝線が発見されたことで、低輝度な超新星も他の一般的な重力崩壊型超新星と同様に、爆発直前の星に高密度星周物質が存在することを確認した。

[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](#)

N44a 超新星の輻射による星周物質の加速

津名大地 (カリフォルニア工科大、東京大), 村瀬孔大 (ペンシルバニア州立大、京都大), 守屋亮 (国立天文台、モナッシュ大)

超新星を起こす星はそのすぐ周辺に濃い星周物質 (CSM) を持つことが多く、CSM 起源の狭い水素などの輝線がしばしば観測される。その輝線幅によって得られる CSM の速度は 100 km/s 以下から 1000 km/s 以上と多様であるが、その起源ははっきりしていない。我々は CSM が自身と超新星イジェクタとの衝突によって生み出される輻射で大きく加速されうることに着目し、CSM の広がりや質量によって加速がどの程度起こるかを調べた。主に赤色超巨星の爆発と考えられている II 型超新星に注目して、CSM をまとった赤色超巨星の爆発の輻射流体シミュレーションと解析的モデルの構築を行った。これらの計算を II 型超新星の早期スペクトル観測から得られた CSM 速度と比較したところ、幅広い速度は主に CSM の密度の違いによって再現できることがわかった。本講演では我々のモデルを発表するとともに、時間が許せば超新星からの非熱的放射への影響に関しても議論する。この研究は投稿論文 Tsuna, Murase, Moriya (2023, arXiv:2301.10667; ApJ accepted) に基づく。

[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](#)

N45a Seimei KOOLS-IFU mapping of the gas and dust distributions in Galactic PNe: Unveiling the origin and evolution of the metal-deficient Galactic halo PN H4-1

大塚雅昭 (京大岡山天文台), 田實晃人 (国立天文台岡山), 植田稔也 (デンバー大)

H4-1 is a planetary nebula (PN) located in the Galactic halo, and is notably carbon-rich and the most metal-deficient PN in the Milky Way ($\sim 0.01 Z_{\odot}$). Despite the general consensus that H4-1 formed in the early phase of the Milky Way Galaxy evolution, its origin and evolution is still under debate. To unveil its progenitor evolution through the accurate measurement of the gas mass, we conducted a comprehensive investigation of H4-1, using the newly secured Seimei/KOOLS-IFU spectra and multiwavelength spectro-photometry data. The emission line images generated through the PSF deconvolved KOOLS-IFU datacube successfully resolve the ellipsoidal nebula and the flattened central equatorial disk frequently seen in bipolar PNe evolved from massive progenitors. By using only the PSF-matched optical spectra, we derive the seven elemental abundances, the gas-to-dust mass ratio, and the gas and dust masses based on our own distance scale. By verifying the observed quantities by both the photoionization model and the binary nucleosynthesis model, we conclude that H4-1 is found to be currently in the white dwarf cooling phase and originated from a binary system experienced a coalescence during the course of its evolution. Our findings are not only crucial for understanding the evolution of low-mass stars but also provide potential insights into the evolution of carbon-enhanced metal-poor stars found in the Galactic halo.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

N46a SN2022jli: Multi-peaked Type Ic Supernova

Avinash Singh, Tatsuya Nakaoka, Anjasha Gangopadhyay, Taisei Hamada, Ryo Imazawa, Koji S. Kawabata (Hiroshima U), Masayuki Yamanaka (Kagoshima U), Miho Kawabata (NHAO, U Hyogo), Kenta Taguchi, Kohki Uno, Keiichi Maeda (Kyoto U), Takashi Moriya, Nozomu Tominaga (NAOJ), Masaomi Tanaka (Tohoku U)

Type Ic supernovae (SNe Ic) are enigmatic stellar explosions characterized by the absence of hydrogen and helium in their spectra. We performed optical and near-infrared observations of a peculiar slow-evolving Type Ic SN 2022jli which shows a shock-cooling emission followed by a primary light curve maximum which occurs almost 50 days after explosion. During the later stages (200 d post maximum), we see a re-brightening of the SN, primarily in the Infrared bands, likely resulting from dust formation. We investigate this in the context of circumstellar material (CSM) interaction with previously ejected material, an unusual phenomenon among SE-SNe. The intricate dynamics of SN 2022jli through both photometric and spectroscopic uniqueness pave the way for further exploration and discovery in the field of supernova research.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P101a 初代星超新星噴出物における気相中の化学反応を考慮したダスト形成

千秋元 (高知高専), 野沢貴也, 富永望 (国立天文台), 小林千晶 (ハートフォードシャー大学)

主に重元素の凝縮態である固体微粒子 (ダスト) はガス雲の放射冷却に寄与し、形成される星質量に影響を与える。また、ガス雲や銀河の観測特性を変更する重要な物質である。特に最近ではジェームズ・ウェッブ宇宙望遠鏡により高赤方偏移銀河観測が行われるようになり、ビッグバンから 10 億年程度 (初期宇宙) のダスト量の進化が明らかになりつつある。初期宇宙において、ダストの供給源は主に親星の寿命が短い初代星超新星であると考えられている。本研究では膨張する超新星噴出物中での原子・分子の凝縮過程を追うことによって形成されるダスト質量をダスト種ごとに計算した。また、ダスト量は気相中の化学反応によって左右されるため、本研究では気相中の化学反応をダスト形成と同時に解いた。さらに本研究では初めて噴出物中心領域の混合落下を考慮した。初代星超新星により拡散された重元素は周囲の星形成ガス雲を汚染し、金属欠乏星が形成される。観測される金属欠乏星の元素組成は、噴出物の中心領域が混合落下している場合と整合する。親星質量 $25 M_{\odot}$ 、爆発エネルギー (10^{52} erg) に対し、比較的小さい質量を含む領域が混合 ($3.1 M_{\odot}$) および落下 ($2.9 M_{\odot}$) する場合、太陽と同様の元素組成を持つ金属欠乏星の形成が説明できる。このとき、ダスト質量の合計は $0.62 M_{\odot}$ となり、超新星 SN1987A に対して観測されているダスト質量と整合する。また、シリケートが主成分であり、質量の 40% を占める。一方、炭素/鉄比が太陽の 10 倍以上の星を炭素過剰金属欠乏星と呼び、より大きい質量が混合 ($4.9 M_{\odot}$)・落下 ($4.8 M_{\odot}$) する「暗い超新星」モデルと整合する。この時、ダストの合計質量は $0.15 M_{\odot}$ となった。後者のダスト質量が小さいのは、より多くの重元素を含むガスが中心ブラックホールに落下したためである。また、より外層で形成される炭素ダストが主成分 (44%) となり、合計ダスト質量の 44% を占めることが分かった。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P102a 極初期宇宙における初代星の形成

伊藤茉那, 大向一行 (東北大学)

初代星は宇宙の再電離や重元素の供給に寄与し、その後の宇宙の進化に大きな影響を与えるが、その性質にはまだ多くの未解明な点がある。一般に、初代星の形成時期は $z \sim 20 - 30$ だと言われている。これは、標準的な Λ CDM モデルにおける天体形成論に基づくが、銀河スケールより小さいスケールのゆらぎには観測的な制限がなく、実際は Λ CDM モデルにおけるスケール不変ゆらぎより大きなゆらぎによって天体が形成された可能性がある。その場合、初代星の形成時期は $z \sim 20 - 30$ より早くなると考えられる。しかし、これまでの研究では、より高赤方偏移での初代星の性質についてあまり調べられていなかった。

本研究では、 $z \sim 100$ 以上の極初期宇宙における初代星の形成過程を調べた。 $z \sim 20 - 30$ における初代星の形成では、宇宙背景放射 (CMB) の影響は小さいと思われるが、より高赤方偏移では CMB は高温であるため、その効果が無視できないと考えられる。そこで本研究では、Nakauchi et al. (2019) で用いられた加熱・冷却、化学進化を考慮した one-zone の流体計算コードに新たに CMB の効果を実装し、始原ガス雲の温度進化を計算した。極初期宇宙において CMB が初代星形成にもたらす影響としては、輻射加熱、コンプトン冷却、 H^- の光解離反応などを考慮した。その結果、形成時期 $z \lesssim 130$ においては CMB の効果は小さく、標準的な初代星と同様の進化過程が見られた。一方で、 $z \gtrsim 130$ における初代星の進化過程では、CMB 光子による H^- の光解離反応によって H_2 の生成が阻害され、冷却の効き始めが遅れることがわかった。また本研究では、高赤方偏移で形成された初代星ほど、より大質量となる傾向があることも明らかにした。

[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](#)

P103a HD 冷却による初代星形成効率の低下: Lyman – Werner 輻射強度依存性

西嶋翔, 平野信吾, 梅田秀之 (東京大学)

初代星形成において、水素分子を解離する外部からの Lyman – Werner (LW) 輻射は、ガス雲の熱進化を左右する。極めて強い LW 輻射の影響は、超大質量ブラックホール形成の文脈でよく議論されているが、ガス雲が受ける平均的な LW 輻射は、それよりも数桁小さい。LW 輻射が一般的な初代星形成に与える影響を理解するためには、弱い強度まで包括的に調べる必要がある。

我々は、3次元の宇宙論的シミュレーションから取得した初代星形成ガス雲に対して、LW 輻射強度を $J_{\text{LW}}/J_{21} = 0$ (輻射なし) から 30 (水素原子冷却) の範囲で 18 通り変化させ、その影響を調べた。本研究では特に降着段階のガス雲の進化に着目するため、ガスの密度上昇を 10^8 cm^{-3} で止め、この密度に初めて達してから 10 万年後まで計算を進めた。

計算より、 $J_{\text{LW}}/J_{21} = 0.025 - 0.09$ で HD 冷却が有効になり、降着期 10 万年間にわたって密度 10^4 cm^{-3} 以上のガス温度を 200 K 以下に保つことがわかった。このとき、 10^8 cm^{-3} 以上のガス質量 (コア質量) は $1.2 - 16 M_{\odot}$ と予想に反して小さくなった。コア質量はその内部で誕生する初代星質量の上限である。0.8 太陽質量以下の初代星が誕生すると、主系列段階の寿命が宇宙年齢を超えるため、近傍宇宙で観測される可能性がある。

また、10 万年の時点でのコア質量とビリアル半径内のガス質量の比 ($f_{\text{III}} = M_{\text{core}}/M_{\text{vir,gas}}$; 星形成効率) は、輻射強度が強くなるに連れて減少する傾向が見られ ($J_{\text{LW}}/J_{21} = 0.003 \rightarrow 10$ の間に $f \sim 10^{-2} \rightarrow 10^{-4}$)、HD 冷却によってコア質量が小さくなる範囲では、さらに減少した ($f_{\text{III}} \sim 10^{-5.5} - 10^{-4.5}$)。本研究では、LW 輻射によってハロー内のガス質量は増加するが、初代星の総質量はそれに応じて増えるわけではない事を明らかにした。

[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](#)

P104a 宇宙初期の超大質量星形成における星周円盤と原始星構造の共進化

木村和貴 (東北大学), 細川隆史 (京都大学), 杉村和幸 (北海道大学), 福島肇 (筑波大学), 大向一行 (東北大学)

これまでの遠方宇宙の観測から宇宙誕生 10 億年以内に既に $10^9 M_{\odot}$ を超える超大質量ブラックホール (SMBH) が存在することが明らかとなっており、このような SMBH の起源の 1 つとして宇宙初期に形成される超大質量星 (SMS, $M_{*} \sim 10^{4-5} M_{\odot}$) が考えられている。SMS が形成されるには元となる原始星に大量のガスを降着させる必要があり、これまで SMS 形成途中における原始星の構造を解くことで原始星の輻射や回転などがガス降着に与える影響が議論されてきた (e.g. Hosokawa et al. 2012; Haemmerlé et al. 2018)。しかし、先行研究では単純化された 1 次元モデルで星の構造が議論されており、現実的な 3 次元構造を考慮した進化は未だ明らかではない。

そこで、本研究では新たに計算コードを開発し 3 次元輻射流体計算によって SMS 形成における原始星構造の進化を追った。前回の年会では、原始星が誕生してから 10 年後までの計算を行い、表面でケプラー速度と同程度に高速回転しており、なおかつ非常に膨らんだ原始星が誕生することを報告した (Kimura et al. 2023)。現在は原始星形成後およそ 100 年の進化を追うことを目標に計算を行っており、今回の年会ではその長時間計算で得られた結果について報告する。長時間計算を行ったことで、原始星周りに形成された星周円盤内での重力不安定性による渦状腕の発達や円盤分裂、さらにその分裂片と中心星との合体などが新たに確認された。本講演ではケプラー回転に近い速度で回転している原始星に対して質量や角運動量がどのように輸送されているのか、分裂片の落下が原始星の内部構造にどのような影響を与えるのか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](#)

P105a 収縮する始原ガスにおける乱流磁場の増幅と飽和

東 翔 (甲南大学), 須佐 元 (甲南大学), Christoph Federrath (ANU), 千秋元 (高知高専)

初代星が形成されたと考えられている宇宙初期では、現在の宇宙と異なり非常に弱い磁場しか存在しておらず、磁場は星形成に影響を与えないと考えられてきた。

しかしながら、近年の理論的な研究により、乱流による small-scale dynamo 効果によって星形成に影響を及ぼすほどの強磁場が、微弱な磁場が増幅されることで生成されることが明らかになってきた。このため、近年の初代星形成の研究において、乱流と磁場が非常に重要であると考えられている。

一方で、初代星形成過程で最終的に磁場がどの程度まで増幅されるか、さらにその強度を決めるメカニズムがなにかは明らかになっていない。

そこで、我々はダークマターミニハロー内の初代星形成雲を模したガス雲の収縮を追う 3 次元高解像度 MHD シミュレーションを行い、ガス雲内の乱流と磁場の時間進化を調べ、さらに、解析的な推定と比較することで、磁場の飽和メカニズムを明らかにする。

本公演では、それにより得られた結果について発表し、また初代星形成における乱流と磁場の効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](#)

P106a 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 II. 直交衝突

柏木 頼我 (国立天文台/総研大), 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部で形成されると考えられる (e.g. André et al. 2014)。そのなかでも、いくつかの観測からフィラメント状分子雲同士の衝突による誘発的星形成の可能性が示唆されている (e.g. Duarte-Cabral et al. 2010; Nakamura et al. 2014)。加えて、ほぼ全ての大質量星は複数のフィラメントの交差部に存在していることが判明し (Kumar et al. 2020)、それがフィラメント衝突で再現可能かどうかは未解決問題である。フィラメント衝突の進化過程を理解できれば、衝突に由来する星形成の初期条件およびその後形成される星の特徴を知ることにつながる。そのため、我々はフィラメント衝突を再現した数値シミュレーションに取り組んできた。前回の講演では、磁気静水圧平衡状態のフィラメント同士の正面衝突を二次元磁気流体計算で再現し、衝突箇所の動径方向の不安定性は、初期の合計線質量が磁気臨界線質量 (Tomisaka 2014) を超えているかどうか依存することを明らかにした。今回は、片方のフィラメントの長軸が 90 度回転した直交衝突を三次元磁気流体シミュレーションで再現し、フィラメント交差部が不安定となる条件を調査した。交差部の不安定性は、衝突速度が音速程度の場合、フィラメントの合計線質量が磁気臨界線質量以下であっても、交差部に含まれる質量が磁気臨界質量 (Mouschovias & Spitzer 1976, Tomisaka et al. 1988) を超えているかどうかで説明できることが分かった。一方で、初期速度を上げた場合、交差部の質量が磁気臨界質量を上回っていたとしても、崩壊せずに膨張するモードが現れ、正面衝突ではみられなかった初期速度依存性が得られた。本講演では、詳細な進化の様子と、各進化モードの発現条件についての考察を紹介する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P107b cold accretion による超大質量星形成; 輻射フィードバックの効果

喜友名正樹 (京都大学), 細川隆史 (京都大学), 鄭昇明 (Max Planck Institute for Astrophysics)

初期宇宙に観測される超大質量ブラックホール (SMBH) の起源を説明する有力なシナリオに、 $10^{5-6} M_{\odot}$ の超大質量星 (SMS) 形成シナリオがある (Bromm & Loeb 2003)。この説では、何らかのプロセスで H_2 形成が抑制された状態でガス雲が重力崩壊した場合に SMS が形成される。ガス雲が高温高密度状態から重力崩壊した場合、 H_2 衝突解離により H_2 冷却が抑制され続ける事が知られている。ダークハローのビリアル化の際に銀河間ガスがハロー中心部に直接流入する cold accretion という現象により、この高温高密度ガス雲が衝撃波加熱で形成される説が提案されている (Inayoshi & Omukai 2012)。

講演者はこれまで、宇宙論的流体シミュレーションを用いて、質量 $\sim 10^7 M_{\odot}$ のハローにおいて cold accretion が最初に発現し、降着ガスの流入によりハロー中心部に高密度なガス円盤が形成されることを示した。円盤と cold accretion の衝突場所で SMS 形成可能な高温高密度ガスも一部 ($\sim 10^4 M_{\odot}$) 見られ、SMS 形成の可能性を示唆した (Kiyuna et al. 2023)。しかし、これまでの計算では SMS 形成そのものを追跡することは出来なかった。原因の一つは、簡単のため SMS 以外の星からの輻射フィードバックを無視したため、高温高密度ガス雲の正確な質量を見積もれなかったためである。現実的にはこれら SMS 以外の星の輻射フィードバックと円盤ガスの温度等の進化を consistent に解く必要があり、この場合はハロー内の近距離の星からの H_2 光解離で円盤全体の H_2 冷却が弱まるため、円盤全体が $T \simeq 10^4$ K の高温を維持し、SMS が形成されやすくなると期待される (Chiaki et al. 2023)。講演者は宇宙論的流体シミュレーションに輻射フィードバックを入れた場合の、cold accretion による SMS 形成に与える影響を調べた。本発表ではこれら計算結果を報告し、SMS 形成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](#)

P108b 偏波プロファイルを用いた乱流フィラメントの 3 次元磁場構造の研究

吹原 瑤, 塚本裕介 (鹿児島大学)

近年、Herschel 宇宙望遠鏡などの観測により、分子雲にはフィラメント構造が普遍的に存在することが示された。そのため、理論研究においてもフィラメントが重力収縮・分裂し様々なダイナミクスを経て原始星に至るといった新たな星形成シナリオを構築する必要性が強く認識されつつある。さらに、JCMT などを用いたダスト熱輻射の詳細な偏波観測により、フィラメント分子雲内の磁場構造の観測的理解が近年急速に進んだ。これにより、天球面上に投影された磁場の方向だけでなく、その 3 次元構造や力学的な役割について偏波観測から議論することが可能になりつつある。Doi et al. 2021 ではフィラメント短軸方向の輝度 I と偏波強度 PI の半値幅の比 (以下 R_{FWHM} とする) から 3 次元磁場構造を解明する試みがなされた。

そこで本研究ではまず、数値計算コード SFUMATO を用いて、乱流を持つフィラメントに磁場強度をパラメータとしてフィラメントから原始星形成までの 3 次元シミュレーションを行なった。さらにこれらのシミュレーション結果に輻射輸送計算コード RADMC-3D を用いて、ダスト偏波光の観測的可視化を行なった。そして Doi et al. 2021 で提案されたような R_{FWHM} を用いた磁場構造推定法に則して、乱流フィラメント短軸方向の偏波プロファイルをフィラメント軸に沿って網羅的に調べた。その結果、初期磁場強度によらず天球面上に対する磁場の傾きが大きいほどフィラメント内における R_{FWHM} の分散が大きくなる傾向があることを発見した。さらに I と PI カーブのピーク位置のずれなど、平衡フィラメントモデルでは見られない特徴が見られた。本講演では、これらの短軸方向偏波プロファイルと乱流フィラメント内部の 3 次元磁場構造の関係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](#)

P109a Q-band line survey observations toward 12 intermediate-mass protostars with the Yebes 40m telescope

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

Observation toward low-mass and high-mass protostars have revealed that carbon-chain molecules are abundant around some sources, suggestive of the chemical diversity. Carbon-chain species are found to be abundant in warm gas ($\sim 20 - 30$ K) around some low-mass protostars, which has been known as warm carbon-chain chemistry (WCCC). Recent ALMA observations toward high-mass protostars have revealed that some carbon-chain species are abundant in hot gas (> 100 K) and coexist with complex organic molecules (COMs), which has been named hot carbon-chain chemistry (HCCC). However, it is difficult to directly compare the carbon-chain chemistry around high-mass and low-mass protostars due to their large physical gaps. In order to fill such gaps, we have conducted the Q-band line survey observations toward 12 intermediate-mass protostars, which are taken from the source list of the SOFIA Massive (SOMA) Star Formation project, with the Yebes 40m telescope. Several carbon-chain species (*e.g.*, HC_3N , HC_5N , *cyclic*- C_3H_2 , C_3H , C_4H) have been detected from all of the target sources except one. In addition, some COMs (*e.g.*, CH_3OH , CH_3CN , H_2CCO) have been detected. We will present initial analytical results and comparisons of chemical composition among the target sources.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P110a 星形成コアにおける COMs の炭素同位体分別の化学反応モデル計算

一村 亮太 (総合研究大学院大学/国立天文台), 野村 英子 (国立天文台), 古家 健次 (国立天文台)

星形成コアの水分子の同位体組成の理解は、太陽系内天体の有機分子の起源を調べる上で有効な手段である。近年の ALMA による高感度観測によって、Class0 低質量原始星天体 IRAS16293-2422B において、複雑な飽和有機分子 (Complex Organic Molecules; 以下 COMs) の炭素同位体組成 ($^{12}\text{C}/^{13}\text{C}$ 比) が測定されている。その値は星間空間の平均的な値と同程度か、 ^{13}C が分子に濃集して、 $^{12}\text{C}/^{13}\text{C}$ が低い値を示すことが知られている。しかしながら、COMs の炭素同位体分別のモデル計算はほとんど無く、その起源はよくわかっていない。

本研究では、重力収縮する星なしコアの物理モデルを用いた。そして、COMs が星形成前に塵表面で生成し、星形成後に気相へ昇華するまでの COMs の炭素同位体組成進化を、気相、星間塵表面、氷マントルの 3 相を考慮した化学反応ネットワーク計算で系統的に調べた。計算した結果、200 K 程度の気相に存在する COMs の炭素同位体組成は、塵表面から熱的に昇華した分子の組成か、あるいは温度上昇過程の気相で生成した分子の組成を示すことが明らかになった。前者の分子の存在量が卓越する場合、COMs の炭素同位体組成は、低温で塵表面に生成した氷の炭素同位体組成を反映していた。一方、後者が卓越する場合、昇華した氷の炭素同位体組成の一部は上書きされ、失われることがわかった。低温下の気相の同位体交換反応で、 ^{13}C が少ない CH_4 と ^{13}C が多い CO が生成され (先行研究)、これらの分子が気相や星間塵表面で反応して COMs を生成し、その炭素同位体組成を決定することがわかった。計算結果の COMs の炭素同位体組成は、観測結果に比べて、全体的に ^{13}C が少ない傾向にあることがわかった。本講演では、観測結果とモデル計算が異なる原因について、実験で示唆されている新たな塵表面反応の影響や、パラメーター依存性を含めて議論したい。

[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](#)

P111a Class 0 原始星 B1-c に付随する Hot CH₃OH Core の解析

篠崎愛翔, 高桑繁久, 西合一矢, 高橋実道, 城戸未宇 (鹿児島大学)

我々は ALMA Band 6 のアーカイブデータを用いて、Class 0 原始星 B1-c 周囲の CH₃OH core の力学構造と物理状態の解析を行ったので、その結果を報告する。B1-c は First Hydrostatic Core 候補天体 B1-bN, B1-bS を含むペルセウス座分子雲の Bernard 1 領域 (距離 300 pc) に存在する。これまでの観測により、B1-c は有機分子が豊富に付随する Class 0 原始星であることや、南東-北西方向に激しいアウトフローを吹き出していることが確認されている。しかし、原始星周囲 150 au を切るようなスケールでの詳細な力学構造、物理状態はこれまで調べられていなかった。我々は、0.2 秒角分解能 (~ 60 au) のアーカイブデータを新たに解析することで B1-c に付随する特徴的でコンパクトな CH₃OH core (サイズ ~ 200 au) を空間分解し、その物理量を明らかにすることに成功した。CH₃OH core では、CH₃OH (5_K-4_K) の複数の K-ladder 輝線、さらには回転エネルギーレベルが 400 K を超える振動励起 $v_t = 1$ の輝線も振動基底状態の輝線と同程度の強度で複数検出されており、暖かい物理状態であることが示唆される。さらに、 $v_t = 1$ 輝線の中には、 10 km s^{-1} にわたって blueshift の wing 成分が存在しているものも見られた。振動励起輝線の高速 wing 成分の存在は、infall しているガスが原始星円盤と衝突することで生じたショックの存在を示唆している。本講演では、これらの結果を輻射輸送モデルも含めて紹介する。

[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](#)

P112a 若い低質量原始星天体の円盤・アウトフローにおける硫黄関連分子の分布

大屋瑠子 (京都大学), 渡邊祥正 (芝浦工業大学), 山本智 (総合研究大学院大学)

星・惑星系形成に伴う物質進化の研究において、硫黄原子 S を含む分子が近年注目を集め始めている。たとえば、H₂CS, OCS などの分子輝線は、いくつかの若い低質量原始星天体で検出されており、一方太陽系内においても彗星 67P/Churyumov-Gerasimenko のコマで検出されていることから、星間化学と惑星化学の関連性を紐解く手がかりになることが期待される。若い低質量原始星天体においては、落下するエンベロープガスから回転する円盤にかけて、これらの分子の組成が急激に変化することが知られている。たとえば、Class 0 低質量原始星連星 IRAS 16293-2422 Source A (以下 I16293A) では、半径 300 au の降着ガスと半径 50 au の回転円盤構造の速度構造が、OCS と H₂CS の分子輝線でそれぞれ選択的に捉えられる (Oya et al. 2016, 2020)。しかし、そもそもなぜこのような分布の違いが生じるのかについては、未だ理解されていない。これは、円盤形成領域において、硫黄原子の主要な形態の一つと考えられている H₂S 分子の振る舞いが不明なためである。

この状況を打破するため、我々は ALMA による硫黄関連分子の高感度観測を実施した。本講演では、観測予定の 4 つの若い低質量原始星天体のうち、すでにデータが取得されている I16293A と B335 での結果を報告する。SO 分子は、I16293A ではアウトフローを含む広がった分布 (>2000 au) を示すが、B335 では原始星に集中した分布 (<100 au) を示した。H₂S 輝線はいずれの天体でも、広がったエンベロープガスとアウトフローで検出された。また、原始星方向に系統速度付近での自己吸収がみられることから、広がった分布をもつことが支持される。I16293A の回転円盤成分では、解像度が不十分であるものの、H₂S 輝線はほとんど検出されなかった。上記の基本的な硫黄関連分子の組成の変化について、天体間での共通点と違いを、物理構造と対応させながら議論する。

[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](#)

P113a A Complete View of Complex Chemistry in Gas and Ice using ALMA and JWST

Yao-Lun Yang (RIKEN)

The discovery of complex organic molecules (COMs) in solar-type protostars highlights the extensive chemical evolution at the onset of planet formation. These molecules, which are potential precursors to pre-biotic molecules, are also found in comets representing the solar system in its early stage. In recent years, the increasing detection of COMs by ALMA suggests a common presence of COMs in the protostellar phase. However, the formation pathways of COMs and whether most protostars undergo similar chemical evolution remain open questions with incomplete observational constraints. It is thought that COMs form in the ice mantles on dust grains followed by thermal sublimation near protostars, but direct observational constraints are scarce. While ALMA provides sub-100 au resolution, a resolution necessary to resolve sites of planet formation, to characterize gaseous COMs in nearby embedded protostars, measurements of chemical composition in ices had been limited by low-resolution and limited sensitivity spectroscopy until JWST. Thus, it is imperative to probe both gas and ice chemistry related to COMs, which can only be achieved with both ALMA and JWST. In this presentation, I will present the results of gas+ice chemical analysis in a Class 0 protostar, IRAS 15398–3359, using multi-configurations ALMA observations and the JWST CORINOS program, latter of which shows potential signatures of icy COMs. I will focus on methanol production from ice to gas and discuss the implications on the COMs (or the lack of) in gas and ice phase. I will also present an overview of the ice chemistry characterized by the JWST CORINOS program and the accompanied ALMA program to test the models of COM 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](#)

P114a JWST と ALMA を用いた原始星 IRAS 15398-3359 のアウトフローの解析

大小田 結貴, Yao-Lun Yang, 坂井 南美 (RIKEN), and CORINOS team members

IRAS 15398–3359 は Class 0 の低質量原始星 ($T_{\text{bol}}=44$ K) で、Lupus 1 分子雲 ($d=156$ pc) に位置する。ALMA の観測で、北東から南西に伸びるアウトフローが検出され、その運動の解析からほとんど天球面に平行に吹くことが報告されている (e.g., Oya et al. 2014)。また、そのアウトフローとは垂直方向に回転する円盤構造から、原始星質量は $0.007^{+0.004}_{-0.003} M_{\odot}$ と見積もられる (Okoda et al. 2018)。エンベロープガスが $0.5\text{--}1.2 M_{\odot}$ (Kristensen et al. 2012; Jørgensen et al. 2013) と、原始星質量に比べて大きいことから、この天体は非常に若い進化段階にあると考えられている。

CORINOS (PI: Yao-Lun Yang) は JWST の中間赤外線 (MIRI) でこの天体を観測し上記のアウトフローの青方偏移成分を捉えた (Yang et al. 2022)。そこで今回我々は、ALMA で観測した分子輝線分布と比較した。ALMA で検出した H_2CO 、CS は outflow cavity をトレースし、その内側では、原始星から $6''$ ほど南西方向に Shell 構造を示す。JWST の MIRI 画像ではその構造に加え、原始星から $10''$ ほど離れた位置においても Shell 構造が見えた。さらに、そこでは原始星から $15''$ ほど離れた場所に knot のような強い emission が見られた。ALMA で観測された ^{12}CO は、その knot 近くまで広がりアウトフロー全体をトレースするが、knot 構造をトレースしない。分布の比較に伴い、アウトフローの温度測定も行なった。ALMA で観測した H_2CO の 3 本の輝線を用いて、outflow cavity において 3 つの点で温度を求めた。その結果は、原始星からより離れた場所で温度が高くなる傾向を示す。また、JWST で検出した H_2 の 8 本の輝線から、原始星ごく近傍のアウトフローの温度は、 1000 K に達する高温状態であることがわかった。講演ではこれらの結果について議論する。

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

P115a 主成分解析を用いた分子流同定アルゴリズムの開発

石橋志悠, 堂込天太 (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)

我々は、主成分解析によって分子流を自動検出するアルゴリズムの開発を行っている。現在、分子流を客観的かつ自動で同定するアルゴリズムはなく、人の目で同定されている。しかし、近年の大規模化した観測データにおいて、手作業で分子流を同定することには限界がある。さらに、分子流の統計的研究においては、人の目で分子流を同定することによって統計結果に主観が入る。したがって、大規模な観測データにおいて分子流を同定し、分子流のより信頼性の高い統計情報を得るために、自動で分子流を同定するアルゴリズムが必要である。

本研究では、機械学習のアルゴリズムの 1 つである主成分解析を用いた分子流同定アルゴリズムを構築した。主成分解析とは解析をする対象の象徴的な要素を取り出すアルゴリズムである。3 次元 (x, y, v) データに対して主成分解析を行うことで分子流成分を抽出することができる。このアルゴリズムを Tanabe et al. (2019) で分子流が同定されている 44 個の原始星周辺に対して適用した。Tanabe et al. (2019) は、野辺山 45m 鏡で取得したオリオン座 A 分子雲の ^{12}CO (1-0) 分子輝線のデータ (星形成レガシープロジェクト, PI: 中村文隆) を用いて分子流の同定を行っており、本研究においても同じデータを用いた。結果、Tanabe et al. (2019) で同定された 44 個の分子流のうち 35 個の分子流の成分を主成分解析により抽出することに成功した。さらに、分子流が付随しないことが期待される Class III 天体のうち 44/52 天体の周辺には、分子流成分が見られないことを確認した。講演では、Tanabe et al. (2019) で同定された分子流と本研究で同定した分子流の物理量 (サイズ、質量、運動量等) を比較し、その相違点を議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P116a 分子雲コアパラメータの違いが生み出す原始星アウトフローの多様性

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 (東京大学)

近年の ALMA 望遠鏡による高解像度の観測により、原始星から駆動されるアウトフローには様々な形状のものが存在することが報告されている。たとえば、折れ曲がった双極アウトフローを駆動する原始星や、双極アウトフローに加えてそれに垂直な方向にもアウトフローを駆動する原始星、さらに単極アウトフローを駆動する原始星など、不規則な形状のアウトフローがいくつも観測されている (e.g, Yen et al. 2017; Okoda et al. 2021; Hsieh et al. 2023)。原始星から駆動されるアウトフローのこのような形状の違いは、原始星やその周囲に形成される原始惑星系円盤への質量降着・角運動量輸送へ大きな影響を与える。そのため、原始星から駆動されるこのようなアウトフローの多様な姿と活動性を理解することは重要である。

そこで本研究では、異なる乱流・磁気・重力エネルギーを持つ分子雲コア中で形成した原始星近傍から駆動するアウトフローの形状および時間進化を調べた。その結果、分子雲コアの重力エネルギー E_{grav} に対する熱エネルギー E_{thm} の値 $\alpha = E_{\text{thm}}/|E_{\text{grav}}|$ が $\alpha = 0.4$ の場合、磁気エネルギー E_{mag} と乱流エネルギー E_{turb} どちらを変化させた場合であっても、 $E_{\text{turb}}/E_{\text{mag}} > 1$ を満たす場合に単極アウトフローが駆動することを突き止めた。また、乱流降着により折れ曲がった双極アウトフローが自然に形成する分子雲コアパラメータが存在することを確認した。さらに、 $\alpha = 0.2$ の場合、乱流降着によりアウトフローは顕著な時間変動を示すことが分かった。これらの結果は、観測された原始星アウトフローの多様性を説明する可能性がある。

本発表では、異なる E_{mag} , E_{turb} , α に関する計算結果を比較した詳細な解析結果を報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P117a Class 0/I 原始星降着期の 10 万年進化：軸ずれの解消

平野 信吾, 相川 祐理 (東京大学), 町田 正博 (九州大学)

ALMA 望遠鏡によって分子雲コア ($\sim 10^4$ au) から星周円盤 ($\sim 10 - 100$ au) までの原始星形成領域における異なるスケールの構造が観測可能となった。原始星を取り囲む星周円盤・アウトフロー・磁場などが、天体によって異なる構造を持つことが明らかになっている。また、形成直後の原始星の観測報告もされており、降着段階での変化を説明することも必要となっている。

そこで我々は、3次元非理想磁気流体コードを用いて、原始星降着期の最初の 10 万年間を数値シミュレーションによって調べた。この時、数値計算の初期条件である自己重力不安定ガス雲に与える一様磁場の方向を、回転軸方向に対して $\theta_0 = 0 - 90^\circ$ の範囲で 15° ずつ変化させた。以前、原始星降着期 5000 年間の結果を紹介したが (2019 年秋季年会・P120a)、本講演ではその後の降着期進化に対して、初期磁場方向が及ぼす影響を報告する。

まず、パラメータ θ_0 によって原始星への降着率・星周円盤の半径と質量・アウトフローの方向と強さの変化を確認しており、これは以前の計算結果 (Hirano et al. 2020) と整合的である。一方、時間経過と共に円盤の回転軸とアウトフロー方向は変化することは知られていたが (Hirano et al. 2019)、降着期進化が数万年経過すると、この変化が 2 極化することがわかった。その結果、 θ_0 が小さいとアウトフローの伝播方向と円盤回転軸と一致する向きに磁気遠心力風が、 θ_0 が一定以上に大きくなるとアウトフローの伝播方向が円盤回転軸に対して直交する向きに spiral flow (Matsumoto et al. 2017) が駆動することをそれぞれ確認した。

アウトフロー方向は特に降着期初期に大きく変化するため、形成直後の Class 0 原始星の周囲においては変動が大きく、既に長時間の降着成長をほぼ終えた Class I 原始星においては整列した構造が確認されると考えられる。

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

P118b 3次元磁気流体計算に基づく、分子雲形成初期における化学進化過程

小道雄斗, 相川祐理 (東京大学), 岩崎一成, 古家健次 (国立天文台)

分子雲形成の初期段階では、 H_2 や CO などをはじめとした星間分子の生成が始まる。近年、分子雲の前段階に相当する diffuse cloud でも、分子吸収線観測により炭素鎖分子など多様な分子種が検出されている (e.g. Godard et al. 2010)。分子雲形成期における化学進化過程は、1次元の定常衝撃波に基づき物理パラメータ (密度・温度・ A_V) を時間発展させて化学反応速度式を解くことで調べられてきた (e.g. Bergin et al. 2004)。しかし、当モデルは磁場に沿った 1次元の圧縮のみを考慮しており、多相乱流が作る複雑な 3次元空間構造を無視している。

一方、近年は 3次元の磁気流体計算により、星間衝撃波による分子雲形成時の物理進化過程が盛んに研究されている。圧縮層内では乱流が卓越し高密度クラump が形成することに加え、磁場の角度に依存して衝撃波圧縮層の物理的な空間構造が変化することが分かっている (e.g. Iwasaki et al. 2019)。しかし、一連の計算ではガスの冷却過程に効く分子種にのみ着目しており、吸収線観測で検出される分子種については考慮されてこなかった。

そこで我々は、3次元の磁気流体計算のポストプロセスとして詳細な化学反応ネットワークを解くことで、上記のような観測から分子雲形成初期の物理化学進化過程を読み解くことを目指している。2022 年秋季年会 (P120a) では、圧縮層の平均構造に着目した化学進化計算を行い、圧縮効率により化学進化過程が変化することを示した。現在、我々は新たに空間構造を考慮するために、3次元の磁気流体計算中に速度場に沿って運動するテスト粒子を投入し、粒子の経験する物理パラメータ進化を求め、ポストプロセスとして各粒子の化学進化計算を進めている。その結果、テスト粒子は圧縮層内で非定常な物理パラメータ進化を経験し、それに応じて化学組成も複雑に時間発展することが分かった。本講演では、磁場角度などのパラメータ依存性についても議論する予定である。

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

P119b HH270mms1 の偏波観測から推定する磁場構造

大村充輝, 町田正博 (九州大学), 徳田一起 (九州大学/国立天文台)

星形成過程において、磁気制動や原始星アウトフローの駆動を担い角運動量問題を解決するという観点から磁場が重要であることが示されている。その原始星周辺の磁場を観測する手法として偏波観測が用いられており、特にアウトフローを駆動する天体においてその磁場構造の推定が盛んに議論されてきた (e.g., Maury et al. 2018)。しかし、連続波放射の偏波観測は速度の情報を持たないため空間構造を直接推定することが難しく、近年では分子輝線の直線偏波を用いた磁場構造の観測的検証が進んでいる (e.g., Hirota et al. 2020)。

我々は ALMA アーカイブデータ (2019.1.00086.S) を用いて、星形成領域 L1617 に位置する連星系 HH270mms1 ($d = 407$ pc, Class I) から駆動するアウトフローについて解析し、その駆動源が HH270mms1-A であり、加えて回転の兆候が存在することなどを報告した (2023 春季年会 P126a)。この結果に続いて、0.87 mm 連続波及び $^{12}\text{CO}/\text{C}^{17}\text{O}$ 輝線の偏波成分についての解析を行った。連続波の直線偏波成分は、HH270mms1-A の周辺からその北側と、HH270mms1-B の東側で検出された。検出された偏波の特徴について、Stokes I の強度が強い HH270mms1-A の周辺での偏波率は最大で 1% で、ダスト円盤の短軸に平行な南北方向の偏波角を示した。他方で、HH270mms1-A の北側および HH270mms1-B の東側の領域では 3–7% 程度の値で東西方向の偏波角を示した。後者は比較的高い偏波率を示すことから、磁場によって整列したダストに由来する偏波で、南北方向に伸びた磁場をトレースしていると考えられる。また、GK 効果 (Goldreich & Kylafis 1981, 1982) から予想される ^{12}CO の直線偏波成分が、相対速度 $\sim 5 \text{ km s}^{-1}$ の赤方偏移したアウトフローの一部領域で確認された。これらの結果を用いて原始星周辺での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](#)

P120b 乱流中の異なる星形成環境での分子雲コアの形成・進化

野崎信吾 (九州大学), 福島肇 (筑波大学), 町田正博 (九州大学)

星は、分子雲中の分子雲コアと呼ばれる高密度ガス塊が自己重力によって収縮することで誕生する。そのため、分子雲コアがどのように形成・進化するのかを調べることは、様々な質量の星の形成・進化過程を理解する上で非常に重要である。近年の観測では、周辺ガスが分子雲コアに流入し、質量を供給していることが示唆されている (Redaelli et al. 2022; Tatematsu et al. 2022)。分子雲コアスケールの数値計算では、分子雲コア周辺の密度分布が星質量の決定に大きな影響を与えることが分かった (Nozaki & Machida 2023; 2023 年春季年会 P118a)。つまり、分子雲コア周囲の環境は原始星進化に大きな影響を与える。また分子雲スケールの数値計算では、分子雲の中で形成する原始星や分子雲コアの統計的研究が行われ、IMF-CMF 関係が調べられている (Haugbølle et al. 2018; Pelkonen et al. 2021) もの、分子雲の環境の違いによる分子雲コアの物理的性質は未解明である。

そこで本研究では、様々な環境での分子雲コアの形成・進化過程を調べるために、3 次元輻射磁気流体力学数値計算コード SFUMATO (Matsumoto et al. 2015; Fukushima & Yajima 2022) を用いて、分子雲スケールでの星形成に関する計算を行った。計算領域で形成した原始星を統計的に調べるとともに、個々の分子雲コアに対しても詳細な解析を行った。コア間距離によって孤立した星形成領域と密接した星形成領域での分子雲コアを同定し、各領域での分子雲コアの動径方向の密度分布を調べた。その結果、特に密接した星形成領域の場合、分子雲コアの半径ごとのガス密度の分散が非常に大きくなる傾向にあることが分かった。講演ではこれらの結果に加え、各進化段階での分子雲コアの重力不安定性などについても議論する予定である。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P121c 星間塵表面における P、S、Cl の吸着エネルギーの系統的評価

江刺拓哉, 中谷直輝 (東京都立大学)

P、S、Cl 原子を含む分子種の星間空間での化学進化についてはよく知られていない。一方で、P、S 原子は生命に不可欠な 6 元素の 1 つであり、生命の起源を探る上で重要である。また、Cl 原子は宇宙空間における存在量が少ないにも関わらず、塩素含有分子の存在量が H₂O や CH の存在量に匹敵しており、その濃集過程に興味を持たれている。分子の化学進化において重要となる付加反応は、星間塵と呼ばれる鉱物と非晶質な氷からなる微粒子の表面へ原子・分子が吸着することで進行すると考えられている。しかし、星間空間はもとより、星間塵表面における P、S、Cl 原子の動態についてはほとんど分かっていない。したがって、理論計算によるシミュレーションが強力な研究ツールとなり得る。こうした理論計算に用いられるパラメータは、これまで観測結果に合うように決められてきたが、近年、量子化学計算による吸着・拡散・反応パラメータの系統的な評価が行われ、物理的に意味のあるシミュレーションが可能になってきている。そこで本研究では、組成比シミュレーションを実行することを目的として、P、S、Cl 原子のアモルファス氷表面への吸着エネルギーを量子化学計算により系統的に予測した。水 20 分子からなる氷クラスターモデルを使って求めた P、S、Cl 原子の吸着エネルギーは、それぞれ 960K、2344K、5076K となった。吸着エネルギーの大きさと表面の水分子との最近接距離から、P 原子は氷表面へ物理吸着、S、Cl 原子は化学吸着すると結論付けた。特に Cl 原子では、Cl 原子と水分子の H 原子との間で化学結合を形成し、HCl 分子が生成していると考えられる。このことは、宇宙空間における HCl 分子の存在量の起源を説明し得る結果として興味深い。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P122a 星形成フィードバック効果を考慮した高速ガス衝突による星団形成

前田龍之介 (東北大学), 井上剛志 (甲南大学), 福井康雄 (名古屋大学)

Young Massive Cluster(YMC) は年齢が若い大質量な星団であり、高い星密度 ($\rho \sim 10^3 \text{ M}_\odot/\text{pc}^3$) が大きな特徴である。YMC はその星密度が銀河系ハローで観測されている古い大質量星団である球状星団に匹敵していることから、球状星団の前駆体である可能性が指摘されており、その起源の解明は非常に重要である。しかしながら、その形成のためには大質量なガスをコンパクトな領域に集める必要があり、そのメカニズムは未解明の問題である。我々の過去の研究 (Maeda et al. 2021) では、銀河間相互作用などに由来する高速度 ($\sim 100 \text{ km/s}$) なガス衝突によって形成した衝撃波圧縮層が重力崩壊することで、YMC の前駆体となる高密度で大質量なガス塊が形成可能であることを示した。しかしながら、Maeda et al. (2021) では星が形成されたことによる星間ガスへのフィードバック効果は考慮されておらず、フィードバック効果がある場合でも高密度で大質量なガス塊が形成可能かどうかはシミュレーションで確かめる必要がある。

本研究では Maeda et al. (2021) で行った自己重力、加熱・冷却、化学反応入りの三次元理想 MHD シミュレーションに、大質量星からの光電離効果を加えた星団形成シミュレーションを行った。光電離の効果は各タイムステップで Strömgren 半径を計算し、その半径内を HII 領域の典型的な温度である 10^4 K に加熱することで模擬した。シミュレーションの結果、YMC に進化する大質量ガス塊は重力の効果が大きく、星からの光電離フィードバック効果がある場合でも長時間コンパクトな構造を維持することがわかった。この高密度なガス塊は高い星形成効率で星形成し、最終的に高密度な YMC に進化すると考えられる。一方で、重力の効果が小さい低質量なガス塊は大質量星が形成するとフィードバックの効果で蒸発し、YMC には進化できないということもわかった。

[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](#)

P123a Mass function to below the deuterium burning mass limit of young clusters in the outer Galaxy. JWST NIRCам/MIRI imaging of Digel Cloud 2 clusters

Chikako Yasui(NAOJ), Natsuko Izumi (ASIAA), Ryan M. Lau (NOIRLab), Masao Saito (NAOJ), Michael Ressler (JPL/Caltech)

Outer regions of spiral galaxies, such as our Galaxy, are known to be generally in low metallicity environments (~ -1 dex), roughly comparable to values in the primordial environments of the universe ($z \approx 2$). Nonetheless, the relatively close distance of the outer Galaxy makes it the only environment suitable for spatially resolved observations of individual stars, as is the case in the solar neighborhood. We have been conducting near-infrared imagings with the Subaru Telescope of ~ 10 young star-forming clusters in the outer Galaxy down to $\sim 0.1 M_{\odot}$ stars, showing that the initial mass function (IMF) in such environments is not significantly different from typical IMFs seen in the solar neighborhood in terms of the high-mass slope.

We performed high-sensitive NIRCам/MIRI imaging observations of two star-forming clusters in Digel Cloud 2, a star-forming region in the outermost Galaxy ($R_G > 15$ kpc), and succeeded a mass detection limit of $\sim 0.05 M_{\odot}$. This is the first detection of brown dwarfs in star formation clusters under such an environment. The underlying IMFs are derived by model fitting of the obtained K -band luminosity function (KLF), resulting in IMF peak mass $\log M_C/M_{\odot} \simeq -1.1$ for both clusters. Although the uncertainties are rather large ($\simeq 0.7$), the results suggest that the M_C is somewhat lower than previously derived values in the solar neighborhood ($\log M_C/M_{\odot} \sim -0.5 \pm 0.5$). We will discuss the possible environmental effects obtained here in this talk.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P124a 球状星団形成期の星の暴走的合体からの中質量ブラックホール形成

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

球状星団に中質量ブラックホール ($100-10^4 M_{\odot}$ 程度) が存在するかについては、長年議論されてきた。これまでの研究から、 ω Cen、NGC 6388 には、 $10^3-10^4 M_{\odot}$ の中質量ブラックホールが存在する可能性があると言われている。球状星団内で中質量ブラックホール形成は、星団中心での星の暴走的合体と考えられている。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から星の合体が始まり、元から星団にあった大質量星が合体し終わった後は密度も下がり、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、 $10^5 M_{\odot}$ を超える球状星団では $10^4 M_{\odot}$ を超える超大質量星が星団内に形成することがわかった。このような超大質量星は、数 $10^3 M_{\odot}$ の中質量ブラックホールになると考えられる。本講演では、星団の質量や金属量へのブラックホール質量の依存性、初期条件の分子雲と形成する星団や超大質量星の関係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](#)

P125a 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

山田麟, 深谷直史, 出町史夏, 玉城磨生, 石川竜巳, 松月大和, 高山楓葉, 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 (岐阜大学/NAOJ), 河野樹人 (名古屋科学館), 西村淳 (NAOJ), 藤田真司 (東京大学), 井上剛志 (甲南大学)

NGC 1333 は距離 235 pc の Perseus 分子雲中に位置しており、活発な小質量星形成によって特徴付けられる。これまでダスト連続波やアンモニア輝線の観測からフィラメント状分子雲が多数報告され (e.g., Friesen et al. 2017), JCMT による磁場の観測も行われてきた (Doi et al. 2021)。星団形成機構としては、Loren (1976) によって分子雲衝突が提案され、SMT による ^{13}CO データの解析で衝突の兆候が確認されている (阪本他, 2020 年秋季年会 Q03a)。次の課題は、分子雲衝突とフィラメント形成の関係を明らかにすることにある。今回新たに野辺山 45m 望遠鏡/FOREST 受信機を用いて $^{12,13}\text{CO}$, C^{18}O の観測を行い、分解能約 $14'' (=0.015 \text{ pc})$ のデータを取得した。 ^{13}CO と C^{18}O ではフィラメント状構造が顕著であり、分子雲衝突の影響が見られない北側のフィラメントは幅 ($\leq 0.1 \text{ pc}$), 速度分散 (0.2 km s^{-1}), 柱密度 ($5 \times 10^{21} \text{ cm}^{-2}$) が Taurus 領域における形成途上のフィラメント (Arzoumanian et al. 2018) と類似していた。一方で、衝突の兆候が顕著な南側は $1.5 \times 1.5 \text{ pc}$ に 5 本以上のフィラメントが密集しており、典型的な柱密度が 4-5 倍ほど Taurus と異なっていた。このフィラメントに垂直な方向の ^{13}CO の位置速度図ではピーク速度が数 km s^{-1} ほどジグザグに変化し、フィラメントへのガス降着が示唆される。以上の結果は衝突によるフィラメント形成の磁気流体計算 (Inoue et al. 2018) と整合的である。さらに、10 pc 以上のスケールでは Taurus と Perseus は共通のスーパーシェルの端に位置するが、水素柱密度は Perseus 側で 3 倍程度高く、スーパーシェルによる衝撃波通過前の星間媒質の量がフィラメント形成モードの違いを生んだ可能性がある。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P126a 近傍の星形成領域における分裂過程の観測的研究

石原昂将, 中村文隆, 齋藤正雄, Patricio Sanhueza (NAOJ/SOKENDAI)

星形成は重力収縮によって希薄な星間雲から超高密度の恒星を形成する過程であり、この過程において、クランプ・フィラメント・コアと呼ばれる階層的な密度構造を形成していることが観測・理論の両面から知られている。分裂が起こるスケールによって星団・連星などの星系の形成に寄与すると考えられている。最も基本的なケースは、自己重力と熱運動による外向きの圧力の釣り合いで決まる熱的なジーンズ分裂であり、予想される特徴的な分裂スケール、質量をジーンズ長・ジーンズ質量 (ジーンズパラメータ) と呼ぶ。観測されたコア間の間隔・質量分布とジーンズパラメータを比較することで、親構造からコアへの分裂過程に対する手がかりを得ることが出来る。

前回の講演で Ophiuchus 分子雲および Corona Australis 分子雲の Herschel データを用いた解析結果を紹介し、分子雲中の下部構造の分裂スケールとコア間隔が概ね一致することがわかった。本講演では Herschel Gould Belt Survey の対象領域の内、Cepheus を除く 15 領域に対して同様の解析を適用した結果を紹介する。Corona Australis, Lupus, Polaris などの領域ではジーンズパラメータを下回る分布を示し、ジーンズ分裂のみでは説明できない結果となった。これは領域の密度分布などの空間構造がコアの形成に重要であることを示唆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](#)

P127a Early fragmentation found in 70 μm -dark massive clumps

Kaho Morii (Univ. of Tokyo / NAOJ), Patricio Sanhueza, Fumitaka Nakamura (NAOJ/SOKENDAI), Qizhou Zhang (CfA | Harvard & Smithsonian), Ken'ichi Tatematsu (NAOJ), Takeshi Sakai (Univ. of Electro-Communications)

Understanding the fragmentation process during the very early phases of high-mass star formation is crucial for unraveling the mechanisms behind cluster formation. We investigate fragmentation within thirty-nine 70 μm -dark massive clumps using high-resolution (1.2") ALMA observations at Band 6 (1.2 mm). We identify 839 embedded cores with masses ranging from 0.05 to 81 $M_{\odot}$ (Morii et al. 2023). Using the minimum spanning tree method, we estimate core separations ranging from 0.1 pc to 0.4 pc. By comparing observed core separations and masses to thermal and turbulent Jeans length and mass, respectively, we identify thermal Jeans fragmentation as the dominant mechanism driving the observed core properties. We uncover an inverse correlation between the number of cores and the virial parameter of sub-clumps, indicating that gravitationally unstable sub-clumps produce a higher number of fragments. Some clumps exhibit a wide dynamic range of core masses, spanning from low to high values, while others display a narrower range. This diversity in core mass distribution reveals distinct fragmentation behaviors occurring within the clumps. Moreover, we find a variety of fragmentation patterns, including both alignment and spread distributions, revealing the complex nature of the fragmentation process. These findings provide valuable insights into the mechanisms driving high-mass star formation.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P128a 分子雲形成モードが切り替わる金属量閾値

小林将人 (ケルン大学/国立天文台), 井上剛志 (甲南大学), 岩崎一成 (国立天文台), 大向一行, 富田賢吾 (東北大学), 徳田一起 (九州大学/国立天文台), 田中圭 (東京工業大学)

分子雲は星の母天体であり, その形成・進化が銀河の星形成活動を決定する. 実際に近年の ALMA 望遠鏡・JWST 望遠鏡の観測で, 近傍銀河の分子雲が空間解像され, 遠方の爆発的星形成銀河でも分子雲が星形成をホストする様子が同定され始めた. 分子雲形成・進化にはガス相金属量が重要パラメタである. 過去のシミュレーション研究から, 1 太陽金属量 ($Z_{\odot}$) から 0.2 $Z_{\odot}$ の範囲において, 乱流強度が同じ分子雲が大局磁場に沿う星間媒質圧縮から形成できると示された (小林ほか (2022 年秋季年会 P139a)). しかし圧縮は超新星残骸の膨張や銀河衝突などが起源のため, 大局磁場に沿わない圧縮が一般的であり, その場合の進化は未解明のままであった.

そこで大局磁場をさまざまな角度で与えた H I ガスを, 40pc スケールで圧縮する圧縮流三次元磁気流体シミュレーションを実施した. 天の川銀河の大半の星形成年代 (10 億年程度過去まで) を網羅する, $Z_{\odot}$, 0.5 $Z_{\odot}$, 0.2 $Z_{\odot}$ のパラメタで調査した. 温かい H I ガス (WNI) から, 分子雲材料となる冷たい H I ガス (CNI) の形成を, 0.02pc の高解像度で計算した. その結果, CNI 形成効率は低金属量環境ほど低下するが, 大局磁場に対して角度のある圧縮では低下がより顕著で, 形成された CNI も低密度化・高温化した. これは圧縮時の衝撃波後面で, 磁場に沿う速度シアが生じ熱不安定性の成長を抑制するためであり, この機構が $\lesssim 0.2 Z_{\odot}$ で働くことがわかった. 本結果は大小マゼラン雲で分子雲の典型質量が小さい傾向を自然と説明する. また低金属量環境で爆発的星形成を誘発するには, 衝撃波後面全域を自己重力不安定にする大規模な質量集積が必要だと示唆しており, 過去の天の川銀河や遠方の爆発的星形成銀河に, 銀河衝突・宇宙論的銀河間ガス降着が伴うこととも整合的である.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P129a 近傍銀河における巨大分子雲の Type 分類

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}, 藤田真司⁴, 小林将人⁵, 村岡和幸⁶, 小西亜侑⁶, 柘植紀節⁴, 大西利和⁶, 河村晶子³(1: 名古屋大学, 2: 九州大学, 3: 国立天文台, 4: 東京大学, 5: ケルン大学, 6: 大阪公立大学)

星は巨大分子雲 (GMC) で形成されるため, GMC の進化は銀河進化を進める基本過程であると言える. Fukui et al. (1999) は, 大マゼラン雲の GMC の掃天観測を行ない, HII 領域と若い星団との付随に基づいて GMC の Type 分類を提案し, GMC 進化の時間尺度などを導いた (Kawamura et al. 2009). 2012 年以降この研究は M33 にも拡張され, GMC 進化を確認する成果がもたらされた (Gratier et al. 2012, Corbelli et al. 2017). 我々は Type 分類による GMC 進化モデルの普遍性の確立を目指し, 10-20 Mpc の距離の銀河の Type 分類を進めている. そのために, この距離でも観測可能な H α 輝線のみに基づいた次の GMC 分類手法「Type I: 星形成の兆候を示さない GMC, Type II: H α 光度 ($L_{H\alpha}$) $< 10^{37.5}$ erg s $^{-1}$ の HII 領域が付随する GMC, Type III: $L_{H\alpha} > 10^{37.5}$ erg s $^{-1}$ の HII 領域が付随する」を提案し, まず M74 において PHANGS プロジェクトの CO, H α , HST の星団カタログを用いて解析した (Demachi et al. 2023, submitted). さらに今回, NGC 3351 などの 10-20 Mpc の近傍銀河 3 個に同様の解析を行い, サンプル数を増やすことで H α 光度に基づく Type 分類の有効性を検証した. その結果, 以下の傾向を確認した. 1) 年齢が 10 Myr より若い星団は GMC から 150-200 pc 以内に集中する, 2) 若い星団は特に Type III GMC に集中して分布する, また, 3) Type III GMC は 3 Type の中で最も力学的に緩和している. 本講演では, これらの結果を用いて, H α 光度のみによる Type 分類の有効性と, Type 分類による GMC 進化の描像の普遍性を議論する.

[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](#)

P130a M16 分子雲の近赤外線偏光観測

楠根貴成 (名古屋大学), 杉谷光司 (名古屋市立大学), SIRPOL チーム

星は分子雲中で誕生することが知られているが, その形成過程における磁場の役割は未だ完全には理解されていない. 母天体である分子雲に着目すると, フィラメント状の構造を持つことが Herschel 衛星等により広く一般的に知られているが, それらは決して単純な構造ではなく, さまざまな形状で分子雲は構成されている. しかしながら分子雲フィラメントと磁場の関係の理解はあまり進んではいない. そこで今回我々は, 複雑な構造を持つ M16 分子雲に着目し, その磁場構造・磁場強度と分子雲構造・星形成の関係の詳細を調べるべく, この天体に対して近赤外線偏光観測を実施した. 観測には, 南アフリカ天文台サザーランド観測所の IRSF1.4m 望遠鏡と, それに搭載されている JHK $_s$ 近赤外線偏光撮像装置 SIRIUS/SIRPOL (視野 $\sim 7'.7 \times 7'.7$) を使い, M16 の主要なフィラメントを概ねカバーした (合計 31 視野).

観測により, 大局的にはフィラメント構造に対して磁場は垂直で揃った構造を持つことを明らかにし, 磁場が M16 分子雲の全体構造を支配している可能性が高いことがわかった. 一方, 分子雲の両端においては, M16 中心方向に向かって湾曲した砂時計型の磁場構造を持つことを明らかにした. また, M16 中心部の大質量星団の周辺では, それらが作り出す HII 領域の縁に沿った磁場構造が見られ, 大質量星からの紫外線による分子雲圧縮の影響が示唆される. 加えて, Davis-Chandrasekhar-Fermi の手法により, フィラメントの各所において磁場強度を見積もった. 本公演では, 平行に走る東西のフィラメントにおける星形成や分子雲構造の違いと, 今回の観測結果から導出された磁場強度や磁氣的安定性との関係について議論する.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P131a 大マゼラン雲における O 型星の同定と大質量星形成の研究

玉城磨生¹, 立原研悟¹, 國生拓摩¹, 福井康雄¹, 中島康² (1:名古屋大学, 2:国立天文台)

本研究では、大マゼラン雲 (LMC) において、大質量星の同定と星団形成の研究を行った。大質量星、特に質量 $\geq 18 M_{\odot}$ の O 型星は紫外線放射や恒星風などにより周囲の星間物質に多大な影響を与えるが、その形成機構は未だ不明である。LMC では、小マゼラン雲 (SMC) との潮汐相互作用による HI ガス雲の衝突が大質量星団形成を誘発するシナリオが提案されている (Fukui et al. 2017, Tsuge et al. 2019)。しかし、大質量星の検出は LMC 全体について一様にはおこなわれておらず (Bonanos et al. 2009)、大質量星の全体像は不明であった。

そこで、銀河全体についてもれなく O 型星を検出することを目指し、新たな手法を用いて既公開恒星データベースを解析した。Gaia DR3 による LMC 全面での G , G_{BP} , G_{RP} バンド測光データを利用し、O 型主系列星のカラーテーブル (Pecaut et al. 2013) と 10 mag までの減光を考慮し、色等級図の上で O 型星候補天体を同定した。一方で PARSEC 星進化モデル (Alessandro et al. 2012) から、696339 個の O 型星候補天体のうち、減光量が比較的大きい $A_V \geq 0.53$ mag 以上の領域で同定された天体には、赤化した大質量主系列星に加え、pre/post-MS の中小質量星のコンタミネーションが含まれることが予想される。これらに対し、IRSF の点源カタログ (Kato et al. 2007) とのクロスマッチを取り、 J バンドのデータを組み合わせた二色図による解析を行うことで分離を試みた。その結果、5056 個の O 型星候補天体のカタログを得た。この際、クロスマッチは半径 0.1 arcsec の範囲に含まれるデータに対して行った。これら O 型星候補天体の分布は不均一であり、グループを形成して存在している傾向が見られた。そこで、それぞれのグループを星団と考え、星団を同定した。本研究の成果をガスの分布と比較することによって、衝突で誘起された大質量星形成の割合が高い確度で明らかになると期待される。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P132a ALMA による大マゼラン雲大質量原始星に付随する高密度分子ガスの観測 (3): 大質量ハブフィラメント形成と巨大分子雲の進化との関係

徳田一起 (九州大学/国立天文台), 原田直人, 町田正博 (九州大学), 田中圭 (東京工業大学), 井上剛志 (甲南大学), 下西隆 (新潟大学), Yichen Zhang (バージニア大学/理化学研究所), Marta Sewilo (NASA Goddard Space Flight Center/メリーランド大学), 國年悠里, 小西亜侑, 大西利和 (大阪公立大学), 河村晶子 (国立天文台), 福井康雄 (名古屋大学)

近年の銀河系をはじめとする観測的研究により、複数のフィラメント状分子雲が複雑に絡み合ったシステム (以下、ハブフィラメント) の交点に大質量コア/クランプが形成され、大質量星団へ至ることなどが提案されているが、巨大分子雲スケールからの質量集積過程および分子雲のライフサイクルの中でどのような位置付けにあるかなどは明らかになっていない。大マゼラン雲は複数の巨大分子雲を通した大質量原始星に付随する高密度クランプ/ガスの研究を行うための最適な対象であり、銀河系の研究と相補的な関係にある。我々は ALMA を用いた同銀河における大質量原始星 30 天体に対する 0.87 mm 連続波および HCO^+ (4-3) 輝線による観測的研究を推進している (原田他, 徳田他 2022 年秋季年会)。これらのデータ解析より、光度 $\sim 5 \times 10^4 L_{\odot}$ を超える大質量原始星には密度 $\gtrsim 10^5 \text{ cm}^{-3}$ を持つハブフィラメントがほぼ例外なく付随していることがわかった。さらに、このハブフィラメントとして同定された 14 天体のうち、11 天体はそれらが所属する分子雲に全て H II 領域と星団が付随し、大マゼラン雲で提唱されている分子雲の進化段階では最も後期のものに対応する。このことより、分子雲衝突や H I ガス流/降着などを通して母体分子雲の質量や構造を十分に発達させた後、その進化の最終段階に母体分子雲を破壊するに至る星団の前駆体としてハブフィラメントが位置付けられることを提案する。

[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](#)

P133a ALMA ACA 分子雲サーベイで探る大マゼラン雲の大質量星形成シナリオ (2): N44 分子雲複合体の解析

東野康祐¹, 柘植紀節², 徳田一起^{3,4}, 小西亜侑¹, 村岡和幸¹, 大西利和¹, 立原研悟⁵, 佐野栄俊⁶, 福井康雄⁵ (1:大阪公立大学, 2:東京大学, 3:九州大学, 4:国立天文台, 5:名古屋大学, 6:岐阜大学)

大マゼラン雲 (LMC) は小マゼラン雲との相互作用により、 50 km s^{-1} 以上の速度で原子ガスの衝突が発生していることが示唆されている。このような環境での大質量星形成、およびその母体となる分子雲の形成について研究するため、我々は LMC の H II 領域、N44, N11, N79 に付随する分子雲複合体に対して ALMA-ACA を用いて ^{12}CO , ^{13}CO ($J = 2-1$) 輝線による空間分解能 $\sim 1.6 \text{ pc}$ の広域観測を実施した。これまでの解析により多数のフィラメント状分子雲を確認し、各領域の線幅が H I ガスの衝突速度に応じてわずかに増加している兆候などが明らかになりつつあった (柘植ほか 2023 年春季年会)。さらに我々は、領域内での分子雲の物理的性質の比較、および星団からのフィードバックの影響を調べるため、LMC で最も明るい H II 領域の一つである N44 領域の解析を進めた。N44 領域は H II 領域に隣り合った分子雲 (BC 領域) や、BC 領域に比べてまだ星形成が活発でない二つの領域 (NW, SE) を含んでいる。astrodendro アルゴリズムを用いて分子雲を階層構造に分離し、サイズ-線幅関係を調べた結果、銀河系と同様な傾向 ($\sigma_v = 0.72 R^{0.5}$) に従うことが示された。このことから、H II 領域および星団フィードバックが分子雲の大局的な乱流構造に与える影響は顕著でないことが示唆される。また、特に NE 領域では大質量星原始星がその南端に付随するような指向性のあるフィラメント構造が 100 pc に渡って複数存在していることが明らかになった。講演では同様なフィラメント構造が見られた大マゼラン雲の他の領域 (30 Dor, N159) と比較しつつ、大質量星形成シナリオについて議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P134b 前主系列星の正確な有効温度の決定と微弱な彩層輝線の検出

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

従来、前主系列星の有効温度は測光観測により経験的に推定されてきた。一方で、より正確な有効温度はスペクトルから求められると考えられる。しかしながら、前主系列星のスペクトルより有効温度が測定された例は少ない (e.g. Takagi et al. 2010, Herczeg & Hillenbrand 2014)。スペクトルから温度を正確に求めると、微弱な彩層輝線も検出できる可能性がある。Yamashita et al. (2022) では Mg I ($\lambda 8807 \text{ \AA}$) の吸収線から、零歳主系列星 47 天体中 42 天体から弱い Mg I 輝線が検出された。多くの彩層輝線を検出することで、例えば前主系列星の彩層の温度構造についての統計的な議論への応用が考えられる。

本研究では可視域から近赤外域の微弱な彩層輝線を多くの前主系列星から検出する。我々は 2021 年 8 月と 2022 年 2 月にすばる望遠鏡/高分散分光器 HDS を用いて、おうし座の前主系列星 14 天体を観測し、 $\lambda 6300 - 9400 \text{ \AA}$ の高分散分光スペクトルを得た。VLT アーカイブからも運動星団に属する前主系列星のスペクトルを取得した。そして Pollux Database (Palacios et al. 2010) より、有効温度 = $2000 - 6000 \text{ K}$ で 100 K 刻み、表面重力 $\log g = 2.0 - 5.5$ で 0.5 刻み、金属量 $[\text{Fe}/\text{H}] = 0$ の PHOENIX BT-Dusty モデルを取得した。解析ではモデルスペクトルに 20 段階のベリングをかけた。観測された光球の吸収線とモデルを比較することで、前主系列星の有効温度、表面重力、自転速度、ベリング値などを推定した。有効温度と表面重力をスペクトルからより正確に見積もり、適切な恒星大気モデルスペクトルを前主系列星のスペクトルから引いた。結果として Mg I や Fe I などの多くの微弱な彩層輝線を前主系列星から検出でき、その検出率は先行研究の 24% から 100% へと大幅に向上した。講演では輝線ごとに自転・対流との関係を議論する。

[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](#)

P135c 球状星団の N 体シミュレーションにおける階層的多体系の取り扱いについて

岩倉龍太郎 (神戸大学), 船渡陽子 (東京大学), 斎藤貴之 (神戸大学), 牧野淳一郎 (神戸大学)

近年、重力波源として球状星団が注目されており、その力学進化は主に数値シミュレーションで研究されている。球状星団のシミュレーションにおける主な課題の一つは、連星系による計算コストである。球状星団の年齢は Gyr スケールである一方、連星周期は、早いものでは数日しか無いため、球状星団のシミュレーションには膨大な数のステップ数が必要となる。

この困難を克服するための工夫の一つに、 N 体シミュレーション中の小数体問題を解く Slow-down algorithmic regularization (SDAR; Wang et al., 2020a) がある。SDAR を組み込んだ N 体計算向けコード PeTar (Wang et al., 2020b) を用いることで、従来よりも数桁高速なシミュレーションが可能になるが、改善の余地は残されている。特に、安定・不安定境界にある階層的三体が形成された際に、計算速度が著しく低下したり、計算が止まったりしてしまう事例が報告されている。

本研究では、PeTar を用いて、等質量 King モデルの球状星団を $N = 9012$, 連星率 18% という条件でシミュレーションした。その結果、系が 1 万粒子に満たない場合でも計算速度の低下が普遍的に起こることを突き止めた。また、計算速度の低下を引き起こしているものが、主に (1) 安定・不安定境界にある階層的三体、(2) 連星-連星の階層的四体、(3) hyperbolic encounter の 3 つに分けられることがわかった。SDAR は安定な連星に対して Slow-down algorithm を適用することで、必要な時間ステップを短縮する方法をとるが、安定・不安定境界に存在する連星にも適用できる可能性があるかを探る。

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

P201a 原始星形成段階における円盤構造の観測的特徴について

高橋実道(国立天文台・鹿児島大学), 高桑繁久, 塚本祐介, 城戸未宇, 西合一矢(鹿児島大学), 富田賢吾(東北大学), 大橋永芳(ASIAA)

本研究では、形成過程にある若い星周円盤の観測的特徴について研究を行った。若い円盤の詳細な構造の理解は、その後の星形成、惑星形成過程を理解する上で重要となる。近年、ALMA の large program である eDisk による観測で、若い円盤の高分解能観測が多数行われた。eDisk で観測された天体の一つである CB68 の原始惑星円盤では、円盤の輝度分布に (1) 形成過程の円盤に期待される自己重力不安定性による渦状腕構造が明確には見えない (2) 長軸に沿った非対称性や、輝度分布の勾配が緩やかになる shoulder の構造が見える、という特徴があることがわかった。このような非対称な輝度分布は、他の原始星円盤においても確認されている。(1) については、観測された円盤が実際に自己重力的に安定であった場合、円盤を安定に保つための未知のメカニズムが必要となり、円盤形成過程の理解に大きな修正が迫られる可能性があるという点で、非常に重要な結果となっている。そのため、(2) の非対称な構造と合わせて、若い円盤の観測的特徴の起源を理解することが必要となる。

そこで、本研究では、2次元流体計算コードである FARGO と輻射輸送計算コードである RADMC-3D を用いて、若い自己重力円盤に対する輻射輸送計算を行い、観測結果を説明可能な円盤構造について調べた。その結果、(1) 円盤に自己重力不安定性による渦状腕構造が形成された場合でも、輝度分布に明確な渦状腕構造を作らないことが可能であり (2) 円盤に one arm spiral の構造があれば長軸に沿った輝度分布に非対称性が実現可能であることを明らかにした。本講演では、シミュレーションを用いた模擬観測の結果と、eDisk による CB68 の円盤の観測結果の比較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](#)

P202a ニューラルネットワーク U-Net を用いた原始惑星系円盤の電波干渉計画像構成

関口瑞希, 奥住聡(東京工業大学), 塚越崇(足利大学), 百瀬宗武(茨城大学), 武藤恭之(工学院大学)

原始惑星系円盤とは、若い星を取り巻くガスやダストから成る回転円盤であり、惑星形成の場である。そのため、観測により円盤の物理構造を詳しく調べることが惑星系形成の理解にとって重要となる。近年では大型電波干渉計により円盤の高解像度観測が行われている。干渉計による観測では輝度の空間分布のフーリエ成分の一部しか取得できず、またそれらが欠損することで生じるサイドローブパターンの影響を受けるため、不完全なデータから真の輝度分布を復元する必要がある。この復元には従来から用いられている CLEAN を含む様々な手法が存在するが、各手法はそれぞれの前提条件に基づき結果が影響を受けるため、複数の手法を用いて検討することが必要である。

本研究では、近年発展している機械学習を応用して原始惑星系円盤の電波干渉計観測データから円盤の詳細構造を検出する新しい手法を開発した。具体的には、画像処理に特化したニューラルネットワークである U-Net を用いて同心円状のギャップ構造を持つ円盤モデルの復元を学習させ、多重ギャップやスパイラル構造などの学習データにない構造の再現を試みた。比較の主な指標として復元された円盤のギャップの位置や幅の精度、構造の再現性を用いて、U-Net のパフォーマンスと CLEAN のそれとを直接対比した。その結果、U-Net による復元では、ギャップの形状を正規分布で近似した時の位置や幅の相対誤差は 0.7% と 6.8% であった。これは CLEAN での位置の相対誤差 3.3%、幅の相対誤差 58% に比べて少なくとも 4 倍以上の精度があることを示している。さらに、多重ギャップやスパイラルといった学習データにない構造を持つ円盤に対しても U-Net は輝度分布を推定できることがわかった。このことは、より複雑な構造の復元が可能なのも示唆する。

[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](#)

P203a Possible flyby in the XZ Tau system as revealed by the multi-epoch ALMA archival data

Miyu Kido, Shigehisa Takakuwa, Kazuya Saigo (Kagoshima university), Jeremy Lewis Smallwood, Hsi-Wei Yen, Gu Pin-Gao, Jinshi Sai, I-Hsuan Kuo (ASIAA)

As most stars, including the Sun, are born in cluster environments, dynamical interactions between young stellar systems should be ubiquitous. Such an interaction can alter the future evolution of the circumstellar disks (hereafter CSDs) and planet formation therein. We used ALMA archival data to investigate the possibility of flyby in the Class II binary XZ Tau system with a projected separation of ~ 39 au between the two stars (XZ Tau A and B). Previous studies have reported the presence of the dust CSDs with a radius of ~ 7 au in each of A and B and gas disks from the ^{12}CO (2–1) emission. Both of the gas disks show signatures of Keplerian rotation and they are misaligned with each other. Notably, the inferred gas radius is much larger than the separation of the two stars, and the gas disks are highly overlapped. The multi-epoch ALMA archival data from 2015 to 2017 indeed reveal a clear proper motion between the two stars. The inferred kinetic energy of the relative motion is higher than the gravitational potential, supporting the flyby scenario. Moreover, we performed SPH simulations with the parameters tailored to those of the observed properties of XZ Tau and compared the results with the observed data. We found that the observed arc-like structure resembles closely to that predicted from our simulation of the dynamical interaction of the two stars, i.e., flyby. In this presentation, we will report the results of these analyses and discuss whether or not XZ Tau is a candidate of flyby.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P204a 磁束輸送を考慮した円盤ガス面密度進化モデルの構築

榎本晴日, 奥住聡 (東京工業大学)

原始惑星系円盤の進化は主に磁場による円盤角運動量輸送に支配されていると考えられている。磁気流体シミュレーションの結果より、円盤を貫く大局的な鉛直磁場の強度が円盤降着の効率を決定することが示されている (e.g., Suzuki et al., 2010; Bai 2013)。定常の磁気駆動円盤における磁場の役割 (Okuzumi et al. 2014) や降着効率に応じたガス円盤の進化 (Tabone et al. 2021) は個別に調べられてきたが、実際の円盤内の物質の降着プロセスを考えるためには、円盤の大局鉛直磁場の分布とそれに伴う円盤ガスの共進化を理解することが必要である。

本研究では、正味の垂直磁場の半径方向の内側移流・拡散 (Lubow et al. 1994) とガス面密度進化を同時に扱う 1 次元円盤モデルを構築した。本モデルは磁気風によって駆動される角運動量輸送による降着を仮定しており、磁気流体計算の結果 (Bai 2014) から、質量降着率は磁場強度と中心星からの距離の関数として仮定した。ガス面密度の移流速度と正味の垂直磁場の磁気拡散係数はパラメータとして扱っている。

結果、円盤外側では内側移流が支配的かつ円盤内側では磁場の総量 (磁束) が保存される場合には、質量降着率は時間とともに増加し、円盤面密度は急速に減少することがわかった。磁気風による降着で円盤の角運動量が失われるため、円盤半径は時間と共に小さくなる。円盤半径が小さくなると、磁束保存により大局鉛直磁場強度は増加するため、磁場の関数である質量降着率は増加する。さらに本計算から、円盤進化の後期段階では円盤面密度や大局鉛直磁場強度が軌道半径と時間のべき乗則に近づき、自己相似的に進化することを見出した。この結果に基づいて、円盤進化後期段階における降着を記述する自己相似解を解析的に導出した。本講演では電離度構造や円盤磁束保存が円盤進化に与える示唆についても言及する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P205a 原始惑星系円盤のガス-ダスト 2 成分 2 次元グローバル計算によるダストリング形成

松木場亮喜 (京都大学), E. I. Vorobyov (Univ. of Vienna), 細川隆史 (京都大学)

近年、原始惑星系円盤の高解像度観測の進展により、いくつかの天体においてダストの多重リング構造が見つかった。この多重ダストリング構造の形成機構はいまだ明らかになっておらず、盛んに議論が行われている。有力な形成機構のひとつに、永年重力不安定性や two-component viscous gravitational instability などのガス-ダスト摩擦による不安定性が挙げられる (e.g. Takahashi & Inutsuka 2014; Tominaga et al. 2019)。これらの不安定性は先行研究によって理解が進んでいるが、原始惑星系円盤全体の進化を追うような多次元数値流体計算で再現されるかは示されていない。

そこで本研究では、2 次元数値流体計算でガスとダストの運動を別々に解きつつ、円盤の形成と進化を調べた。また本計算ではダスト量の変化の影響を調べるために、ダスト-ガス質量比 10^{-2} , 10^{-3} と 10^{-4} の 3 モデルで計算した。多重ダストリングを形成するような不安定性の成長は 10^4 – 10^5 年の時間を要するため、我々は円盤の進化を $\sim 5 \times 10^5$ 年もの長時間追跡した。本計算の結果より、我々は円盤半径 ~ 10 – 100 au に複数のダストリングを発見した。円盤形成直後、円盤は自己重力的に不安定で、円盤分裂および分裂片の形成が見られた。円盤形成から $\sim 4 \times 10^5$ 年ほど経過すると、円盤は自己重力的に安定化し、円盤分裂は収まるようになる。それ以降、ガス面密度に比べてダスト面密度が増幅された領域が発展していき、ダストリングが形成された。本講演では、本計算で見られたダストリング形成と先行研究を比較し、ガス-ダスト摩擦駆動の不安定性による多重ダストリング形成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](#)

P206a 原始惑星系円盤内側の熱構造：輻射輸送入り大局的非理想磁気流体力学シミュレーション

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

地球型惑星の形成過程を解明するには、原始惑星系円盤の内側領域 (中心から数 au の領域) における物理構造の理解が必須である。これまでの磁気流体力学に基づく研究によると、円盤内側領域では弱電離であることで磁場が拡散し、磁気的な乱流は安定化されることが分かった。そのような円盤では乱流粘性に基づく、古典的な粘性降着円盤モデルは成り立たないと考えられる。また大局的な磁場による円盤風が円盤ガスの降着を駆動するため、大局的な磁場構造も重要である。そのため、弱電離度の効果 (非理想磁気流体力学効果) や円盤風駆動降着を考慮して、円盤内側領域の基礎的な描像を確立することが求められている。

本講演では円盤内側領域の温度構造に着目する。温度構造は形成される惑星の組成を支配するなど極めて重要な物理構造である。我々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力学シミュレーションを行った。今回の計算の結果、これまで我々が行った局所領域の磁気流体力学計算で示唆したように、降着加熱は非効率であることを確認した。円盤温度は粘性降着円盤モデルから予想される温度よりも 2–3 倍程度低くなった。加えて、円盤の中心近くから高密度の円盤風が吹くことで、中心星からの照射が遮られ、照射加熱も従来モデルよりも非効率になりうることが分かった。例えば、中心星光度 $2.7L_{\odot}$ でも中心から 5au 付近で温度が 50K 程度となる。以上のことは、従来モデルよりも低温の円盤で惑星形成を議論する必要性を示唆している。さらに、円盤上面・下面で円盤風の密度に大きな差が生じ、それに伴い円盤表面の温度構造にも非対称が現れうることが分かった。このことは円盤観測において、円盤の観測される面が観測結果・解釈に影響を及ぼす可能性を示唆する。

[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](#)

P207a 巨大惑星がつくる密度波による原始惑星系円盤の衝撃波加熱

岡村龍樹 (東京工業大学), 小野智弘 (Institute for Advanced Study), 奥住聡 (東京工業大学), 武藤恭之 (工学院大学)

原始惑星系円盤の温度構造を理解することは、スノーラインの位置決定や円盤中での惑星形成を理解する上で不可欠である。巨大惑星が円盤上に励起するスパイラル状の密度波は、衝撃波化する際に熱を発生させる。近年、そこで発生する熱が惑星形成領域の温度決定要因になり得ることが示唆されるようになった。しかし、惑星密度波による衝撃波加熱は従来の円盤モデルでは考慮されていない。また、先行研究においてもこの衝撃波加熱を組み込んだ汎用的なモデルを構築するまでは至っていない。本研究の目的は惑星密度波による円盤衝撃波加熱をモデル化し、任意の円盤モデルに導入しやすい形で提供することである。

本研究では巨大惑星が作る密度波の2次元流体計算を行い、流線上のエントロピーの変化から衝撃波による加熱量を測定した。その結果、円盤の衝撃波加熱量は惑星質量に比例し、中心星からの距離の冪乗に従うことを発見した。さらに、惑星密度波が複数の腕を持つ場合には、それぞれの腕が異なる位置で衝撃波化することがわかった。以上の結果を元に、惑星密度波による衝撃波加熱の加熱量を推定する経験式を得た。この式を用いることで様々な条件の円盤に対して容易に衝撃波加熱を導入でき、衝撃波加熱を含んだ円盤温度モデルを惑星形成過程に適用することが可能になる。本講演では、他の円盤パラメータが衝撃波加熱に与える影響や、本研究で導いた衝撃波加熱公式の応用についても議論する予定である。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P208a 原始惑星系円盤内側領域のダストと温度の共進化によるダスト濃集

加藤遼, 奥住聡 (東京工業大学), 植田高啓 (Max-Planck Institute for Astronomy)

原始惑星系円盤におけるダストの濃集と重力不安定は微惑星形成の有力な機構の1つである。これまでの研究により、高温の円盤内側領域で磁気回転不安定性 (MRI) が作用すると、その領域の外縁部にガス圧力極大が生じ、微惑星形成につながるダスト濃集が起こることが示された (e.g., Kretke et al. 2009, Ueda et al. 2019, 2021)。しかし、過去の研究では、ダストの成長や集積による円盤温度進化への影響が無視されてきた。実際には、ダスト面密度とサイズが変化すると円盤の光学的厚みも変化する。よって、ダスト進化は円盤温度に影響を与える。

本研究の目的は、MRI が作用するような円盤内側領域において、ダストと円盤温度の共進化が微惑星形成にどのような影響を与えるのかを明らかにすることである。そのために、ガス・ダストの面密度、ダストのサイズ、および円盤温度の非定常進化を同時計算するシミュレーションモデルを構築した。密度進化は、ガスとダストの移流拡散、岩石ダストの付着成長および昇華を計算し、オパシティはダストサイズと円盤温度の関数とした。円盤温度進化は、中心星照射と粘性加熱、放射冷却、熱拡散などを考慮した。MRI 活性化温度は 1000 K とした。

計算の結果、円盤内側領域で MRI の活性化と非活性化が繰り返されるなかで、ダストの保温効果によって熱的に維持されるガス圧力極大が形成され、ダストが濃集することがわかった。MRI 活性領域の外縁では、ガス圧力極大が生じ、そこにダストが濃集する。MRI 非活性となると、ダスト濃集領域は保温効果により冷却が抑えられて温度極大ができる。これによりガス圧力極大の消失が妨げられ、ダスト濃集領域が維持される。ガス降着率が $10^{-8} M_{\odot} \text{ yr}^{-1}$ の場合、ダスト濃集領域が 1 au 以内に生じる。その領域のダスト総質量は数 $M_{\oplus}$ 、温度は 600–800 K となる。これは、ダスト濃集によって現在の地球軌道付近に岩石微惑星が形成されうること示唆する。

[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](#)

P209b 周連星円盤の自己重力分裂過程の解明

久島慶大, 高石大輔, 塚本祐介 (鹿児島大学)

近年、ALMA による高分解能観測によって周連星系円盤の詳細な構造が明らかにされた。そのような円盤の中には円盤分裂が起きているものも観測されている (e.g. L1448 IRAS3B)。円盤の分裂片が恒星やガス惑星に進化すると考えられているため、単一星における分裂条件は盛んに研究されており、冷却率による分裂条件 (Gammie (2001)) や、渦状腕内部の Toomre パラメータの値による分裂条件 (Takahashi et.al (2016)) が考えられてきた。しかしながら、中心星が連星の場合における分裂条件については十分な研究がされていない。

そこで、本研究では三次元流体シミュレーションコード (SFUMATO; Matsumoto 2007) を用いて、自己重力を考慮した等温周連星円盤の進化を 3 つのパラメータを変更したモデルを計算することで周連星円盤の分裂条件について調べた。その結果として、質量比が小さいモデルほど円盤が分裂しやすくなることが判明した。本講演では、結果と同時に質量比が円盤の分裂条件に与える影響について発表する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P210b ダスト散乱減光の円盤観測に対する影響

佐々木恵, 塚本裕介 (鹿児島大学)

近年の ALMA 望遠鏡の観測 (e.g. 「eDisk」 (Early Planet Formation in Embedded Disks) など) により、若い円盤の構造が明らかになってきた。観測された若い円盤 (Class0/I YSOs) のほとんどは軸対称の構造をしており、円盤形成シミュレーションでしばしば得られる渦状腕などの非軸対称構造はほとんど見つからない。

この理論と観測における円盤構造の違いを説明する一つの可能性として、ダストが成長してダスト散乱が効く場合、渦状腕がダスト散乱によって隠されていることについて本研究では調べた。

その結果、円盤の輻射強度は腕の領域で減少し、腕の間の領域で増大することがわかった。これにより、ダスト散乱効果が腕構造を観測的に見分けることが難しくなり、軸対称的な円盤に見えることがわかった。また、円盤を傾けてダスト散乱を考慮した場合は、光学的に薄い領域でもダスト散乱の効果が見られ、face-on の円盤よりも軸対称的な構造になった。本発表では様々な中心星の質量やダスト分布についてダスト散乱が非軸対称構造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](#)

P211b 星形成初期段階の円盤進化と重力不安定によるダストの振る舞い

早川喬 (九州大学)

惑星形成理論において、原始惑星系円盤は惑星形成の舞台となる。円盤は分子雲コアから星の形成とともに誕生する。円盤内には μm サイズのダストと水素分子を主とするガスが混在しており、その質量比は一般的に 1:100 であると考えられている。惑星形成シナリオではこのダストが何らかの要因によって惑星サイズまで成長する。惑星の形成過程は大きく分けて「ダストの付着成長による惑星形成」と「円盤の重力不安定性による惑星形成」の 2 つがある。しかし、それぞれの形成過程には問題があり、代表的な問題として cm サイズのダストがガス抵抗力の影響で角運動量を失って中心星落下してしまい、微惑星・惑星サイズまで成長することが出来ない「ダスト落下問題」がある。

本研究では、自身で作成した空間 8 次精度のルンゲクッタ法の計算コードを用いて原始惑星系円盤内でのダストの振る舞いを調査した。また、星形成初期の Class0/I 段階ではダストの急激な成長を期待することができるため、円盤モデルは Toomre の Q 円盤 (Chiang and Goldreich 1997) と林円盤 (Hayashi 1981) を接続したものを用いた。また、近年の ALMA 望遠鏡の観測ではアウトフローの検出されない原始星が見つかった。そのような原始星の周りの質量の重い円盤は重力不安定を引き起こしやすいため、重力不安定がダストにもたらす影響についても調査した。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P212b 原始惑星系円盤におけるストリーミング不安定性とダスト成長の共発展

富永遼佑 (理化学研究所), 田中秀和 (東北大学)

原始惑星系円盤においてダストが微惑星へ成長する過程を明らかにすることは、惑星形成の解明の第一歩である。標準的な理論では、ダストの落下や破壊などによって微惑星形成が阻害されてしまうことがわかっている (e.g., Weidenschilling 1977). その困難を回避するひとつの可能性としてストリーミング不安定性が提唱された (e.g., Youdin & Goodman 2005). ストリーミング不安定性はダストの落下運動で引き起こされる不安定性であり、ガス円盤の厚みより小さいスケールでダスト集積を起こすことがわかっている (e.g., Johansen & Youdin 2007). これによりダストの密度が十分上昇すれば、その高密度領域が自己重力的に収縮することで微惑星が形成されると期待されている (e.g., Johansen et al. 2007; Gerbig & Li 2023). 近年の高解像度数値シミュレーションによってこの微惑星形成が起こる条件が再検討され、赤道面のダスト-ガス比が 0.5 程度でも十分なダスト集積が期待できることがわかった (Li & Youdin 2021). 一方、密度上昇にかかる時間はケプラー周期の数十倍程度以上と長く、これはダストの衝突成長の典型的な時間スケールと同程度である。そこで本研究では、ストリーミング不安定性の従来の数値シミュレーション結果に基づき、ダスト集積中に衝突成長が起こるかを調査した。その結果、ダスト密度が数倍から十倍程度上昇すれば集積よりも衝突成長の方が速く進むことがわかった。ダストが大きくなるとストリーミング不安定性によるダスト集積も効率化することから、成長と集積の時間スケールが同程度になるようにダストが進化すると期待される。さらに衝突破壊の臨界速度が 3 m/s から 10 m/s 程度であったとしても、集積と成長の相乗効果でストークス数が 1 程度のサイズまでダストが成長し得ることがわかった。したがって、ストリーミング不安定性とダスト成長の共発展は岩石微惑星形成と氷微惑星形成の両方に重要である。

[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](#)

P213b 大質量原始星円盤における岩石ダスト成長の観測的兆候の予測

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 (京都大学)

地球をはじめとした岩石惑星とその前身である岩石微惑星は、原始惑星系円盤中において水氷が昇華し、ダスト主成分が岩石であるスノーライン内側で形成されたと考えられている。これらの形成過程を理解するうえでスノーライン内側におけるダスト成長過程を観測することは重要である。しかし、原始惑星系円盤におけるスノーラインの半径は約 3 au と狭く、現状の観測技術では岩石惑星の形成現場を直接観測することは困難である。そこで、我々は約 10 太陽質量以上の大質量原始星周囲の降着円盤に着目した。大質量原始星円盤は原始惑星系円盤よりはるかに高温で、半径 100 au 以上のスノーラインを持つと考えられており、スノーライン内側の空間分解観測が可能である。実際、観測と理論の両面から大質量原始星円盤における岩石ダスト成長が示唆されている (Girart et al. 2018, Yamamuro et al. 2023)。だが、そのような研究例はまだ少なく理論と観測を繋ぐ模擬観測研究が今まさに求められている。

本研究の目的は大質量原始星円盤におけるスノーライン内側の観測から、原始惑星系円盤における岩石微惑星の形成過程を制約することである。そのためには、大質量原始星円盤におけるダスト成長などの物理過程を、大質量原始星円盤の観測量から読み取ることが不可欠である。そこで本研究では輻射輸送計算コード RADMC-3D を用いた大質量原始星円盤のサブミリ波模擬観測を行い、ダスト成長とその観測的兆候を調べた。本発表では大質量原始星円盤から期待されるスペクトル指数や偏光度と岩石ダスト半径の関係について議論する。模擬観測と ALMA 観測の比較により岩石ダストの付着力を推定し、その結果を用いて、ダスト衝突合体が岩石微惑星の形成にどの程度寄与するかを評価する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P214b 有機ダストプラズマにおけるダストの成分同定に向けた解析手法の検討

米津 鉄平, 松原 浩, 前澤 裕之 (大阪公立大学)

我々は星間ガスなどを模したプラズマ放電により、有機物からなるアグリゲート状のダストの合成を行い (前澤、米津 23 年春季年会)、プラズマの気相分子について超伝導検出素子を用いた mm-THz 波帯ヘテロダイナミクス診断を推進している (米津、前澤 22 年秋季年会)。さらにダスト内の有機物のサーベイも進めており、星間分子雲や星形成領域におけるアミノ酸や核酸塩基などの複雑な有機分子の形成過程の多様性を探っている。

こうした中で我々が利用している高速液体クロマトグラフィー (HPLC) 解析や液体クロマトグラフィー/質量分析 (LC/MS) において、形成されたダストに含まれる有機化合物を広範かつ高精度に同定するには、一般には保持時間や質量 (/質量) スペクトルをリファレンスとなる標準物質 (標品) と比較する必要がある。しかし、標品となる化合物のデータベースには、構造異性体が大量に登録されており、全てを分析してダストの測定結果と比較することは難しい。そこで、期待される分子とデータベース上の分子の Molecular Fingerprints (RDKit) の類似度と各分子の安定性に着目し、データベースから優先して LC/MS 解析を行いダストの測定結果と比較するための標品の判定手法を開発した。Molecular Fingerprints は分子中に含まれる様々な部分構造の特徴を 0 と 1 のビット配列で表現するもので、これを用いて期待される生体高分子がもつ構造と、データベース上の同組成の分子構造の類似度を判定し、さらにエネルギー計算により安定性の高い分子を抽出することで、LC/MS 解析を優先して行う標品を判定できるようにした。この手法は、原子数が増え複雑な組成になるほど効果的であると期待される。本講演では、これら一連の手法と解析結果について詳細を報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P215b 微惑星形成時の衝突帯電による雷発生：鉛直方向の運動と交換電荷量の影響

西澤諒, 中本泰史 (東京工業大学)

未分化隕石の多くには、コンドリュールと呼ばれる球状の珪酸塩鉱物が含まれている。コンドリュールは前駆体のダスト粒子の溶融、再固化によって形成されたと考えられている。しかしながら、その加熱機構の詳細は未だ不明である。

私たちは、雷がコンドリュール形成の際に熱源として働く可能性を検討している。ダスト層の重力不安定で微惑星が形成される際、微惑星に落下するダスト粒子にはサイズに応じたガス抵抗力が働く。したがって、サイズが異なるダスト粒子同士は衝突し、互いに帯電する。ダストは衝突帯電と分離を繰り返し、電荷分離が進行すると大きな電場が形成され、雷が発生する。こうした予想に基づき、前回 (2023 年春季年会 P210b) は、ダスト粒子の運動からダスト粒子の衝突状況を調べ、微惑星周辺で雷が発生する可能性があることを報告した。ただし、鉛直方向の運動は無視していた。

今回は、鉛直方向も考慮してダスト粒子の運動を調べ、微惑星周辺の電荷密度分布と電場分布を求めた。その結果、ダスト粒子が微惑星に引き寄せられて鉛直方向にも動き、微惑星近傍でダスト数密度がさらに増加することで、雷がより発生しやすくなることがわかった。また、ダスト粒子の衝突交換電荷量の雷発生への影響も調べた。一回あたりの衝突交換電荷量が小さいほど、衝突後の分離が起こりやすいため、帯電量が大きくなることができ、電場は大まかに交換電荷量に反比例することがわかった。尤もらしい交換電荷量を用いて計算すると、雷発生は十分考えられる。

[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](#)

P216b 運動量保存を考慮した原始惑星系円盤ダストの乱流拡散: 周惑星円盤へのダスト供給過程の理解に向けて

瀧 哲朗 (東京大学), 谷川 享行 (一関高専)

原始惑星系円盤中でのダストの分布を考える際に、ガス乱流による拡散過程を正しく取り扱うことは重要である。特に惑星ギャップ外縁においてはダストの拡散がガス惑星や周惑星円盤に供給されるダスト量を決めている。また、ダストの拡散は惑星ギャップが円盤に形成するダストリング構造の幅や明るさとも密接に関わっており、惑星形成論と円盤観測とのつながりという観点でも興味深い。

円盤内での大局的なダスト分布を調べる際にはダストを圧力なし流体として扱う二流体近似のアプローチが広く用いられている。二流体近似した際のダストの乱流拡散の取り入れ方としては (1) ダストの連続の式に質量の拡散項として導入する (e.g., Weber et al., 2019), (2) 乱流拡散による移動速度を定義してダストの運動方程式に含める (e.g., Binkert et al., 2023) などの手法が検討されてきた。ただしこれらの手法はいずれもダスト-ガス系で見たときの運動量保存が守られていない。これは円盤上層部や惑星ギャップ内部など、ガス密度が低いためにダスト-ガス間の運動量交換の効率が上がる領域においては問題となりうる。

本研究では等方性乱流によるダストの拡散過程を取り扱う際の、運動量保存を満たす新たな定式化を検討する。また、今回検討した定式化が古典的に提案されてきた沈殿-拡散平衡による鉛直方向のダスト分布を再現するかテストし、具体的なダスト拡散過程の計算への適用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](#)

P217a ダストと円盤の共進化過程

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

我々は、本公演においてダストの成長とそれに伴う磁気抵抗の変化を考慮したダスト-ガス 2 流体非理想磁気流体シミュレーションの結果に基づいた原始惑星円盤の新しい進化過程「ダストと原始惑星円盤の共進化」を提案する。我々のシミュレーションからダストの成長は、ガスと磁場の結合を変化させることにより、ディスクの進化に大きく影響することがわかった。さらに、ダストが十分に成長し、ダストへの荷電粒子の吸着が無視できるようになると、円盤の物理量（密度や磁場など）は非自明なべき乗則でよく記述されるようになることがわかった。この円盤構造では、ダストの成長を無視したモデルに比べて、密度の半径方向のプロファイルのべきが大きくなり、円盤の質量が小さくなる。この円盤の質量が小さいという点は、円盤の観測結果と一致する。また、われわれはさらにこれらのべき則を非理想的磁気流体力学の基本方程式から解析的に導いた。

我々の円盤モデルは観測的に検証可能であると考えられ、今後の原始星・円盤進化の研究に新しい視点を提供するものと期待される。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P218a ALMA 3 バンド観測で明らかにする原始星 DG Tau まわりの若い円盤でのダスト濃集と惑星形成の初期条件

大橋聡史 (国立天文台), 百瀬宗武 (茨城大), 片岡章雅 (国立天文台), 樋口あや (東京電機大), 塚越崇 (足利大), 植田高啓 (MPIA), Claudio Codella (INAF-OAA), Linda Podio (INAF-OAA), 花輪知幸 (千葉大), 坂井南美 (理研), 小林浩 (名古屋大), 奥住聡 (東工大), 田中秀和 (東北大)

近年、ALMA 望遠鏡の高解像度観測によって原始惑星系円盤で様々な構造が発見されている。これらの構造や惑星の形成メカニズムを探る上でも、構造形成が進んでいない、若い円盤の詳細な観測が重要となる。そこで本講演では DG Tau に付随する原始惑星系円盤の ALMA 3 バンド (0.87, 1.3, and 3.1 mm) 観測の解析結果を報告する。1.3 mm ダスト連続波の高分解能観測 (~ 5 au) では、円盤の輝度分布は全体的には極めて軸対称で、かつ動径方向に概ね滑らかであることを再確認した (百瀬ほか: 日本天文学会 2016 年秋季年会)。

散乱を考慮した Spectral Energy Distribution (SED) のフィッティングと RADMC3D を用いた輻射輸送計算の結果、円盤の内側では 3.1 mm のダスト連続波でも光学的に厚く ($\tau > 1$)、非常に高い柱密度 ($\Sigma_d \gtrsim 10 \text{ g cm}^{-2}$) であった。そのため円盤を重力的に安定に保つためにはダスト濃集が進んでいることが示唆される。またダストサイズは円盤内側 ($\lesssim 40$ au) でおよそ $100 \mu\text{m}$ なのに対し、外側 ($\gtrsim 40$ au) では 3 mm 以上に成長していることが見積もられた。ダストサイズが変化する場所は CO スノーラインと一致し、ダスト組成の変化に関係している可能性が示唆される。また軸対称な円盤構造からダストは中央面によく沈殿していることも明らかになり、弱い乱流強度 ($\alpha \lesssim 3 \times 10^{-5}$) であることがわかった。講演では、これらの条件 (ダスト濃集、 $100 \mu\text{m}$ ダスト、弱い乱流) が惑星形成を開始する初期条件であ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](#)

P219a 質量輸送を伴うダストアグリゲイト間の衝突と衝突エネルギー

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）

惑星はガスとダストから成る原始惑星系円盤の中で形成される。ダストはダスト同士の衝突付着によって成長すると考えられているが、円盤内でのダスト間の衝突速度はダストの成長と共に増加し、衝突速度が速くなりすぎるとダストは衝突によって付着出来ずに破壊される。このダスト衝突時の成長と破壊は惑星形成の初期段階の理解に必須であるが、成長過程の詳細な理解にはさらなる研究が要求されている。我々は大量のダスト微粒子から成る二体のダストアグリゲイトの衝突成長と破壊の様子を、先行研究でも用いられた N 体コードを用いて数値計算を実行して調べた。本発表では、二体の衝突エネルギーと衝突結果（成長と破壊）の関係に関して、衝突前の二体の質量比への依存性に焦点を当てた発表を行う。衝突結果が成長から破壊に変わる臨界衝突エネルギーについて、標的から衝突体への質量輸送が起こらない場合は質量比の増加と共に臨界エネルギーは減少するが、質量輸送が起こる場合は臨界エネルギーは質量比には依存せずある一定値である事が分かった。これは、二体間での質量輸送は二体の衝突地点付近での局所的な現象ではなく標的全体と関連する現象である事を示唆する。質量輸送は斜め衝突後に全体が回転しながら起こる現象であり、これが前述の結果となる理由であるかもしれない。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P220a 原始惑星系円盤ダストは白か黒か？ CO 輝線ウィングによるアルベドの測定

吉田 有宏（総合研究大学院大学/国立天文台）、野村 英子（国立天文台）、塚越 崇（足利大学）、古家 健次（国立天文台）、土井 聖明（総合研究大学院大学/国立天文台）

原始惑星系円盤中に存在するダスト粒子の光学特性を観測的に制約することは、ダストの組成、サイズ、ポロシティなどの物質的性質を解明するために重要である。本講演では、ミリ波帯における散乱アルベドに着目する。円盤からのダスト連続波放射は、光学的に厚い場合には、散乱により減光することが知られている。ダスト連続波の放射強度はダストの温度とアルベドが縮退した量であり、その観測のみからは両方を同時に決定することはできない。したがって、アルベドのモデル非依存な観測的制約はこれまでなされていなかった。

我々は、この問題を解決するため、同じ分子の複数のエネルギー準位からの光学的に薄い輝線放射を用いることを着想した。光学的に薄い分子輝線放射の異なる準位間の強度比は、温度のみの関数であるため、複数の準位の輝線を観測することで、中心面近くのガス温度をダストアルベドとは独立に決定することができる。さらに、そのガス温度と中心面ダスト温度はほぼ等しいと仮定できるため、ダストの放射強度からアルベドを求めることができる。光学的に薄い放射としては、一酸化炭素分子輝線の圧力広がりによるウィングを用いることができる。我々は、この手法を ALMA による TW Hya 円盤中心部の CO J=2-1, 3-2 輝線観測と多波長連続波観測に適用し、波長 0.45 – 3.1 mm におけるアルベドのスペクトルをモデル非依存に得ることに初めて成功した。アルベドは波長 0.9 mm のピークで 0.9 程度の高い値を示し、円盤ダストは「白い」ことがわかった。また、これは円盤観測の解釈によく用いられている DSHARP ダストモデル (Birnstiel et al. 2018) において、最大ダストサイズを 300 μm とした場合と整合的であった。講演ではダストの物質的性質のさらなる制約可能性についても議論したい。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P221a 円盤形成段階でのガス・ダスト進化による同位体空間不均質の形成

本間和明, 奥住聡 (東京工業大学), 荒川創太 (海洋研究開発機構), 深井稜汰 (宇宙航空研究開発機構)

近年、隕石の同位体比が太陽系形成を明らかにする手がかりとして注目を集めている。隕石中の Cr や Ti などの同位体比から、原始太陽系円盤においてダストの同位体比が空間的に不均質であったことが示唆されている (e.g., Warren 2011)。同位体不均質が円盤形成段階に既に存在していたことも指摘されている (Kruijer et al. 2020)。同位体不均質の起源として有力視されるのは、分子雲コアが同位体的に不均質であり、円盤が分子雲の不均質を引き継いだとする説である (Nanne et al. 2019)。しかし、分子雲における不均質が円盤形成段階でのガスとダスト進化によってどのように円盤に引き継がれ、同位体の空間不均質が円盤で形成されたかは明らかではない。

本研究の目的は同位体空間不均質を形成するガスとダスト進化の条件を明らかにすることである。そのために、本研究では円盤形成段階でのガス・ダスト進化による円盤での同位体比変動を求めるモデルを構築した。分子雲コアが同位体不均質とする仮定の下、本モデルを用いて同位体空間不均質が達成される条件を調べた。その結果、隕石と整合的な同位体比の空間不均質が達成されるためには、分子雲コアから円盤へダストが降着する軌道半径の拡大に対して、粘性による円盤の拡散が素早い必要があることがわかった。また、形成初期段階の重力不安定によって生じる急速な円盤の動径拡散が同位体不均質の達成に重要であることも分かった。これらの結果を踏まえ、同位体不均質を達成するガス・ダストの条件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](#)

P222a 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。COMs 生成経路としては、塵に凍りついたより単純な分子 (e.g., H_2O , CH_4 , NH_3) が紫外線により破壊され、反応星の高いラジカルとなり、ラジカル同士の反応により COMs が生成するという過程が考えられる。

従来の研究では静的な円盤を仮定し、一定の物理環境のもとでの化学進化の理論計算がなされてきた (e.g., Walsh et al. 2014)。しかし、原始惑星系円盤では塵粒子が乱流により移動し、個々の粒子が経験する温度や紫外線量は時間的に変化する。そこで我々は、化学反応ネットワークシミュレーションにより乱流状態にある円盤での COMs の化学進化を調査した。初めに、原始惑星系円盤内の物理構造モデルを上での塵粒子の運動 (移流、乱流拡散、ドリフト、沈殿) を追跡する。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。その結果、粒子が受けた累積紫外線量が同じであっても COMs 存在量が 2 桁以上異なるケースが見られた。従って、化学進化を考えるためには累積紫外線量だけではなく、紫外線強度の時間変化も考慮する必要があるといえる。さらに酸素を含む COMs と窒素を含む COMs の間に振る舞いの違いが見出された。酸素は紫外線が強い環境下で CO_2 氷に固定されてしまい、酸素を含む COMs の存在量は粒子の累積紫外線量が増えるほど減少していった。その一方、窒素は特定の分子に固定されにくいため、累積紫外線量が増加しても窒素を含む COMs の存在量の減少は見られなかった。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](#)

P223a 原始惑星系円盤 MWC 480 におけるジメチルエーテルの検出

大和義英, 相川祐理, 野津翔太 (東京大学), 古家健次, Gianni Cataldi (国立天文台), Viviana V. Guzmán (UC Chile), Ian Czekala (Penn State), Jane Huang (UMich), Charles J. Law, Karin I. Öberg, Chunhua Qi (CfA), Romane Le Gal (IPAG), Richard Teague (MIT)

原始惑星系円盤においてメタノール (CH_3OH) をはじめとする複雑な有機分子の存在量や分布を明らかにすることは、惑星系における化学的複雑性や生命の起源を理解するうえで重要である。しかし、これらの分子は比較的揮発性が低く (昇華温度 ~ 100 K)、円盤の大部分ではダスト表面上の氷に閉じ込められており、観測が難しい。近年の ALMA 観測により、Herbig Ae/Be 型星の周りの暖かい円盤において複雑な有機分子の輝線が検出され始めているが、未だその検出例は数天体に限られている (Booth et al. 2021, Brunken et al. 2022)。

本講演では、Herbig Ae 型星 MWC 480 周りの原始惑星系円盤におけるジメチルエーテル (CH_3OCH_3) の検出を報告する。我々は、ALMA Band 7 で非常に高感度な観測を行い、複数のジメチルエーテルの遷移を検出した。加えて、ギ酸メチル (CH_3OCHO) 輝線も暫定的に検出した。これらの輝線放射は、コンパクトな空間分布 ($\lesssim 20$ au) かつ非常に広い線幅 (~ 30 km s $^{-1}$) を示すことから、ケプラー円盤内縁部の暖かい領域で熱的に昇華してきた分子をとらえていることを示唆する。これらの分子が検出された一方で、星間空間では最も存在量が多いメタノールは検出されず、ジメチルエーテルやギ酸メチルがメタノールより ~ 2 – 10 倍以上多く存在するという結果が得られた。このような特異な分子組成は、(1) 昇華温度のわずかな違いに起因する分子ごとに異なる空間分布、(2) ダスト表面上でのラジカル同士の反応、またはアンモニアを介した気相反応によるジメチルエーテルおよびギ酸メチルの効率的な生成、のどちらか、もしくはこれらの組み合わせで説明できる可能性がある。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P224a ALMA 観測による FU Ori 型星 V883 Ori の円盤における $^{13}\text{C}^{17}\text{O}$ 輝線の検出

野津翔太 (東京大学), 塚越崇 (足利大学), 野村英子, 廣田朋也 (国立天文台), 本田充彦 (岡山理科大学), 秋山永治 (新潟工科大学), Alice S. Booth (Leiden University), Catherine Walsh (University of Leeds), Tom J. Millar (Queen's University Belfast), Seokho Lee (KASI), Jeong-Eun Lee (Seoul National University), 大和義英, 相川祐理 (東京大学), 大小田結貴, 坂井南美 (理化学研究所)

原始惑星系円盤ガスの空間分布・質量の進化の理解は、惑星系の形成・進化過程の解明に欠かせない。そこで ^{13}CO , C^{18}O 輝線を用いた円盤ガス分布の統計的観測が多数実行されている (e.g., Miotello et al. 2017)。一方でこれらの輝線が光学的に厚い場合、円盤ガス質量を過小評価する可能性がある。ここで、一酸化炭素の同位体分子種の中で最も量が少なく、より光学的に薄い $^{13}\text{C}^{17}\text{O}$ 輝線を用いる事で、円盤赤道面も含め精度の高いガス質量測定が可能となる。近年の ALMA 観測で、 $^{13}\text{C}^{17}\text{O}$ 輝線が原始惑星系円盤において初めて検出され (HD 163296: Booth et al. 2019; HL Tau: Booth & Ilee 2020)、従来の C^{18}O 輝線観測と比較し 2–10 倍程度重い円盤ガス質量の見積もりが得られた。本講演では ALMA Cycle 8 で我々が実施した、典型的な FU Ori 型星である Class I 原始星 V883 Ori 周りの円盤における $^{13}\text{C}^{17}\text{O}$ $J = 3 - 2$ 輝線 (Band 7, 空間分解能 0.4") の観測結果を報告する。解析の結果 $^{13}\text{C}^{17}\text{O}$ 輝線放射は、過去観測で得られた C^{17}O 輝線放射 (Tobin et al. 2023) と同様に、原始星近傍の光学的に厚いダスト放射を囲む様に円盤内でリング状の分布を持つ事、 H_2O や CH_3OH と比べより円盤外側まで広がった分布を持つ事が分かった。講演では柱密度分布・質量の見積もりを元に、円盤ガス分布の進化過程などについて議論を行う予定である。また円盤内の CO_2 スノーライン指標として知られる HCO_2^+ 輝線の観測も行ったが、未検出であったので、講演では上限値の見積もりを元に円盤内の CO_2 分布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](#)

P225a 磁氣的に降着する原始惑星系円盤でのスノーライン移動と岩石微惑星形成

近藤克 (東京工業大学), 奥住聡 (東京工業大学), 森昇志 (東北大学)

太陽系における地球型惑星は水に欠乏するため、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。したがって、スノーラインが原始太陽系円盤内でどのように移動したかを知ることは、地球型惑星の形成時期・位置を明らかにする上で重要である。Kondo et al. (2023) 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、円盤の電離度とオパシティを支配するダスト粒子のサイズと空間分布に応じて非単調に変化することがわかった。しかし、以前の研究ではダスト粒子の最大サイズや存在量をフリーパラメータとして与えていた。

本研究では、スノーラインがダスト進化とともにどのように移動するかを明らかにすることを旨とし、磁気降着円盤における温度とダストの同時進化計算を行った。円盤温度はジュール加熱と放射冷却の平衡から決定し、それぞれ円盤の電離度とオパシティのダスト依存性を考慮した。ダスト進化は、ダスト粒子の成長、破壊、中心星への落下、拡散を考慮した。スノーラインの内側と外側に存在する、岩石と氷ダストの臨界破壊速度をフリーパラメータとした。計算の結果、スノーラインが 1 au を通過する時間は円盤内のダスト粒子が枯渇する時間に依存することがわかった。岩石ダストの臨界破壊速度が 10 m s^{-1} よりも小さい場合、ジュール加熱によって円盤内側が暖まるので、星・円盤形成から数 Myr の間スノーラインは 1 au よりも外側に位置する。その後、ダスト粒子が中心星へ落下して円盤内側のダスト総量が減少し始めると、放射冷却が効率的になりスノーラインが 1 au よりも内側へと移動する。本講演では、1 au での岩石微惑星形成の可能性についても議論する。

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

P226a スノーライン下方での氷微粒子の凝縮

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、氷 (H_2O , CO_2 など) が凝縮を開始する場所が存在する。氷の種類によって昇華温度が異なるため、スノーラインは複数存在する。赤道面においてその形状は赤道面に垂直であるが、赤道面から上方においてはスケールハイトに沿った形となる。氷ダストアグリゲイトを含んだガスが乱流渦に乗りスノーラインを下から上に向かって横切ると氷ダストアグリゲイトから氷が昇華し蒸気が形成され、逆に上から下に横切るとその蒸気が氷として凝縮する。凝縮では次の 2 つのメカニズムが同時に進行する。1: その蒸気単体で均質核形成が進行し、形成された核に蒸気が凝縮する。2: 氷が昇華した後のダストアグリゲイトに蒸気が凝縮する (不均質核形成)。ここで 1 の均質核形成が進行すると、もともと存在していたダストアグリゲイトの表面積に加えて新たに形成した氷微粒子の分だけ表面積が増えることになる。本研究では、氷微粒子の凝縮によりダスト総表面積がどの程度増加するのかを数値シミュレーションにより求めた。スノーラインがスケールハイト付近に存在する場合ではダストアグリゲイトの量が多いため不均質核形成が進行し総表面積は増加しない一方、スケールハイトの 2-3 倍上空にスノーラインが存在する場合では H_2O , NH_3 , H_2S 蒸気の凝縮において総表面積が顕著に (100 倍以上) 増加することが明らかとなった。中心星からスノーラインまでの距離は氷の種類によって異なるため、いくつかの異なる場所においてダスト表面積が急激に変化することが予想される。このような場所では表面積の変化により電離度の変化がもたらされ、それによって乱流粘性が大きく変化し、圧力バンプが形成されることが期待される。圧力バンプはダストアグリゲイトを集積するため、スノーライン下方での氷微粒子の凝縮はその後の惑星形成過程に大きな影響を与える可能性がある。

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

P227a 原始惑星系円盤内側領域における揮発性元素濃縮とガス惑星形成

中澤風音, 奥住聡 (東京工業大学)

天体の揮発性元素組成は形成位置・時期を制約する重要な情報である。木星は大気中の揮発性元素 (N, C, O, S, 希ガス...) 組成が太陽に対し一様に 2-4 倍に濃縮されているという顕著な特性を持つ。従来、この特性は低温環境でのコア形成や揮発性物質を捕獲した非晶質氷の輸送により説明されてきたが、これらのモデルには元素キャリアを担う物質が限られていること、理論計算に惑星形成過程が考慮されていないことなど複数の課題がある。

木星組成を説明するシナリオを明らかにするため、本研究では、非晶質氷および半揮発性物質による元素輸送と木星コアのガス降着による成長を考慮した原始惑星系円盤のガス・ダスト進化を計算した。半揮発性物質として近年彗星や分子雲で検出が進むアンモニウム塩を導入し、塩の解離・非晶質氷の相転移による蒸気放出と惑星へのガス降着から惑星組成を決定した。その結果、ダスト中に 3 wt% のアンモニウム塩が存在すれば惑星の窒素濃度を木星レベルまで引き上げられることがわかった。また、塩の一部が NH_4SH という形態でダストの 0.5 wt% を占めている場合、惑星大気の硫黄濃度を木星値の 2 倍程度まで濃縮可能であることが分かった。さらにこれらの N, S 輸送機構と非晶質氷による揮発性元素輸送を組み合わせることで、円盤内側 (< 5 au) で形成する惑星が一様に揮発性元素濃縮されることを示した。本モデルにおいて、惑星大気元素濃縮値はコアの形成時刻に依存する。コア形成はダストの動径ドリフトを抑制し、解離・相転移線を通過するダストを減少させるためである。従って惑星を含む円盤進化と組成進化の同時計算により惑星形成時刻を制約することが可能である。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P228a 短寿命核種供給源として適切な近傍超新星爆発：原始太陽系円盤を破壊しない条件

澤田 涼, 黒川 宏之, 瀧 哲朗, 諏訪 雄大 (東京大学)

初期太陽系において形成された隕石物質の同位体組成分析によると、短寿命核種の娘核種の過剰が知られている。これは我々の太陽系が、分子雲コアから形成過程のどこかで重力崩壊型超新星爆発（以下、超新星爆発）による短寿命核種の注入を経験したことを示唆している。しかし現在の太陽系が形成されるに至るまでに、それら短寿命核種が「いつ・どの距離の超新星爆発から放出され、どのように太陽系に取り込まれ、どのような輸送を経たのか」についてはいまだ不明な点が多い。

古くから提唱されているシナリオとしては、近傍での超新星爆発が分子雲コアを収縮させ、星形成をトリガーするというものである。一方で、原始太陽系円盤形成後に近傍超新星から短寿命核種が注入されるというシナリオも提案されている。しかし近傍超新星爆発による衝撃波は、円盤に核種を注入せず、むしろ破壊してしまう可能性も考えられる。本研究では、太陽系形成に関わる近傍超新星に焦点を当て、近傍超新星爆発が円盤を破壊せず核種注入イベントとして適切である条件がどのようなものであるか、またそのようなイベントの発生確率がどの程度であるかを検討した。結果として、円盤散逸時間と超新星の発生距離の間に、円盤が破壊されない条件を書くことができた。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P301a ALMA Observations of 1 Ceres

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

ミリ波・サブミリ波での太陽系天体の観測は、彗星、小惑星などの化学組成や表面物性を知る上で有用である。特に ALMA はその高い空間分解能によって地表の物性を詳細に捉えることが可能である。

ALMA を用いた太陽系小天体の研究成果は、これまで 3 Juno や 16 Psyche、Ganymede をはじめとして複数存在しており、今回我々のグループでは 1 Ceres に着目した。ALMA を用いた同天体の先行研究として、アーカイブデータを用いた 256 GHz での平均輝度温度および電波ライトカーブの解析がされている (Li et al., 2020)。ここで使用されたデータは 2015 年および 2017 年に観測されたものであるが、用いられたデータが Ceres 表面を十分に空間分解して議論できる精度を持たなかったため、この研究ではディスク平均での議論に止まっていた。

我々は 2017 年の ASDM (ALMA Science Data Model) データを用いて Ceres の連続波イメージの再作成を行い、9 つのより空間分解能の高いイメージを得ることに成功した。イメージの空間分解能は ~ 0.05 arcseconds であり、 ~ 0.45 arcseconds の視直径を持つ Ceres を十分に空間分解している。今学会ではこの新たに得られた 2017 年のイメージについて報告する。我々は表面の輝度温度分布から、Ceres 表面上の温度ピークの位置が、太陽直下点ではなく午後側 (およそ午後 1-2 時) にドリフトしていることを見出した。この熱分布の偏りをもたらす表層下物性の解明を目指し、固体天体表面の熱物理モデル (Spencer et al., 1989) を用いた解析を試みた。加えて、探査機で得られた詳細な空間データなどと比較しながら、今回のアーカイブデータで得られた物理パラメータの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](#)

P302a 視線速度法を用いた連星ブラックホール探査の提案と検証：Gaia BH1・Gaia BH2 に対する制限

林 利憲 (基礎物理学研究所), 須藤 靖 (東京大学), Alessandro A. Trani (ニールスボーア研究所)

重力波観測による多数の連星ブラックホール合体の検出は、起源となる長周期連星ブラックホールの存在を示唆する。一方で、それらは直接観測が困難であり、現時点で未発見である。そこで過去の研究では、長周期連星ブラックホール - 恒星三体系を考え、恒星の視線速度摂動変動を検出することで、連星ブラックホールを間接的に探査する方法の提案を行った。その際、将来の有力な観測ターゲットの 1 つとして、位置天文観測衛星ガイアで発見を期待される恒星 - 不可視伴星連星を考えた。

最近、ガイアの観測によって、Gaia BH1・Gaia BH2 の 2 つの恒星 - 不可視伴星連星の発見の報告があった。そこで今回は実際に、過去の研究で提案した方法を用いて、これら 2 つの系に対する制限、および期待される摂動変動の推定を行うことを考える。

具体的には、不可視伴星として連星ブラックホールを仮定し、将来の追観測で予想される視線速度の短周期・長周期摂動変動を見積もり、その検出可能性を議論する。また、現在の観測から得られている情報を用いた観測的制限についても、合わせて提示する予定である。

[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](#)

P303a 直接撮像とアストロメトリによる加速する恒星まわりの惑星の検出:HIP99770b

M. Tamura (UTokyo/ABC), T. Currie (Subaru/Texas-San Antonio), G. Mirek Brandt, T. Brandt (UCSB), B. Lacy, Adam Burrows (Princeton), Olivier Guyon (Subaru/ABC), R. Liu (Columbia), S. Sagynbayeva1 (NYSB), Taylor Tobin, J. Chilcote ((Notre Dame)), T. Groff1 (Goddard), C. Marois, W. Thompson (Victoria), S. Murphy (Sydney), M. Kuzuhara (ABC), K. Lawson (Goddard), J. Lozi, V. Deo, S. Vievard, N. Skaf (Subaru), T. Uyama (NAOJ), N. Jovanovic (Caltech), F. Martinache (Cote d'Azur), J. Kasdin (Princeton), T. Kudo (Subaru), M. McElwain1 (Goddard), M. Janson (Stockholm), John Wisniewski (George Mason), K. Hodapp (Hawaii), J. Nishikawa (NAOJ), K. Hehminiak (NCAC), J. Kwon (UTokyo), M. Hayashi (JSPS)

系外惑星の直接撮像は究極の観測方法とも言えるが、技術的な困難もあり、この手法で発見された惑星の数はまだ少ない。また、これまでの系外惑星直接観測はブラインドサーベイであり、その検出効率は低かった。今回、我々はガイアとヒッパルコスから恒星の加速運動を示唆する天体を絞り、すばる望遠鏡の超補償光学系 SCEXAO による高コントラスト・高解像度・高感度観測を行った。その結果、A 型星 HIP 99770 から、わずか 0.4 秒角 (17 au) の位置に伴星を発見した。CHARIS による分光データおよびケック望遠鏡による L バンドデータによるスペクトルや共通固有運動の観測から、確実な伴星であることが確認された。さらに、恒星の加速データに基づく伴星の力学的質量と光度から求めた質量はよく一致しており、13.9–16.1 木星質量と精密に求められた。恒星・伴星質量比は、直接撮像された系外惑星と同程度であり、その大気は HR8799 の 4 惑星の大気と類似している。この方法を展開することにより、系外惑星の直接検出を効率的に進めることが出来ると期待される。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P304a MOA-II 望遠鏡の 9 年間の重力マイクロレンズ探査による地球質量浮遊惑星候補の発見

越本直季、住貴宏 (大阪大学)、他 MOA コラボレーション

浮遊惑星は、主星を持たずに単独で宇宙空間に存在する惑星質量天体であり、その大多数は、恒星周りで形成された後に、他の惑星や伴星との重力相互作用により系外に飛ばされた惑星であると考えられている。浮遊惑星の質量分布や存在量の測定は惑星形成論に重要な制限を与えるが、暗い上に主星を持たないために検出が難しく、その分布はほぼ全くわかっていない。木星質量以上かつ若い浮遊惑星候補は、直接撮像で発見が報告されているが、木星よりも軽い浮遊惑星や年老いた浮遊惑星は、重力マイクロレンズ法でのみ検出可能である。

Microlensing Observations in Astrophysics (MOA) グループは、ニュージーランドにある口径 1.8 m の MOA-II 望遠鏡に視野 2.2 平方度の広視野カメラをマウントし、銀河系バルジ方向の重力マイクロレンズ探査を 2006 年から行なっている。本研究では 2006-2014 年の 9 年間の MOA の画像データ約 260,000 枚を網羅的に解析し、一定のクライテリアで 3,554 個の重力マイクロレンズ現象を同定・選択した。おおよそのイベント継続時間であるアインシュタイン半径通過時間 t_E はレンズ天体の質量の平方根に比例するが、3,554 個のうち、12 個が t_E が 1 日より短い浮遊惑星候補イベントであった。特にそのうちの MOA-9y-5919 は、 $t_E = 0.057 \pm 0.016$ 日と今までで二番目に短い t_E のイベントであり、銀河系の星のモデルを事前分布にしたベイズ推定により、レンズ天体の質量を $0.75^{+1.23}_{-0.46} M_\oplus$ と見積もった。これは、地球質量の浮遊惑星候補としては二例目であり、そのような短時間のイベントを検出できる確率が非常に低いことを考慮すると、地球質量の浮遊惑星が大量に存在することを示唆する。本講演では解析の詳細及び本サンプルの検出効率の見積もりについて述べる。

[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](#)

P305a MOA-II による浮遊惑星の質量関数

住 貴宏、越本 直季 (大阪大学)、MOA collaboration

2006-2014 年の 9 年間の MOA-II によるマイクロレンズ観測のデータを用いて、浮遊惑星または大軌道惑星の地球質量までの質量関数を初めて求めた。最も短いイベントのタイムスケールは $t_E = 0.057 \pm 0.016$ 日でアインシュタイン角半径は $\theta_E = 0.90 \pm 0.14 \mu\text{as}$ だった。惑星によるものと思われる $t_E < 0.5$ 日の短いイベントが 7 つ見つかった。タイムスケールとアインシュタイン角半径の分布を両方用いて、これら惑星質量のレンズ天体の質量関数を冪関数で求めた結果、 $dN_4/d\log M = (2.18^{+0.52}_{-1.40}) \times (M/8 M_\oplus)^{-\alpha_4} \text{dex}^{-1}\text{star}^{-1}$ 、ここで $\alpha_4 = 0.96^{+0.47}_{-0.27}$ ($M/M_\odot < 0.02$) となった。これにより、質量が $0.33 < M/M_\oplus < 6660$ の浮遊惑星もしくは大軌道惑星の数が $f = 21^{+23}_{-13}$ 個/星で、総質量は $m = 80^{+73}_{-47} M_\oplus/\text{星}$ であると見積もられた。これは、主星の周りを回る惑星の数に比べて、木星のような重たい惑星は少なく、地球のような軽い惑星は多いことを示唆する。これは、軽い惑星ほど、より多く惑星系から弾き飛ばされたとすると説明できる。

[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](#)

P306a 可視光近赤外線トランジット観測による太陽系外惑星の天気の研究

平野 佑弥、伊藤 洋一 (兵庫県立大学)

トランジット法とは、惑星が恒星の前を通過する際のわずかな減光を捉え、周期的な明るさの変化により太陽系外惑星を発見する手法である。トランジット法では惑星に大気が存在する場合、分子や原子の吸収により波長によって惑星の半径が異なって観測される。また惑星が晴れた大気を持つ場合、大気分子によるレイリー散乱が起こり短波長側の惑星半径が大きく観測される。一方、惑星大気中に微粒子や雲が存在する場合、可視光領域から近赤外領域まで分子の吸収特徴が隠されてしまい平坦な惑星半径のスペクトルが観測される。そのため可視光領域と近赤外領域を同時に観測することで、惑星の天気を調べることができると考えられる。

本研究では西はりま天文台なゆた望遠鏡に搭載された近赤外撮像装置 NIC と西はりま天文台 60 cm 望遠鏡を用い、太陽系外惑星 Qatar1 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 5 月の期間に行い、可視光と近赤外線の 4 つのバンド (V, J, H, Ks) で 10 回、可視光のみの 1 バンド (V) で 7 回、近赤外線の 3 バンド (J, H, Ks) で 2 回行った。4 バンド全てでトランジットが検出された観測日の中で、2022 年 7 月 6 日と 2023 年 4 月 13 日の半径比は全てのバンドの誤差範囲内で一致し、同様の波長依存性が見られた。一方で 2023 年 3 月 27 日と 2023 年 5 月 10 日では先述の 2 日とは異なる半径比を示した。特に 2023 年 3 月 27 日における V バンドの半径比は約 20% 小さく、近赤外線のすべてのバンドで半径比が大きく観測された。講演では Qatar1 b のトランジット観測から得られた惑星半径の変動について報告し、惑星大気について考察する。

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

P307a 高温星周辺のホットジュピター TOI-1518b の軌道歳差観測

渡辺 紀治, 成田 憲保 (東京大学), 堀 安範 (アストロバイオロジーセンター)

表面温度が 7000K 以上の恒星 (高温星) 周辺を短周期で公転する巨大ガス惑星 (ホットジュピター) は約 20 個発見確認されており、主星自転軸に対して惑星公転軸 (惑星軌道傾斜角) が傾いている傾向である。また、高温星は自転が速い傾向であり偏平しやすい。このような惑星系は、惑星公転軸が主星自転軸を中心に歳差運動する現象、即ち、惑星軌道歳差が生じる。この惑星軌道歳差により、恒星面の前を通る惑星トランジット軌道がずれ、恒星面中心から惑星トランジット軌道の見かけの距離 (インパクトパラメーター) b が変化する。

晩期 A 型星周辺を公転するホットジュピター TOI-1518b は、高温星周辺のホットジュピターの中でも恒星面の端をトランジットする ($b \sim 0.9$) 数少ない惑星系である。中心星の自転速度が早く ($\sim 85\text{km/s}$)、主星自転軸に対してほぼ極軌道 ($\sim 120\text{deg}$) であるため、惑星軌道歳差が起きうる。この惑星軌道歳差により、トランジット軌道がさらに恒星面の端の方に移動し、TOI-1518b のトランジットが十数年後に観測できなくなる可能性がある。

本研究では、宇宙望遠鏡 TESS で 2019 年と 2022 年に取得された TOI-1518b の測光トランジットデータと、高分散分光器 CARMENES で 2020 年に取得した TOI-1518b の分光トランジットデータから、各年の b の値を算出し、TOI-1518b に対する軌道歳差モデルを作成した。その結果、 b の値が $db/dt = -0.01178 \pm 0.00067\text{yr}^{-1}$ の速さで減少し、トランジット軌道が恒星面中心の方向に移動していることを明らかにした。惑星軌道歳差を捉えた惑星系は本研究の TOI-1518b で 4 例目である。本講演では、TOI-1518b の軌道歳差の挙動、及び、軌道歳差モデルから得たパラメーター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](#)

P308a すばる望遠鏡 IRD による T 型褐色矮星の高分散分光観測と高分散スペクトルモデル ExoJAX による大気特性の調査

川島由依 (理化学研究所), 河原創 (宇宙科学研究所), 笠木結 (総合研究大学院大学), 石川裕之 (ウェスタン大学), 増田賢人 (大阪大学), 小谷隆行 (アストロバイオロジーセンター/国立天文台), 工藤智幸 (国立天文台), 平野照幸, 葛原昌幸, Stevanus K. Nugroho, John H. Livingston (アストロバイオロジーセンター/国立天文台), 田村元秀 (東京大学/アストロバイオロジーセンター/国立天文台), IRD チーム

恒星と惑星の中間質量をもつ天体である褐色矮星は、太陽系外の巨大惑星と同様の組成や温度を有している。そのため、比較的観測精度の得やすい褐色矮星の観測を通し、大気の物理・化学過程 (大気循環や大気の化学反応、雲形成など) の理解を確立したり、分子種の検出に重要な役割を果たす吸収線リストの観測的検証を行ったりすることは、系外惑星大気の特徴付けにとっても重要である。

我々は最近、すばる望遠鏡の近赤外高分散分光器 IRD (Y, J, H バンド; $R \sim 70,000$) を用いて、T6.5 型の褐色矮星 Gl 229B (有効温度約 900 K) の高分散スペクトルの観測を行った。得られたスペクトルに対し、我々が最近開発した自動微分可能な高分散スペクトル計算コード ExoJAX (Kawahara, Kawashima et al. 2022) を用いたフィットを行い、温度構造や各分子種の存在量などの大気特性を制約した。加えて、観測されたスペクトルとモデルスペクトルとの比較から、系外惑星大気の観測でも使われている分子の吸収線リストについて、観測と不一致を示す波長領域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](#)

P309b ExoJAX2: 太陽系外惑星大気の勾配ベースリトリバーとそのユースケース

河原創 (宇宙研), 川島由依 (理研), 増田賢人 (大阪大), 石川裕之 (ウェスタン大学), Stevanus Nugroho (ABC), 笠本結 (総研大), 小谷隆行 (ABC/NAOJ/総研大), ExoJAX contributors

2021 年ステイホーム中に開始した e2e/LBL の勾配ベース惑星大気リトリバーコード ExoJAX の開発は、約 2 年半を経過し、現在では実際の高分散データへの適用が進展している (具体的な科学的成果については川島らの講演を参照されたい)。この期間に、その利点、優位性、そして注意すべき点などが明らかになってきた。例えば、当初の設計範囲には含まれていなかった勾配最適化を用いた分子探索が、実際の解析現場ではその有用性を示している。過去の講演では ExoJAX のコアアルゴリズム (自動微分オパシティ/放射伝達、広帯域化アルゴリズム) の紹介が主だったが、今回は ExoJAX を実解析でどのように利用するか、そのインストールから基本的な使用法、デモンストレーション、応用例、そして今後の開発方向性について詳述する。

(注) 勾配ベース: google/JAX を使用しており、自動微分が可能であるため、モデルのパラメータによる微分が可能で、勾配最適化や HMC-NUTS などを用いることができる。e2e=end-to-end: 分子データベースの入力から観測データまで単一パッケージで解析できる特性を持つ。LBL= line-by-line: k 分布等ではなく、Line density ベースの高速かつ省メモリオパシティ計算法を使用している。github リポジトリ: <https://github.com/HajimeKawahara/exojax>

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P310b Gyr スケールの恒星年齢に対するホットジュピターの存在頻度

宮崎翔太 (宇宙科学研究所), 増田賢人 (大阪大学)

ホットジュピターは軌道周期 10 日以下で主星を周回する巨大ガス惑星であり、約 1% の太陽型星に存在する事が分かっている。近年、Gaia 衛星の速度分散の観測から、ホットジュピターは比較的若い主系列星に付随する割合が多い事が指摘されており、この説明として、中心星との潮汐相互作用によって主系列段階 (1-10Gyr) のうちにホットジュピターが潮汐破壊されるというシナリオが提唱されている。一般的に散在星の年齢 (~ 数 Gyr) は観測的に精度良く求めることが難しく、また、年齢の制限は他の恒星物理量 (質量、金属量、etc.) と縮退する場合はほとんどであるため、系外惑星の Gyr スケールの年齢分布を定量的に議論する事がこれまで困難とされていた。

今回、我々は階層ベイズモデリングを用いて、惑星・恒星物理量の依存性を考慮した惑星存在頻度を推定する新たな枠組みを開発した。本枠組みでは、観測データから得られる惑星・恒星物理量の不定性を適切かつ同時に考慮する事ができるため、年齢に対する惑星存在頻度の定量的評価が可能になる。枠組みを適用するにあたり、California Legacy Survey (CLS; Rosenthal et al. 2021) で系統的に視線速度惑星サーベイ観測がなされた 382 個の太陽型星に対して、分光パラメータ ($[\text{Fe}/\text{H}]$, T_{eff})、Gaia パララックス、2MASS K_s 等級を用いた恒星進化モデリングを行い、それぞれの星の恒星物理量分布を得た。これとサーベイで検出された惑星の物理量分布を枠組みに適用し、惑星存在頻度を (惑星質量・軌道周期、恒星金属量・質量・年齢) の関数で推定した。その結果、ホットジュピターは冷たい巨大ガス惑星に比べて、選択的に若い星に多く付随することがわかった。本講演・ポスターでは、本研究内容と結果についての定量的な議論を詳述する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P311b 浮遊惑星における生命の存在可能性について

伊藤洋一 (兵庫県立大学)

木星の 13 倍以下の質量を持ち、恒星の周りを公転していない天体は、一般に浮遊惑星と呼ばれる。今から 20 年以上前に、分子雲に付随する超低光度天体として初めて発見された (Oasa et al. 1999)。惑星質量天体とも呼ばれるこの天体は、中心部で核融合をおこさず、孤立して存在するために、非常に冷たい天体と考えられている。

ところで太陽系の木星では、太陽から受ける放射と同等かそれ以上のエネルギーが自己の重力収縮により発生している。そこで、浮遊惑星でも重力収縮によるエネルギーを考え、表面温度を見積もった。その結果、木星の 4 倍以上の質量を持つ浮遊惑星では、誕生から 46 億年後でも表面温度が 273K 以上になる可能性があることがわかった。また、若い天体では質量が軽くても表面温度が高い場合がある。こうした天体の表面には水が液体として存在する可能性もあり、新たな「ハビタブル惑星」と言えるかもしれない。講演では水の他に硫化水素が液体として存在しうる惑星の条件なども提示したい。

[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](#)

P312b 水素・ヘリウム・水蒸気大気を持つ系外岩石惑星の進化：大気散逸と脱ガスの影響

小林一生 (東京工業大学), 黒川宏之 (東京大学), 奥住聡 (東京工業大学)

トランジット観測によって、地球と海王星の間の質量を持つ軌道周期の短い、惑星半径が 1.5 地球半径以上の低密度低質量惑星 (LMLD 惑星) が多数確認されている。これらの惑星は、初期に水素・ヘリウム主体の原始惑星系円盤ガスを取り込み、大気として保持していると考えられてきた (一次大気; Fulton et al. 2017)。さらに短周期 LMLD 惑星の大気は、水素とヘリウムの拡散分離による選択的な水素散逸を経て、ヘリウムが支配的となる可能性が示唆されていた (Hu et al. 2018)。しかし、最近の研究では強い主星の放射に晒されている短周期 LMLD 惑星から、散逸するヘリウムが検出されなかった (Kasper et al. 2020)。この観測結果は、短周期 LMLD 惑星大気の円盤ガス起源説と相反する。

そこで本研究では、惑星内部に選択的に溶解する円盤ガス由来の水素が、短周期 LMLD 惑星の大気を補充する可能性を探った。1 次元内部構造モデルを用いて、恒星からの XUV 照射によって引き起こされる大気散逸と惑星内部からの脱ガスの影響を考慮した、惑星の進化計算を行った。さらにマグマオーシャン中の酸化鉄と水素の反応による水の生成も考慮した。

本講演ではまず、水素とヘリウムのみを考慮した場合のモデル計算結果を紹介する。計算の結果、短周期 LMLD 惑星の大気は、始原的大気から大気散逸過程を経て脱ガス水素主体の二次大気に変化することがわかった。さらに、水を含んだモデル計算に基づいた惑星大気進化の計算結果を紹介し、惑星から散逸するヘリウムの観測結果と本研究の計算結果を比較して議論を行う。

[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](#)

P313b 遠いカイパーベルトの軌道構造の究明:未知の惑星の存在？

パトリック ソフィア リカフィカ (近畿大学)

Do the orbits of trans-Neptunian objects (TNOs) in the distant Kuiper Belt ($\gtrsim 50$ au) indicate the existence of a new planet in the solar system? Three essential properties in the distant Kuiper Belt should be explained consistently: 1) A large population of TNOs with orbits too distant from Neptune's gravitational influence (with perihelia $q \gtrsim 40$ au; 2) The existence of extreme TNOs possessing peculiar orbits (e.g., Sedna); 3) TNOs with very high orbital inclinations ($i \gtrsim 45$ deg). Notably, these properties are difficult to explain in the current solar system. We performed N-body computer simulations of the outer solar system to investigate the effects of an undiscovered planet on the orbital structure beyond Neptune. We found that any resident planet should have at least 1 Earth mass and be located beyond ~ 200 au to explain properties 1 and 2, and more massive and/or inclined planets ($i \gtrsim 30$ deg) are needed to explain property 3. We also confirmed that such planets could preserve the primordial resonant populations in the Kuiper Belt. This scenario also presents observationally testable predictions for new populations of TNOs that would exist due to the gravitational perturbations by this putative planet. These results will guide future astronomical surveys searching for undiscovered planets beyond Neptune.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P314a 木星・土星のカオス励起による地球型惑星と小惑星帯の形成：太陽系内部の包括的な力学モデル

パトリック ソフィア リカフィカ (近畿大学), 伊藤孝士 (国立天文台)

The terrestrial planets formed by accretion of small bodies within the inner solar system's protoplanetary disk. Previous works studying this process with numerical simulations have found that forming a small-mass Mars requires the disk to contain little or no mass beyond ~ 1.5 au. Several scenarios may produce such a narrow disk. However, the simultaneous replication of the four terrestrial planets' orbits/masses, the asteroid belt's main properties, and other inner solar system constraints remains elusive. Here, our extensive simulations revealed that chaotic excitation of disk objects generated by a near-resonant configuration of Jupiter-Saturn could create a narrow disk, allowing the formation of the terrestrial planets and the asteroid belt. This mechanism could typically deplete a massive disk beyond ~ 1.5 au within 10 Myr. After 100 Myr timescales, the resulting terrestrial systems reproduced the current orbits and masses of Venus, Earth and Mars. Considering an inner region disk component also boosted the formation of Mercury in those systems. Thus, several of our terrestrial systems simultaneously formed analogs of the four terrestrial planets. In addition, these systems often satisfied additional constraints: Moon-forming giant impacts occurring within 60 Myr, terrestrial planets' bombardment of late impactors represented by disk objects formed within 2 au, and bulk water acquired during the first 10 – 20 Myr of Earth's formation. Finally, our model asteroid belt explained the asteroid belt's orbital structure, small mass and taxonomy (S-, C- and D/P-types).

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P315a 衝突破壊プロセスとペブル集積を考慮した標準降着円盤からの検討に基づく惑星形成 N 体シミュレーション

神野天里 (神戸大学), 斎藤貴之 (神戸大学), 石城陽太 (国立天文台), 牧野淳一郎 (神戸大学)

従来の N 体シミュレーションを用いた惑星形成研究では、衝突した微惑星や惑星胚は破碎されず合体すると仮定されてきた。この完全合体の仮定を用いることで、惑星の成長と共に粒子数が増加しないことが保証されるため、計算コストを抑えることができる。しかし、近年、Chambers 2013 を始めとした衝突破壊を考慮した N 体シミュレーションを用いた惑星形成研究が行われ始めている。それらの研究では、衝突破壊を考慮することで衝突破片の掃き集めが長引き、地球型惑星が形成されるまでの時間が長くなる可能性が指摘されている。また、衝突破片は力学的摩擦によって微惑星や惑星胚の速度分散を引き下げること、惑星形成プロセスに大きな影響を及ぼす。

そこで本研究では、2023 年春季年会で議論した動径方向に不連続構造を持つ原始惑星系円盤内での惑星形成 N 体シミュレーションに衝突破壊モデルを新たに取り入れることで、不連続境界への継続的なペブル供給に加え、微惑星の衝突破壊が惑星形成過程に及ぼす影響を調べた。結果、衝突破壊の有無に関わらず、不連続境界近傍で惑星形成は非常に効率的であることがわかった。また、境界近傍ではペブル集積終了後、10 万年程度で暴走成長により複数個の惑星サイズの天体が形成された。しかし、Chambers 2013 と同様に衝突破壊を考慮すると、やはり完全合体を仮定した場合と比較して惑星形成速度が抑制される傾向が得られた。

[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](#)

P316a 小天体衝突が形成する衝撃波圧力分布とその解析的取り扱い

宮山隆志, 小林浩 (名古屋大学)

惑星形成後期段階における地球は、後期重爆撃期と呼ばれる激しい天体衝突が起きていたことが月面のクレータ解析により分かっている。小天体は衝撃波を引き起こすほどの高速度で飛来する。それによりクレータ形成や、衝突放出、蒸発・溶融といった様々な表層環境の変化を引き起こす。そして、これらの現象は衝撃波によって引き起こされた圧力分布によって決定づけられる。そのため天体衝突が形成する、衝撃波圧力分布は惑星表層環境形成に非常に重要な役割を担うと考えられる。また、典型的な衝突速度は実験的な扱いが難しいほどの高速度であるため、衝撃波による圧力分布は主に衝突シミュレーションにより調べられ、その圧力分布は想定する衝突天体の組成や、それを取り扱う状態方程式に強く依存することが分かっている (e.g., O' Keefe & Ahrens 1982; Kraus et al., 2011)。さらに、固体天体を表現する状態方程式は複雑に表されているため (e.g., Tillotson 1962; Thompson & Lauson 1972)、解析的な取り扱いが非常に難しく、物理的な理解が得られていない。そこで本研究ではまず、惑星衝突分野で広く用いられている 2 種類の状態方程式を用いて、衝突シミュレーションをおこなった。それにより、衝撃波圧力分布は衝撃波が一次的に広がる isobaric core と呼ばれる等圧領域と三次元的に広がり、減衰する領域により構成されていることが確認できた。このうち衝撃波が一次的に取り扱える領域については解析解が与えられているが、三次元的に減衰する領域は、固体状態方程式の複雑さから、理論的な理解が得られていなかった。しかし本研究では、固体における各熱力学量の特徴に着目し、衝突速度方向の衝撃波の伝搬に対して解析解を与えることに成功した。それにより、固体天体衝突が引き起こす蒸発・溶融量を解析的に見積もることができるようになった。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P317a 分化小天体の衝突による岩石マントル消失効率

黒崎健二, 荒川政彦 (神戸大学)

小天体における衝突現象は、様々な種類の隕石を生み出すデブリを考える上で重要である。生成したデブリや年々自己重力によって再集積することでラブルパイル天体を形成すると考えられている。その中でも、Vesta のような分化した小天体への破壊的な衝突によって生じた破片からは岩石マントル成分と鉄成分が分化している可能性があり、鉄隕石を生成する。その鉄隕石が自己重力によって再集積することで、鉄成分を多く含むラブルパイル天体である M 型小惑星 (Psyche など) の起源となりうる。鉄隕石の起源は、水星のような鉄コアの比率が大きい惑星の形成起源を考える上で重要な天体となる。しかし、分化天体の岩石層の消失や鉄コアの放出がどのような衝突条件下で起こるかはまだよくわかっていない。本研究では、分化小天体への衝突現象を SPH シミュレーションを行い、岩石と鉄材の脱出質量を決定し、衝突破壊エネルギーを調べた。その結果、総脱出量は分化小天体の破壊エネルギーで規格化した衝突エネルギーで表すことができることがわかった。また、消失する岩石や鉄コアは分化小天体の岩石層の破壊エネルギーで規格化して表すこともわかった。岩石層が鉄の流出を妨げるため、衝突エネルギーが岩石層の破壊エネルギーでないと鉄コアの流出が開始されない。このことから、分化小天体の岩石層が衝突によって剥ぎ取られることで、鉄成分の質量比が増大する可能性があることがわかった。

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

Q01a 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

宇田川賢, 岡朋治, 横塚弘樹 (慶應義塾大学)

野辺山宇宙電波観測所 45m 電波望遠鏡を使用した CO 銀河面サーベイ (FUGIN) データ内において、空間的に小さく速度幅が有意に広い「広速度幅分子ガス成分 (BVF)」が 58 個発見された (横塚他、日本天文学会 2020 年春季年会 Q22a)。これら BVF のうち 57 個には赤外線対応天体が明確に付随することから、それらは原始星からの双極分子流が起源と解釈された。只一つ他波長天体が確認されない BVF CO 16.134–0.553 については、その後の追観測および中性水素 (HI) 21 cm データの精査から、それが直径約 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」があることが分かった。以上の結果に基づいて私たちは、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 (CO 16.134–0.553)/HI フィラメントが順次形成されたとする仮説を提唱している。

上記の「暗黒物質サブハロー突入シナリオ」を検証する目的で、上記天体群を含む領域 ($+13^{\circ}0 \leq l \leq +20^{\circ}0$, $-8^{\circ}0 \leq b \leq +5^{\circ}0$) について Gaia 衛星で取得された恒星の位置+固有運動データ (Gaia DR2) を詳細に解析した。その結果、CO 16.134–0.553 の運動学的距離 (約 4 kpc) 近傍において、HI フィラメント根元に対応する位置に、銀緯方向の平均速度が周囲より $-30 \sim -20 \text{ km s}^{-1}$ ほど異なる長さ約 120 pc の細長い領域 (Gaia 16.0–0.25) を発見した。これは HI フィラメント根元にある恒星の集団が、平均速度 $20 \sim 30 \text{ km s}^{-1}$ で銀河系円盤から遠ざかっていることを意味している。この結果は、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り、銀河の円盤/ハロー間相互作用の一端を垣間見た重要な結果と考えられる。

[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](#)

Q02a Line ratio map of [Ne V] fine-structure lines toward a colliding wind binary WR140

Ryodai Yamaguchi, Hideo Matsuhara (Tokyo Institute of Technology/ISAS), Ryan M. Lau (NOIR lab), Takashi Onaka (University of Tokyo), Christopher M. P. Russell (University of Delaware), WR DustERS Team

Dust plays a major role in the life cycle of stars and planets. Massive colliding wind Wolf-Rayet binaries are potentially important dust sources throughout cosmic time. However, the formation and survival of dust in such a system are not well certificated. We present an observation of a Wolf-Rayet binary WR140 with the James Webb Space Telescope (JWST) Mid-Infrared Instrument (MIRI) Medium-Resolution Spectrometer under the early release science program DustERS (PI: Lau, R.M.) to investigate the system with its unprecedented sensitivity and spatial resolution in mid-IR with a velocity resolution of around 150 km s^{-1} .

In this study, we present a line ratio map of [Ne V] fine-structure lines around WR140. WR140 is an ideal target for our investigation with its dust formation episodes around periastron passage every of its well-defined orbital period of 7.93 years. We draw a map at velocity bins spread from -2000 to $+1000 \text{ km s}^{-1}$ by comparing two [Ne V] fine structure lines $14.3 \mu\text{m}$ and $24.3 \mu\text{m}$ with critical densities around a few $\times 10^5 \text{ cm}^{-3}$ observed around the star. We found the enhanced line ratio in a region where a newly formed dust arc is located (Lau, R.M. et al 2022) for the first time, which indicates the higher electron density in the colliding winds.

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

Q03a 高速で移動する強重力源と星間媒質の相互作用：BH の新しい観測方法の提案

北郁奈、犬塚修一郎（名古屋大学）

ブラックホール (BH) とは重力が非常に強いために光を含むあらゆるものが脱出することができない、非常にコンパクトな天体によって生じる時空の領域のことである。そのため、その観測は非常に困難である。現在までには、種々の銀河の中心領域に存在している超大質量 BH ($\sim 10^6 M_\odot$ 以上) と LIGO/VIRGO 重力波観測や X 線観測で恒星質量 BH ($\sim 10^2 M_\odot$) の存在が知られている。しかし、その中間の質量を持つ中間質量 BH ($\sim 10^4 M_\odot$) は存在が予想されているにもかかわらず、明確な検出はまだ無い。そのため、銀河形成の鍵を握ると考えられる超大質量 BH の起源は未だに活発に議論されている。また、重力波観測で発見された恒星質量 BH も新たな問題を提起している。50 – 150 $M_\odot$ 程度の BH は、通常、対生成不安定型超新星によって形成が妨げられると考えられている。対生成不安定型超新星は、非常に重い星が電子-陽電子対を形成するほど高密度に到達し、星の内部の圧力が急激に低下したときに生じる超新星である。これは崩壊と爆発につながり、星を消滅させ、BH の残骸を残さないと考えられている。しかし LIGO/VIRGO 重力波観測では 50 $M_\odot$ を超える BH が発見されている。この BH が超新星爆発によって直接形成されたものなのか、合体成長によって形成されたものなのかを判断するためには、さらに多くの BH を観測し、正確な BH の質量分布を知る必要がある。本研究では新たな BH の観測法を開発するため、星間ガスを移動する BH の影響をシミュレーションし、その特徴を解析した。その結果特徴的な空間構造が現れることを発見した。本講演ではその結果を紹介し、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](#)

Q04a ALMA 較正用天体に対する分子吸収線探査 IV: QSO J1851+0035 方向の銀河系内分子ガスの輝線比を用いた物理状態診断

成田佳奈香、吉村勇紀、河野孝太郎（東京大学）、阪本成一（国立天文台/東京大学）

ALMA の較正用天体の吸収線観測データや野辺山 45m 鏡の輝線観測のアーカイブデータを用いて銀河面の背後にある QSO J1851+0035 ($l=33.50^\circ$, $b=+0.19^\circ$) 方向の分子ガスの詳細構造、運動、化学組成を探っている。これまでに、 HCO^+ 吸収線で見えつつ CO 吸収線で見えないガスがあること、かつ 45m 鏡のビームでは CO 輝線が検出されることから、CO の欠乏した希薄な分子ガス (CO-poor ガス) の中に微小な CO の分子塊が浮いているモデルを提唱した (成田他、2023 年春季年会)。そのようなガスがどういう環境下にあるのかを探るためには、通常の輝線強度比を用いた物理状態の診断も重要であり、そこから励起温度の上限値を求めることもできる。

そこで野辺山 45m 鏡の FOREST 受信機で HCO^+ 、HCN、HNC、 C_2H の輝線データを取得し、既存の CO の輝線データと比較した。QSO 方向では上記の 4 分子種でいずれも有意な輝線を検出できなかったばかりか、柱密度の高い速度成分に対して吸収線を検出し、励起温度が極めて低い (~ 2.8 K) ことを確認した。また QSO 方向を外したビームを用いて HCO^+/CO と HNC/CO の輝線強度比を求めたところ、1 例を除き最も柱密度の大きな速度成分 ($N(\text{H}_2) \sim 4 \times 10^{21} \text{ cm}^{-2}$) でも 1σ 上限値は ~ 0.01 で、密度は高くない ($< 10^3 \text{ cm}^{-3}$) ことが分かった。

唯一強い HCO^+ 、HCN、HNC の輝線が検出されたのは吸収線観測で発見された CO-poor ガスに対応する速度成分の一つで、QSO 方向から $70''$ (距離 5 kpc で 1.7 pc) 離れた領域では $\text{HCO}^+/\text{CO} > 6$ 、 $^{12}\text{CO}/^{13}\text{CO} \sim 60$ 、 $\text{HCN}/\text{HNC} \sim 1$ という値を示した。高い $^{12}\text{CO}/^{13}\text{CO}$ 比と高い HCO^+/CO 比は CO-poor を示唆し、HCN/HNC 比から低温 (10 K) と思われる。CO 吸収で見出された暖かく希薄な CO-poor ガスとの関連は講演で述べる。

[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](#)

Q05a CO・C I 観測で探るオリオン星雲における星間物質の密度・温度構造

立原研悟, 山田麟, 福井康雄 (名古屋大学), 佐野栄俊 (岐阜大学), 石井峻, 鎌さき剛, 南谷哲宏 (NAOJ), 浅山信一郎 (SKAO)

星間物質はガスとダストの混合物であり、中性ガスは原子と分子からなるが、それらの密度や温度分布については未解明な点が多い。また星間物質は一般に、紫外線と宇宙線によって加熱され、放射で冷却されるが、高密度領域では紫外線はダストによって遮蔽されるため、温度分布は密度や紫外線輻射場によって、大きく変化すると予想される。サブミリ波帯での中性炭素原子 [C I] 輝線の観測では、高密度領域において 0.1 pc 以下のスケールで原子ガスの物理状態を調べることが可能である。今回、ASTE 望遠鏡に搭載された Band 10 受信機で得られた [C I] $^3P_2-^3P_1$ 輝線のオリオン星雲のデモサイエンスデータを用い、Shimajiri et al. (2013) の $^3P_1-^3P_0$ 輝線と合わせて中性炭素原子ガスの励起温度と柱密度の分布を調べた。またこれらを野辺山 45m 望遠鏡の ^{12}CO , ^{13}CO 観測による分子ガス、Herschel 宇宙望遠鏡の Gould Belt Surve で得られたダストの結果と比較した。

CO と [C I] とダスト放射の分布は、おおむね良い一致を示した。これらの柱密度を詳しく調べると、CO より [C I] の方が、ダスト放射から求めた柱密度と良く相関していた。これは特に柱密度の小さな領域で、CO の存在量がより大きく変化することを示唆している。これに対し CO, [C I], ダストの温度分布はそれぞれ大きく異なっていた。[C I] の励起温度はトラペジウム星団付近などでは 200 K 以上まで上昇していた。一方 CO 分子の励起温度は、Orion KL 付近と Bright bar で最も高く、100 K 程度まで顕著な上昇が見られた。これに対しダスト温度の範囲は 15-50 K 程度と変化が最も少なかった。このような異なる温度分布の理由は未解明であるが、紫外線放射に加え衝撃波加熱などが働いていることや、微細な密度構造、異なる冷却機構などの効果が考えられる。

[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](#)

Q06a かなた望遠鏡可視偏光サーベイ：高銀緯分子雲 MBM 37 領域の磁場構造

堀 友哉, 川端 弘治, 中岡 竜也, 今澤 遼, 中村 謙吾 (広島大学), 土井 靖生 (東京大学), 秋田谷 洋 (千葉工業大学), 松村 雅文 (香川大学), 笹田 真人 (東京工業大学)

星間ガスの一部は電離しており、ローレンツ力で運動が星間磁場方向に制限されることから、銀河磁場は銀河系の物質循環・進化に重要な役割を果たすと考えられている。しかし、銀河磁場の構造はまだよく判っていない。磁場構造を知る方法として、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が挙げられる。最近では Gaia カタログから各背景星の距離が得られることから、距離分解した磁場構造の導出も期待されている。我々は全天偏光サーベイプロジェクト SGMAP の初期観測として広島大学かなた 1.5m 望遠鏡と可視赤外線同時カメラ HONIR を用いて、磁場構造に特徴ある領域の偏光サーベイを進めている (2023 年春季年会 Q32a, 2022 年秋季年会 V219a)。

観測対象は高密度の星無しコア LDN 183 を伴う高銀緯星間雲 MBM 37 である。このコアは、SCUBA による遠赤外線偏光により、星間雲を貫くフィールド磁場とほぼ直交する向きの磁場を有することが先行研究により明らかとなっている。我々は、MBM 37 の中心付近でまだ可視偏光観測の報告がない領域の 5 視野 (1 視野は 9.3×9.0 分角) について観測を実施した。得られた可視偏光ベクトルマップは、5 視野を通し概ね揃っており、その向きは先行研究による周辺の偏光マップとコンシステントであった。各サンプル星の R バンドの偏光度は $p=1-4\%$ ほどあるが、あかり衛星によるダストマップ (τ) とははっきりとした相関はみられておらず、磁場の向きが完全には一様ではないことが示唆される。講演では、H バンドの偏光の解析結果も含め、今回の観測から判った MBM 37 の特徴について詳しく述べる。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Q07a 高密度ガストレーサーを用いた分子雲高密度領域の N-PDF(柱密度頻度分布関数) の特徴

柴田 洋佑, 半田 利弘, 松坂 怜 (鹿児島大学), 村瀬 建 (岐阜大学)

分子雲の密度構造の特徴を調べる方法として、近年、N-PDF(柱密度頻度分布関数) が注目されている。密度構造が乱流などランダムな過程で作られている場合、その形状は対数正規分布 (Log-normal=LN) になるとされ、重力収縮など不可逆的な過程が卓越してくると高密度側にべき乗 (Power-law=PL) の裾を引くとされている (e.g. Kainulainen+2009)。一方、CO など低密度分子ガストレーサーを用いた研究では、複数の LN の組み合わせだけで N-PDF がよく説明出来ることがわかってきた (e.g. Murase+2023)。では、自己重力の影響がより強いと予想される、高密度ガストレーサー (NH_3 , N_2H^+ , C^{18}O) ではどうなるのだろうか？そこで、これらを用いた N-PDF を調査した。本研究では、GBT(NH_3 : Friesen+2016)、NRO45m(N_2H^+ , C^{18}O : Nakamura+2019) で観測された Aquila Lift のデータを使用した。観測空間分解能 0.1pc 程度で分子雲 1 個の N-PDF を作成した。その結果、全ての N-PDF が LN 分布を示すことが分かった。一方、ダスト連続波による N-PDF は同じ雲に対して、PL の存在が報告されている (Schneider+2022)。この食い違いを調べるために、分子輝線が十分に強く検出された領域でダスト連続波から N-PDF を描くと、高密度側にも LN 分布があることが分かった。これは、ダスト連続波で捉えた“雲”が複数の密度構造の複合体であったことを示唆する。1つの分子雲内に複数の進化段階が併存すると、複合した成分が見かけ上の PL を生じるとする予想 (Ward+2014) もあり、これに呼応する結果であると考えられる。一方、自己重力優勢な領域は 0.1pc スケールで顕著になる (Khullar+2021) とされるが、N-PDF に反映されるためには、空間分解能 0.005pc 程度の観測が必要になる。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Q08a 銀河面に降り注ぐ中間速度中性水素雲 (2)

早川貴敬, 福井康雄, 立原研悟 (名古屋大学), 米田龍生, 大西利和 (大阪公立大学), 藤田真司 (東京大学), 西村淳 (国立天文台)

中間速度雲 (Intermediate Velocity Clouds; IVCs) は、視線速度がおおよそ 30 から 100 km s^{-1} で、銀河回転モデルで説明できないガスの総称である。IVArch/Spur、Low Latitude IV Arch、Pegasus-Pisces (PP) Arch などの顕著な天体は 20 年以上前に同定されており (Kuntz & Danly 1996, Wakker 2001)、銀河面から $\sim 1 \text{ kpc}$ 離れたディスク-ハロー境界に存在し落下する (負の視線速度を持つ) ガスと考えられている。

我々は、IVC を新たに同定しカタログ化することを目標として、21cm 線スペクトルの全天データ (HI4PI Collaboration 2016) の解析を行っている。FILFINDER (Koch & Rosolowsky 2015) を用いた試験的な解析で、LSR 速度 -60 から -20 km s^{-1} の範囲に 122 個の IVC フィラメントを同定した (米田、早川他 2023 年春季年会)。本講演では、その中から見出された、銀河面に対して垂直な成分が卓越した (すなわち、銀経線方向に伸びた) IVC の詳細を報告する。

IVC75-30, IVC76-42, IVC77-51 は天球上で直列し、ほぼ同じ視線速度 (first-moment $V_{\text{LSR}} \sim -55 \text{ km s}^{-1}$) を持った一連のストリームである。位置-速度図上で bridge 構造を示しており、低速度ガスと相互作用していると考えられる。また、速度情報を持った $\text{H}\alpha$ 線観測 (WHAM Sky Survey, Haffner et al. 2003) でも、これらの IVC と空間的速度的に一致するストリームが検出されており、衝突電離に因るものと考えれば、 H I の観測と矛盾が無い。

[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](#)

Q09a Precise measurement of line intensities and frequencies of CH₃OH in the ALMA Band 7 by using emission-type millimeter and submillimeter-wave spectrometer SUMIRE

Takahiro Oyama (RIKEN), Takeshi Sakai (UEC), Yoshimasa Watanabe (SIT/RIKEN), Akemi Tamanai (RIKEN), Riouhei Nakatani (JPL/RIKEN), Nami Sakai (RIKEN)

Thanks to the recent development of the radio observation technique, the spectral lines of various interstellar molecules can be observed with high sensitivity. As a result, since a huge number of molecular lines are detected including unidentified lines, it makes the astronomical analysis more complex. Those lines are considered to be due to minor isotopologues and/or low-lying vibrational states of major interstellar molecules such as methanol (CH₃OH). However, the laboratory-based spectroscopic measurements and theoretical estimations of the intensities as well as frequencies are insufficient for those molecules. To solve the issue, it is crucial to carry out highly accurate measurements of the line intensities and frequencies for those molecules in laboratory. In this study, the line frequency and intensities of CH₃OH have been determined in the ALMA Band 7 from 294 GHz to 364 GHz by newly installed receiver on the SUMIRE (Spectrometer Using superconductor MIXer REceiver: Watanabe et al. 2021, PASJ, 73, 372). As reported in the previous measurement in ALMA Band 6, there is a discrepancy between the measured and calculated frequencies as J increased.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Q10b 柱密度確率頻度分布関数を用いた分子雲の乱流構造解析

村瀬建 (岐阜大学), 半田利弘, 松坂怜, 西潤弥, 竹葉理史, 柴田洋佑 (鹿児島大学), 島尻芳人 (九州共立大学), 小林将人 (ケルン大学, 国立天文台), 河野樹人 (名古屋市科学館)

分子雲はどのような物理過程で支配され、多様な密度構造はどのようにして形成されるかを明らかにすることは、星形成過程の初段階を理解する上で本質的である。分子雲の物理的特性を研究する手法として柱密度確率密度分布 (Column density probability distribution function: N-PDF) が有効であり、これまでの観測的研究から、分子雲の密度構造は低密度範囲の対数正規分布と高密度範囲でのべき乗則分布の2つの成分で構成されると報告されてきた。対数正規分布に従う柱密度構造は乱流、べき乗則分布は自己重力が支配的な領域から生じると考えられている。しかし、対数正規分布とべき乗則分布を組み合わせたモデルは、分布関数が切り替わる密度の定量評価が難しいことや、2つの関数が重なり合う密度範囲で優先的にべき乗則分布が選択されていることなど物理学的に不自然な点がある。これらは N-PDF を用いた分子雲の物理過程の研究を困難にしていた。そこで、複数の対数正規分布の組み合わせに着目した分子雲の柱密度構造研究の結果を報告する。我々は、野辺山 45 m 電波望遠鏡で取得されたはくちょう座 X 領域の分子輝線マッピングデータに対して、DENDROGRAM と SCIMES を用いた構造解析を実施し、抽出した分子雲に対して N-PDF を用いた解析を行なった。その結果、解析対象となった全ての分子雲において、最大2つの対数正規分布の組み合わせだけで N-PDF をよく再現できることがわかった。また、N-PDF が示す柱密度構造の特徴と分子雲内部の星形成活動の間には相関がないことが示された。これらの結果から、分子雲は複数の乱流構造から構成され、N-PDF は星形成活動の規模ではなく分子雲の大局的な密度構造と乱流構造の関係を反映していると考えられる。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Q11b ALMA ACA による小マゼラン雲超広域 CO 探査 (4):N83/N84/N86 領域 ^{12}CO , ^{13}CO ($J=2-1$) 輝線データ解析

松本健, 小西亜侑, 北野尚弥, 國年悠里, 村岡和幸, 大西利和 (大阪公立大学), 徳田一起 (九州大学/国立天文台), 大野峻宏, 立原研悟, 福井康雄 (名古屋大学), 柘植紀節 (東京大学), 佐野栄俊 (岐阜大学), 河村晶子 (国立天文台), 福島肇 (筑波大学), 竹腰達哉 (北見工業大学), 小林将人 (国立天文台)

小マゼラン雲 (SMC) は太陽系近傍に対して約 1/5 程度の低い金属量であり、距離 ~ 62 kpc であることから、低金属環境下における分子雲、星形成過程を紐解く重要な実験場である。我々はこれまで、ALMA-ACA による高分解能 (2 pc) 観測で得られた小マゼラン雲広域の ^{12}CO ($J=2-1$) 輝線データの解析をすすめてきた。2022 年秋季年会 (松本ほか) では、SMC 南東部に位置する N83/N84/N86 H II 領域に付随する分子雲複合体領域 (以下、N83 領域) のアーカイブデータ (2018.1.01319.S) から、SMC 北部領域 (Tokuda+2021; Ohno+2023) でも確認された同様な分子雲の性質 (半径-速度分散関係、質量関数) を示しつつ、分子雲が小さい領域に局在している様子などを明らかにした。SMC では ^{12}CO においても H_2 個数密度が 10^4 cm^{-3} 程度のガスをトレースすることが示唆されており、銀河系等ではよく研究されている輝線においてもその役割を確かめる研究が依然として重要である。我々はさらに、N83 領域で ^{12}CO と同時取得されていた ^{13}CO ($J=2-1$) 輝線の解析を進めた。階層構造解析アルゴリズム Dendrogram (Rosolowsky+2008) により、45 個の ^{13}CO 分子雲構造を同定した。半径-速度分散関係を調べた結果、 ^{12}CO 輝線が示す関係と概ね同じであり、これは銀河系でよく知られている関係よりも 2 倍程度線幅が低い傾向にある。 ^{13}CO 分子雲の質量関数 (dN/dM) の冪指数は -2 程度であり、 ^{12}CO 分子雲に比べてやや急峻であった。また、 ^{13}CO や大質量原始星の付随の有無によって ^{12}CO 分子雲の物理量の違いにも変化が見られた。

[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](#)

Q12b 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

前田郁弥, 江草実実 (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効率 (SFE) は構造に依存し、特に bar では低く、bar-end では高い傾向にある。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。その 1 つとして、分子雲衝突の性質が銀河の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のメカニズムの一つとして注目されているが、最近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、構造と分子雲衝突、星形成の関係を調べた。NGC3627 は距離が 11 Mpc と近く、ガス面密度が非常に高く、ALMA による観測が容易な銀河である。また、bar の SFE は bar-end に比べて 1 桁近く低い。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。星形成活動の指標としては、MUSE の H α データを利用した。解析の結果、bar と bar-end では衝突頻度が高く、分子雲衝突によって星形成が誘発される可能性が高いことが示唆された。さらに、bar の分子雲は bar-end に比べて面密度が小さく、衝突速度は大きいことがわかった。この結果は定性的には上述の理論予想と矛盾無い。本ポスター講演では、解析の詳細を示しつつ、今後の ALMA を用いた追観測計画について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](#)

Q13a 銀河系中心の特異な分子雲を繋ぐフィラメント構造の発見

坪井昌人 (明星大学), 宮脇亮介 (桜美林大学), 堤貴弘 (米国立電波天文台), 三好真 (国立天文台)

銀河系中心 SgrA の周辺は分子雲に満ちている。有名な 50 km s^{-1} 分子雲、 20 km s^{-1} 分子雲が SgrA の東西両側に位置し、ほとんどが正の視線速度を持っている。一方負の速度の分子雲はかなりまばらであるが、ALMA の観測により特異な特徴を持った分子雲があることがわかっている。その中の 1 つに M-0.009-0.044 がある。内部のガス運動から中間質量ブラックホールの存在が示唆された (Takekawa+ 2019)。また -80 km s^{-1} 分子雲も衝撃波を示す SiO 輝線で目立つ (Tsuboi+ 2017)。しかし、これらの存在する環境との関係は十分に研究されていなかった。今回は ALMA の観測データ (2012.1.00080.S.) を使い多種分子線の撮像解析を行い以下のことがわかった。

a) この 2 つの分子雲は CS 輝線等で見えるジグザグに屈曲し銀緯方向に伸びた 1 本の分子雲フィラメントの屈曲点に夫々位置することがわかった。また -80 km s^{-1} 分子雲ではこのフィラメントに交差し衝突している別のフィラメントも確認できた。

b) この 2 つの分子雲は 86 GHz 連続波で検出できた。

c) 水素再結合線の検出は電離源である大質量星または何らかのエキゾチックな天体の存在を示唆するが今回の解析では $V_{\text{LSR}} \pm 150 \text{ km s}^{-1}$ の範囲で H42 α 輝線を両者とも検出できなかった。

d) 多種の分子線の撮像を行なったところ、これらの分子雲で SO 輝線を検出した。SO 輝線は “Hot Molecular Core” (HMC) のトレーサの 1 つである。C₂H 輝線, c-C₃H₂ 輝線なども HMC と矛盾がない。これらは分子雲内部に HMC の存在を示唆する。

以上の特徴から、この 2 つの分子雲はフィラメント間衝突が引き起こした星形成領域であると推測される。

[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](#)

Q14a ALMA 望遠鏡による特異分子雲 “Tadpole” の高分解能観測

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

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。“Tadpole” は、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 HVCC であり、際だって高い CO $J=3-2/J=1-0$ 強度比 (~ 1.8) と位置速度図上の head-tail 構造によって特徴づけられる。私たちは、JCMT で取得された CO $J=3-2$ 放射の $l-b-V$ 分布を詳細に分析することにより、Tadpole の位置速度空間における挙動が $10^5 M_{\odot}$ の点状重力源周りの Kepler 軌道で再現できることを見出した (金子他、日本天文学会 2022 年秋季年会 Z330b)。

今回私たちは、Tadpole における Kepler 軌道モデルの検証を目的として、ALMA 望遠鏡による HCN, H¹³CN, H¹³CO⁺ $J=1-0$ 輝線の高解像度観測を実施した。観測は 2023 年 1 月に実行され、約 $1''$ の解像度で Tadpole の内部構造が詳細に描き出された。その結果、観測した高密度 [$n(\text{H}_2) > 10^{5.5} \text{ cm}^{-3}$] プローブでは、Tadpole の “head” はサイズが 0.5 pc 程度の複数のクランプによって、“tail” は幅 0.2 pc 程度の 2 本のストリームによって構成されていることが分かった。これらの空間-速度構造は、JCMT の結果から想定されていたシンプルな単一軌道モデルには沿わないものであったが、依然として巨大な点状重力源による加速を支持する結果であった。発見されたクランプの集団と 2 本のストリームは、複数の軌道によって再現できる可能性がある。本講演では、ALMA 望遠鏡によって得られた高解像度イメージに基づき、Tadpole の複数 Kepler 軌道モデルの妥当性を議論する。

[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](#)

Q15a 散乱 X 線を利用した銀河系中心分子層の 3 次元構造の推定手法

松永海, 内田裕之 (京都大学), 竹川俊也 (神奈川大学), 榎谷玲依 (国立天文台/岐阜大学), 齊藤裕次郎, 塚本博丈 (京都大学)

天の川銀河の中心分子層の 3 次元構造の解明は、銀河中心領域の星形成活動や Sgr A* への質量供給過程を理解する上で重要となる。電波観測においては、分子雲の視線速度を測定して中心分子層の軌道モデルと比較する手法 (e.g. Henshaw et al. 2016) が用いられてきたが、視線位置の直接的な観測はできない。X 線観測では、銀河中心プラズマ放射に対する分子雲による星間吸収に着目し、分子雲の視線位置の推定が試みられた (Ryu et al. 2013)。本研究では、Sgr A* からの X 線が分子雲で散乱して生じる、鉄の蛍光 X 線とトムソン散乱による X 線連続成分の入射角依存性の違いを利用して、散乱体である分子雲の視線位置を推定する。Sgr A* から分子雲への入射 X 線と、分子雲から我々への散乱 X 線がなす角 (入射角) に、トムソン散乱成分の強度は依存するが、蛍光 X 線の強度はしない。特にトムソン散乱の連続成分に対する蛍光鉄輝線の等価幅は、Sgr A* からの入射 X 線強度に依らず入射角のみを反映した値となる。直接観測可能な見かけの位置に加え入射角が分かれば、我々と Sgr A* と分子雲の位置関係から分子雲の視線位置を推定できる。等価幅は観測から直接得られるため、本手法ならば分子雲の視線位置を直接的に制限できる。我々は銀河中心の見かけ上連続する X 線放射領域を細かく分け、Chandra 衛星の観測データから観測時期ごとのスペクトルを抽出し (e.g. Clavel et al. 2013)、等価幅の測定を行った。測定結果を領域・時間ごとに比較した結果、各領域で時間変動しない有意な等価幅の差を検出し、これは各領域での入射角の違いを反映していると結論した。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Q16a CTA 大口径望遠鏡初号機による天の川銀河中心領域からの超高エネルギーガンマ線観測

阿部正太郎, 稲田知大, 大谷恵生, Marcel Strzys, Ievgen Vovk (東大宇宙線研), Marion Dib, Michele Doro (University and INFN Padova), 手嶋政廣 (東大宇宙線研・マックスプランク物理), for the CTA-LST project

天の川銀河中心領域は最も研究されている領域の 1 つである。超高エネルギーガンマ線 ($\gtrsim 100$ GeV) による観測の観点では、系外天体と異なり地球から近傍にあるため、超大質量ブラックホールいて座 A* 周辺の宇宙線加速に関する現象を形態学的に調べることができる点で、重要な観測対象である。これまでのガンマ線観測によって、特に数百 pc に広がる拡散ガンマ線放射のエネルギー・空間分布から、広がった放射と中心ブラックホールとの関連性が示唆されている。一方で、現行の観測機器の限られた感度や角度分解能などのために、議論は決着しておらず、より詳細な観測的研究が求められている。私たちは、次世代地上型ガンマ線天文台計画 Cherenkov Telescope Array (CTA) に向けて大口径望遠鏡初号機 (LST-1) をスペイン・ラパルマ島に建設し、試験運転を進めている。本研究では、来るべき CTA 天文台を見据えた新しい解析ソフトウェアを実装し、2021 年と 2022 年に取得した LST-1 による約 40 時間の銀河中心領域観測データを解析した。いて座 A* と超新星残骸 G0.9+0.1 からのガンマ線放射を検出し、特にこれらのエネルギースペクトル分布は、大天頂角観測技法による TeV 帯の高感度化と LST-1 の低いエネルギー閾値との組み合わせによって広いエネルギー範囲で得られ、かつ先行研究と整合的な結果となった。現在は拡散ガンマ線放射に関する研究を主に進めている。

[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](#)

Q17a X線と電波で探る「星の誕生から終焉」までの星間ガスの進化

柘植紀節, 馬場彩 (東大理), 佐々木愛美, Knies Jonathan (Dr. Karl Remeis Observatory Erlangen Centre for Astroparticle Physics Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg), 福井康雄, 立原研悟 (名古屋大学), 佐野栄俊 (岐阜大学), 大西利一 (大阪公立大学)

銀河の基本的な構成要素である星間ガスは銀河進化の基盤となる。星間空間は様々な物理状態の星間ガスで満たされており、密度、温度、空間規模は数桁にわたる。銀河進化の理解にはこのような多層構造の星間ガスを多波長観測し、低温の水素分子ガスから高温ガスまでを包括的に理解する必要がある。我々はこれまで、電波解析から大質量星の元となる水素分子雲の形成過程を明らかにしてきた (Tsuge+19; 20; 23 他)。本研究では大マゼラン雲 (LMC) の南東部に広がった高温ガス (Spur) の形成機構を X 線と電波の比較解析によって調べた。銀河スケールでの比較には、広視野高感度の extended ROentgen Survey with an Imaging Telescope Array (eROSITA) による観測が最適である。解析の結果、eROSITA の X 線のスペクトル解析から見積もられた高温ガスのエネルギーは星形成による星風や超新星爆発の重ね合わせだけでは説明できないことがわかった。そこで我々はこの領域で起きている、速度 100 km s^{-1} 以上での H I ガス衝突による Spur の加熱シナリオを新たに提案した (Knies+21; Ph.D thesis)。さらにガス衝突による Spur の加熱機構を検証するために、X 線分光撮像衛星 (XRISM) を用いた高温ガスの観測を提案し、プラズマの衝撃波速度と H I ガスの衝突速度を直接比較する計画である。eROSITA 衛星の結果を元に simulation を行い、予想される XRISM 衛星によるエネルギースペクトルを再現した。エネルギー分解能が一桁向上することで、高温ガスの運動が初めて測定可能になる。本講演では XRISM で予想される X 線スペクトルのモデルフィッティングを行い、定量的にプラズマの加熱機構に制限をつけられるかを議論する。

[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](#)

Q18a 銀河系円盤部における星形成史の包括的解明：ハローから円盤へのガス供給機構の理論的研究

瀬野 泉美¹, 犬塚 修一郎¹, 霜田 治朗² (¹名古屋大学, ²東京大学)

銀河系円盤領域に存在する星の材料となるガスの総質量は $\sim 10^9 M_\odot$ である。一方、近年の星形成率は数 $M_\odot/\text{yr}$ であることが観測的に分かっている。これらの観測事実から、銀河系内で星形成は $\sim 1 \text{ Gyr}$ も持続することができない。しかし、銀河系内の星形成は $\sim 10 \text{ Gyr}$ もの間、現在と同程度以上の値で持続していることが観測的に分かっており (e.g., Haywood et al. 2016), なぜ星形成が長期間持続したのか、その理由が未解明であるため、銀河系の時間進化が十分に理解されていない。近年の観測によって銀河円盤領域の周りの $\sim 100 \text{ kpc}$ の広がりのある銀河ハローに、 $10^{10} M_\odot$ 以上もの金属汚染されたガスの存在が明らかになった (e.g., Tumlinson et al. 2011, 2017)。このことから、銀河円盤領域と銀河ハローの間でガスの輸送・供給が起こり、銀河円盤領域でガスが枯渇せず星形成が長期的に持続する、と考えられる。これまでの研究によって銀河円盤領域から銀河ハローへガスを輸送する機構については、理論計算が成されており (Simoda & Inutsuka 2022), 宇宙線によるガスの加熱が冷却を妨げ、ガスが冷え固まる前に銀河円盤領域から数百 kpc もの高さまで輸送されることが示された。対して、銀河ハローでガスが冷え固まり、銀河円盤領域へ供給される機構については十分に検討されていない。本講演では、熱力学・流体力学的観点から高温プラズマ状態の銀河ハローにおける熱不安定性を考えることによって、銀河ハローから円盤領域へのガス供給について考察した成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](#)

Q19a 近赤外広域輝線マッピングで探る超新星爆発によるリン生成

國生拓摩, 桂田悠紀, 金田英宏 (名古屋大学), 中岡竜也, 川端弘治 (広島大学)

リンは DNA や細胞壁の材料で、生命を構成する必須元素のひとつである。リンの起源は超新星爆発までさかのぼるが、一般的な星間空間におけるリンの存在比 (P/H) は地球生命に比べて数桁も低い。このことから、生命が誕生する現場には過去に多くのリンがもたらされた可能性があるが、超新星爆発によるリンの生成量やその個体差はよく理解されていない。そこで本研究では、近赤外 [PII]、[FeII] 輝線を透過する狭帯域フィルターを南アフリカ望遠鏡 IRSF および広島大学「かなた」望遠鏡に搭載し、超新星残骸 26 天体の広域 (8'×8') 輝線マッピングを行った。これらの輝線は励起エネルギーや臨界密度が似ており、その強度比はリンと鉄の存在比 (P/Fe) のよい指標となるため、[PII]/[FeII] 輝線強度比から各天体の P/Fe を求めた。

観測の結果、26 天体中 4 天体から [PII]、[FeII] 輝線を S/N > 5 で検出し、[PII]/[FeII] 輝線強度比から P/Fe を得た。[PII] 輝線が未検出の天体についても、電波連続波シェル内で P/Fe の上限値を求めた。リンが検出された 4 天体の P/Fe は太陽組成より高いことが分かったが、リンに比べて鉄はダストに取り込まれやすく、固相の鉄は輝線を放射しないため、ダストが多い領域で P/Fe は過大評価される可能性がある。そこで、とくに P/Fe が高い Cassiopeia A について、Spitzer と Herschel 衛星の観測データを用いて赤外線 spectral energy distribution を解析し、ダストの衝撃波破壊の程度を調べた。その結果、ダストが十分に破壊されている領域でも P/Fe は太陽組成より 1 桁以上高く、これは重力崩壊型の超新星爆発によるリン生成と矛盾ない値である。本講演では、他の天体の観測結果も合わせて、超新星爆発によるリン生成について議論する。

[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](#)Q20a Global Reaction Route Mapping による $C_2H_2N_2$ の反応経路網の探索/解析

米津 鉄平, 北村 太一, 山内 良斗, 尾田 拓人, 松本 侑大, 前澤 裕之 (大阪公立大学)

近年、隕石やサンプルリターンミッションにおける試料からアミノ酸や核酸塩基などの生体関連分子を探る研究が急速に進み、大質量星形成領域などではこれらの前駆体分子のスペクトル線の検出も報告されている (Nakamura et al. 2022, 他)。また、星間空間における有機分子の形成過程の検証が量子化学計算や表面/気相反応を取り入れたモデル計算 (Zhang et al. 2020, 他) などにより進められている。ただ、これらの複雑な有機分子の構造や反応経路は、原子数が多くなるにつれて多岐に渡るため、その形成過程を網羅的に探ることは難しい。

そこで、本研究では核酸塩基アデニンの前駆体の 1 つとも考えられている HCN の 2 量体 $C_2H_2N_2$ に着目し、Global Reaction Route Mapping (GRRM) プログラム (Ohno et al. 2004, 他) を用いて、 $C_2H_2N_2$ の反応経路ネットワークの全面探索を行った。その結果、計 68 種の構造異性体が見つかり、炭素 C と窒素 N からなる基本骨格に着目したところ、線形分子や環状分子などの構造に分類できることが分かった。さらに、独自のツールにより、 $C_2H_2N_2$ が形成される反応経路を遷移状態のエネルギー障壁 ΔE の上限ごとに抽出した。抽出した反応経路の全体数に対する、各 $C_2H_2N_2$ の構造異性体への反応経路数の割合を求めた結果、エネルギー障壁 ΔE の上限の違いによって、支配的となる基本骨格が異なり、また、その基本骨格を持つ分子の中でも有意に割合の高い分子種を分別することができた。これまでに、星間空間における観測例もある $C_2H_2N_2$ の Z-(E)-HNCHCN に加え、HNNCCH といった分子も形成されやすい可能性があることも示唆された。本講演では、これら一連の手法と解析結果について詳細を報告する。

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

Q21a 高温真空昇温脱離法 (TPD) を用いた模擬星間有機物ダストの化学構造の分析

妹尾梨子 (東京大学), 左近樹 (東京大学), 吉井丈晴 (東北大学), 羽馬哲也 (東京大学), 清水俊介 (東北大学), 川口遼 (東北大学), 尾中敬 (東京大学)

宇宙の有機物の化学構造の理解は、宇宙の物質進化や生命の起源物質の探求において重要である。赤外天文観測による未同定赤外バンドの観測により、星間物質中に多環式芳香族炭化水素 (PAH) のような有機物の分子や塵が普遍的に存在することが示唆されている。しかし未同定赤外バンドの担い手の詳細な化学構造はわかっていない。先行研究により、急冷窒素含有炭素質物質 (QNCC) という模擬星間有機物ダストが作られた。QNCC は新星に見られる未同定赤外バンドの特徴をよく再現し、特徴的な $8\mu\text{m}$ バンドがアミンの含有に起因すると解釈されているが、その詳細な化学構造の理解には至っていない。そこで、炭素材料分野で用いられる「高温真空 TPD」と「X 線光電子分光法 (XPS)」を用いて、QNCC と、QNCC の材料となる filmy QCC の分析を行った。「高温真空 TPD」とは、高真空下で一定温度で試料を加熱し、脱離ガスの種類と量を連続的に計測することで、脱離ガス種と脱離温度から試料の化学構造を調べる手法である。filmy QCC は、(1) 高温真空 TPD の分析で CH_4 等の脱離量が少なく H_2 の脱離量が非常に多いことから、アルキル基 ($\text{C}_n\text{H}_{2n+1}$) が少なく H で終端された構造を多く持つこと、(2) 高温真空 TPD の H 脱離の終端温度が sp^2 で構成される炭素材料より低温寄りであることと XPS の結果から sp^3 (ダイヤモンドのような構造) が多い構造を持つことがわかった。QNCC は、(1) 高温真空 TPD の結果から H で終端された構造が多いこと、(2) XPS の結果から filmy QCC よりも sp^2 が多いこと、(3) sp^2 の炭素と結合している窒素をもれなく検出できる高温真空 TPD で検出できた窒素の量が XPS から検出された窒素の量の $1/10$ 程度であったことから、大半の窒素が sp^3 の炭素と結合して存在している可能性があることがわかった。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Q22a ガンマ線超新星残骸 G15.9+0.2 に付随する分子雲と宇宙線加速

松原康平, 山中祐里奈, 村瀬建, 佐野栄俊, 須藤広志, 高羽浩 (岐阜大学), 榎谷玲依 (NAOJ/岐阜大学), 鈴木寛大 (甲南大学)

超新星残骸に付随する分子雲の特定は、陽子-陽子衝突によるガンマ線放射機構の探究や、被加速宇宙線陽子のエネルギー推定に不可欠である。一方で、角度分解能の制約から、付随分子雲の特定は、概ね距離 $\sim 3\text{ kpc}$ 以下の近傍天体に限られていた。銀河全域にわたって宇宙線陽子の振る舞いを理解するには、より遠方のガンマ線超新星残骸に付随する分子雲を、十分な角度分解能の CO 輝線観測によって特定する必要がある。G15.9+0.2 は視直径 $7' \times 5'$ のシェル型超新星残骸であり、距離 $8.5\text{--}16.7\text{ kpc}$ に位置すると考えられている (e.g., Caswell et al. 1982; Reynolds et al. 2006)。GeV ガンマ線が検出されていることから、宇宙線陽子の加速現場として有望視されているものの、付随分子雲が特定されていないため、被加速宇宙線陽子のエネルギーは求められていない (Xiang et al. 2021)。今回我々は、野辺山 45-m 電波望遠鏡を用いた $^{12}\text{CO}(J=1-0)$ 輝線観測 (角度分解能 $\sim 14''$) を実施したので報告する。CO データの空間・速度分布の解析から、 $V_{\text{LSR}} \sim 22\text{ km s}^{-1}$ にて超新星残骸シェル南側に沿って分布する分子雲を見つけた。この分子雲は $\Delta V \sim 6\text{ km s}^{-1}$ の膨張運動を示しており、超新星残骸衝撃波 and/or 爆発前の恒星風によって形成されたとみられる。銀河回転曲線モデル (Brand & Blitz 1993) を用いることで、超新星残骸までの距離を $14.0 \pm 0.4\text{ kpc}$ と見積もった。この距離を用いてセドフ期を仮定すると、超新星残骸の年齢は $3900 \pm 100\text{ yr}$ と計算できた。また、超新星残骸シェルに含まれる付随水素ガスの平均密度 $\sim 760\text{ cm}^{-3}$ とガンマ線光度から、被加速宇宙線陽子のエネルギーを $\sim 1.6 \times 10^{48}\text{ erg}$ と見積もった。以上を踏まえ本講演では、G15.9+0.2 における宇宙線陽子加速について論じる。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Q23a SS433 のジェットと相互作用する分子雲 N4 からの近紫外線放射

山本宏昭、石川竜巳、竹内努 (名古屋大学)

マイクロクエーサー SS433 のジェットと分子雲 N4 が直接相互作用していることが Yamamoto et al. (2022) によって明らかにされた。N4 は SS433 の西側の分子雲で、SS433 の最も近くにあり、X 線ジェットと同一視線方向上にある。CO 輝線が全体的に非対称の形をしており、RADEX を用いた解析から、N4 の T_k は最大で ~ 55 K である。本研究では、ジェットと N4 の相互作用をより詳しく調べることを目的として、新たに GALEX のアーカイブデータを用いて、SS433 の西側領域の紫外線放射について調べた。SS433 西側領域では GALEX のサーベイデータは近紫外線 (NUV) 放射のデータのみが存在する。NUV の検出器バンドは $1750\text{\AA}$ から $2800\text{\AA}$ であり、角度分解能は 8 秒角である。解析時には CO 輝線のデータと分解能を揃えるため、20 秒角にスムージングした。

NUV 放射は N4 の方向のみで見られた。NUV の放射領域は N4 の広がりとはほぼ同じであることから、NUV 放射が N4 に関係していることが示唆される。NUV の放射強度は $^{13}\text{CO}(J=3-2)$ 輝線の積分強度と反相関を示す。特に $^{13}\text{CO}(J=3-2)$ 輝線の積分強度が強いところでは NUV 放射が弱くなっており、かつそこでは AKARI $160\text{ }\mu\text{m}$ の強い放射が見られた。このことは NUV 放射が N4 の星間ダストによる吸収を受け、暖められたダストが再放射をすることで、遠赤外線の高い放射となって現れていると解釈できる。この描像が正しいとすれば、NUV は N4 の奥側から放射されていると考えられる。Cygnus loop などでは、同様に GALEX による NUV 放射がみられ、OIII] 等の追観測から、今現在、周囲の星間物質と強い相互作用をしていることが明らかにされている (Danforth et al. 2001)。同様の現象が N4 でも起こっているとすると、SS433 のジェットと N4 が現在強い相互作用をしており、その境界で NUV 放射が出ていると結論づけることができる。

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

Q24a マイクロクエーサー SS433 のジェットと星間ダストの相互作用

石川竜巳、山本宏昭、立原研悟 (名古屋大学)

SS433 はわし座の方向に位置するマイクロクエーサー (Mirabel & Rodríguez 1998) として知られ、そのジェットは $0.26c$ の速度を持つ (Margon et al. 1983)。このジェットは SS433 を取り囲む超新星残骸 W50 の外側まで伸びており、 1.45 GHz 電波連続波は特徴的な「イヤー」と呼ばれる構造をしている (Dubner et al. 1998)。先行研究 (Liu et al. 2020, Yamamoto et al. 2022) では、SS433 西側に位置する分子雲がジェットから相互作用を受けていることが示された。このジェットと星間物質の相互作用の完全な理解には、分子雲や水素原子雲といった星間雲だけでなく星間ダストの空間分布や物理的性質も明らかにすることが必要不可欠である。しかし、W50/SS433 領域について、星間ダストについての詳細な議論は未だ行われていない。

我々は同領域の星間ダストの空間分布や温度などの物理状態の調査を、WISE Band3 (波長: $12\text{ }\mu\text{m}$, 角度分解能: $6.5''$), Band4 ($22\text{ }\mu\text{m}$, $12.0''$) 中間赤外線と AKARI WIDE-S ($90\text{ }\mu\text{m}$) と N160 ($160\text{ }\mu\text{m}$) 遠赤外線データ (共に角度分解能 $1' \sim 1.5'$) を用いて行なっている。特に、中間赤外線では星起源の点源が多数検出されているため、W50/SS433 に付随する淡く広がったダスト放射の議論には邪魔となる。そこで、SExtractor (Bertin & Arnouts 1996) の Python パッケージである SEP (Barbary 2016) を利用して星からの点源を検出し、除去した。点源を除去した広がった中間赤外線放射と $20''$ にスムージングした $^{12}\text{CO}(J=1-0, 3-2)$ の空間分布と比較すると、約 $2'$ のスケールで分布が分子雲と一致することから赤外線放射は W50/SS433 に付随している可能性が示唆される。一方、各雲の詳細な構造を見ると ^{12}CO 積分強度と星間ダスト放射はピークの位置が一致しないことがわかった。本発表では星間ダスト温度の不均一さなども考慮したこの領域の星間雲の物理状態と今後の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](#)

Q25a SS433/W50 に付随する GeV ガンマ線源 Fermi J1913+0515 方向の CO 分子スペクトル線観測

有山 諒、岡 朋治、金子美由起 (慶應義塾大学)

超新星残骸 W50 の中心、太陽系から 4–6 kpc の距離に位置する特異星 SS 433 は、恒星と高密度天体からなる近接連星系であり、強烈な双極ジェットを伴う。ジェットの噴出速度は $0.26c$ であり、周期 162 日で開き角 20° の歳差運動をしている。最近、SS 433 から北に約 0.4° 離れた位置、W50 の外縁部に GeV 帯域のガンマ線源 Fermi J1913+0515 が発見された。このガンマ線源は SS 433 ジェットの射出方向と重ならないが、その光度が SS 433 歳差運動と等しい周期で明滅を繰り返している。このガンマ線放射過程は未解明であるが、同方向にあるサイズ 10 pc 程度の水素原子雲の存在から、星間物質と高エネルギー粒子の相互作用による放射過程が有望視されている。

本研究では、Fermi J1913+0515 の正体を解明することを目的に、野辺山 45 m 電波望遠鏡および James Clerk Maxwell Telescope を使用した同方向の一酸化炭素 (CO) 回転スペクトル線によるマッピング観測を行った。その結果、Fermi J1913+0515 の誤差円内に、サイズ 3 pc 程度の分子雲 (CO+40.05–2.40) を発見した。この分子雲は 10^3 – $10^4 M_\odot$ 程度の質量を持ち、内部に 1 pc 程度のクランプを複数内包することが分かった。この結果は、Fermi J1913+0515 のガンマ線放射過程における星間物質の寄与を強く支持する一方で、160 日程度の周期性を解明する手がかりを与えるものではなかった。そのような時間スケールの変動を星間物質からの放射で生じるためには、0.14 pc 以下の高密度領域の存在を必要とする。一方で別の放射シナリオとして、分子雲中に埋もれた高密度天体が SS 433 に駆動された粗密波によって周期的に活性化する状況も想定される。本講演では、CO スペクトル線データに基づいてガンマ線放射シナリオの妥当性を検討し、将来の観測的・理論的研究への展望を議論する。

[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](#)

Q26a 衝撃波で加速された宇宙線による星間媒質の加熱効率について

霜田治朗 (東京大学, 宇宙線研究所)

超新星残骸の衝撃波は宇宙線加速現場として期待されているが、その詳細は分かっていない。特に、特に実際に加速される量が分かっていないため、宇宙線の起源問題には決着がついていない。また、近年では宇宙線が定常的に銀河風を駆動することで、銀河の宇宙年齢に匹敵する長時間進化を説明することが試みられているが、星間媒質のエネルギー密度 1eV/cc を説明するだけの十分な量の宇宙線が加速されない限り、定常的な銀河風は駆動しないことが示されている (Shimoda & Inutsuka 2022)。

宇宙線加速モデルの予言として、 1eV/cc のエネルギー密度を説明するだけの宇宙線が加速現場である超新星残骸の衝撃波で注入されている場合、衝撃波「上流」の背景プラズマに反作用効果を与え、上流の速度構造とプラズマの加熱を引き起こす可能性が指摘されている (e.g., Drury & Voelk 1981) が、その観測的証拠は見つかっていない。また、最近の理論研究 (Shimoda et al. 2022) では、宇宙線の注入量について初めてモデル化に成功し、衝撃波のマッハ数 (すなわち温度) が小さい時は加熱効率が下がることが示唆された。すなわち、時事刻々と膨張する超新星残骸衝撃波では、進化段階の初期に加速された宇宙線が上流のプラズマを加熱し、後期段階の衝撃波のマッハ数を小さくして宇宙線加熱効率を下げていくことが予想される。本講演では、超新星残骸が最終的に星間媒質へと注入する正味の宇宙線量を導くことを目的として、衝撃波上流の加熱効率について検証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](#)

Q27a 分子雲と相互作用する超新星残骸の流体シミュレーション:体積占有率と衝撃波速度の関係

辰己賢太 (甲南大学), 井上剛志 (甲南大学)

超新星残骸 (SNR) と分子雲との相互作用は、乱流磁場増幅による粒子加速の促進や X 線やガンマ線放射の促進等の効果を通して、SNR の性質に大きな影響を及ぼすことが知られている (Inoue et al. 2012)。ガンマ線で明るい SNR 周辺の分子雲観測の結果から (Fukui et al. 2012) では RXJ1713.7-3946 の宇宙線陽子の全エネルギーを約 10^{48} erg と見積もっている。この値は SNR が銀河系内の宇宙線エネルギー密度を説明するため加速しなければならない値に比べて 1 桁小さい。しかしながら、この見積もりは分子雲の体積占有率が 100% 近くであることを仮定した時の値であり、体積占有率が低ければ、宇宙線のエネルギーは大きくなり得る。

重力崩壊型超新星の場合、爆発前に発生する恒星風や HII 領域の膨張によって分子雲内部の低密度部分が吹き飛ばされ、密度の濃いクラump 状の分子雲構造が残る。そのような高密度ガス体積占有率が低い分子雲で超新星が発生する場合、衝撃波面はガスクラump の間を通り抜け、球対称を保ったまま広がっていく。我々は高密度ガス体積占有率が異なる複数の状況下で SNR 形成のシミュレーションを行うことで、体積占有率が SNR の進化に与える影響を調べた。その結果、体積占有率が一定以上大きくなると、衝撃波の伝搬速度が観測されるものよりも優位に小さくなってしまふことを発見した。この効果を考慮したときに RXJ1713.7-3946 の宇宙線加速効率がどのような値を取り得るの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](#)

Q28a 衝撃波加熱された非平衡プラズマの進化とその X 線放射モデルの構築

大城 勇憲 (東大, 宇宙研), 山口 弘悦 (宇宙研)

超新星残骸などでみられる希薄な空間で衝撃波加熱を受けたプラズマでは、イオンと電子の温度が異なったり (Vink et al. 2003; Miceli et al. 2019)、電離が徐々に進む (Yamaguchi et al. 2014) などの非平衡な状態が観測される。標準的な X 線解析ソフトウェアである Xspec では、電離非平衡な状態にあるプラズマからの X 線放射を計算するモデルとして `nei` や `pshock` などがよく用いられるが、これらのモデルは電子温度と電子密度が一定という仮定のもとで電離を解いており、電子-イオン間の熱交換過程による電子温度の上昇や、イオンの電離による電子密度の増加を考慮できていない。

そこで本研究では、衝撃波加熱を受けたプラズマの熱交換過程と電離過程を同時に解き、その X 線放射を計算するモデルを開発した。開発したモデルと `nei` モデルを比較したところ、特定の電離度におけるイオンの存在量が最大で 0.3 – 3.0 倍異なることがわかった。この差異が電離度の推定に及ぼす影響を調べるために、開発したモデルの擬似スペクトルを `nei` モデルでフィットしたところ、`nei` モデルが電離度を過小評価することが明らかとなった。また、このモデルは熱交換過程と電離過程を同時に解いているため、衝撃波速度や加熱直後の電子/陽子温度比の推定が可能となる。モデルの具体的な天体への適用は続く岡田、鈴木講演で述べる。

[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](#)

Q29a 超新星残骸 N132D における衝撃波加熱とプラズマ熱過程

岡田佳純 (青学大), 鈴木俊輔 (青学大), 山口弘悦 (宇宙研), 大城勇憲 (東大, 宇宙研), 山崎了 (青学大), 田中周太 (青学大)

超新星残骸の衝撃波は周囲の星間物質 (ISM) を加熱して高温のプラズマを形成する。ISM は地上実験では達成できないほどの低密度 ($\approx 1 \text{ cm}^{-3}$) であるため、粒子のクーロン相互作用を介したエネルギー輸送やイオンの電離の進行が観測できるすなわち、超新星残骸はこれらの過渡的な現象を調査できる最適な実験室としての側面を持っている。本研究では、大マゼラン雲の超新星残骸 N132D からこれらの過渡現象を観測し、その結果に基づいて衝撃波速度の時間変化や無衝突電子加熱効率の推定を試みた。N132D は角度分解能に優れた Chandra 衛星により、合計 900 ks もの長時間観測が行われており、本研究に最適なデータが入手できる。まず、N132D の東部において衝撃波面と平行に短冊状に区切った複数の領域からスペクトルを抽出し、衝撃波面からの距離に対するプラズマ状態の変化を調べた。その結果、波面からの距離が遠い、つまり先に加熱を受けた領域ほどケイ素 (Si) のヘリウム状輝線に対する水素状輝線の強度比が大きいことが分かった。N132D においてこのような電離の進行の兆候が得られたのは初めてである。これを定量的に評価するために、各領域から得られたスペクトルを電離非平衡モデルを用いフィッティングを行なった。その結果、波面から離れた領域ほど電子温度と電離度が高くなることを確認した。この電子温度の上昇は、衝撃波速度の減速とクーロン相互作用による陽子から電子へのエネルギー輸送の両方の効果で説明できる。また、N132D の北西部からは、プラズマの電離度が極めて低い領域を発見した。この領域のスペクトル解析から、衝撃波における無衝突電子加熱の効率に制限を与えることに成功した。本講演では以上の成果について報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Q30a 超新星残骸 RCW 86 の X 線スペクトルを用いた衝撃波速度および無衝突電子加熱効率の測定

鈴木 俊輔 (青学大), 大城 勇憲 (東大, 宇宙研), 山口 弘悦 (宇宙研), 鈴木 寛大 (甲南大)

RCW 86 は記録が残されているものの中では最古の超新星 (SN 185) により形成された超新星残骸である。この天体は可視光と X 線による固有運動の測定から領域ごとに衝撃波速度が異なることが指摘されており、(Helder et al. 2013; Yamaguchi et al. 2016) 最近になって高密度な物質に衝突したことによる衝撃波の急減速が起こったことが示唆される。加えて、この天体は電離度が $n_{\text{e}} t \sim 10^9 - 10^{10} \text{ cm s}^{-1}$ と比較的低いことが X 線分光観測からわかっており (Suzuki et al. 2022; Yamaguchi et al. 2008)、衝撃波加熱において起こる電子の無衝突加熱の痕跡が残っている可能性が高い。本研究では、X 線衛星 Chandra の観測データを用いた RCW 86 の南西部の領域の解析を行なった。領域ごとにスペクトルを抽出し、衝撃波加熱を受けたプラズマの熱的な X 線放射を記述する新たなモデル (大城講演) を用いてフィッティングを行うことで、衝撃波速度および電子の無衝突加熱の効率を調べた。その結果、領域ごとに衝撃波速度が有意に異なることが明らかとなった。また、多くの領域で電子の無衝突加熱が起きたことを示している。本講演ではこれらの成果の詳細を述べ、無衝突加熱における加熱効率と衝撃波速度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](#)

Q31a 「すざく」衛星を用いた白鳥座ループ「西の破れ」と「南の破れ」領域の観測

佐藤愛, 勝田哲, 立石大 (埼玉大学)

白鳥座ループは、距離約 725 pc、視直径 3° 程度の円形で、爆発後 1 万年ほど経過したシェル型の超新星残骸である。白鳥座ループには、「西の破れ」領域と「南の破れ」領域があり、それぞれ、白鳥座ループの西側、南側のシェルを突き破って飛び出したような半円形（視直径 $0.5^\circ, 1^\circ$ ）の構造を持つ領域である。破れの原因は、爆発前に恒星風が形成した空洞の壁 (cavity wall) に穴が空いていたためか、爆発噴出物が突き破ってできたのか、議論が続いている。後者であるとすれば、破れ領域に爆発噴出物が検出されることが期待される。

「すざく」は 2005 年から 2014 年にかけて、白鳥座ループ全域の観測を完遂した。我々は、「西の破れ」、その根本のシェル、「南の破れ」をカバーする観測に着目し、XIS が取得した X 線スペクトルを解析した。その結果、「西の破れ」と「南の破れ」で異なる結果を得た。「西の破れ」とその根本のシェル部分については、高温成分 (~ 0.4 keV) と低温成分 (~ 0.1 keV) の 2 成分の非平衡電離衝突プラズマモデルで再現でき、重元素間の相対組成比はファクター 2 で太陽組成比と一致していた。したがって、「西の破れ」は星間物質が支配的と考えられる。一方、「南の破れ」については、前述の 2 成分に加え、Si や Fe が多い 0.5 keV 程度の成分の、計 3 成分の非平衡電離衝突プラズマモデルで再現できた。この重元素が多い成分は、白鳥座ループの中心に向かうほど組成比が高くなっていき、「南の破れ」のうち最も白鳥座ループの中心に近い領域では Si/Mg ~ 30 solar という結果を得た。これは、この成分が爆発噴出物であることを示している。今回の観測結果から、「西の破れ」は衝撃波が cavity wall の穴を通り抜けてできた構造と考えられる。「南の破れ」の形成シナリオも統一的に解釈すると、「南の破れ」の方が cavity wall の穴が大きく、爆発噴出物が比較的多く流れ込んだために、その影響がより強く観測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](#)

Q32a X 線天文衛星すざくによる超新星残骸 G82.2+5.3 の観測

正嶋大和 (近畿大), 信川正順 (奈良教育大), 信川久実子 (近畿大), 竹内清香 (奈良女子大), 山内茂雄 (奈良女子大), 内山秀樹 (静岡大)

G82.2+5.3 はくちょう座にある視直径 1 度以上に広がる超新星残骸である。ROSAT と ASCA によりその中心に熱的 X 線プラズマが見つかった (Mavromatakis et al., 2003, A&A, 415, 1051-1063)。このプラズマは希薄 (密度 ~ 0.05 cm $^{-3}$) で、Mg、Si、Fe の組成比は太陽の 3-4 倍程度と大きいことから、爆発噴出物 (イジェクタ) が主であると考えられている。しかしながら、統計量が限られていることもあり、電離非平衡か否かはわかっておらず、星間物質 (ISM) 成分との切り分けもできていない。

そこで本研究では、スペクトルの質が良い X 線天文衛星すざくのデータを用いて、G82.2+5.3 のプラズマの調査を行なった。すざく XIS の視野全面に X 線放射が広がっているため、バックグラウンドは近傍の視野のデータを用いた。得られたスペクトルから新たに Ne と S の輝線を検出した。スペクトルは電離平衡プラズマモデルでは再現できず、高温 ($kT \sim 0.6$ keV) の電離進行プラズマ ($nt \sim 10^{11}$ s cm $^{-3}$) と低温 ($kT \sim 0.2$ keV) の電離平衡プラズマの 2 成分で再現することができた。これらはそれぞれイジェクタ、ISM 成分だと考えられる。領域を分けた解析の結果、2 成分のフラックスから、一様な ISM にイジェクタが不均質に広がっていると考えられる。本講演では、解析の詳細な結果について報告し、爆発の型について議論する。

[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](#)

Q33a X線天文衛星すざくによる超新星残骸 3C 400.2 のプラズマ状態と近傍 X 線未同定天体の調査

小沼将天, 信川久実子 (近畿大), 信川正順 (奈良教育大), 山内茂雄 (奈良女子大), 内山秀樹 (静岡大)

超新星残骸 (SNR) 3C 400.2 は、*Chandra* とすざくによる先行研究で、再結合過程が優勢なプラズマ (RP) の存在が報告されている (Broersen et al. 2015, MNRAS, 446, 3885; Ergin et al. 2017, ApJ, 842, 22)。我々はすざくのデータを用いて、3C 400.2 のプラズマ状態を調査した。この際、同時フィットを行って SNR 領域からの漏れ込みを考慮し、先行研究よりも信頼性のあるバックグラウンド評価を行った。その結果、星間物質 (ISM) 由来の低温の電離平衡 (CIE) プラズマと、イジェクタ由来の高温の電離優勢プラズマ (IP) の 2 成分で説明できることを見出した (小沼他, 日本天文学会 2022 年秋季年会 Q37a)。さらに我々は、X 線で特に明るい北西領域と、その周囲の比較的暗い領域に分けて解析を行った。各領域のプラズマは、SNR 全体と同様に、ISM 由来の低温の CIE プラズマとイジェクタ由来の高温の IP の 2 成分で説明できた。電子温度は、北西領域の方が高い傾向にある一方、アバundance は暗い領域の方が高い傾向が見られた。加えて、3C 400.2 の西側に X 線未同定天体を検出した。そのスペクトルには中心エネルギーが 4.4 keV の輝線が付随していた (有意度 2.8σ)。この輝線を赤方偏移した鉄輝線と仮定し、X 線未同定天体が銀河団あるいは活動銀河核である可能性を議論した。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Q34a 超新星残骸 W49B における電荷交換反応の検証

鈴木那梨, 山内茂雄 (奈良女子大), 信川久実子 (近畿大), 信川正順 (奈良教育大), 勝田哲 (埼玉大)

超新星残骸 (SNR) と分子雲との相互作用により、様々な反応が起こり得る。電荷交換反応もその一つであり、中性粒子と相互作用する可能性のある SNR プラズマにおいて、電荷交換反応由来の X 線が検出される可能性がある。実際、Cygnus Loop の外縁部では、電荷交換反応由来の X 線が X 線スペクトルで検出される可能性が示唆された (Katsuda, S., et al. 2011, ApJ, 730, 24)。

W49B は、電離よりも再結合が優勢な、再結合優勢プラズマを持つ SNR であり、高階電離状態の Fe イオンが多数存在する。ALMA による観測では、分子雲との相互作用が報告された (Sano, H., et al. 2021, ApJ, 919, 123)。我々は、すざく衛星で W49B を調査した結果、8–9 keV 付近にモデルからの超過成分が存在することを発見した。この超過成分は、中心エネルギーが ~ 8.3 keV であり、この輝線の候補として、電子ビームによる衝突実験 (Wargelin, B. J., et al. 2005, ApJ, 634, 687) により報告された、中性粒子と Fe XXVI の電荷交換反応による Fe XXV K-shell ($n \geq 4 \rightarrow 1$) の輝線の可能性があるため、検証を行った。

すざく衛星の W49B の約 500 ks のデータを 9 つの領域に分け、5–12 keV band で各領域のスペクトル解析を行った結果、いくつかの領域で Fe K γ 輝線を有意に検出した (有意度 3σ 以上)。空間構造の調査から、この Fe K γ 輝線は、分子雲との電荷交換反応由来の X 線で解釈可能である。講演では、解析の詳細を報告し、それ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](#)

Q35a 超新星残骸 G304.6+0.1 と G346.6−0.2 からの中性鉄輝線放射の起源

森川朋美、信川久実子、小沼将天 (近畿大学)、信川正順 (奈良教育大学)、山内茂雄 (奈良女子大学)、内山秀樹 (静岡大学)、松本浩典 (大阪大学)

エネルギーが 10^6 – 10^8 eV の低エネルギー宇宙線は、宇宙線加速や星形成過程を理解する上で重要であるが、太陽磁場の影響のため太陽系内での直接観測は困難である。星間物質中の鉄原子が低エネルギー宇宙線によって電離され放射する中性鉄輝線は、低エネルギー宇宙線の新たな観測方法である (Tatischeff 2003, EAS, 7, 79)。実際、これまでにいくつかの超新星残骸で、低エネルギー宇宙線起源の可能性が高い中性鉄輝線が見つかっている (e.g., Saji et al. 2018, PASJ, 70, 23, Nobukawa et al. 2018, AJ, 854, 87)。我々は、低エネルギー宇宙線起源の中性鉄輝線を系統的に調査するため、すざく衛星のアーカイブデータを用い、銀河面上かつ銀河中心の西側領域に位置する 8 つの超新星残骸の解析を行なった。その結果、G304.6+0.1 と G346.6−0.2 からおよそ 3σ の有意度で中性鉄輝線を検出した (森川他、日本天文学会 2022 年秋季年会 Q34a)。付随する分子雲が観測されている G346.6−0.2 (Sano et al. 2021, ApJ, 923, 15) については、光電離による中性鉄輝線である可能性は低く、低エネルギー宇宙線による電離の可能性が高いことも分かった。低エネルギー宇宙線が分子雲に衝突すると、中性鉄輝線に加えて連続 X 線 (電子の場合は制動放射、陽子の場合は逆制動放射) も放射される。陽子は電子より連続 X 線が放射されにくいいため、陽子起源の場合は電子起源の場合より中性鉄輝線の等価幅が大きくなる。本講演では、G304.6+0.1 と G346.6−0.2 の中性鉄輝線の等価幅を測定し、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](#)

Q36a 超新星残骸 DEM L71 の精密 X 線分光観測による輝線強度比の空間分布の調査

天野雄輝、大場滉介、大城勇憲、山口弘悦 (ISAS/JAXA)

DEM L71 は大マゼラン雲に位置する、年齢 4000–10000 年の Ia 型超新星残骸である (e.g., Ghavamian et al. 2003)。X 線帯域では、衝撃波加熱されたシェル状の星間物質と、鉄を豊富に含む中心集中した爆発噴出物が観測される (e.g., Hughes et al. 2003)。我々は XMM-Newton 衛星搭載の反射型回折分光器 RGS を用いて、DEM L71 の ~ 130 ks に及ぶ長時間観測を行った。RGS はスリットのない分散系であるため、分散方向に関する天体の空間情報と光の波長情報の分離が困難である。しかし、van der Heyden et al. (2003) などで行われているように、各輝線の形状を詳細に調べることで空間情報を抽出することができる。我々の観測では、2023 年春季年会 (Q03a) で報告した通り、鉄が中心集中、酸素がシェル状の分布であることを反映した輝線形状のスペクトルが得られた。今回我々はこれらの輝線形状を元に、様々な輝線の強度比の空間分布を定量的に調べた。その結果、例えばヘリウム様酸素の禁制線/共鳴線強度比が、残骸の北東部では ~ 1.1 と比較的大きく、西部では ~ 0.6 と小さいことがわかった。こうした、強度比の違いはプラズマの温度や電離状態の違いだけではなく、電荷交換反応や共鳴散乱といった物理過程の存在を示唆している可能性がある。本講演では、解析の詳細について報告するとともに、他の輝線の強度比も用いて定量的なプラズマ診断を行うことで、上述した輝線強度比の空間変動の成因について議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Q37a 超新星残骸 HESS J1731–397 に付随する星間雲と X 線放射

山中祐里奈, 松原康平, 村瀬建, 佐野栄俊, 須藤広志, 高羽浩 (岐阜大学), 榎谷玲依 (国立天文台/岐阜大学), 福井康雄 (名古屋大学)

超新星残骸 (SNR) の衝撃波面は、銀河宇宙線の主要な加速現場と考えられている。実際、被加速 TeV 電子からのシンクロトロン X 線が複数の SNR から観測され、その強度・エネルギー分布が、各天体内の領域ごとに異なることが明らかになっている。目下の課題は、この非一様な X 線分布の起源を明らかにし、どのような星間環境下で宇宙線が効率よく加速されるかを突き止めることにある。HESS J1731–347 は、視直径 30 分角のシンクロトロン X 線で明るい SNR であり、宇宙線電子加速の面から注目される (e.g., Bamba et al. 2012)。星間環境の理解のため、SNR 周辺の星間雲探査が行われたが、異なる 2 つの分子雲 ($V_{\text{LSR}} \sim -90 \text{ km s}^{-1}$ 雲と -25 km s^{-1} 雲) の付随が提案されており決着がついていない (e.g., Fukuda et al. 2014; Maxted et al. 2017)。また、これら付随候補の分子雲と X 線との詳しい比較研究は行われてこなかった。今回我々は、Mopra 22-m 電波望遠鏡で観測した $^{12}\text{CO}(J=1-0)$ データ ($\delta\theta \sim 46''$) と、ATCA & Parkes により得られた H I データ ($\delta\theta \sim 2.2'$) を解析し、XMM-Newton による X 線分布 ($\delta\theta \sim 15''$) との比較を行ったので報告する。結果として、 -90 km s^{-1} 雲は、X 線シェルを取り囲むように分布していることがわかった。個々の分子雲 (典型的なサイズ $\sim 6 \text{ pc}$ 、質量 $\sim 2 \times 10^3 M_{\odot}$) に注目すると、その周辺 $\sim 2 \text{ pc}$ には必ず顕著な X 線増光が見られることが分かった。また、 -90 km s^{-1} 雲には SNR シェルと同じ空間的広がりを持つ CO/H I の膨張運動も確認できた。これらの特徴は、 -25 km s^{-1} 雲では見られなかった。また、X 線 hardness ratio の分布は、 -90 km s^{-1} 雲に対して手前側の全星間雲量と良い空間一致を示した。以上を踏まえ本講演では、HESS J1731–347 に付随する星間雲と X 線放射ならびに宇宙線電子加速との関係について議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Q38a NuSTAR を用いた RCW86 北東部の広帯域観測

加藤辰明, Vincenzo Sapienza, 萩野浩一, 馬場彩 (東大理), 山崎了 (青学大), 佐野栄俊 (岐阜大), 鈴木寛大 (甲南大)

超新星残骸の衝撃波は宇宙線加速源の有力な候補である。しかし、どのような環境で宇宙線がより高エネルギーまで加速されるかといった定量的問題はまだ解決に至っていない。衝撃波が低密度領域を進む場合減速が起らず大きい衝撃波速度が保たれるため、加速最高エネルギーが高くなると考えられている (Zirakashvili & Aharonian 2007)。他方では高密度の領域に衝撃波が突入した場合に、乱流が生じ、磁場が強まることで効率的な加速が行われるモデルも提唱されている (Inoue et al. 2012)。

SN 185 の超新星残骸である RCW 86 には熱的 X 線を発する部分、非熱的シンクロトロン X 線を発する部分の両方が存在することから、宇宙線加速が起こる環境を調べるのにふさわしい天体である。特に北東部は分子雲と相互作用する領域としない領域が隣接し (Sano et al. 2017) 衝撃波速度も場所ごとに急激に変わる (Yamaguchi et al. 2016) 興味深い領域であるにも関わらず、加速電子からのシンクロトロン放射の広帯域 X 線スペクトルの研究は今までされてこなかった。そこで我々は硬 X 線で撮像分光が可能な NuSTAR で RCW86 の北東領域を 150 ks 観測した。その結果、10–20 keV の硬 X 線を初めて有意に検出した。本講演では、硬 X 線の場所依存や衝撃波速度との関係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](#)

Q39a 超新星残骸 SN 1006 北西部衝撃波の電子熱緩和過程の調査

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

無衝突衝撃波が通過した直後のプラズマでは粒子ごとに異なる温度となり、陽子のような重い粒子から電子のような軽い粒子へのエネルギー輸送が生じる。このエネルギー輸送はクーロン散乱によって行われると考えられているが、これまでに観測的に検証した研究は少ない。この検証のためには、空間分解能の優れた観測衛星で地球近傍に存在する衝撃波を観測する必要がある。

我々はこれまでの研究で、空間分解能が 0.5 秒角と非常に優れた X 線観測衛星 Chandra を使い、2.2 kpc と比較的地球近傍に位置する超新星残骸である SN 1006 の衝撃波近傍の電子温度の解析を行ってきた。ISM からの熱的放射の卓越した SN 1006 北西部領域を 15 秒角 (0.16 pc) ごとに分割し、各領域のスペクトルから電子温度の変化を推定した。その結果、電子温度が衝撃波面から 60 秒角 (0.64 pc) のスケールで $0.62^{+0.04}_{-0.04}$ keV から $0.95^{+0.10}_{-0.08}$ keV まで増加することを発見している (市橋他, 2021 年春季年会 Q01a, 2022 年春季年会 Q33a)。

今回、我々は観測された温度変化と最も単純な電子加熱過程であるクーロン散乱モデルとの比較を行った。この比較の際には、SN 1006 の北西部に位置する H_I 領域との衝突による衝撃波速度の減衰や密度変化を考慮した。その結果、特に H_I 領域との衝突前に衝撃波が通過した領域において、観測された電子温度はクーロン散乱モデルの予想より有意に低いことがわかった。比較として、星間雲との衝突がなく、かつ熱放射のみが観測される SN 1006 南東部のスペクトルも確認したが、この領域では ejecta が支配的であり、ISM 成分の温度変化に関する十分な解析はできなかった。本講演では、このモデルと観測の差異の要因として考えられる要素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](#)

Q40a 超新星残骸 RCW 103 南端・北端の X 線プラズマの急減速と逆行運動の発見

鈴木寛大, 田中孝明, 井上剛志 (甲南大学), 内田裕之, 成田拓仁 (京都大学)

超新星残骸や付随する中性子星の運動測定は、超新星爆発や中性子星生誕のメカニズム、星周環境や親星の情報を知るためのプローブとして有効である。本研究で着目する RCW 103 は距離約 3.1 kpc (Reynoso et al. 2004)、年齢 2000–4400 年 (Carter et al. 1997; Braun et al. 2019) の超新星残骸で、パルス周期が 6.67 時間の奇妙なマグネター 1E 161348–5055 が付随している (De Luca 2006)。放射は電波連続波、赤外線、X 線で似通った分布を示し、南側全体と北端の一部の放射強度が高い。これらの領域では空間的に広がった $H\alpha$ 輝線も確認されており (Carter et al. 1997)、南側では CO 分子雲との相互作用も示唆されている (Paron et al. 2006)。

我々は空間分解能が高い Chandra 衛星による 1999 年、2010 年、2016 年の 3 つの時期のデータ (計 5 観測) を使用し、南端・北端の明るい外縁部と付随するマグネターの運動測定を行った。周辺の明るい点源 7–9 個を用いて各観測データの座標補正を行い、北端と南端合わせて 12 ヶ所の動径方向の 1 次元放射プロファイルを抽出した。3 つの観測時期それぞれでプロファイルを比較し、 χ^2 法を使って観測間のプロファイルのずれの最尤値を決定した。結果として、1999 年から 2010 年にかけてはどの領域でも放射が外側に向けて $\sim 1000 \text{ km s}^{-1}$ の速さで進んでいるのに対し、2010 年から 2016 年にはほとんどの領域が減速を示した。その上、南端の一部は内側向き $\sim 2000 \text{ km s}^{-1}$ に運動を転じたことが分かった。解釈として、我々は X 線プラズマの北端と南端の両方が最近 24 年以内に高密度の物質と衝突して反射衝撃波が励起されたと考えており、南側での分子雲との相互作用や南北での $H\alpha$ フィラメントの存在がこのシナリオを支持する。マグネター 1E 161348–5055 については、系統誤差と同レベルの可能性のあるものの、北東方向に $\sim 500 \text{ km s}^{-1}$ という速度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](#)

R01a 天の川銀河の多領域多元素化学進化モデルに基づく太陽系誕生半径の推定

馬場淳一（鹿児島大学）、辻本拓司（国立天文台）、斎藤貴之（神戸大学）

太陽系は周辺の同年代の星に比べて $[\text{Fe}/\text{H}]$ が平均値よりも高いことが観測的に知られている (e.g. Edvardson et al. 1993; Casagrande et al. 2011)。この事実と、天の川銀河では内側ほど $[\text{Fe}/\text{H}]$ が高いという負の重元素量勾配に基づき太陽系誕生半径を推定すると、太陽系は現在の約 8 kpc の位置ではなく、もっと内側で誕生したと考えられてきた (e.g. Wielen et al. 1996; Tsujimoto & Baba 2020)。しかし、これらの先行研究は $[\text{Fe}/\text{H}]$ に基づくものであり、惑星系材料の主要な他の元素である C, O, Mg, Si などの銀河化学進化に基づくものではなかった。

そこで本研究では、独自の化学進化ライブラリ CELib (Saitoh 2017) を用いて、II 型超新星爆発、Ia 型超新星爆発、AGB 星からの重元素汚染を考慮した天の川銀河の多元素・多領域化学進化モデルを構築し、星の化学組成 (C, O, Mg, Si, Fe) の観測データと比較することで、太陽系誕生半径を推定した。その結果、太陽系が誕生した約 46 億年前に太陽系組成に達する銀河中心距離は、4–6 kpc 程度と推定された。さらに、銀河化学進化モデルから予測される多元素組成パターンに原始惑星系円盤の化学量論的モデル (Santos et al. 2015, 2017) を適用することで、惑星材料物質 (全凝集物質における鉄鉱物や水の占める割合など) の銀河系スケールでの時間的・空間的変化を調べた。その結果、銀河系の内側ほど鉄鉱物の割合が高く、水の割合が低いことが予測された (Baba et al. 投稿中)。本講演では、これらの結果を議論し、5 kpc 付近で誕生した太陽系の軌道移動過程や銀河系スケールでの惑星材料物質分布の観点から太陽系の起源に示唆を与える。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

R02a 近傍銀河のクラスタリング解析から探る天の川銀河の形態

宮本祐介 (福井工業大学)、藤田真司 (東京大学)、伊藤篤史 (核融合科学研究所)、川西 康友 (理化学研究所)、金子紘之 (新潟大学)、島尻芳人 (九州共立大学)、島居和史、西村淳 (国立天文台)、上田翔汰、西本晋平、米田龍生、大西利和 (大阪公立大学)、井上剛志 (甲南大学)、竹川俊也 (神奈川大学)、徳田一起 (九州大学)

宇宙の基本要素である銀河は多様な形態をもつ。宇宙における天の川銀河の位置付けを理解するためには、銀河の構造・形態を知ることが重要である。天の川銀河は棒状構造を持つ渦巻銀河と考えられているが、銀河円盤内にいる我々からは真横から射影した成分しか観測できないため、その真の姿・構造の解明は難しく、現在も理論・観測両面から銀河構造を復元するため様々な研究が行われている。一方、我々に対して正面を向いている系外銀河であれば、その構造・形態を容易に確認でき、また完全に真正面でない限り、速度情報も得ることができる。近傍銀河円盤内の分子ガスが銀河中心に対して円運動すると仮定すれば、擬似的に観測者を近傍銀河円盤内に配置し、そこから観測した場合に得られる銀径-速度 (L-V) 図への変換をすることで、銀河の構造・形態とそれに対する L-V 図のペアを収集できる。我々は ALMA 望遠鏡によって取得された近傍銀河 (早期/晩期型 渦巻/棒渦巻銀河) の高空間分解能マッピングデータから、銀河の構造をクリアに捉えるため、ほぼ真正面を向いている (傾き角 $< 60^\circ$)、約 50 個の銀河をピックアップし、各銀河 4 箇所以上の疑似観測点での L-V 図を作成した。各銀河の L-V 図を銀河の形態でタグ付けし、全サンプルについてクラスタリング解析を行うことで、天の川銀河の L-V 図がどの形態に分類されるかを調べ、先行研究と矛盾しないことを確認した。講演では、本研究の解析手法および得られた結果について報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

R03a 遠方銀河の数密度を考慮したダスト放射進化モデルの拡張

加納龍生 (名古屋大学), 竹内努 (名古屋大学, 統計数理研究所)

銀河進化では銀河中のダストが銀河のスペクトルエネルギー分布 (SED) や星形成効率などの物理量に大きな影響を与える。ダストの形成や成長過程を考慮することは銀河進化の理論において重要である。Asano et al. (2013a,b) ではダストと化学進化を考慮するモデルを構築した。また、このモデルを用いて銀河の SED を計算する銀河 SED モデル (Nishida et al. 2022) が構築された。これらのモデルは、近傍のダスト銀河や天の川銀河の観測結果を再現する。しかし、これまでの銀河 SED モデルで遠方銀河の観測特性を再現するためには何らかの修正が必要である。

本研究では、現在の銀河 SED モデルの問題点を解決し、観測された超高赤方偏移の銀河の SED を再現する。

ダスト粒あたりの放射を考慮すると計算コストが膨大になる。この問題を解決するため、ダスト散乱の計算処理に、星間物質のダストの密度が高い部分を kpc スケールの巨大な 1 つのダスト粒子とみなすメガグレイン近似を採用した。若い星の周りの分子雲はクランプと呼ばれる。遠方銀河はコンパクトであると考えられているため、クランプの密度は近傍銀河のものより高くなると考えられる。そこで、クランプ半径に銀河全体とは異なる依存性を持たせ、クランプ中のダストの数密度を高めることで観測値と同じ高いダスト放射を得ることができた。この結果は、遠方銀河は近傍銀河よりもダストの数密度が高いため、ダストの放射が多いことを示唆している。今後、遠方銀河を一次元平面近似ではなく球面にすることで観測結果を再現できるかを検討する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

R04a 近傍銀河における分子ガス-原子ガス比と星生成の関係

浜響子, 徂徠和夫 (北海道大学)

銀河の進化を考える上で銀河における星生成の理解を深めることは重要であるが、銀河ごとあるいは銀河内部の領域によって星生成の活発さが異なる原因など、未だ明らかではない。星の材料となる星間ガスに注目すると、さまざまな銀河に対して分子雲生成がどの程度進んでいるかを推定するために分子ガスと原子ガスの相対質量を調べる方法が考えられる。先行研究から、星間ガス質量や分子ガスと原子ガスの相対質量比 $M_{\text{H}_2}/M_{\text{HI}}$ が銀河のハッブル型に依存していることが報告されており、銀河の形態発現を明らかにする上で一翼を担うことも期待される。

本研究では原子ガスから分子ガスへの転換が銀河進化とともにどのように進むのかということについて着目し、野辺山宇宙電波観測所 45 m 電波望遠鏡の COMING プロジェクトで観測された ^{12}CO ($J=1-0$) 輝線と VLA で観測された 21 cm 線 (HI) のデータを使用し、およそ 40 個の近傍銀河を対象に星間ガス質量の定量化を行った。

各銀河について分子ガスが比較的豊富に分布する内側の領域 (光学半径の 70% の領域) では、恒星質量面密度 Σ_* と $M_{\text{H}_2}/M_{\text{HI}}$ の間には相関係数 $r = 0.60$ と正の相関があることが確認できた。また、星生成率面密度 Σ_{SFR} と $M_{\text{H}_2}/M_{\text{HI}}$ の間の相関は $r = 0.30$ と弱いながら、分子ガスの相対比が高いほど星生成が活発になり、星生成率の値が高くなる傾向にあることが確認された。一方、ガスとバリオンの相対質量比 $M_{\text{gas}}/M_{\text{baryon}}$ と $M_{\text{H}_2}/M_{\text{HI}}$ の間には $r = -0.38$ と弱い負の相関があり、分子ガスへの転換が進むと星生成も進むことを示している。今回対象とした銀河の多くは上記の傾向を示したが、 $M_{\text{H}_2}/M_{\text{HI}}$ が低い銀河の中で明らかに Σ_* や Σ_{SFR} の値が他よりも高い銀河も確認されている。これは銀河内部領域へのガスの流入による可能性が示唆される。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

R05a 棒渦巻銀河 NGC 3627 における様々な分子種の分布の主成分分析

渡邊祥正 (芝浦工大), 西村優里 (東京大), 原田ななせ (国立天文台), 柴田和樹 (筑波大), 徂徠和夫 (北海道大), 久野成夫 (筑波大), 坂井南美 (理研), 山本智 (総研大)

分子ガスの化学組成は、その密度のみならず光解離領域などの環境や衝撃波などのガスの動力学を反映することが知られており、近傍銀河の星形成研究においても化学診断の手法が利用されつつある (e.g., Harada et al.2019)。近傍の棒渦巻銀河 NGC 3627 では、渦状腕と棒状構造の接続領域 (バーエンド) での星形成活動が活発であり、分子雲同士の衝突がその要因として議論されてきた。NGC 3627 のバーエンドの高い星形成活動性の起源を化学診断を用いて調べるために、我々は ALMA Band3 による約 120 pc スケールでの多輝線マッピング観測を実施し、9 種類の分子からの 10 輝線を検出した。特に衝撃波トレーサーである CH_3OH の存在量がバーエンドの上流で高くなっており、位置-速度図を用いた解析も分子雲同士の衝突を支持する結果であった (2017 年秋季年会 R44a)。

この観測で得られた分子は、その種類ごとに分布の傾向が異なった。この違いを定量的に分別するため主成分分析 (PCA) を 10 輝線の積分強度図と 3 mm 帯の連続波マップの合計 11 枚の画像に適用した。その結果、分子の分布は主に (1) 分子ガスの柱密度を主にトレースする分子 (e.g., ^{13}CO , HCN, CS など)、(2) 星形成に伴う光解離領域をトレースする分子 (CCH, CN)、(3) 衝撃波領域をトレースする分子 (CH_3OH) の 3 種類に分類された。同様の結果は、既に IC 342 の中心領域やその周辺の棒状構造の観測と PCA から示されている (e.g., Meier & Turner 2005)。我々の結果は、これに加えて銀河のより外側に位置するバーエンドの環境やガスの動力学を化学組成の特徴から診断することが可能であることを示しており、近傍銀河の中心以外の様々な領域における星形成の研究にも化学診断が適用できることを示唆するものである。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

R06a Atacama Compact Array による渦巻銀河 M33 の ^{12}CO , ^{13}CO $J = 2 - 1$ 広域観測 (4): 分子雲の同定および先行カタログとの比較

村岡和幸, 小西亜侑, 北野尚弥, 大西利和 (大阪公立大学), 徳田一起 (九州大学/国立天文台), 濤崎智佳 (上越教育大学), 三浦理絵 (グラナダ大学/国立天文台), 小林将人 (ケルン大学), 佐野栄俊 (岐阜大学), 小野寺幸子 (明星大学), 久野成夫 (筑波大学), 西村淳, 河村晶子 (国立天文台), 藤田真司, 柘植紀節 (東京大学), 西合一矢 (鹿児島大学), 出町史夏, 山田麟, 立原研悟, 福井康雄 (名古屋大学)

銀河における大質量星形成過程を解明するためには、その母体である巨大分子雲 (giant molecular cloud: GMC) の性質を包括的に調べていくことが欠かせない。近年、PHANGS-ALMA プロジェクトに代表されるように近傍渦巻銀河に対する GMC サーベイが盛んに行われているものの、GMC の典型的なサイズである 40 pc より高い分解能での研究例はまだ少ない。そこで我々は、最近傍の渦巻銀河である M33 ($D \sim 840$ kpc) に対し、ALMA の Atacama Compact Array (ACA) を用いた $\text{CO}(J = 2 - 1)$ 輝線の広域撮像観測を行った。IRAM 30 m 鏡による同領域の観測データ (Druald et al. 2014) とコンバインすることにより、広がったガス成分を失うことなく高い感度 (0.7 km s^{-1} 分解能で $1\sigma = 39 \text{ mK}$) と空間分解能 ($\sim 30 \text{ pc}$) を兼ね備えた $^{12}\text{CO}(J = 2 - 1)$ マップを得た。

この CO マップに対し、我々は PYCPROPS アルゴリズム (Rosolowsky et al. 2021) を適用することで 848 個の分子雲を同定・カタログ化した。これを IRAM 30 m 鏡による 49 pc 分解能観測に基づく GMC カタログ (Corbelli et al. 2017) と比較すると、IRAM で同定された大きな (典型的に $3 \times 10^5 M_\odot$ 以上の) GMC は ACA 観測によって複数個の分子雲に分解されることがわかった。また、こうした大きな GMC が示す速度分散は、その内部に含まれる個々の分子雲の速度分散よりも、分子雲同士の視線速度差による寄与が大きい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](#)

R07a NGC 1068 の ALMA 多輝線データを用いた主成分分析による特徴抽出

大久保宏真 (筑波大学)、斉藤俊貴 (国立天文台)、高野秀路 (日本大学)、久野成夫 (筑波大学)

ALMA 望遠鏡を用いた観測により、暗い分子輝線を多数検出できるようになった。これにより系外銀河における分子輝線の豊富さと多様性が解明されつつある。一方で、検出される分子輝線数が増加したことにより複雑性が増大し、一貫した解釈が困難になっている。この問題を解決するため、教師なし機械学習の一種である主成分分析 (Principal Component Analysis : PCA) を用いて、情報をなるべく維持しつつ次元削減を行うことにより一貫した解釈を目指す。我々は近傍のタイプ 2 セイファート銀河であり、かつ活動銀河核 (Active Galactic Nucleus : AGN) 周辺において星形成が活発なスターバーストリングを持つことで知られている NGC 1068 の特徴を調べるため、ALMA の Band3 (100 GHz 帯) で取得した 15 個の積分強度マップを用いて PCA を行った。その結果、分子輝線の約 8 割は以下のような 2 つの特徴に分類されることが示唆された。(1) 第一主成分は AGN や AGN を取り囲む円盤状のガスやダストの構造 (Circumnuclear Disk : CND) に正の偏差、スターバーストリングに負の偏差が表れた (約 6 割)。(2) 第二主成分はスターバーストリングの東西に正の偏差、南北に負の偏差が表れた (約 2 割)。これらの特徴についてより詳しく理解するために主成分得点を調べたところ、以下のことが明らかになった。(1) 第一主成分得点は HC_3N が正に大きな値を持ち、CO 同位体は負に大きな値を持つ。(2) 第二主成分得点は CO(1-0) が正に大きな値を持ち、 $\text{C}^{17}\text{O}(1-0)$ は負に大きな値を持つ。 HC_3N は AGN や CND のトレーサーであり (e.g., Takano et al. 2014)、CO 同位体はスターバーストリング付近に主に分布していることが知られている (e.g., Tosaki et al. 2017)。このことから、PCA はこれらの特徴をよく捉えていると言える。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

R08a 近傍セイファート銀河 NGC 1068 における HCN(1-0)/CO(1-0) 強度比を用いた励起状態および存在量の研究

渡邊 友海, 馬場 一晴 (福島大学), 高野 秀路 (日本大学), 五十嵐 創 (日本大学/国立天文台), 斉藤 俊貴, 原田 ななせ, 今西 昌俊, 植田 準子, 泉 拓磨 (国立天文台), 中島 拓, 谷口 暁星, 田村 陽一 (名古屋大学), 河野 孝太郎, 西村 優里 (東京大学), 濤崎 智佳 (上越教育大学)

本研究は、現在の宇宙で典型的な銀河でのブラックホール活動を定量的に調べることで、銀河の進化の過程を明らかにすることを目的として、典型的な近傍セイファート銀河の 1 つである NGC 1068 に存在する分子ガスの物理状態を調べる。NGC 1068 は、中心部に巨大ブラックホールがあり、それを取り囲むガス (Circumnuclear disk: CND) (半径 ~ 0.2 kpc) がある。また、CND を取り巻くリング状の腕 (半径 ~ 1 kpc) には、大質量星が多数形成されている爆発的星形成領域 (Starburst ring: SBR) があり、多様な環境下での星形成活動と分子ガスの関係の研究するのに最適である。中でも、高密度領域をトレースするため、HCN 分子に着目した。ALMA で得られた HCN(1-0)、CO(1-0) のデータを使い、60 pc の高分解能かつ高感度で、HCN/CO 強度比の分布図を作成した。

現在までの解析で、CND とその周辺で強度比が 1 以上という値であることを示した (2022 年秋季年会の講演)。これは、渦巻銀河の典型値 0.1 と比べると異常に高い値である。その原因として考えられるのが、HCN 分子の励起異常または存在量の異常である。励起状態を明らかにするために、スペクトル解析および LVG 計算 (RADEX; van der Tak et al. 2007) を行った。スペクトル解析の結果、CND でメーザーの兆候は得られなかった。また、LVG 計算の結果、HCN/CO の存在量比 10^{-3} 、密度 10^4 cm^{-3} 、温度 10-200 K の範囲であれば、この強度比を説明できることがわかった。存在量が高くなる原因としては、電波ジェット、AGN の X 線放射などが考えられる。

[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](#)

R09a NGC 1068 における銀河スケールでの高密度ガスのトレーサー分子の研究

高松 睦, 渡邊 友海, 馬場 一晴 (福島大学), 齊藤 俊貴 (NAOJ), 高野 秀路 (日本大学), 五十嵐 創 (日本大学/NAOJ), 原田ななせ (NAOJ), 中島 拓 (名古屋大学)

銀河内での星の形成を調べることは、銀河全体の進化の理解につながる。星形成は星間物質の状態と密接に関わっており、低温高密度の分子雲で起こると考えられている。その中でも密度の高い領域で星が形成されるため、高密度ガスの観測は重要である。今までの研究では双極子モーメントが大きく、回転遷移の臨界密度が大きい ($\sim 10^4 \text{ cm}^{-3}$) とされている分子 $\text{HCN}(J=1-0)$ が、高密度ガストレーサーとして用いられてきた (Gao and Solomon 2004)。しかしながら $\text{HCN}(J=1-0)$ が高密度ガスのトレーサーとして適切であるかには、議論の余地がある (Shirley et al. 2015)。本研究では、系内分子雲で行われた研究 (Kauffmann et al. 2017, Watanabe et al. 2017) の報告に基づき、高密度ガスのトレーサーとして $\text{N}_2\text{H}^+(J=1-0)$ に着目する。

2 型セイファート銀河 NGC 1068 を観測天体に選定した。NGC 1068 はフェイスオンに近い銀河であり、近傍宇宙にあるため観測がしやすく構造が分かりやすいため、比較的研究が進んでいる。ALMA の観測から 150 pc 分解能のデータを用い、銀河中心から 0.8 kpc を AGN ジェット領域としてマスクしたデータを用いた。 $^{13}\text{CO}(J=1-0)$ を分子ガス全体のトレーサーと仮定し、 C_2H 、 N_2H^+ 、 CN 、 HCN それぞれとの輝線比を取り、高密度領域で選択的に強く観測される分子を調べた。結果はどれも同じように相関しており、特徴的な分子輝線は見つからなかった。本講演では、この結果について、空間分解能と密度トレーサーの妥当性という観点から考察する。

[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](#)

R10a 近傍銀河 NGC 1068 における星形成率分布の高精度の画像化

長嶋悠月, 渡邊友海, 馬場一晴 (福島大学), 高野秀路 (日本大学), 五十嵐創 (日本大学/国立天文台), 齊藤俊貴, 原田ななせ (国立天文台), 中島拓 (名古屋大学)

星は銀河の主な構成要素である。そのため、星形成率 (SFR) の正確な測定は、銀河の進化過程を理解する上で大変重要である。星形成に関連して、大量の大質量星が短期間に形成される現象は、スターバーストと呼ばれる。一部の渦巻銀河では渦状腕に沿ってリング状の構造を作ることから、その領域はスターバーストリング (SB ring) と呼ばれる。本研究では、ALMA で観測した 100 GHz 帯 (波長 3 mm) の自由-自由放射と、HST で得られた近赤外線領域に存在する水素再結合線 $\text{Pa}\alpha$ 輝線、という 2 つの独立した SFR のトレーサーを用いて、近傍の典型的なセイファート銀河 NGC 1068 の SFR マップを導出した。100 GHz 帯の自由-自由放射は、波長が長く、原理的に塵による減光がないため、紫外線、可視光、近赤外線でのトレーサーよりも信頼性が高い。そのため、自由-自由放射は、銀河の若い大質量星からの放射による電離を直接トレースすることができる。一方で $\text{Pa}\alpha$ 輝線のような、1 μm 以上の赤外線波長は塵の影響を比較的受けにくく、水素の輝線は特に強い強度を持つ。そこで、減光を受けないが微弱な自由-自由放射と、比較的減光に強く明るい $\text{Pa}\alpha$ 輝線のマップから SFR を求めた。そして 2 つの波長のデータから求めた SFR の散布図を作成し、最小二乗法による回帰直線を用いて 2 つの SFR を比較することで、妥当な SFR を導出した。それにより NGC 1068 の 60 pc 分解能での、減光補正された SFR マップを初めて作成した。その結果、SB ring 全体での SFR は $6.9 \pm 0.4 \text{ M}_\odot/\text{yr}$ であり、main-sequence 銀河の結果と一致する。今回、銀河全体で一つの電子温度を仮定し SFR を求めたが、この仮定の妥当性を調べるために、電子温度の空間分布についても考察した。

[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](#)

R11b NGC 253 中心部におけるガスダイナミクスの解明 II: 分子ガスの幾何構造

榎谷玲依 (国立天文台/岐阜大学), 小西諒太郎, 村岡和幸, 大西利和 (大阪公立大学), 福井康雄, 立原研悟 (名古屋大学)

スターバースト銀河 NGC 253 中心部の星形成率は、天の川銀河中心部の数十倍であるため、この領域の分子ガスは星団のフィードバックでより大きな影響を受けていると考えられる。一方で、両者の中心分子層はガス分布などの類似点が指摘されている (Sakamoto+11)。そこで本研究では、星団がどの程度ガスに影響を及ぼすのかを正確に見積もるために、NGC 253 中心部のガスダイナミクスを解明し天の川銀河中心部との詳細な比較を行う。まず、観測データから、ppv 空間上で一連の構造 (coherent structure) を同定し、14 の clump 状構造と 14 の stream 状構造を同定した (同定手法について詳しくは 23 年春季年会小西ら講演参照)。これらのうちのいくつかの stream と clump は、pv 図上で逆正接関数でよく fitting ができ、回転運動を示すことがわかった。上述の回転成分すべての足し合わせは、半径約 300 pc、幅 150pc で、 $\sim 150 \text{ km s}^{-1}$ で回転する diffuse gas ring を構成し、その内側約 150 pc 以内には dense gas が密集領域が存在することがわかった。さらに、光学的に薄い $^{13}\text{CO}(J=1-0)$ 輝線から、diffuse gas ring の内縁・外縁に対応する、幅約 10pc の 2 つのたわんだリング構造とそれらをつなぐ 2 つの connecting flow が見られ、これらのリングの位置とサイズは先行研究で予見された x_1, x_2 軌道 (Paglione+04) と概ね一致することがわかった。また、上述の回転ガス以外の coherent structures は、非回転運動を行うガス、中心核へ流れ込む inflow と思われる成分、spiral arm 成分、ダストレーン成分、中心核周囲盤と思われるガスに分類されることがわかった。本講演では、以上の分子ガス成分の位置・速度分布に加え、可視減光の情報をもとに推定した NGC 253 中心部のガスの三次元幾何構造とその運動について検討する。

[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](#)

R12b ALMA-FACTS : 近傍銀河の $\text{CO}(J=2-1)/\text{CO}(J=1-0)$ 比の空間変動に関する系統的サーベイ

小麦真也 (工学院大学), 澤田剛士 (合同アルマ観測所), 幸田仁 (Stony Brook University), 廣田晶彦 (合同アルマ観測所), 江草美実, 前田郁弥 (東京大学天文学教育研究センター)

銀河の分子ガスの指標として永らく利用されてきた CO 輝線は、近年では回転励起の $J=2-1$ 輝線が感度・分解能の面で有利であるため観測されることが多い。一方で、分子ガス量に換算するための CO-to- H_2 コンバージョンファクタは $\text{CO}(J=1-0)$ をもとにしているため、一定の $\text{CO}(J=2-1)/\text{CO}(J=1-0)$ 輝線比 (R_{21}) を仮定することが一般的となっている。しかし R_{21} はガスの密度や温度によって変化し、天の川銀河やいくつかの系外銀河では分子雲ごと、あるいは渦状腕の上流下流での R_{21} の違いが観測されている。これらは星形成前後のガス圧縮や加熱プロセスと関係していると考えられる。

我々は銀河の領域ごとの R_{21} の多様性を探るための系統的な $\text{CO}(J=1-0)$ サーベイ、ALMA-FACTS (Fundamental CO Transition Survey) を ALMA Cycle 9 より開始した。対象は $\text{CO}(J=2-1)$ を観測した PHANGS, Spitzer SINGS, Herschel KINGFISH の共通天体 11 天体である。これらは星質量 $\log M_* = 9.4 - 10.7$, 赤外線光度 $\log L = 9.5 - 10.7$ で多様な星形成や形態 (バーの有無) を含む。距離は 15Mpc 以内で視直径 $5 - 12'$ であり、Total Power, Morita-Array, 12m array を取得予定である。質量感度は $10^5 M_\odot$ を目指している。

2023 年 6 月時点で Total power データがほぼ全て deliver されているが、すでに銀河内での R_{21} 変動が明らかになりつつある。本講演ではプロジェクトの紹介と、年会時点のデータから見てきた R_{21} 分布を紹介する。

[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](#)

R13b ALMA による近傍活動銀河 NGC 7469 における中心領域 (AGN vs SB 領域) の物理化学状態の比較

中野すずか, 泉拓磨, 中西康一郎 (総合研究大学院大学/国立天文台), + NGC 7469 collaboration

超巨大ブラックホール (supermassive black hole: SMBH) の有力な成長メカニズムとしてガスが豊富な複数の銀河の衝突合体に起因する SMBH へのガス降着が考えられている (e.g., Hopkins et al. 2007)。そうした激しい質量降着を伴う SMBH は活動銀河核 (active galactic nucleus: AGN) として存在するが、発現したばかりの AGN は塵の奥深くに埋もれているため、rest-UV から optical までの波長帯で発見することは非常に難しい。そのため塵の影響が少ない mm/submm の波長帯での熱源診断は塵に埋もれた AGN を発見するために非常に重要となる。

Izumi et al. (2020b) では、近傍銀河 NGC 7469 の AGN 周辺 ~ 100 pc 程度の領域で、同銀河の星形成 (SB) 領域に比べて 10 倍近く高い $[\text{CI}](1-0)/^{13}\text{CO}(2-1)$ 比が報告されている。ここから AGN 領域では非常に高いガス励起 (温度) と強い X 線放射による CO 分子の解離が引き起こされ、高い $[\text{CI}]/^{13}\text{CO}$ 比を持つことが考えられる。このシナリオを定量的に評価するために、非局所熱平衡 (non-LTE) 解析を行い、化学モデルとの比較を行った。NGC7469 の AGN 領域と SB 領域に対し、RADEX コード (van der Tak et al. 2007) を用いて、 $[\text{CI}](1-0)$, $^{13}\text{CO}(2-1)$, $^{12}\text{CO}(1-0)$, $(2-1)$, $(3-2)$ の 5 輝線をモデル化し、運動温度 (T_{kin})、 $[\text{C}^0]/[\text{CO}]$ 存在比、CO 柱密度 (N_{CO}) の最適値を探した (H_2 体積密度 (n_{H_2}) を固定)。その結果、 T_{kin} と $[\text{C}^0]/[\text{CO}]$ は SB よりも AGN で高く、 N_{CO} は SB よりも AGN で低いことが分かった。これは、X 線解離領域モデル (Meijerink & Spaans 2005) と同様の傾向である。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

R14a 星形成から数 100Myr の短時間に起こる、巨大分子雲による円盤加熱と恒星の動径移動

藤本裕輔 (会津大学), 犬塚修一郎 (名古屋大学), 馬場淳一 (鹿児島大学)

太陽系を含む銀河系の星々は、時間経過に伴い誕生時の円軌道から逸脱し、半径方向の混合や垂直方向の加熱を経験してきた。銀河恒星円盤で起こる円盤加熱や恒星移動の素過程を理解することは、太陽系 46 億年の変遷や天の川銀河の進化を理解する上で重要である。我々は巨大分子雲による重力散乱に着目し、銀河系円盤の流体力学シミュレーションを行った。そして円盤内に初期配置されたトレーサー粒子が、巨大分子雲との重力相互作用によってどれだけ初期の円軌道から外れていくかを調べた。渦状腕や棒状構造など、恒星の軌道を変化させ得る他の物理過程の影響を排除するため、銀河モデルとしての軸対称の外場ポテンシャルを用いた。まず、半径方向と垂直方向の速度分散 σ_R と σ_z の時間発展を、 $\sigma \propto t^\beta$ のべき乗関係と比較することで定量的に調べた。加熱係数 β は時間とともに減少するが、1 Gyr で $0.3 \sim 0.6$ と大きな値を保つことがわかった。これは銀河 10 回転未満という短時間での効率的な円盤加熱を示している。次に、その分子雲による効率的な恒星散乱は、各恒星の角運動量の変化、つまり半径方向の移動も引き起こすことを発見した。この効果は古い円盤星よりも誕生直後の星で顕著であり、その 30% 近くが 1 Gyr の間に半径方向に 1 kpc 以上移動することがわかった。これら円盤加熱と動径移動は最初の数 100 Myr 以内に急激に起こっており、しかしその増加率は時間経過とともに小さくなる。これは鉛直方向の振幅の増加につれて分子雲が多く分布する銀河面付近での滞在時間が短くなり、分子雲によって重力散乱される機会が減るためと考えられる。結論は、巨大分子雲による重力散乱は星形成から数 100 Myr 以内という銀河数回転の短時間で円盤加熱と恒星移動を引き起こす、である。(MNRAS にて出版受理済: arXiv:2305.07050)

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

R15a 撮像画質差が深層学習による合体銀河分類器に与える影響と原因の調査

町田瑞樹 (新潟大学), 大井渚 (北海道情報大学), 飯田佑輔 (新潟大学)

合体銀河は銀河進化を解き明かす重要な情報となる。その合体銀河を効率的に集めるために Ackermann ら (2018) を初めに深層学習を用いた画像分類が研究されている。彼らは低解像度・低感度データである Sloan Digital Sky Survey (SDSS) と市民天文学プロジェクト Galaxy Zoo を基にしたカタログで高精度な分類器を作成した。ただ近年では Hyper Suprime-Cam (HSC) のような撮像器が提供する高解像度・高感度データによって淡い構造の撮像が可能となり、同一銀河への投票が非合体から合体へと覆ることがあるため、分類器の再作成が求められる。新たな分類器と従来のものでは、使用するカタログで正解が異なるため単純に性能を比較できない。そこで本研究では、学習に利用するデータの質の違いによる分類器性能の向上を調べ、その改善理由の調査に挑戦した。まず高解像度・高感度である HSC 画像と市民天文学プロジェクト GALAXY CRUISE (GC) をラベルとした合体銀河分類器と、低解像度・低感度データである SDSS 画像と GC をラベルとした分類器を作成した。データの質の違いを比較するために、両分類器の使用天体は GC の投票結果を用いて合体・非合体銀河と定めた合計 1500 天体に統一した。二つの分類器の分類精度を比較した結果、HSC は 84.6 %、SDSS は 69.8 % で HSC が向上した。そのため HSC 分類器は高解像度・高感度による特徴を活かしていると考えている。次に分類結果に対して画像内で有効であった重要箇所を分類根拠提示手法により可視化し、両分類器の重要箇所の変化を調べることで、誤分類改善を引き起こす高解像度・高感度における視覚的な特徴を明らかにすることに試みた。各分類器での重要箇所マップを定性的に見比べると、HSC 分類器は中心ではなく周辺構造を大きく着目する傾向が見られた。このため HSC 分類器は淡く広がった周辺構造を認識し、それが分類精度向上に寄与してい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](#)

R16a 伴銀河からの外的摂動に起因する銀河系円盤の振動

朝野哲郎, 藤井通子 (東京大学), 馬場淳一 (鹿児島大学), Simon Portegies Zwart, Jeroen Bédorf (Leiden University)

Gaia 衛星の位置天文観測によって天の川銀河の星の位相空間分布が大規模かつ高精度に求められている。特に、第二期データ公開 (Gaia DR2) 以降、銀河系円盤の非定常性を示唆する結果が多く得られている。例えば、太陽系近傍の星の z - v_z (z と v_z は、それぞれ銀河円盤に鉛直方向の位置と速度) 分布には、phase spiral という構造が発見された (Antoja et al. 2018)。また、Kawata et al. (2018) では、 v_z を銀河中心からの距離 R の関数として描くことで、銀河円盤の振動構造が示された。これらの結果は、銀河系円盤が過去に強く摂動を受けたことを示唆していて、いて座矮小銀河が摂動源として最も有力視されている。

我々は、伴銀河が天の川銀河の力学構造に与える影響を調べるために、天の川銀河を模した孤立円盤銀河モデル (Fujii et al. 2019) に、いて座矮小銀河に対応する伴銀河を追加して、大規模 N 体シミュレーションを行った。粒子数は合計で約 50 億であり、ダークマターハローも粒子系で表現することで、ハローと円盤の相互作用や力学摩擦による伴銀河の軌道減衰なども考慮している。シミュレーションの結果、伴銀河の近接遭遇時に銀河円盤の振動が励起され、phase spiral などの位相空間サブ構造が発生することを確認した。この振動には、銀河面の上下が同方向に振動する bending と逆方向に振動する breathing という二つのモードが存在し、それぞれ異なるメカニズムで発生することがわかった。bending モードが伴銀河による外的摂動によって直接的に励起されるのに対して、breathing モードは外的摂動によって発生した渦状腕 (tidally induced spiral arms) に付随して現れた。本講演では、Gaia によって実際に観測されている phase spiral の構造と各振動モード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](#)

R17a 渦巻銀河における形態学的特徴の検出手法の開発

清水一揮, 徂徠和夫 (北海道大学)

銀河における星生成率は銀河ごと、更には一つの銀河の中でもその形態学的特徴(渦状腕・棒状構造など)に応じて異なる値をとることが知られる。銀河の形態学的特徴はその銀河の星形成の歴史の違いを反映していると考えられるため、形態学的特徴ごとに星生成を考えることは重要な意味を持つ。

形態学的特徴ごとの星生成について論じた先行研究は目視によって画素を同定しているため主観的な要素を排除できておらず、多くの銀河を用いて統計的な議論を行うには不適切である。このような研究においては銀河の画像の各画素がどの特徴に属するか同定する必要があるが、客観的な画素の同定方法は未だ確立されていない。

目視による形態学的特徴の同定においては銀河全体の強度勾配はほぼ無視されており、局所的に強度が周辺より高い部分が渦状腕や棒状構造のような構造として同定される。本研究ではこの方法を利用して銀河の形態学的特徴を検出する手法の開発を行った。局所的に強度が周辺より高い領域を検出するために構造の断面の幅を決定し、その幅よりも大きなスケールの勾配を持った強度成分を差し引くことで局所的に強度の高い成分のみを取り出した。取り出した構造は点源を除外した上で中心領域・中心領域を通る直線的構造である棒状構造・それ以外の渦状腕に分類した。本手法によって、銀河の見かけの大きさ・円盤の傾きなどのパラメータを必要とせず、画像のみから銀河の形態学的特徴を目視による分類と一致するように分類することが可能となった。

発表においては各構造を更に渦状腕間・棒と腕の接続領域にも分類した上で、形態学的特徴ごとの星生成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](#)

R18a すざく衛星を用いた銀河系の超巨大バブル構造の解析

島谷侑希, 松下恭子, 小林将悟, 福島光太郎 (東京理科大学)

eROSITA 衛星により銀河系中心から南北に約 80 度のスケールで広がる、バブル状の巨大な構造、eROSITA バブル (以下、バブル構造) が発見された (Predehl+20)。このバブル構造はフェルミバブルの外に広がり、銀河中心領域での活動銀河核との関連が指摘されている。バブル構造からの X 線は比較的低エネルギーであるために、この帯域でバックグラウンドが低く、やや優れたエネルギー分解能をもつ「すざく衛星」の観測データが有用である。Gupta+23 らは、すざく衛星により観測されたバブル構造のスペクトルは 0.3 keV と 0.8 keV の 2 成分の熱的プラズマで再現でき、Ne、Mg/O 比が高いことから、銀河中心領域の星形成によるフィードバックがバブル構造を形成したと提唱した。このバブル構造のうち特に明るい North Polar Spur 領域においては、高温の成分は電離非平衡状態であることが Yamamoto+22 により示唆されている。

本研究では、すざく衛星によるバブル構造の約 30 観測のデータを解析した。Gupta+23 と同様に 0.3 keV と 0.8 keV の 2 成分の熱的プラズマでスペクトルを再現することができた。前者も銀河系のヴィリアル温度より高い。2 成分の温度の銀経や銀緯に対する依存性は見られなかった。2 成分の輝度はどちらも、銀河系中心を頂点とする逆円錐形を仮定するとおおむね再現することができた。一方、球殻の形状を仮定した場合は輝度分布を再現することができなかった。バブル構造のプラズマの重元素組成比、電離非平衡状態についても報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

R19a *XMM-Newton* RGS で探る M82 中心の O, Ne, Mg 組成比と電荷交換反応の寄与

福島 光太郎, 小林 翔悟, 松下 恭子 (東京理科大学)

XMM-Newton 搭載の回折格子 RGS は入射光の空間的な分散を利用して X 線分光を行なう。とくに < 1.7 keV で優れた波長分解能を示し、O, Ne, Mg 輝線などの分光に威力を発揮する。天の川近傍 (3.6 Mpc) の M82 銀河は大規模な銀河風をもつ典型的なスターバースト銀河で、CCD の解析から電荷交換反応の寄与が示唆されていた (e.g., Konami+11)。Zhang+14 ではさらに RGS データ (50 ks) を利用することで、M82 における Ne/O, Mg/O 比が太陽の 2 倍程度と高いことを報告している。また強い O VII 禁制線 (0.56 keV) を再現するために、1 温度の電離平衡プラズマモデルのほかに冷たいガスとの電荷交換反応による放射成分が必要であると結論している。

我々は Zhang+14 に加えて複数の M82 RGS 観測データ (合計 240 ks) を用いて中心領域に注目した解析を行った。スペクトルにおいて O VIII 輝線の 0.65 keV 付近には、RGS の分散方向が反転すると強度の大小関係が逆転する 2 本の輝線が存在した (~ 4 eV 差)。分散光を利用する RGS では輝線の位置が放射源の位置情報を反映して変化する。分散方向で強度が変わる 2 本の O VIII 輝線は空間的に位置が異なるガス成分の存在を示唆するのかもしれない。実際、M82 中心の O VIII 帯画像には明るさの異なる 2 つのピークがみられた。さらに Zhang+14 と分散方向が 180° 異なる観測では強い O VII 禁制線がみられず、空間的に異なる放射成分を仮定すると O VII と弱い O VIII 輝線を出す 0.2 keV 程度の成分が存在すれば電荷交換反応なしでもスペクトルをおおむね再現することができた。強い O VIII 輝線の方は 2 温度 ($\sim 0.5, 0.8$ keV) で再現でき、組成比は Ne/O, Mg/O が 0.6–0.8 倍太陽と銀河団での値 (Fukushima+23 subm.) に近かった。講演ではより複雑なモデルを用いて組成比や電荷交換反応の寄与・空間分布を考察し、*XRISM* による観測の重要性についても議論する予定である。

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

R20a NGC5128 におけるジェットとプラズマ温度の関係

浦田岬, 榎木大修, 深澤泰司 (広島大学)

楕円銀河の中心には巨大質量ブラックホール (以下 BH) があるとされており、BH の重力で周囲の物質が降着している。質量降着率が高いときには、BH 周辺は極めて明るく輝いており、この明るく輝く領域は活動銀河核 (AGN) と呼ばれている。また、BH から物質が光速に近い速度で吹き出す「ジェット」と呼ばれる現象も起きている。質量降着とジェットの 2 つの現象によって BH 周辺の高温ガスは擾乱されている。楕円銀河 NGC5128 は過去に打ち上げられた X 線天文衛星により多数観測され、AGN (CenA) とジェットの構造が見えやすい天体である。本研究ではこの NGC5128 をターゲット天体として、3 つの X 線天文衛星「すざく」「Chandra」「XMM-Newton」が観測した NGC5128 の X 線スペクトルから、銀河内のプラズマ温度分布について解析を行った。はじめに、解析領域を銀河中心から同心円状にとり、銀河中心からの距離によって温度がどのように変化するかを調べた。その結果、NGC5128 は中心領域 ($20''$ – $60''$) においてガス温度が約 0.7 keV 程度で、 $60''$ より外側では 0.5 keV 以下まで低下しており、 $60''$ – $120''$ で急激な温度勾配を持つような構造をしていることが判明した。加えて、解析領域をジェットとの距離に応じて区分し、ジェットが楕円銀河のガス温度にどのような影響を及ぼすのかについて議論を行った。本講演では、これら NGC5128 の高温ガスの温度構造について報告し、ジェットとの相互作用について議論する。

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

R21a ALMA による分子ガス観測で探る FRB191001 母銀河の性質

山中逸輝 (東京大学), 河野孝太郎 (東京大学), 廿日出文洋 (国立天文台), 江草美実 (東京大学), 橋本哲也 (国立中興大学), 新納悠 (東京大学), Tzu-Yin Hsu (国立清华大学)

Fast Radio Burst (FRB) の起源は未だ不明であり、その発生環境から起源天体に迫るために母銀河の性質が研究されている。特に、最近では星形成の材料となる分子ガスの観測から FRB の起源天体が考察されており、FRB 母銀河の分子ガス質量は GRB や SN といった他の候補天体の母銀河よりも広い範囲の値を取る可能性が示唆されていた。しかし、有意な結果を得るほどのサンプル数はなく、空間分解された例も少ないという問題点があった。また、その中には相互作用中の銀河もあり、分子ガスの乱れに起因する最近の星形成の活性化と FRB 前駆天体の形成に関連がある可能性も示唆されている。本研究では、伴銀河を持つ FRB191001 母銀河 ($z = 0.2340$) を ALMA で観測し、両銀河から CO(2-1) 輝線を検出した。得られた分子ガス質量 ($(2.3 \pm 0.4) \times 10^{10} M_{\odot}$) は他の FRB 母銀河よりも大きく、FRB 母銀河が多様な分子ガス性質を持つ可能性がさらに強調された。このことから、FRB は複数の起源天体を持つ可能性や星形成に依存しないような前駆天体を持つ可能性が挙げられる。伴銀河との相互作用については、分解能約 $0''.9 (3.5 \text{ kpc})$ で空間的に分解した CO(2-1) 輝線の速度場の解析から母銀河の運動学的構造を推定した。速度場はスムーズな回転運動を示しており、分子ガスが大きく乱されたような構造は見られなかった。このことから銀河間相互作用の影響は小さいと考えられ、分子ガスの乱れと FRB 前駆天体の関連性についてはさらなる検証が必要である。さらに、より局所的な発生環境を探索するため、FRB 検出地点での分子ガス柱密度の算出も行った。上限値で求められた柱密度が Ibc/IIb 型超新星の平均値よりも小さかったことから、FRB191001 と stripped envelope 型の超新星とでは前駆天体の分子ガス環境が異なる事が示唆される。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

R22a 潮汐矮小銀河の分子ガスの性質 1

前田郁弥, 江草美実, 河野孝太郎, 辻田旭慶, 井上修平 (東京大学), 廿日出文洋 (国立天文台), 太田耕司, 浅田喜久, 井上真 (京都大学), 濤崎智佳 (上越教育大学), 小麥真也 (工学院大学), 金子紘之 (新潟大学), 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)

衝突銀河では潮汐力によって放出された中性水素ガスから成る tidal tail の中でも星形成領域が存在していることが知られており、これらは潮汐矮小銀河 (Tidal Dwarf Galaxy; TDG) と呼ばれる。TDG は、円盤銀河で見られる渦状腕のような大規模構造が存在せず、さらには潮汐力の影響で暗黒物質もほとんど存在しない特殊な環境である (e.g., Lelli+15)。このような極限環境下での星形成を解析することは、一般的な円盤銀河の星形成との比較を通じて、宇宙での星形成プロセスの普遍性を検証する観点から重要であると考えられる。

星形成プロセスを明らかにするには、星の材料である分子ガスの性質を調べるのが重要である。過去に TDG を対象とした CO 観測はいくつか行われてきた (e.g., Braine+01) が、観測対象は星形成が見られる領域に集中していた。そこで我々は、近傍の典型的な衝突銀河であるアンテナ銀河の tidal tail に存在する TDG とその周辺の星形成が見られない領域も対象に、野辺山 45m 望遠鏡を用いて CO(1-0) 観測を行った。観測の結果、星形成が見られる領域だけではなく、星形成が見られない領域においても CO 輝線を検出した ($\sim 10 M_{\odot} \text{ pc}^{-2}$)。これより、分子ガスと中性水素ガスの質量比 (H_2/HI) は星形成の有無に関わらず 1 以上であること、さらに星形成効率 ($\text{SFR}/\text{H}_2 + \text{HI}$) は同じ H_2/HI の円盤銀河と比べて 1 桁以上低いことがわかった。以上の結果は、TDG とその周辺は普通の円盤銀河に比べて星形成が起きにくい環境であることを示唆しており、その原因としては、潮汐力の影響で重力的に束縛されていない分子雲が多いことや希薄な分子ガスが多いことが考えられる。

[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](#)

R23a PFS 観測に向けた $z \sim 1.6-2.4$ の [OII] 輝線銀河のターゲットセレクション

山田祐佳 (東京大学), ChangHoon Hahn (Princeton University)

すばる望遠鏡で行われる PFS 観測では、広い波長領域を利用し $z \sim 0.8-2.4$ の [OII] 輝線銀河を観測できる。本研究では $z \sim 1.6-2.4$ の [OII] 輝線銀河を効率よく観測するためのターゲット選定を行う。

$z \sim 1.6-2.4$ の [OII] 輝線銀河が広視野分光観測において主なターゲットとなるのは初めてであり、その性質やスペクトルの特徴などはわかっていないことが多い。そのため、現在測光観測をもとに推定されている赤方偏移には大きな不定性が予測されている。本研究では HSC 撮像データと併せて、COSMOS2015 の撮像データを SED テンプレートでフィッティングし、バンドの等級や [OII] 輝線の光度を求めたカタログ (ELCOSMOS) を用いて選定を行った (Shun et al, 2020)。HSC は観測データなので、色分布が実際の PFS 観測と近いことが想定される一方、ELCOSMOS は COSMOS2015 の測光バンドの数が HSC よりも多いため、より精度よく赤方偏移が求められると期待される。ELCOSMOS では SED から計算したライマン連続光の光度をもとに、[OII] 輝線の SNR が求められており、我々は SNR が 6 以上のターゲットを選ぶために g バンドでの等級が 24.5 以下のものを選定した。

HSC と ELCOSMOS それぞれで [OII] 輝線銀河の色分布を調べたところ、 $z > 1.6$ の領域で特に大きな違いを示すことがわかった。解析の結果、二つの分布の違いの主な原因は HSC にのみ含まれていた等級のばらつきと、表面輝度の小さいターゲットによるものであることがわかった。本研究では ELCOSMOS のデータにも同様なばらつきを加え、HSC のデータから表面輝度の小さいターゲットを取り除くことで二つのデータの色分布を一致させ、ともに適用可能なターゲットセレクションを提案する。

今後は現在行われている試運転で得られるスペクトルをもとに選定を評価、改善していく。

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

R24a すばる望遠鏡 HSC を用いた銀河系中心方向のダスト減光の研究 (2)

鈴木大介 (大阪大学)

銀河系中心方向 ($|b| \sim 5 \text{ deg}$) のダスト減光は、可視光においては主に OGLE チームによる重力マイクロレンズサーベイデータを用いて調べられてきた。より銀河面に近い領域 ($|b| < 2 \text{ deg}$) では、IRSF、VISTA、VLT、*Spitzer* などによる近赤外線を用いた観測により、近赤外線でのダスト減光量が調べられてきた。しかし、銀河面付近においては減光が強いため、可視光ではこれまで観測がされてこなかった。また、 $b \sim -2 \text{ deg}$ 付近において、可視光で測定された減光量と、従来の減光則を用いて近赤外線での減光量から推定した可視光での減光量は一致しないことがわかっていて、このように、銀河面付近における可視光での減光量、減光則はよくわかっていない。将来計画である *Roman*、*JASMINE* や今まさに始まろうとしている PRIME による近赤外線サーベイ観測は、銀河系中心の減光が強い領域を対象としており、これらの領域における可視光での追加観測等の検討を行うためには可視光から近赤外線における減光量、減光則を明らかにする必要がある。本研究では、すばる望遠鏡 Hyper Suprime-Cam の $g, r2, i2, z$ -band を用いて、銀河系中心方向の約 30 平方度を撮像観測した。これらのデータと VISTA VVV Survey データの結果を合わせて解析し、色等級図から Red Clump Giant の色、明るさを求めることで、銀河系中心方向の銀河面における高精度のダスト減光マップを作成できると期待される。

2020 年春季年会 R27a にて進捗を報告したが、Red Clump Giant の色情報のみを使い、より高い空間分解で減光則を導出する方針に切り替え解析を進めた。本講演では、得られた結果及び先行研究との比較について報告する。

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

S01a ジェット・強磁場降着流ハイブリッド多波長放射モデル: 粒子加速機構の影響

久世陸 (東北大学), 木村成生 (東北大学), 當真賢二 (東北大学)

活動銀河核の一部である電波銀河は中心部から相対論的なジェットが噴出していることが確認されている。一部の電波銀河からは電波から高エネルギーガンマ線まで多波長の光子スペクトルが観測されているもののその放射機構、放射領域はわかっていない。電波から X 線の放射源としてジェットからの放射が考えられるが、ジェットでの粒子加速機構は未だ確立されていない。本研究では、アルペーン波の散逸による粒子加速と磁気リコネクションによる粒子加速の二つの場合を考え、それぞれの場合に対して降着流からのガンマ線放射とジェットからの放射のハイブリッド多波長放射モデルを M87 に適用し、観測データを説明できるか検証した。前者の粒子加速機構では、ブラックホール近傍の降着流やウインドの揺動により生成されたアルペーン波の散逸によって粒子は加熱されると仮定する。相対論的に磁化している場合、アルペーン波が効率的に散逸するには摂動磁場の振幅が小さい必要がある。そのため、粒子の加熱が非効率になりジェットから X 線が放射されず、観測データを説明できなくなる。後者の粒子加速機構では、ジェットとその周囲の速度差に起因する KH 不安定性で乱流状態になったジェット内部で磁気リコネクションによって粒子が加速されると仮定する。乱流が持つ磁気エネルギーが大きくなるため、粒子はアルペーン波の散逸シナリオに比べて高エネルギーになり得る。その結果、ジェットからの放射で可視、X 線の観測データが説明できる。従って、ジェット内部で磁気リコネクションによって効率的に磁気エネルギーが非熱的粒子のエネルギーに転換されていることが示唆される。

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

S02a 時間変動する三日月状シャドウと輝度重心解析によるブラックホールスピンの推定

高橋幹弥 (筑波大学), 川島朋尚 (東京大学宇宙線研究所), 大須賀健 (筑波大学)

Event Horizon Telescope (EHT) による楕円銀河 M87 中心の超大質量ブラックホール (BH) シャドウの観測では、BH 質量はおおよそ $6.5 \times 10^9 M_{\odot}$ と推定された。しかし、BH スピンについては依然として不定性が大きく角運動量ベクトルが地球から遠ざかる方向であるという程度の制限しか得られていない。Kawashima et al.(2019) では、やや質量降着率が高くシンクロtron自己吸収に対して光学的に厚い降着円盤が存在する場合、三日月状の暗い領域 (三日月状シャドウ) が現れることを発見した。三日月状シャドウは光子リングと円盤内縁付近からの放射が作るリング状の領域の間に現れ、その有無や幅が BH スピンに依存することも突き止めた。この研究では定常な降着円盤を仮定しているが、M87 の BH 近傍領域は数日程度の時間スケールで変動すると考えられ、質量降着率の時間変化による三日月状シャドウの変動は BH スピンの測定に影響を及ぼす可能性がある。

そこで本研究では、BH スピンと円盤の密度変動幅をパラメータとし、観測イメージの数日程度の時間変動を計算した。その結果、密度の変動によって観測イメージの輝度重心は BH スピン軸方向に移動し、その軌道は BH スピンが大きく密度変動が大きいほど大きく移動することがわかった。三日月状シャドウの幅は BH スピンが大きく密度変動が大きいほど大きく減少することがわかった。この二つを組み合わせることで BH スピンと密度変動の幅を独立に制限することが可能となる。例えば輝度重心の軌道のスピンの軸と平行方向の移動距離が垂直方向の移動距離の 2.0(2.6) 倍で、三日月状シャドウの幅の変動が $1.5(1.6)r_g$ の場合、BH スピンは $0.9(0.75)$ 程度と推定される。

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

S03a 輻射駆動アウトフロー起源の広輝線領域 II

和田桂一 (鹿児島大学), 工藤祐己 (東北大学), 長尾透 (愛媛大学)

活動銀河核 (AGN) の内部構造はそのスケールの小ささゆえに未解明な点が多い。分光学的特徴等から AGN 内部には 6 桁以上の空間スケールにわたる多様な構造が存在しているとされる。それらは 1) 広輝線領域 (BLR)、2) 遮蔽トーラス (torus)、3) 狭輝線領域 (NLR) と解釈され、観測者が AGN を見込む角度によってスペクトルが変わるという統一モデルが 80 年代に提唱された。しかし、このパラダイムでは AGN の様々な要素間の関係や起源を物理的に説明できていなかった。一方、我々は輻射流体計算に基づく動的な描像 (輻射駆動噴水モデル) を提案し、セイファートタイプの低光度 AGN においては、torus と NLR、そして、回転軸方向に伸びた赤外線構造 (polar dust emission) といった $\text{pc} \sim 10 \text{ pc}$ スケールの構造を統一的に再現することや、1 型 2 型の SED を矛盾なく説明できることを示した (Wada et al. 2012, 2016)。このモデルは ALMA による分子・原子ガスの高分解能観測や X 線スペクトルもよく説明する (Izumi et al. 2018, Wada et al. 2018; Ogawa et al. 2022)。今回われわれは $10^7 M_\odot$ の巨大ブラックホールの周辺 $10^{-4} \sim 1 \text{ pc}$ でのガスダイナミクスを 2 次元軸対称輻射流体計算により高分解能 (10^{-5} pc) で求め、電離スペクトル計算コード Cloudy (Ferland et al. 2013) を用いて多次元計算し、紫外線～可視光でのスペクトルを求めた。その結果、BLR に特徴的な $\text{H}\alpha$ 、 $\text{H}\beta$ などの幅広い特徴的な輝線が得られた。これらの輝線はダストトーラス内縁 (昇華半径) 付近の構造に対応している。しかし、計算で得られた輝線と典型的な観測を比較すると、観測を説明できていない点もあり、そのことから、BLR には半径方向に内部構造があることが示唆される。また、アウトフローの影響を受ける輝線と回転成分が卓越する輝線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](#)

S04a 輻射駆動噴水モデルに基づく AGN 分子インフローの観測可能性の検証

馬場俊介, 和田桂一 (鹿児島大), 工藤祐己 (東北大), 泉拓磨 (国立天文台), 松本光生 (ゲント大, 東京大, ISAS/JAXA)

活動銀河核 (AGN) は光学的・幾何学的に厚い遮蔽体、「トーラス」に囲まれており、それに対する視線の傾斜が可視広輝線の観測可否を分けている、と広く理解されている。しかし、その構造を成立させる物理機構については、未だ詳細が明らかではない。我々はトーラスの形成機構として輻射駆動噴水モデル (Wada 2012) を提案し、その検証を進めている。このモデルでは、赤道面を通して AGN へ輸送されるガスが降着円盤の非等方輻射によって飛ばされ、その後再び赤道面へ落下するという循環で、準定常のトーラス構造が自然に作られる。ゆえにモデルの検証には、トーラス内のガスの流れを観測と仔細に比較することが肝要である。最近傍 2 型 AGN の 1 つである Circinus 銀河の最新の高空間分解能 (0.5 pc) 観測では、高密度ガストレーサー $\text{HCN}(3-2)$ が吸収線として逆 P-Cygni プロファイルで検出されており、インフローの存在が明確に示されている。本研究は噴水モデルに基づいて HCN と同じく高密度ガストレーサーである HCO^+ の輻射輸送計算を行い、逆 P-Cygni プロファイルの検出可能性を調べた。 $\text{HCO}^+(3-2)$ が吸収線となるには傾斜角が十分に edge-on でなければならず ($i > 85^\circ$)、この角度は実観測の回転運動モデリングの結果と整合している。いくつかの方位角では逆 P-Cygni が検出されるが、通常の P-Cygni や複雑な速度プロファイルも観測され、インフローの検出は確率的事象かもしれない。逆 P-Cygni プロファイルを生じさせるインフローは半径 $2-10 \text{ pc}$ にあり、観測で解釈された位置 ($\sim$ ビーム径) よりも 1 桁遠いが、インフローレートは $\sim 0.2 M_\odot \text{ yr}^{-1}$ と観測の解釈と同程度である。講演では、輻射駆動噴水モデルでガス質量を変更した場合や輻射の軸を傾けた場合の観測可能性への影響についても議論する。

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

S05a 真空ブラックホール磁気圏における荷電粒子の運動

高橋真聡 (愛知教育大)、遠藤洋太、石原秀樹、小川達也 (大阪公立大)

活動銀河核やガンマ線バースト源の中心領域にはブラックホールが存在し、周囲からプラズマが降着することで様々な高エネルギー天体現象が引き起こされると考えられる。そこは高エネルギー放射や相対論的宇宙ジェット形成領域と期待でき、その活動性に際しては観測的にも磁場が重要な役割を果たしていると考えられている。それゆえ、ブラックホール周囲の磁場の強度と形状を理解することが本質的に重要となる。

本講演では、ブラックホール磁気圏モデルとして幾何学的に薄い降着円盤が作る磁場分布の解（一般相対論的扱いでの Maxwell 方程式の解；Endo et al. 2023 in preparation）を用いて、カオスの挙動の荷電粒子の運動を調べる。ブラックホール・スピン、荷電粒子の角運動量、磁場強度などをパラメータとして、有効ポテンシャルの性質を調べつつ、降着円盤から放出されるの荷電粒子についての磁氣的閉じ込め、ブラックホールへの降着、遠方への脱出について考察する。これを多粒子が運動する状況に拡張し、初期条件の分布に依存した磁気圏としての電荷分布・電流分布を考察する。ここでは、荷電粒子の運動による磁力線間の力の釣り合いについては考察しないが、磁場とプラズマが相互作用する force-free 磁気圏の解および磁気圏プラズマ供給問題に結びつく試みとして問題提起する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

S06a 状態遷移中の活動銀河核における反転磁場合体による円盤加熱

五十嵐太一 (国立天文台・立教大学)、松元亮治 (千葉大学)

近年の観測により、活動銀河核で広輝線が観測されない状態と観測される状態の間を遷移する Changing Look AGN が注目されている。これらの天体では、硬 X 線が卓越した状態と軟 X 線・紫外線が強い状態の間の遷移が生じている。このような状態遷移は、ブラックホール X 線連星におけるハード・ソフト状態遷移と類似している。我々は、中心に太陽質量の 10^7 倍のブラックホールがある場合の降着流の輻射磁気流体シミュレーションにより、降着率が高まって表面密度が光学的に薄く高温の降着流 (RIAF) が存在できる上限を超えると、RIAF が冷えて軟 X 線を放射する $10^6 \sim 10^7$ K の Warm Compton 領域が形成されること、またこの領域が磁気圧優勢になることを示した (2022 年度春季年会)。

恒星質量ブラックホールの状態遷移では、方位角方向の磁場を考慮すると、RIAF と標準円盤を結ぶ磁気圧優勢な熱平衡解が存在することが知られている (Oda et al. 2009, 2012)。そこで、活動銀河核の場合の熱平衡解を求めてシミュレーション結果と比較したところ、表面密度と鉛直方向に積分した全圧力は、ほぼこの熱平衡解に沿って時間発展することがわかった。他方、赤道面温度は熱平衡解よりも 1-2 桁程度高くなることがわかった。この温度超過の起源を、われわれは磁気エネルギー解放による加熱と考えた。そこで、降着流内部の方位角磁場とポロイダル磁場を調べたところ、赤道面に対して反転した方位角磁場が冷却による降着流の鉛直収縮によって赤道面で衝突してリコネクトし、降着流を加熱していることがわかった。さらに、赤道面上下のポロイダル磁場を作る方位角方向の電流の向きが同方向の時により強く加熱されることが示された。本講演では、この磁気加熱が状態遷移時の降着流の構造に与える影響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](#)

S07a 潮汐力の働く極低密度領域における二流体不安定性による磁気消滅の数値計算

小出眞路, 山口真澄, 村田雅音 (熊本大学)

巨大楕円銀河 M87 などの活動銀河核から噴出する相対論的ジェットは降着円盤の乱流磁場を起源とするブラックホールを貫く強い磁場により引き抜かれたブラックホールの回転エネルギーにより形成されていると考えられているが、その強い磁場中にプラズマを供給する機構は未解明である。現在のところフレアなど降着円盤からの強い放射と強い磁場の作用による対生成された対プラズマ（電子陽電子プラズマ）がジェットを構成していると一般には考えられている (e.g. Kisaka, Levinson, Toma 2020)。一方、われわれはブラックホールまわりの強い磁場はその起源から反平行磁場を含むと考え密度が低い場合は二流体不安定性が起こり磁場が消滅し通常プラズマ（イオン電子プラズマ）が供給されるというモデルを考えている（小出眞路、高橋芳太、高橋真聡、2022 年日本天文学会秋季年会）。これまで、二流体不安定性による磁気消失とプラズマ供給を扱うには、一般化された一般相対論的 MHD 方程式（一般化 GRMHD）に基づく計算が必要としてきた (Koide, 2009, 2010, 2019)。しかし、一般化 GRMHD の数値計算は非常に煩雑で、膨大な計算機資源を必要とする。最近、二流体不安定性の相対論的安定判定条件の定式化を行なった (Koide, Takahashi, Takahashi, in press)。現在、二流体不安定性の判定条件を用いた数値計算により磁場の消失の過程の解明を進めている。具体的には、ブラックホールの強磁場領域を模して反平行磁場の方向に潮汐力を与えた計算を行い、密度が小さくなるにしたがい判定条件を満たした領域で二流体不安定性が起こり磁場が消滅してゆく数値計算を行なっている。二流体不安定性が起こる領域は不安定性の成長率を参考にモデル化した電気抵抗の抵抗性 MHD 方程式で計算する。試験的な数値計算の結果は、磁気リコネクションとは異なる速い磁場の消滅が起こることを示唆している。詳しくは、講演で述べる。

[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](#)

S08a Lense-Thirring 歳差を伴う降着流・ジェットからの多波長放射の時間変動解析

川島 朋尚 (東大宇宙線研), 大須賀 健 (筑波大), 高橋 博之 (駒澤大)

ブラックホール (BH) のスピン軸と揃っていない回転軸を持つ降着流では、Lense-Thirring 歳差運動 (以下、LT 歳差運動) と呼ばれる時空の引きずり効果による歳差運動が起こると考えられている。降着流の LT 歳差運動は、近年の東アジア VLBI 観測網による M87 のジェットの観測からも示唆する結果が得られており、今後の EHT による時間変動観測や多波長観測の結果を解釈する上で重要な要素となる可能性がある。しかし、歳差運動する降着流と付随するジェットのブラックホール・シャドウを含む多波長イメージやスペクトル、およびその時間変動は依然としてよくわかっていない。そこで我々は、UWABAMI コードによる一般相対論的磁気流体シミュレーションおよび一般相対論的多波長輻射輸送コード RAIKOU を用いた多波長イメージ・スペクトル計算を実施している (2022 年春季年会)。

今回、我々は LT 歳差運動を伴う降着流と相対論的ジェットの多波長スペクトルの時間変動を解析した。一般相対論的磁気流体モデルには無次元スピン・パラメータ $a_* = 0.9375$ および初期傾斜角 (BH スピン軸と降着流回転軸のなす角度) 15 度を仮定したシミュレーション・データを用いた。ブラックホール質量は M87 を想定し 6.5×10^9 太陽質量を仮定した。Autocorrelation Function を用いた解析を行った結果、例えば観測周波数 230 GHz において、およそ $1.2 \times 10^4 r_g/c$ の長周期にやや弱いピークが現れた (r_g, c はそれぞれ重力半径と光速)。これは一般相対論的磁気流体シミュレーションに現れた歳差角の周期の時間スケールに対応している。発表では低周波電波や X 線・ガンマ線を含む多波長スペクトルの時間変動について、短周期変動も含めて議論する。

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

S09b EHT データに基づく Sgr A* の極端 2 重星型超巨大ブラックホールの動画像作成について

大家寛 (東北大)

本研究の原点はデカメータ波による Sgr A* 観測に基づいた、パルス情報の解読から結論された極端 2 重星型超巨大ブラックホール (E-SMBHB) の存在にある。今回、EHT Collaboration により公開された Sgr A* に対する VLBI Visibility データ解析の結果 E-SMBHB の公転周期が $2193 \pm 7.5 \text{ sec}$ であることが、軌道面情報とともに確認された。

この周期決定の結果、次のステップとして、E-SMBHB を動画として表現する方法を検討した。本研究では EHT 観測の Visibility データに対し、一公転周期 2193sec 間から 16 時点を選択、この各データ点に対して、周期 2193sec で同期するデータ点を集積・平均を行って 16 画面に相当する新たなデータを得た。電波干渉計観測の Visibility データは電波源像を純粋な逆変換から求め得る完全関数でなく、観測点分布関数の支配下でコンボリューションとなっている。本研究では完全なデコンボリューションの手法をとらず、あらかじめ判明している情報をもとに、観測点分布の特性に依存しない追加情報を対象にして、軌道運動に平行な 1 次元で Visibility に対する逆変換法を適用した。結果は公転運動一周相当の 16 画面の電波源像を求めうるもので 2 個の電波源の存在が確認され、得られた公転 1 周 16 画面相当の各平均化された Visibility は 8 分割点毎のデータに同一性があらわれた。即ち銀河面に略平行な直線状を 2 者の電波源は原点を対象に移動し、原点で会合し蝕効果を示す。現在画像化を進めているが、本研究の結果は SgrA* に対し 2193 秒で周回する E-SMBHB の動画像の作成法を確認するものとなった。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

S10b ブレーザー S5 0716+714 の多波長スペクトルの時間変動解析

佐藤翔太、谷津陽一、河合誠之、笹田真人、高橋一郎 (東京工業大学)、村田勝寛 (京都大学)

活動銀河核の一種であるブレーザーは相対論ジェットが地球に向いている天体である。ブレーザーのスペクトルは相対論ジェットの放射が卓越し、電波からガンマ線に至るあらゆる波長帯で明るい。またブレーザーの観測的特徴として激しい光度変動も挙げられるが、その起源は未だ議論中である。

本研究では可視光帯域で明るく、激しい変動を示す S5 0716+714 に対して、MITSuME 望遠鏡による 2018-2023 年にわたる可視光モニター観測データを用いて、可視光変動と Fermi/LAT による GeV ガンマ線光度変動の挙動を比較した。この天体は観測期間中、可視光とガンマ線での光度が 5 回にわたって同時増光しており、それらの増光では可視光とガンマ線でフラックス-フラックス図における増光の傾きが異なっていた。この結果はシンクロトン放射の増光幅に対する逆コンプトン散乱放射の光度上昇が増光ごとに異なっていることを示唆しており、ジェット内の同一領域から放射する単純なモデルでは説明できない。また、可視光のカラーインデックスとフラックス密度の変動を調べると、暗い時に赤くなる傾向を観測した一方で、明るい時に青くなる傾向はあまり強くは見られず非線形な分布をしている。本講演では以上の結果とともに Submillimeter Array (SMA)、Swift 衛星/UVOT、XRT、BAT のデータを加えたサブミリ波からガンマ線に至る準同時の多波長スペクトルを用いたブレーザーの物理パラメーターの推定およびその時間変化についても議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

S11b 低金属量セイファート銀河の性質調査

土阪 樹, 山本 優太, 長尾 透 (愛媛大学), 久保 真理子 (東北大学), 内山 久和 (国立天文台)

活動銀河核 (AGN) の電離ガス領域の金属量は概ね太陽金属量よりも高いことが知られているが、稀に金属量が太陽金属量未満の AGN が存在する。金属量は銀河進化の進行に伴って増加するので、低金属量 AGN およびその母銀河は化学進化が十分に進んでいないような興味深い進化段階にいる可能性が考えられる。最近では、遠方宇宙において低金属量 AGN が James Webb Space Telescope (JWST) によっても発見されており、注目を浴びている。したがって、近傍宇宙において低金属量 AGN の詳しい性質を調査し理解することは重要性を増している。

本研究では、静止系可視光で診断可能な狭輝線放射領域 (NLR) の金属量が低い AGN に注目し、これを BPT 図により選出する。この方法では、 $[\text{NII}]\lambda 6584/\text{H}\alpha$ と $[\text{OIII}]\lambda 5007/\text{H}\beta$ の輝線強度比を比較し、2 型セイファート銀河に分類されているものの中で特に $\log([\text{NII}]/\text{H}\alpha) < -0.5$ (Kawasaki et al. 2017) の天体を低金属量 AGN として選択する。Sloan Digital Sky Survey (SDSS) で分光された約 20 万天体の輝線銀河 (赤方偏移が ~ 0.02 から ~ 0.37) についてこの方法で分類した結果、低金属量 AGN を 45 天体選出することができた。このようにして選択した低金属量 AGN と典型的なセイファート銀河について、赤方偏移や質量分布を調査した。その結果、同じ赤方偏移範囲で比較したところ、低金属量 AGN の方が星質量が小さいことが分かった。また、2MASS および WISE の近赤外線・中間赤外線データも組み合わせて Spectral Energy Distribution (SED) を調査したところ、ダスト放射が強いとされる中間赤外線の波長帯において、低金属量 AGN の SED の傾きが典型的なセイファート銀河より急であることが分かった。この結果は、低金属量 AGN の方が系統的にダスト温度が高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](#)

S12b 紫外線光子の水素原子ラマン散乱によって生じる広輝線とその観測的特徴

小久保 充 (国立天文台)

1 型活動銀河中心核 (AGN) は、超巨大ブラックホール (SMBH) 周辺の広輝線領域から放射される幅の広い輝線が観測される天体として定義される。AGN 広輝線の線幅は SMBH 重力場中を運動する電離ガスの速度を反映するため、広輝線プロファイルを観測することによって SMBH 質量を推定する手法が広く用いられている。しかし、幅の広い輝線を形成する天体現象は SMBH 重力場中のガス運動だけではなく、たとえば長期間高光度を保つ IIIn 型超新星爆発が銀河中心付近で発生すると、可視光スペクトルは幅の広い水素バルマー輝線を示し、AGN と極めて似通ったものになることが知られている。このような AGN 広輝線と見紛うようなスペクトルを示す天体現象や物理過程の存在によって、AGN の分光分類や SMBH 質量の推定を誤る可能性がある。

本講演で着目する紫外線光子の水素原子ラマン散乱もまた、幅の広い水素バルマー輝線を生み出す物理過程の一つである。中性水素原子を含むガス雲に $\text{Ly}\beta$ 共鳴波長 ($1025 \text{ \AA}$) 付近の紫外線光子が侵入すると、 $1s \rightarrow 3p$ に励起された水素原子が有限の確率で $3p \rightarrow 2s$ に遷移し、結果として紫外線が $\text{H}\alpha$ 波長付近の可視光に周波数変換される散乱 (ラマン散乱) が実現される。この結果放射される $\text{H}\alpha$ 波長付近の光子は、水素原子の散乱断面積の特性を反映して (ガス運動速度とは無関係に) 幅の広い輝線を形成する。本講演では、強い紫外光を放射する天体 (e.g., 星形成領域) を取り囲むガス雲における水素原子ラマン散乱によって幅の広い水素バルマー輝線が形成される過程をモンテカルロ計算によってシミュレートし、観測される輝線のプロファイルや偏光情報から水素原子ラマン散乱起源の広輝線を同定する方法を考察するとともに、実際に $\sim 10,000 \text{ km/s}$ の極めて幅の広いバルマー輝線が観測された星形成銀河 SBS 0335-052E のスペクトル (Izotov et al. 2009, A&A, 503, 61) 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](#)

S13b 大質量ブラックホールにおける超臨界降着流のアウトフローと輻射特性

芳岡尚悟, 嶺重慎 (京都大学), 大須賀健 (筑波大学), 川島朋尚 (東京大学)

狭輝線 1 型セイファート銀河 (NLS1) や超高光度 X 線源など、エディントン光度 L_{Edd} 以上で輝く天体は、輻射や多量のアウトフローを通して周囲環境へ多大な影響を与える。特に急成長中の大質量ブラックホールである NLS1 は $\sim 0.2 c$ (c は光速) の高速アウトフローによって、活動銀河核フィードバックに重要な役割を果たす可能性がある (Krongold et al. 2021)。これらの高光度天体の場合、輻射とガスの相互作用が本質的となるため、フィードバックの定量評価には、大局的な輻射流体計算が必要不可欠となる。そこで、Yoshioka et al. (2022) では、大きな初期角運動量と大きな計算ボックスの下、輻射流体計算によって超臨界降着流が生み出すアウトフロー構造や輻射特性の質量降着率依存性を調査した。その結果、運動学的光度の質量降着率依存性は予想外に大きい (最大で質量降着率の 2.7 乗に比例する) ことを見出した。しかし、これらのシミュレーションは 10 太陽質量ブラックホールに限った計算であった。

本研究では、ブラックホール質量が太陽質量の 10^4 および 10^7 倍のケースについて、大局的な 2 次元輻射流体計算を実施した。大質量のケースでは、10 太陽質量の一部の計算に見られていたリミットサイクル不安定性が現れたため、超臨界降着流のアウトフローや光度の時間発展を調査した。降着流・噴出流の詳細な解析により、 10^7 太陽質量ブラックホールへの質量降着率が $(370 - 730) L_{\text{Edd}}/c^2$ のとき、運動学的光度は $(0.6 - 1.7) L_{\text{Edd}}$ となった。さらに、光度と質量降着率の時間変化を解析し、リミットサイクルが現れた大質量ケースの場合でも、時間平均すると 10 太陽質量で得られた光度の質量降着率依存性が成り立つことを明らかにした。本講演では、周囲環境へのフィードバック過程 (質量噴出率や等方仮定光度) とその時間変動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](#)

S14c 吸収体の重複を考慮した AGN アウトフロー立体構造の解明

古布論¹、三澤透¹、石田大²、伊東大輔³、Jane Charlton⁴、Michael Eracleous⁴ (1. 信州大学、2. セイコーエプソン、3. 盛岡市子ども科学館、4. ペンシルベニア州立大学)

クェーサーの降着円盤から放出されるアウトフローは、クェーサー中心にある SMBH の成長や銀河間空間の電離および化学進化に寄与するなど、クェーサーやその周辺に影響を与えることが示唆されている。そのアウトフローの性質を探るために多用されている「クェーサー吸収線」は、その線幅に応じて、BAL、mini-BAL、NAL の 3 つに分類される。中でも mini-BAL は、アウトフローに起源を持つことを十分に示唆する広い線幅を持ちつつも、モデルフィットによる吸収線パラメータ (赤方偏移 z 、柱密度 N 、ドップラーパラメータ b 、掩蔽率 C_f) の評価も可能であり、最も利用価値が高いグループといえる。Ishita et al. (2021) は、従来のモデルフィットコードの各種課題を解決すべく、ベイズ推定と MCMC 法を用いた新しいフィットコード `mc2fit` を開発した。クェーサー UM675 に見られる mini-BAL に適用したところ、複数個のアウトフローガスが視線方向に対して重複していることを初めて統計的に確認した。また、mini-BAL の時間変動傾向からアウトフローの幾何構造に対する制限を置くことにも成功した。ただし、研究対象が 1 天体のみであるため、吸収体同士の重複が稀な現象なのか、一般的な現象なのかは議論の余地がある。そこで本研究では、VLT/UVES で取得されたクェーサー 467 天体の高分散分光データ「SQUAD」を調査し、1) 吸収線幅が 500-2000 km/s の CIV または SiIV 吸収線、2) 吸収線が飽和していない、3) 2 つ以上の吸収成分を持つこと、などの条件を課して適当なターゲットを選定した。また複数回観測されている場合は、時間変動の有無も確認した。モデルフィットによって得られる吸収線パラメータと、その変動傾向に基づいて、考えられるアウトフローの立体構造を考察した結果を報告する。

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

S15a JEDI (仮) による活動銀河核サーベイのサイエンス

上田佳宏 (京大), 秋山正幸 (東北大), 泉拓磨, 鳥羽儀樹 (NAOJ), 宮地崇光 (UNAM), 岡部信広 (広島大), 山田智史, 川室太希 (理研), 植松亮祐 (京大), 水本岬希 (福岡教育大), 野田博文 (阪大), 寺島雄一 (愛媛大), 中澤知洋 (名古屋大), 森浩二 (宮崎大), 山口弘悦 (ISAS), JEDI WG

JEDI (仮) は、JAXA 戦略的中型計画候補の一つとして検討中の次世代 X 線天文衛星であり、現在、時限ワーキンググループ内にて活発な議論が進められている (中澤ほか、今年会)。JEDI は、公募型小型計画として 2022 年度に JAXA に提案された広帯域 X 線高感度撮像分光衛星 FORCE を大幅に発展させた新しいコンセプトのミッションであり、点源に対し 10 keV 以上の硬 X 線バンドで過去 10 倍以上の高感度を実現する高角度分解能 X 線望遠鏡 2 台に加え、10 keV 以下の軟 X 線バンドをカバーする広視野高角度分解能 X 線望遠鏡 1 台を搭載する。

硬 X 線は透過力が強く母銀河成分からの寄与が小さいため、可視光でのサーベイと比べ、AGN 種族の大半を占める、大きく吸収を受けた AGN に対しても優れた探査能力を発揮する。JEDI は、0.5-40 keV という広域バンドにおいて、実存する X 線衛星 (NuSTAR・Chandra・XMM-Newton) の 10 倍の深さまたは広さでのサーベイを可能にする。これにより、ひじょうに大きな吸収をうけた「埋もれた AGN」種族も含め、 $0 < z < 6$ の広い赤方偏移範囲にわたって、これまでに最も完全な AGN 探査を実現する。さらにこれらのサーベイデータは銀河団サーベイにも有効である。とくに eROSITA 全天サーベイや、計画されている広域可視・近赤外サーベイでは見つけることのできない、 $z > 0.6$ での銀河群の探査に威力を発揮する。

本講演では、JEDI 衛星の概要の説明に加え、活動銀河核 (AGN) サーベイ計画の最新の検討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](#)

S16a ダスト減光量に基づく AGN 近傍 dusty/dust-free gas 構造の性質調査

水越翔一郎, 峰崎岳夫, 鮫島寛明 (東京大学), 小久保充 (国立天文台), 野田博文 (大阪大学), 工藤祐己 (東北大学)

活動銀河核 (AGN) には、中心領域を隠す減光構造であるダストトールスが存在し、大質量ブラックホールと銀河の共進化機構の解明において重要な構造と考えられている。我々は先行研究 (Mizukoshi et al. 2022) において、AGN 特有の近赤外線強度変動に着目し、ダストトールスの物理パラメータの一つである視線方向のダスト減光量 (A_V) を推定する新たな手法を確立した。さらに、ダスト減光が強い obscured AGN のダスト減光量と硬 X 線観測に基づく中性ガス柱密度 (N_H) を比較し、大半の天体で銀河系星間物質から想定されるよりも N_H が大きく、その超過量が Compton-thick ($N_H \gtrsim 10^{24} \text{ cm}^{-2}$) となる天体も存在することを示した。この結果は、AGN 近傍にダストを含まないガス (dust-free gas) が存在するというシナリオ (e.g. Burtscher et al. 2016) で説明できる。

本研究では先行研究を踏まえ、ダスト減光量 A_V を用いて dusty gas と dust-free gas を成分分離し、それらと Eddington 比 (f_{Edd}) との関係性を調査した。まず、 A_V と f_{Edd} を比較した結果、dusty gas が放射圧で飛ばされる光度 (有効 Eddington 光度) に対応する f_{Edd} より大きな Eddington 比を持つ天体は全体の約 8% と少なく、さらにそれらの半数以上がダスト減光が比較的小さい 1 型、1.9 型 AGN であった。これは、Eddington 比の大きな obscured AGN が放射圧による dusty gas outflow を生じ、減光量がより小さい AGN へと進化するというシナリオ (Ricci et al. 2022) と無矛盾である。次に、dust-free gas 成分の N_H と f_{Edd} を比較した結果、両者に明確な相関関係は見られなかった。これは視線方向に存在する dust-free gas の量が Eddington 比にあまり依存しないことを示唆する。本発表では、最近のシミュレーション結果 (Kudoh et al. 2023) 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](#)

S17a A Nearby TDE: AT2023clx - Constraining on The Radiation Mechanisms with Spectropolarimetry

宇野 孔起, 前田 啓一, 田口 健太 (京都大学), 長尾 崇史, Panos Charalampopoulos (University of Truku), Giorgos Leloudas (Technical University of Denmark), 青木 賢太郎 (国立天文台)

潮汐破壊現象 (TDE) とは、恒星がブラックホール (BH) のごく近傍を通過する際、BH の潮汐力により恒星が破壊される現象である。従来の TDE は X 線などの高エネルギー波長帯で発見・観測されてきたが、近年の可視光サーベイ観測により、可視・紫外域で輝く TDE (Optical/UV TDE) が報告され始めている。Optical/UV TDE は従来の TDE のような BH 降着円盤由来の放射を直接観測しているという描像では説明できない。Optical/UV TDE を説明するべく様々なモデルが提案されているが、観測例が少なく放射機構の解明には至っていない。

我々は 2023 年 2 月 22 日に NGC3799 で発見された突発天体 AT2023clx を 2 月 26 日に京都大学せいめい望遠鏡で分光し、Optical/UV TDE と同定した。約 50 Mpc の距離にある本 TDE は、観測史上最近傍 TDE の一つである。その後、すばる望遠鏡を用いて可視偏光分光観測を 2 月 27 日と 4 月 15 日の二度行った。その結果、AT2023clx は両 epoch とも 1% を超える大きな偏光度を示し、偏光角は初期と後期で約 80 度変化していることがわかった。偏光角の変化は、TDE の放射機構が初期と後期で大きく異なることを示唆する。さらに、初期スペクトルにあった約 10000 km/s の高速な H α 成分が、後期では消えていた。偏光角の変化と組み合わせることで、AT2023clx は初期には光学的に厚い outflow が可視放射を形成しているが、後期では outflow ではなく内側の円盤もしくは dust 成分が支配的になっていると考えられる。特に、NGC3799 は AGN であることが知られており、偏光と AGN dust との関連も興味深い。本講演では、AT2023clx の観測結果から Optical/UV TDE の放射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](#)

S18a 軟 X 線で明るく硬 X 線で吸収を受けた活動銀河核

島田明音, 寺島雄一 (愛媛大), 上田佳宏 (京都大), 栗木久光, 志達めぐみ (愛媛大)

吸収を受けた AGN の軟 X 線スペクトルは、一般に急な傾き ($\Gamma > 3$) のべき関数や温度 0.1–0.2 keV 程度の黒体放射などでは表されない。X 線と赤外線のパラックス比が小さい性質を用いて吸収を受けた AGN を探すために、X 線 (*XMM-Newton*) と赤外線 (*WISE*) のカタログを組み合わせたサンプルを作成した。我々はこの過程で、軟 X 線が急な傾きをしている吸収を受けた特異な天体 4XMM J082406.9–774658 (ESO018-G 009)、4XMM J205912.8–520021 (ESO235-IG 026)、4XMM J033131.4–272846 を発見したので報告する。

XMM-Newton 衛星による観測は、ESO018 と ESO235 は 1 回、J033131 は計 4 回行われた。似た形状の J033131 の 1、2、4 回目のスペクトルは足して解析した。3 天体とも軟 X 線側が温度 0.69–0.92 keV 程度の光学的に薄い熱的プラズマ (APEC) モデルと温度 0.11–0.15 keV の黒体放射、もしくは黒体放射の代わりに吸収を受けた ($N_{\text{H}} = (0.2\text{--}2.1) \times 10^{21} \text{ cm}^{-2}$) 傾きが急 ($\Gamma > 3.2$) なべき関数で表せた。硬 X 線側は 3 天体全て $N_{\text{H}} = (5.0\text{--}10) \times 10^{23} \text{ cm}^{-2}$ の中性の物質もしくは、中程度 ($\log \xi = 1.9\text{--}2.1$) の電離パラメーターの電離吸収体で $N_{\text{H}} = (1.3\text{--}1.7) \times 10^{24} \text{ cm}^{-2}$ の吸収を受けたべき関数で表せた。電離吸収体で吸収を受けた場合、J033131 の軟 X 線側は温度 0.92 keV の APEC モデルのみで表せた。3 天体の吸収を補正した 2–10 keV の X 線光度は $(0.21\text{--}9.2) \times 10^{42} \text{ erg s}^{-1}$ であった。また、2 keV での X 線光度と *XMM* の OM で得られた 2310 Å での光度から紫外線と X 線の傾き (α_{OX}) を求めた。ESO018 と ESO235 では、Jin et al. (2012) の降着率が高い天体と同程度の値 ($\alpha_{\text{OX}} = 1.6, 1.4$) を示した。

講演では、軟 X 線の形状と、吸収の起源について A) トーラス、B) 降着率が高い幾何学的に厚い円盤、C) 円盤風の 3 つの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](#)

S19a 軟 X 線強度が大きく変化した AGN の X 線スペクトル変動 (2)

滝沢風佳, 寺島雄一 (愛媛大)

恒星質量ブラックホールは、質量降着率の変化によって急激な X 線強度変動と X 線スペクトル状態の遷移が起こることが知られている。一方で、AGN で強度が 1 桁以上の変動を示すものは少数であり、大きな変動のあった AGN であっても恒星質量ブラックホールのような急激なスペクトル変動はほとんどない。過去の研究によると、1 桁以上の変動がある大質量ブラックホールのほとんどが潮汐破壊現象候補天体であった。本研究では、X 線強度が 10 倍以上変動する AGN のスペクトル変動の解析を行い、恒星質量ブラックホールのような急激なスペクトル変動を探索した。

天体の選出には XMM-Newton 4XMM DR12s を用いた。複数回の観測データがある天体のうち、銀緯が $|b| \geq 10^\circ$ であり、複数回の観測における 0.2–1.0 keV、0.2–0.5 keV、0.5–1 keV の X 線強度が 10 倍以上変化した天体を対象とした。さらに、選出した天体で分類が銀河や AGN、X 線源であり、系内天体でないものを選出した。上記の条件で選出された天体のうち、昨年報告した 12 天体とは別にスペクトル変動が未解析である 37 天体の X 線スペクトルを新たに作成し、比較を行った。結果、数年スケールで軟 X 線の明るさが変化していたのは 31 天体となった。他 6 天体は非常に暗い天体や明るさに変化がない天体であった。スペクトル変動があったのは 25 天体となり、その変動は、X 線吸収量の変化、光子指数 Γ の変化、黒体放射温度の変化もしくはその組み合わせで表された。一方、急激なスペクトル形状の変化はないが強度変動のあった天体は 6 天体であり、 Γ が 1.7–2.5 のべき関数成分が主となるスペクトルを維持していた。吸収を補正した 2–10 keV の光度が変動 (factor 5–60) した天体は 15 天体となったが、その全てで恒星質量 BH のような急激なスペクトル変動は見られなかった。

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

S20a Circinus Galaxy における X 線偏光の起源

谷本敦, 和田桂一 (鹿児島大学), 工藤祐己 (東北大学), 小高裕和 (大阪大学), 植松亮佑 (京都大学), 小川翔司 (宇宙科学研究所)

X 線天文衛星 Imaging X-ray Polarimetry Explorer (IXPE: Weisskopf et al. 2022) は、最近傍のセイファート 2 型銀河 Circinus galaxy からの X 線偏光を初めて検出した (Ursini et al. 2023)。Ursini et al. (2023) は、IXPE の観測データを解析し、Circinus galaxy の X 線偏光度が $28 \pm 7\%$ であることを明らかにした。また彼らは、単純なトーラスモデルに基づいた X 線偏光計算を行い、赤道方向の水素柱密度が 10^{25} cm^{-2} 、トーラスの開口角が 50 degree の場合、IXPE の観測結果の再現に成功している。

そこで本研究では、より現実的な物理モデルに基づいて、X 線偏光計算を行い、Circinus galaxy の偏光度を再現可能かどうかを調べた。私達は、パーセクスケールの 3 次元輻射流体計算 (Wada et al. 2016) とサブパーセクスケールの 2 次元軸対称輻射流体計算 (Kudoh et al. 2023) に基づいて、X 線偏光計算を行った。これらのモデルは、X 線加熱や非等方放射により、非定常なアウトフローを形成するモデルであり、Circinus galaxy の多波長観測結果 (Izumi et al. 2018, Ogawa et al. 2022) の再現に成功している。

私達は、モンテカルロ X 線輻射輸送計算コード MONACO (Odaka et al. 2016) を用いて、X 線偏光計算を行った。その結果、パーセクスケールモデルの場合、得られる偏光度は、IXPE の観測結果より小さいことがわかった。これは、パーセクスケール領域では、密度が低いためである。より密度が高い、サブパーセクスケールモデルの場合、IXPE の観測結果を再現出来た。この結果は、Circinus galaxy の X 線偏光の起源が、サブパーセクスケールのアウトフローであることを示唆する。年会ではパラメータの影響や時間変動についても議論する。

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

S21a 低質量活動銀河核 ($M_{\text{BH}} \sim 10^5 M_{\odot}$) を宿す矮小銀河 POX 52 における銀河とブラックホールの共進化研究

川室太希, 山田智史 (理研), Claudio Ricci (Universidad Diego Portales)

矮小銀河 POX 52 は、低質量ブラックホール (BH: black hole、 $\approx 2\text{--}4 \times 10^5 M_{\odot}$) が高いエディントン比 ($\approx 0.2\text{--}0.5$) で質量成長している活動銀河核 (AGN: active galactic nucleus) の宿主であり、近傍に存在する ($D = 93$ Mpc)。そのため、矮小銀河といった軽い系において、如何に銀河と中心 BH が成長してきたかを詳細に調べられる貴重な天体である。今回我々は新しく NuSTAR と XMM の同時観測によって広帯域 X 線 (0.5–30 keV) データを取得した。それらに加えて、他の波長のデータ (XMM/OM、GALEX、HST、Pan-STARRS、2MASS、WISE、そして Spitzer) も考慮し、AGN と母銀河の両方の性質を全データで矛盾が無いよう制限した。具体的には、紫外線から中間赤外線までの広帯域スペクトルエネルギー分布を CIGALE を用いて、母銀河と AGN 成分に分離した。更に、制限された AGN の可視光フラックスを考慮しつつ HST/HRC の高角度分解能イメージを GALFIT で成分分離することで、バルジと円盤の両成分が存在することを初めて明らかにした。また、広帯域 X 線スペクトルを再現する際に、CIGALE で制限したダストトラスモデルの幾何学的構造から予測される反射成分を考慮した。その上で、相対論的効果が効いた降着円盤からの反射成分が存在する可能性が得られ、スピンの値は $a \lesssim 0.3$ と制限がつけられた。これらの結果よりまず、巨大銀河と同様のバルジ形成シナリオを考えると、POX 52 でも銀河合体が起こってきた可能性が示唆される。BH スピンが小さい原因も BH 合体が同様に起こってきたためと自然に理解できる。また、POX 52 のバルジと BH 質量は、巨大銀河で見られた関係と矛盾しないことがわかった。つまり、AGN フィードバックが働いたかもしれない、矮小銀河でもその重要性が示唆された。

[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](#)

S22a Pictor A 西側ジェット終端ホットスポットの多波長スペクトルの研究

砂田 裕志, 森本 有咲, 田代 信^A (埼玉大, 埼玉大および ISAS/JAXA^A)

FR-II 型の電波銀河のジェット終端のホットスポットは、相対論的な衝撃波によってジェットの運動エネルギーが電子の加速や磁場の増幅に変換される場と考えられている。ジェットからのエネルギー供給によってホットスポットには加速電子が蓄えられるが、シンクロトロン冷却のために高エネルギー電子ほど短い寿命を持つ。これは、高エネルギー電子ほど最近のエネルギー供給を反映することを意味する。観測的には、電波帯域ではべき型のシンクロトロン放射スペクトルが、冷却が効果的になる電子のエネルギーに対応する赤外線や可視光帯域では、ジェットの活動性に依存して急峻になる効果として現れる。そのため、多波長でのスペクトル解析からジェット活動の歴史を紐解くことが期待できる。実際に急峻な赤外線、可視光スペクトルが確認されているが、観測データの不足により冷却の効果か、加速電子の最大エネルギーに対応したカットオフであるか区別できていない。本研究では、観測条件の良い Pictor A 西側ホットスポットにおいて、XMM-Newton/OM と Hubble Space Telescope の可視光観測データを追加して、多波長スペクトルを調査した。可視光の放射スペクトルは急峻なべき型であることがわかり、電子の最高エネルギーに対応するカットオフよりも、高周波数帯域でべきが変化する継続的なエネルギー注入と冷却によるスペクトルの急峻化でよく説明できた。電波でのべき $\alpha = 0.75$ に対して可視光でのべき $\alpha = 1.55$ は、一定かつ継続的なエネルギー注入で予想されるべきの変化 $\Delta\alpha = 0.5$ では説明できないことから、エネルギー供給の変動を示唆する。観測された可視光スペクトルをエネルギー供給の変動で解釈することで、1 万年でエネルギー供給が 1/3 程度に減少していると推定できた。また、本講演では、シンクロトロン冷却による磁場強度の推定やエネルギー供給の変動による X 線スペクトルの解釈についての議論も行う。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

S23a 電波銀河 Pictor A の西ホットスポットの赤外線超過の ALMA ACA による研究

磯部 直樹 (ISAS/JAXA), 永井 洋 (国立天文台), 紀 基樹 (工学院大学/国立天文台), 馬場 俊介 (鹿児島大), 中川 貴雄 (ISAS/JAXA), 砂田 裕志, 田代 信 (埼玉大学)

我々は、Herschel 宇宙望遠鏡による 600 GHz–1.2 THz の遠赤外線観測で、電波銀河 Pictor A の西ホットスポットから電波・可視光のシンクロトロン放射のスペクトルに対する赤外線超過を発見した。この赤外線超過の正体を探るために、ALMA 望遠鏡 ACA による 405 GHz (Band 8) でのサブミリ波測光観測を行った。その結果、ALMA ACA によって、Pictor A の西ホットスポットの位置からサブミリ波放射源を検出し、その 405 GHz でのフラックス密度を 80.7 ± 3.1 mJy と測定した。このサブミリ波フラックス密度は西ホットスポットのシンクロトロン電波スペクトルの延長と一致することから、赤外線超過は 405 GHz の帯域には主要な寄与をしないことが分かった。一方で、ALMA ACA の視野内にはこれ以外には有意なサブミリ波源が検出されなかったことから、赤外線超過が西ホットスポット自身によるものであることが、確実となった。

Pictor A の西ホットスポットの内部には、超長基線電波干渉計 VLBA によって **10 pc** スケールのサブ構造が幾つか見つかった。このサブ構造全体の 1.67 GHz でのフラックス密度は、赤外線超過を再現するための Broken Power Law モデルのフラックス密度と一致することが、確認された。また、この Broken Power Law モデルの低周波エネルギースペクトル指数 ($\alpha = 0.06 \pm 0.35$) は、ホットスポットにおける標準的な粒子加速機構と考えられる衝撃波加速のスペクトル ($\alpha > 0.5$) よりも、有意にハードであることが分かった。我々は、以上の観測的特徴を理解するために、赤外線超過の起源がサブ構造であると考え、主要な粒子加速機構として衝撃波の下流で生じる乱流による粒子加速を提案した。

[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](#)

S24a AGN number fraction in galaxy groups and clusters at $z < 1.4$ from the Subaru Hyper Suprime-Cam survey

鳥羽儀樹 (国立天文台), 橋口葵, 太田直美, 柴田実桜, 柳川晏里, 吉本愛使 (奈良女子大), 大栗真宗 (千葉大), 岡部信広 (広島大), 上田佳宏 (京大), 今西昌俊, 山下拓時 (国立天文台), 山田智史 (理研), 後藤友嗣 (NTHU), 小山舜平 (東大), 李建鋒 (東北大), 三石郁之, 作田皓基 (名古屋大), 長尾透, 大木平, 寺島雄一 (愛媛大), 西澤淳 (岐阜聖徳学園大), 登口暁 (信州大), Malte Schramm (ポツダム大)

How do active galactic nuclei (AGNs) affect the formation and evolution of member galaxies and galaxy clusters in the history of the Universe? To tackle this issue, we investigate the dependence of AGN number fraction (f_{AGN}) on cluster redshift (z_{cl}) and distance from the cluster center (R/R_{200}). We focus on more than 27,000 galaxy groups and clusters at $0.1 < z_{\text{cl}} < 1.4$ with more than 1 million member galaxies selected from the Subaru Hyper Suprime-Cam. We identify 2,688 AGNs by combining various AGN selection methods based on infrared (IR), radio, and X-ray data. We find that (i) f_{AGN} increases with z_{cl} and (ii) f_{AGN} decreases with R/R_{200} . The main contributors to the rapid increase of f_{AGN} towards high- z and cluster center are IR- and radio-selected AGNs, respectively. Those results indicate that the emergence of the AGN population depends on the environment and redshift, and galaxy groups and clusters at high- z play an essential role in AGN evolution. We also find that cluster-cluster mergers may not drive AGN activity in at least the cluster center, while we have tentative evidence that cluster-cluster mergers would enhance AGN activity in the outskirts of (particularly massive) galaxy clusters (Hashiguchi, Toba et al. 2023, PASJ, submitted).

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

S25a 多波長放射を用いた U/LIRG が持つ AGN の探査方法

山田智史 (理研), 上田佳宏 (京大), Martín Herrera-Endoqui (UNAM), 鳥羽儀樹 (NAOJ), 宮地崇光 (UNAM), 小川翔司 (JAXA), 植松亮祐 (京大), 谷本敦 (鹿大), 今西昌俊 (NAOJ), Claudio Ricci (DPU)

超/高光度赤外線銀河 (Ultra-/luminous Infrared Galaxy; U/LIRG) は赤外線光度が非常に明るい天体 ($L_{\text{IR}} > 10^{12}/10^{11} L_{\odot}$) である。これらは $z \sim 2-3$ の時代で普遍的に存在し、その多くは合体段階の銀河である。U/LIRG は中心に活発な AGN や星形成を持つと考えられ、銀河と巨大ブラックホールの形成史を理解する上で重要な種族である。しかし、その中心はガスやダストに深く覆われ、特に AGN を特定するのは困難であった。そこで、透過力の高い硬 X 線で AGN 活動を調べた近傍 U/LIRG のサンプル (Yamada+21) から、AGN の有無による多波長放射の違いを明らかにすることが、その構造を解明し、U/LIRG 中の AGN 探査を行う鍵となる。

本研究では、独自に開発した X 線から赤外線と同様の AGN 構造を扱える放射モデルを用いて、多波長データ解析を実施し、各波長での特徴を調べた。まず、紫外線から赤外線の情報より推定される星質量 (M_*) と星形成率 (SFR) を比較すると、合体が進むほど SFR は高くなるが、AGN の有無で M_* -SFR の分布に差は見られない。電波の 1.4 GHz 光度 ($L_{1.4 \text{ GHz}}$) は SFR と強く相関する。 $\log(L_{\text{IR}}/L_{1.4 \text{ GHz}}) < 2$ を満たす電波で明るい天体は全て AGN であったが、大半の AGN は同定できないことが分かった。X 線を除く多波長スペクトルエネルギー分布を比較しても AGN の有無で大きな違いは見られない。ただし、WISE の color-color 図を作成すると、星形成率は W1-W2 に依存するが、W2-W3 については AGN を持つ天体の方が小さく、主に $\sim 3-10 \mu\text{m}$ の中間赤外線放射が強い。これは、全方向が物質に覆われた AGN からのダスト再放射で説明できる。従って、U/LIRG の多波長放射は主に母銀河の特徴を反映するが、AGN を持つ場合は硬 X 線と中間赤外線が卓越することを示唆している。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

S26a 近傍銀河 NGC 1068 の中心核のセンチ波からミリ波の広帯域スペクトルの起源に関する考察

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)

IceCube ニュートリノ観測実験によって、近傍セイファート II 銀河 NGC 1068 からの TeV ニュートリノ放射が昨年 2022 年に報告された。目下の課題は、銀河における粒子加速メカニズムの解明である。本講演では特に、活動銀河核周辺の高温プラズマ (コロナ) での粒子加速に着目する。先行研究では、NGC 1068 ミリ波帯の電波放射はコロナ起因のシンクロトロン自己吸収で説明できる可能性が提唱されている。一方で、観測量からコロナ磁場やサイズ等の物理量を推測するためには、センチ波からミリ波にかけてのスペクトルの注意深い評価が必要である。そこで我々は、Atacama Large Millimeter/submillimeter Array (ALMA)、Very Large Array (VLA)、Very Long Baseline Array (VLBA) の観測結果を精査し、活動銀河核周辺 $< 0.1 \text{ arcsec}$ ($\sim 7 \text{ pc}$) 領域では、10-20 mJy 程度で平坦に見えるスペクトルを示すことを確認した。観測結果は、センチ波ジェットシンクロトロン放射、ミリ波コロナシンクロトロン自己吸収、サブミリ波ダスト黒体放射の重ね合わせで説明可能であった。示唆されたコロナシンクロトロン自己吸収のスペクトル形状から見積もられたコロナ磁場強度は 20 ガウス、大きさは 30 シュバルツシルト半径程度と推測された。講演ではさらに、広輝線領域における自由-自由放射や、スペクトルインデックスのビームサイズ効果 (広がった成分の contamination) 等も議論し、将来の高分解能観測への期待について述べる。

[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](#)

S27a ケーサー近接効果の異方性がもたらすダストトラスの傍証

三澤透¹、石本梨花子²、古布論¹、柏川伸成²、大越克也³、登口暁¹、Malte Schramm⁴、劉強¹ (1. 信州大学、2. 東京大学、3. 東京理科大学、4. 埼玉大学)

ケーサー近傍にある銀河間ガス (IGM) は、ケーサーからの強い紫外線放射によって高い電離状態にある。このことは、ケーサースペクトル上の中性水素 (HI) ガスの吸収線が、ケーサー近傍で減少することから確認されている (視線近接効果)。もしこの近接効果が等方的であれば、接線方向においても同様の傾向がみられるはずである (接線近接効果)。そこで離角が小さい投影ペアケーサーを用いて、手前にあるケーサーの接線方向の HI ガスを背後のケーサーのスペクトル上に吸収線として捉える観測を行ったところ、視線方向とは逆に、HI 吸収が超過する (すなわち低い電離状態を示唆する) 結果が得られた。この「逆」近接効果とも言うべき傾向については様々な可能性が提案されているが、最も有力な候補の一つがダストトラスによって紫外線放射が異方性を持つというものである (例えば、Prochaska et al. 2013)。このシナリオを検証するためには、edge-on に近い向きからケーサーを見たときに逆の傾向 (HI 吸収の減少) がみられることを確認すればよい。

そこで本研究では、先行研究で除外されていた幅の広い吸収線 (BAL) をもつケーサー 12 天体の周辺で HI 吸収の強度を調査した。AGN アウトフローに起源を持つ BAL は、降着円盤を横方向から見ると検出されやすい。測定の結果、平均吸収強度 ($EW_{\text{rest}}(\text{HI}) \sim 1\text{\AA}$)、光学的に厚い HI ガスの検出確率 ($f \sim 20\%$) とともに先行研究と同程度であることを確認した。しかし 12 天体中 2 天体でみられた吸収線は、Damped Ly α (DLA) system に分類されるほど強いため、IGM ではなく銀河との関連を伺わせる。この 2 天体を除外すると、BAL ケーサーの接線方向の電離状態はむしろ高くなり、ダストトラスによる近接効果の異方性を支持するものとなった。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

S28a Line-locked AGN アウトフローの変動メカニズムの解明

劉強、三澤透、登口暁 (信州大学)

あらゆる銀河において、母銀河と銀河中心に存在する巨大質量ブラックホール (SMBH) の質量比はおおよそ数百倍である。この相関関係は銀河と SMBH が同時に進化してきたこと (共進化) を示唆する。共進化を実現するためには、何らかの方法で両者が情報交換を行う必要がある。その役割を果たす候補がいくつか存在するが、現在、最有力候補として注目されているものがケーサーから吹き出すガスの流れ「アウトフロー」である。アウトフローの諸性質の解明は銀河と SMBH の共進化メカニズムの解明に繋がる可能性があると期待されている。本研究ではアウトフローの諸性質を解明するために、その時間変動傾向に注目した。ターゲットは、アウトフローに起源を持ち、line-locking 現象を示す HE0151-4326 を選定した。アウトフロー観測に伴う最大の課題は放出方向の不定性であるが、line-locked 吸収線は我々の視線方向への放出がほぼ保証される。モニター観測の結果、アウトフローが背景光源を覆う比率 (掩蔽率) が明らかな時間変動を示すことが確認された。背景光源としては、連続光領域と広輝線領域が考えられる。これらを基に、観測結果との整合性を確認したところ、2つのシナリオ (連続光領域の周辺を輻射圧を受けながら加速されるモデル、中心から十分離れた場所にあるガスの電離状態が変動するモデル) に絞り込むことに成功した。今後も分光モニター観測を継続し、シナリオの絞り込みを進めるとともに、母銀河へのフィードバック効率を高精度で評価する予定である。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

S29a クエーサー吸収線の時間変動で探る、アウトフロー加速度の統計的調査

登口 暁, 三澤 透 (信州大学), 柏川 伸成 (東京大学), Michael Eracleous, Jane Charlton (ペンシルベニア州立大学)

クエーサーの宿す超巨大ブラックホール (SMBH) とその母銀河の質量に相関が見られることから、共進化してきた可能性が示唆されている。その共進化シナリオにおいて、降着円盤からのアウトフローが SMBH 周りと母銀河との間のエネルギーのやり取りを媒介していると考えられている。アウトフローは broad absorption line (BAL) や mini-BAL と呼ばれた速度幅 (FWHM) の広い ($\text{FWHM} > 500 \text{ km s}^{-1}$) 吸収線によって、そのプロファイルや強度の変動から物理状態の変化について研究がなされてきた。しかしながら、アウトフローの速度変化がガス運動の理解の鍵となる候補であるにもかかわらず、BAL や mini-BAL の速度幅の広さによる不定性によって、研究が困難であった。本研究では、narrow absorption line (NAL: $\text{FWHM} < 500 \text{ km s}^{-1}$) に注目することによって、小さな速度変動について簡単に検出できるようにし、クエーサーアウトフローの加速度の調査を行った。解析対象は、クエーサー吸収線アーカイブである SQUAD と KODIAQ のデータにある天体及び我々が Subaru/HDS と VLT/UVES で追観測した天体の内、静止系における観測時間の差 (Δt_{rest}) が $\Delta t_{\text{rest}} > 2 \text{ yr}$ を示す天体である。解析方法として、各天体のスペクトルを 1 ヶ月ごとのエポックに分類したのちに、cross-correlation function (CCF) を用いて吸収線の速度変化を調査した。本講演では、得られた加速度の統計的調査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](#)

S30a Nature of photoionized outflow in late stages of gas-rich galaxy mergers

油谷直道 (鹿児島大学)、鳥羽儀樹 (国立天文台)、和田桂一 (鹿児島大学)

銀河衝突後期段階では、ダストに埋もれた活動銀河核 (AGN) が形成され、そこからの強力なフィードバックによって、可視光で明るいクエーサーへと進化すると考えられている。実際に、Gillette et al. 2023c では、高階電離輝線を用いた解析により、Extremely Red Quasars に伴う電離アウトフローが、同程度の速度分散を示す blue quasars よりも、中心速度が系統的に blueshift していることが示された。また、Toba et al. 2017 においても、Dust-Obscured Galaxies に伴う電離アウトフロー速度が通常の AGN よりも高い傾向にあることが確認されている。しかし、高赤方偏移 ($z > 1$) かつダストに覆われていることから、詳細な観測が難しく、これら埋もれた AGN に伴う高速度アウトフローと銀河衝突の詳細な関係性は明らかになっていない。

本研究では、銀河中心核同士の衝突計算を行い、銀河衝突後期段階における光電離アウトフロー速度と、AGN 光度やダスト減光による見かけの効果との関係性について調べた。その結果、よりガスリッチな衝突系ほど、電離アウトフローの redshift 成分がダスト減光を受けるため、[OIII] $\lambda 5007$ の中心速度が blueshift する傾向にあることが分かった。また、AGN 光度が高くなるほど、[OIII] $\lambda 5007$ の速度分散と中心速度がともに高くなることが分かった。これらの結果から、埋もれた AGN に伴う高速度アウトフローが、ガスリッチな銀河衝突によって説明できる可能性が示唆される。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

S31a EAVN/VLBA による長期モニターが捉えた M87 ジェット根元の歳差運動

秦和弘 (国立天文台)、崔玉竹 (Zhejiang Lab)、川島朋尚 (ICRR)、紀基樹 (工学院大学)、Weikang Lin (雲南大学)、水野陽介 (上海交通大)、本間希樹 (国立天文台)、EAVN AGN Science WG

電波銀河 M87 は強力な相対論的ジェットの駆動メカニズムを探る上で最重要天体の 1 つである。近年ではイベント・ホライズン・テレスコープ (EHT) によって巨大ブラックホール (SMBH) のシャドウが捉えられ、SMBH の質量を決定するとともに、ジェットの形成には SMBH が関与することを強く示唆するものとなった (EHT Collaboration et al. 2019)。しかしながら、M87 SMBH がスピンをしているかどうかは、EHT 画像だけでは強い制限は得られなかった。そこで今回着目したのが、ジェット根元の形状の年スケールでの長期的変動である。我々は 2013 年から日韓合同 VLBI 観測網 (KaVA) を、2017 年からは中国局を含む東アジア VLBI ネットワーク (EAVN) を用いて M87 ジェットの高頻度モニター観測を毎年行なってきた。今回は 2013 年から 2022 年にかけて KaVA/EAVN によって得られた 9 年分の画像データに加え、米国 VLBA によって得られたアーカイブデータをコンパイルすることで、過去 20 年以上にわたるジェット根元の長期的な形状変化について調査した。その結果、ジェット根元の噴出方向が約 11 年周期で振動していることを発見した。このような周期変動は、先行研究 (Walker et al. 2018 など) で提唱されていた流体不安定性では説明することが難しい。我々は 3 次元一般相対論的磁気流体シミュレーションと比較することで、観測されたジェットの変動が BH スピン軸に対して円盤回転軸の傾いた降着流の Lense-Thirring 歳差に起因するモデルで再現できることを示した。すなわち、今回の発見は M87 の SMBH がスピンを持つことを強く示すものであり、M87 ジェットが Blandford-Znajek 機構によって駆動されていることを支持する。本講演では研究成果を報告するとともに、今後の展望についても述べる。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

S32a VLBA 多周波偏波観測で探る狭輝線 1 型セイファート銀河 1H0323+342 の相対論的ジェットの内部構造と磁場構造

高村美恵子 (東京大学・国立天文台)、秦和弘、本間希樹 (国立天文台)

相対論的ジェットを持つ活動銀河核はこれまでも多く観測されているが、その中の多くは電波銀河のような低降着率、または適度な降着率のクエーサーがほとんどである。一方で、高い質量降着率を持つブラックホールから形成される相対論的ジェットの性質は未だよくわかっていない。近年、高降着天体で相対論的ジェットを強く噴出させている狭輝線セイファート 1 型銀河 (NLSy1) がこの謎を解く鍵として注目されており、中でも最も近傍にある 1H 0323+342 は非常に注目されている天体である。Hada et al. 2018, Doi et al. 2018 では、VLBA を用いて pc スケールのジェットの形状の遷移や遷移領域におけるジェット内部の recollimation shock の存在を示唆しており、徐々に中心核の構造が明らかになってきた。さらに Takamura et al. 2023 では、日本の VLBI である VERA の 22, 43 GHz の広帯域偏波観測により NLSy1 の中心核領域環境が Flat-spectrum radio quasar と非常に似た高密度な環境である示唆がされた。しかしながら、ジェット領域の詳細な構造や取り巻く環境の議論を行うにはより低周波の観測が必要である。よって我々は 4, 6, 15, 22, 43 GHz の多周波偏波観測を行なった。本観測の結果、センチ波帯の偏波観測によりコア領域だけではなく、ジェット領域で広く偏波信号を検出した。さらに多周波観測によりジェット領域の偏波角の方向やファラデー回転度量 (RM) を求めたところ、ジェットに跨る方向に RM の勾配があることがわかった。これは、ファラデースクリーンがジェットの外側に存在し、緩い螺旋磁場構造を持つことを示唆している。つまり、1H 0323+342 のジェットがアウトフローのような多層構造を持つこと、ジェットの形状の維持にも大きな影響をもたらしている可能性を示唆している。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

S33a 日韓 VLBI 観測網による電波銀河 NGC4261 の水メガメーザーの空間分布

澤田-佐藤 聡子 (大阪公立大), 川勝 望 (呉高専), 新沼 浩太郎 (山口大), 亀野 誠二 (JAO/NAOJ)

活動銀河核 (AGN) にて観測される高光度 22 GHz 水メーザー放射 (メガメーザー) は超巨大ブラックホール周囲の pc スケール領域から検出されることで知られている。メガメーザー AGN のほとんどは radio-quiet AGN に分類されており、メガメーザーの付随場所として、降着円盤 (e.g. NGC 4258) やジェット (e.g. Mrk348) など、いくつかの AGN 現象との大きな関連が提案されている。しかし、これらのメガメーザーの付随場所の違いや起源、AGN 種別との関係については未解明な点が多い。我々は日韓 VLBI 観測網を用いて電波銀河 NGC 4261 の水メガメーザーの分布と位置を決定した。NGC 4261 は二番目に近傍の radio-loud 水メガメーザー AGN である。本観測により、水メーザーガスの位置は NGC 4261 の pc スケール電離ガス円盤と空間的に一致し、その速度は銀河系速度 (V_{sys}) を挟んで $V_{\text{sys}}^{+300}_{-200} \text{ km s}^{-1}$ の範囲であった。これらの観測結果は、一番近傍の radio-loud 水メガメーザー AGN である NGC 1052 で既に提唱された、水メーザーと電離ガスが共に pc スケール円盤に付随する複相ガス円盤モデルで説明できる。このモデルでは、円盤の表面は中心からの X 線放射によって電離ガスの層が形成される。一方、円盤の内部では分子ガスの層が存在し、円盤の手前側の水メーザー分子は背景にいる遠ざかる電波ジェットからの連続波放射を増幅してメガメーザーを放射する。水メーザーの赤方偏移した速度は、ガスが中心に向かって落下する速度と解釈できる。青方偏移した速度成分は、円盤内の乱流の存在を示している可能性がある。今後の課題として、次回の観測では radio-loud 水メガメーザーのサンプル天体を増やし、このモデルが radio-loud AGN のメガメーザー放射の普遍的描像なのかを検証していきたい。

[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](#)

S34a 光度変動が周期的な超高光度クェーサーの測光モニター観測

堀内 貴史 (東京大学), 鳥羽 儀樹 (国立天文台), 三澤 透 (信州大学)

宇宙最大規模の明るさをもつ活動銀河核の一種、クェーサーには光度変動を示すという重要な性質が挙げられるが、その起源については詳しく解明されていない。光度変動は一般にはランダムであり、典型的な変動幅は 0.1 (数週間)~0.5 等 (数ヶ月) 程度である。しかしながら、クェーサー PG 1302-102 の光度変動に単一の正弦関数で表現できる周期性が確認されたことをきっかけに、この変動傾向を示すクェーサーが複数同定された。周期的な光度変動の起源は解明されていないが、大質量ブラックホールバイナリーによる軌道運動が候補の一つに挙げられる。

本研究では光度変動に周期性を示したクェーサーの構造や成因に制限をつけることを目的とし、アーカイブデータの詳細な調査や測光モニター観測を行った。CRTS, PanSTARRS などのアーカイブデータの調査から、WISE J0909 ($z = 1.87$, $V = 16.5 \text{ mag}$) の光度変動に 5.1 年程度の周期 (静止系で 1.8 年) をもつことが我々の解析から分かった。この天体は extremely luminous IR galaxy (ELIRG) という赤外線光度が太陽光度の 10^{14} 倍以上と極めて明るい銀河としても分類されている。またクェーサーを内包する ELIRG で光度変動に周期性を示す天体は調査されている限りでは WISE J0909 のみである。周期に継続性があるか否かの検証は、石垣島天文台のむりかぶし望遠鏡/MITSuME の 3 色同時観測 (g , R_c , I_c) によって 2021 年 2 月~2022 年 2 月の 1 年間行ってきた。モニター観測の結果、正弦関数でフィッティングした CRTS および PanSTARRS g' バンドの光度曲線から予想される傾向 (減光フェーズ) に沿った変動を g , R_c , I_c 共に示す、すなわち周期が継続している兆候を確認することができた。モニター観測を継続することで、大質量ブラックホールバイナリー以外の成因の検証、ひいては銀河進化における衝突過程を解き明かすことも視野に入れる。

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

S35a 近傍高光度 Swift/BAT-AGN における質量降着と分子アウトフローの探査

池田裕 (都立大), 泉拓磨 (国立天文台), 藤田裕 (都立大), 市川幸平 (東北大), 河野孝太郎 (東京大), 上田佳宏 (京都大), 今西昌俊 (国立天文台), 川室太希 (理研), 平澤凌 (都立大), BASS TEAM

近年の観測により、多くの活動銀河中心核 (AGN) 周辺の 10–100 pc スケールで、高密度分子ガスの核周円盤 (CND) が確認されている。この CND の超大質量ブラックホール (SMBH) 質量降着における役割を統計的に検証するため、本研究では、Swift 衛星の硬 X 線 (> 10 keV) サーベイ観測で選定した 32 個の近傍高光度 AGN ($50 \text{ Mpc} \lesssim D \lesssim 100 \text{ Mpc}$, $L_{\text{Bol}} \gtrsim 10^{44} \text{ erg s}^{-1}$) に対し、ALMA による ~ 100 pc 解像度 CO(2–1) 観測を実施した。32 天体全てに対する CND ($D = 150 \text{ pc}$) スケールの CO(2–1) ガス質量–AGN 光度間の相関係数は $\rho = 0.039$ で、無相関であった (2023 年春季年会 S02a)。一方、アウトフローの影響から今回の解析に適さないと考えられるエディントン比が特に高い ($\lambda_{\text{edd}} \gtrsim 0.1$) 天体と、銀河中心 $\sim 500 \text{ pc}$ で非常に強いアウトフローが存在する可能性が高い CO(2–1) 非検出の天体を除くと、CND スケールの分子ガス質量–AGN 光度間の相関係数は $\rho = 0.720$ となり、強い相関が得られた。これにより、アウトフローの影響が想定される天体を除けば、CND が SMBH への質量供給源として働くことが示唆された。また、銀河中心 $\sim 500 \text{ pc}$ の CO(2–1) 放射が明確に検出できた 17 天体 ($\lambda_{\text{edd}} \gtrsim 0.1$ も含む) に対し、回転円盤モデル (3D-Barolo) によるフィッティングから CO(2–1) ガスの空間分布や速度構造に関する解析をした。その結果、観測データと 3D-Barolo モデルとの残差マップから、CO(2–1) アウトフローの存在を示唆する天体も発見した。本講演では、これらの結果とその解釈に加え、AGN による CO(2–1) ガスの吹き飛ばし (アウトフローレートやエネルギー、運動量の見積もりも含む) や励起などの影響の可能性について考察し、CND–SMBH の系の包括的な描像を議論する。

[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](#)

S36a 電波ジェット NGC315 の磁場強度が示唆する強磁場降着流

紀基樹 (工学院大/国立天文台), H. Ro (KASI), 高橋真聡 (愛知教育大), 川島朋尚 (東大宇宙線研), J. Park (KASI), 秦和弘 (国立天文台), Y. Cui (Zhejiang Lab)

NGC315 は、 $z=0.0165$ の近傍にある 10 億倍太陽質量を超える巨大ブラックホールをホストする電波ジェット天体であり、ジェットが非相対論的な速度から相対論的な速度へと加速する様子を観測することができる数少ない貴重な天体のひとつである。

最初にわれわれは、M87 について以下の研究を行った。(1) まず日韓合同 VLBI 観測網 (KaVA) で得た速度場と磁気加速ジェットモデルが予言する速度場を比較してジェット磁気圏の回転角速度を推定し、その値を Blandford-Znajek 機構が予言するジェットパワーに代入し、イベントホライズン近傍の磁場強度を推定した (2020 年秋季年会, Kino et al. 2022)。(2) KaVA の K-Q 帯観測で得たスペクトル指数マップとシンクロトロン冷却モデルの比較し、ジェット下流領域の磁場強度を推定した (Ro et al. 2023)。

次に、これらの手法を NGC315 観測データ (Park et al. 2021) にも適用した。その結果、NGC315 ジェットが非相対論的な速度から相対論的な速度へと加速する位置が重力半径の数千倍もの遠方に位置するため磁気圏回転速度が遅く、また、その値に対応するホライズン近傍の磁場強度は数 10^3 ガウスを超えることが分かった。これは、降着流内縁付近でローレンツ力がブラックホール重力を凌駕する強磁場降着流 (Magnetically Arrested Disk: MAD) であることを示唆する。また、ジェット下流領域 (数 mas) の磁場強度はおおよそ 0.3 ミリガウス程度と推定され、この値を距離の -0.88 乗で内挿すると、やはり MAD 降着流が示唆された。NGC315 と M87 との類似点と相違点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](#)

S37a 3C84 における北側ジェットの長期間にわたる停滞現象と AGN 核周構造

新沼浩太郎 (山口大学), 紀基樹 (工学院大学/NAOJ), 川勝望 (呉高専), 永井洋 (NAOJ), F., D'Ammando, G., Givannini, M., Orienti, M., Giroletti (INAF), 秦和弘 (NAOJ), 輪島清昭 (KASI)

電波銀河 3C84 では 2000 年代初頭に噴出したジェットが中心核から南側数 pc の領域でホットスポットを形成したことが確認されている。そしてこの発見から 10 年ほどが経過した 2015 年末には中心核の北側約 1pc の領域にもジェット成分が検出され、南側ジェットと同時期に噴出したカウンタージェットである可能性が示唆されている。

我々はこれら 3C84 中心核近傍の若いジェットに対し 2015 年から 2018 年までの間、日韓 VLBI 観測網 (KaVA) の 7 ミリ帯で毎月のモニター観測を実施した。米国 VLBA による同天体のアーカイブデータとも合わせて解析を行ったところ、南北ともに 2016 年以降長期にわたりジェットの運動が停滞する現象を発見した。南側ジェットについては 2017 年中頃までの 1 年程度の間、運動の停滞とともにその強度も徐々に減衰していく様子が捉えられ、核周領域に存在する非一様高密度ガスとの衝突によって同現象を説明できることが明らかになった (Kino et al. 2021)。一方、北側ジェットについては少なくとも 2016 年から 2021 年のおよそ 5 年間にわたり、ほぼ同じ場所 (~0.1pc 程度の領域内) にとどまっていることがわかった。また、その強度は南側ジェットに比べると数分の 1 以下と暗く、数ヶ月以内の時間スケールで変動を示したものの南側ジェットがガス雲との衝突時に見せたような系統的な減光は捉えられなかった。今回北側に出現したジェットの振る舞いは、ガス雲衝突により停滞していた南側ジェットとは異なることが明らかになり、その起源の解明は AGN 核周構造の理解にとって非常に重要である。本講演では、この長期間にわたる北側ジェットの停滞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](#)

S38a 極端 2 重星型超巨大ブラックホール Sgr A* の検証と M87* 電波像理解への敷衍

大家 寛 (東北大)

本研究の原点は 21.86MHz による東北大学デカメータ電波観測により、Sgr A* が極端・超巨大バイナリー・ブラックホール (E-SMBHB) で、240 万及び 190 万太陽質量を持ち、それぞれ光の 18 及び 22 パーセントの速度で、2200+/-50 秒周期で公転するとの結論にある。既存の、ブラックホール・バイナリーからの重力波放射論との関連に対して、E-SMBHB からの重力波無放状態の可能性を、理論モデルに基づき指摘している (Oya, 2023)。本研究での E-SMBHB の検証の第一段階として、Fish et al (2011) による、1.3mm 波 VLBI での、Sgr A* 観測データに E-SMBHB の公転周期 2150 sec を確認、さらに EHTC により公開された 1.3mm VLBI による Visibility データに対し、時間変動の詳細解析を実施し、2193+/-7.5sec の軌道運動周期を軌道面、軌道サイズ等、電波源の幾何学的情報の一致と共に確認している。2019 年 EHT により発表された M87* の電波源像が誤りである事を Miyoshi et al (2022) が指摘し、改めて電波源像 (M 像) を発表している。また ALMA における 3.5mm 波観測を核とする VLBI 観測網 GMVA (Lu et al 2023) によって新たに M87* の電波源像 (L 像) が発表された。以上を本研究にて検討の結果、M 像 (動きが明示されている) での一対の輝点と L 像の示す 2 つの輝点の位置関係は観測の時間差 370 日間に生じた、E-SMBHB の軌道運動を示すと結論された。本研究では円軌道を仮定して解析したパラメータは公転周期 197.3 日で、M87*A (仮称) 及び M87*B (同) に対しそれぞれの質量が 38.5 億、26.5 億・太陽質量、公転速度が光速の 9.3, 及び 13.5 パーセント、となる E-SMBHB を構成していると結論された。

[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](#)

S39a 超高光度赤外線銀河中心核の塵に埋もれた AGN の探査 - 空間分解した HCN、 HCO^+ 3 回転遷移輝線の観測で探る高密度分子ガスの物理/化学的性質

今西昌俊 (国立天文台), 馬場俊介 (鹿児島大), 中西康一郎 (国立天文台), 泉拓磨 (国立天文台)

赤外線光度が $10^{12}L_{\odot}$ を超える超高光度赤外線銀河 (ULIRG) は、ガスを豊富に持つ銀河同士の衝突/合体によって生成されると考えられており、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) が主要なエネルギー源である。星生成活動に比べてサイズの小さな AGN は特に塵の奥深くに埋もれて見つけにくくなるが、そのエネルギー的役割をきちんと見積もることは、宇宙で頻繁に生じている銀河合体によってどのように超巨大ブラックホールが質量成長するのかを正しく理解する上で欠かせない。ULIRG 中心核に大量に分布する高密度分子ガスの (サブ) ミリ波帯に存在する回転遷移の輝線の観測は、塵吸収の影響をほとんど受けることなく、隠されたエネルギー源の性質に関する重要な情報を与える。

我々は ALMA を用いて、近傍 ($z < 0.15$) の ULIRG 12 天体の中心核 ($< 2\text{kpc}$) を、高密度分子ガスをトレースする HCN、 HCO^+ の 3 個の回転遷移輝線 ($J=4-3$, $3-2$, $2-1$) で、 0.5kpc 以下の物理スケールで空間分解して観測した。非局所熱平衡モデル計算との比較から、以下の主要な結果を得た。(1) 一番内側の 0.5kpc 領域では、分子ガスは高密度 ($> 10^5 \text{ cm}^{-3}$)、高温 ($> 300\text{K}$) である。(2) 塵に隠された高光度の AGN を持つのではと他の手法で示唆されている ULIRG 中心核の一番内側の 0.5kpc 領域で、 HCO^+ に対する HCN の組成比と分子ガスの力学的温度が、やや外側 $0.5-1\text{kpc}$ 、 $1-2\text{kpc}$ の領域に比べて超過しており、AGN の影響と解釈される。広がった星生成が支配的な天体では、同じ傾向は見えていない。以上の結果は、高密度分子ガスの空間分解した複数の回転遷移輝線のデータが、ULIRG 中心核の塵に隠されたエネルギー源の性質を探る目的に有効であることを示している。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

T01a ひとみ衛星とすざく衛星を統合したペルセウス銀河団からの暗黒物質由来の輝線探索 IV

福一誠、北本俊二 (立教大)、田村隆幸 (JAXA)

ダークマターの候補であるステライルニュートリノは崩壊して X 線を出すと考えられている。ペルセウス銀河団から 3.5keV の未知の輝線の検出報告があり、その輝線は、ダークマター由来として議論されている。(Bulbul et al. 2014, Urban et al. 2015, Franse et al. 2016)。我々は、統計精度の良い「すざく」XIS のデータと、エネルギー分解能の高い「ひとみ」SXS のデータの同時解析を行うことで、以前より厳しい輝線強度の上限を与えた。(日本天文学会 2022 年春) 今回、解析方法を検討し改善を加え、再解析を行なった結果を報告する。そこでは、ペルセウス銀河団のダークマターからの輝線の強度分布を、観測で得られている質量分布と同じと考え、報告されているパラメータを使った NFW モデルを仮定した。一方、プラズマからの放射は ROSAT で取得したイメージの強度分布を仮定した。これにより、異なる視野を持つ装置で観測したデータの同時解析をより直接的に反映することができた。その結果、やはり、従来の結果より厳しい輝線強度の上限を与えることができた。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

T02a 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

工藤葉奈子, 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、すざ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影響を慎重に評価する必要がある。近年、すざく衛星により 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、このバブル領域の内側にある A1835 銀河団 ($z = 0.253$; Ichikawa+13) および A1689 銀河団 ($z = 0.183$; Kawaharada+10) のすざく衛星と XMM 衛星による観測データの再解析を行った。ビ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バブルからの放射成分と考えて矛盾がなかった。この成分を考慮にいたすざく衛星のスペクトル解析の結果、 r_{500} より外側において、Ichikawa+13 および Kawaharada+10 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。バブル領域の放射は非常に複雑なため、その不定性の影響についても議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

T03a すざく衛星によるペルセウス座銀河団外縁部の観測の再解析

松下恭子, 杉山剣人, 上田将暉, 福島光太郎, 小林翔悟 (東京理科大学), 山崎典子 (JAXA/ISAS), 佐藤浩介 (埼玉大学), 岡部信広 (広島大学)

すざく衛星によりペルセウス座銀河団をはじめ銀河団外縁部の銀河団ガスの温度や密度の測定が可能になった結果、エントロピーなどが理論予測と矛盾することが報告されてきた。一方 XMM 衛星による X 線放射の観測とプランク衛星による逆コンプトン効果による銀河団ガスの圧力測定からは理論予測に近い結果が得られている。ここで問題になるのが、我々の銀河系の高温ガスや太陽活動に関連する放射など、銀河団以外の前景放射である。すざく衛星の観測により天球上の領域によっては 0.6–1 keV 程度の放射が報告されている (Yoshino+19, Sekiya+14, Ueda+22, Sugiyama+23)。この成分は銀河団外縁部などの低輝度な領域での温度や密度の測定に影響を与える。

今回はペルセウス座銀河団のすざく衛星による $\sim r_{500}$ より外側の 65 観測の 8 方向の再解析の結果を報告する。ペルセウス座銀河団は銀河面に近く、おそらく銀河系由来である 1 keV の温度成分の放射が強く、またその輝度は一定ではない。また太陽風電荷交換反応による OVII 輝線も見られる。これらの前景放射を考慮した結果、6 方向での温度と輝度の分布にはほとんど方向依存性がなく、中心からの距離のべき乗でよくあらわされた。圧力はプランク衛星による多数の銀河団の平均結果と、エントロピーは理論予測と、バリオン比は宇宙の値とよく一致した。 r_{500} より外でも銀河団はほぼ静水圧平衡状態にあると結論できる。例外は宇宙の大構造のフィラメントにつながる 2 方向である。この 2 方向は他の 6 方向に比べ輝度が高く、さらに 1 方向には輝度のジャンプが見られた。フィラメントからのガスの降着を反映しているのではないか。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

T04a SDSS/WISE 衛星の銀河観測による近傍銀河団の鉄質量–銀河質量比

近藤麻里恵, 佐藤浩介 (埼玉大学), 荒川一樹, 松下恭子, 小林翔悟 (東京理科大学), 岡部信広 (広島大学), 中澤知洋 (名古屋大学), 田村隆幸 (ISAS/JAXA)

銀河団には、過去に個々の構成銀河によって生成され、銀河間空間に供給された重元素が蓄積されている。重元素の供給源である銀河と供給先である銀河団ガスの分布は異なるため、これらの比である重元素質量–銀河質量比から、銀河団中の重元素供給過程の解明の手掛かりを得ることができる。先行研究では、近赤外線 (K バンド) により重元素質量–銀河質量比が調べられてきたが、やや遠方の銀河団では銀河の観測感度が不足している可能性が指摘されていた (2016 年春季年会 佐々木講演等)。銀河質量を精度よく測定するには、深い観測により暗い銀河まで含めた質量測定を行うこと、観測データから恒星や前景背景銀河の混入天体を除外し、構成銀河を正確に選択することが重要である。

我々は、近赤外線よりも深い観測である可視光 (Sloan Digital Sky Survey; SDSS) と赤外線 (WISE 衛星) により銀河質量を評価し、「すざく」、XMM-Newton 衛星による銀河団ガスの鉄質量分布と合わせて鉄質量–銀河質量比を導出した。WISE 衛星を用いた銀河光度測定 (2022 年秋季年会 荒川講演) は、全天の銀河団の銀河質量評価が可能である一方、観測データ中に恒星や前景背景銀河の混入が多く、正確な構成銀河選択が難しい。SDSS データから色–等級図を利用して選択した構成銀河 (2022 年秋季年会 近藤講演) と WISE 衛星データのみから選択した構成銀河は必ずしも一致しなかった。本講演では、SDSS/WISE 衛星を用いた銀河質量と鉄質量–銀河質量比の系統的評価と、両者の観測データから導いた銀河選択手法の評価と銀河質量測定に与える影響について議論する。また、WISE 衛星の観測のみが存在する銀河団の構成銀河選択方法の妥当性と銀河質量測定についても議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

T05a 銀河団中心銀河の分子ガス質量と AGN feedback の相関

藤田裕 (東京都立大学), 泉拓磨 (国立天文台), 川勝望 (呉工業高等専門学校), 永井洋 (国立天文台), 平澤凌, 池田裕 (東京都立大学)

銀河団中心の brightest cluster galaxies (BCGs) は高温の X 線を放射するガスに覆われているが、近年の電波観測により、分子ガスなどの冷たいガスも存在することが明らかになりつつある。そこで本研究は、BCGs の冷たいガスと銀河団中心の活動銀河核 (AGN) の活動の関係を明らかにすることを目指した。まず ALMA のアーカイブデータを探索し、AGN 付近 (~ 500 pc) の分子ガスの構造が分解できるもの 9 個を抜き出した。それらについて詳細な解析を行い、分子ガスの質量、速度分散などを求め、AGN の活動指標との比較を行った。活動指標としては、AGN ジェットの活動でできた X 線ガスの「穴」のサイズから見積もった活動度 (P_{cav}) や AGN の連続波光度 (L_{con}) を採用している。前者は X 線観測で求めたもの、後者は今回我々が ALMA のアーカイブデータの解析で求めたものや既存の観測結果を使用している。

比較の結果、中心 500 pc の分子ガスの質量 (M_{mol}) と、AGN ジェットの活動度 (P_{cav}) に比較的強い相関がみられた。一方、 M_{mol} と L_{con} は相関がみられなかった。 M_{mol} と P_{cav} の相関は AGN 周辺の冷たい分子ガスが AGN の燃料となっている可能性を強く示すものである。特に P_{cav} は「穴」ができるタイムスケール ($\sim 10^7$ 年) で平均した AGN 活動度を表しているの、分子ガスはそのような長いタイムスケールで AGN 活動を持続させていることになる。一方、連続波は AGN のごく近傍からの放射なので、 L_{con} は AGN のほぼ現在の活動を表している。 M_{mol} と L_{con} の無相関は、AGN 活動が短期的には激しく変動するためであると解釈できる。連続波光度 L_{con} はしばしば AGN 活動の指標として使われているが、あまり適切ではないのかもしれない。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

T06a ALMA による $z \sim 1$ 銀河団の高解像度 SZ 効果測定

北山哲 (東邦大), 上田周太朗 (ASIAA), 岡部信広 (広島大), 赤堀卓也 (国立天文台), Matt Hilton (Wits Univ.), John P. Hughes (Rutgers Univ.), 一戸悠人 (立教大), 河野孝太郎 (東京大), 小松英一郎 (MPA), Yen-Ting Lin (ASIAA), 宮武広直 (名古屋大), 大栗真宗 (千葉大), Cristóbal Sifón (Pontificia Univ. Católica de Valparaíso), 高桑繁久 (鹿児島大), 滝沢元和 (山形大), 堤貴弘 (NRAO), Joshiwa van Marrewijk (ESO), Edward J. Wollack (NASA/GSFC)

スニヤエフ・ゼルドビッチ (SZ) 効果は、観測される放射強度が赤方偏移によらないため、X 線等に比べて遠方天体の観測に有利である。最大の制約は、信号が微弱で広がっているために、高解像度観測が従来困難だったことだが、ALMA の台頭によって、5 秒角の空間分解能での測定が可能となった。このような高解像度 SZ 効果観測は、遠方銀河団の圧力分布や温度分布などの新しい研究手段となる。今回我々は、ALMA Band 3 を用いて、二つの遠方銀河団 RCS J2319+0038 ($z = 0.90$), HSC J0947-0119 ($z = 1.11$) の熱的 SZ 効果を測定し、Atacama Cosmology Telescope, Subaru Hyper Suprime-Cam, Chandra 衛星による多波長データと組み合わせて考察を行ったので、その結果と意義について報告する。まず、熱的 SZ 効果データをもとに中心から 300 kpc 以内での圧力分布を求めた結果、二つの銀河団ともに、近傍のクールコア銀河団に比べてはるかにゆるやかであることが明らかになった。また、RCS J2319+0038 に関しては、SZ 効果と X 線輝度の組み合わせから (X 線スペクトルに依存せずに) 温度分布を求めた結果、ごく弱いクールコアをもつことがわかった。一方、HSC J0947-0119 は、圧力分布の傾きや銀河分布などから、クールコアをもたない可能性が高いことが示唆された。以上より、いずれの銀河団も、近傍宇宙で見られるようなコアが形成される前の進化段階にあると結論づけられる。

[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](#)

U01a ダークマターハロー位相空間内の新たな普遍的構造について

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)

ダークマターハロー内部構造の定量的理解は、天文観測からダークマター候補を峻別する上で必要不可欠である。現在最も標準的なダークマター候補である冷たい暗黒物質 (Cold Dark Matter, CDM) の場合、宇宙初期は速度分散が非常に小さく、6 次元位相空間上で 3 次元シート状に分布している。その後、シート構造が自己重力によって畳み込まれてゆき、現在のハロー内位相空間には特徴的なマルチストリーム構造が出来上がる。先行研究 (Sugiura, et al., 2019) では、宇宙論的 N 体シミュレーションを用いてダークマター粒子を軌道遠点通過数で分類し、ハロー外縁部の個々のストリームを分解して自己相似解と定量的に比較した。

本研究では、この手法をより高解像度シミュレーションに適用してハロー中心部のマルチストリーム構造を明らかにするため、ハローの形成史に基づいた新たなハロー中心決定法を導入した。その結果、遠点通過数 40 を超えるストリームの分解に成功し、それらの動径密度分布の中心部の冪が -1 、外縁部が -8 となる二重冪則で表されることを明らかにした。加えて、このような特徴はハローの質量や中心集中度に依らず普遍的に成り立つことを発見した。本講演ではこれらの成果をまとめた Enomoto, et al., (2023) を基に、前述の普遍的構造と自己相似解との比較及び二重冪則の時間発展を参照しつつ、ハローの質量降着史とマルチストリーム構造の関係について議論する。

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

U02a Subaru-IRCS を用いたアクシオンダークマター探索

林航平 (仙台高等専門学校), 殷文 (東北大学)

冷たいダークマター理論は、宇宙マイクロ波背景放射などの宇宙の大局的な観測事実を非常に良く再現しており、ダークマターが宇宙の進化と銀河の形成に重要な役割を果たしていることを強く示唆している。その一方で、ダークマターの正体については、様々な探索研究が行われているにも関わらず未だ謎のままであり、現代物理学において最大の問題の 1 つとなっている。

Axion-like particle (ALP) はダークマターの有力候補の 1 つであり、可視光分光観測や恒星進化理論などから、ALP ダークマターの性質に対して制限が活発に行われている。特に、高空間分解能・高波長分解能を持つ近赤外線分光装置によって、ALP ダークマターの崩壊プロセス起源の光子を非常に高い感度で観測することができ、ALP ダークマターのより強い観測的制限が可能であることがわかっている (Bessho et al. 2022)。

本研究では、高空間分解能・高波長分解能を持つ、すばる望遠鏡近赤外線分光撮像装置 (Subaru-IRCS) を用いた銀河系矮小楕円体銀河の分光観測による、粒子質量 $m_a \sim O(1)$ eV の ALP ダークマター探索について議論する。特に Subaru-IRCS を用いた Draco 及び Ursa Major II の約 2 晩の観測から、 $1\text{ eV} \lesssim m_a \lesssim 2\text{ eV}$ の質量範囲における axion-photon coupling constant に対して最も強い制限を与えること示す。これは、これまで最も強いとされてきた水平分枝星からの制限を大きく上回る。

本講演では、ALP ダークマターの概要と本研究の解析手法についてその詳細を述べるとともに、本研究で得られた ALP ダークマターへの感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](#)

U03a Warm Dark Matter モデルの高解像度シミュレーションによる subhalo mass function

小野瑞季 (北海道大学), 岡本崇 (北海道大学)

Λ CDM モデルは、現在、構造形成の標準的なモデルとなっている。しかし、cold dark matter (CDM) モデルには、銀河より小さなスケールで様々な問題が指摘されている (missing satellite, core-cusp, too-big-to-fail など)。また、このような小スケールではダークマター (DM) の分布はバリオンの影響を強く受けるため、その性質はあまり制限されていない。そのため、大スケールでは CDM と同様に振る舞い、小スケールで CDM と異なる振る舞いをする DM を考える余地があり、候補として warm dark matter (WDM) がある。WDM はその質量により、例えば天の川銀河のダークハローに含まれるサブハローの数などに対して異なる予言をするため、観測的にサブハローの質量関数が得られれば WDM の質量に制限を付けることが可能である。そのためには観測と対比する理論モデルが必要となる。そこで、1 keV と 10 keV の WDM の宇宙論的 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 ハローのサブハロー質量関数を調べた。WDM では数値ノイズを種に形成される偽ハローが問題となるため、Lovell et al. (2014) の方法を用いて偽サブハローを取り除いたのち、extended Press-Schechter を用いた理論モデル (Hiroshima et al. 2018) と比較した。その結果、理論モデルは $z=0$ から 1 までは我々のシミュレーション結果を良く再現することがわかったが、 $z=2$ ではサブハローの数を過小評価することがわかった。本講演ではこれらの結果について報告し、理論モデルとシミュレーションの不一致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](#)

U04a First Constraints on Growth Rate from Redshift-space Ellipticity Correlations of SDSS Galaxies at $0.16 < z < 0.70$

奥村哲平 (中央研究院天文及天文物理研究所), 〇樽家篤史 (基礎物理学研究所)

銀河サーベイから得られる銀河の 3 次元地図は、宇宙の構成要素やそれらの進化を特徴づける宇宙論パラメータを決定する上で、きわめて強力な手段をもたらす。なかでも、銀河の特異速度の影響によって生じる赤方偏移空間ゆがみの効果を使うことで、3 次元地図に現れる非等方性の測定から、重力による構造の成長率の決定が可能となり、宇宙論的大スケールでの一般相対論を検証する手段を切り拓くことができる。これまで、様々な銀河サーベイから赤方偏移空間ゆがみの観測を通じて、 $f\sigma_8$ と表される構造の成長率パラメータの測定が行われてきた。ただし、そのほとんどは銀河の 3 次元位置情報だけを用いた解析であった。

本講演では、銀河の 3 次元位置情報に加え、初めて銀河固有の形状・向きの情報を用いて、赤方偏移空間ゆがみの測定を行い、 $f\sigma_8$ の制限を得た。具体的には、スローン・デジタル・スカイ・サーベイから得られた 120 万にのぼる銀河のデータに対し、位置情報から得られる銀河 2 点相関関数と、銀河固有の向きを使った楕円率 2 点相関関数を測定した。両者から赤方偏移空間ゆがみのクリアなシグナルを検出し、理論モデルと比較することで、3 つの銀河サンプル (LRG, LOWZ, CMASS) から赤方偏移 $0.16 < z < 0.70$ の区間で $f\sigma_8$ の制限をそれぞれ求めることに成功した。とりわけ、楕円率の 2 点相関関数を組み合わせることで、従来の比べて最大で 19%、 $f\sigma_8$ を強く制限することに成功、Planck 観測衛星にもとづく標準宇宙モデルとほぼ無矛盾な結果が得られ、遠方宇宙でも一般相対論が成り立っていることが示された。

[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](#)

U05a 宇宙大規模構造の 3 次元画像データを用いた機械学習による $f\sigma_8$ の推定

村上広椰 (名古屋大学), Indira Ocampo, Savvas Nesseris (Instituto de Física Teórica), 西澤淳 (岐阜聖徳大学), 黒柳幸子 (Instituto de Física Teórica)

物質密度揺らぎの線形成長率 f とパワースペクトルの振幅 σ_8 の積である $f\sigma_8$ は宇宙大規模構造の時間進化を表すパラメーターであり、重力理論の検証の指標に用いることができる。このパラメーターは銀河サーベイといった宇宙論的観測から得られる物質分布のパワースペクトルを用いて推定することができる。しかし、この手法で $f\sigma_8$ を推定する場合、パワースペクトルの、特に重力による非線形成長の効果が強く現れる小スケールでの振る舞いについて、現象論的なモデルを仮定する必要がある。

本研究ではこのモデルの仮定を避けて $f\sigma_8$ の推定を行う手法として、機械学習の画像解析手法の一つである畳み込みニューラルネットワーク (CNN) に着目する。CNN では画像、本研究の場合物質分布の 3 次元画像から直接 $f\sigma_8$ の推定を行うことができる。本研究では、N 体シミュレーションの公開データ QUIJOTE simulation (Villaescusa-Navarro et al., 2019) から物質分布の 3 次元画像を作成し、それらの画像を用いて CNN を $f\sigma_8$ の値を推定するように訓練し、評価を行った。その結果シミュレーションデータに対し、CNN を用いて 3 次元物質分布から $f\sigma_8$ の推定を行うことが可能であることを示した。また、本講演では既存のパワースペクトルを用いた推定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](#)

U06a 深層学習による弱重力レンズ収束場生成モデル

白崎正人 (国立天文台・統計数理研究所), 池田思朗 (統計数理研究所)

宇宙大規模構造の背後にある銀河などの天体の像は、重力レンズ効果によりわずかに歪められる。この効果は一般に弱い、離れた 2 つの銀河像の間にコヒーレントな歪みを生み出す。弱重力レンズ効果として知られるこの現象は、近年の銀河撮像観測の進展により、非常に高い統計精度で検出されている。弱重力レンズ効果を生み出すソースは、収束場と呼ばれ、宇宙大規模構造を視線方向に投影した 2 次元マップである。収束場の統計的なモデリングは、主にパワースペクトルなどの特徴量について盛んに進められてきた。近年では、観測パイプラインの検証や統計誤差の推定などの需要により、観測データにより近いマップとしての収束場のモデリング (収束場生成モデル) に関心が高まってきている。

収束場マップは、宇宙論的構造形成シミュレーションと光伝搬法を用いて生成可能であるが、この手法は計算コストが高く、多数のマップ生成に難がある。計算コストの低い手法の代表例としては、対数正規モデルが挙げられるが、このモデルでは収束場の裾の重い分布を表現できないなどの問題がある。我々は、現在公開されている収束場のシミュレーションデータを訓練データとして学習可能な深層学習による生成モデルの構築を進めている。既存の深層学習生成モデルでは、物理的に意味のない乱数から収束場を生成することが多いのに対し、我々は、収束場パワースペクトルに従う正規乱数から収束場を生成する戦略をとる。この目的のために、教師なしスタイル変換アルゴリズムの一つである Cycle GAN を用いる。特徴量の平均以外に、パワースペクトルの分散など収束場の“個性”を学習させるには、訓練データを適当にラベル付けしてから Cycle GAN に入力する必要があることがわかった。学習済みの深層学習生成モデルの性能評価、対数正規モデルとの比較、生成モデルの応用例を議論する。

[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](#)

U07a HSC 3 年目と BOSS のデータを用いた一般相対性理論の検証

谷田幸貴 (名古屋大学), 宮武広直 (名古屋大学), 横山修一郎 (名古屋大学), 新居舜 (名古屋大学), HSC collaboration

現在、重力を記述する理論としては、一般相対性理論が広く支持されている。実際に、一般相対性理論からの予言は太陽系スケール程度の観測においてはよく一致することがわかっている。その一方で、宇宙論的な大スケールにおいては、一般相対性理論で正しく重力を説明できるかは定かではない。特に、宇宙の加速膨張の発見により宇宙論スケールでの重力理論の修正に関する研究が盛んに行われており、一般相対性理論の代替となる修正重力モデルが多く提唱されている。

本研究では、Hyper Suprime-Cam 3 年目 (HSC-Y3) のデータと Sloan Digital Sky Survey (SDSS) の銀河カタログに基づく、宇宙論的弱重力レンズ、銀河弱重力レンズ、銀河クラスタリングという 3 つの 2 点相関関数 (3×2 pt) と Redshift-space distortion (RSD) を組み合わせて、重力理論を検証することを目指す。また、解析の際、我々は特定の重力理論を用いるのではなく、一般相対性理論を現象論的に変更する、より具体的には、非相対論的物質が感じる重力と相対論的物質が感じる重力を変更する理論モデル (μ - Σ パラメータ) を用いる。

本発表では、上記の 4 つの観測量の理論モデルを構築し、それらに基づく擬似データの解析により、理論モデルの妥当性を確認する。特に、 3×2 pt 擬似データとしては、HSC-Y3 解析 (Sugiyama et al, 2023) におけるテストと同様のものを用いる。

[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](#)

U08a すばる望遠鏡 HSC データを用いた弱重力レンズ質量マップで確認されたトラフ領域の視線構造

島末匠 (東京大学), 大里健 (千葉大学), 大栗真宗 (千葉大学), 他 HSC collaboration

ボイドとは宇宙の大規模構造を構成する要素であり、銀河やダークマターが分布しない低密度領域を指す。ボイドの形成と進化は重力によってのみ駆動され则认为られ、バリオン物理の影響を受けにくく、重力理論や標準宇宙論の検証に有用と考えられる。従来、ボイドは分光サーベイによって得られた銀河数密度分布に基づき探索された (例えば、Douglass et al. 2023)。しかし、銀河とダークマターの分布の相違に起因する不確実性や系統誤差が伴う。一方、弱重力レンズはソース銀河から発せられた光が途中の質量分布を反映して、わずかに歪曲する効果を示す。これを用いる場合、バイアスなしに直接的に質量密度ゆらぎを知ることができる。弱重力レンズによるボイド探索では、単一の巨大なボイドが発見しづらいとされていた。私たちはすばる望遠鏡 HSC S19A の internal data を用いて球面質量マップを再構築し、ボイド由来の可能性があるトラフ領域 (マップにおける極小領域) を探索した。ただし、質量マップは視線方向に密度ゆらぎを積分した値を示したものであり、トラフ領域の 3 次元密度構造を把握することはできない。視線方向の情報を知るために HSC photometric luminous red galaxy (LRG) カタログと SDSS Data Release 12 の LOWZ & CMASS の分光銀河カタログを用いて、トラフ領域が単一の巨大な低密度領域か否かを識別した。私たちは従来の期待に反して、単一の巨大なボイドと思われる領域を複数発見した。発見したボイドの半径は いずれも $10 h^{-1} \text{Mpc}$ 程度である。観測されたボイドをゆらぎが最小値 -1 で半径 $10 h^{-1} \text{Mpc}$ の一様球と仮定した場合、密度ゆらぎの積分値に相当するコンバージェンスの観測値は計算値より数倍大きくなった。これは、視線方向に伸びたボイドとみなせば説明がつくと考えられる。

[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](#)

U09a 最尤法を用いた宇宙論的重力レンズパワースペクトルの推定手法の開発

谷口貴紀 (Kavli IPMU), 高田昌広 (Kavli IPMU), 高橋龍一 (弘前大学), 栗田智貴 (Kavli IPMU), 手良脇大誠 (東京大学・Kavli IPMU)

宇宙論的弱重力レンズ効果 (以後、コズミックシア) はあらゆる質量に対して感度を持つため、光を発さないダークマターの分布や性質を探究するための強力な手段である。これまで、コズミックシアの統計量 (2 点相関関数、パワースペクトル等) を用いて宇宙論パラメータを制限する解析が多く行われてきているが、より高次の統計量 (3 点相関関数、バイスペクトル等) を用いて解析を行うことで、観測データからさらなる宇宙論的な情報が引き出せることが指摘されている。

従来のコズミックシアのパワースペクトルを用いた宇宙論解析では、観測領域の形状や明るい星によるマスクなどの観測的効果が含まれたパワースペクトルを求めた後、パワースペクトルと観測的効果の畳み込みを解く Pseudo-Cl 法が用いられてきた。この手法は強力なパワースペクトルの測定法であるが、バイスペクトル測定への単純な拡張は計算量の観点から難しいと考えられる。

本研究では、銀河クラスタリングで用いられている、最尤法によるパワースペクトルの測定手法をコズミックシアに拡張する形で、上述の観測的効果を補正してコズミックシアのパワースペクトルを測定するアプローチをとった。本講演では、コズミックシアパワースペクトルの新たな測定手法の精度及び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](#)

U10a 宇宙のダークマター (自転よりできない電子のラブと陽子のラブ) はどのようなにして活性化され、(自転と公転ができる電子のラブと陽子のラブ) になったか。自転と公転ができる電子のラブと自転と公転ができる陽子のラブになって、初めて原子に成ることができる。

小堀しづ

○宇宙の初めのダークマターは宇宙の中心のブラックホールから噴出するジェットにより原子に成った。○ 2.631×10^{13} 太陽質量の原子数 = 2.621×10^{13} 太陽質量 $\times$ 1 太陽質量の原子数 = 2.631×10^{13} 太陽質量 $\times$ 1.188×10^{57} 個 = 3.126×10^{70} 個です。1 個の陽子のラブは 1 秒間に 1.656×10^J の電磁気を噴出するので、 3.126×10^{70} 個の陽子のラブは、1 秒間に 3.126×10^{70} 個 $\times$ $1.656 \times 10^J = 5.177 \times 10^{71}J$ のジェットを噴出する。○ $10 - 16m$ 時代、電子のラブの公転軌道は $10 - 16m$ です。電子のラブのエネルギーは、 $8.665 \times 10^{24}Jm \div 10 - 16m = 8.665 \times 10 - 8J$ です。陽子のラブのエネルギーは、 $8.665 \times 10 - 8J \times 1836 = 1.591 \times 10 - 4J$ 、です。それで、 $10 - 16m$ 時代の陽子のラブのダークマターに $1.591 \times 10 - 4J$ を与えると、 $10 - 16m$ 時代の陽子のラブのエネルギーになる。これが 1 ダークマターを活性化するエネルギーである。○噴出するエネルギー $\div$ 1 ダークマターを活性化するエネルギー = $5.177 \times 10^{71}J \div (1.591 \times 10 - 4J) = 3.254 \times 10^{75}$ 個 1 秒間に 3.254×10^{75} 個のダークマターを活性化できる。 3.254×10^{75} 個のダークマターは何個の太陽質量か。 3.254×10^{75} 個 $\div$ 1 太陽質量の原子数 = $3.254 \times 10^{75} \div (1.188 \times 10^{57} \text{ 個}) = 2.739 \times 10^{18}$ 太陽質量○U1.27 の観察による質量は合計で、 6.1×10^{18} 太陽質量であるから、約 4.4 秒で、宇宙を 1 周する $2 \times U1.27$ の原子 (電子のラブと陽子のラブ) を作る事ができた。

[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](#)

U11b ブラックホールからジェットが噴出したエネルギーはいくらか。ブラックホールからジェットが噴出した軌道はいくらか。

小堀しづ

はたして、ジェットが噴出した場のエネルギーはいくらであったのか。ビッグバンで素粒子が噴出した場合はジェットが噴出した場であると考え。即ち、ジェットが噴出した場はビッグバンで、素粒子が噴出した場であると考え。それは、陽子になる電磁気の束のエネルギーが 1836J の場であると考え。各々の太陽質量の表から、陽子のラブのエネルギーが 1836J になる軌道と 1 秒間に作る電磁気のエネルギーを求める。109 太陽質量のブラックホールで、陽子のラブのエネルギーが 1836J になる軌道は、 0.0469Km で、1 秒間に作る電磁気のエネルギーは $4.909 \times 10^{-6}\text{J}$ です。1010 太陽質量のブラックホールで、陽子のラブのエネルギーが 1836J になる軌道は、 0.689Km で、1 秒間に作る電磁気のエネルギーは $4.909 \times 10^{-6}\text{J}$ です。宇宙の中心の 2.631×10^{13} 太陽質量のブラックホールで、陽子のラブのエネルギーが 1836J になる軌道は $2.179 \times 10\text{Km}$ で、1 秒間に作る電磁気のエネルギーは $1.656 \times 10\text{J}$ です。これらのエネルギーを使って自転だけ行うダークマターは、自転と公転を行う原子になった。

[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](#)

U12c CMB レンズング解析における観測誤差の伝搬 IV

永田竜 (宇宙航空研究開発機構), 並河俊弥 (Kavli IPMU)

マイクロ波背景輻射 (CMB) の空間パターンを統計分析することで得られる宇宙の大域的質量分布の情報は、それ自体が宇宙の構造進化を紐解く上での貴重な情報源であるとともに、CMB 信号からインフレーション宇宙の情報を抽出するための解析ツールとしても大いに期待されている。

本研究では CMB 偏光の弱重力レンズ効果を援用した質量分布の再構築について、実際の観測では避けられない系統誤差が推定に与える影響を検討する。地上での観測から得られる CMB 偏光地図の高解像度データを用いて広い領域での再構築を試みることを想定し、そこで生じるであろう信号変調に注目して数値シミュレーションに基づいた評価を行った。

今回の講演では、偏光地図の位置不定性が地図群全体としての偏光パターンを変調する効果について紹介する。個別の偏光地図では情報を汚染していない系統誤差が、集団になった際にはじめて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](#)

U13a 数値シミュレーションを用いた再電離期における 21cm 線と輝線銀河の相関シグナルの推定

森脇可奈 (東京大学)

遠方宇宙における銀河間ガス中の中性水素からの 21cm 線の強度分布を調べることで、宇宙再電離がいつどのように進化したかを探ることができる。しかし、21cm 線観測では銀河系からのシンクロトロン放射などの前景放射の寄与が大きく、遠方由来のシグナルのみを適切に取り出すことが難しい。そこで重要となるのが、銀河などの他の大規模分布トレーサーとの相互相関である。我々はこれまで、特に宇宙再電離初期やそれ以前の銀河間ガスの加熱期を探るにあたって、酸素輝線銀河が有用なターゲットとなることを示した。

本研究では、シミュレーションコード 21CMFAST を用いて宇宙再電離シミュレーションを行い、21cm 線と輝線銀河の相互相関シグナルが幅広い再電離モデルに対してどのような赤方偏移進化をするかを調査した。この結果、大スケール ($k \sim 0.1h \text{ Mpc}^{-1}$) における相関シグナルを検出することで再電離モデルを制限できることがわかった。例えば、大スケールシグナルは銀河間ガスの加熱期において極大値をとり、多くのモデルでその後再電離期にかけて負に転じる。しかし、加熱が比較的遅く起こるような一部のモデルではこういった転換が見られない。特に、シグナルの正負の転換赤方偏移は、相関に用いる銀河サンプルの詳細に大きく依存せず、幅広い赤方偏移にわたってシグナルを検出することでよりロバストにモデルを制限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](#)

U14a ミニハロー内部構造による 21cm 吸収線への影響

成瀬元希 (名古屋大学), 長谷川賢二, 市来淨興 (名古屋大学), 門田健司 (中国科学院大学), 田代寛之 (崇城大学), 柏野大地 (国立天文台)

再電離期前の宇宙の構造を明らかにする上で、21cm 吸収線観測は有望な手段であり、その光学的厚みからは吸収体の質量を、吸収線数からは吸収体の数量を調べることが期待されている。先行研究 (Kadota et al., 2023) により、ミニハロー内のサブハローが低温を保ったまま壊されずに存在すれば、21cm 吸収線の光学的厚みが増加することが示された。しかし、実際には潮汐力や力学的摩擦の効果によって、どの程度この条件を満たすサブハローが存在しうかは明らかではない。

そこで本研究では、数値流体シミュレーションを用いてサブハローの力学的・熱的進化を追跡し、どの程度ミニハロー起源の 21cm 吸収線に影響を及ぼすかを調べた。赤方偏移 $z=10$ でサブハローがミニハローに落ちる場合、質量比 1% 以下のサブハローはミニハローの外側で壊されず、さらに低温を保持し続けていることが分かった。

本発表ではそれらのサブハローが 21cm 吸収線に与える影響を定量的に評価し、先行研究 (Kadota et al., 2023) の結果をさらに精密化する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

U15a ケ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

小谷竜也, 岡 朋治, 柳原一輝 (慶應義塾大学), 榎谷玲依 (岐阜大学)

膨張宇宙論は一般相対性理論の一つの帰結であり、宇宙が非常に高温・高密度の状態から始まり、時間の経過とともに低温・低密度になっていく事を予言する。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り、高温・高密度であった過去の宇宙の名残と考えられている。CMBR の温度は宇宙年齢とともに変化し、標準的宇宙モデルでは現在値 $T_0=2.73$ K と赤方偏移 z を用いて $T_{\text{CMB}}(z)=T_0(1+z)$ と表される。このことは、遠方銀河における CMBR の温度を測定することによって宇宙モデルを検証することが可能であることを示しており、実際これまでに多種多様な方法で $T_{\text{CMB}}(z)$ の測定がなされてきた。

PKS1830-211 は $z=2.507$ にあるケーサーであり、そのスペクトルに視線上で重なる $z=0.88582$ の銀河による顕著な吸収線群を呈することで知られる。今回私たちは、ALMA で取得された PKS1830-211 のミリ波帯スペクトルを詳細に解析し、HCN $J=2 \leftarrow 1$, $J=3 \leftarrow 2$, $J=4 \leftarrow 3$, $J=5 \leftarrow 4$ 回転遷移の良質な吸収スペクトルを得た。これらの遷移における始状態の励起臨界密度は $n_{\text{crit}}=10^6 \text{ cm}^{-3}$ と非常に高いため、回転準位は CMBR と輻射平衡状態にあると考えられる。このことを前提に、局所熱力学平衡かつ Rayleigh-Jeans 近似の下で、複数の吸収線強度から CMBR 温度を計算したところ、 $T_{\text{CMB}}=5.22 \pm 0.01$ K という結果を得た。この値は、時間依存しない宇宙項を持つ標準的宇宙モデルから計算される $T_{\text{CMB}}(z=0.88582)=5.14$ K に非常に近い値である。本講演では、上記の結果に加えて Rayleigh-Jeans 近似を仮定しない精密な解析結果も紹介し、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](#)

U16a EMPRESS 3D 計画の全データを用いた原始 He 存在比と宇宙論への示唆

柳澤広登, 松本明訓, 大内正己 (東京大学), 中島王彦, 本原顕太郎, (国立天文台), 播金優一, 川崎雅裕, 村井開, 小西真広, 小山舜平, 高橋英則 (東京大学), EMPRESS 3D Team

ビッグバン元素合成 (BBN) で作られる He の存在比 Y_{p} は、初期宇宙の膨張率や中性子数密度に依存し、宇宙論パラメータを制限する上で重要な役割を果たす。例えば、ニュートリノの有効種族数 N_{eff} が大きくなると初期宇宙の膨張が速くなり、 Y_{p} も増加する。また、レプトン非対称性が存在すると、レプトンの化学ポテンシャルが中性子数密度を変化させるため、 Y_{p} も変化する。本研究では、EMPRESS 3D により得られた全 14 天体のデータを用い、銀河の He 量と金属量の正の相関関係を用いて、BBN 時と同じ金属量 $\text{O}/\text{H}=0$ における値を推定することによって、 $Y_{\text{p}}=0.2379 \pm 0.0049$ という結果を得た。さらに得られた Y_{p} の値を用いて、 $N_{\text{eff}}=3.10 \pm 0.27$ 、 $\xi_e=0.05 \pm 0.03$ という結果を得た。これは $\sim 2\sigma$ でレプトン非対称性を示唆する結果である。しかし、未だ $\xi_e > 0$ を十分な有意性で示すことはできていない。今後の観測により統計精度を向上するとともに、系統誤差の低減にも取り組む必要がある。

[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](#)

U17a バリオン音響振動測定における測光赤方偏移不定性の影響

石川 慶太朗, 砂山 朋美 (アリゾナ大学), 西澤 淳 (岐阜聖徳学園大学), 宮武 広直 (名古屋大学)

宇宙初期の光子とバリオンの混合流体による音響振動 (バリオン音響振動) の痕跡は、宇宙の物質分布に刻まれ、今もなお宇宙論パラメータの制限や精密な距離指標として用いられている。

物質分布を探る大規模銀河観測サーベイにおいて、観測手法は大別して分光観測と測光観測の2つがある。分光観測に対して測光観測は暗い銀河もまとめて撮像できるというメリットがある一方、銀河の赤方偏移不定性 (photo- z error) が大きい。それでも測光観測は DES や将来観測サーベイ LSST など、分光観測でカバーしきれない領域を探索するため、測光観測のみでバリオン音響振動の測定精度を精査する意義がある。

そこで本研究ではバリオン音響振動を用いて、将来観測における測光赤方偏移不定性の達成すべき水準を示す。三次元の情報を全て使った解析をするため、三次元二点相関関数に正規分布を仮定した photo- z 分布を組み込むことで、測光赤方偏移不定性をモデル化して $1 \text{ [Gpc}/h]^3$ の大きさの銀河模擬カタログを用いて検証した。その結果、以下の3つのことがわかった。1つ目に、事前に photo- z error の大きさがわかる場合、photo- z 1% error までの不定性で $\Delta\Omega_{m0}$ 10%以上の不定性を棄却できる。2つ目に、LSST の観測領域を仮定した共分散行列を用いると、統計精度の大幅な向上が見込まれる。3つ目に、photo- z 分布が skewed non-Gaussian である場合でも、分布の分散が正しく再現できていれば BAO の測定に skewness は影響しない。以上をまとめて講演では、BAO を用いたロバストな測定をするための条件を整理し、測光観測で求められる水準を議論する。

[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 : 高精度宇宙大規模構造エミュレータ

田中 賢 (京都大学), 西道 啓博 (京都産業大学)

将来の精密観測に向けて理論の立場から高精度の宇宙論モデルを予言しておくことは重要となる。 N -body シミュレーションは宇宙論モデルの予言の強力なツールとなるのが、マルコフ連鎖モンテカルロ法と組み合わせて宇宙論パラメータを推定するには宇宙論パラメータを少しづつ変えた数万回以上の計算が求められるため、高解像度 N -body シミュレーションの結果を有効に使うことには不向きであった。そこで近年、機械学習、ニューラルネットワークを応用し、 N -body シミュレーションから求まる統計量を学習データとしたエミュレータの開発がなされており、従来シミュレーションベースで時間がかかっていた箇所をエミュレータベースに置き換えることにより、大幅な時間短縮に成功している。

本講演では Dark Quest I (Nishimichi et al. 2019) から考慮する宇宙論パラメータ空間の次元、幅を向上させ、パラメータセット数も一桁多くした学習データセットを構築し、入力情報の改善、mixed-resolution、ハイパーパラメータサーベイなどテクニックと組み合わせて高精度なエミュレータを開発したのでその紹介を行う。更に公開されているその他のエミュレータ (EuclidEmulator2, Mira-Titan Universe など) と比較して本エミュレータの優位性を示す。

[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](#)

U19a 機械学習を用いた銀河団形成史と観測量の関係の構築

Seongwhan YOON(名古屋大学), 宮武広直(名古屋大学), 永井大輔(Yale 大学), Erwin Lau (Harvard 大学), Andrew Hearin (Argonne 国立研究所), 他 Baryon Pasters Collaboration

天文観測技術の発展により、我々の宇宙が加速膨張していることが明らかになった。今まで構築された標準宇宙論では宇宙定数と呼ばれる項を数学的に導入して加速膨張を説明するが、宇宙定数の物理的な起源はまだ理解されていない。さらに、最近の研究によると、標準宇宙論における宇宙論パラメータのうち、宇宙の膨張速度を表すハッブル定数(H_0)やパワースペクトルの振幅を表す σ_8 の測定が、前期宇宙と後期宇宙の間で一致しない可能性が指摘されている。このような状況において、標準宇宙論の徹底検証が現代宇宙論における重要課題となっている。宇宙論モデルを検証するために提案されている方法の一つとして銀河団を用いる方法がある。銀河団の単位体積・単位質量あたりの個数密度(質量関数)は宇宙の膨張史に敏感である。質量関数の測定値と理論の比較の際に重要な要素は銀河団の選択関数の定量化、観測量と銀河団質量の関係を理解である。そのためには、バリオンを含む流体シミュレーションを走らせる必要があるが、広い範囲の宇宙論パラメータ空間やバリオン物理の不定性を網羅した宇宙論的スケールの流体シミュレーション群を走らせるのは計算時間の面で現実的に難しい。そこで、我々の研究グループ(Baryon Pasters)では、小スケールのバリオン入りのシミュレーションからバリオンの影響をパラメータ化して抜き出し、暗黒物質のみの宇宙論的シミュレーションに貼り付ける Baryon Pasting 法(BP 法)を開発している。本研究では、特に銀河団の形成過程と観測量との関係を調べ、BP 法の高精度化を行う。本講演では特に機械学習手法を用いた銀河団の形成過程と BP パラメータの関係付けの改善を含めて、今までに得られた成果の報告を行う。

[スケジュール\(セッション毎\)に戻る](#)

[スケジュール\(全体\)に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

U20a 曲率を持つ宇宙のハローパワースペクトルの計算法

寺澤凌(東京大学, Kavli IPMU), 高田昌広(Kavli IPMU), 高橋龍一(弘前大学), 西道啓博(京都産業大学)

宇宙の曲率は幾何学的効果と宇宙構造形成への効果を通じて銀河分布などの観測量に影響を与える。大規模構造の観測から構造形成の情報を引き出すためには、構造形成の度合いを表すパワースペクトルについて、重力の非線形性の効果を適切に取り入れた理論モデルによる解析が必要になる。このようなモデルの構築は一般に困難であるが、小スケールの情報を使うことは宇宙論パラメータのより強い制限を得るために重要である。特に平坦な宇宙モデルについては、N 体シミュレーションの予言に基づくエミュレータと呼ばれる精密なモデルが開発されている。

Separate universe の考え方に基けば、構造形成の標準模型 Λ CDM モデルの枠組みにおいて、曲率が構造形成に及ぼす効果は、長波長密度ゆらぎがモードカップリングにより小スケールの密度ゆらぎの進化に及ぼす効果と同一視できる。本研究では N 体シミュレーションを行い、長波長ゆらぎの効果を、既存のエミュレータから予測可能なハッブルパラメータへの依存性を用いて近似的に評価する方法を開発、検証した。曲率を持つ宇宙におけるパワースペクトルの理論モデルの開発は平坦な宇宙におけるモデルに比べて発展途上であるが、このようにモデル化した長波長ゆらぎへの応答を用いて、すでに高精度を達成している平坦な宇宙のモデルを曲率ありの宇宙に拡張できることを示した。N 体シミュレーションによる精度の検証も行い、曲率を持つ宇宙のパワースペクトルを高精度で得られることを確認した。本講演では、物質パワースペクトルに上記の方法を適用した Terasawa et al. (2022) の手法を、ハロー・物質パワースペクトル、ハローパワースペクトルに応用した結果を述べる。

[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](#)

U21a ダークマターハロー由来の熱制動放射と小スケールゆらぎ

阿部克哉, 田代寛之 (崇城大学)

制動放射は、宇宙における普遍的な放射現象の一つであり、プラズマ粒子の熱運動によって生じる。その放射強度は、自由電子の数の二乗に比例する。背景の制動放射は、マイクロ波や電波の周波数領域における、宇宙マイクロ波背景放射などの前景放射としてこれまで研究されてきた。観測された制動放射の多くは我々の銀河起源と考えられているが、宇宙論的な制動放射は、銀河間物質、再電離後の銀河群・銀河団、再電離時の構造形成などでも生成される。その中でも、ダークマターハロー内の高温ガスからの寄与が大きいと考えられている (L. Gleser et al. 2008)。

本講演では、ダークマターハロー内の高温ガスに由来する制動放射の強度を見積もり、この制動放射が示す非等方性について評価する。その結果、赤方偏移 $z \sim 3$ 付近でジーンズ質量 $M \sim 10^{10} M_{\odot}$ に近い質量を持つダークマターハローからの寄与が支配的であることを示す。これは、ダークマターハロー由来の制動放射強度が、そのような比較的小質量 ($M \sim 10^{10} M_{\odot}$ 程度) のダークマターハローを形成する小スケール ($k \sim 10 \text{Mpc}^{-1}$) の密度揺らぎに感度があることを示唆する。これを踏まえ、将来の電波観測プロジェクトにおける精密な測定が、小スケールの密度ゆらぎの解明につながる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](#)

U22a アストロメトリックレンズング B モードによるハローの視線距離の測定

井上 開輝 (近畿大)

最近の理論研究により、アインシュタイン半径が 1 秒角程度である銀河-銀河レンズ系において、視線方向に存在するダークハローの摂動効果は、強い重力レンズ効果を引き起こす主レンズ銀河に属するサブハローの摂動効果に比べ優勢であることが指摘されている。しかし、その観測的な裏付けは未だ十分とは言い難い。主レンズ銀河の重力のみによって生じた多重像を、光源面に引き戻したとき、多重像のディレンズ像の間に、摂動効果による空間的なズレ (アストロメトリックシフト) が生じる。このズレは摂動体による偏向角に等しく、レンズ面上でベクトル場とみなすことができる。主レンズ銀河と摂動を引き起こす摂動体の視線距離に違いがある場合、このベクトル場中に B モード (磁気的モード) パターンが生じる。従って、拡がった光源の重力レンズ像の歪みから、B モードを取り出し、副レンズとなる摂動体までの視線距離比を推定することが可能になる。今回、議論を簡単にするため、それぞれの視線の近傍における摂動効果が、ある特定の視線距離にある 1 つの摂動体 (ハロー) によって支配される場合を考えた。その場合、ベクトル場の回転の振幅は、主レンズのシアの方向に対し、45 度回転した摂動体のシア成分に比例する。また、測定された B モードと E モードから、摂動体の視線距離比を推定できる。測定される視線距離比は、摂動体が属するレンズ面と主レンズのレンズ面それぞれにおける質量シート変換による不定性を伴うが、レンズ像の間の時間遅延が観測されれば、それらの不定性を取り除くことができる。また、摂動体の赤方偏移が既知であれば、時間遅延と B モードの測定により質量シート縮退を解き、ハッブル定数の不定性を減らすことが可能である。本講演では、トイモデルに対するシミュレーション結果を紹介し、ALMA や JWST による B モードの観測可能性について議論する。

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

U23a 銀河前景放射を回避する原始重力波の新たな観測量

並河俊弥 (Kavli IPMU), Blake Sherwin (Cambridge), Irene Abril Cabezas (Cambridge)

宇宙の初期段階で起こったとされるインフレーションは、銀河・銀河団などの構造の種となる密度揺らぎを生成すると同時に、重力波（原始重力波）の生成を预言する。この原始重力波を捉えることでインフレーション理論の検証ができ、新たな観測的視点から初期宇宙に迫ることができる。原始重力波は CMB の偏光度分布に B モード偏光と呼ばれる渦上のパターンを残す。この B モード偏光を捉えることで原始重力波の検証につながる。

原始重力波起源の B モード偏光の測定では、現在二つの困難がある。一つは天の川銀河の前景放射が作る B モード偏光、もう一つは重力レンズが作る B モード偏光である。観測した B モード偏光からこれらの寄与を除く必要があるが、後者に関しては物理的によく理解されているため、原理的にはほぼ不定性なく寄与を見積もることができる。一方前景放射の性質は理解が難しく、実際 BICEP2 実験のように前景放射を原始重力波の信号と間違えることがありうる。様々な前景放射の除去方法が考案されてきてはいるが、どの程度将来の高精度観測で前景放射を理解し除去できるか不明である。

本講演では、従来の方法と異なり、前景放射の影響を回避、あるいは大きく軽減する手法を提案する。この手法では、原始重力波起源の B モード偏光は宇宙大規模構造由来の重力レンズ効果を受けるのに対し、前景放射はそのような効果を受けないことを利用する。重力レンズを受けた揺らぎは、銀河など大規模構造の物質分布をトレースする観測量と相関するので、この相関量を測ることで前景放射を回避しつつ原始重力波を観測できる。本講演では、将来観測における、この手法の原始重力波への感度などについて結果をまとめる。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V101a 次世代太陽風観測装置に向けたプロトタイプの開発

岩井一正 (名古屋大学)

太陽風中の擾乱が電波を散乱することで惑星間空間シンチレーション (IPS) 現象が発生する。地上の電波望遠鏡を用いて太陽系外の電波天体を観測することで得られる IPS データはグローバルな太陽圏構造を理解する上で重要な情報となってきた。名古屋大学では 327MHz 帯域において、最大約 4000 平方メートルの物理開口面積を持つシリンドリカルパラボラアンテナからなる独自の IPS 観測装置を開発し、国内 3 カ所に設置することで、地上電波観測から太陽風の観測に取り組んできた。得られた太陽風データはグローバルな太陽圏構造の理解に貢献することに加え、惑星間空間を伝搬中のコロナ質量放出現象を効率良く検出し、その地球への到来予測を可能とすることで、宇宙天気予報の高精度化にも貢献してきた。一方、太陽風の加速過程の理解や、太陽風予測の高精度化には IPS 観測の稠密化が必要であることがわかってきた。

次世代太陽風観測装置計画では、多数のアンテナから構成される平面フェーズドアレイアンテナを建設し、そこに独自に開発したデジタルフェーズドアレイ装置を搭載することで、多数の方向を同時に観測できる電波観測装置を開発する。これを用いた太陽風の多方向同時 IPS 観測で、既存装置の 10 倍の太陽風観測を実現する。本計画は「太陽地球系結合過程の研究基盤形成」計画の一部として未来の学術振興構想に提案されるとともに、「学術研究の大型プロジェクトの推進に関する基本構想」(ロードマップ) への提案に向けた準備が進められている。また、現在 Phase-I プロジェクトとして全体の数%の小型アレイの開発が進められている。小型アレイでは 64 系統のアナログ入力をデジタル化し 8 ビームを同時に合成するデジタルバックエンドを開発した。アンテナ系はダーポールアンテナをアナログで複数合成する系を設計し、現在試作機の開発が進められている。

[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](#)

V102a テラヘルツ光子計数システムの開発 – 超伝導検出器と極低温冷却系

江澤 元、松尾 宏 (国立天文台、総研大)、岡田則夫、福島美津広 (国立天文台)、丹羽綾子 (筑波大)、藤井 剛、志岐成友 (産総研)

我々はテラヘルツ帯に感度をもつ光子計数型の検出器システムを開発し、高感度のテラヘルツ天文観測への応用はもちろん、光子統計を用いて輻射源の物理状態を高い精度で測定する新たな観測手法の開拓にも挑戦している。様々な開発要素のうち、本講演では超伝導検出器、および極低温冷却系について開発の現状を報告する。

これまで産総研 CRAVITY を用いて、Nb/Al/AlO_x/Al/Nb ベースで大きさ $3\ \mu\text{m} \times 3\ \mu\text{m}$ 、臨界電流密度 $300\ \text{A}/\text{m}^2$ の SIS 接合を開発してきた。これで PCTJ (Parallel Connected Twin Junction) を構成し、ツインスロットアンテナと結合した検出器を試作、0.8 K の極低温下で 2 pA の低リーク電流を実現している (Ezawa+ 2020, JLTP)。その後、電磁場解析ソフト Feko を駆使して設計を最適化し、開発した検出器の光学特性を黒体光源やフーリエ分光計を用いて評価した結果、現時点で中心周波数 530 GHz、光学効率の大幅な改善が確認できた。

検出器の動作環境を支える極低温システムの開発も進めている。パルスチューブ冷凍機により 3-4 K に冷却するクライオスタットに、我々が開発した小型の ⁴He 吸着冷凍器 (丹羽他、2021 年春季年会 V109a) を搭載して 0.8 K の極低温環境を実現する。吸着冷凍器の冷却シーケンスをスクリプト言語を用いた計算機制御で自動化し、リモートでの評価試験も可能な M&C システムも構築している。これを用いて制御パラメータの最適化を進めた結果、機械式冷凍機への熱負荷を抑えつつ、0.8 K の極低温環境を単体の吸着冷凍器で約 2 時間保持できた。さらに、この吸着冷凍器の極低温ヘッドを ³He 充填の熱スイッチで極低温ステージと結合することで、2 台の冷凍器を交互に冷却運転できる環境を構築、吸着冷凍器の冷却サイクルの制約を抑えた連続での極低温環境を実現できた。

[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](#)

V103a SIS 光子検出器の評価に向けた GaAs-JFET による極低温回路の製作と評価

丹羽綾子, 小関知宏 (筑波大学), 松尾宏, 江澤元, 田村友範 (国立天文台), 藤井剛 (産業技術総合研究所)

我々の提案する強度干渉計は、光電流の高速読み出しによって光子バンチから遅延時間を測定し、画像合成を行う。現在は実験室での画像合成の実証に向けたクライオスタットや読み出し系の立ち上げと並行し、南極での試験観測に向けた 1.5 THz 帯 SIS 光子検出器の開発を進めている。我々の検出器は応答の速い SIS を直接検出器として用いるが、光子検出時の雑音となる SIS のリーク電流を低減することが重要となる。検出器の NEP (Noise Equivalent Power) が夏季の南極の大気による背景光の NEP より低くなるようリーク電流の目標値を見積もると、光学効率を 30% と仮定したとき 3 nA 以下となった。本研究では、新しく製作する SIS 光子検出器のリーク電流や光学特性の評価に向け、GaAs-JFET による低雑音の極低温回路の製作と評価を行った。

評価用回路では検出器に電流バイアスを印加して出力電圧を読み出すが、SIS は出力インピーダンスが高く雑音の影響を受けやすいため、GaAs-JFET によるソースフォロワ回路によって電流増幅し出力インピーダンスを低減した。最終的な高速読み出し回路ではキャパシタンス低減のために検出器と GaAs-JFET 間の配線を数 mm とする予定で、本研究はその予備実験も兼ねて同様のセットアップとした。検出器と GaAs-JFET は超半球 Si レンズの裏面に接着し、吸着冷凍器によって 0.8 K まで冷却する。先行研究にてリーク電流 2 pA を実現した 600 GHz 帯 SIS 光子検出器 (Ezawa et al. 2020) を使用し、窓を開けた状態で回路の評価を行った結果、最も感度の高い電流バイアスでの雑音電流は 200 pA 以下となり、本研究で目標とするリーク電流 3 nA を読み出すのには十分な性能となった。光学効率や周波数応答の測定では先行研究と同等の結果が得られ、光学効率は 1.8% となった。これらから計算される 300 K の実験室での背景光の光子電流は 200 pA に等しくなった。

[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](#)

V104a 臼田 64m 鏡による OH 輝線観測のための L 帯受信機開発

深谷直史¹, 山本宏昭¹, 石川竜巳¹, 松月大和¹, 村田泰宏², 坪井昌人³, 中西裕之⁴, 今井裕⁴, 蔵原昂平⁵ (1: 名古屋大, 2: JAXA/ISAS, 3: 明星大, 4: 鹿児島大, 5: 国立天文台)

JAXA が所有する臼田宇宙空間観測所の口径 64m 電波望遠鏡は深宇宙探査機との通信に用いられているが、これを低密度分子雲からの OH 輝線天文観測に運用するために L 帯 (1– 2 GHz 帯) 受信機の整備を進めている (山本他 2021 年春季年会)。水素原子ガスから低密度分子雲に至るまでどのような過程で進化するかについては観測が不足していることから明らかになっていない。L 帯の OH18 cm 輝線は CO 輝線ではトレースできない低密度分子雲を検出できる可能性があり (e.g., Barriault et al. 2010)、星間ガスの進化の理解に有用である。しかし、高銀緯にある低密度分子雲からの OH 輝線の強度は非常に弱く現状のシステム雑音 (~90 K) では感度が不足していることがわかった。そこで我々はシステム雑音を 25 K 以下まで低減させ感度を向上させるために新しい L 帯受信機を開発している。まず、受信機初段に搭載されている低雑音増幅器をより低雑音なものに交換し、それを制御するバイアスボックスを製作した。旧システムでは低雑音増幅器の前段の同軸導波管変換器が常温に晒され、それに接続する同軸ケーブルも経路が長く伝送損失の原因であったが、この部分をクライオスタット内に挿入し冷却できるよう受信機を設計している。現在は L 帯用の断熱導波管、冷却ステージなどを Inventor を用いて設計、製作している。断熱導波管のフランジ間の隙間の大きさを決めるため損失の要求値を 1– 2 K (0.015– 0.03 dB) とし、電磁界解析ソフト HFSS で挿入損失を計算した結果から、加工精度も考慮し 0.5 mm の隙間 (損失 0.02 dB) を設けた。フランジ間を接続する支柱はガラスエポキシ素材を用いて断面積も小さくすることで熱流入を防ぐよう設計した。本講演では開発中である受信機の詳細と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](#)

V105a 局部発振器雑音低減のための導波管型ミリ波可変帯域通過フィルタの開発 1 —試作機の評価結果と設計改良に向けた取り組み—

中島 拓, 谷川 貫太, 小林 和宏, 堀 裕一, 立原 研悟 (名古屋大学)

ミリ波・サブミリ波受信機では、超伝導ミキ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 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 を使用することが重要である。一方、LO のサイドバンド雑音成分は、狭帯域の帯域通過フィルタ (BPF) によって低減できることが示されている (入山他, 2020 年春季年会など)。しかし、ミリ波・サブミリ波帯 BPF は特定の周波数に特化した空洞共振器を使用するため、通過帯域はある周波数に固定されており、様々な分子輝線を科学目的に応じて切り替えて観測する (すなわち LO 周波数を可変とする) ような装置には適さない。そこで本研究では、周波数と帯域幅がいずれも可変となる汎用性の高い導波管型 BPF を新たに考案した。

試作機を製作・評価した結果については既に報告したが (堀他, 2023 年春季年会)、これは可変 BPF として期待通りに動作し、通過帯域の中心周波数は 75–105 GHz、帯域幅は 2.3–25.4 GHz の範囲で連続的に変化させることが出来た。挿入損失は、帯域幅や中心周波数によって異なるが、概ね 3–9 dB であった。しかし、通過帯域の周波数特性 (損失や平坦性など) は改善の余地があるほか、試作機はフィルタ自体が大きいことや、マイクロメータヘッドによる手動の調整機構があり、実機に応用するには難があった。今回我々は、導波管回路構造を見直すことで、広い周波数範囲に渡って特性の向上を図るとともに、フィルタの小型化を目指した。また、回路内の可動部は小型のピエゾアクチュエータを使って電子的に制御することを検討した (谷川他, 本年会参照)。講演では、改めて試作機の評価結果をまとめ、さらなる設計改良と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](#)

V106a 電波望遠鏡を用いた超広帯域観測に向けたダイクロイックフィルタの開発

野曽原千晟, 抱江柊利, 山崎康正, 長谷川豊, 小川英夫, 大西利和 (大阪公立大学)

ミリ波・サブミリ波帯における電波望遠鏡を用いた広帯域同時観測の重要性は増しつつあるが、一つのフィードでのシステムでは導波管帯域 (比帯域 60 % 程度) が限界である。その例の一つとして、星形成領域からの CO 輝線の 3 帯域 ($J = 1 - 0, 2 - 1, 3 - 2$) を同時観測する場合は、準光学上で少なくとも一つの帯域を分離し、それぞれの周波数に対応する複数の受信機が必要である (西川ほか 本年会)。受信機数を最小化するためには、広帯域なダイクロイックフィルタが必要であるため、その開発は非常に重要である。我々は、84 – 116GHz を透過させ、210 – 375GHz を反射させるフィルタを開発している。

本研究では広帯域で尚且つ、透過損失の少ないフィルタの開発に取り組んだ。正六角形上に切削した金属板と誘電体層を組み合わせたモデルを採用した。研究の流れとして、まずはフィルタの特性を確認するため電磁界解析ソフトを用いて上記のモデルの最適化を行った。その結果、比帯域 60 % に渡って両偏波共に高い透過特性を確認することができた。シミュレーションでは両偏波においての比較や、フィルタ自体を 90 度回転させた特性など計四種類のパターンを記録している。また本実験では測定系を一から構築することを試みた。2 倍スケールの試作品を製作し、WR-22 の標準矩形型ホーンと誘電体レンズ、VNA を用いたフリースペース測定装置を構築した。シミュレーションに比べ測定値のグラフは 43GHz 帯において 0.8dB 程度透過損失が増加したが、フィルタの特性は確認でき、損失はあるものの全体的なグラフの形や、勾配、極値などは一致するような結果となった。本公演ではより詳細な結果と考察について発表する。

[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](#)

V107a ミリ波サブ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設計

宇野慎介, 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), 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)

ミリ波サブミリ波帯の広視野連続波カメラで3色以上の同時観測を実現する技術として、近年はシリコン基板上に集積化した検出器回路上のオンチップフィルターにより周波数弁別する手法が注目されている。そこで我々が開発を進めている多色カメラでは、各ピクセルの平面アンテナに3色のオンチップバンドパスフィルターを並列接続することで3色同時検出を目指している。

先行研究のオンチップフィルター開発では多層構造を必要とするマイクロストリップ線路が用いられてきた。これに対し我々は、単層構造のため歩留まりが高く大規模アレイ化に適しているコプレーナ線路 (CPW) を用いたオンチップフィルターを提案している (陳他, 2019 年春季年会 V109a)。理想的には8次の集中定数チェビシェフフィルターを組むことで、コンパクトな寸法にしつつ観測バンド間のクロストークを十分抑えられる。しかし、フォトリソグラフィーを想定した最小構造 $2\mu\text{m}$ の制約下で、要求値を満たすような CPW 構造のインダクタおよびキャパシタを、それぞれ集中定数素子とみなせる小さい寸法で作ることはできない。そのため本研究では、各インダクタ・キャパシタの寸法条件を緩和して波長の4分の1以下まで許容する「準集中定数」のオンチップフィルターを設計した。準集中定数フィルターに見られる寄生成分を加味して目的のバンドパス特性に最適化する設計手法を確立し、先行研究よりも設計パラメータの多い8次のフィルターでも効率よく設計できるようになった。本講演では上記の設計手法、および 150/220/270 GHz のバンドパスフィルターの設計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](#)

V108a 北半球最高感度ミリ波サブミリ波ヘテロダイン受信システム LMT-FINER IV. 受信システムの要素設計および装置計画の策定

谷口暁星, 田村陽一, 萩本将都, 岡内紀翔, 中島拓 (名古屋大), 酒井剛, 手塚愛莉 (電気通信大), 小嶋崇文, 川邊良平, Wenlei Shan, Haoran Kang, 増井翔, 谷口琴美 (国立天文台), 竹腰達哉 (北見工業大), 河野孝太郎 (東京大), 田中邦彦 (慶応大), 井上昭雄 (早稲田大), 橋本拓也 (筑波大), 他 FINER チーム

我々は、大型ミリ波望遠鏡 LMT 50 m と ALMA バンド 4+5, 6+7 相当の 120–350 GHz 帯ヘテロダイン受信機を組み合わせて、北半球で ALMA に比肩する分光探査性能を実現する LMT-FINER 計画を推進している。ALMA2 の広帯域受信機 (小嶋他 2017, 2020)、およびこれをカバーする 10.24 GHz 広帯域デジタル分光計 (田村他, 2020 年春季年会) を採用することで、LMT-FINER では ALMA に比して 40% の集光面積、5 倍広い同時分光帯域、同等の観測条件 (標高 4,600 m) を実現する。これにより、北天で未分光のまま残された $z \sim 8\text{--}15$ の宇宙再電離前期の銀河候補を、[O III] $88\mu\text{m}$ や [C II] $158\mu\text{m}$ 輝線で効率的に分光同定し星間物理を探る。

2025 年前半の LMT への搭載と科学観測に向け、現在我々は各要素の設計・製作・評価を行っている。バンド 6+7 受信機の 2SB 回路の設計 (手塚他, 本年会) や局部発振器系の試験が進行する一方、平面集積回路型 SIS ミキサ (Shan 他 2018, 2019) によるバンド 4+5 受信機の実現も検討中である。多バンド同時受信のための常温光学系、高頻度な ON-OFF 観測のための光軸切替機構も設計中である。分光計については、信号処理部の改修と評価を進めた (萩本他, 本年会)。これと並行して、FINER の開発・搭載・運用にかかる装置計画を策定するとともに、LMT 天文台との研究交流や交渉を進めている。本講演では、これらの報告と今後の推進計画を示す。

[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](#)

V109b 北半球最高感度ミリ波サブミリ波ヘテロダイン受信システム LMT-FINER V: 210-375GHz 帯 2SB 回路の開発

手塚愛莉, 酒井剛 (電気通信大学), 小嶋崇文, 増井翔, Haoran Kang (国立天文台), 田村陽一 (名古屋大学), 他 FINER チーム

我々は現在、メキシコの標高 4,600 m サイトに設置された Large Millimeter Telescope (LMT) 50 m 鏡に搭載する広帯域ヘテロダイン受信機 FINER の開発を進めている。FINER 受信機システムには、120-210 GHz 帯、210-360 GHz 帯の 2 つの受信機が搭載される。北半球最高感度の受信システム FINER により、低周波側では [CII] の輝線を、高周波側では [OIII] の輝線を捉えることで、最遠方銀河や銀河候補を分光同定することができる。

我々は、本研究にて高周波側受信機に必要な帯域を十分にカバーする、210-375 GHz 帯 (比帯域約 56%) の導波管型 2 Sideband (2SB) 回路の設計開発を行った。2SB 回路は 90° ハイブリッド、LO カプラ、LO パワーディバイダの 3 つのコンポーネントで構成されている。入出力導波管サイズは広帯域に対応させるため、標準的なサイズではなく、WR-3.15 (0.800 mm × 0.400 mm) とした。90° ハイブリッドと LO カプラはブランチライン構造で設計された。ブランチ導波管のサイズは、切削加工を可能なサイズとなるよう注意しながら最適化した。LO カプラはブランチの本数を 3 本とすることで、帯域全体で方向性が 10 dB 以上となるようにした。また、各コンポーネントの接続部や終端部の反射損失が抑えられるように最適化を行った。2SB 回路全体の特性は、広帯域でありながら、帯域全体で振幅比が 1.5 dB 以下、位相差が $90 \pm 1^\circ$ 以下、反射損失・アイソレーションが 20 dB 以上となる設計値を得られた。本講演では、2SB 回路を構成する各コンポーネントの設計結果と、製作した 2SB 回路の測定結果について報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V110b 北半球最高感度ミリ波サブミリ波ヘテロダイン受信システム LMT-FINER VI. 広帯域分光計出力の高階調化によるダイナミックレンジの改良

萩本将都, 田村陽一, 谷口暁星, 岡内紀翔, 中島拓, 彦坂拓海 (名古屋大学), 川元宏朗, 原田健一, 谷口達 (エレクトクス工業), 酒井剛 (電気通信大学), 田中邦彦 (慶應義塾大学), 鎌崎剛, 川邊良平 (国立天文台), 他 FINER チーム

我々は大型ミリ波遠望鏡 LMT 50 m と 120-350 GHz 帯ヘテロダイン受信機 FINER を組み合わせ、北天 ($\delta > 30^\circ$) に位置する赤方偏移 $z > 8$ の遠方銀河候補天体を、ALMA2 の技術をベースとした広帯域分光により効率よく探査する LMT-FINER 計画を推進している。これまでに、製作した 10.24 GHz 広帯域デジタル分光計 (田村他 2020 年秋季年会) と導波管型 2SB 受信機との結合試験を実施し、アナログ部分で生じた位相と振幅のアンバランスを本分光計でデジタル的に補正 (デジタルサイドバンド分離) することによって、サイドバンド分離比 (SRR) の改善が可能なことを実証した (萩本他 2022 年春季年会)。しかし、このときは積分結果から 16 ビット固定小数点でデータを切り出し、出力する方式を採用していたため、デジタルサイドバンド分離後に SRR を測定する際に輝線スペクトルのピークと、ノイズフロアを同時に取得することができないという課題があった。

そこで、限られた FPGA のリソースの中でこれを解決するべく、2022 年に出力データ形式を 32 ビット浮動小数点に変更する改修作業を実施した。これに伴い、分光計のダイナミックレンジの改善が見込まれる一方で、デジタルサイドバンド分離に関わる複素係数の位相の精度が下がってしまう可能性が示唆された。改修後に実施した評価試験の結果から、複素係数の位相精度は、科学目標から要求される $\text{SRR} > 25 \text{ dB}$ を達成するのに十分であることが確認できた。本講演では、今回の改修作業の内容と、改修後の性能評価試験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](#)

V111b ミリ波補償光学の開発 VIII. 波面計測データを用いた野辺山 45 m 望遠鏡主鏡面の重力変形のモデリング

岩上耕太朗, 谷口暁星, 田村陽一, 萩本将都, 中野寛矢, 今村千博 (名古屋大学), 奥村幸子 (日本女子大学), 木村公洋 (JAXA), 岡田望 (大阪公立大学), 川邊良平 (国立天文台) 他 MAO 開発チーム

ALMA を代表とするサブミリ波干渉計との相補的な役割を目指し、大型の単一鏡型サブミリ波望遠鏡の建設計画が進んでいる。広視野・高感度の両立に大口径化が必要となる一方、大型化は風・熱・重力の影響を受け鏡面精度を低下させる。必要な鏡面精度の実現にはこれらの克服が不可欠である。重力による変形は既存技術のホモロガス構造で補正可能である。しかし、風・熱による変形は時間変動が大きく予測も困難であるため、サブミリ波帯においてこれを補償する技術は確立されていない。そこで我々は、鏡面精度の低下を実時間で補償するミリ波補償光学 (MAO) の技術開発を進めている。このシステムでは、アンテナ構造の変形に起因する波面の歪みを、主鏡面に設置した参照信号源から焦点までの超過経路長 (EPL) として実時間で検出する。検出される EPL は、風変形・熱変形に加えて、ホモロガス変形として知られる自重変形も捉えるため、この二つを切り分ける必要がある。

今回、野辺山 45 m 望遠鏡の主鏡面上に設置した 5 つの波面センサを用いて、望遠鏡の仰角を短時間で大きく動かし際の EPL を測定した。本実験では自重変形の仰角依存性を定量的に測定するために、風や熱の影響が小さくなる環境下で実施した。解析の結果、アンテナ構造の重力変形を MAO の波面センサを用いて実時間で検出できることが確認できた。また、測定された EPL に対して、ホモロガス構造による主鏡面の变形 (焦点距離の変化、光軸の傾き等のホモロガス変形) を仮定して波面をモデリングしたところ、仰角が下がるにつれ放物面が閉じる結果が得られた。この結果より、測定された波面の歪みを主鏡面のホモロガス変形で説明可能なことが示された。

[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](#)

V112b 局部発振器雑音低減のための導波管型ミリ波可変帯域通過フィルタの開発 2 — 次期試作機に向けた周波数特性の向上と可動壁の電動制御化 —

谷川 貫太, 中島 拓, 小林 和宏 (名古屋大学)

現在我々は、ヘテロダイン受信機の高性能化に有効なミリ波帯の可変帯域通過フィルタ (BPF) を開発している (中島他, 本年会参照)。本研究では、先行研究の試作初号機 (堀他, 2023 年春季年会) に対し、さらなる周波数特性の向上と、BPF 内部にある可動壁の電動制御化を検討している。まず周波数特性の向上に関しては、(1) 通過帯域の低損失化、(2) 通過帯域のフラットネスの改善、(3) 遮断特性の改善、(4) 使用可能範囲の広帯域化の 4 つを目標としている。また可動壁に関しては、現在マイクロメータヘッドを用いて手動で制御している部分をリニアアクチュエータを用いて電動で制御するように改良することを検討している。

試作初号機の周波数特性の実測結果を見ると、矩形 WR-10 導波管のカットオフ周波数から離れるにつれて特性が悪くなり、特に 100 GHz を超える高周波側では急激に性能が悪化していた。そこで、フィルタを構成する 90° ハイブリッドカプラやハイパスフィルタのステップ幅や段数について、再度電磁界解析を用いて最適化を行った。これにより、標準帯域 (75–110 GHz) 全体で良好な性能が得られる感触を得ており、さらに 75 GHz 以下と 110 GHz 以上の周波数についても、できるだけ性能が確保されるように、現在設計を進めている。

可動壁の電動制御化に関しては、できるだけ小型かつ高精度のピエゾ素子を用いたリニアアクチュエータ (位置分解能 0.5 μm , 移動距離 6 mm) を選定し、現在次期試作機への組み込みと制御試験を進めている。このアクチュエータは、3.3 V 駆動でシリアル制御が可能のため、Raspberry Pi を用いることで制御部までを含めたシステム全体の小型化と簡便化を目指している。

[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](#)

V113b 平面統合型 SIS 受信機でのマルチプレクサ回路実現に向けたフィルタ設計

吉村 龍成, 中島 拓, 水野 亮 (名古屋大学), Wenlei Shan, 江崎 翔平 (国立天文台)

平面統合型 SIS (MMIC-SIS) 受信機は、バランスドミキサやサイドバンド分離ミキサなどの機能回路を超伝導線路を用いて 1 枚の平面基板上に集積した次世代型の受信機である (Shan et al. 2019 など)。従来の SIS 受信機は、フロントエンドの構成部品が導波管で構成されているが、物理的なサイズが大きいことから、多数の部品を一台の受信機に搭載するのが難しいという課題があった。一方、本方式は集積度が高く、サイズが従来と比べて大幅に小さいことから、大規模なマルチビーム受信機の実現が期待されている。我々はこれまでに、ALMA band4+5 に対応する周波数帯 125 – 211 GHz において、超伝導コプレーナ線路 (CPW) による二端子回路の伝送特性を極低温で評価するためのテストモジュールを開発し (Masukura et al. 2023)、現在は MMIC-SIS 受信機を構成する個々の回路の評価と設計へのフィードバックを進めている (Shan 他, 2023 年春季年会)。

さらに我々は、高いサイドバンド分離比を有し、広帯域なマルチバンド受信が可能なマルチプレクサ回路を MMIC-SIS 受信機で実現する計画を開始している。従来のミリ波帯のマルチプレクサ (Nakajima et al. 2020 など) では導波管型の 90° ハイブリッドカップラとバンドパスフィルタ (BPF) が使用されているが、MMIC-SIS 受信機ではこれらの回路を CPW 線路によって平面集積化することが必要となる。CPW 型 90° ハイブリッドカップラは先行研究の MMIC-SIS 受信機において既に使用されているが、ミリ波帯の BPF はこれまでに開発例がほとんどない。そこで現在、マイクロ波帯で既に実績のあるスタブを用いた CPW 型 BPF の技術をミリ波帯に応用することを目指し、HFSS を用いた電磁界解析によって設計を行っている。本講演では、現在までの進捗及び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](#)

V114b 3D プリンターによる 6.5 - 12.5 GHz 帯直交偏波分離器製作の考察

孫赫陽, 知念翼, 山崎康正, 長谷川豊, 小川英夫, 大西利和 (大阪公立大学), 米倉寛則 (茨城大), 新沼浩太郎 (山口大), 金子慶子, 神澤富雄, 三ツ井健司, 増井翔 (国立天文台)

金属 3D プリンタを用いることで複雑な形状や内部構造を持つ導波管回路を 1 つの金属パーツで製造することが可能になり、回路のコンパクト化が実現する。また製造プロセスの効率化や設計の自由度の向上が期待される。近年の研究では ALMA Band 1 のコルゲートホーンといった高周波応用においても成功事例が報告されており、その有望性が示されている (Gonzalez et al. 2021)。我々は 6.5-12.5 GHz 帯のターンスタイル型直交偏波分離器 (OMT) の開発を進めてきた (知念他 2023 年春季年会)。この OMT は回路が複雑なため、複数の金属パーツをねじで締結する必要があり、コンポーネントの大型化が避けられない。我々は金属 3D プリンタを用いて上記 OMT (以下 3D-OMT とする) を製作することで、センチ波の回路のコンパクト化が可能になると考えている。

一方金属 3D プリンタで製作すると切削で加工した時に比べ表面が粗くなり、損失が大きくなる。そこで我々は金属 3D プリンタで製作した直線導波管の挿入損失を測定し、測定結果をシミュレーションで再現することで、表面粗さを求めた。この表面粗さを 3D-OMT の設計値に適用し、シミュレーションを行った。この様にして切削製作した OMT の挿入損失と同程度になる様に、経路長をコンパクト化を行った。

3D-OMT の性能評価を行ったところ反射損失はシミュレーション結果とほぼ一致したが、挿入特性は多くの共振がみられ、交差偏波特性がシミュレーション値より劣化する結果を得た。

本発表では 3D-OMT の共振問題、低交差偏波特性の原因について製作誤差、及び解析モデル検証等の観点より考察を進めている。

[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](#)

V115b FPGA を用いた太陽観測用電波望遠鏡の開発

竹原大智 (名古屋大学), 野澤恵 (茨城大学), 岩井一正 (名古屋大学)

太陽活動に起因する宇宙環境現象のうち社会生活やインフラに影響を及ぼすものを宇宙天気現象と呼び、その予測を行う取り組みを宇宙天気予報という。

宇宙天気現象の主な原因として、フレアやコロナ質量放出 (CME) などがあげられる。このうち、フレアは電波望遠鏡を用いたメートル波帯での電波分光観測によって、その発生時に多彩で複雑な周波数スペクトル構造が観測される。メートル波帯での観測結果を用いることにより、大気モデルと密度の関係からバーストの放射領域の高さを決定したり、周波数の時間変化から放射領域の伝搬速度を推定できたりと、電波望遠鏡は宇宙天気予報にとって必要不可欠な望遠鏡である。さらに、メートル波帯ではフレアがない場合でも、様々なモードの波動現象が観測されるため、電波望遠鏡はプラズマ波動の研究にも役立つ。

本研究では宇宙天気予報の精度向上ひいては電波天文学への貢献を目指し、誰でも簡単に構築と運用ができる太陽観測用電波望遠鏡の開発を行っている。観測内容はメートル波帯での分光観測である。

開発中の望遠鏡の詳細について、アンテナは八木-宇田アンテナ、受信機はスーパーヘテロダイン方式、分光計は FPGA による 1024 点 FFT、自動追尾は軌道計算によるモータ制御で行い、経緯台は 3DCAD で設計したものを 3D プリンタで印刷する。望遠鏡全体の制御は Raspberry Pi を用いている。受信機は 3 型バーストが検出できるように設計している。しかし、現状として受信テストの段階で単一鏡としては太陽が受からないことがわかっており、太陽観測用として実装するためにはアレイ化を行う必要がある。そこで、現段階では電波天文学の教材として利用可能な性能の望遠鏡を目指している。本講演では開発の進捗状況について発表する。

[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](#)

V116b 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

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)

東北大学惑星プラズマ・大気研究センターでは 2001 年より物理開口面積が 1000m^2 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 の受信システムは、325MHz (& 650MHz:開発中) 中心の狭帯域高感度観測用と、100-500MHz 帯をターゲットとしたの広帯域観測用の 2 系からなり、前者は木星放射線帯電波やパルサー等の系外天体電波の観測に、後者は太陽電波のスペクトル観測に使用されている (AMATERAS システム)。後者の広帯域観測用フィードは平面反射板付クロスダイポールのシンプルな構成であり、開口効率が 20% 以上の実用的な帯域幅は 200MHz に届かないため、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、感度制約面で弱点があった。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。現在、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 sinuous アンテナをモデルケースとして、メートル波帯での開口効率の向上 (暫定目標:325 & 650MHz 帯で 60 % 以上、全周波数帯で 40 % 以上) を目指し、電磁界解析ソフト FEKO を用いて設計検討を行っている。開発検討項目として、IPRT の長方形パラボラ状の一次反射面に適合したビーム特性の付与、フィード部接地面の接地有無、LNA とのインピーダンス整合等が挙げられる。講演では、開発の狙いと進捗状況を紹介する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V117b テラヘルツ強度干渉計の実験室実証へ向けて

松尾 宏, 江澤 元, 木内 等, 本間希樹, 岡田則夫 (国立天文台), 村田泰宏 (宇宙航空研究開発機構), 丹羽綾子, 小関知宏 (筑波大学), 藤井 剛 (産業技術総合研究所)

テラヘルツ波および遠赤外線領域の高解像度観測を目的として、強度干渉計による画像合成の実証実験を進めている。テラヘルツ帯で高速の SIS 光子検出器による光源強度の測定を行い、光子バンチを起源とする遅延時間測定により画像合成を実現する。本講演では、これまでに開発した SIS 光子検出器、極低温回路、0.8K 吸着冷凍器、および光学実験用クライオスタット、すべてを用いる強度干渉計の実証実験の成果について報告する。

SIS 光子検出器は 0.8K 吸着型冷凍器により冷却され、室温放射入力時での検出器電流として約 200pA が測定された。フーリエ分光器により測定された分光特性（中心周波数 660GHz）と黒体放射で測定された量子効率を組み合わせると、測定された電流値は室温放射の光電流と一致する。

SIS 光子検出器の高速読出しには、0.8K ステージ上の GaAs-JFET、4K ステージ上の GaAs-HEMT、を用いた 2 段ソースフォロア回路を採用し、出力インピーダンス 50 Ω に下げた後、広帯域冷却アンプで増幅し、室温まで同軸ケーブルで信号伝送する。検出器信号の特性および光子バンチの解析について報告する。

強度干渉計の光学系として高温黒体炉（1200K）を光源とし、口径 600mm の球面鏡により平行光として干渉計への入射光とした。自動ステージ上の平面鏡 2 組および口径 76mm の軸外し放物面鏡 2 組によりクライオスタットに光導入し、基線長 100-500mm の 2 素子強度干渉計を構成した。黒体炉前面の金属マスクで天体形状を定義し、マスク回転で基線の回転を模擬する。基線長の制御と組み合わせて強度相関によるビジビリティデータを取得する。講演では、本強度干渉計を用いた光学実験の進捗および成果について報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V118b 1.85 m 電波望遠鏡での CO($J=1-0$, $2-1$, $3-2$) 輝線の同時観測実現に向けた光学系の開発

西川悠馬, 山崎康正, 藤巴一航, 中川凌, 近藤奨紀, 抱江柊利, 野曽原千晟, 孫赫陽, 亀山晃, 小西亜侑, 松本健, 澤田-佐藤聡子, 長谷川豊, 小川英夫, 大西利和 (大阪公立大学), 増井翔 (国立天文台)

我々大阪公立大学は星形成領域に存在する分子雲の物理量を導出するために、野辺山に設置された 1.85 m 電波望遠鏡の開発・運用を行ってきた。この望遠鏡には、CO 同位体 6 輝線 ($J=2-1$, $3-2$) を同時観測可能な 210–375 GHz 帯受信機が搭載されている (Masui et al. 2021)。そして現在、さらに詳細な情報を取得するために、84–116 GHz 帯に存在する CO 輝線 ($J=1-0$) も同時に観測する計画を推進している。

その中で新たな光学系に要求されることは主に二つあり、(1) 副鏡とフィードにおけるビームサイズと曲率半径を周波数依存なく一定にすることと (2) 210–375 GHz 帯と 84–116 GHz 帯に分離して集光することである。(1) は開口率を全帯域に渡って高めるためであり、Frequency Independent Matching 理論を用いることで最適化が可能である。(2) は導波管限界により 84–375 GHz という比帯域 130 % を一つのフィードで給電するのは不可能なためであり、低周波側のみを透過する準光学フィルタ (野曽原他 本年会) を用いることで実現可能である。準光学フィルタの通過特性は平面波入射の際に最大となるが、実際の光学系において使用する場合は斜入射成分を含むため、特性劣化は不可避である。従って、出来るだけ平面波に近い状態で入射させることを考慮した設計を目指した。その結果全帯域共通の楕円鏡を二枚使用することに加えて準光学フィルターで分離した後にそれぞれ一枚ずつ楕円鏡を追加し、光学系として成立することを物理光学シミュレーションによって確認した。

本講演では、上記 2 つの要求を両立するビーム伝送系設計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](#)

V119b 高萩・日立 32 m 電波望遠鏡の整備・運用状況 2023B

米倉覚則, 田辺義浩, 森泉怜, 古川真祐子, 百瀬宗武 (茨城大), 孫赫陽, 抱江柊利, 小川英夫 (大阪公大), 元木業人, 新沼浩太郎, 藤沢健太 (山口大), 須藤広志 (岐阜大), 久野成夫 (筑波大), 中川亜紀治 (鹿児島大), 本間希樹, 小林秀行 (国立天文台), 他 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、VLBI 観測を 6.7, 8.4, 22 GHz において実施するとともに、6.7, 12.2 GHz メタノールメーザー源の単一鏡モニター観測、日立-高萩電波干渉計による連続波高感度観測等を実施している。日立アンテナは 1 年を通して 6–9 GHz 帯受信機を搭載し、モニター観測を毎日実施している。高萩アンテナは、9 月から 6 月は 22 GHz 帯受信機を搭載し、東アジア VLBI 観測網 (East-Asian VLBI Network [EAVN]) の共同利用観測などに対応する。EAVN 共同利用観測には、22 GHz 帯において年間 100 時間、6.7 GHz 帯において年間 100 時間を提供している。

2023 年 1 月に日立 32-m アンテナに広帯域冷却受信機 (6.5–12.5 GHz) を搭載した (知念他 2023 春季年会) 事を受け、2023 年 2 月末から 12.2 GHz メタノールメーザーのモニター観測を開始した。現在は、冷却受信機出力を 2 分配した後、既存の 6.7 および 8.4 GHz 帯常温 IF 系と、仮設置した 12.2 GHz 帯常温 IF 系に入力している。これらは band pass filter を使用しているため、受信可能な周波数帯は固定である。今後、冷却受信機出力を 4 分配した後、6.7, 8.4, 12.2 GHz およびサイドバンド分離型 IF 系 (受信周波数可変) に導く IF 系を新規製作する。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) の観測に即応できるようにする。(本研究は、国立天文台大学間連携プロジェクト「国内 VLBI ネットワーク事業 (JVN)」、JSPS 科研費 JP21H01120、JP21H00032 の助成を受けた)。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V120b 臼田 64m 鏡による OH 輝線観測に向けた整備 2 : 進捗報告

山本宏昭¹, 深谷直史¹, 石川竜巳¹, 松月大和¹, 大野知希¹, 村田泰宏², 坪井昌人³, 中西裕之⁴, 今井裕⁴, 蔵原昂平⁵ (1: 名古屋大, 2: JAXA/ISAS, 3: 明星大, 4: 鹿児島大, 5: 国立天文台)

我々は深宇宙探査機との通信に使用されている JAXA 臼田宇宙空間観測所の口径 64m の通信アンテナ (臼田 64m 鏡) を用いた電波天文観測に向けた整備を行っている (山本他 2021 年春季年会、深谷他本年会)。臼田 64m 鏡には L 帯、S 帯、C 帯、X 帯と、野辺山 45m 鏡のようなミリ波観測用望遠鏡にはない、低周波の受信システムが搭載されている。L 帯 (1–2GHz) には中性水素原子 21cm 線や OH18cm 線があるなど天文観測の重要な周波数帯である。本年会では L 帯の整備状況について、現在までの進捗を報告する。

L 帯の整備については、1) 現受信機を用いた天体観測、2) L 帯新受信機の開発 (深谷他 本年会) を行ってきた。天体観測は主に分子雲形成領域に対する OH 輝線の観測を行っている。分子雲形成領域からの OH 輝線は低バックグラウンド環境において、数十から百数十 mK 程度で検出されるため (e.g., Donate et al. 2019)、現受信機ではこれらの輝線を十分な感度で検出するためには、1 点あたり数時間の積分が必要となる。観測と同時に長時間積分時のシステムの安定性、ベースラインの平坦性などの調査も行っている。また、OH の 1720MHz のラインはショック領域ではメーザー放射を出すことが知られており、マイクロクエーサーのジェットと星間物質の相互作用領域の観測も行ってきた (Yamamoto et al. 2022)。

今年度からは、新たに低周波帯観測で問題となる電波混信 (RFI) 及び、周囲またはシステム内の電子機器から発せられる不要信号 (まとめて人工信号) を観測データから自動で除去するアルゴリズムの開発を開始する。ビッグデータ時代にすべての人工信号を目視で発見、除去は不可能なため、データのより効率的な使用を可能とする。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V121a 大型サブミリ波望遠鏡のための発見的手法による軽量・高剛性な主鏡支持構造の設計および評価

今村千博, 田村陽一, 谷口暁星 (名大), 木村俊明, 河村拓晶, 臼井彩女 (名市大), 栗田光樹夫 (京大)

大型サブミリ波望遠鏡 (LST) は日本が主導する将来の大型サブミリ波単一鏡であり、広視野観測に強みがある。LST の実現には、高精度な鏡面 (アストロドームなしで $45 \mu\text{m}$ r.m.s. 以下) と軽量な望遠鏡構造が必須である。この課題に対し、主鏡支持構造の設計は予測可能な静的変形の最小化、および望遠鏡の軽量化に寄与するが、LST の主鏡支持構造の設計は困難である。これは、主鏡支持構造を構成するトラス材の配置の仕方が膨大であり、構造は望遠鏡が受ける複雑な外的擾乱の下で LST の性能要求を満たさねばならないためである。望遠鏡の主鏡支持構造の設計は、これまで設計者の経験や部分的な数値計算に依存してきたが、LST の主鏡支持構造を設計するのは難しく、計算機による構造最適化が必要である。この応用例として、せいめい望遠鏡では架台の開発に遺伝的アルゴリズムが取り入れられ、軽量かつ高剛性な構造を獲得したことが報告されている (Kurita+2010)。

本講演では、LST のデザイン案をもとに作成した主鏡支持構造の 3 次元モデルに対し、鏡面の自重変形量と主鏡支持構造の重量を最小化する構造を遺伝的アルゴリズムによって探索した結果を報告する。構造探索には、電波天文学・建築構造学の両者からの要請を取り入れたほか、実際の運用を想定して鏡面上の積載物の重量も考慮した。構造最適化の結果、鏡面の変形を最小化しつつも軽量な構造を得ることができた。その中でも、鏡面の変形量が小さい構造では、理想的な放物面からの変形を約 $70 \mu\text{m}$ 、重量を約 150 トンまで最小化した。最適化された構造はいずれも、周方向の部材同士が互いに引っ張り合い、望遠鏡の変形を抑える性質が見られたほか、仰角の低い場合には望遠鏡構造の光軸方向の変形を半径方向の部材が支える様子も見られた。

[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](#)

V122a 野辺山 45m 鏡 7BEE 受信機の試験観測 (4) 立ち上げ進捗

西村淳, 宮澤千栄子, 高橋敏一, 立松健一, 増井翔 (国立天文台), 西本晋平, 西川悠馬, 藤巴一航, 中川凌, 山崎康正, 長谷川豊, 大西利和, 小川英夫 (大阪公大), 酒井剛 (電通大)

野辺山 45m 鏡に搭載し、立ち上げ中の新マルチビーム受信機 7BEE の開発進捗を報告する。7BEE は、帯域幅 72–116 GHz のフロントエンドを 14 系統持ち、各系統は RF 系にて 70 GHz 帯の EL バンド、80 GHz 帯の EU バンド、110 GHz 帯の CO バンドにフィルタ分離され、系統毎に共通の常温 IF 系を経る構成としている。

基本的な性能確認を完了した後 (春季年会で報告)、2022 年 12 月から 2023 年 4 月にかけて、EL バンドの重水素化合物輝線のマッピング並びに、CO バンドの広域マッピングを実施した。CO の様に強度が強く広がった対象を効率良く広域観測する上では、各ビームで異なる天球の座標を観測させておき、全てのビームを使うことでナイキストを達成させる事が好ましい。7BEE はビームローテータを備えていないが、AZ 方向にスキャンさせることでビームの回転をコントロールできる。観測方向・時刻毎に、ビーム回転と天体回転を考慮に入れて、広域観測モードを実現するための既存観測指示書用パラメータを計算するシミュレータを整備し、実際に銀河面の広域観測を実現できることを確認した。5 ヶ月間に渡る運用の中で、2-4 割の系統でゲイン変動が発生していることが発覚した。これにより、該当するビーム系統では、Tsys や scaling factor に変動が見られた。現在、このゲイン変動の原因調査を進めている。今後は、ゲイン変動の原因を取り除き、風の無い良いコンディションでのビーム能率の精密測定を行った上で、2024 年度に長期安定運用の実績を積み、2025 年度からの受信機利用公開を目指す。また、将来的には、EL/EU/CO 各バンドの同時観測を実現するべく、Xilinx RFSoC を用いた低価格分光計を導入するための検討を進める予定である。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V123a 岐阜大学 11m 電波望遠鏡の運用状況 - I

村瀬建, 浅野裕也, 井上陽登, 藤森将太, 森東瑞人, 魚住光史, 杉野裕輝, 豊田裕也, 山中祐里奈, 佐藤晴, 松原康平, 宮本遼, 村瀬寛起, 佐野栄俊, 須藤広志, 高羽浩 (岐阜大学), 榎谷玲依 (国立天文台/岐阜大学)

岐阜大学 11m 電波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。現在は単一鏡での運用を行っているが、今後、大学 VLBI 連携観測事業 Japanese VLBI Network (JVN) 電波望遠鏡・VLBI 観測網の 1 局として運用するために観測システムの更新を行なっている。本望遠鏡が VLBI 観測に参加することで数百 km の基線長を新たに確保できるため、有用な観測局になることが期待できる。本講演では、近年導入したシステムを紹介し、現在進めている VLBI 観測への参加に向けた進捗状況についても報告する。本望遠鏡には 22 GHz 帯の受信機が搭載され、K5/VSSP32 サンプラーを用いて帯域幅 32 MHz の分光観測が可能である。2014 年以降は単一鏡での AGB 星に対する H₂O メーザーのサーベイとモニター観測を継続して実施している。2022 年は、1 月から 5 月、10 月から 12 月の期間に約 2200 時間の観測を実施した。187 天体に対して観測を実施し、43 天体からメーザーを検出した。メーザーの初検出は 5 天体であった。メーザーモニター観測では、観測の効率化を目的としたスケジュールの自動作成システムを導入している。これにより、観測開始時刻から約 4 日間の自動観測が可能である。2022 年度には信号伝送系を 1 系統追加することで、H₂O メーザーと NH₃ 分子輝線の同時観測を実現した。2022 年 12 月から 2023 年 2 月の期間で実施した試験観測では、Monoceros R2, Orion KL など大質量星形成領域からの H₂O メーザーと NH₃ 熱輝線の同時観測に成功した。これらの観測システムを用いて、今後は星形成領域や超新星残骸に付随する分子雲に対する H₂O メーザーと NH₃ 分子輝線の同時観測を計画している。

[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](#)

V124a ブラックホール解明に向けた 86GHz 帯低雑音受信機の開発

亀山晃, 山崎康正, 近藤奨紀, 孫赫陽, 抱江柊利, 野曾原千晟, 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, 上野祐治, 小山友明, 鈴木駿策, 砂田和良, 秦和弘 (国立天文台)

EAVN は、日本を初めとする東アジア各国の約 20 局の電波望遠鏡を連携させた観測網であり、小笠原 - ウルムチ間で最大直径 5,100 km に及ぶ世界最大級の電波望遠鏡観測網である。EAVN で近年特に精力的に開発整備が進められている 86 GHz 帯は M87 をはじめとする近傍の活動銀河ジェット天体において、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のに最適な周波数領域と考えられている。この周波数領域でモニター可能な高感度・高解像度 VLBI アレイの構築を EAVN で目指している。これにより、ジェット生成における最重要パラメータ (初速度、加速度、磁場、スピン) を決定し、駆動理論が確かめられる。

これを受け、我々は水沢と石垣の VERA20m 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)。搭載する受信機は、RF 系の冷却 HEMT アンプまでを冷却可能にした 67–116 GHz 帯の円偏波受信機を検討している。本研究では受信機の常温部分である LO、IF 系の 67–116 GHz をダウンコンバートする手法として、以下の 2 種類の方法を検討している。1) HPF を用いた single side band (SSB) 受信機の開発、2) 2 side band (2SB) Mixer の開発。1) では既に、水沢 VERA20m 望遠鏡に 86 GHz 帯片円偏波常温受信機の搭載を行っている。それを用いて、能率測定 (本年会 近藤 他) や KVN との VLBI 試験観測を進めている。また、2) では、パワーディバイダーと 90° ハイブリッドカプラーの開発行っており、67–116 GHz 帯域で反射損失、Isolation とともに -25 dB の性能を目指している。本講演では、現在開発を進めている 10 K 冷凍機を用いた両円偏波低雑音受信機の開発進捗についても述べる。

[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](#)

V125a 86GHz 帯常温受信機を搭載した VERA 水沢局での試験観測と性能評価

近藤奨紀, 亀山晃, 抱江柊利, 山崎康正, 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, 砂田和良, 鈴木駿策, 小山友明, 上野祐二, 山下一芳, 本間希樹, 山内彩, 増井翔 (国立天文台), 小山翔子 (新潟大学), 高村美恵子 (東京大学) 他

活動銀河中心に存在するブラックホールとそこから噴出する相対論的ジェットを同時観測し、ジェット生成機構を解明するには、シンクロトロン放射に対する透過率が高くかつジェットの放射が明るい 86 GHz (波長 3 mm) 帯での観測が鍵を握っている。また、この周波数で高分解能・高頻度な VLBI 観測を行うには、最大基線長や UV-coverage の観点から、EAVN における既存の観測網に日本の望遠鏡が加わることが重要である (2023 春季 秦他)。そこで我々は VERA20m 望遠鏡 (水沢局・石垣局) に新たに 86 GHz 帯での観測に対応させるための受信機の開発を進めており (本年会 亀山 他, 2022 秋季 亀山 他)、昨夏に水沢局に High Pass Filter を用いた常温受信機を搭載した。その後、今年 1 月から 3 月にかけて大気的光学的厚み τ_0 や木星観測によるアンテナ開口能率 η_A の仰角依存性、メーザー観測によるビームパターンなどを測定してきた。 τ_0 については 1 月で 0.1~0.2 程度となった。2 月末にホーン的位置調整を重ねた結果、アンテナ仰角が 50 deg 付近において $\eta_A = 27.5 \pm 3.3\%$ という値が得られた。これは、VERA Status Report, 2016 による能率値 50% (22 GHz), 47% (43 GHz) を用いてルッツの式から推定した値と概ね一致しており、ビームサイズについても 40" 程度を達成し、設計通りの性能が得られたといえる。また、VLBI に向けて 5 月に KVN とのフリンジ試験も実施した。

本講演では、水沢局での試験観測の結果や石垣局への常温受信機搭載の計画及び VLBI 試験へ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](#)

V126a 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 (V)

氏原秀樹 (立命館大/情報通信研究機構), 市川隆一, 関戸衛 (情報通信研究機構), 宗包浩志, 宮原伐折羅, 小林知勝 (国土地理院), 寺家孝明, 小山友明 (国立天文台), 竹内央 (JAXA), 今井裕 (鹿児島大)

JSPS 科研費 JP18H03828 で開発した広帯域フィードと 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。これらは 16-64GHz の広帯域フィードを利用して水蒸気 (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。いまのところ全帯域を受信できる冷却低雑音アンプがないので、OMT で偏波を分けて 26-34GHz で重なり合う上下 2 つの帯域を直交する偏波の各ポートで受信する仕様としているが、常温アンプでよいなら両偏波で全帯域受信可能である。

当初の OMT はプリント基板回路に起因する高域側の損失が大きかったが、Gala-V で開発した 3.2-16GHz のクワッドリッジ導波管型 OMT を高周波化し、16-64GHz や 6.7-43GHz、4-16GHz など様々な帯域での設計を行った。フィードについては SKA や VGOS の光学系に合うビーム幅の広いものや鹿島 34m 用よりビーム幅が狭いものも製作した。一部の周波数帯では高い開口能率が期待できる台形状のビームが得られている。

ヘラ絞りパラボラ鏡を利用した 90cm 可搬局は 2 式ともカセグレン光学系としても利用できるように改修した。CFRP パイプによるフォーク式経緯台を製作したが、市販の大型赤道儀にも搭載可能である。各部品は通常の階段やドアを通して運搬できるが、1 人で組み立て・解体を行うには厳しい重量となってしまった。構造の簡素化・軽量化と共に学内施設 (スポーツ健康 commons) を活用して代表者の体力向上も図っていく予定である。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V127a CMB 偏光観測衛星 LiteBIRD 計画の焦点面検出器開発の進捗

赤松 弘規 (QUP/KEK & SRON), Tijmen de Haan (QUP/KEK & IPNS), 茅根 裕司 (QUP/KEK), Yu Zhou (QUP/KEK), Tommaso Ghigna (QUP/KEK), 金子 大輔 (QUP/KEK), 塩見 明日香 (QUP/KEK), 植崎 勝弘 (QUP/KEK), 長谷川 雅也 (QUP/IPNS), 満田 和久 (QUP/KEK & 国立天文台), 香河 英史 (QUP/KEK), 羽澄 昌史 (QUP & IPNS/KEK & JAXA), 他 QUP LiteBIRD members

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 の戦略的中型ミッションの 2 号機で、2020 年代末の打ち上げを目指している。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 モード偏光をテンソル・スカラー比 r の誤差が 0.001 以下となる精度で検出する。この目的を達成するため、およそ 1 度角の分解能で視野 $18^\circ \times 9^\circ$ を持つ反射型低周波望遠鏡 (34–161 GHz), および 屈折型の中, 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 (TES) 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、星間ダストやシンクロトロン放射等の前景放射と CMB 成分を分離する。

高エネルギー加速器開発機構に発足した量子場測定システム国際拠点 (QUP) は、海外の研究機関 (CNES, NIST) と協力し、LiteBIRD 衛星プロジェクトにおいて、焦点面検出器システムを担当している。焦点面検出器システムは、~5,000 個の TES ボロメータを、機械式冷凍機と断熱消磁冷凍機を用いて実現する 0.1 K 焦点面ステージに設置する。検出器の信号読み出し技術は、POLARBEAR-2 やその他地上 CMB 観測天文台で用いられている周波数分割信号多重化技術を用いる。本講演では、LiteBIRD 衛星焦点面検出器の開発進捗を報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V128a CMB 望遠鏡 GroundBIRD のサイエンス観測に向けた全検出器インストール作業及び搭載された検出器の応答性能評価

辻井未来 (東北大), 池満拓司 (京大理), 石田秀郷 (東北大, 理研), 石塚光 (総研大), 内田智久 (KEK, 総研大), 大谷知行 (理研), 小栗秀悟 (JAXA), 唐津謙一 (SRON, TU Delft), 木内健司 (東大理), 杵間弘樹 (東北大), 小峯順太 (京大理), 古谷野凌 (埼玉大), 末野慶徳 (京大理), 鈴木惇也 (京大理), 関本裕太郎 (JAXA), 田井野徹 (埼玉大), 田島治 (京大理), 田中智永 (東北大), 辻悠汰 (東北大, 理研), 富田望 (東大理), 永井誠 (天文台), 長崎岳人 (KEK), 成瀬雅人 (埼玉大), 羽澄昌史 (KEK, 総研大), 服部誠 (東北大), 本多俊介 (筑波大), 美馬寛 (理研), 吉田光宏 (KEK, 総研大), Jihoon Choi (KASI), Ricardo Tanausú Génova-Santos (IAC), Yonggil Jo (Korea U), Kyungmin Lee (Korea U), Michael Peel (Imperial College London), Rafael Rebolo (IAC), José Alberto Rubiño-Martín (IAC), Eunil Won (Korea U)

GroundBIRD は日本が主導している国際共同 CMB 偏光観測実験である。仰角 60 度に傾けた状態の望遠鏡を 20 RPM で高速回転することで大気揺らぎを克服し、大角度スケール ($l = 6$) に現れる CMB 偏光の再電離バンプの地上からの測定を目指す。本年度より開始する本観測開始に向けて、4 月より全検出器のインストール作業を行なった。搭載検出器は、145GHz 帯 (128 ピクセル)、220GHz 帯 (23 ピクセル) の観測周波数帯をカバーする超伝導検出器 Microwave Kinetic Inductance Detector (MKID) で、オランダ宇宙研究所とデルフト工科大学との協力のもと、日本でデザインされた。

本講演では、本年度の 4 月より行われた全検出器インストール作業の様子を紹介し、検出器の応答性能評価測定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](#)

V129a 宇宙マイクロ波背景放射の精密観測に向けた超伝導ミラー開発のための低ノイズ試験システムの研究

郷原康司 (横浜国立大学), 長谷川雅也 (高エネルギー加速器研究機構), 金子大輔 (高エネルギー加速器研究機構), 長崎岳人 (高エネルギー加速器研究機構)

宇宙マイクロ波背景放射 (CMB) の B モード偏光パターンの精密観測において、観測に影響を及ぼすノイズの一つが、観測機のミラーで発生する偏光 (偽偏光) である。偽偏光は、観測する放射がミラーで反射される際に、ミラーに用いられている金属の電気抵抗率に比例した強度で発生する。そのため、この偽偏光の発生を抑制するため、超伝導物質を材料とした超伝導ミラーの開発が進んでいる。これにより、ミラーを超電導状態にすることで電気抵抗率が 0 になることで、観測に影響を及ぼす偽偏光を大幅に削減することが期待されている。我々は、この超伝導ミラーの開発に伴い、その偽偏光強度を評価するため、温度が異なる黒体と、低ノイズ増幅器 HEMT アンプを用いた検出系を内蔵する低ノイズ試験システムを開発した。また実際に、発生する偽偏光の強度が分かっている金属ミラーを用いて測定を行い、予想される偽偏光の信号が観測できているかといった点からこの試験システムの評価性能について調べた。本講演では、開発した試験システムと実際に測定を行った結果およびそれによる評価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](#)

V130a CMB 観測のための大気中の雲の偏光信号のスペクトルの見積もり

高倉理 (京都大)

宇宙マイクロ波背景放射 (CMB) の偏光異方性、特に奇パリティの B モード成分の精密観測は、宇宙誕生直後のインフレーション解明の手掛かりとなる。現在は、チリ・アタカマや南極点において、数千個の超伝導検出器を搭載した地上望遠鏡による観測が盛んに行われている。地上望遠鏡による CMB 偏光観測で懸念される問題の一つが地球大気中の雲の影響である。これまでにチリ・アタカマで行われた POLARBEAR 実験により、雲が水平に偏光したノイズを生むことが示されている。しかし、POLARBEAR の観測は 150GHz 帯のみであるため、雲のスペクトルの測定はできていない。

本研究では、ミリ波帯における雲の偏光信号のスペクトルを物理モデルに基づいて見積もった。これまで雲の偏光信号の原因は、地面の熱放射を雲粒子がレイリー散乱したものであり、スペクトル指数は 6 であると考えていた。しかし、雲粒子が非球形、かつ水平に整列している場合、雲の熱放射も偏光している可能性がある。その場合のスペクトル指数は約 4 である。散乱と熱放射のどちらが優勢になるかは観測周波数と雲粒子の粒径によって決まる。典型的な粒径として $10\mu\text{m} \sim 100\mu\text{m}$ を仮定すると、ミリ波帯において両者の寄与は同程度であり、条件によりスペクトル指数は 4 から 6 の間で変化することがわかった。

雲のスペクトル指数は、90, 150GHz の 2 色検出器を搭載した POLARBEAR-2 や、90, 150, 220GHz の 3 色検出器を搭載した SPT-3G での測定が期待される。今後、雲の偏光による CMB 観測への系統誤差の見積もりや、多色検出器を用いたノイズ除去方法の検討の際には、スペクトル指数の不定性について考慮する必要がある。

[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](#)

V131a 測位衛星システムを用いた可降水量測定のミリ波・サブミリ波観測への応用

杉山純菜, 西野玄記, 日下暁人 (東京大)

可降水量 (PWV) は大気中の水蒸気量を表すパラメータである。ミリ波・サブミリ波の地上望遠鏡は水蒸気による信号の吸収を受けるため、地上望遠鏡のための観測サイトは PWV の多寡で評価される。特に超伝導検出器を用いる宇宙マイクロ波背景放射 (CMB) 実験では、強い大気放射による検出器の系統誤差を避けるため、観測データの選別にも PWV が参照される。地上 CMB 実験において誤差を低減させるためには、PWV を高い時間分解能 (~ 1 h) で連続して測定し、観測データを選別することが求められる。

Simons Array などのアタカマ砂漠に位置する CMB 実験は、Atacama Pathfinder Experiment (APEX) が放射計で測定した PWV を参照している。しかし放射計は悪天候に弱く、降水や降雪が予報されるときには使用できないため、PWV データの欠損が起こりやすい。本研究では、放射計に代わって測位衛星システム (GNSS) を用いた PWV 測定手法を提案し、GNSS で測定した PWV (PWV_{GNSS}) が CMB 実験のデータ選別に十分な精度を持つことを評価した。

本研究では Simons Array の観測サイトに GNSS 受信機を設置し、2021 年 4 月から 2022 年 4 月にかけて測定を行った。 PWV_{GNSS} は悪天候の時期でも安定して測定された。また、一時間ごとの PWV_{GNSS} は系統誤差 0.14 mm, 統計誤差 0.5 mm を示し、CMB 実験に要求される精度 (< 1 mm) を達成した。安価で設置が容易な GNSS 受信機による PWV 測定は、将来のミリ波・サブミリ波実験において活躍が見込まれる。

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

V132a Update on ALMA Operations and Development Program - Autumn 2023

A. Gonzalez, M. Fukagawa, B. Hatsukade, S. Sakamoto, K. Sugimoto, T. Kojima, K. Kikuchi (NAOJ), and the ALMA Project team

In this presentation, we will offer an update on ALMA Operations and Development Program.

Operations: Cycle 9 of ALMA scientific observations started at the beginning of October 2022 and will continue until the end of September 2023. Cycle 10 (from Oct. 2023) Call for Proposal has set yet a new record in terms of requested observing hours by the Community, even though the total number of proposals has been slightly lower than in previous cycles. This presentation will provide an update on the latest situation with respect to the status of Cycle 9 operations and the planning towards Cycle 10.

Development: All Band 1 receivers (35-50 GHz) have been delivered in Chile and are currently undergoing integration into the array towards an anticipated start of scientific observations in March 2024. The ACA Spectrometer has also been undergoing all preparations towards processing the Total Power array data from the beginning of Cycle 10. The first pre-production Band 2 receivers (67-116 GHz), produced by ESO in collaboration with NAOJ, have been integrated in Chile. As these development projects are completed, ALMA2 has formally started in Japan from April 1st, 2023. The development work for the ALMA2030 Data Transmission System progresses, as the planning towards the upgrade of the Band 8 receivers proceeds. Internationally, ALMA continues to define the detailed planning towards the implementation of the Wideband Sensitivity Upgrade (WSU). In this presentation, we will provide an update on the latest situation.

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

V133a ALMA Band 1 Status

Hiroshi Nagai⁽¹⁾, Hsi-Wei Yen⁽²⁾, Patrick Kochi⁽²⁾, Yu-Nung Su⁽²⁾, Antonio Hales^(3,4), Gianni Marconi^(5,4), Giorgio Siringo^(4,5), Matias Radiszcz⁽⁴⁾, Bill Dent^(4,5) (1)NAOJ, (2)ASIAA, (3)NRAO, (4)JAO, (5)ESO

The ALMA Band 1 is a new receiver band that covers the frequency range of 35-50 GHz. The development of the Band 1 receiver system is led by the Academia Sinica Institute of Astronomy and Astrophysics (ASIAA) in collaboration with the National Astronomical Observatory of Japan (NAOJ). The requirement of the receiver noise temperature is less than 28 K over 80% of bandwidth and less than 32 K over the full bandwidth. The system noise temperature at the ALMA site is around 40 K at the lower end of the band and increases with frequency up to around 70 K at the higher end of the band with only minor dependence of weather condition. This performance makes the Band 1 most sensitive among all ALMA bands.

In the summer of 2021, the project reached a milestone with the successful astronomical “first light” with ALMA antennas in Chile. In 2022, basic interferometric observing modes were successfully commissioned, and we decided to offer those capabilities in ALMA Cycle 10 that is starting in October 2023. As of June 2023, Band 1 receivers are operational in about 25 antennas on the site. We are currently working on the commissioning of advanced observing modes, such as polarimetry. We also plan to release Science Verification data that will be publicly available for users in near future.

In this presentation, we will report anticipated Band 1 capabilities to be offered in Cycle 10 and prospects for future Cycles as well as some highlights from the commissioning.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V134a Commissioning and Science Verification of the ACA Spectrometer

Shun Ishii (NAOJ), Jihyun Kang, Yusuke Aso (KASI), Seiji Kamenoi (JAO/NAOJ), Hiroshi Nagai (NAOJ), Scott Zang (NAOJ), Jongsuk Hong (KASI), Makoto Shizugami, Susumu Nakayama, Manabu Watanabe (NAOJ), Jongsoo Kim (KASI)

The ACA Spectrometer (ACASPEC) is the newly developed spectrometer for the ALMA Total Power Array led by the KASI in collaboration with the NAOJ as a part of the EA ALMA Development Program. The ACASPEC is designed to provide auto-correlation power spectra for science targets and cross-correlation outputs for calibrations of the TP array. The hardware of the ACASPEC is composed of 4 GPU servers, and each GPU server has enough performance to process the 2 GHz bandwidth of one baseband pair from four TP antennas. It is expected the ACASPEC will bring: (1) Increasing the observing efficiency of the TP Array, (2) A better spectral dynamic range, and (3) Expandability for future updates. After installing the ACASPEC to the ALMA Array Operations Site in Chile in February 2022, we performed the commissioning and science verification (CSV) activity on the sky. Through the CSV, we successfully verified the fundamental capability of the ACASPEC connected with other ALMA subsystems, evaluated the performances (e.g., the linearity, the dynamic spectral range, and the stability), and conducted End-to-end testing including pipeline processing for science observations. In this talk, we present the CSV activity and the verified performances of the ACASPEC, as well as the latest status of the ACASPEC for offering to ALMA Science Operations in Cycle 10.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V135a 東アジアエンジニアリングチームによる ALMA ハードウェア保守の 10 年

阪本成一 (国立天文台), ほか東アジアエンジニアリングチームメンバー

ALMA が運用 10 周年を迎えるにあたり、国立天文台が担ってきた ALMA のハードウェア保守について、最近の状況を中心に紹介する。

ACA アンテナに関しては 2023 年 6 月 1 日現在、12m アンテナ、7m アンテナともに健全で、オーバーホールと 10 年定期保守のために山麓施設に下りている CM05 以外は科学運用に供されている。予防保守では保守手順書の整備と英訳を進め、2020 年度から製造会社による出張定期保守を廃止するとともに、一部の項目を除いて JAO 職員への技術移転を完了した。部品等の陳腐化・生産完了への対応のため、リスクマトリックスの整備・定期更新と、代替品の選定・評価・登録、ライフタイムスペアの購入などを行っている。また運用を通じて認識された不適合にも順次対応している。

受信機に関しては、国立天文台が開発を担当したバンド 4、8、10 は、初期不良こそあれ対策後は故障も少なく推移しており、今後予想される故障頻度の増大に備えて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 の保守が 2023 年より国立天文台の担当となるため、必要な修理・評価手順の引き継ぎを受け、評価環境の台湾からの移設を進めている。さらに冷凍機の保守も 2019 年から担当している。

ACA 相関器に関しては、2020 年度より故障診断のツールと手順について製造会社から技術移転を受けて内製化を進め、基板に使われている多数の部品のなかから不具合のある LSI や経年劣化したコンデンサーを特定した。これらの部品の交換作業を外注し、診断と修理を進めている。また、生産完了したラックファンの代替品の選定と評価試験、主要電子部品のライフタイムスペアの購入を済ませた。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V136a ngVLA プロジェクトのための時刻・周波数配信システムの開発

木内等, 藤枝美穂 (国立天文台), 後藤忠広 (情報通信研究機構)

米国の ngVLA プロジェクトは 263 基のアンテナから成る次世代の電波干渉計であり、国立天文台も共同研究機関として技術面での貢献が期待されています。各アンテナは放射状もしくは数珠つなぎ状に光ファイバにより中央局と接続され、時刻・周波数の配信が行われることで完全同期系となり電波干渉計を成立させることができます。プロジェクト仕様の最長伝送距離目標は 1000km、受信周波数は 1.2GHz から 116GHz です。このような高周波数の信号受信を行う電波干渉計では、高安定な高周波基準周波数・時刻タイミング信号を各アンテナに配信し、受信信号の周波数変換を行うことで低周波信号に変換し、最終的に時刻の揃ったデジタル信号としてデータ収集が可能となります。周波数変換は各アンテナで全く同じ量の“周波数の大下駄”を除くための手法で、その“周波数の大下駄”が各アンテナで不安定だったり異なっていたのでは電波干渉計は成立しません。低周波の基準信号を配信し、各アンテナで基準信号を逡倍 ($\times N$ 倍) して高周波の周波数変換を行うことも考えられますが、各アンテナでの温度変動や外乱雑音は独立でするので逡倍によって生じる変動を抑えるのは容易ではありません。このため、高安定な高周波基準信号・時刻タイミング信号を原子周波数標準から発生し、ファイバによる長距離伝送位相・遅延を補償するマイクロ波フォトニクスシステムの開発が重要となります。本報告では、国立天文台が開発を進めてきた周波数配信システムに加え、情報通信研究機構との協力のもと時刻配信システムの開発を開始致しましたので、最新の開発状況のご紹介を行います。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V137a Si 基板の貼り合わせ技術を用いた超伝導 90 度ハイブリッドの設計

富岡 紗有, 成田 剛, 牛山 太陽, 小野 哲 (電気通信大学), 増井 翔, 江崎 翔平, 小嶋 崇文 (国立天文台), 酒井 剛 (電気通信大学)

ALMA 望遠鏡の機能拡張計画である ALMA2 では現行の ALMA 望遠鏡の IF 帯 (4-8 GHz) を 2 倍以上に広帯域化することを目指している。これを実現するには 4-20 GHz という広帯域で動作するマイクロ波帯の 90 度ハイブリッドが必要不可欠である。現行の ALMA 望遠鏡では常伝導体を利用した 90 度ハイブリッドが用いられているが、90 度ハイブリッドに超伝導体を用いることで広帯域にわたって低損失となり受信機の低雑音化に寄与できる。そのため今回は超伝導体を用いたストリップライン構造を想定した 90 度ハイブリッドの設計を行った。ストリップライン構造のもととなる $\text{SiO}_2/\text{Nb}/\text{Si}$ 基板を 2 枚作製し、Si 基板の貼り合わせ技術によりストリップライン構造を実現することを試みる。Si 基板の貼り合わせ技術を用いたストリップライン構造の実現例は他になく、成膜工程数を約半分に抑えられることが利点である。

今回は ALMA2 向けの前段階として、回路設計および製作における課題抽出を目的として 4-8 GHz で動作する 90 度ハイブリッドを設計した。90 度ハイブリッドは結合線路が 3 本縦続接続される 3 セクション構造とし、回路シミュレータにより算出した理想結合度を持つ 90 度ハイブリッドを電磁界シミュレータ Sonnet で設計した。設計した 90 度ハイブリッドは銅の筐体の実装され、4 K 冷却時の動作が想定される。銅筐体の実装した際に、Si 基板や SiO_2 薄膜の影響を受けずに Nb が超伝導転移温度よりも十分に冷却可能であるかを確認するために熱解析も進めている。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](#)

V138a スプリットブロック及び金属 3D プリンタで製造可能な Q-Band 帯 Magic T 導波管分岐の開発

政井崇帆 (総合研究大学院大学)、Alvaro Gonzalez (国立天文台)、Douglas Henke (NRC HAA)

Magic T は優れたポート間分離特性を持つ 4 ポートの導波管分岐である。Magic T は通信用途で広く使用されているが、近年の電波望遠鏡受信機には応用されていない。Magic T は従来の T 型分岐や Y 型分岐のような 3 ポート分岐の代わりに使用することができ、その高いポート間分離を利用して信号の反射によって引き起こされるリップルや共振の影響を抑えることが可能である。多くの受信機は E 面スプリットブロックを用いた導波管フロントエンドを持つため、スプリットブロックに適した Magic T の設計が有用になる。

一方で、金属 3D プリンターの使用が近年注目されている。金属 3D プリンタは高性能導波管部品を素早くかつ安価に製造することができ、迅速な試作製造に適している。しかし、表面粗さにより部品の動作周波数はおよそ 50 GHz ほどに制限されてしまう。また、3D プリントの行程で部品の平坦部分や突出部分には支持構造が必要になり、後から取り除かなければならない。支持構造なしの突出部分はプリント方向に対しておよそ 45 度以下に抑える必要がある。

我々は、スプリットブロック及び 3D プリンタで製造可能な Q バンド帯 (33 - 50 GHz) Magic T を開発し、本講演で報告する。

[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](#)

V139a 南極 30cm サブミリ波望遠鏡 – ドームふじ観測拠点 II での観測に向けた準備状況

本多俊介, 瀧口風太, 岩田将輝, 橋本拓也, 久野成夫, 新田冬夢, 斉藤弘雄, 小山徹, 加藤良寛, 石川みなみ, 青木美和, 茅野太一 (筑波大学), 瀬田益道, 中井直正 (関西学院大学), 半田宙也, Dragan SALAK, 俣徠和夫, 清水一揮, 八嶋裕 (北海道大学), 永井誠, 梅本智文, 松尾宏, 小嶋崇文, 伊王野大介, 鶴澤佳徳, 石井峻 (国立天文台), 西堀俊幸 (JAXA), 長崎岳人 (KEK), 折笠成宏 (気象研), 他南極天文コンソーシアムメンバー

筑波大学を中心とする南極天文コンソーシアムでは、水蒸気が少なく大気透過率が非常に良い南極での観測を目指して 30cm サブミリ波望遠鏡の開発を進めてきた。受信機には国立天文台と共同開発した低雑音の SIS ミキサーを搭載し、500 GHz 帯域に存在する CO($J=4-3$) と [CII]($^3P_1-^3P_0$) の二輝線同時に銀河面をサーベイする。

この望遠鏡は、スイス・アルプスおよび南米のチリで試験観測 (Ishii et al. 2014, 2016) を経て、ついに国立極地研究所・南極地域観測の 2023 年 (65 次) 活動開始分 一般研究観測のプロジェクトとして採択された。2023 年末からドームふじ観測拠点 II (標高 3,800 m、夏季平均気温 -20°C) へと望遠鏡を輸送して電波天文観測を行うため、現在急ピッチで望遠鏡の性能最終評価を進めている。望遠鏡駆動系も長期南極観測に向けて一新し、南極サイトでも運用可能なセットアップを構築した。特に、望遠鏡から分光器・制御用サーバーが設置される観測棟までは数十 m 離れているため、望遠鏡駆動用のシリアル通信を Ethernet に変換し、寒冷地屋外用の LAN ケーブルを用いることで、 -40°C の外気環境下で望遠鏡が正しく駆動できることを実証した。本講演では、駆動試験や望遠鏡全体の統合試験を中心に、日本での性能評価や南極での初期試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](#)

V140a SKA プロジェクトへの参加計画 8

小林秀行, 赤堀卓也, 町田真美, 河野裕介, 砂田和良, 廣田朋也, 吉浦伸太郎, 小山友明, 寺家孝明, 藏原昂平, 本間希樹 (国立天文台) 高橋慶太郎 (熊本大学)

SKA 計画は、50 – 350MHz の SKA LOW をオーストラリアに 350MHz – 15.4GHz の SKA MID を南アフリカに建設する計画で、第 1 期の SKA 1 計画の建設が 2021 年 7 月から参加メンバー国による分担の元に開始されている。MID, LOW とともに 2024 年から開始される Array Assemble (AA0.5) に向けて、準備が進められており、MID は、プロトタイプのアンテナによる試験がサイトと製造場所 (中国) において進められ、剛性の補強などがなされた。LOW は、プロトタイプのステーション (AAVS3) が建設され、試験が行われる予定である。国立天文台では、2019 年から SKA1 検討グループとして日本の参加について検討を進め、2022 年から 2028 年の建設期における参加プラン、2033 年までの初期科学成果の創出に向けた活動計画プランを国立天文台に提案した。その結果、水沢 VLBI 観測所のサブプロジェクトとして 2023 年 4 月より、さらに 3 年間参加計画を特に予算面においてさらに検討することになった。学術会議の未来の学術振興構想 2023 に関しては、天文・宇宙物理分科会から推薦を得て、掲載が決まった。文部科学省ロードマップについても、2000 年度に引き続き名古屋大学からの提案されている。AIV 活動では、MID では DISH AIV の RFI モニター装置の開発などで貢献している。LOW では AA0.5 における試験計画の作成を担当している。Scinence Regional Center の SKA 全体でのシステム設計に貢献しつつ、日本のプロトタイプを用いた試験データ解析 (SD3) に参加し、宇宙再電離のデータ解析の検証を進めている。また VLBI システムの開発、高周波数帯 (Band6) の開発検討も進めている。これら SKA 計画の進捗状況および日本国内での準備活動の状況と今後の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](#)

V141a 月面メートル波電波干渉計の実現に向けた概念設計検討3

井口聖 (自然科学研究機構国立天文台)、磯部直樹、山田亨 (JAXA 宇宙科学研究所)、大西利和、山崎康正、松本健 (大阪公立大学)、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、これまで日本天文学会の年会などを通じて、月天文台構想に関する科学目的、概念設計とフィジビリティ検討について報告を行ってきた。本年度では、“企画セッション：Z2. センチ波・メートル波天文学の進展”にて、これまで検討してきた宇宙物理、惑星科学、月の科学の3つ分野にまたがる科学目的について報告する。そして本講演では、月面天文台構想に関する概念設計検討の中で、校正計画案を中心に報告する。本構想では、特に星形成や宇宙再電離の影響を受けず純粋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行ってきた。このシグナルは周波数 15 MHz を中心に約 40 mK の吸収として現れることから、本構想ではショートダイポールアンテナでの設計を推し進め、観測帯域 1-50MHz を観測できる電波干渉計の検討を進めてきた。しかし観測周波数の最大と最小の比が 50 倍もあり、アルマや ngVLA、SKA と比べて数倍大きい。重量の制約やリソースの厳しい宇宙機への搭載を考慮し、複数の受信機バンド構成は可能な限り避けたい。この僅かな吸収量を測定するため、広帯域通過特性かつ、高安定な周波数特性を維持しなければならない。特にアンテナビームパターンの周波数特性の理解が重要となる。そして広視野なアンテナビームパターン特性は前景放射と畳み込まれるので、この校正が重要となる。本講演では、地上観測との対比も含めて月面観測での校正計画案の得失等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](#)

V142a 月面天文台構想に向けたアンテナ設計と地上観測実験の展望

松本健, 國年悠里, 中川凌, 東野康祐, 山崎康正, 大西利和, 小川英夫 (大阪公立大学), 井口聖 (自然科学研究機構国立天文台), 月面天文台検討グループ

月面で実施する 10 MHz 以下の低周波電波観測は、地球の電離層による電波遮断/人工電波やオーロラ等の自然電波による電波障害の影響を受けないため、地上では観測困難であった宇宙再電離以前の科学研究の実現が期待される。これまで我々は、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対象とした『月面天文台構想』の概念設計について報告してきた (井口他 2023 春季年会)。本講演では 5m のダイポールアンテナとプリアンプを含む広帯域電圧増幅システムの設計・雑音見積の結果について紹介する。

理論モデルから予測される CMB に対して約 40 mK という微小な吸収線を検出するためには、1-50 MHz 帯にもわたる広帯域観測が要求され、特にその周波数特性を抑えることが重要である。銀河系からの前景放射が主要な雑音源であり、その強度は周波数の約 -2.5 乗に比例する ($\sim 1.6 \times 10^7 \text{ K@2 MHz}$)。ショートダイポールは周波数が低くなるほど放射抵抗の値が小さくなるため、システムの実効的な雑音温度が上昇する。これらの性質から、プリアンプの雑音電圧密度が $\sim 2 \text{ nV}/\sqrt{\text{Hz}}$ 程度以下であれば、前景放射由来の雑音温度に比べて十分低いシステム実効雑音温度を観測帯域全体で得られることがわかった。扱う波長が長く、広帯域性能を保証するには集中定数回路によるシステムが前提であり、アンテナ・プリアンプ・抵抗雑音を組み合わせた原理実証も行なっている。また、月面では周辺環境も考慮したアンテナの指向特性などの性能測定は難しく、限られた観測情報と詳細なモデル化による周波数特性の抑制が必要である。本講演ではアンテナの設置精度や校正手法について原理を交えて紹介し、実機ダイポールアンテナを用いた地上観測実験の検討内容・測定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](#)

V201a SOLAR-C 観測装置 EUVST 設計・開発検討の進捗報告（2023 年秋）

原 弘久, 石川遼子, 浦口史寛, 大場崇義, 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, 鳥海 森備後博生, 松崎恵一, 山崎大輝, 木本雄吾, 宮崎英治, 山中理代 (JAXA), 今田晋亮 (東大), 渡邊恭子 (防衛大), 永田伸一, 横山央明 (京大), 檜崎翔太, 藤江彰裕, 橋本真之介, 早田康三, 川口 昇 (三菱電機) ほか, 国際 SOLAR-C チーム

SOLAR-C 計画は、高い空間分解能 (0.4 秒角) と時間分解能をもつ撮像分光観測装置 EUVST を国際協力の中で開発し、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い、太陽の高温プラズマがどのように形成されるのか、太陽フレアがいつどのように発生するのか、という謎に挑む JAXA 小型衛星計画である。一つの装置の光学系を複数国で分担して製作し、国内で望遠鏡部の調整を終えた後に、分光装置部やスリットジョー撮像装置部の組み込みや装置単体の検証試験を海外で実施する計画としている。

本講演では、2023 年前半の終了時点での設計・開発検討の進捗状況について、いくつかの主要な要素に関して報告する。これまで注力してきた主鏡部においては、支持部に使用する接着剤の評価試験、BBM の機械的応答を通した設計確認、高解像観測のために必須となる焦点調節機構の設計、駆動部制御装置の高速処理の実現性検討などを進めてきた。これらのほかに、CFRP 表皮・アルミハニカムコアのパネルで構成する EUVST 主構造に関して、主構造に設置される光学機器や電子機器の配置や組立・調整・試験手法、飛翔運用時の機械的環境条件や軌道上の熱環境条件、汚染管理、軽量化を考慮した熱構造設計を進めている。

[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](#)

V202a SOLAR-C(EUVST) 微小擾乱試験計画の検討

川畑佑典, 勝川行雄, 小原直樹, 都築俊宏, 原弘久, 末松芳法, (国立天文台), 清水敏文, 内山瑞穂 (宇宙航空研究開発機構), ほか国際 SOLAR-C チーム

高感度太陽紫外線分光望遠鏡 EUVST は 太陽上層大気の高温プラズマ・太陽風の形成過程、太陽フレア・プラズマ噴出の発生機構の解明を目指す。科学目標達成のために 0.2 秒角 (3σ , 5 秒以内) の指向安定度が要求されている。10 Hz 以下の指向揺れは、ガイド望遠鏡が検出した誤差信号を主鏡に搭載された傾動機構で取り除き、10 Hz 以上の高周波の擾乱に関しては要求を満たすように管理し、試験によって検証する計画である。本講演では微小擾乱が光学性能に与える影響を評価するための試験の検討状況を報告する。

擾乱源として現在想定されているのは、衛星内のモーメントホイールと慣性系基準装置、また望遠鏡内の可動機構 (フィルター回転機構、シャッター機構) である。上記の擾乱源によって、主鏡と回折格子の位置・傾きが変動し、光学性能の劣化を引き起こす恐れがある。微小擾乱試験の実施タイミングとして機械試験モデル (MTM) とフライトモデル (FM) の二つの機会を計画している。MTM 試験では微小擾乱を模擬した振動を与え、直接光学素子に貼りつけた加速度計による測定と光学測定を行う。この試験で得られた結果は構造数学モデルの予測と比較を行った上で FM の設計へ反映させる。FM 試験では光学素子への加速度計の貼り付けは不可能なため、光学測定により微小擾乱を評価する。つまり MTM 試験は光学測定と加速度計測定の整合性を確かめることで、FM の光学試験の確かさを保証するという意味合いも持っている。光学測定の測定手法については、回折格子の 1 次光を望遠鏡の外に出す案、回折格子の 0 次光を望遠鏡の開口に戻して測定する案、回折格子の参照面を測定する案の 3 つのオプションを検討しており、それぞれの利点・欠点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](#)

V203a SOLAR-C 計画における科学運用・データ処理・地上系システムの検討状況

鳥海森, 清水敏文, 松崎恵一, 加藤秀樹, 内山瑞穂, 備後博生, 山崎大輝 (宇宙航空研究開発機構), 原弘久, 石川遼子, 浦口史寛, 大場崇義, 岡本丈典, 勝川行雄, 川畑佑典, 久保雅仁, 篠田一也, 下条圭美, 都築俊宏, 鄭祥子, 成影典之, 光武正明 (国立天文台), 飯田佑輔 (新潟大学), 今田晋亮 (東京大学), 増田智, 草野完也 (名古屋大学), 永田伸一, 横山央明, 浅井歩 (京都大学), 渡邊恭子 (防衛大学校)

SOLAR-C 計画は、日本が中心となり米欧の協力を得て推進する高感度太陽紫外線分光観測衛星である。搭載望遠鏡 EUVST は、 10^4 K から 10^7 K にわたる広い温度範囲の太陽大気を、温度の隙間なく、高い時間空間分解能により観測することで、(I) 彩層・コロナなどの大気加熱過程や太陽風の加速機構、(II) 太陽フレアのエネルギー蓄積・高速磁気リコネクション過程の解明を目指す。これらの科学課題を解決するための観測プランを実施し、成果創出の最大化を図るため、SOLAR-C には、「ひので」衛星を上回る膨大な紫外線撮像分光データの取得とともに、効率的な機上データ処理や地上系システムの構築が求められる。これまでの活動では、「ミッション要求書」・「利用・運用コンセプト」・「地上系システム要求仕様書」などの文書に定義された要求を実現する方策を検討してきた。その中で、SOLAR-C では、「ひので」など既存科学衛星の地上系資産の活用を原則としつつ、新規機能の実装も構想されている。例えば、太陽フレアの高頻度多波長観測は科学課題 (II) を達成する上で最重要となるが、それを実現するため、観測装置から衛星データレコーダへの新たな高速データ書き込み方式などを検討中である。また、JAXA 内外の各部署や海外パートナー機関との調整により、リモート運用を含む効率の良い科学プランニングの実現へ向けた検討を進めている。講演では、これらの科学運用・データ処理の検討状況および「地上系システム開発仕様書」の策定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](#)

V204a SUNRISE-3 大気球太陽観測実験:偏光分光装置 SCIP による偏光データの高速機上処理

久保雅仁, 勝川行雄 (国立天文台), D. Hernández Expósito(IAC), A. Sánchez Gómez, M. Balaguer Jimenez, D. Orozco Suárez, J. M. Morales Fernández, B. Aparicio del Moral, A. J. Moreno Mantas, E. Bailón Martínez, J. C. del Toro Iniesta(IAA), 川畑佑典 (国立天文台), C. Quintero Noda (IAC), 大場崇義 (国立天文台), 石川遼太郎 (名古屋大学), 清水敏文 (ISAS/JAXA)

国際大気球実験 SUNRISE-3 搭載の近赤外線偏光分光装置 SCIP は、日本のグループが主導して開発された。SCIP の目的は、偏光精度 0.03% (1σ)・空間分解能 0.2 秒角の偏光分光観測により、太陽光球と彩層における 3 次元磁場構造の時間発展を捉えることである。SUNRISE-3 は、2022 年にスウェーデン・キルナから放球を行ったが、放球時の衝撃で望遠鏡が太陽を指向できなくなり、太陽観測は実施できなかった。回収後の装置は健全であり、2024 年の再フライトを目指している。SCIP のエレクトロニクスは、スペイン IAA との共同開発で、大容量のデータを高速で処理できることが特徴である。2 台の $2k \times 2k$ サイズの CMOS カメラで 770nm と 850nm の波長帯の複数の吸収線を同時に偏光観測する。各カメラのフレームレートは 31.25Hz である。データはギガビットイーサネットで接続されたデータレコーダに転送される。転送速度の制約 (700Mbps 程度) を満たすために、偏光復調、ビット圧縮、画像圧縮の機上データ処理を実施し、データレートを低減している。太陽大気をモデル化した数値計算で合成 SCIP データを作成して機上データ処理の性能検証を行った後、フライト前の地上試験で高速データ処理が実現されていることをフライト実機で確認した。彩層磁場の典型的な観測モードである 10 秒積算の場合では、生データを全て保存するのに比べてデータ量を 1-2%に抑えることに成功した。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V205a 最小非球面量の自由曲面を用いた超広視野軸外し光学系の設計

橋ヶ谷武志（京都大学）、栗田光樹夫（京都大学）

自由曲面を用いた軸外し光学系はかつてない広視野を達成するため、サーベイ・モニター観測用の宇宙望遠鏡として活躍が期待される。しかし、自由曲面は球面からのズレ（非球面量）が大きいため、計測、加工、光学調整が困難である。先行研究 (Bauer+2018) では、F3、口径 20cm、視野 16 平方度において 589nm の回折限界を達成する 3 枚鏡の光学系が設計され、各鏡の非球面量は主鏡：122 μm 、副鏡：15 μm 、第三鏡：240 μm であった。なお、この自由曲面はゼルニケ多項式で表され、最適化によって各項の係数が決定された。この設計例は非球面量が主鏡と第三鏡に集中している。非球面量を副鏡にも配分すれば、3 つの鏡を通した非球面量の最大値を小さくできる。

そこで我々は、ゼルニケ多項式の各項の係数を解析的に決定し、3 つの鏡に非球面量を等分配することを目指した。この際、軸外し光学系で卓越する収差（一様コマ収差、一様非点収差、共役線形非点収差）の解消に有効な Z_5, Z_8 のみに注目した。3 つの収差を同時に 0 にするために必要な各鏡面の Z_5, Z_8 の係数を与える方程式を導出し、一般解を得た。この解空間の中から、各鏡面に非球面量を等分配する解を探索することで、各係数を決定した。この手法で先行研究と同スペックの光学系を設計したところ、各鏡の非球面量は主鏡：96 μm 、副鏡：100 μm 、第三鏡：100 μm となった。この手法は解析的に自由曲面の形状を決定するため、非球面量の最小性を理論的に保証する。また、この手法で Euclid, Roman, GREX-PLUS と同じ口径・波長で光学設計を行ったところ、それぞれの光学系の 8 倍、7 倍、30 倍の視野を達成した。

[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](#)

V206a 天文観測衛星「うみつばめ」搭載用紫外線望遠鏡の熱設計

福田美実, 原 拓輝, 尾形 舜, 中村 倫敦, 能登 亮太朗, 大平 明日香, 早津 俊祐, 関 響, 武井 宏延, 谷津 陽一, 河合 誠之 (東工大 理), 大坪 恵人, 笹川 悠太, 渡邊 奎, 小澤 俊貴, 小林 寛之, 天木 祐希, 安田 萌恵 (東工大 工), 中野 徹 (株式会社アイネット), 江野口 章人, 白旗 麻衣, 武山 芸英 (株式会社ジェネシア)

超新星爆発や中性子星連星合体などの突発天体が現代の天文学における発見領域となっている。これらの爆発直後の姿を明らかにするためには、発生直後の放射を捉える必要がある。突発天体は爆発の直後ほど温度が高く、したがって紫外線域で光り輝くと考えられるため、紫外線における広視野・高感度探査観測が重要である。

我々は広視野紫外線観測衛星「うみつばめ」を開発している。この衛星に搭載する紫外線望遠鏡には、衛星システムを含めた総合的かつ詳細な熱設計がミッション達成のために必要である。鏡筒の温度変化に伴う焦点移動によって PSF 劣化が予想されるが、これをピクセルサイズ以下に抑えるためには露光中のレンズ温度変化を 1°C 以内という非常に狭い幅に抑える必要がある。また目標の限界等級を達成するためには、センサのノイズとして支配的な暗電流ノイズの抑制が必須であり、センサ温度を -20°C 以下に維持する必要がある。これらの熱的要求を満足するため、熱構造モデルやエンジニアリングモデルを用いた複数回の熱真空試験、さらに熱数学モデルを構築してのシミュレーションを行った。その結果、50kg 級バスを低高度の太陽同期軌道に投入する場合、鏡筒を衛星構体から断熱することで光学系温度をおおよそ設計要求範囲内に収められること、さらにラジエータを用いた受動的熱制御によって観測中のセンサ温度を -25°C 程度に維持できることを確認した。さらに安定した観測を実現するため、ヒータによる加熱制御についても検討し報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V207a 天文観測衛星「うみつばめ」による観測画像の指向決定手法の検証

大平明日香, 能登 亮太郎, 福田 美実, 早津 俊佑, 関 響, 武井 宏延, 庭野 聖史, 田代克樹, 小林 寛之, 渡邊 奎, 高橋一郎, 笹田 真人, 谷津 陽一 (東工大), 小澤 俊貴 (東工大・株式会社ジェネシア)

東京工業大学では、2023 年度打ち上げ予定の JAXA の革新的衛星技術実証 3 号機に搭載する 50kg 級衛星うみつばめを開発している。本衛星の目的は、広視野紫外線サーベイ観測により紫外線突発天体を発見することである。このため、突発天体検知は軌道上でリアルタイムに行う必要があり、必然的に各観測画像に対する画像解析は指向方向決定も含め軌道上で行うことが要求される。

本研究では、うみつばめ衛星による観測画像の指向方向決定精度の検証を行った。19 等程度と予想される突発天体の検知のためには観測画像の重ね合わせ処理が不可欠であり、このために 4 秒角程度の指向方向決定精度が要求される。指向方向決定は画像上の天体位置をカタログと比較することで行われるが、うみつばめの紫外線望遠鏡と同じ波長帯を含む既存のカタログは存在しなかったため、我々は Gaia カタログを元に等級変換を行うことで新しいカタログを作成した (2023 年秋季年会 V236a)。しかし、実際にうみつばめで観測される紫外線での等級は未知のため、作成したカタログの等級変換精度には限界があり、等級変換には約 ± 0.5 等程度の誤差が見込まれている。それが方向決定の精度悪化、ないし失敗の原因となりうる。そこで、我々は作成したカタログに誤差を含めて、複数の方向決定アルゴリズムに対するシミュレーションを行い、それぞれ成功率及び位置決定精度の推定を行った。本講演ではこの結果及び、期待される画像の指向方向決定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](#)

V208a 宇宙可視光背景放射観測 6U 衛星 VERTECS：全体進捗状況

佐野圭, 趙孟佑, 北村健太郎, 寺本万里子, 増井博一, 布施哲人, 瀧本幸司, 山内貴志, 中山大輔, Necmi Cihan Öger, Jose Rodrigo Cordova-Alarcon, Victor Hugo Schulz, Joseph Ofosu (九州工業大), 中川 貴雄, 松原英雄, 磯部直樹, 宮崎康行, 平子敬一, 船瀬龍 (ISAS/JAXA), 松浦周二 (関西学院大), 和田武彦 (国立天文台), 津村耕司 (東京都市大), 高橋葵 (ABC), 五十里哲 (明星大), 谷津陽一 (東京工業大), 軸屋一郎 (金沢大), 青柳賢英 (福井大), VERTECS collaboration

宇宙背景放射は、銀河系外から飛来する放射の積算であり、暗い天体を含む天体形成史の全貌を解明するために重要な観測量である。これまでの観測ロケットおよび赤外線天文衛星等による観測の結果、近赤外線の宇宙背景放射は系外銀河の積算光に比べて数倍明るいことが示されたが、その超過光の起源となる天体は未解明である。その天体の候補として、宇宙初期の初代星や低赤方偏移の銀河ハロー浮遊星等が提案されており、これらの天体は可視光波長における放射スペクトルと空間ゆらぎが異なることが予想されるため、可視光における観測が超過光の起源解明のために重要となる。そこで我々は、宇宙可視光背景放射観測を目的とする 6U サイズの超小型天文衛星 VERTECS (Visible Extragalactic background RadiaTion Exploration by CubeSat) の開発を進めている。本衛星は、3U サイズの可視光望遠鏡および高精度姿勢制御系を含む 3U サイズのバスシステムから構成される。2022 年 12 月から衛星の開発を開始し、これまでにミッションおよびシステム要求を明確化するとともに、衛星サブシステムの大部分においてそれら要求を満たす設計を完了した。2023 年 5 月にはミッション定義審査を実施し、その後、本衛星における新規要素の機能実証を目的として、各ブレッドボードモデルによる機能試験および電氣的インターフェース試験を実施している。本講演では、VERTECS 衛星全体の開発状況を報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V209a 超小型衛星 VERTECS 搭載の可視光望遠鏡の開発進捗状況

瀧本幸司, 佐野圭, 當銘優斗, 川崎悠貴, 中川俊輔, Eyoas Ergetu Areda, Ezra Fielding, Keenan Alexsei Aamir Chatar(九州工業大), 松浦周二, 廣瀬優樹, 小鹿哲雅, 津本明音(関西学院大), 津村耕司(東京都市大), 中川貴雄, 松原英雄, 磯部直樹, 榎木谷海, 田中颯(ISAS/JAXA), 高橋葵(ABC), VERTECS collaboration

宇宙背景放射は、銀河系外からの全ての放射を視線積分した拡散放射であり、天体形成史の大局的な研究における重要な観測量である。宇宙赤外線背景放射には、系外銀河の積算光の数倍明るい未知なる放射成分が測定されており、その起源天体の候補として初代天体や銀河ハロー浮遊星が提唱されている。これらの天体は可視光波長で異なる放射スペクトルと空間ゆらぎを示すため、宇宙可視光背景放射の広視野観測によって起源天体の寄与を区別できる。VERTECS(Visible Extragalactic background RadiaTion Exploration by CubeSat)は、6Uサイズの超小型衛星に広視野小型望遠鏡を搭載して、宇宙可視光背景放射を持続的に観測するプロジェクトである。本プロジェクトは、JAXA-SMASH プログラムの超小型衛星ミッション公募#1 に選定され、2024 年度の打上げに向けて衛星の開発が進行中である。本衛星に搭載する 3U サイズの可視光望遠鏡は、全視野角 $6^\circ \times 6^\circ$ 、ピクセル視野角 $11'' \times 11''$ で高スループットなレンズ光学系と、高感度かつ低ノイズな検出器モジュール、太陽や地球からの迷光を除去するバッフルから構成される。また、検出器の前面には、1 枚基板で波長 400-800 nm を 4 バンドに分割するモノリシックフィルタを配置する。観測天域を 3° ずつずらしながら 60 秒露光の撮像観測を繰り返し、取得した画像を重ね合わせることで 4 バンド測光を行う。これまでに望遠鏡の大部分において、要求仕様を満たす設計解が得られており、現在はエンジニアリングモデルの製作を進めている。本講演では、宇宙可視光背景放射の観測戦略と可視光望遠鏡の開発進捗状況、今後のスケジュールについて報告する。

[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](#)

V210a JASMINE 計画の全体概要と現状

郷田直輝, ほか JASMINE チーム一同

JAXA 宇宙科学研究所の公募型小型計画(公募型小型 3 号機)での実現を目指す JASMINE は、我々が住む天の川銀河の形成と進化を探究するとともに、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も行うことを目的とする。そのために、(1) 塵に覆われて可視光では観測困難な天の川銀河の中心核領域にある星の距離と運動を赤外線を用いて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(銀河中心考古学)、および(2) JASMINE の測光能力を活かして、惑星が検出されている複数の中期 M 型星に対し、必要な観測期間に亘って時系列測光観測を行い、生命居住可能領域にある地球型惑星の有無を明確にすることを主な科学目標とする。科学目標(1)の達成を目指し、光学望遠鏡(主鏡口径 36cm 級)と開発中の天文観測に適し衛星搭載可能な国産赤外線カメラを用いて、天の川銀河の中心核領域方向の約 2.5 平方度に対して、観測運用の 3 年間のうち観測に適している春期と秋期に近赤外線帯で位置天文観測を行う。そして、天球面上での星の位置の時間変動の測定データ(時系列位置データ)を地上で解析することで、星の年周視差、固有運動等を高精度で導出する。観測データのカatalogを作成し、世界の研究者へ同時公開する。また、測定精度などが途中段階のデータも観測後、なるべく迅速に段階的に公開する予定である。そして、中心核領域の観測に適しない夏期と冬期は中期 M 型星周りの地球型惑星探査のためのトランジット観測を行う。

JASMINE で期待される科学的成果・ミッション装置・衛星システム等についての全体的概要を簡単に説明し、さらに(他の観測プロジェクトとの連携を含む)サイエンス関連の活動状況、コンソーシアムの状況、観測装置開発の進捗や国際協力を含むデータ解析システム開発の状況などに関する全体的な状況概要を報告する。

[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](#)

V211b JASMINE 望遠鏡光学系の地上評価検証計画

末松芳法, 都築俊宏, 小原直樹 (国立天文台), 磯部直樹 (ISAS/JAXA), 鹿島伸悟ほか JASMINE 光学系検討チーム

JASMINE は 銀河系中心領域恒星の超高精度位置天文観測と M 型星周りの地球型惑星の探査を科学目的とする公募型小型衛星ミッション (3 号機に選定) である。この科学目的を達成するために、JASMINE では望遠鏡構造温度安定性を重視した口径 36cm 回折限界望遠鏡と波長 1.0-1.6 μ m バンドパスフィルター及び近赤外線検出器 (画素数 4k $\times$ 4k 相当) からなる観測装置を搭載する。恒星の超精密位置観測のため、望遠鏡には近赤外波長でのストレール比 0.9 以上の光学性能、軌道上での安定した画像ひずみ (望遠鏡歪曲収差、フィルター及び検出器起因の画像ひずみ) 時間変化 10 μ as 以下が要求される。望遠鏡は光学性能の出しやすい軸対称 3 枚鏡コルシュ・タイプの光学系で、開口からの迷光、視野外背景光が検出器に達するのを抑える構造を検討している。軌道上での安定した光学性能、画像ひずみ性能を保証するため、望遠鏡光学系・構造設計と合わせて、光学系組立及びアライメント調整手順、地上光学性能評価試験方法を確立することが重要である。望遠鏡光学系設計、望遠鏡光学系試験マトリクス、評価検証手順立案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](#)

V212b JASMINE 光学系における星像位置の色補正

矢野太平 (国立天文台), 鹿島伸悟, 他 JASMINE チーム一同

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) に選定されており、大きな目的の 1 つは可視光では観測困難な天の川銀河の中心領域にある天体の位置、および年周視差、固有運動、を赤外線を用いてかつてない高精度で測定することである。

ミッション期間中取得したデータから星の中心位置を求め、最終的に位置天文パラメータを導出するが、その中心位置は波長に応じて変化する。星毎に色が異なり、分光分布は異なるので、これは、カタログ精度の悪化の原因と成り得る。そこで、現在候補となっている JASMINE の光学系において、星の位置の波長依存性がどのようなになっているのかを調べた。

フィルタおよび、ミラーの偏心を考慮した光学設計データを用いて波長毎に星像中心位置を求める事により依存性を調べたところ、波長に応じておよそ焦点面上で 10nm 程度のずれが生じる事が確認された。これは 500 μ as レベルの位置ずれであり、目標精度より大きい値である。線形補正をしたところ、位置ずれは補正され、残差は 1nm 程度で、およそ 50 μ as となった。

更に実際の星のスペクトルに合わせて星像中心位置のずれを検討し、J-H に応じてどのような依存性となるかの検討を行った。位置ずれは非線形化するが、補正の残差はやはり 1nm 程度で、およそ 50 μ as となった。以上内容を含め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](#)

V213a 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、福井陽喜、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 号機候補として概念検討を実施し、2023 年 5 月に宇宙研内のダウンセクション審査を受けた。このダウンセクションにて選定されると、2030 年頃の打上げに向け開発が進められる。

HiZ-GUNDAM 衛星に搭載される可視光・近赤外線望遠鏡は、2022-2023 年の概念検討によって光学設計が変更になった。最初にビームスプリッターによって可視光と近赤外線に分割した後に、近赤外線チャンネルはダブルケスタープリズムによって 4 バンドに分割する。これにより、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り、検出器の個数削減によるコスト削減を実現できる。また、0.5-2.5 μm の波長範囲を 5 バンド分割して同時観測することが可能となり、より高赤方偏移な天体を抽出できるようになった。また、機械式冷凍機を用いずに放射冷却のみで望遠鏡および赤外線検出器を冷却する見込みも得ることができた。

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](#)

V214a HiZ-GUNDAM 衛星搭載の近赤外線望遠鏡の熱解析

福井陽喜、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 (High-z Gamma-ray bursts for Unraveling the Dark Ages Mission) とは、2030 年頃に打ち上げを目標とした、JAXA の公募型小型衛星計画 5 号機の候補の一つである。この衛星計画は、宇宙最大規模の爆発現象であるガンマ線バースト (GRB) の観測を通して初期宇宙を探索することと、重力波観測と協調して中性子星連星合体に伴うキロノヴァ観測を通してブラックホールが誕生した瞬間の極限時空周辺での物理現象の理解を主目的としている。この衛星に搭載する近赤外線望遠鏡は、0.5-2.5 μm の範囲で 5 バンド同時撮像観測を行う光学設計となっており、十分な感度を確保するためには、赤外線検出器をマージン込みで 105K 以下に冷やさなければならない。検出器冷却用の機械式冷凍機を搭載する案がベースだが、ノイズ源となることや電力の懸念があり、可能ならば搭載しない方がよい。そこで、検出器専用ラジエタを望遠鏡付近に設置し、放射冷却のみで検出器を冷却する設計が提案されている。しかし、当該検出器は望遠鏡下部に位置するため、安易にラジエタを配置すると周囲の構造物からの入熱が生じてしまい、効率的に冷却できないという問題点がある。そのため、ラジエタの設置箇所における入熱量を把握した設計が重要である。本発表では、当衛星計画における最近の進捗に加えて、代替案の実現性向上のために CAD と熱解析ソフトウェアを用いて解析、検討した結果を報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V215a バビネ相補型二重メタルメッシュ構造とシリコンサブ波長構造による耐環境赤外線バンドパスフィルタ

和田武彦 (国立天文台), 宮田香清, 豊島理彩, 後藤優花, 鹿島千晴, 飯嶋航大, 植田雅大, 陳麗姫, 中岡俊裕 (上智大学), 正光義則 (KEK QUP), 鈴木仁研 (ISAS/JAXA)

多色撮像観測に用いられるバンドパスフィルターは、可視光線・近赤外線観測では誘電体多層膜フィルターにより、電波観測ではメタルメッシュフィルターにより、それぞれ実現されている。しかし、極低温への冷却と飛翔体への搭載が必要となる遠中間赤外線観測では、誘電体多層膜における異種物質間の熱膨張差による冷却サイクルに対する脆弱性や、打ち上げ時の音響・振動に対する金属薄膜の脆弱性により、それぞれ適用が難しかった。本研究では、シリコンサブ波長構造上に Au 蒸着を施すことで、冷却サイクルや音響・振動に対する耐久性の高い、バビネ相補型二重メタルメッシュ構造によるバンドパスフィルタを作成したので報告する。

まず、フォトリソグラフィによるパタニングと SF_6 、 C_4F_8 を用いたボッシュプロセスにより、高抵抗 Si 基板に深さ d の四角開口サブ波長構造の配列を形成した。次に、基板垂直方向から電子線蒸着を行うことで、井桁状の表面と四角開口の底面に一度に Au を成膜した。FT-IR による赤外光透過スペクトルにより、 $3.5\text{ THz} \sim 4.3\text{ THz}$ において、 $\lambda/\Delta\lambda > 10$ の良好なバンドパス特性を実証した。3次元電磁場シミュレーションによるスペクトルと良好な一致を得た。上部開口部は下部底面の Au により完全に遮断されるバビネ相補構造であるにもかかわらず、0.4 程度の透過率を示した。Si 基板裏面での 0.3 程度のフレネル反射ロスを考慮すると本フィルタ部のみの透過率は 0.6 程度である。サブ波長構造による有効屈折率を n_{eff} とすると透過中心波長 λ は $\lambda = 2n_{\text{eff}}d$ で概ね与えられ、サブ波長構造による有効屈折率を反映したファブリーペロー共振が起きていることがわかった。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V216a 赤外線天文衛星 GREX-PLUS 計画: 銀河進化・惑星系形成観測ミッションの進捗報告 2023 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), 金田英宏 (名古屋大), 本原顕太郎, 和田武彦, 野村英子, 守屋亮 (国立天文台), 播金優一 (東京大), 山田亨 (宇宙科学研究所), 小宮山裕 (法政大), 大藪進喜 (徳島大), 児玉忠恭 (東北大), 大内正己 (国立天文台/東京大), 宇宙物理学 GDI, 他

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) とコミュニティが一緒になって作り上げるようになった。本講演では、宇宙物理学 GDI のもと、2022 年 12 月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し、「初代銀河」と「スノーライン」の探査を二大科学目標としている。

科学検討においては、30 名の執筆者の協力を得て、GREX-PLUS により実現可能な 18 個のサイエンスケースを取りまとめた Science Book を発行した (arXiv:2304.08104)。また、戦略的中型計画として相応しい科学的価値を維持するための Threshold Science 案の策定を行なった。システム検討においては、コスト抑制を重視しながら、全般的な仕様の見直し、技術課題の抽出を行なった。特に衛星システム全体の軽量化、望遠鏡の光学系と構造の検討、指向制御の成立性確認、冷却系の最適化などに重点的に取り組んでいる。国際協力については、検出器提供から広視野カメラ製作を含む貢献をアリゾナ大学など米国のグループと議論している。講演では 2024 年春のミッション提案に向けた最新の検討状況について報告し議論したい。

[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](#)

V217a 赤外線天文衛星 GREX-PLUS 計画: 無冷媒極低温冷却システムの検討

○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的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・温度 50 K 以下の冷却宇宙望遠鏡を用いた赤外線観測によって、銀河形成進化論および惑星系形成進化論を刷新する。

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。従来の冷媒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。この制限を大幅に緩和するため、GREX-PLUS 計画は無冷媒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それぞれ、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 の無冷媒冷却システムの検討ヘリテージを最大限に活用し、冷却システムの熱設計を行った。また、熱設計に基づいて、熱数学モデルを構築して定常熱解析を実施して熱要求の成立性を検討した。その結果、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解が存在することを示した。さらに、熱解析結果に基づいて機械式冷凍機システムの冗長構成と最小構成を示し、これらの得失を議論した。今後、宇宙物理学 GDI と共にペイロード部の熱構造の概念設計をさらに進め、2024 年春のミッション提案を目指す。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V218a 赤外線天文衛星 GREX-PLUS 計画: CGH 干渉計を用いた極低温下における自由曲面鏡の表面形状測定

近藤翼, 國生拓摩, 金田英宏, 脇田愛未 (名古屋大学), 石原大助 (ISAS/JAXA), 木野勝 (京都大学)

宇宙望遠鏡の観測装置では、限られた重量・スペースで高い結像性能を実現可能な自由曲面鏡が有用である。しかし、赤外線観測の運用環境下である極低温 (~ 10 K) で自由曲面鏡の表面形状を高精度に測定することは容易ではない。赤外線天文衛星 GREX-PLUS での適用を目標に、我々は、Computer Generated Hologram (CGH) を用いた、極低温測定に最適化した新しい干渉計の開発を進めてきた。非球面の干渉計測定では、干渉計と測定する鏡の相対位置を高精度に調整 (アラインメント) する必要があるが、冷却中は鏡にアクセスできないため、アラインメントの難易度が高い。本研究では、これまで開発してきた CGH 干渉計システムに、3つのアラインメント用カメラを組み込むことで、測定する鏡に対して高精度に干渉計をアラインメントできる手法を構築した。

新しい CGH 干渉計システムを用いて、常温下で自由曲面鏡である軸外し放物面鏡の測定をおこなった。接触式測定との比較から、本干渉計システムの絶対精度は 18 nm RMS と求まり、赤外線観測装置の要求値 (SPICA/SMI の場合、60 nm RMS) に対して十分小さい値を達成していることが分かった。また、本干渉計システムを極低温測定に適用し、温度 10.4 K まで冷却した軸外し放物面鏡の表面形状測定に成功した。極低温下と常温下それぞれにおける表面形状の差分は 7 nm RMS と求まり、測定系のランダム誤差 (8 nm RMS) と同程度であることが分かった。これより、鏡を冷却したことによる変形は見られず、鏡の固定方法や、熱パスや温度計の取り付け方法による応力が測定に影響を与えていないことが確かめられた。

[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](#)

V219a GREX-PLUS 中間赤外線高分散分光器: イメージョン・グレーティングの開発

中川貴雄, 松原英雄, 鈴木仁研, 榎木谷海 (ISAS/JAXA), 平原靖大, 古賀亮一, 李源, 趙彪, 根岸昌平, 金田英宏 (名古屋大学), 和田武彦 (国立天文台), 中岡俊裕 (上智大学), 細畠拓也, 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)

惑星系の進化において、ガス惑星と固体惑星を分ける最重要因子は、 H_2O ガスと固体の境界である「スノーライン」であると考えられている。しかし、スノーラインを空間的に分解して観測することは、現在の観測技術では難しい。一方、ケプラー運動を仮定すれば、 H_2O ガス輝線の視線速度から、 H_2O ガスの分布、そしてスノーラインの位置を同定することができると期待される。今までの理論計算により、中間赤外線領域での H_2O ガスの高分散分光観測が最も有力な手法であると考えられている。そのためには、スノーライン位置でのガス運動 ($\Delta v \sim 15 \text{ km s}^{-1}$) が十分に分解できる「高分散分光観測」を、「地球大気の影響のないスペース」から行う必要がある。

我々は、このために、赤外線天文衛星 GREX-PLUS 計画（本年会における井上らの講演）に中間赤外線高分散分光器 ($R = \lambda/\Delta\lambda \sim 30,000$) を搭載することを目指し、技術開発を進めている。各種リソースの限られたスペースにおいて、高分散分光を実現するためには、分光器を大幅に小型化する必要がある。そのために、我々は小型化に有効な「イメージョン・グレーティング」分光技術の開発に取り組んでいる。具体的には観測波長 (10-18 μm) で吸収率が低いと期待され、必要なサイズの材料が入手できる CdZnTe を、その候補材料として選定し、その光学特性（極低温における吸収率と屈折率）の評価と、グレーティング作成のための機械加工性の検証とを進めている。これらの成果を基に、スノーライン検出に要求されるの分光分解能をもつ「イメージョン・グレーティング」の試作をし、テスト分光器に組み込み、地上試験観測での性能実証を計画している。

[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](#)

V220a GREX-PLUS 中間赤外線高分散分光器: CdZnTe イメージョン・グレーティングの加工法の検討

細畠拓也, 海老塚昇, 山形豊 (理化学研究所), 中川貴雄 (JAXA 宇宙科学研究所), 松原英雄, 榎木谷海 (総合研究大学院大学/JAXA 宇宙科学研究所), 李源, 平原靖大 (名古屋大学), 井上昭雄 (早稲田大学)

GREX-PLUS (Galaxy Reionization EXplorer and PLanetary Universe Spectrometer) は銀河および惑星系の形成進化過程の解明を目的として 2030 年代に打ち上げが計画されている冷却宇宙望遠鏡であり、これに搭載される分光器には分子分光の指紋領域である波長 10-20 μm 帯での $R = 30000$ 程度の高分散分光が期待されている。しかし、高分散分光器は大型化する傾向にあるため、衛星搭載機器としての小型軽量化が重要な課題である。我々はこの課題の解決策として、高屈折率の媒質中にグレーティングを埋め込んだイメージョン・グレーティング (IG) の採用を検討しており、当該波長帯で高い透過率を有する CdZnTe が媒質の有力な候補となっている。このような IG は、バルク材料から切り出した直角三角柱の斜面に階段状の溝加工を施すことによって実現されるが、硬脆材である CdZnTe に溝加工を施すことは困難であるため、加工技術の開発が必要である。

理化学研究所では、ダイヤモンド工具とナノメートル分解能の超精密加工機を用いた光学素子製造技術の研究開発を行っており、今回の IG に類似した光学素子として、ゲルマニウム単結晶のプリズムに溝加工を施してグリズムを製作することに成功している。ゲルマニウムに溝を加工するに当たっては、脆性破壊を伴わない延性モードでの切削加工が不可欠であるが、我々は V 字型のダイヤモンド工具の 2 つのエッジが負のすくい角で材料に接するような特殊なフライカッターを採用することによってこれを実現した。本研究では、この加工技術の GREX-PLUS 用 CdZnTe IG への適用可能性について検討を進めており、本講演ではその進捗状況について報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V221a GREX-PLUS 中間赤外線高分散分光器：イマージョン・グレーティング材料の極低温・中間赤外線屈折率測定装置の開発

榎木谷海, 松原英雄 (総合研究大学院大学/ISAS), 中川貴雄 (ISAS), 平原靖大, 古賀亮一, 李源, 高間大輝 (名古屋大学), 和田武彦 (国立天文台), 山口遼大, 田中颯 (東京工業大学/ISAS)

我々は中間赤外線高分散分光観測 ($10\text{--}18\ \mu\text{m}$, $R = \lambda/\Delta\lambda \sim 30,000$) の実現のため、次世代赤外線天文衛星 GREX-PLUS への搭載を目指し、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 $1/n$ (体積で $1/n^3$) 倍にでき、装置全体を小型化することができる。IG の材料には小さい吸収係数 ($\alpha < 0.01\ \text{cm}^{-1}$) 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)。この吸収係数を正確に求めるためには屈折率に依存する多重反射効果を考慮する必要がある。しかし、GREX-PLUS の装置の要求である $<20\text{K}$ 、 $10\text{--}18\ \mu\text{m}$ での CdZnTe の正確な屈折率は未測定で、CdTe の測定値からの推定値であり、 $\Delta n \sim 8 \times 10^{-4}$ の不定性があるのが現状である。

本研究の目的は、屈折率を極低温・中間赤外線で測定するための装置を開発し、CdZnTe の屈折率を $\Delta n < 10^{-4}$ の精度で最小偏角法を用いて求め、多重反射効果を考慮した吸収係数を算出することである。本測定装置は常温で $635\ \text{nm}$ 及び $10.6\ \mu\text{m}$ で測定可能なセットアップであり、現在偏角測定用ステージの回転角変化と同期した光強度測定の実現による、測定精度の向上を目指している。バンドパスフィルターと液体窒素冷却単素子 MCT 検出器を用いた特定波長での屈折率測定系であり、可視半導体レーザーによるオートコリメーション頂角測定に加え、可視ファイバーと中間赤外線 PIR ファイバーを切り替えることにより複数の波長における最小偏角測定が可能な測定系にしている。本講演では装置の詳細仕様と開発状況を中心に紹介する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V222a GREX-PLUS 中間赤外線高分散分光器：イマージョン・グレーティング材料の光学特性評価のための 2D FT-IR 分光器の開発

趙彪, 古賀亮一, 平原靖大, 根岸昌平, 李源, 高間大輝 (名古屋大学), 伊藤文之 (産総研), 笠羽康正 (東北大学), 中川貴雄 (ISAS), 榎木谷海, 松原英雄 (総合研究大学院大学/ISAS), 和田武彦 (国立天文台)

原始惑星系円盤の進化モデルの検証において重要な H_2O スノーラインの検出とサーベイを目標として、宇宙望遠鏡 GREX-PLUS に搭載する観測波長 $8\text{--}18\ \mu\text{m}$ 、波長分解能 $R = \lambda/\Delta\lambda \sim 30,000$ の高分散赤外線分光器の実現に向けた要素技術開発が進められている。この分光器に用いられるイマージョン・グレーティングの材料である CdZnTe の、観測波長帯における極低温 ($\sim 5\ \text{K}$) での正確な吸収係数を導出するためには、屈折率・透過率の精密測定法の開発・改良が必要である (榎木谷他, 李他 今年会)。とりわけ、当該波長帯での連続波長掃引可能なレーザー光源の入手が困難であるため、ランプ光源を用いた最小偏角法による屈折率測定の精度向上が重要な課題である。

そこで、本研究では准共通光路波面分割型位相シフト干渉法による広帯域 2D FT-IR イメージング分光器を開発し (趙他 2023 春季年会 V240a)、極低温屈折率測定装置の検出器への適用を目指す。 $\lambda > 13\ \mu\text{m}$ での大気吸収の影響を防ぐため、コンパクトな真空筐体に格納された分光器 ($150 \times 160 \times 50\ \text{mm}$) へのコリメート入射光は、軸外し放物面鏡 (OAP) を介して Si MEMS 一次元多重スリット上に結像させる。その透過光は OAP で再びコリメートされた後、真空対応ピエゾアクチュエータ上の可動鏡、及び固定鏡に入射角 45° で波面分割され、位相差 ($\pm 5\ \text{mm}$) を与える。出射光は 3 つ目の OAP により非冷却広帯域赤外線カメラ (素子サイズ: $17\ \mu\text{m}$ □, 素子数: 640×512) 上に結像される。講演においては、He-Ne レーザーを用いた精密な光軸調整、および C++ 言語によるピエゾアクチュエータの駆動制御・赤外線イメージ取得と FFT 演算処理ソフトウェア製作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](#)

V223b 赤外線天文衛星 GREX-PLUS 計画: 自由曲面鏡光学系のアラインメント手法および光学性能評価手法の開発

近藤翼, 金田英宏 (名古屋大学), 和田武彦, 内山瑞穂, 松原英雄 (ISAS/JAXA), 脇田愛未, 黒田幸 (名古屋大学), 榎木谷海 (総合研究大学院大学)

次世代赤外線天文衛星 GREX-PLUS では、波長分解能 $R = \lambda/\Delta\lambda = 30000$ での中間赤外線帯 (波長 $\lambda = 10 - 18 \mu\text{m}$) の高分散分光観測を目指している。高分散分光器 HRS の光学系には、自由曲面鏡を採用することで、衛星搭載機器の限られた重量・大きさの中で、高い光学性能を実現できる。しかし、赤外線天文衛星に要求される高い精度 (SPICA/SMI の場合、目標誤差 $\lambda/30$) で自由曲面鏡光学系を設置・調整 (アラインメント) し、赤外線観測の運用環境である極低温 ($\sim 10 \text{ K}$) で、組み上げた光学系の性能評価をすることは容易ではない。本研究では、TAO/MIMIZUKU で採用された三次元測定機による位置・角度ずれ測定と、レーザーを用いた角度調整のリアルタイムモニターを組み合わせた手法を応用し、自由曲面鏡光学系に適用できる新しいアラインメント手法を開発する。本研究の特徴は、新しく自由曲面と参照平面を一体ものにした鏡を製作することで、参照平面の高精度な設置・調整を通じて、自由曲面部分のアラインメントを完了できる点である。

これまで、上記の手法を実際の自由曲面鏡光学系に適用し、常温下でアラインメントした光学系の性能評価をフィゾー干渉計を用いて実施した。目標誤差 $\lambda/30$ のところ、本手法では $\lambda/10$ の波面誤差が生じていることが分かった。鏡の角度調整の際に、調整方向とは違う方向へ鏡が傾くことで作業が複雑になり、目標精度まで調整できていないことが原因と考えられる。本発表では、上記の光学性能評価試験の結果に加えて、今後のさらなるアラインメント精度の向上や、極低温下における光学性能評価試験に向けた開発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](#)

V224b GREX-PLUS 中間赤外線高分散分光器: イメージョン・グレーティング材料の透過率の精密測定

李源, 古賀亮一, 趙彪, 高間大輝, 平原靖大 (名古屋大学), 榎木谷海, 松原英雄 (総合研究大学院大学/ISAS), 中川貴雄 (ISAS), 和田武彦 (国立天文台)

我々は、中間赤外線高分散分光観測 ($9.6 - 18 \mu\text{m}$, $R = \lambda/\Delta\lambda \sim 30,000$) の実現のため、赤外線宇宙望遠鏡 GREX-PLUS への搭載を目指したイメージョン・グレーティング (IG) の開発を進めている。IG 材料は分光器の動作温度 ($T \sim 5 \text{ K}$) における吸収係数 α が小さい必要がある ($\alpha < 0.01 \text{ cm}^{-1}$)。我々のこれまでの測定によれば、極低温領域での α の有意な変化が確認されていない、高抵抗 CdZnTe 結晶 ($\sim 10^{10} \Omega \text{ cm}$) が IG の材料として有力であるが、 α の高精度決定には、冷却による光学系の微小変位の影響の少ない、透過率測定装置の開発が必要である。

本研究では、大きさ 7-10 mm 角の小さな高抵抗 CdZnTe 試料に対する極低温での透過率の高精度測定を実現するために、単一の光源および赤外線検出器を用いた小型光学系の構築に取り組んだ。内径 1 mm、長さ 10 mm の赤外線中空ファイバーと直径 6 mm の Ge レンズ一対を、定格出力 12.5 W のカンタル製フィラメント光源近傍に配置してダブルビーム光源 (ビーム径 $\sim 1 \text{ mm}$) を構成し、外径 120 mm の真空チャンバー内部の、冷凍機コールドヘッドに固定した CdZnTe 試料から近い距離 ($\sim 30 \text{ mm}$) に配置した。そしてチャンバー内の真空排気完了後にフィラメント光源を点灯させ、ダブルビームを真空チャンバー出力窓から計測した。その結果、2D FT-IR 分光器 (趙他 本年会講演) で赤外線分光画像が取得可能なほどに明るく、また CdZnTe 試料の常温から 4K への冷却に要する約 8 時間の光源の安定性は $\Delta I/I \sim 0.29 \% \text{ rms}$ と良好で、 α を 0.003 cm^{-1} の精度で決定可能であることがわかった。本講演ではこの最新の光源ユニット等を用いた、極低温での高抵抗 CdZnTe の透過率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](#)

V225b 中間赤外線高分散分光器：CdZnTe 表面での反射防止の開発

和田武彦(国立天文台), 枝泰希, 塚本慶人, 柿原良多, 中岡俊裕(上智大学), 正光義則(KEK QUP), 川貴雄, 鈴木仁研(ISAS/JAXA)

CdZnTe は波長 $5\text{-}20\mu\text{m}$ で小さな吸収 ($\alpha < 10^{-2}\text{cm}^{-1}$) と大きな屈折率 ($n \sim 2.6$) を持つことから、コンパクトな赤外線高分散分光を実現するイメージョン・グレーティング (IG) の材料として注目されている。特に、波長 $10\text{-}18\mu\text{m}$ には惑星系形成過程の解明に重要な輝線が多数存在するため、冷却宇宙赤外線望遠鏡 GREX-PLUS では、CdZnTe IG を用いた中間赤外線高分散分光器が提案されている。一方、CdZnTe は、その大きな屈折率のためフレネル反射ロスが大きく、表面での反射防止が必要である。常温での反射防止は誘電体多層膜コートにより確立している。しかし、冷却に耐える多層膜コートの実現は、異種物質間の熱膨張差により難しい。特に、波長 $10\text{-}18\mu\text{m}$ では、波長 $2\mu\text{m}$ の場合に比べ $5\text{-}10$ 倍の膜厚みが要求されるため、一層困難となっている。

本研究では、熱膨張差の問題を回避しつつ反射防止を実現できる、モスアイ構造による反射防止の実現を目指した。まず、CdZnTe 基板表面に Br、HBr、 H_2O の混合液による等方ウェットエッチングを実施し、周期 $5\mu\text{m}$ で、等方ウェットエッチングの限界 ($2.5\mu\text{m}$) に近い高さ $1.7\mu\text{m}$ の富士山状突起からなるモスアイ構造を形成することに成功した。次に、反射防止効果を評価するために、フーリエ変換赤外線分光法により透過スペクトルを測定した。得られた透過スペクトルは電子顕微鏡観察により得られたモスアイ構造を考慮した電磁場シミュレーションとほぼ一致した。また、反射防止の無い CdZnTe 基板と、片面にモスアイ構造を作成したものとの透過スペクトルの比から、波長 $14\mu\text{m}$ 以上において 7% 程度の透過率向上を得た。フレネル反射低減には周期の約 3 倍の高さが必要と報告されているが、周期の約 $1/3$ の高さでも一定の反射防止効果が得られることが分かった。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V226a 弾性体モデルを用いた滑らかで高精度な 2 次元データ同士の接続手法及びデータステッチングソフトウェア開発

杣津萌, 栗田光樹夫 (京都大学)

データステッチングソフトウェアは、天文画像や干渉計による鏡面測定データなどの 2 次元分布を持つデータ (以下、2 次元データと呼ぶ) 同士を重複領域で滑らかかつ高精度に接続するソフトウェアである。観測装置や干渉計などの測定機器にはそれぞれ測定範囲があり、この範囲より広い領域を測る場合には領域を分割して測定し、後から測定データ同士を繋ぎ合わせる必要がある。接続の際には測定データ上に存在する偶然誤差や系統誤差、ドリフト誤差などの測定誤差を適切に処理する必要があるが、加重平均や最小二乗法を用いた従来のデータ接続手法ではとくにドリフト誤差に対する適切な処理が行われておらず、重複領域の境界部分で不連続な段差が生じるという問題が発生していた。

我々は測定データ上のドリフト誤差に時間的・空間的な相関関係があることに着目し、測定データの連続性を維持しつつ変形可能な弾性体でモデル化した。これにより、測定データ同士の接続問題を弾性エネルギーの最小化問題に置き換えた。本講演では我々が開発した 2 次元データ同士を接続するデータステッチングソフトウェアの設計と、本ソフトウェアを用いた 2 次元データ同士の接続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](#)

V227a 突発天体サーベイの差分解析における候補天体絞り込み手法の開発

笹岡大雅, 有馬宣明, 土居守 (東京大学), 富永望, 小久保充 (国立天文台)

近年、超新星をはじめとした突発天体の発見数は大幅に増加しており、今後も LSST を代表とする次世代サーベイ望遠鏡の開始により更なる増加が見込まれている。日本国内においても、東京大学木曽観測所の Tomo-e Gozen チームが全天サーベイ/高頻度サーベイを毎晩行い、突発天体を探索している。突発天体の発見を目的としたサーベイでは、新規に取得した画像と参照画像の「引き算」を行うことによって検出を行なっている。しかし、検出されるものの多くは引き残しや宇宙線などであり、確からしい突発天体候補を個別にフォローアップできるまで絞り込むには、誤検出を極力減らす必要がある。近年は機械学習による判別手法の進歩が著しいが、機械学習を用いた判別にはモデルを修正する場合に非常に時間がかかる等のデメリットもあり、検出した天体のパラメータによる判別手法の改善も依然として重要である。

点源に感度のある検出を行うには、その星像の形 (Point Spread Function) で重み付けをすると良いことが以前から知られている。先行研究は Tomo-e Gozen の 1 フレーム/秒の画像に対し、横軸に重み付け後のピーク、縦軸に星像のプロファイルの傾きをとるとその分布から点源由来の天体と誤検出 (宇宙線等)、点源よりも広がりを持つ天体 (流星や銀河) を分離できることを明らかにした。Tomo-e Gozen の突発天体サーベイデータを用いた本研究では、点源由来の天体が分布する領域をシーリングと信号雑音比のみに依存する式を使って予想することができるようになった。本講演ではこの手法を適用した結果とともに、実行時間の議論や、重力波可視光対応天体探索への応用可能性などについても報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V228a すばる望遠鏡近赤外線高分散分光器 IRD のためのスペクトル抽出パイプラインの開発とその適用

葛原昌幸 (ABC/NAOJ), 平野照幸, 小谷隆行, 笠木結 (ABC/NAOJ/総研大), 高橋葵, Stevanus Nugroho (ABC/NAOJ), 佐藤文衛 (東工大), 鶴山太智 (Caltech), 田村元秀 (東大/ABC/NAOJ), 川内紀代恵 (立命館), IRD 装置チーム/SSP チーム

すばる望遠鏡の近赤外線分光器 InfraRed Doppler (IRD) はレーザー周波数コムと同時併用可能な近赤外線の高分散分光器 ($R \sim 70,000$) であり、主に低温 M 型星の惑星を探索する目的で運用されている。また IRD は高い分散能力を得るために補償光学を利用しているが、それは同時に高空間分解撮像を ($0.97\text{--}1.1 \mu\text{m}$ で) 実行することも可能にする。それらの装置性能は惑星を中心とした様々な研究課題において既に活用されてきた。

我々は「人間の手が極力入らない効率的な処理を実行する」という設計思想に基づいて IRD データ解析パイプラインを開発してきた (独立に開発中の別パイプラインは 2023 年春季年会 P314a で報告)。同パイプラインは Python と PyRAF をベースに開発されており、バッチと個別の両面の処理に適用できる。また、生データに対して天体、コム光、フラットなどその種類を画像を直接調べることで自動で判別する機能も持つ。さらに高分散分光のデータ解析で手間を要する Th-Ar ランプのデータを利用した波長較正も自動で実行される。それ以外では、H2RG 検出器のバイアス、相関性のある読み出しノイズ、ホットピクセルを処理し、散乱光補正や SN の人工的な悪化を抑えながらフリッジ補正に注意したフラット処理などの高分散分光のデータに必要な一次処理を一通り可能とし、二次元撮像画像の光学的歪みを補正するためのコードも提供する。本発表では上記パイプラインの説明に加えて、GJ 436 など惑星を持つ天体のデータに対して適用した結果を、その測定された視線速度とともに報告する。

[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](#)

V229a 次期ひまわり搭載用静止軌道高エネルギー陽子線計測装置開発II

大辻賢一, 坂口歌織 (情報通信研究機構), 三谷烈史 (宇宙科学研究所), 明午伸一郎, 山口雄司 (日本原子力研究開発機構 J-PARC センター)

情報通信研究機構では、総務省委託研究課題「ひまわりの高機能化研究技術開発」に基づき、次期気象観測衛星に搭載可能な宇宙環境計測装置の開発を進めている。その中で陽子線計測装置の開発 (RMS-p) は、10 MeV~1 GeV 以上の測定エネルギー範囲を持ち、低エネルギー側 (RMS-p-lo) と高エネルギー側 (RMS-p-hi) の機器を備えている。RMS-p-lo のエネルギー範囲は 10 MeV から 500 MeV であり、積層シリコン半導体検出器 (SSD) で計測される。Geant4 によるシミュレーション結果では、積層 SSD 部で 10 MeV から 500 MeV までのエネルギーを測定可能であり、また 3.5 mm の Ta 外装によりエネルギー測定の対象外の粒子を除外できることが確かめられた。RMS-p-hi では、エネルギー測定原理としてチェレンコフ光を用いている。RMS-p-hi に用いるチェレンコフ光放射体については、良好な耐放射線性、短波長側の可視光の透過率が良好であること、および 1 GeV 付近のエネルギー測定に適する屈折率を持つことから、合成石英を選択した。また、チェレンコフ放射による陽子のエネルギー測定可能性の実証として、日本原子力研究開発機構 J-PARC センターにプロトタイプの陽子線計測装置を設置し、陽子ビーム照射試験を行った。その結果、チェレンコフ放射源として合成石英 (屈折率 1.48) を用いて 800 MeV から 2.2 GeV までのエネルギーを測定できることを確認した。本講演では RMS-p の構成について解説するとともに、J-PARC における照射試験結果について報告を行う。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V230a PRIME 望遠鏡の近赤外線検出器 (H4RG-10) の非線形性補正

濱田龍星 (大阪大学), Mosby Gregory (GSFC), PRIME Collaboration

PRIME (Prime-focus Infrared Microlensing Experience) 望遠鏡は南アフリカ天文台に設置され、1.8m の口径と広視野 ($\sim 1.29\text{deg}^2$) を活かした近赤外線バンド (主に H) での銀河系中心領域のマイクロレンズ惑星探査を 2023 年 7 月から本格的に行う予定である。Roman 宇宙望遠鏡から HAWAII 4RG-10 (H4RG-10) を 4 枚借りることで、近赤外・広視野を実現している。

正確な測光観測のために H4RG の非線形性を補正することはとても重要である。本手法 (JWST-STScI-005167, SM-12 を参考) は、任意のシグナルでの線形成分と非線形成分を考慮し、理想的な線形のシグナルを見積もり、非線形性補正を行う。また、本研究のためのデータ取得は実験室で行われておらず、光源として thermal background を用いた。検出器由来の非線形性の評価のために、光源の安定性の評価も合わせて行う。

本講演では、PRIME 望遠鏡で用いた非線形性補正の手法と、そのためのデータ取得と、H4RG での補正結果を紹介する。

[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](#)

V231a 科学観測に用いる民生用冷却 CMOS カメラの性能評価

野口雄弘 (東京電機大), 早津俊祐, 高橋一郎, 谷津陽一, 笹田真人, 庭野聖史, 佐藤翔太, 樋口成和, 関響, 武井宏延 (東京工業大学), 東工大 MITSuME チーム

時間領域天文学的を切り開くため、連星中性子星合体からの早期放射、超新星等の突発天体の早期観測が必要と考える。突発天体発生場所の予測は困難であり、短時間で突発天体を観測するためには中小口径望遠鏡による自律的な追観測が必要である。東工大ではこのような自律観測を行う MITSuME 明野 50cm 望遠鏡を運用している。この望遠鏡をはじめ、これまでそのセンサ部には性能の良かった CCD の使用が主流であったが、CMOS のコストダウンと性能向上により現在では CMOS の使用が広がりつつある。同条件の価格帯では、CCD は CMOS の 3 倍程度高く、これまでのカメラの 1 台分の値段で複数台購入することができ、中小口径望遠鏡を使用している大学においてコストダウンに貢献している。一方、民生品であるため、応答性が保証されていない。科学計測に使用できるかどうかを確認するため、本研究を行った。CMOS カメラとして、広く使用される ZWO ASI6200MMpro カメラ性能を評価する。センサは、ソニーセミコンダクタソリューションズ株式会社の IMX455 である。性能に注目した場合、CMOS は高ゲインであり、低照度における点光源検知特性は高いと予想される。また Readout ノイズも CMOS の方が優れており、スペックとの比較では明らかに CMOS の方が CCD に比べて優れて見える。一方、CMOS センサはメカニカルシャッターが無いため、CCD のように Dark フレームを取得できない。そのため、ダイナミックレンジ、線形性、Readout ノイズ、ゲイン、感度一様性、バットピクセルの評価を行った。本講演では、上記の性能を現在 MITSuME に使用されている CCD カメラのものと比較するとともに、本カメラを MITSuME 明野 50cm 望遠鏡に取り付けた場合に予想される検出限界や測光精度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](#)

V232a 新しい透過型 Echelle Grating: Reflector Facet Transmission Grating

海老塚昇, 竹田真宏, 細島拓也 (理化学研究所), 岡本隆之 (元理化学研究所), 尾崎忍夫 (国立天文台)

従来の表面刻線型の反射型 Echelle grating は s と p 偏光の分光特性が大きく異なる。また、表面プラズモンの影響により特定の回折次数の p 偏光の効率が大きく低下するアノマリという現象が問題であった。Reflector facet transmission (RFT) grating はノコギリ歯形状の格子の一方の面から入射した光束が、もう一方の格子の面で反射して格子の裏面から回折光が出射する新しい透過型 Echelle grating である。RFT grating は格子の内部における全反射を利用して回折光を強める方向に光束を導くために、屈折を利用する格子が階段形状の表面刻線型の透過型回折格子と比べて、格子の屈折率が小さくても大きな回折角を達成できる上に、 s と p 偏光の分光特性がほぼ一致しているために反射型 Echelle grating より回折効率が高く、帯域幅が広い。また、格子に金属を使用しないためにアノマリが起こらない。さらに RFT grating はコリメータやカメラ (結像) 光学系の近傍に配置できるので、反射型 Echelle grating より観測装置を小型化できる。

我々はダイヤモンド工具を用いた超精密切削加工によって硬質樹脂の RFT grating (頂角 38.3° , 20 本/mm) を試作した。最初にバリが生じないような加工条件を見出し、その加工条件で本加工 (有効径 $20 \times 20\text{mm}$) を行った。He-Ne レーザを光源として 632.8 nm における回折効率を簡易的に測定した結果、入射角と回折角が 45° のピーク次数 (112 次近傍) の効率が 60.7%、ピークの ± 1 次の効率が 13.0 と 13.2%、 ± 2 次の効率が 6.0 と 2.5%であった。エシェルグラムの解析に使用される 0 次と ± 1 次の効率を合計すると 86.9%であり、RFT grating は効率が高いことを実証できた。

[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](#)

V233a 高効率・回折限界を目指したゲルマニウム製エシェル回折格子の開発

小谷隆行 (ABC/国立天文台/総研大), 高橋葵 (ABC/国立天文台), 田村元秀 (東京大学/ABC/国立天文台), 小口和真 (東京大学)

TMT 第 1 期観測装置・MODHIS とその Precursor である HISPEC/Keck は、シングルモードファイバーを用いた回折限界の近赤外線高分散分光器である。本研究では、これらの分光器の核心部分とも言える、ゲルマニウム製エシェル回折格子の開発について報告する。MODHIS と HISPEC は共に、コンパクトかつ高い波長分解能 ($R=10$ 万以上)・高い視線速度安定性を実現するために、分光器は高いレベルの回折限界性能が求められ、特にエシェル回折格子は、これまでの分光器ではあまり追及されてこなかった、冷却化で回折限界を達成するための回折波面平坦性 (< 30 nm rms) と、暗い M 型星や系外惑星を観測するための高い回折効率 (ピーク効率 $\sim 70\%$ 以上) が求められている。我々はこの要求を満たすために、非常に高い平坦性と理論値に近い回折効率が得られる単結晶ゲルマニウム製のエシェル回折格子を開発している。これまでに小型エシェル回折格子 (ブレード角 76 度、格子密度 13.3 本/mm、 60×19.5 mm) を製作し、常温下で 20 nm rms 以下の回折波面誤差、理論効率の 95% 以上の高効率を実現できている。またこの試作回折格子の回折波面形状を冷却下で測定するシステムを開発し、常温時と 84 K での回折波面形状の違いは 12 nm PV と非常に小さいことを実証できた。また、格子の頂角を 90 度以下にすることで、回折効率の向上を目指した数値シミュレーションを行い、回折効率の頂角依存性を明らかにした。今後は、冷却化でのブレード形状や効率変化の有無、偏光依存性の調査や、実際に使用されるフルサイズの回折格子製作とその性能評価試験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](#)

V234b Tomo-e Gozen 動画データの光度曲線解析へ向けた天体マッチング法の検討と処理速度評価

有馬宣明, 土居守, 酒向重行, 瀧田怜 (東京大学)

Tomo-e Gozen は東京大学木曽観測所の 105 cm シュミット望遠鏡に搭載の 84 枚の CMOS センサから成る可視光広視野カメラであり、視野約 20 平方度を最大 2 フレーム/秒 (2 -fps) での動画観測が可能である。超新星を代表とする突発天体を狙った毎晩の全天サーベイ観測では、 2 -fps で得られた 18 枚ないしは 12 枚のフレームのスタック画像が超新星パイプラインに、生の 2 -fps 動画データは地球接近小惑星 (NEO) のパイプラインによってそれぞれ利用され解析されている。CMOS センサの高速読み出しという利点を活かした短時間の変光星や恒星フレア、さらには未知なる秒スケール突発現象の発見を目指し、我々は日々取得される動画データに写るソース全ての光度曲線から変動天体を探すデータ解析ソフトウェア、および検出天体データベースの開発を進めている。

2 -fps 動画データに写る天体の検出から時系列測光カタログの作成までの一連のプロセスを含んだ解析スクリプトを作成し、フレーム数や天体数を変化させた人工的な PSF の埋め込み画像をテストデータとして用意し、各プロセスに要する実行時間の評価を実施した。各フレームの検出天体間の対応付け (= マッチング) には最近傍探索アルゴリズムの一つである k -dimensional tree (k -d 木) と、検出天体が属するピクセルに固有の ID を付けた二次元画像 (segmap) による方法 (W03a, 有馬他 2023 年春季年会) を用いて比較を行った。その結果、 k -d 木/segmap による天体マッチングは全体の処理時間に対してどちらも速く (overhead 込みで $\lesssim 10\%$)、背景光の差し引き ($\sim 50\%$) と天体検出 ($\sim 30\%$) の 2 つが支配的であることがわかった。今後は移動天体に対するマッチングや天体 ID の重複などについても評価を行い、実データによる 2 -fps 光度曲線から変動天体の検出を目指す。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V235b 3次元面分光観測のための近赤外線波長走査型ファブリ・ペロー分光器の開発

高橋英則 (東京大学), NESUC-IIDA 分光器開発プロジェクトチーム (南信州・飯田産業センター)

様々な天文学の研究分野から強い要請がある赤外線波長走査型フィルター (チューナブルフィルター: ファブリ・ペロー面分光器) を開発し、大口径望遠鏡の観測装置の前置光学モジュールとして搭載、その実用可能性を示す。天文学的にはこの分光モジュールを用いることで、大規模星形成領域の物理状態を銀河系内の星団レベルから近傍・遠方銀河まで広い空間ダイナミックレンジで近赤外線波長全域に渡って連続的に高空間分解能の面分光観測を行い、星形成活動の物理過程を調査、大質量星や銀河の進化を解明することを目指す。

分光モジュールの開発要素として、近赤外線波長域に最適化された光学素子 (エタロン) の設計・製作と波長走査のための駆動機構および測距機構の開発が必須となる。本開発研究ではこれまでに、(1) ファブリ・ペローエタロンの光学設計を行い、ほぼ近赤外線波長全域に渡ってフラットな反射特性を低温で実現する大口径の多層膜を有した素子の製作、(2) 平行におかれた 2 枚のエタロンの平行度を保持しつつ、微小距離の走査するための駆動素子 (ピエゾ素子) の選定と入手、(3) 光学素子のギャップ間を測定、光学素子間隔調整ヘフィードバックするための静電容量センサーの選定と入手、(4) これらのコンポーネントを組み合わせた駆動・測距試験、(5) アルミニウム製の分光器試作モデル筐体の製作、などが完了している。さらに (6) ピエゾ素子駆動と静電容量センサーによる測距をクロズドループ制御することで、常にエタロンの間隔・平行性を維持しながら波長走査を行う制御系の設計・製作も進めている。本講演では分光モジュールの概要と個々のコンポーネントの仕様、特性・評価について報告する。

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

V236b 新しい高分散・高効率・広帯域透過型回折格子

海老塚昇, 細島拓也, 竹田真宏, 山形豊 (理化学研究所), 岡本隆之 (元理化学研究所), 佐々木実 (豊田工業大学), 西牧真木夫, 山本和也, 西尾幸暢 (ナルックス株式会社), 仲内悠祐, 佐伯和人 (立命館大学), 田中壺, 東谷千比呂, 服部亮, 尾崎忍夫, 青木和光 (国立天文台)

我々は、すばる望遠鏡や TMT 等の地上望遠鏡の観測装置、月極域探査計画 (LUPEX) の Advanced Lunar Imaging Spectrometer (ALIS)、次世代宇宙望遠鏡や太陽系探査機の観測装置用として Volume binary (VB) grating (厚い矩形回折格子) や Trapezoid (台形) grating、Reflector facet transmission (RFT) grating 等について、厳密結合波解析 (RCWA) の数値計算によって回折効率や波長帯域幅が最適になるような格子形状を求め、MEMS 技術や超精密切削加工技術を応用した新しい透過型回折格子の製作方法を開発している。

VB grating は従来の格子が階段形状の透過型の表面刻線型回折格子より大きな角度分散と高い回折効率を達成でき、屈折率が正弦波状に変調された Volume phase holographic (VPH) grating より広い波長帯域幅を達成できる。Trapezoid grating は s と p 偏光の分光特性を VB grating より近づけることができるために、さらにピークの回折効率を向上できる。RFT grating はノコギリ歯形状の格子の一方の面から入射した光束が、もう一方の面で反射して格子の裏面の平面から回折光が出射する新しい透過型 Echelle grating である。RFT grating は格子の内部における全反射を利用して回折光を強める方向に光束を導くために格子の屈折率が小さくても大きな回折角を達成できる。RFT grating は s と p 偏光の分光特性がほぼ一致するために、従来の反射型の Echelle grating より回折効率が高く、帯域幅が広い。これらの透過型回折格子はコリメータやカメラ (結像) 光学系の近傍に配置できるので、観測装置を小型化できる。

[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](#)

V237a Mt.John 天文台 61cm 望遠鏡多色同時測光装置の開発

山響 (大阪大学), PRIME コラボレーション, MOA コラボレーション

我々は世界初の広視野で近赤外線を用いた銀河系中心方向の重力マイクロレンズサーベイを行うために、新望遠鏡 PRIME (PRime-focus Infrared Microlensing Experiment) の建設を 2022 年 7 月から南アフリカ共和国にて実施した。PRIME 望遠鏡は近赤外線 (主に H -band) で観測することによって、星間減光が強い低銀緯領域を観測することが可能である。星の数密度が高い領域を観測することで、惑星発見数が可視光観測の約 10 倍以上 (Kondo *et al.*, 2023) に増えると見込まれている。地球質量以下の惑星検出数も増え、より正確に惑星分布を求めることができる。また、銀河系中心付近の星の数密度が高い領域での惑星頻度を世界で初めて見積もり、従来の可視光観測の領域と比較することで、環境による惑星頻度の違いを検証できる。しかし、重力マイクロレンズ現象における惑星シグナルは短時間しか現れないため、惑星シグナルを詳細に捉えるためには PRIME が観測を行えない時間帯に H -band で追観測を実施する必要がある。また、銀河系中心方向を観測できる南半球で PRIME の追観測を行う必要がある。

そこで、本研究では可視から近赤外線の多色同時測光装置を開発し、ニュージーランド Mt.John 天文台の 61cm 望遠鏡へ搭載する予定である。多色による重力マイクロレンズ現象の観測は惑星系の物理量の制限に非常に有効である。現在、多色同時測光装置の開発に向けて光学系の設計や検出器の選定を行なっている。また、Mt.John 天文台における近赤外線透過率のサイト調査も実施予定である。本講演では計画の進捗状況を報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V238a 国産赤外線検出器を用いた JHKs バンド同時撮像カメラ kSIRIUS

永山貴宏, 赤峰恭太郎 (鹿児島大学), 中屋秀彦 (国立天文台)

私たちは、鹿児島大学 1m 光赤外線望遠鏡用の観測装置として、 $J(\lambda = 1.21\mu\text{m})$, $H(\lambda = 1.65\mu\text{m})$, $Ks(\lambda = 2.15\mu\text{m})$ バンドを同時に観測できるカメラ kSIRIUS を開発した。kSIRIUS は、IRSF 望遠鏡の近赤外線カメラ SIRIUS を踏襲したものであり、望遠鏡で集めた光を、F 変換レンズにより焦点距離を 12000mm から 6000mm に変換し、オフナー光学系でコールドストップを作ったのち、2 枚のダイクロイックミラーで 3 つの波長帯に分けている。10' $\times$ 10' の視野に対して、鹿児島大学入来観測所の典型的なシーイングサイズである 1.5" より小さな星像を結ぶように光学設計されている。

kSIRIUS の最大の特徴は、国産の赤外線検出器を使用していることである。私達は浜松ホトニクス社で 320 $\times$ 256 画素 (1 画素 20 μm)、室温で $\lambda = 2.1\mu\text{m}$ 、および、 $\lambda = 2.6\mu\text{m}$ まで感度のある 2 種類の天体観測に主眼をおいた InGaAs 検出器を開発した。kSIRIUS では、 Ks バンドに 2.6 μm カットの検出器を、 H バンドに 2.1 μm カットの検出器を、 J バンドにすでに開発済みの 1.7 μm カットの検出器を使用している。これらの検出器を搭載した場合の kSIRIUS の観測視野は 3.7' $\times$ 2.9'、ピクセルスケールは 0.69" である。

2023 年 1 月に、鹿児島大学 1m 望遠鏡に kSIRIUS を取りつけて試験観測を行った。その結果、星像半値幅は $JHKs$ の 3 バンドすべてで ~ 1.2 秒角、限界等級は J :16.3 等、 H :15.3 等、 Ks :14.5 等 (270 秒積分, $S/N = 10$) であり、どちらも設計値に近い結果を得た。

今後は、別に開発してきた可視 2 波長同時撮像カメラとの同時観測も行い、可視光から近赤外線にわたる 5 波長帯同時観測を目指す。また、国産赤外線検出器についても大型化を目指す。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V239a 2m 望遠鏡 Faulkes Telescope South 用の 4 色同時撮像カメラ MuSCAT4 の開発

成田憲保, 福井暁彦, 渡辺紀治, 森万由子, 河合優悟, 林優哉 (東京大学), 川内紀代恵 (立命館大学), 日下部展彦 (ABC), 田村元秀 (東京大学/ABC/国立天文台), ほか MuSCAT チーム, Las Cumbres Observatory スタッフ

Faulkes Telescope South (FTS) はオーストラリアの Siding Spring Observatory (SSO) 内で Las Cumbres Observatory (LCO) が運用する口径 2m の自動望遠鏡である。SSO は南緯 31 度 16 分 23.88 秒、東経 149 度 4 分 15.6 秒、標高 1,116m の地点にある。我々は 2mFTS 望遠鏡用の 4 色同時撮像カメラ MuSCAT4 を開発している。

MuSCAT4 は 3 枚のダイクロイックミラーにより天体の光を 4 つの波長帯に分け、4 台の 2k CCD カメラで独立あるいは同期して観測を行う。4 つの波長帯は SDSS の g (400nm-550nm), r (550nm-700nm), i (700nm-820nm), z (820nm- 920nm) バンドに相当する。CCD カメラはそれぞれ g,r,i,z バンド用に Teledyne Princeton Instruments 社製の PIXIS-2048BXL, PIXIS-2048BL, PIXIS-2048BXL, SOPHIA-2048BR を採用している。これらのカメラの CCD は各バンドで最も高い量子効率を持ち、フリッジの影響が出る波長帯ではフリッジ低減機能を有している。SSO はダストが多い環境であるため、長期的な保守を考慮して CCD カメラの冷却方式は空冷式ではなく水冷式を採用した。CCD のピクセルスケールは 0.27 秒/ピクセルで、観測視野は 9.1 分角である。

MuSCAT4 は LCO の facility instrument として共同利用に供され、少なくとも 2032 年まで運用する覚書が ABC と LCO の間で締結されている。MuSCAT チームには LCO の 2m および 1m 望遠鏡の保証観測時間 (GTO) と、LCO の共同利用観測にプロポーザルを出す権利が提供されている。

本講演では 2023 年 9 月下旬にファーストライトを予定している MuSCAT4 の仕様とサイエンスを紹介する。

[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](#)

V240a 高コントラスト観測法 Coherent Differential Imaging on Speckle Area Nulling (CDI-SAN) の開発 3

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 (株式会社ロジストラボ), 村上 尚史, 浅野 瑞基 (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, Sebastien Vievard, Kyohoon Ahn (NAOJ)

地球型系外惑星を直接観測するためには、惑星の近傍にある明るい恒星の光を 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技術が必要である。恒星光のうち、波面収差が原因で観測面に残留する散乱光 (スペックル) は、ダークホール制御と呼ばれる波面補正技術によって抑制される。しかし、従来のダークホール制御では、その制御よりも速く変動するスペックルを抑制することができない。Coherent Differential Imaging on Speckle Area Nulling (CDI-SAN) 法は、スペックルの変動よりも速く 5 種類の波面制御と観測面の強度測定を同期して繰り返し行い、得られた観測強度の積分値を用いて後処理することにより変動するスペックルを抑制する手法である。数値シミュレーションにより、光子数限界までスペックルを抑制できることが示されている。

我々は、室内実験光学系を構築し、CDI-SAN 法の実証実験を行っている。制御に PC を用いた実験では、ダークホール制御と CDI-SAN 法により 3×10^{-8} のコントラストを達成した (米田他, 2023 年春季年会 V220b)。さらに、CDI-SAN 法の制御を高速に行うために FPGA を導入し、PC での制御と同程度のコントラストが得られている。現在は、コントラストが 10^{-8} レベルに制限されている原因の調査を行っており、 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](#)

V241a 一次元回折限界コロナグラフを用いて 4 次のヌルを広波長帯域に得る方法

伊藤 哲司, 松尾 太郎 (名古屋大学)

恒星コロナグラフは、薄暗い星周構造を、星の点広がり関数 (PSF) 裾野部分の揺らぎの影響を受けずに観察するための光学機械システムである。点光源のみを (理論上) 完全に消すようなシステムの透過光量は、光軸からの離角 (λ/D 単位) の 2 次関数で近似される (2 次のヌル)。これが 4 次関数 (4 次のヌル) にできると、近傍の恒星は 0 でない視直径を持っているため、2 次のヌルより暗い星周構造まで観察できる。一次元回折限界コロナグラフは、天空上の線光源を完全に消し、かつ、回折限界 (理論限界) の内側動作角 (IWA) を持つコロナグラフである。本研究では、ある一次元回折限界コロナグラフのリオストップ以降を改良し、惑星光スループットが改良前の約 1/4 となることを許容することで、広い波長帯域に渡り 4 次のヌルを得ることができる方法論を展開する。この方法のために、我々が最も着目した点は、光軸上に置かれたシングルモードファイバー (SMF) が、光の振幅分布関数のうち、 x_f と y_f (焦点面デカルト座標の 2 成分) のどちらに関しても偶関数である成分のみを透過する点である。また、ティルト収差の最低次の項 (これが消せると 4 次のヌルになる) が 1 成分について奇関数である点、及び焦点面マスク設計波長と実際の波長のずれ、つまり焦点面マスクと実際の PSF のスケールのずれが生み出すリーク振幅関数 (これが消せると広波長帯域化できる)、が 2 成分について偶関数である点にも着目した。検討の結果、得られた有効な構成は、以下である。(1) 最終焦点面の光軸上に SMF を設置する。(2) 変調パターン $A(x_p, y_p) = \text{sgn}(\cos(2\pi x_p)) \text{sgn}(\sin(2\pi y_p))$ の瞳マスクを、リオストップ開口内に設置する ($\text{sgn}(z)$ は符号関数)。ただし、瞳座標 (x_p, y_p) は矩形開口直径 D と光学的に共役な長さ単位で規格化されていて、コロナグラフシステムが消す天空上の線領域は y_p 方向に広がっているとしている。

[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](#)

V242a 高コントラスト観測技術テストベッド FACET および EXIST の開発状況

村上尚史 (北海道大), 米田謙太 (国立天文台), 須藤星路, 角田亮平, 浅野瑞基, 大平泰広 (北海道大), 西川淳 (国立天文台/総研大/Astrobiology Center)

太陽型星のハビタブルゾーンに存在する地球型惑星の直接検出およびキャラクタリゼーションのためには、恒星光を広帯域にわたり 10^{-10} オーダに除去できる高コントラスト観測システムが要求される。高コントラスト観測システムは主に、恒星回折光を除去するコロナグラフ、恒星散乱光 (スペックル) を除去するダークホール制御系、恒星スペックル電場を測定する焦点面波面センシング系などから構成される。我々は、将来のハビタブル惑星探査を目指し、2 つの高コントラスト観測技術テストベッド FACET (FACility for Coronagraphic Elemental Technologies) および EXIST (EXoplanet Imaging System Testbed) を構築している。FACET では、複数の観測技術シミュレータ光路により、さまざまな要素技術の研究開発を推進できる。EXIST では、要素技術を統合したシステムレベルの室内実証試験を目指している。

最近の開発状況としては、広帯域にわたる恒星スペックル電場測定のために提案した波面センシング系について、その実証実験系を FACET に構築した。スペックル電場の振幅測定実験を行った結果、前回の報告 (大平他、2022 年秋季年会 V234a) よりも高い測定性能を得た。これは、FACET の高感度検出器により、アライメント精度が向上したことなどの理由が考えられる。また、8 分割位相マスクコロナグラフの惑星探査性能の向上を目指し、位相マスク境界に結像する惑星が観測できないという弱点を克服するポストプロセス法の検討に着手した。現在は、FACET において本手法の模擬観測実験などをはじめた段階である。本講演では、FACET と EXIST の実験系の現状および、主に FACET における高コントラスト観測技術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](#)

V243a 位相マスクコロナグラフと組み合わせた広帯域ダークホール制御系の実証実験

浅野 瑞基, 村上 尚史 (北海道大), 米田 謙太 (国立天文台), 西川 淳 (国立天文台/総研大/Astrobiology Center)

将来の系外惑星探査では、地球型惑星を直接撮像し、そのスペクトルを分析することで、ハビタビリティの評価やバイオシグネチャーの検出を行うという目標がある。しかしながら、恒星-惑星強度比が大きいことが課題となるため、コロナグラフと波面制御系(ダークホール制御系)から構成される高コントラスト観測装置が必要である。これにより恒星-惑星強度比を克服できると期待されるが、広帯域にわたりダークホール制御を行うことは困難である。

そこで我々は、広帯域(複数バンド同時)のダークホール制御を目指し、新たな光学モジュールを提案している。以前の講演では、コロナグラフとして、特定方向の回折光を低減できる矩形瞳を用いた原理実証実験を報告した(浅野他、2022 年秋季年会 V237a)。しかし、単純な矩形瞳では、回折光を強力に除去することはできない。そこで今回、より本格的なコロナグラフとして、焦点面位相マスクを導入した実証実験を行った。恒星モデルとして、波長 532nm(波長 1)と 675nm(波長 2)のレーザー光源を使用した。8 分割位相マスクコロナグラフに提案手法を導入し、2 波長同時ダークホール制御を行ったところ、波長 1 で 1.5×10^{-7} 、波長 2 で 7.4×10^{-8} のコントラストを得た。また、今回の実験におけるコントラストの制限要因として、実験光学系内の空気の揺らぎによる低次波面収差について考察を行った。異なる次数(分割数)の位相マスクを用いたダークホール制御の比較実験を行ったところ、低次波面収差に強い高次の位相マスクほど、コントラストが向上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](#)

V244a Shack-Hartmann 光学系を用いた大気乱流分布測定-すばるでのオンスカイ試験-2

大金 原¹, 大野 良人², 美濃和 陽典², 秋山 正幸¹, 寺尾 航暉², 大屋 真², 赤澤 拓海¹, 穂満 理生¹ (¹ 東北大学, ² 国立天文台)

大気乱流の高度分布(プロファイル)は、サイト調査だけでなく、補償光学の設計・運用においても重要である。例えば、複数のレーザーガイド星を用いて乱流を高さ方向に分解して補正するレーザートモグラフィ補償光学(LTAO)ではトモグラフィ推定行列の構成にプロファイルが必要である。広視野の補正を実現する地表層補償光学(GLAO)でも望遠鏡ドームを含めた地表付近のプロファイルが性能の予測において重要である。

本研究では、すばる望遠鏡における次世代補償光学に向けたプロファイルの取得を目的として、瞳を 2cm という狭い分割幅でサンプリングした 2 つの Shack-Hartmann 光学系からなる大気乱流プロファイラーの開発を進めてきた。得られたデータに対して、(1) 数分角離れた 2 つの星からの光波面の相関を取ることで高度 400m 以下の低層乱流を 20m 程度の分解能で測定する SLODAR 法および、(2) 単一の星のシンチレーションの空間相関を調べることで高度 1km 以上の高層乱流を数 km 程度の分解能で測定する SH-MASS 法を適用する。

これまでにすばる望遠鏡を用いたオンスカイ試験観測を 2022 年 11 月, 2023 年 3 月, 5 月に実施した。初めの 2 度の結果から、SLODAR で測定した地表層乱流が地上から ~ 30m までの高度に集中したプロファイルを示すこと、シンチレーションの空間相関の時間的変化から乱流の移動速度・方向のプロファイルが得られることが分かった。SH-MASS で測定した自由大気乱流プロファイルおよびシーイングは、CFHT の MASS-DIMM による同時測定に比べて小さな値を示す結果となった。本講演では 2023 年 5 月の結果、今後の計画や課題を含めて報告する。

[スケジュール\(セッション毎\)に戻る](#)

[スケジュール\(全体\)に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V245a ULTIMATE-Subaru: GLAO 波面センサーに用いる sCMOS カメラの性能評価

寺尾航暉, 美濃和陽典, 大野良人, 吉田裕茂, 田中陽子 (国立天文台), 秋山正幸, 大金原 (東北大学)

ULTIMATE-Subaru はすばる望遠鏡への搭載を目指して開発を進めている近赤外線広視野観測装置プロジェクトで、地表層の大気揺らぎを補正することで広視野での星像改善を可能とする地表層補償光学系 (GLAO) と広視野撮像装置 (WFI) の組み合わせによって、視野約 14×14 平方分角にわたって K-band で約 0.2 秒角という高空間分解能観測の実現を目指している。現在、補償光学系は最終設計フェーズに入っており、2024 年度に予定している最終設計レビューに向けた作業が進められている。

GLAO 波面センサー系では、4つのレーザーガイド星と4つの自然ガイドを使って最大 500 Hz での波面測定を行う。波面センサーの検出器には低い読み出しノイズかつレーザー波長 (589 nm) において高い感度を持つ浜松ホトニクス製の sCMOS カメラである ORCA-Fusion BT をそれぞれのガイド星用に 8 台用いる。目標とする補償性能の実現には、波面測定から可変副鏡の変形までの補正ループにおいて発生する遅延時間について波面センサー系内部で $500 \mu\text{s}$ 以下とすることが要求されている (大野他, 2023 年春季年会 V211a)。波面センサー内での遅延の主要因は検出器とその読み出しであるため、実験室において検出器 (sCMOS カメラ) の評価を行った。評価項目として、フレームレート、読み出しノイズ、読み出し時間やデータ転送、制御系内部での処理時間による遅延時間などがある。本講演では sCMOS カメラの性能評価試験で得られた結果とその考察に関して報告する。

[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](#)

V246b 24 分割 6 次位相マスクと TMT 開口対応アポダイザを併用したコロナグラフ

西川 淳 (国立天文台/総研大/アストロバイオロジーセンター), 米田謙太 (国立天文台), 村上尚史, 浅野瑞基 (北大), 田中洋介, 村松大海, 梅津悠暉 (東京農工大)

系外惑星の反射光のスペクトル中にバイオシグナチャを探すことは、今後の大型望遠鏡計画のひとつの目標となっている。反射光での系外惑星の主星に対するコントラストは、 $10^{-8} \sim 10^{-10}$ である。我々は、回折光を除去するコロナグラフに用いる焦点面位相マスクの開発を、セグメント化されたフォトニック結晶半波長板を用いて進めている。一昨年に、3 層化で超広帯域バンド (600-1000nm) に対応し、大口径望遠鏡でも恒星消光比の高い 6 次の 12 および 24 分割マスクを製作している (日本天文学会 2022 年秋季年会、米田ほか V225a、西川ほか V227b)。

微小面積用エリプソメーターが完成し、2つの位相マスク各セグメントの位相差を測定した結果、ほぼ設計値通り $180^\circ \pm 5^\circ$ の範囲に収まり、セグメント間誤差は $\pm 1.5^\circ$ であった。速軸方位角は 0.1° 以下の誤差である。OAP を用いた広帯域のコロナグラフ実験光学系も完成し、コントラスト評価の結果、F/33 では中心波長を外れると $1e-5$ の設計値に届かないことが分かった。F/200 では、650-800nm で $1e-5$ 程度に改善する。原因は位相差の誤差ではなく調査中である。円偏光子補助した場合はバンド内で約 $1e-6$ (波面誤差スペックル限界) になる。

位相マスクは、瞳面アポダイザを併用することで、TMT 主鏡形状 (非円の外周、副鏡・スパイダー・セグメント境界の遮蔽あり) でも、惑星探査領域の回折光を抑制できる。今回、24 分割位相マスクと併用するための TMT 開口対応のアポダイザ (Binary Shaped Pupil) を、分解能 $4k \times 4k$ 、コントラスト $1e-7 @ 1 \sim 10 \lambda/D$ で設計・製作した。コントラスト評価の結果、 $1 \sim 8 \lambda/D$ の範囲内での残留光が円形開口と同程度となり、本併用方式の有効性が示された。本研究は 2021/22 年度の TMT 戦略基礎開発研究経費の助成を受けた。

[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](#)

V247b 昼間の惑星観測に向けたハレアカラ東北大 60cm 望遠鏡に搭載する可視補償光学装置の開発

吉野富士香, 鍵谷将人, 笠羽康正 (東北大・理・地球物理)

東北大学ハワイ・ハレアカラ 60cm 望遠鏡 (T60) に搭載する補償光学 (AO) 装置の開発状況を報告する。T60 は波長分解能 50,000 の可視高分散ファイバー分光器を備え、主に太陽系天体の継続的観測に寄与している。対象の 1 つである水星の外圏大気は、中性ナトリウムの共鳴散乱発光 (589.0nm, 589.6nm) が明るく高分散分光で動態観測が可能で、BepiColombo 水星探査機 (周回: 2025-2028) との協調観測を目指している。太陽風等との相互作用を探るためには、可視域 (～近赤外) において日中で 1" を切る AO が必要である。本システムは、140 素子 MEMS 可変型鏡 (Boston Micromachine 社) と Shack-Hartmann 波面センサ (TIS 社 DMK33UX287, Thorlabs 社 MLA300-7AR) からなり、Windows PC を用いて最大 830Hz で閉ループ制御を行う。波面センサのサブ開口は望遠鏡主鏡上で 6cm で、ハレアカラ山頂の大気揺らぎ (波長 590nm で夜間 16cm、昼間 11cm) を十分カバーする。水星 (視直径 5"-12") に適応させるため、波面センサのサブ開口は視野角 32" とした。2022 年 3 月に光学系をカセグレン焦点に設置し、遠隔制御で AO 制御ソフトの開発評価を行ってきた。波面を Zernike モード毎に制御する手法で、夜間では 4.4 等級までの対象で安定した閉ループ制御を実現し、1.0 等級の恒星で波長 590nm でシーイング 2.9" (FWHM) に対し AO 動作時 1.4" を達成した。昼間では、1.0 等級の恒星を対象にしたとき、シーイング 4.3" に対し AO 動作時 3.2" を達成している。空間分解能 1" を目指すため、より小空間スケールの波面誤差センシングを目的として、2023 年 6 月に波面センサの鏡面分割数を増やす改装を行う。本講演では、改装後を含むこれらの試験観測の結果・評価を報告する。

[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](#)

V248c 平均パワースペクトルに対するモデル当てはめによる連星スペckル差測光

西田 来樹, 桑村 進, 三浦 則明 (北見工大)

多くの連星に対し、その離隔ベクトルおよび等級差を長期にわたって測定し蓄積されたデータは、恒星の質量光度関係の精度を向上させる上で重要である。可視域における連星パラメータ測定では、連星の離隔が地球大気揺らぎによるシーイング限界より小さい場合、スペckル干渉法が使用される。この方法では、大気揺らぎが凍結する数 ms から数十 ms の短時間露光で撮影された多数枚のスペckル像の平均パワースペckトル画像を求める。連星の離隔ベクトルに関しては、この画像から回折限界で観測した時とほぼ同程度の精度で測定が可能である。一方、等級差測定では、検出器雑音によるバイアスと大気揺らぎによる伝達関数を補正した上でフリッジ可視度を求める。しかし、これらの補正処理を正確に行うのは通常困難であり、不適切な補正処理による測光精度の低下は避けられない。

連星のスペckル差測光において、上記のような補正処理を避け、平均パワースペckトル画像から直接等級差を推定する手法が求められる。このような手法の 1 つとして、我々は、伝達関数の等値線に沿った平均パワースペckトル値の線形当てはめによって等級差を推定する手法を試み、昨年度の秋季天文学会でその結果を発表した。しかし、その後の研究において、等級差推定が離隔ベクトルの測定誤差に影響されやすいことが判明した。そこで今回、離隔ベクトルの誤差を考慮に入れた平均パワースペckトルに対する非線形モデルの構築を行い、非線形モデル当てはめにより等級差を推定することを試みた。今回の講演では、本手法を観測データに対して適用・評価した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](#)

V249c 結像および検出過程モデルに基づくスペックル像再生法の開発

菅尾竜司, 桑村進, 三浦則明 (北見工大)

地球上から天体望遠鏡を使い天体観測を行う場合、大気ゆらぎによって天体像は劣化してしまう。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ックル像再生において、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。スペックル像再生法では、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。本研究では、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検討を行ってきた。しかし、アルゴリズムの収束性に関して多くの課題が残されていた。

本研究では、最適化アルゴリズムを用いてスペックルデータ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。これまで我々は、最適化アルゴリズムとして共役勾配法を用いた物体像再生をシミュレーションデータに対して行い、その結果を 2020 年度秋季年会において発表した。その後、アルゴリズムの効率化を目指し、最適化アルゴリズムとして、記憶制限準ニュートン法を導入した。また、整約カイ二乗による反復停止条件を導入することで、収束性が改善されることをシミュレーション実験で確認した。本講演では、その結果を報告する予定である。また、観測データに本方法を適用する場合、結像過程モデルに関して現実と合うように修正する必要がある。本講演では、修正したモデルに基づく像再生アルゴリズムを観測データに適用した結果についても報告する予定である。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V250c TMT 第一期観測装置 IRIS の開発 (冷却下における高反射低波面誤差鏡の実現にむけて)

鈴木竜二, 浦口史寛, 池之上文吾, 田中陽子, 東谷千比呂, 服部雅之, 早野 裕 (国立天文台)

IRIS は TMT 完成時に観測に供される第一期観測装置と呼ばれる装置の一つで、補償光学系と組み合わせることと近赤外線領域 (0.84 - 2.4 μm) において回折限界の撮像と面分光観測を提供する。IRIS の開発は日本、アメリカ、カナダの研究者、技術者からなる国際チームで編成されており、各国の研究機関が IRIS を構成するサブシステムの開発を担当している。日本は国立天文台先端技術センターを中心として、撮像部の開発を行ってきた。IRIS は 2021 年にサブシステムの最終設計審査を行い、撮像部は 6 月に最終審査を通過した。2024 年に予定されているシステムレベルでの最終審査に合格すると製造が開始される。IRIS に課された挑戦的な技術課題の一つに、液体窒素温度において 40 nm rms の波面誤差を達成する要求がある。IRIS の光学系は高い Throughput を実現するために全反射系 (軸外し非球面) で構成されており、鏡の研磨誤差と冷却による鏡の形状変化が波面誤差の大きな要因になっている。我々はこれまで、常温における軸外し非球面の高精度測定、干渉計を用いた平面／凹面基板の冷却による変形測定及び測定結果を再現する有限要素モデルの構築を行ってきた。また、反射コーティングとして誘電体多層膜を用い、誘電体多層膜に起因する波面誤差の測定も行った。本ポスターでは、IRIS の現状と冷却下における高反射低波面誤差鏡の実現にむけた我々の取り組みと課題を紹介する。

[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](#)

V251a TMT 計画 – 進捗報告

白田知史, 青木和光, 伊王野大介, 倉崎高明, 嘉数悠子, 山下卓也, 杉本正宏, 鈴木竜二, 藤縄俊之, 能丸淳一, 関口和寛, 吉田道利, 常田佐久 他 (国立天文台), H. Yang, L. Simard, E. Reddy, T. Soifer, S. Xue, B. Kirshner, F. Liu 他 (TMT 国際天文台 (TIO))

TMT は日本が国際協力で実現を目指している次世代の超大型 30m 光学赤外線望遠鏡である。TIO は、2019 年以後マウナケアでの建設工事を進められていないが、状況の改善に向けた活動を進めている。これまで TMT に批判的だった人たちを含め 400 人以上の地元関係者との直接対話を進めると共に、嘉数特任専門員を中心に、地元住民のニーズに沿った教育支援や職業訓練プログラム等の活動をプランとしてまとめ、米国国立科学財団 (NSF) への提案書にまとめられ、NSF から高い関心があるだけでなく、ハワイ先住民からも感謝の声が聞こえる。このように TMT に対するハワイでの信頼関係の醸成が進んでいる。また、これまで先住民の声が反映されないと言う批判があったマウナケア管理については、ハワイ州法によって新たな管理組織が正式に発足し、昨年 11 月以降、毎月会合が開催され、先住民の要望や天文学推進に関する意見を集約する仕組みづくり等が議論されている。他、課題であった既存望遠鏡の削減に向けた撤去作業も進められている。TMT の建設・長期運用には、先住民に信頼されるマウナケア管理が必要であり、それに向けた大きな一歩となる。今年 3 月に開催された NSF による US-ELT プログラムの基本設計審査 (PDR) では、TMT は十分最終設計段階に進む計画であるという結論で完了した。TIO および参加機関における活動は財政的に抑制している状況ではあるが、全体計画の工程上必須の作業が各国で進められており、国立天文台でも日本担当部分が全体計画の遅延を引き起こさないために、製造再開後に必須の準備作業や設計・開発作業を進めている。本講演では TMT 計画の現状と今後の展望について報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V252a TMT 広視野可視撮像分光器 WFOS 用面分光ユニットの概念検討 3

尾崎忍夫、田中陽子、池之上文吾、都築俊宏、服部堯 (国立天文台)、石垣剛、佐々木凜 (岩手大学)

面分光とは広がった天体の各場所のスペクトルを一度の露出で得ることができる観測手法のことであり、天候変動の影響を受けない均質なデータセットが得られるため、銀河や星雲の詳細研究に最適な手法である。また望遠鏡の大型化に伴い、貴重な望遠鏡時間を有効に利用できる時間効率の良さも注目されている。これらの利点から面分光は可視赤外波長域の主要な観測手法の一つとなってきた。次世代超大型望遠鏡 Thirty Meter Telescope (TMT) の第一期観測装置である広視野可視撮像分光器 Wide Field Optical Spectrometer (WFOS) においても面分光機能の必要性が認められているものの、開発コストの面から必須機能には入っていない。そこで我々は WFOS のアップグレードとして、WFOS に面分光機能を追加する面分光ユニット (Integral Field Unit; IFU) の開発を目指している。WFOS IFU はイメージスライサータイプで、スライス幅の異なる 4 つのスライサーを搭載予定である。最大視野は $20'' \times 27''$ であり、計画中の超巨大望遠鏡に搭載される面分光装置の中では群を抜く広い視野となる。また最小スライス幅は $0.25''$ で、スリットロスなく波長分解能 $R \sim 136,000$ を達成できる。現在、光学系・機械系の概念設計を行っている。それと並行して、スライサー製造手法・IFU 調整手法・フラット処理誤差補正手法・ $R \sim 14,000$ 程度での分光反射率測定手法などの要素技術開発も進めている。これら要素技術の実証試験のために、すばる望遠鏡の可視光撮像分光装置 FOCAS に組込む IFU を再度製作する。本講演ではプロジェクト概要を紹介した後、光学系・機械系の概念設計について説明し、これら要素技術開発や進捗状況や技術実証用 IFU の検討状況についても触れる。

[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](#)

V253a 東京大学アタカマ天文台 TAO 6.5m 望遠鏡計画 進捗報告 2023 秋

宮田隆志 (東京大学), 吉井謙 (東京大学, アリゾナ大学), 土居守, 河野孝太郎, 峰崎岳夫, 酒向重行, 江草美実, 小西真広, 上塚貴史, 高橋英則, 松林和也, 加藤夏子, 沼田瑞樹, 鯨島寛明, 山岸光義, 今井正亮, 小山舜平, 堀内貴史, 平尾優樹, 櫛引洸佑 (東京大学), 本原顕太郎 (国立天文台, 東京大学)

東京大学アタカマ天文台 (TAO) 計画は、南米チリ・アタカマ高地のチャナントール山山頂 (標高 5640m) に口径 6.5m の赤外線望遠鏡を設置し、宇宙論から太陽系天体まで幅広いサイエンスを行う計画である。

TAO の山頂工事は 2019 年度より開始されている。これまでチリ国内暴動 (2019 年)、新型コロナウイルス蔓延とそれに伴うチリ国境封鎖 (2020-21 年) など様々な困難に見舞われたが、チリ法令を遵守し山頂での安全を十分確保しながら工事を進めてきた。日本企業による工事本格化しており、2023 年 6 月の現時点で山頂運用棟は完成し、エンクロージャーも上部鉄骨組み立てまで進んでいる。機械設備や電気設備の工事も進んでおり、発電機や主要部の配管、配線などはおおむね完成している。

望遠鏡等の準備も進めている。米国アリゾナで保管を続けていた鏡・能動光学系は 2022 年 10 月にツーソンを出発、2022 年 12 月末にチリ・カラマに到着済みである。これで大型部品はすべてチリに到着済みとなった。観測装置のうち MIMIZUKU, NICE は国内で最終調整・輸送準備を進行中である。SWIMS はすばる望遠鏡での PI 装置運用を終了し、日本に輸送を実施中である。これらは現地体制が整い次第チリへと輸送する。

科学観測に向けた準備も進めている。国内枠については外部委員会を含んだ科学諮問委員会で議論が行われ、受付や審査の方法について決定した。現時点では S24B 期内に国内枠での科学観測開始の予定である。

本講演ではこの間の TAO 計画の進捗状況および国内枠を中心とした科学運用方針について詳述する

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V254a TAO/MIMIZUKU 用冷却チョッパーの開発：搭載機の製作と冷却動作試験

木下凌太 (東北大学), 上塚貴史, 宮田隆志 (東京大学), 軸屋一郎, 近藤智也 (金沢大学), 本田充彦 (岡山理科大学), 坂野井健, 鍵谷将人 (東北大学), 酒向重行, 橘健吾, 成瀬日月, 左近樹, 妹尾梨子 (東京大学)

地上からの中間赤外線波長域の観測では、観測視野を高速で切り替え、各視野で得たデータを減算することで高精度に背景光を除去する、チョッピングと呼ばれる観測手法が必要である。東京大学アタカマ天文台 (TAO) の 6.5m 望遠鏡用中間赤外線観測装置 MIMIZUKU では温度約 20 K の冷却光学系の瞳位置に鏡を置き、その角度を変えることで視野を切り替える冷却チョッパー機構によってチョッピングを行う。これは、40 mm 四方の小さな鏡をばねの復元力と磁力のつり合いで制御し、内周・外周と呼ぶ二軸で回転することができる仕組みとなっている。動作要求として、天球上で 15 秒角以上の振幅、0.02 秒角以内の安定性 (鏡の傾斜角でそれぞれ 0.42 度、 6×10^{-4} 度) で、静定時間を 50 ミリ秒以内、2 Hz 以上の周波数で鏡を矩形動作させることが求められている。

今回我々は、過去の試験機とは異なり実際に観測に使用する金コートミラーを用い、MIMIZUKU 光学系に搭載するチョッパーユニットの搭載機を組み立てた。鏡の設置誤差を確認すべく、ユニット各部の構造を三次元測定等で評価し、鏡の設置精度が光軸方向位置で 0.1 mm、設置角度で 0.01 度以内と十分な精度で設置できることを確認した。また、チョッパーを MIMIZUKU 内に設置し、真空低温環境下での動作試験を行った。内周は、鏡の傾斜角で振幅 0.58 度、5 Hz で駆動した際に、安定性が 3.3×10^{-4} 度、静定時間が 31.5 ミリ秒と要求を満たしたが、外周は、鏡の振幅が単体試験時より大きくなる (最大 2 倍) という不調が生じた。この原因について調査したところ、ばねを固定するねじの緩みによるものと分かった。そのため、緩み止めを塗布するという対策を施した上で、現在 7 月中の再試験に向けて準備中である。本講演ではそれぞれの実験結果について詳述する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V255a SuMIRe-PFS[38]: プロジェクト概要と装置開発進捗状況まとめ 2023 年秋季

田村直之^{1,2}, 森谷友由希^{1,2}, 矢部清人^{1,2}, 村山齊², 高田昌広², 石塚由紀¹, 鎌田有紀子¹, Julien Rousselle¹, 越田進太郎¹, 田中賢幸¹, 石垣美歩¹, 他 PFS A プロジェクト, PFS コラボレーション^(1 国立天文台, 2 東京大学カブリ IPMU)

PFS プロジェクトでは昨年 9 月にエンジニアリングファーストライトを達成して以降も引き続き試験観測による装置の駆動実証試験や性能調査を行っている。観測効率を最大化する上で重要な性能の一つであるファイバー配置精度は標準偏差 $\sim 15\mu$ とかなり追いこめてきたが、依然視野回転・並進といった系統誤差が残っており、引き続き原因究明と安定化を目指す。オートガイドについては三菱同席の上での機能試験が全て完了しすばるの標準的な方式で視野導入や追尾ができるようになってきている。昨年 11 月に引き続き今年 4 月の観測でもいくつかの領域で多数の星、銀河、また意図的にスカイの領域にファイバーを配置した上で 450 秒から 900 秒の積分を繰り返す試験も行った。これらのデータ及び今回特に集中的に取得した較正用データを解析することにより装置の特性や性能の理解を進め解析パイプラインの開発整備も急ピッチで進めている。装置組み上げでは今年の 3 月末から 4 月初めにかけて Johns Hopkins 大学から輸送された近赤外カメラ 1 台を分光器 (SM1) に敷設し、4 月の観測で運用を開始しデータを撮り始めた。また 5/30-6/1 には 4 本目 (最後) の望遠鏡上ファイバーケーブルの敷設を無事完了した。残る分光器 2 台の開発実装を鋭意進めていく。並行して、プロポーザルの準備・提出から観測スケジューリング、キュー観測実施のために必要なルールの整備、ソフトウェアやデータベースの開発を進めている。一連のプロセスの実証実験を行うべくまず end to end simulation を進めており、今後さらに試験観測でも確認を行う。本講演では最近の進捗と現状を報告し、今後の見込みについてコメントする予定である。

[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](#)

V256a SuMIRe-PFS[39]: CableB 敷設と光学的性能試験に関する報告

越田進太郎¹, 森谷友由希^{1,2}, 田村直之^{1,2}, Julien Rousselle¹, Matthew Wung¹, 沖田博文¹, Ligia Souza de Oliveira³, Décio Ferreira³, Graham Murray⁴ 他 PFS A プロジェクト, PFS コラボレーション^(1 国立天文台, 2 東京大学, 3 Laboratório Nacional de Astrofísica, 4 Durham University)

国立天文台ハワイ観測所の次世代超広視野多天体分光器 (Prime Focus Spectrograph, PFS) は約 2400 本の光ファイバーをすばる望遠鏡主焦点面に配置し、世界最高水準の高観測効率を実現する。CableB は PFS を構成するモジュールのひとつで、長さ約 53m の光ファイバーバンドルであり、焦点面装置で受信された天体の信号を分光器まで伝達する。全てのファイバーは約 600 本ずつ CableB #1, 2, 3, 4 の 4 本のバンドルに束ねられている。

PFS コラボレーションとハワイ観測所は 2021 年から CableB のすばる望遠鏡への敷設を進め、2023 年 6 月にその全てを完了した。それぞれの CableB の敷設前後には光学的性能評価を行った。単一 LED 光源を用いた均質性試験では、各ファイバーを透過する光量が全て平均から上下 10% の範囲内に分布した。また透過率試験では、多くのファイバーが波長 500nm において 0.7 程の透過率を示した。いずれも出荷前と同等の結果である。さらに、ファイバーにかかる力学的ストレスの指標となる Focal Ratio Degradation (FRD) を ring test (e.g. Allington-Smith et al. 2013) により計測した。いずれの CableB においても FRD は 17–35 mRad となり、望遠鏡への敷設による過度なストレスがかかっていないことを確認できた。また、FRD は敷設後最大数か月間のモニターによって安定性を評価した。結果として、望遠鏡の姿勢に依存する変化はほぼ見られず、一晩で 5–10 度程のドーム内気温変化に依存する最大 2.5 mRad 程の変化が観測された。これらの変化は観測運用上問題とならない範囲に収まっている。以上の試験結果から、PFS の CableB 敷設は成功裡に完了したと結論できる。

[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](#)

V257a Las Campanas 天文台における WINERED 近赤外線高分散分光器の運用開始

松永典之 (東京大学), 大坪翔悟, 猿楽祐樹, 竹内智美, 加藤晴貴, 河北秀世 (京都産業大学), 池田優二 (京都産業大学, Photocoding), 濱野哲史, 谷口大輔 (国立天文台)

WINERED は、東京大学および京都産業大学で開発された超高感度の近赤外線高分散分光器である。 z , Y , J バンド ($0.91\text{--}1.35\ \mu\text{m}$) の波長域を波長分解能 $\lambda/\Delta\lambda=28,000$ または $70,000$ で分光し、高分散分光器としては他に追従を許さない高いスループット (>0.5) が最大の特長である。2023 年春季年会で報告したとおり、我々は米 Carnegie 天文台と共同で WINERED をチリ Las Campanas 天文台にある Magellan 望遠鏡 (口径 6.5m) に設置する準備を進め、2022 年 9 月に同望遠鏡における初観測に成功した (V228a, 竹内他)。ただし、そのときにアロケートされた 5 夜のほとんどの時間はエンジニアリング作業を行い、科学的観測はほとんど行えなかった。

2023 年前期、Carnegie 天文台を含む米国にある 4 つの研究機関の研究者のために、Magellan 望遠鏡に WINERED を設置して行う 11 日間 (6 月 2 日から 12 日) の観測がアロケートされた。11 夜の中には、我々自身が観測を行う 2 夜が含まれている。これは、Magellan 望遠鏡における WINERED の運用が定常的な状態に移行したことを意味し、2023 年後期以降も半年間あたりの夜数をさらに増やしながら観測を実施・サポートしていく見込みである。今回行った 2023 年前期の 11 夜の観測では、大きな装置トラブルもなく、毎夜それぞれの観測者の操作によってデータを取得し続けることができた。我々の行った観測の中では、非恒星時追尾による惑星、小惑星、彗星の観測にも成功した。また、今回の観測ランに合わせて、米国からのリモート観測や解析パイプラインの公開も開始し、すでに米国ユーザによる観測や解析に利用されている。本講演では、Las Campanas 天文台における WINERED 運用の様子や、今回取得したデータで確認された Magellan 望遠鏡+WINERED 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](#)

V258a CIB 観測ロケット実験 CIBER-2: 第 2 回打上げ実験報告

松浦周二, 橋本遼, 松見知香, 河野有哉, 中川智矢, 中畑秀太 (関学大), 佐野圭, 瀧本幸司 (九工大), 津村耕司 (東京都市大), 高橋葵 (ABC), 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。我々は 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 CIBER-2 (Cosmic Infrared Background Experiment 2) の計画を進めている。CIBER-2 では、液体窒素冷却のアルミ合金製口径 $28.5\ \text{cm}$ 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) により、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 ($\lambda/\delta\lambda\sim 15$) を行い、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。

2021 年 6 月に実施した第 1 回実験ではロケット筐体からの熱放射の混入やミラーコートの劣化などの技術的な問題が認識され、改良したフィルターやコートの採用によりそれらを解決した (2023 年春季年会 松浦ほか)。改修した観測装置は、単体での性能評価試験を経て、NASA Wallops Flight Facility でロケットシステムと組合せたテレメトリー試験や振動試験に供された結果、第 2 回実験の実施が許可された。その後、White Sands Missile Range へ実験拠点を移し、装置較正や打上げシーケンス試験を行なったのち、2023 年 4 月 16 日 23 時 (米国山岳時間) に打上げが実施された。しかし打上げ直後に飛行経路の異常があり、観測を行うことなく観測装置がロケットモーターから分離されパラシュート着陸した。講演では、実験後に回収した観測装置の状況や次回の実験予定も含め経過を報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V259a 大型低温重力波望遠鏡 KAGRA の現状

内山 隆 on behalf of the KAGRA collaboration

大型低温重力波望遠鏡 KAGRA は岐阜県飛騨市にある神岡鉱山の地下に建設された基線長 3 km のレーザー干渉計型重力波検出器である。2010 年のプロジェクト開始とともに、トンネルの掘削を皮切りにレーザー干渉計の構築を進めてきた。そして 2019 年のレーザー干渉計の完成を受けて、すでに重力波の検出を達成していた LIGO、VIRGO による国際重力波観測網の一員に加わった。KAGRA による初の国際共同観測は 2020 年 4 月に GEO600 とともに 2 週間行われた。この観測を O3GK と呼んでいる。

O3GK の終了後、KAGRA はさらなる感度向上のための改修作業およびアップグレード作業を行ない、2023 年 5 月 25 日 0 時より O4 観測運転を LIGO とともに開始している。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る。一方 KAGRA は 4 週間後の 6 月 21 日まで観測を継続したのち、それを一旦終了し、感度向上作業を再開する。そして O4 観測期間中に再度観測に復帰する予定である。この感度向上作業においては、KAGRA の技術的特徴である鏡の冷却を実施する予定である。

本講演では、KAGRA が参加した O4 観測の概要とその後に進められる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](#)

V260a 次期観測にむけた重力波望遠鏡 KAGRA における迷光対策

阿久津智忠, 平田直篤, 佐藤直久, 鷺見貴生 (国立天文台), 牛場崇文, 山本尚弘, 横澤孝章 (東大), KAGRA collaboration

大型低温重力波望遠鏡 KAGRA は、岐阜県神岡の地下にある基線長 3 km のレーザー干渉計である。KAGRA は 2023 年春から米国 LIGO らと同時に国際観測運転を開始した。なお、LVK コラボレーションとしてはそのまま観測シフトに貢献する一方、検出器本体としての KAGRA は冒頭約 1 ヶ月間の共同観測運転の後、さらなる感度向上のために観測運転を中断してコミッショニング作業を再開し、2024 年の春を目処に再合流の予定である。今回の観測の前に行っていたコミッショニング作業の中で、あるいは観測中のデータから、もっとも感度のよい中間周波数帯域におけるいくつかのノイズ構造が迷光に由来する可能性が示されている。このような迷光雑音の混入経路特定は高難度であり、すでに重力波観測に成功した欧米の干渉計においてもそれぞれ最後まで実用上の感度を制限してきた。これらの知見と 2020 年の観測時に得られた知見とを合わせて、今回の中断期間中にさらなる迷光対策を行い、より高い感度を目指す予定である。今回の講演では、これら一連の迷光対策について報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V301a X線分光撮像衛星 XRISM の現状

田代 信, 寺田幸功 (埼玉大, ISAS/JAXA), 前島弘則, 戸田謙一, 山口弘悦, 竹井 洋, 富田 洋, 藤本龍一, 辻本匡弘, 渡辺伸 (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, ISAS/JAXA), 森 浩二 (宮崎大, ISAS/JAXA), 中嶋 大 (関東学院大, ISAS/JAXA), ほか XRISM team

X線分光撮像衛星 XRISM チームは、「ひとみ」が扉を開いた、高温プラズマの超高分解能分光観測による宇宙の重元素生成と循環、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的研究を進展させるべく、2018 年のプロジェクト発足以来、開発をすすめてきた。XRISM は、2 台の高効率 X 線反射鏡 (XMA) をそなえた X 線マイクロカロリメータ (Resolve) と X 線 CCD (Xtend) によって、それぞれ超高分解能 X 線分光と、広視野 X 線撮像を行う。これまで個別に報告してきたように、二つの搭載観測の開発・製造・試験が進み、2022 年からは JAXA 筑波宇宙センターにおいてプロトフライト試験を実施、衛星全体として所定の機能・性能を確認した。その後、開発完了審査を経て、2023 年 3 月には、種子島宇宙センターに衛星を移送し、射場での準備を進めている。また並行して、衛星の運用を行う宇宙科学研究所 SSOC においても、打ち上げ後の運用準備と訓練を継続的に行うとともに、運用からデータ処理まで含めたシステムの準備を計画的に構築してきた。本講演では XRISM 開発の経緯と現状、軌道上での初期観測計画、その後の公募観測の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](#)

V302a X線分光撮像衛星 XRISM の科学運用準備の現状 (3)

林克洋 (ISAS/JAXA), 田代信, 寺田幸功 (埼玉大, ISAS/JAXA), 高橋弘充 (広大), 信川正順 (奈良教育大), 水野恒史 (広大), 宇野伸一郎 (日本福祉大), 久保田あや (芝浦工大), 中澤知洋 (名大), 渡辺伸, 飯塚亮, 佐藤理江, 星野晶夫, 吉田鉄生, 小川翔司, 金丸善朗 (ISAS/JAXA), Chris Baluta (NASA/GSFC), 海老沢研 (ISAS/JAXA), 江口智士 (熊本学園大), 小高裕和 (阪大), 勝田哲 (埼玉大), 北口貴雄 (理研), 新居田祐基 (愛大), 太田直美 (奈良女大), 阪本菜月 (広大), 志達めぐみ (愛大), 塩入匠 (埼玉大), 白木天音 (奈良女大), 谷本敦 (鹿大), 寺島雄一 (愛大), 坪井陽子 (中央大), 内田和海 (ISAS/JAXA), 内田悠介 (東理大), 内山秀樹 (静大), 山田智史 (理研), 山内茂雄 (奈良女大), 米山友景 (中央大)

X線分光撮像衛星 (XRISM) プロジェクトは、2023 年度の衛星打ち上げに向けて開発・運用準備を進めている。我々科学運用チームは、バス系やミッション機器の開発・運用チームとは独立に組織され、観測天体の公募や観測スケジュールリング、観測後のデータ処理、検出器較正データの最適化など、XRISM が科学成果を最大限に引き出すための科学運用に向けて、周到的準備を行っている。現在は打ち上げ前の最終調整段階にあり、打ち上げ初期におけるミッション機器立ち上げ時の運用や観測データの即時解析実施のための計画と訓練、定常運用期における観測計画プロセスの検証、地上試験データを用いた即時・高次データ処理およびアーカイブ処理のためのシステム運用試験、ヘルプデスクの立ち上げとその活動計画の樹立、さらに今後の公募観測に向けた観測提案システムの検証試験などを行なっている。これらの活動は、衛星運用および検出器開発チーム、NASA/GSFC や ESAC の地上ソフトウェアチームやユーザーサポートメンバーと連携して進めている。本講演では、打ち上げ直前の科学運用準備のステータスをまとめ、今後の軌道上での XRISM 科学運用のプランを報告する。

[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](#)

V303a 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

米山友景, 坪井陽子, 根本登, 赤須孔一郎 (中央大学), Marc Audard (University of Geneva), Ehud Behar (Technion), 幸村孝由 (東京理科大学), 前田良知 (ISAS/JAXA), 水本岬希 (福岡教育大学), 信川正順 (奈良教育大学), Katja Pottschmidt (GSFC/NASA), 志達めぐみ, 寺島雄一 (愛媛大学), 寺田幸功 (埼玉大学), XRISM SOC

2023 年度に打ち上げ予定の X 線分光撮像衛星 (X-Ray Imaging and Spectroscopy Mission; XRISM) は、二つの X 線望遠鏡システムを搭載する。一方はマイクロカロリメータを焦点面検出器とする Resolve で、従来より一桁以上高いエネルギー分解能をもつ分光観測装置である。他方は CCD を検出器とする Xtend である。Xtend は 38 分角平方の広視野をもち、0.4 - 13 keV の帯域で分光撮像を行う。Xtend に期待される主な役割は大きく広がった天体の観測や Resolve に視野外から混入する天体の評価、バックグラウンドの評価である。我々は、Xtend の大きな視野を更に生かすべく、観測中に視野内に現れた突発天体を探査する「Xtend Transient Search (XTS)」の準備を進めている。XTS では、観測における目標天体「以外」の突発現象を探索する。具体的には、Xtend の観測データのうち、Resolve 視野外の領域に対して探査を行う。その結果、既知の天体の光度変動ないし未知の突発天体が発見されたならば、The Astronomer's Telegram (ATel) を通じて全世界に速報する。この探査は最低 1 日に 1 回行う予定である。

現在は、中央大学において XTS 用のツール開発を進めている。このツールは最終的に宇宙研における XRISM の科学運用システムに組み込まれる予定である。本講演では、XTS の枠組みと運用方法、そして探査の具体的なシステムについて発表するとともに、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](#)

V304a X線分光撮像衛星 XRISM 搭載 X線望遠鏡 (XMA) 開発の現状 (8)

林 多佳由, Takashi Okajima, 田村 啓輔, Rozenn Boissay-Malaquin, Danielle N. Gurgew, Larry Olsen, Richard Koenecke, Leor Bleier, Richard Kelley, Steve Kenyon, Gary Sneiderman, Meng Chiao (NASA's GSFC), 佐藤寿紀 (明治大), 森 英之, 石田 学, 前田良知, 飯塚亮, 藤本龍一 (ISAS/JAXA), 武尾舞 (埼玉大), 宮本明日香, 松本岳人, 石崎欣尚 (都立大), 森浩二 (宮崎大)

我々は X 線分光撮像衛星 XRISM の 2 つの観測システムである、Resolve と Xtend の光学系である XMA (X-ray Mirror Assembly) を開発している。2021 年に NASA の Goddard Space Flight Center (GSFC) で完成後、2022 年 5 月まで同センターの 100m X 線ビームラインで地上較正試験を実施した。現在は得られたデータを元に、応答関数の開発を進めている。10×10mm pencil beam を XMA 全体にわたって照射して得た、X 線入射位置に対する像の広がりや位置のずれ、集光量の分布から、各位置での反射鏡の傾きや平行移動量、鏡面方線分布を算出し、応答関数の大元になる Calibration Data Base (CalDB) に取り込んだ。また、XMA を構成する、4 つの 1/4 円筒 housing (QT) 毎の光軸や結像位置のばらつきも測定データから算出、導入した。反射鏡単体の X 線反射率測定からは、金反射膜の密度や表面粗さ、散乱成分の強度を見積り、取り込んだ。得られた CalDB を元にした ray-tracing simulation と実測の差は、1.5 - 17.5 keV の on-axis 有効面積で 6%、off-axis 有効面積では off-axis 角が 3 分角以上で simulation の方が大きくなり、20 分角までで最大で 15% ほどになった。また、on-axis の point spread function の simulation と実測の差は 8 分角以内で 30% 程度となった。XMA は 2022 秋に筑波宇宙センターで衛星に搭載され、光軸の向きは Resolve-XMA で 15 秒角、Xtend-XMA では 3 秒角の精度でアライメントすることができた。本講演では CalDB の開発状況と衛星搭載の詳細を報告する。

[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](#)

V305a X線分光撮像衛星 XRISM 搭載 Resolve の開発の現状 XI

K. Sato¹, Y. Ishisaki^{2,3}, R. L. Kelley⁴, H. Awaki⁵, J. C. Balleza⁴, K. R. Barnstable⁴, T. G. Bialas⁴, R. Boissay-Malaquin⁴, G. V. Brown⁶, E. R. Canavan⁴, R. S. Cumbee⁴, T. M. Carnahan⁴, M. P. Chiao⁴, B. J. Comber⁴, E. Costantini⁷, J.-W. den Herder⁷, J. Dercksen⁷, C. de Vries⁷, M. J. DiPirro⁴, M. Eckart⁶, Y. Ezoe², C. Ferrigno⁸, R. Fujimoto³, N. Gorter⁷, S. M. Graham⁴, M. Grim⁷, L. S. Hartz⁴, R. Hayakawa⁹, T. Hayashi⁴, N. Hell⁶, A. Hoshino³, Y. Ichinohe¹⁰, D. Ishi³, M. Ishida³, K. Ishikawa², B. L. James⁴, Y. Kanemaru³, S. J. Kenyon⁴, C. A. Kilbourne⁴, M. O. Kimball⁴, S. Kitamoto¹¹, M. Leutenegger⁴, Y. Maeda³, D. McCammon¹², B. J. McLaughlin⁴, J. J. Miko⁴, E. van der Meer⁷, M. Mizumoto¹³, T. Okajima⁴, A. Okamoto³, S. Paltani⁸, F. S. Porter⁴, L. S. Reichenthal⁴, T. Sato¹⁴, M. Sawada¹¹, K. Shinozaki³, R. Shipman⁴, P. J. Shirron⁴, G. A. Sneiderman⁴, Y. Soong⁴, R. Szymkiewicz⁴, A. E. Szymkowiak¹⁵, Y. Takei³, M. Takeo¹, T. Tamba³, K. Tamura⁴, M. Tsujimoto³, Y. Uchida¹⁶, S. Wasserzug⁴, M. C. Witthoeft⁴, R. Wolf⁷, S. Yamada¹¹, S. Yasuda³ (埼玉大¹, 都立大², JAXA³, NASA⁴, 愛媛大⁵, LLNL⁶, SRON⁷, U-Geneva⁸, QUP/KEK⁹, 理研¹⁰, 立教大¹¹, U-Wisconsin¹², 福岡教育大¹³, 明治大¹⁴, Yale-U¹⁵, 東京理科大¹⁶)

X線分光撮像衛星 XRISM(X-Ray Imaging and Spectroscopy Mission) 搭載 Resolve は、日米欧で開発を進めている X 線マイクロカロリメータ検出器である。種子島宇宙センターに衛星を輸送した後の性能試験でも、Resolve はエネルギー分光性能要求 (7 eV@6 keV) を十分に満たし、ASTRO-H(ひとみ) 衛星搭載 SXS と同等の性能を確認している。本講演では、輸送後の性能試験及び、打ち上げ前の一連の作業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 Resolve の地上較正と性能評価

M. Mizumoto^A, R. Fujimoto^B, Y. Ishisaki^{B,C}, Y. Kanemaru^B, S. Kitamoto^D, Y. Maeda^B, K. Sato^E, M. Sawada^D, Y. Takei^B, T. Tamba^B, M. Tsujimoto^B, Y. Uchida^F, S. Yamada^D, R. Imamura^G, M. Kashiwazaki^{B,H}, M. Kurihara^{B,H}, T. Midooka^{B,H}, Y. Mochizuki^{B,H}, T. Omama^{B,I} on behalf of the XRISM/Resolve team (福岡教育大^A, JAXA^B, 都立大^C, 立教大^D, 埼玉大^E, 東京理科大^F, 愛媛大^G, 東京大^H, 総研大^I)

X線分光撮像衛星 XRISM に搭載される X 線マイクロカロリメータ Resolve においては、分光性能 (エネルギー決定精度、エネルギー分解能)、有効面積、スループット、時刻精度などの点で軌道上での要求性能が設定されている。我々はこれらの性能要求を満たすため、さらにはより良い性能を引き出すために、種々の地上試験を実行してそのデータを解析してきた。本講演ではこれまでにやってきた地上試験とその解析結果を説明する。具体的には、ゲインスケールの検証、微小擾乱干渉の評価、磁気トルカ干渉の評価、(較正線源 MXS を用いた) 軌道上ゲインドリフト補正手法の確立 (ここまで分光性能)、ゲートバルブの透過率測定 (有効面積)、高カウントレート効果の評価 (スループット)、絶対時刻評価、相対時刻評価 (ここまで時刻精度)、異常検知の手法開発 (その他) などの項目について、これまで得られた知見を解説する。さらに、打ち上げ後のコミッショニング期間においては、要求性能が軌道上で達成されているかを確認するための試験観測が予定されている。この観測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](#)

V307a X線分光撮像衛星 XRISM の軌道上校正計画

澤田真理 (立教大), Eric Miller (MIT), Matteo Guainazzi (ESA/ESTEC), Aurora Simionescu (SRON), Maxim Markevitch (NASA/GSFC), Liyi Gu (SRON), XRISM In-Flight Calibration Planning team

2023 年 8 月以降に打ち上げ予定の XRISM 衛星は、精密分光器 Resolve と広視野撮像器 Xtend を搭載する。これらは衛星試験時のデータなどをもちいて地上校正済みだが、校正項目にはミッション期間を通じてモニタ・更新が必要なものや、end-to-end での評価が地上では困難なものもあるため、軌道上における校正が不可欠だ。XRISM では、特に Resolve の革新的な分光性能 (分解能 ≤ 7 eV FWHM at 6 keV, 絶対エネルギー精度 ≤ 2 eV) を実現するため、綿密な軌道上校正計画を事前に準備する必要がある。また軌道上では、天体からの放射を主な校正源としてもちいるため、観測装置だけでなく天体解析に関する知見・経験も重要となる。そこでわれわれは XRISM Science team 全体からメンバーを広く募り、装置開発・科学運用・科学観測の専門家 30 名以上からなる In-Flight Calibration Planning (IFCP) team を組織した。校正計画の策定においては、打ち上げ遅延などのスケジュール変更にも対応できる Hitomi (ASTRO-H) 校正計画の柔軟性を踏襲する一方、装置構成変更を受け校正天体リストを再考し XRISM に最適化したほか、精密スペクトルの解釈において重要な原子物理データの校正用観測を追加するなどの重要な改訂を行なった。現在は校正天体リストの最終化、観測シミュレーション、これらに基づく校正観測スケジュールの原案作成を終え、稼働中のほかの天文台との相互校正についても調整を進めている。また打ち上げ後の校正観測データの解析やその結果の校正データベースへの反映を迅速に行うための体制づくりも行なっている。講演では XRISM 軌道上校正計画の概要を説明する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V308a X線分光撮像衛星 (XRISM) 搭載軟 X 線撮像装置 (Xtend) の開発の現状 (10)

内山秀樹 (静岡大), 信川正順 (奈良教育大), 森浩二 (宮崎大, ISAS/JAXA), 冨田洋 (ISAS/JAXA), 中嶋大 (関東学院大, ISAS/JAXA), 野田博文 (阪大), 鈴木寛大 (甲南大), 小林翔悟 (東京理科大), 萩野浩一 (東京大), 内田裕之 (京大), 米山友景 (中央大), 田中孝明 (甲南大), 村上弘志 (東北学院大), 信川久実子 (近大), 幸村孝由 (東京理科大), 鶴剛 (京大), 松本浩典, 小高裕和 (阪大), 山内誠, 廿日出勇 (宮崎大), 山岡和貴 (名大), 吉田鉄生, 金丸善朗 (ISAS/JAXA), 水野恒史 (広島大), 宮崎啓太郎, 楠康平, 大塚芳徳, 横須晴彦, 米丸若菜, 市川雄大, 中野瑛子 (宮崎大), 中村彰太郎, 亀井貴光 (関東学院大), 朝倉一統, 善本真梨那, 大出優一, 佐藤淳矢, 袴田知宏, 青柳美緒 (阪大), 青木悠馬, 伊藤耶馬斗 (近大), 角町駿, 土居俊輝, 青木大輝, 藤澤海斗, 清水康行 (東京理科大), 東竜一, 寺農夏樹 (甲南大), 阪本菜月 (広島大), Takashi Okajima (NASA/GSFC), 石田学, 前田良知 (ISAS/JAXA), 平賀純子 (関西学院大), 尾崎正伸 (NAOJ), 堂谷忠靖 (ISAS/JAXA), 常深博, 林田清 (阪大), 他 XRISM/Xtend チーム

2023 年度打ち上げ予定の X 線分光撮像衛星 XRISM は、X 線望遠鏡 (XMA) と X 線 CCD 検出器 (SXI) から構成される軟 X 線撮像装置 Xtend を搭載する。Xtend は、XMA の焦点面に 4 枚の CCD を 2×2 で配置することで、0.4–13 keV の帯域で 38 分角四方の広視野分光撮像を行う。各種試験を終え衛星に搭載された Xtend は、2023 年 6 月現在、種子島宇宙センターにて打ち上げに向けて保管されている。

打ち上げまでの期間を使い、初期運用期データを用いた検出器の動作検証や校正に向けた準備を我々は進めている。また、過去の地上試験で見られたデータ異常を検証するために、フライト品と同等の CCD 素子を用いた追加実験も行なっている。本講演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](#)

V309a XRISM 搭載軟 X 線撮像検出器 SXI のエネルギー線形性の評価

米丸若菜, 宮崎啓太郎, 楠康平, 大塚芳徳, 横須晴彦, 市川雄大, 中野瑛子, 森浩二 (宮崎大学), 金丸善朗 (ISAS/JAXA), 青木悠馬, 信川久実子 (近畿大学), 信川正順 (奈良教育大学), 内田裕之, 鶴剛 (京都大学), 田中孝明, 鈴木寛大 (甲南大学), 善本真梨那, 袴田知宏, 青柳美緒, 野田博文, 林田清, 松本浩典 (大阪大学), 米山友景 (中央大学), 冨田洋 (ISAS/JAXA), 中嶋大 (関東学院大学), 萩野浩一 (東京大学), 村上弘志 (東北学院大学), 内山秀樹 (静岡大学), 山内誠, 廿日出勇 (宮崎大学), 青木大輝, 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 は軟 X 線分光器 Resolve と軟 X 線撮像装置 Xtend で構成されている。Xtend に搭載されている軟 X 線撮像検出器 SXI は 0.4 keV–13 keV の広いエネルギー帯域で 38 分角平方という広い視野を実現する X 線 CCD カメラである。CCD カメラの特徴の一つにゲインの線形性が優れていることが挙げられる。線形性が優れていればエネルギー校正が容易であり、その結果に対して系統的な不確かさが入りづらい。今回我々は SXI のエネルギー線形性を評価するために ^{55}Fe 線源を照射させた状態で SXI に組み込まれている ADC に対するオフセット電圧を徐々に増加させ、高エネルギー X 線を模擬してデータ取得を行なった。次に取得されたデータを使用して様々なエネルギー帯での入射 X 線エネルギーと出力波高値間での線形性の評価を行なった。その結果、シングスイベントでは 10 keV までは線形性が保たれているが、それ以上のエネルギー帯になると線形性から外れる傾向があることがわかった。ただし、不定性も大きく、軌道上のデータで検証する必要がある。本講演では、SXI のエネルギー線形性の評価方法と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](#)

V310a XRISM 衛星搭載 Xtend における受光部外からの電荷侵入に強い新 CCD 駆動法 (2)

青柳美緒, 野田博文, 朝倉一統, 善本真梨那, 大出優一, 袴田知宏, 林田清, 常深博, 松本浩典 (大阪大学), 金丸善朗, 冨田洋 (ISAS/JAXA), 米山友景 (中央大学), 宮崎啓太郎, 楠康平, 森浩二 (宮崎大学), 鈴木寛大, 田中孝明 (甲南大学), 中嶋大 (関東学院大学), 信川正順 (奈良教育大学), 青木悠馬, 信川久実子 (近畿大学)

我々は、X 線分光撮像衛星 XRISM への搭載に向け、0.4 – 13 keV のエネルギー帯域を 38 分角四方という広視野で撮像する軟 X 線撮像装置 Xtend の X 線 CCD(SXI) の開発を行っている。2021 年 2 月に実施した SXI の冷却試験で原因不明の電荷が撮像領域に侵入する事象が発生した。そこで、通常の駆動法とは異なる電荷の侵入を防ぐ駆動法を開発し、大阪大学の実験室にてフライト品と同等の素子を用いて問題なく分光撮像を行えることを確認した (青柳他 2022 年秋季年会 V306a)。その後、2022 年 8 月に筑波宇宙センターにて実施された衛星熱真空試験において、SXI を衛星に組み込んだ状態で真空度 $\sim 10^{-8}$ Torr のもとで太陽光の照射時及び非照射時のそれぞれの軌道上環境模擬し、素子を -110°C まで冷却して撮像を行った。その結果、軌道上の環境下では電荷侵入事象が発生しないことを確認した。その上で較正線源 ^{55}Fe からの 5.9 keV のイベントを用いて、新駆動法の分光性能を評価した結果、大阪大学での実験と同等の結果が得られた。現在、大阪大学の実験室において、2021 年 2 月に電荷侵入事象が発生した素子をフライト品を模擬した検出器構体に設置して駆動し、電荷侵入の原因究明を行っている。本講演では、熱真空試験における新駆動法での素子の分光性能の詳細な解析結果と、原因究明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](#)

V311a XRISM 衛星搭載 Xtend の軌道上エネルギー較正に向けた準備

阪本菜月, 水野恒史 (広島大), 村上弘志 (東北学院大), 山内誠, 廿日出勇 (宮崎大), 内山秀樹 (静岡大), 信川正順 (奈良教育大), 信川久実子 (近大), 中嶋大 (関東学院大, ISAS/JAXA), 他 XRISM/Xtend チーム

XRISM 衛星は、2023 年度に打ち上げ予定の X 線天文衛星である。搭載する軟 X 線撮像装置 Xtend は 4 枚の CCD を 2×2 に配置し、0.4 - 13 keV 帯域を 38 分角の広視野で撮像・分光する。軌道上で十分な分光能力を発揮するためには、打ち上げ前にエネルギー較正手法および手順を確立する必要がある。この目標のもと、以下の 2 つの準備作業を進めている。第一に、エネルギー較正ツール (xtdpi) の検証を行った。これにより、読み出しに使っているビデオボードの温度補正に関する不具合が知られていたが、想定通り修正されていることが確認できた。第二に、軌道上較正のリハーサルを行った。具体的には、Xtend と同型の CCD 検出器であるひとみ衛星搭載 CCD 検出器のデータを用いて、補正の各ステップ (Even/Odd 補正や CTI 補正など) の較正精度の確認を行った。Even/Odd 補正とは、CCD に使われるピクセルの偶数列と奇数列のゲインを揃える補正であり、CTI 補正とは、電荷転送非効率を用いたゲイン補正である。本講演では、これら打ち上げ前の検証・準備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](#)

V312b XRISM 搭載軟 X 線撮像検出器 SXI の衛星熱真空試験における分光性能の評価

横須晴彦, 楠康平, 宮崎啓太郎, 大塚芳徳, 米丸若菜, 市川雄大, 中野瑛子, 森浩二 (宮崎大学), 青木悠馬, 信川久実子 (近畿大学), 信川正順 (奈良教育大学), 内田裕之, 鶴剛 (京都大学), 田中孝明, 鈴木寛大 (甲南大学), 善本真梨那, 袴田知宏, 青柳美緒, 野田博文, 林田清, 松本浩典 (大阪大学), 阪本菜月 (広島大学), 米山友景 (中央大学), 富田洋, 吉田鉄生, 金丸善朗 (ISAS/JAXA), 中嶋大 (関東学院大学), 萩野浩一 (東京大学), 村上弘志 (東北学院大学), 内山秀樹 (静岡大学), 山内誠, 廿日出勇 (宮崎大学), 青木大輝, 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 に搭載される軟 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 から構成される。SXI は 38 分角平方の広視野を実現するために、XMA の焦点面に 4 枚の CCD 素子をモザイク状に配置する。我々は 2022 年 8 月に SXI を衛星筐体に組み込んだ状態で、軌道上環境を模擬する衛星熱真空試験を実施し、分光性能の要求を満たす事を報告した (信川+23 年春季年会)。スペクトルを導出する際には、偶数列と奇数列のゲインの違い、電荷転送時の後続ピクセルへの電荷漏れ、電荷転送非効率の補正を行っている。本講演ではそれぞれの補正段階での分光性能の評価と、補正パラメータの妥当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](#)

V313b X線天文衛星 XRISM 搭載 CCD 検出器における Goffset のシミュレーション (2)

青木悠馬, 信川久実子, 伊藤耶馬斗 (近畿大), 信川正順 (奈良教育大), 森浩二 (宮崎大), 金丸善朗, 丹波翼 (ISAS/JAXA), 米山友景 (中央大学), 小高裕和 (大阪大) 中嶋大 (関東学院大), 松本浩典, 野田博文, 林田清 (大阪大), 内山秀樹 (静岡大), 萩野浩一 (東京大), 内田裕之 (京都大), 村上弘志 (東北学院大), 富田洋 (ISAS/JAXA)

我々は 2023 年度打ち上げ予定の X 線天文衛星 XRISM に搭載する X 線 CCD 検出器 SXI の開発を行っている。CCD に X 線が入射することにより発生する電荷雲は広がりを持ち、複数のピクセルにまたがる場合がある。SXI 用 CCD 素子では、1 ピクセルイベントよりも複数ピクセルにまたがったイベントの方が波高値が高くなるという現象があり、その波高値の差を Goffset と呼んでいる。Goffset は SXI のエネルギー決定精度に影響を与える。我々は、CCD における電荷雲の広がりを幾何学的なモデルで再現するシミュレーションを行い、Goffset の主な原因が読み出しノイズであることを解明した (青木他 2022 年 秋季年会 V308a)。その後、我々は地上試験データとシミュレーションの両方を使い、Goffset のノイズ依存性と X 線エネルギー依存性を詳細に調査した。その結果、ノイズが小さいときは charge sharing の影響が大きいこと、ノイズ依存性は低エネルギー側で顕著であることがわかった。本講演では詳しい解析結果を報告し、Goffset のメカニズムを考察する。

[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](#)

V314b X線分光撮像衛星 XRISM 搭載 CCD 検出器における撮像モード間の X 線検出率の比較

伊藤耶馬斗, 信川久実子, 青木悠馬, 釜谷智哉 (近畿大), 丹波翼 (ISAS/JAXA), 米山友景 (中央大学), 小高裕和 (大阪大) 信川正順 (奈良教育大), 森浩二 (宮崎大), 松本浩典, 野田博文 (大阪大), 富田洋 (ISAS/JAXA), 中嶋大 (関東学院大) 内田裕之 (京都大), 村上弘志 (東北学院大), 内山秀樹 (静岡大)

X 線分光撮像衛星 XRISM に搭載する軟 X 線撮像装置 Xtend は、X 線望遠鏡 (XMA) と X 線 CCD 検出器 (SXI) からなる。SXI は、4 秒の露光で CCD 全面を読み出す Normal mode に加え、明るい天体を観測する際には、CCD の 8 分の 1 領域を 0.5 秒の露光で読み出す 1/8 Window mode で駆動する。我々は SXI のフライト品による地上試験データを用いて、これら 2 つの撮像モードによる X 線検出率を調査した。その結果、Normal mode の方が 1/8 Window mode より X 線検出率が最大 3% 低いことがわかった。一方、非 X 線イベントの割合は、Normal mode の方が 1/8 Window mode より最大 3% 高かった。Normal mode では、1 回の撮像時間中に、複数の X 線光子が隣接するピクセルに入射し、非 X 線イベント (パイルアップイベント) と判定された可能性がある。実際 Normal mode で、非 X 線と判定されたイベントの周囲 5×5 ピクセルのスペクトルを解析すると、X 線イベントの整数倍の波高値を持つピークが見られ、パイルアップイベントとして判定されていることが確認できた。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V315b X線分光撮像衛星 XRISM 搭載軟X線撮像装置 Xtend のためのパイルアップシミュレータの開発

米山友景 (中央大学), 丹波翼 (ISAS/JAXA), 小高裕和 (大阪大学), 馬場彩 (東京大), 村上弘志 (東北学院大), 森浩二 (宮崎大), 寺田幸功 (埼玉大), 信川正順 (奈良教育大), 水野恒史 (広島大), XRISM MOPT

2023 年度に打ち上げ予定の X 線分光撮像衛星 (X-Ray Imaging and Spectroscopy Mission; XRISM) は、従来より一桁以上優れたエネルギー分解能をもつ分光観測装置 Resolve と、38 分角平方の広視野をもつ分光撮像観測装置 Xtend の二基の X 線望遠鏡システムを搭載する。このうち、Xtend の焦点面検出器は CCD であり、非常に明るい天体を観測する際には「パイルアップ」に留意する必要がある。パイルアップとは、ピクセル検出器において 1 露光中に複数の光子が隣り合うピクセル、ないし同じピクセルに入射する現象である。パイルアップが起こると、見かけの光子数の現象による天体フラックスの過小評価や、光子のエネルギーの誤評価によるスペクトルの硬化などの悪影響があることが知られている。Xtend ではこれを避けるため、視野を絞って読み出しを高速化する Window mode と、1 フレームの露光時間を短くする Burst mode を導入する。

我々は、モンテカルロ計算によって Xtend による観測をシミュレートし、パイルアップの影響を評価する「パイルアップシミュレータ」の開発を行っている。本シミュレータの最終目標は、天体の明るさに対するパイルアップの影響を定量的に評価し、公募観測の際に観測提案者に Xtend の観測モードを選択するための指標を提供することである。本発表では、2022 年秋季年会で報告した通常モードでの開発結果を瞥見し、新たに開発した Window mode におけるシミュレーションの結果を報告する。

[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](#)

V316a X線偏光観測衛星 IXPE の現状 (4)

玉川 徹, 北口貴雄 (理研), 榎戸輝揚 (京都大), 内山慶祐, 武田朋志 (東京理科大/理研), 三石郁之, 田原譲 (名古屋大), 郡司修一, 渡邊瑛里, 菅 佑真, 上小林柊, 森愛斗 (山形大), 深沢泰司, 水野恒史, 高橋弘充, Zhang Sixuan (広島大), 岩切 渉 (千葉大), 林田 清 (大阪大), Martin Weisskopf, Brian Ramsey, Stephen O'Dell (NASA/MSFC), Paolo Soffitta (IAPS/Rome), Luca Baldini (INFN/Pisa) ほか IXPE 衛星チーム

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、日本が国際協力に参加している 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、可視光や電波に比べ高感度な偏光計を製作するのが技術的に難しいことや、十分な光子統計が必要なことから、これまでほとんど実施されていない。IXPE は NASA ケネディ宇宙センターから SpaceX Falcon 9 ロケットにより、高度 600 km の赤道軌道に打ち上げられ、約 1 ヶ月間の軌道上コミッショニングを経て、2022 年 1 月 12 日より科学運用を開始した。

IXPE 衛星は、打ち上げから 1 年半で様々なカテゴリーの約 40 天体を観測し、その多くで統計的に有意な X 線偏光を検出している。データは観測完了後、約 1 週間でオープンになるので、チームでは観測と並行して早期の論文化を進めてきた。すでに 30 報が論文化、もしくは出版待ちの状態である。打ち上げ 3 年目の 2024 年 2 月からは、チーム外の研究者が観測提案できる General Observer (GO) program を開始する予定である。本講演では、IXPE 衛星の現状と最新の観測成果、GO 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](#)

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 搭載電鍍 X 線望遠鏡の開発の現状と今後の展開

作田皓基, 安福千貴, 藤井隆登, 吉田有佑, 岡田久美子, 吉平圭徳, 叶哲生, 石田直樹 (名古屋大学), 田村啓輔 (NASA/GSFC, メリーランド大学), 鈴木亮汰, 宮田喜久子 (名城大学), 成影典之 (国立天文台), 山口豪太 (理化学研究所), 伊藤駿佑, 毛利柊太郎, 竹尾陽子 (東京大学), 久米健大, 松澤雄介, 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、日米共同太陽観測ロケット実験 FOXSI-4 搭載 X 線望遠鏡開発を進めている。FOXSI-4 では、世界初となる太陽フレアの X 線撮像分光観測を 2024 年春に実施し、太陽コロナの重元素組成やその時間進化への観測的制約、および磁場加速などによる非熱的 X 線放射機構の解明を目指している。詳細なフレア構造の撮像観測を実現するため、地上 X 線結像系開発で構築した独自の小口径超高精度電鍍技術 (Mimura et al., Rev. Sci. Instrum., 2018; Yamaguchi et al., RSI, submitted) を用いて、高結像性能宇宙 X 線望遠鏡の実現を目指し開発を進めている。これまでに本技術を用いた高精度反射鏡の一桁以上の大口径・長焦点距離化、二段一体全周反射鏡の精密位置調整が行える支持機構の開発、振動試験等の宇宙環境耐性評価試験方法の確立、さらに、設計パラメータや製作・評価工程の最適化や望遠鏡性能の見積もりを定量的に実施するため、支持機構デザインを忠実に再現した独自の光線追跡シミュレーターの開発をしてきた (2023 年春季年会 作田他等)。

本講演では FOXSI-4 搭載望遠鏡開発の詳細に加え、比較的小型かつフレキシブルな焦点距離の設定が可能な高結像性能 X 線光学系という特長を最大限活かし現在進めている、地球オーロラ観測ロケット実験や高温プラズマ中の 2 次元揺動計測を目指した地上プラズマ実験への展開についても述べる。

[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](#)

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 搭載電鍍 X 線望遠鏡の性能評価 (3)

藤井隆登, 作田皓基, 安福千貴, 吉田有佑, 伊藤駿, 岡田久美子, 吉平圭徳, 叶哲生, 石田直樹 (名古屋大学), 田村啓輔 (NASA/GSFC, メリーランド大学), 宮田喜久子 (名城大学), 成影典之 (国立天文台), 山口豪太 (SPRiNG-8), 伊藤駿佑, 毛利柊太郎, 竹尾陽子 (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)

FOXSI (Focusing Optics X-ray Solar Imager) は、太陽 X 線の撮像分光観測を目的とした日米共同のロケット実験である。2024 年には 4 号機が打ち上げられる予定であり、我々はこの FOXSI-4 搭載用高角度分解能 X 線望遠鏡の開発を進めてきた。我々は地上 X 線結像系開発で構築した独自の小口径超高精度電鍍技術 (Mimura et al., Rev. Sci. Instrum., 2018) を用い、これまで直径 60 mm、焦点距離 2 m、有効高さ 220 mm の Wolter-I 型反射鏡試作に成功し (Yamaguchi et al., RSI, submitted)、X 線照射試験を実施してきた。搭載品 2 台のうち 1 台に X 線を照射した結果、12 keV にて広がった天体に対する感度の指標である HPD $\sim 17''$ 、点源感度を示す FWHM は世界最高レベルの $\sim 0.6''$ を確認した (Fujii et al., XOPT2023 & 2023 年春季年会 藤井他)。

今回は、加振ジグの設計を見直し、鉛直方向、垂直方向ともにプロジェクトの要求する加振スペクトルの高い精度での制御を実現した。搭載品の望遠鏡に全方向の加振を実施、その前後で 12 keV の結像プロファイルを比較したところ、有意な差はなく、健全性が確認され、振動への耐性が示された。本講演では、単体の振動耐性評価に加え、プリコリメータ等追加コンポーネントとの組み合わせた結果も紹介する。

[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](#)

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 搭載電 鍍 X 線望遠鏡の性能評価 (4)

安福千貴, 作田皓基, 藤井隆登, 吉田有佑, 中澤皓太, 岡田久美子, 吉平圭徳, 叶哲生, 石田直樹 (名古屋大), 田村啓輔 (NASA/GSFC, メリーランド大), 鈴木亮汰, 宮田喜久子 (名城大), 成影典之 (国立天文台), 山口豪太 (理化学研究所), 伊藤駿佑, 毛利柊太郎, 竹尾陽子 (東京大), 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), 三石郁之 (名古屋大)

我々は、世界初となる太陽フレアの X 線撮像分光観測を実現すべく、日米共同太陽観測ロケット実験 FOXSI-4 搭載用 X 線望遠鏡開発を行っている。太陽フレアは X 線帯域でも非常に明るいイベントのため、望遠鏡には特に結像性能が要求される。これまで我々は、直径 60 mm 程度の反射鏡全面をカバーする大面積 X 線ビームを再現することが難しかったことから、ペンシルビームを反射鏡の一部に照射する形で擬似的に全面照射イメージを取得してきた。しかし、特に結像中心付近の輝度分布が検出器と望遠鏡両ステージの同期精度に影響され、正確な把握が困難であった。そこで NASA/MSFC にて大面積擬似平行光を用いた低エネルギー帯域 ($\lesssim 7$ keV) の X 線照射試験を行い、本開発初となる反射鏡全面照射での off-axis 角における結像性能および有効面積の絶対値評価に成功し、おおよそ光線追跡シミュレーション結果を再現していることを確認した (2023 年春季年会 安福他)。

今回我々は、SPRiNG-8 BL29XUL にてロケット搭載品の X 線照射試験 (12 keV) を実施した。結果、反射鏡全面の FWHM 測定に初成功し、試作品を含む全 3 サンプルに対して ~ 0.6 秒角の値を確認した。また、15 分角の off-axis 角に対しても < 1 秒角の値を達成していることを明らかにした。本講演では、上述した搭載品の性能評価試験結果の詳細のほか、本夏実施予定の地上較正試験結果についても報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V320a 太陽フレア X 線集光撮像分光観測ロケット実験 FOXSI-4 に搭載する軟 X 線検 出器評価とカメラ開発

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), Athanasios Pantazides (ミネソタ大学), 程島文夫, 小関達也 (シマフジ電機 (株)), 高橋忠幸, 長澤俊作 (東大 Kavli IPMU), FOXSI チーム

観測ロケット実験 Focusing Optics X-ray Solar Imager の 4 回目の飛翔となる FOXSI-4 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、2024 年春に打ち上げ予定である。世界初の太陽フレア X 線に対する集光撮像分光観測を行い、高温プラズマと非熱的プラズマの物理情報を有する X 線帯域を太陽フレアシステム全体にわたり空間・時間・エネルギー分解して観測する。

0.5-10 keV 程度の軟 X 線観測では、完全空乏化したシリコン厚 25 μ m の裏面照射型 CMOS センサを用いて、およそ 250 fps の高速連続露光により非分散型の X 線光子計測を行う。使用する CMOS センサの X 線光子計測能力を評価するため、放射光施設 UVSOR や SPRiNG-8 でセンサに単色の軟 X 線を照射し、応答関数や量子効率を評価している。2022 年秋季年会では、UVSOR で行った 0.5-4.5 keV での光子計測能力結果を報告した。その後 SPRiNG-8 で、4.5-12 keV のエネルギー帯域を評価したため、その結果を報告する。

また、本センサの制御や約 300 MB/秒のデータ収集のために、CPU を内蔵した FPGA を用いたカメラを開発中である。同時に、飛翔中のカメラ制御やクイックルックデータのリアルタイム確認のため、宇宙機データ通信 I/F 規格である SpaceWire を用いたコマンド入力やテレメトリ出力を可能とするソフトウェアを開発している。これら軟 X 線カメラの開発状況も合わせて紹介する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V321a 太陽観測ロケット実験FOXSI-4: 物理計測用FPGAボードと通信規格SpaceWireを用いたデータ取得システムの構築

長澤俊作, 南喬博, 高橋忠幸 (東京大学 Kavli IPMU), 渡辺伸 (JAXA 宇宙研), Lindsay Glesener, Athanasios Pantazides (University of Minnesota), 他 FOXSI-4 チーム

FOXSI (Focusing Optics X-ray Solar Imager) は、太陽からの X 線放射を集光撮像分光する観測ロケット実験である。2024 年 3 月には 4 回目の打ち上げ FOXSI-4 が予定されており、ロケットを即時打ち上げ可能状態で待機させ、太陽フレアの発生と同時に打ち上げることで、フレアの光子計測観測実現を目指す。そのため、従来の 3 回の打ち上げにおける太陽静穏領域を対象とした観測と比べ、計測光子数が増加する。さらに、硬 X 線検出器 4 台+軟 X 線検出器 3 台の計 7 台ある様々な種類の計測装置からのデータを管理・同時に処理する必要がある。

そこで我々は、物理計測用 FPGA ボード SPMU-001 と通信規格 SpaceWire を利用した新たな機上データ処理系ネットワークの構築を行った。SpaceWire は、ESA、JAXA を中心に標準化が進められてきた衛星用双方向シリアルデータ通信 I/F 規格であり、開発期間の短期化、信頼性確保が可能となるほか、RMAP を上位プロトコルとして採用し、他の SpaceWire ノード内のレジスタやメモリにアクセスすることが簡単に可能になる。SPMU-001 には、Raspberry Pi 基板サイズ内に、FPGA、メモリ、多チャンネル I/O、SpaceWire、Ethernet などの高速通信 I/F が実装されている。そこで、Raspberry Pi 上で動作するソフトを開発、SpaceWire で SPMU のメモリ上にコマンドやデータを書き込み/読み出すことで、各検出器機器の制御やデータ取得を行う仕組みを構築した。

本講演では、以上のデータ取得システムの詳細を紹介するとともに、打ち上げに向け、我々が開発を担当する硬 X 線焦点面検出器の準備状況についても報告をする。

[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](#)

V322a GRAMS 計画 9: 全体報告

丹波翼 (ISAS/JAXA), 小高裕和, 田中雅士, 高嶋聡, 石渡幸太, 白濱健太郎, 袴田知宏, 善本真梨那, 井上芳幸 (大阪大学), 新井翔大, 市橋正裕, 加藤辰明, 馬場彩 (東京大学), 青山一天, 清水虎牙, 谷口日奈子, 中島理幾, 内海和伸, 石川皓貴, 寄田浩平 (早稲田大学), 一戸悠人 (理研), 内田悠介 (東京理科大学), 大熊佳吾, 中澤知洋 (名古屋大学), Dmitry Khangulyan (立教大学), 深沢泰司, 高橋弘充, 須田祐介 (広島大学), 渡辺伸 (ISAS/JAXA), 辻直美 (神奈川大学), 広島渚 (富山大学), 八幡和志 (防衛医大), 米田浩基 (University of Wurzburg), 荒牧嗣雄 (Northeastern University), Karagiorgi Georgia (Columbia University), Reshmi Mukherjee (Barnard College), GRAMS コラボレーション

GRAMS (Gamma-Ray and AntiMatter Survey) 実験は、液体アルゴン TPC (Time Projection Chamber) を気球・衛星に搭載し、高エネルギー天体由来の MeV ガンマ線の観測と暗黒物質由来の低エネルギー反粒子の検出の両方を目指す日米国際共同実験である。その最大の強みは、液体アルゴンを用いることによる大有効面積の実現であり、従来の検出器を大きく上回る感度を伴った観測で、微弱な MeV ガンマ線および希少な反粒子を検出することが期待される。われわれは、MeV ガンマ線のコンプトンイメージングのコンセプト実証を目指し、10 cm 程度の液体アルゴン TPC の小型プロトタイプ検出器を開発中である。それと並行して、将来的な飛翔体実験を念頭に置いた工学気球実験の準備も進めており、液体アルゴン TPC を搭載した気球フライトがまもなく実施される予定である。本講演では、2023 年 7 月に予定されている JAXA 国内気球搭載実験の結果を速報するとともに、小型プロトタイプ検出器とそれに付随するシンチレーション光・電離電子読み出しシステムの開発状況を報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V323a GRAMS 計画 10: 液体アルゴン TPC 気球搭載試験

新井翔大, 加藤辰明, 馬場彩 (東京大学), 小高裕和, 高嶋聡, 田中雅士, 袴田知宏, 善本真梨那 (大阪大学), 寄田浩平, 青山一天, 内海和伸, 中島理幾, 石川皓貴 (早稲田大学), 丹波翼 (JAXA/ISAS), 中澤知洋, 大熊佳吾 (名古屋大学), 辻直美 (神奈川大学), 深沢泰司, 高橋弘充, 須田祐介 (広島大学), 荒牧嗣雄 (Northeastern University), Karagiorgi Georgia (Columbia University), GRAMS コラボレーション

MeV ガンマ領域は原子核崩壊による核ガンマ線が多く含まれる領域であり、天体による核反応を直接見ることができることから天文学にとって重要な帯域である。しかし、電波からガンマ線まで網羅するようになった現代の電磁波天文学のなかでも、その感度の低さから MeV ガンマ領域はほとんど未開拓の領域のままである。

そこで、我々は MeV ガンマ線望遠鏡計画 Gamma-Ray and AntiMatter Survey (GRAMS) を進めている。これは、液体アルゴン Time Projection Chamber (LArTPC) と呼ばれる検出器を用いて MeV ガンマ線観測を行う計画である。現在の計画では従来の検出器に比べ、2 桁の感度向上を目標としている。

現在 GRAMS 計画は概念実証段階にあり、将来の気球サイエンスフライトを実施するためには、まず検出器が気球上での正常な動作確認、液体アルゴンの気球上での安全な運用方法の確立が重要である。これらの課題を解決するため、我々は小型の LArTPC を JAXA 大気球に搭載し、実際に運用を行う実験を行う (2023 春新井講演)。

現状では液体アルゴン容器、データ取得系容器とこれらを格納するゴンドラからなるフライトモデルは制作済みであり、2023 年 6 月上旬現在、大樹町への 6 月中旬のゴンドラ輸送に向けて、JAXA 相模原キャンパス内の真空恒温槽にて低温低圧下での気球環境模擬実験を行なっている。そして、大樹町への移動後は放球のための最終試験を行なっていく予定である。本講演では、この実験の状況と今後の展望について報告する予定である。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V324a GRAMS 計画 11: 液体アルゴンコンプトンカメラ実証機の開発

石渡幸太, 小高裕和, 白濱健太郎, 高嶋聡, 田中雅士, 袴田知宏, 善本真梨那 (大阪大), 新井翔大, 市橋正裕, 加藤辰明, 馬場彩 (東京大), 青山一天, 清水虎牙, 谷口日奈子, 中島理幾, 寄田浩平 (早稲田大), 丹波翼, 渡辺伸 (JAXA), 大熊佳吾, 中澤知洋 (名古屋大), 米田浩基 (ヴュルツブルク大), 荒牧嗣夫 (ノースイースタン大), Georgia Karagiorgi (コロンビア大), GRAMS コラボレーション

Gamma-Ray and AntiMatter Survey (GRAMS) 計画は、大型の液体アルゴン放射線検出器を用いて、宇宙 MeV ガンマ線の観測と低エネルギー反重陽子の検出による間接的な暗黒物質探索を目的にした日米国際共同計画である。GRAMS 計画の要である Liquid Argon Time Projection Chamber (LArTPC) は近年、素粒子物理学実験の分野で実用化されており、MeV ガンマ線に対して大有効面積を実現できる放射線検出器である。LArTPC では、入射ガンマ線とアルゴン原子が複数回のコンプトン散乱を起こし、この時生じ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分光撮像が可能となる。

現在我々は、ガンマ線の撮像を実証する小型 (有感領域 $5 \times 5 \times 10$ cm) の LArTPC を構築しており、電離電子の読み出し系やシンチレーション光の検出器を開発している。電離電子の読み出しには、新規開発した 3.2×3.2 mm のピクセルに分割された合計 256 ch のアノードフレキシブルボードを用いている。そのピクセルに生じる信号の増幅・AD 変換を低雑音で行うために、ひとみ衛星搭載軟ガンマ線検出器で採用された読み出し ASIC を用いた。またコンプトン散乱の三次元的な位置決定のために、光信号と電離電子信号の同期をとりその時間差を測定する FPGA ロジックを開発した。本講演では、これらコンプトンカメラ実証機の開発状況と性能評価試験の結果を報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V325a GRAMS 計画 12: 液体アルゴン TPC 用多チャンネル光検出器の開発

白濱健太郎, 石渡幸太, 小高裕和, 高嶋聡, 田中雅士, 袴田知宏, 善本真梨那 (大阪大), 新井翔大, 市橋正裕, 加藤辰明, 馬場彩 (東京大), 青山一天, 清水虎牙, 谷口日奈子, 中島理幾, 寄田浩平 (早稲田大), 丹波翼, 渡辺伸 (JAXA), 大熊佳吾, 中澤知洋 (名古屋大), 米田浩基 (ヴェルツブルク大), 荒牧嗣夫 (ノースイースタン大), Georgia Karagiorgi (コロンビア大), GRAMS コラボレーション

Gamma-Ray and AntiMatter Survey (GRAMS) 計画は多波長天文学における「最後の窓」と呼ばれる MeV ガンマ線帯域での分光撮像観測を目的とする日米共同プロジェクトである。複数回のコンプトン散乱もしくは光電吸収によって生じる電離電子群とシンチレーション光を Liquid Argon Time Projection Chamber (LArTPC) によって検出し、コンプトンカメラの原理から MeV ガンマ線のイメージを再構成する。入射光子の到来方向とエネルギーの推定には各ガンマ線ヒットの位置とエネルギー損失の情報が必要なため、シンチレーション光を検出しイベントの発生を検知することが不可欠である。さらにシンチレーション光波形の減衰は二つの異なる時定数を持った指数関数によって現象論的に表現できることが知られている。これら二成分の強度比を評価することによってガンマ線ヒットと背景事象である中性子ヒットの弁別も行うことができる。

我々は液体アルゴン温度 (87 K) で動作し低ノイズかつ高速応答を実現する、16 素子アレイタイプ Multi Pixel Photon Counter (MPPC: 浜松ホトニクス, S13361-6075AE04) の 1 チャンネルアナログ読み出し回路を開発した。この回路を用いて検出した MPPC 由来の暗電流やレーザー光源からの光子のアナログ出力を 1G Samples/s でアナログ・デジタル変換し信号の解析を行った。本講演では、この光検出システムの構成について説明し、エネルギー損失を決定するための光量測定およびガンマ線・中性子事象弁別を目的とする波形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](#)

V326b HiZ-GUNDAM ミッション搭載用 pnCCD 素子のノイズ評価

杉本葵, 佐藤匡駿, 平賀純子 (関西学院大学), 荻野直樹, 有元誠, 米徳大輔 (金沢大学), 盛顯捷, 坂本貴紀 (青山学院大)

ガンマ線バースト (GRB) は数秒程度の時間に 10^{51-54}erg もの非常に高いエネルギーを放出する宇宙で最も明るい爆発現象で、初期宇宙からの放射を直接観測できる重要な天体現象である。HiZ-GUNDAM ミッションは、高感度の広視野 X 線モニターで GRB を発見し、その後直ちに可視光・近赤外線望遠鏡で追観測を行うことで、初期宇宙の解明を目指す計画である。観測衛星に搭載する広視野 X 線モニターの焦点面検出器の候補として pnCCD が挙げられた。そこで、我々は小型の pnCCD 素子を搭載した PNDector 社製の pnCCD-Color-Xray-Camera を用いて、低エネルギーの X 線の検出の感度において重要となるノイズ評価を行った。

本研究では、素子温度 3 条件 (0°C、-10°C、-20°C)、フレームレート 6 条件 (15Hz、20Hz、30Hz、50Hz、75Hz、100Hz) についてデータを取得した。密封 X 線源 ^{55}Fe (Mn-K α) を用いた場合のデータとともに、X 線を照射していないダークレベルの測定を各フレームレートにつき 500 枚ずつ取得し、ダークレベルの解析を行った。それぞれの温度条件について、ピクセル毎の暗電流を求めたところ、暗電流の温度依存性に加えピクセル位置による暗電流の不均一性が確認された。また、ノイズと X 線イベントを弁別できる下限エネルギー (LD) を算出した。X 線イベント判定回数が多いピクセル及び、高いバックグラウンドのゆらぎを持つピクセルを除去することで LD の改善が見込まれた。

[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](#)

V327a 硬 X 線偏光検出気球実験 XL-Calibur 用 X 線望遠鏡の開発 (4)

倉本春希, 松本浩典, 鴨川航, 善本真梨那, 袴田知宏, 青柳美緒, 石渡幸太, 島耕平, 白濱健太郎, 野田博文, 林田清, 常深博 (大阪大), 宮澤拓也 (沖縄科学技術大学院大学), 石橋和紀 (名古屋大), 前田良知, 石田学 (ISAS), 宮本明日香, 松本岳人 (東京都立大), 武尾舞 (埼玉大), 内田悠介 (東京理科大), 今澤遼, 阪本菜月, 高橋弘充 (広島大), 今村竜太, 栗木久光 (愛媛大), 古澤彰浩 (藤田医学大), 岡島崇, 田村啓輔 (NASA/GSFC), Henric Krawczynski (ワシントン大), Fabian Kislat (ニュー・ハンプシャー大) 他 XL-Calibur チーム

XL-Calibur 計画は、15 – 80 keV の硬 X 線帯域での高感度な偏光観測を目標とする、日米スウェーデンの国際協力で行われる気球実験である。我々は、高い集光力を実現するために本計画で搭載する、焦点距離 12 m、口径 45 cm の Wolter I 型 2 回反射斜入射望遠鏡の開発を行っている。2021 年 6 月に大型放射光施設 SPring-8 の BL20B2 にて望遠鏡の性能を測定し、フライト前の最終性能とした (2021 年秋季年会 V310b)。

その後第 1 回目のフライトを 2022 年 7 月 12 日から 7 月 18 日にかけて実施した。スウェーデンからカナダまで高度 40 km で偏光観測を行い、目立った損傷がない状態の望遠鏡を無事に回収することができた。そしてフライトを終えた望遠鏡について、2023 年 1 月と 4 月に SPring-8 の BL20B2 にて、望遠鏡性能を測定するために 2021 年 6 月と同様の実験を行った。本実験では 20 – 70 keV の調整したビームを使い、望遠鏡をラスタースキャンすることで全面に X 線を当てた状況を再現し、取得した反射光から望遠鏡の性能を表す有効面積と HPD、PSF を算出した。また 30, 50 keV のビームを用いたラスタースキャンによって Vignetting 関数と光軸を決定した。本講演では、フライト前後における地上試験で測定した X 線望遠鏡の性能を比較した結果について報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V328a CMOS イメージセンサを用いた硬 X 線撮像偏光計の開発 VI

岩田季也, 萩野浩一, 新井翔大, 高嶋聡, 南喬博, 市橋正裕, 馬場彩, 加藤辰明, 松橋裕洋 (東大理), 高橋忠幸, 長澤俊作 (東大 Kavli IPMU), 小高裕和 (大阪大), 丹波翼, 渡辺伸 (JAXA 宇宙研), 成影典之 (国立天文台)

X 線偏光観測は天体の幾何構造や磁場構造を明らかにする上で有効な手段として期待されている。2021 年に IXPE 衛星 (Weisskopf et al. 2022) が打ち上げられ、2–8 keV のエネルギー帯域での本格的な偏光観測が始まった。しかし、偏光度が高い非熱的な放射が卓越し光子量が比較的豊富な 10–30 keV のエネルギー帯域での偏光観測は、未だに困難な課題となっている。

我々は 10–30 keV の硬 X 線帯域での偏光観測を目指し、微小ピクセル CMOS イメージセンサと符号化開口マスクを用いた偏光撮像システムの開発を進めている。これまでに、ピクセルサイズ 2.5 μm の CMOS センサを用いた偏光撮像の実証実験に成功した (2022 年春季年会・V305a 小高講演)。

偏光検出感度は検出効率とモジュレーションファクターから評価できる。そこで、線源を用いて X 線検出効率を測定し、30% (5.9 keV), 1.1% (22 keV) という結果を得た。2022 年 11 月には SPring-8 にてビーム実験を行い、6–22 keV でのモジュレーションファクターを測定し、センサの偏光検出感度を評価した。イベントの波高値分布の 2 次モーメントを利用した偏光解析手法を 3 ピクセル以上に広がったイベントに新たに適用し、偏光検出感度を従来の解析手法の約 4 倍に向上させた。これらの評価に加えて、より優れた偏光測定性能が期待されるピクセルサイズ 1.5 μm のセンサの評価も始めており、その初期成果についても議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V329a 超小型 X 線衛星 NinjaSat に搭載するガス検出器の有感領域端の調査

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 (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), 岸本 俊二 (KEK)

NinjaSat は 2023 年 10 月に打ち上げ予定の 6U ($10 \times 20 \times 30 \text{ cm}^3$) サイズ超小型 X 線天文衛星で、明るい X 線天体の長期モニターや突発天体の追観測、他波長望遠鏡との同時観測を主な目的としている。観測帯域 2–50 keV の非撮像型ガス X 線検出器 (Gas Multiplier Counter ; GMC) を 2 台搭載しており、超小型衛星としては世界最大となる $\sim 32 \text{ cm}^2$ (6 keV) の有効面積を持つ。GMC の開口半径は 35 mm で、ガスチェンバー内部で X 線エネルギーに比例して生成した電荷をドリフト電場によって移動させ、半径 33.5 mm の電極を用いて読み出す。

検出器の有効面積は、天体のフラックスを求める際に必要な値である。有効面積は電極半径を元に計算しているが、実際には電極外側に入射した X 線とガスの反応で発生した電子雲は拡散し、電場の歪みなどの影響で変則的な軌道を辿りながら電極で検出される。そのため、電極外側領域の解析的な有効面積の算出は困難であった。我々は 2022 年 11 月に KEK-PF BL-14A で得た 6.4, 34, 35 keV の単色 X 線を $\sim 20 \mu\text{m}^2$ に絞って GMC 地上待機品に照射し、有感領域がどこまで広がっているかを調査した。その結果、有効面積は電極面積から計算される値よりも最大で 7.9 % 大きいことがわかった。本講演では、NinjaSat の開発状況と、電極境界部分への X 線照射結果を用いた有効面積について報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V330a 地球磁気圏 X 線撮像計画 GEO-X (GEOspace X-ray imager) の現状 V

中嶋大 (関東学院大), 江副祐一郎 (都立大), 船瀬龍 (東大), 永田晴紀 (北大), 三好由純 (名大), 沼澤正樹, 石川久美 (都立大), 萩野浩一 (東大), 三石郁之 (名大), Landon Kamps (北大), 川端洋輔, 布施綾太 (東大), Ralf Boden, 三谷烈史, 米山友景, 中島晋太郎, 上野宗孝, 山崎敦, 長谷川洋, 三田信, 藤本正樹, 川勝康弘, 岩田隆浩 (ISAS/JAXA), 松本洋介 (千葉大), 細川敬祐 (電通大), 平賀純子 (関西学院大), 満田和久 (NAOJ), 小泉宏之, 笠原慧 (東大), 佐原宏典 (都立大), 金森義明 (東北大), 森下浩平 (九大) ほか GEO-X チーム

世界で初めての地球磁気圏の X 線撮像を目指す超小型衛星計画 GEO-X (GEOspace X-ray imager) の現状について報告する。GEO-X は、太陽風中の多価イオンと地球外圏大気との電荷交換反応 (Solar Wind Charge eXchange : SWCX) に伴って生じる軟 X 線を撮像分光し、地球磁気圏の太陽側境界面構造を全く新しい手段で可視化する。衛星は相乗りでの打ち上げ後、キックモーターにより遠地点高度を上げ、40–60 R_E の高度から広視野で俯瞰的に SWCX を観測する。本計画は太陽活動の極大期に合わせ、2024–25 年頃の打ち上げを目指している。

衛星は 18U の CubeSat にキックモーターを加えて、約 50 kg 級の規模とする。観測装置は 3U サイズ ($10 \times 10 \times 30 \text{ cm}$) と小型だが、 $5^\circ \times 5^\circ$ の広視野により、広がった軟 X 線に対する高い感度を実現する。本年度我々は Si 微細加工技術を用いた独自の超軽量望遠鏡、焦点面検出器として軟 X 線撮像分光を行う CMOS カメラ、可視光遮光フィルタのそれぞれについて EM 製作および要素ごとの環境試験を進めている。夏季以降は組み上げ状態の環境試験および FM 開発を実施していく。衛星バス部についてはサイエンス要求の整理と衛星設計の最適化、キックモーターについては EM 相当品での燃焼試験を実施しており、以上を含めた開発の全体について講演する。

[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](#)

V331a Cherenkov Telescope Array (CTA) 計画：全体報告 (24)

齋藤隆之、窪秀利、武石隆治、手嶋政廣、戸谷友則、吉越貴紀 (東京大学)、野田浩司 (千葉大学)、吉田龍生 (茨城大学)、井岡邦仁 (京都大学)、山本常夏 (甲南大学)、田島宏康 (名古屋大学)、他 CTA Consortium

大規模チェレンコフ望遠鏡アレイ CTA (Cherenkov Telescope Array) の建設が、日本からの約 120 名を含めた 25 か国約 1500 名の国際共同により進められている。スペイン・ラパルマとチリ・パラナルにそれぞれ設置され南北両半球から全天を観測する。CTA は大 (23 m)・中 (10–12 m)・小 (4 m) 口径の望遠鏡計約 100 台からなり、現状より一桁以上高い感度 (かに星雲強度の 0.1%)、4 桁のエネルギー領域 (20 GeV から 300 TeV)、高い角度分解能 (10 TeV で 2 分角) を持つ。銀河系内外から 1000 を超える多種多様な天体が検出されると予想され、目指すサイエンスは、高エネルギー天体のガンマ線放射機構、宇宙線起源の解明、暗黒物質探索、ローレンツ不変性の高精度検証など、多岐にわたる。さらに、CTA 天文台は、急速に進展しているマルチメッセンジャー天文学の重要な柱の一つとなる。主鏡および焦点面カメラの開発・製作において日本が中心的役割を果たした大口径望遠鏡の初号機が、CTA 天文台の最初の望遠鏡として、北サイトに 2018 年に設置され、科学観測が行われている。パルサー・星雲、活動銀河核、銀河中心領域、再帰新星などの検出に成功し、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。この初号機に隣接する大口径望遠鏡 2–4 号機の建設および南サイトに建設する大口径望遠鏡の要素製作準備が 2022 年に開始された。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実験観測が続けられている。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](#)

V332a CTA 大口径望遠鏡のための SiPM モジュールに装着する集光器の開発

溝手雅也、山本常夏 (甲南大学)、奥村暁、田島宏康、高橋光成 (名古屋大学)、齋藤隆之、猪目祐介、大岡秀行、櫻井駿介、手嶋政廣、野田浩司、橋山和明、窪秀利、岡知彦、野崎誠也、Daniela Hadasch、Daniel Mazin (東京大学)、片桐秀明、吉田龍生 (茨城大学)、寺内健太 (京都大学)、折戸玲子 (徳島大学)、櫛田淳子、西嶋恭司 (東海大学)、郡司修一、門叶冬樹、中森健之 (山形大学)、砂田裕志、立石大、寺田幸功 (埼玉大学)、田中真伸 (KEK) 他 CTA-Japan consortium

チェレンコフ望遠鏡アレイ (CTA) は南北両半球に複数の望遠鏡を設置し宇宙における極限的な現象から放出されるガンマ線を観測する国際共同計画である。現在カナリア諸島の天文台で 23m 口径の大口径望遠鏡が 1 台稼働している。20GeV 以上のエネルギーを持ったガンマ線が大気中で生成した空気シャワーを検出し、ガンマ線のエネルギーと到来方向を測定する。この望遠鏡のカメラには光電子増倍管 PMT が 1855 本装着されており、画素サイズは 5cm = 0.1 度、カメラ全体の視野は約 4.3 度である。このカメラに半導体検出器 SiPM を使い、画素サイズを半分の 2.5cm に変えて分解能を上げることを検討している。不感領域を減らし主鏡以外から入射する夜光を除去するため、SiPM に搭載するライトガイドを開発した。コンピュータシミュレーションにより集光効率が高くなるように形状の最適化を行い、その設計をもとに 3D プリンタで部品を製作することでコストを抑えた。また、SiPM はノイズとなる赤外線に対する感度が高いため、ライトガイドに長波長の光を除去する反射鏡を採用している。この鏡は薄いガラスの上に多層膜コーティングをして制作しており、3D プリンタで制作した部品に接着した。本講演ではこの SiPM 用ライトガイドの開発状況について報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V333a CTA 小口径望遠鏡の開発状況

奥村暁, 重谷優斗, 河原崎琉, 田島宏康, バンソンヒョン, 古田和浩 (名古屋大学), 他 CTA Consortium

チェレンコフ望遠鏡アレイ (Cherenkov Telescope Array, CTA) は 2020 年代の完成を目指し現在建設中の、次世代ガンマ線天文台である。大中小の 3 つの異なる口径の望遠鏡を多数並べることにより、高エネルギーガンマ線が地球大気で生成する大気チェレンコフ光を検出し、20 GeV から 300 TeV 超のエネルギー帯域で高エネルギー天体のガンマ線観測を行う。このうち 4 m の主鏡口径を持つ小口径望遠鏡 (Small-Sized Telescope, SST) は 5~300 TeV の高エネルギー帯域での観測を担い、銀河系内の粒子加速天体の観測で活躍が期待されている。SST では Schwarzschild-Couder 光学系と呼ばれる、副鏡を有する視野直径約 9° の光学系に、6 mm×6 mm の半導体光検出器を 2048 画素並べた焦点面カメラが組み合わされる。本講演ではこれら光学系と焦点面カメラの開発状況について報告する。特に焦点面カメラの光検出器、高速波形記録回路、回路モジュールなどの開発状況と、焦点面カメラの量産に向けた開発体制について述べる。

[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](#)

V334a ALPACA 実験 5: ALPAQUITA 現状報告 2023

M. Anzorena (東大宇宙線), 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), 日比野欣也 (神奈川大工), 堀田直己 (宇都宮大), 片寄祐作 (横国大工), 加藤千尋 (信州大理), 加藤勢 (東大宇宙線), 川原一輝 (横国大工), 川島輝能 (東大宇宙線), 川田和正 (東大宇宙線), 小井辰巳 (中部大理工), 小島浩司 (中部大天文台), 槇島拓音 (横国大工), 増田吉起 (信州大理), 松橋祥 (横国大工), 松本瑞生 (信州大理), R. Mayta (阪公大理, 阪公大南部研), P. Miranda (サン・アンドレス大), 水野敦之 (東大宇宙線), 宗像一起 (信州大理), 中村佳昭 (東大宇宙線), 西澤正己 (国立情報学研), 野口陸 (横国大工), 荻尾彰一 (東大宇宙線), 大西宗博 (東大宇宙線), 奥川創介 (横国大工), 大嶋晃敏 (中部大工, 中部大理工), 齋藤敏治 (都立産業技術高専), さこ隆志 (東大宇宙線), 佐古崇志 (東大宇宙線), 佐々木翼 (神奈川大工), 柴崎季哉 (日大生産工), 柴田祥一 (中部大天文台), 塩見昌司 (日大生産工), 田島典夫 (理研), 鷹野和紀子 (神奈川大工), 瀧田正人 (東大宇宙線), 多米田裕一郎 (大阪電通大工), 田中公一 (広島市大情), 土屋晴文 (原子力機構), 常定芳基 (阪公大理, 阪公大南部研), 有働慈治 (神奈川大工), 碓井玲 (横国大工), 山崎勝也 (中部大理工), 横江諄衡 (東大宇宙線) 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。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 の一部である小規模空気シャワー観測装置 ALPAQUITA 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](#)

V335a 放射線損傷を受けた MPPC の室温から 100K に下げたときのエネルギー閾値の振る舞い

丹羽怜太, 高橋弘充, 川端弘治, 深澤泰司, 須田祐介, 森下皓暁, 堀友哉, 中村謙吾 (広島大学)

宇宙空間でガンマ線や粒子を検出するために、シンチレータと光検出器を組み合わせた検出器がしばしば利用される。MPPC は cm サイズの小型で、数 10V の低電圧で高いゲインが得られるため、シンチレータ検出器での利用が検討されている。MPPC は宇宙線に被曝することで放射線劣化し、暗電流が桁で増加してしまうことが知られている。暗電流の増加は、検出器のエネルギー分解能の劣化、エネルギー閾値の上昇につながる。一方で、一般的な半導体検出器と同じく、MPPC は低温で暗電流が減少することも知られているが、放射線劣化した MPPC でどれほど暗電流が低減されるかは詳しく調べられていない。

本研究では、放射線劣化した MPPC について、室温から液体窒素・アルゴンと同程度の低温 (100K) までの環境で、性能を評価した。使用した MPPC は、受光面が 6mm 角の S13360 型で、200 MeV 陽子を 1 krad 照射したものである。シンチレータは 1cm 角の CsI(Tl) で、オプティカルラバーを用いて MPPC とシンチレータを接着した。前回の発表 (2022 年秋季年会) では、室温では暗電流が高く、エネルギー閾値が 60 keV 以上に悪化していたが、低温 100K では暗電流が約 1/1000 の 0.1 μ A 台に低減し、エネルギー閾値も約 10 keV まで改善が見られた。今回の研究では中間温度での測定も行い、高温側は ^{137}Cs の 662 keV で、低温側は ^{241}Am の 60 keV で測定した。途中で整形増幅器の shaping time も調整しつつ、温度による閾値の変化傾向を調べた。結果として 170K 以下では、10 keV 付近で閾値が一定になることがわかった。本講演では、これらの測定結果について報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V336a プラスチックシンチレータを用いた、放射線劣化した MPPC の性能評価

森下皓暁, 深澤泰司, 高橋弘充, 丹羽怜太 (広島大学)

宇宙軟ガンマ線観測では、検出器全体をアクティブシールドで囲むことにより、反同時計数を利用して観測の妨げとなるバックグラウンド事象を低減している。このアクティブシールドとして、近年 CubeSat など小型の衛星で打ち上げる際等では、従来から使用している BGO では重量の問題がある。そこで我々は、C や H などから構成されるため原子番号が小さく、密度が約 7 分の 1 であり、さらに減衰時定数も数 ns と速い有機のプラスチックシンチレータを用いることを考えている。また、光検出器として MPPC 半導体光検出器を用いているが、衛星軌道上で使い続けると、宇宙線の衝突等で検出器自身が放射線劣化してノイズを出してエネルギー閾値が上がってしまう問題が懸念される。そこでプラスチックシンチレータと、陽子照射により擬似的に劣化させた MPPC を用いて、エネルギー閾値ができるだけ上がらないようにする手段を試みた。

まずノイズはランダムに発生する事象であるため、同時イベントのみを取得することで、検出されるノイズ成分を多くカットすることができると考えられる。よって 2 つの放射線劣化した MPPC を用いて、エネルギー閾値を下げることを確認した。また、前置増幅器と整形増幅器を用いて波形を増幅すると、信号だけでなく、放射線劣化した MPPC の様々な減衰時間のノイズも積分されて大きくなり、信号が見にくくなる。そこで、MPPC 出力波形をそのまま増幅することや、さらに低温環境で半導体検出器中のキャリアの熱励起を抑制させることでも、エネルギー閾値を下げることを確かめた。

本講演では、これら一連の実験結果について報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V337a ISS 曝露部に搭載する X 線 SOI-CMOS ピクセル検出器 XRPIX で探る超高層大気の観測計画

武田彩希 (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 (京都大学), 森浩二, 眞方恒陽, 黒木瑛介 (宮崎大学), 河邊圭寿, 岸本拓海, 桑野慧 (近畿大学)

高度 100 km 付近の超高層大気は、地球温暖化により密度変化するなど、気候変動を予測する上で重要な研究対象である。超高層大気は、太陽や下層大気の影響により膨張収縮し密度が変化する。そのため、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観測が難しい高度のため、観測例が極めて少なく大気の性質は未だよく理解されていない。

近年、日本の X 線天文衛星「すざく」や「ひとみ」の「かに星雲」観測中の、天体観測と地没が切り替わる短い時間を利用し、宇宙 X 線の大气減光を用いて超高層大気の密度の鉛直分布が測定できると実証された (Katsuda et al., JGR, 2021)。だが、偶然任せの観測データは離散的で、メカニズム解明に至らなかった。そこで我々は、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。次世代 X 線天文衛星への搭載を目指した「X 線 SOI-CMOS ピクセル検出器」を用いた X 線カメラを専用装置として開発している。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、研究計画の概要を報告する。

[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](#)

V338b ISS 曝露部に搭載する超高層大気観測用 X 線カメラの概要と開発状況

河邊圭寿, 信川久実子 (近畿大学), 武田彩希 (宮崎大学), 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 (京都大学), 森浩二 (宮崎大学), 眞方恒陽 (宮崎大学), 岸本拓海 (近畿大学), 黒木瑛介 (宮崎大学), 桑野慧 (近畿大学)

高度 100 km 付近の超高層大気は、人工衛星 (高度 300 km 以上) や気球 (高度 50 km 以下) でその場観測できない高度のため、大気の中で最もデータが乏しい。Katsuda et al. 2021 (JGR: Space Physics, 126, e2020JA028886) は、X 線で高度 100 km 付近の大気密度を観測できることを実証した。すなわち、X 線天文衛星のデータのうち、観測天体が地平線にかかっているタイミングを利用し、天体からの X 線の大气透過を観測した。大気密度に応じて低エネルギー側の X 線が吸収されるため、各高度での透過 X 線の吸収率から大気密度の鉛直分布を測定した。しかし X 線天文衛星を用いる手法では、大気観測の機会は年に 1-2 日に限られ、その間も、衛星が約 100 分で地球を周回するごとに 1 分間データが得られるのみである。

我々は X 線を用いた手法で超高層大気のモニタリング観測を行うため、国際宇宙ステーション (ISS) の曝露部への搭載を目指し、大気観測専用の X 線カメラの開発を行っている。X 線カメラの検出部は、X 線 SOI-CMOS ピクセル検出器である「XRPIX」で、サイズ 15.3 mm × 24.6 mm の大型素子を 2 枚並べ、スリットコリメータを通して宇宙 X 線背景放射の高度毎の大気透過を観測する。X 線カメラは、CPU 組み込み FPGA「Zynq」で制御し、ADC・DAC などの部品を搭載した専用基板として開発中である。センサ部の高圧印加は昇圧モジュールにて行う。最終的には、自立して観測可能なカメラとして成立させる。本講演では、X 線カメラの構成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](#)

V339c 超小型衛星による、宇宙空間からの太陽中性子の観測 (VII)

山岡和貴, 田島宏康 (名古屋大), 宮田喜久子 (名城大), 中澤知洋, 渡部豊喜, 伊藤和也, 増田智 (名古屋大), 谷浩一, 新井正樹 (合同会社尽星), 宮澤拓也 (OIST), 杉浦弘則 (有限会社杉浦発条), 高橋弘充 (広島大), 渡邊恭子 (防衛大)

太陽のフレア爆発やコロナ質量放出に伴って、荷電粒子が加速され、大規模なものだと我々の生活にも影響を及ぼすことが知られているが、その粒子が一体、いつどこでどのように加速されているか明らかではない。我々はイオン加速機構解明のため、従来着目してきた電波やガンマ線といった電磁波ではなく、中性子という新たな観測手段に着目している。中性子は長年地上高地で観測されてきたが、感度が悪く観測が進展していない。また、唯一宇宙空間からの日本の観測装置であった SEDA-AP も現在は運用を終えており、宇宙空間での中性子観測も皆無に近い状況である。我々はこの状況を打破するため、宇宙空間からの高感度観測を行うことを目指し、次期太陽極大期である 2025 年頃の打ち上げを狙って、中性子・ガンマ線分光装置 SONGS を開発中である。本検出器は積層したプラスチックシンチレータバーと底面におかれたアレイ状の GAGG シンチレータからなり、高速中性子 (20–120 MeV) と軟ガンマ線 (100–3000 keV) の両方に感度をもつ。各シンチレータはシリコン半導体光センサ MPPC で独立に読み出され、700 にも及ぶ信号が集積回路 (ASIC) で処理され、3 次元的に入射粒子の飛跡を捉えることが可能となっている。さらに宇宙天気への貢献も視野に入れ、低消費電力無線を搭載して専用端末さえあれば、衛星を通じて無料で太陽フレアの情報を得られる機能を追加している。現在、フライトモデルを想定した、センサの構造モデルと約半分を搭載したエンジニアリングモデル (EM) を製作・試験中である。本発表では現在の SONGS 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](#)

V340a JEDI(仮) のミッションデザイン

中澤知洋 (名大), 石田学 (JAXA/ISAS), 内田裕之 (京大), 小高裕和 (阪大), 幸村孝由 (理科大), 佐藤寿紀 (明治大), 澤田真理 (立教大), 鈴木寛大 (甲南大), 高橋弘充 (広大), 田中孝明 (甲南大), 鶴剛 (京大), 中嶋大 (関東学院), 野田博文 (阪大), 萩野浩一 (東大), 松本浩典 (阪大), 村上弘志 (東北学院), 森浩二 (宮崎大), 山口弘悦 (JAXA/ISAS), 米山友景 (中央大), 渡辺伸 (JAXA/ISAS), 他 JEDI WG

JEDI(仮) は、JAXA 戦略的中型計画候補の一つとして WG を設置して検討中の次世代 X 線天文衛星である。JEDI は硬 X 線を含む広帯域の精密撮像と分光を担い、巨大ブラックホールの成長史を探るサーベイ (上田ほか、本年会) や、系内の恒星質量ブラックホールの探査、超新星残骸、銀河団、銀河中心拡散放射や軟 X 線前方放射など、広帯域と優れた角分解能に、低バックグラウンドによる拡散放射への高感度をも狙ったミッションである。これを実現するために、その衛星システムは ASTRO-H 衛星のものをベースラインとし、FORCE 提案で検討した焦点距離 12 m の硬 X 線撮像分光システムと、新たに焦点距離 4.5–5.6 m (TBR) の軟 X 線撮像分光システムを両立させ、最適な焦点距離によって高性能を達成する。X 線反射望遠鏡は $< 12''$ (half-power-diameter: HPD) の分解能を持ち、指向方向決定精度を合わせて、 $< 15''$ の角分解能を実現する。硬 X 線反射鏡の長い焦点距離を実現する伸展式光学ベンチや、固定式光学ベンチは ASTRO-H のそれをベースとして改良し、紫外線観測や広視野 X 線監視、偏光検出などのオプションも検討し、サイエンスの最大化のために軌道や運用方法の改善も検討している。電力・熱・通信・姿勢制御などの衛星システムは XRISM を参考にさらに改良することで、Technical Readiness Level の高いミッションデザインを目指している。

[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](#)

V341a SOI技術を用いた新型X線撮像分光器の開発 58: PDD 構造を持つX線 SOI ピクセル検出器の放射線損傷による性能劣化機構の研究

萩野浩一 (東京大学), 北島正隼, 幸村孝由 (東京理科大学), 倉知郁生 (ディーアンドエス), 鶴剛 (京都大学), 行元雅貴, 武田彩希, 森浩二, 西岡祐介 (宮崎大学), 田中孝明 (甲南大学)

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、Silicon-On-Insulator (SOI) 技術を用いることで、トリガー機能を搭載した CMOS ピクセル回路と数百 μm の厚い高比抵抗 Si センサ部を一体化した検出器である。この構造により、1 keV 以下から数十 keV に渡る広いエネルギー帯域に感度を持ち、数十 μs という極めて優れた時間分解能でX線撮像分光観測を実現する。

XRPIX の開発における重要課題の1つが放射線耐性である。XRPIX は SOI 構造特有の厚い酸化層を有するために Total Ionizing Dose (TID) 効果に対する放射線耐性が低いという問題があり、我々はデバイス構造の改良によって放射線耐性の改善を試みてきた。酸化層界面に高濃度 P 型層を形成した Pinned Depleted Diode (PDD) 構造を導入した XRPIX6E では、6 krad 照射後もエネルギー分解能の劣化は1%以下であり、従来の XRPIX と比べて格段に優れた放射線耐性を実現した (Hayashida et al., 2020, JATIS)。しかし、40 krad まで照射すると、暗電流が1桁以上急激に増加し、エネルギー分解能も25%程度劣化してしまうことがわかった。

我々は、半導体デバイスシミュレーションを用いて実験結果を再現することで、放射線による XRPIX の性能劣化機構を調べた。その結果、界面の高濃度 P 型層が酸化層の蓄積正電荷によって空乏化することで暗電流が増加し、同時に寄生容量が増えることで読み出しノイズが増加することが明らかになった。本講演では、上記のような半導体センサ内部の電荷分布変化に由来する放射線損傷による XRPIX の性能劣化機構について報告する。

[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 SOI技術を用いた新型X線撮像分光器の開発 59: PDD 構造を有するX線 SOI-CMOS ピクセル検出器 XRPIX における軟X線性能評価

木村明倫, 森浩二, 武田彩希, 西岡祐介, 行元雅貴, 泉大輔, 岩切卯月 (宮崎大学), 鶴剛, 上ノ町水紀, 池田智法, 松田真宗, 成田拓仁 (京都大学), 倉知郁生 (ディーアンドエス), 新井康夫 (KEK), 幸村孝由, 内田悠介, 清水真 (東京理科大学), 萩野浩一 (東京大学), 田中孝明, 鈴木寛大 (甲南大学)

我々は次世代X線天文衛星への搭載を目指したX線 SOI-CMOS ピクセル検出器である「XRPIX」の開発を進めている。XRPIX は、Silicon-On-Insulator 技術により絶縁層を介してセンサ層と回路層を一体化した構造を持つ。これにより、センサ層に高比抵抗 Si を用いることで数100 μm に達する厚い空乏層を実現し、10 keV 以上の硬X線側に高い感度を有することが特徴である。それ故、開発当初から硬X線での性能評価に重点が置かれてきた。一方で、X線天文衛星での用途を考えた場合、1 keV 付近の軟X線に対する感度も重要な評価項目である。最新の XRPIX8.5 には、過去最高の分光性能を達成した Pinned-Depleted-Diode(PDD) 構造を導入している。先行研究 (Kodama et al. 2021) では、初期型の PDD 構造を導入した XRPIX6E を用いて、ノイズ成分の低減、分光性能の向上を確認するとともに、フレーム読み出しで0.68 keV の F-K のX線の検出に成功している。今回、PDD 構造を最適化した最新の XRPIX8.5 を開発し、これを用いて軟X線性能評価を実施した。その結果、最新の XRPIX8.5 においてもフレーム読み出しで F-K のX線を検出した。これに加え、分光性能や検出効率等の観点でも性能評価を行った。F-K 輝線で測定した0.68 keV のエネルギー分解能は 132 ± 5 eV であり、XRPIX6E と同等 (140 ± 10 eV) の能力を有することが確認できた。本講演では、他の輝線測定の結果も含めた、性能の詳細を報告する。

[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](#)

V343a SOI 技術を用いた新型 X 線撮像分光器の開発 60: 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

幸村孝由, 内田悠介, 土居俊輝, 角町駿, 武居悠貴, 伊藤尚輝, 清水真, 志賀文哉 (東京理科大学), 萩野浩一 (東京大学), 鈴木寛大 (甲南大学), 鶴剛, 上ノ町水紀, 松田真宗, 成田拓仁 (京都大学), 倉知郁生 (ディーンアンドエス), 岩切卯月, 泉大輔, 木村明倫, 川島陸斗, 眞方恒陽, 塩川朝日, 三谷美輝, 行元雅貴, 武田彩希, 森浩二, 西岡祐介 (宮崎大学), 田中孝明 (甲南大学), 新井康夫, 岸本俊二 (KEK)

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。これまで開発してきた従来の XRPIX は、X 線検出層と回路層の電気的な干渉や、Si/SiO₂ 界面での電荷損失によって、1 ピクセル内の X 線の入射位置によって、電荷収集効率に差が生じていた。これが原因で、エネルギー分解能を低下させる問題があった。そこで、最新の PDD 構造を持つ XRPIX(XR8.5) に対し、どの程度エネルギー分解能が改善しているか検証することを目的に、高エネルギー加速器研究機構の放射光施設のビームライン BL-14A において、ピンホールを用いて 1 ピクセルよりも十分小さい径に絞った単色の X 線を 1 ピクセル内にラスタースキャンする手法で、サブピクセルレベルでの単色の X 線に対する応答特性の評価を行った。その結果、1 ピクセル内で電荷収集効率の違いがあることによってスペクトルのピークの波高値が低くなる問題については、従来の XRPIX では 50% 以上も低く見積もられてしまうことがあったのに対し、最新の XR8.5 では最大でも 6.6% に収まっていることがわかり、電荷収集効率が大きく改善したことが分かった。また、1 ピクセル内での相対検出効率のばらつきが、従来の XRPIX では $\sigma = 2.7\%$ であったのに対し、PDD 構造の素子では 1.3% に改善していることが分かった。本発表では、最新の PDD 構造を持つ XR8.5 の 1 ピクセル内の応答の評価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](#)

V344a SOI 技術を用いた新型 X 線撮像分光器の開発 61: 内蔵アナログ-デジタル変換器の性能評価

松橋裕洋, 萩野浩一, 馬場彩 (東京大学), 武田彩希, 行元雅貴, 森浩二, 西岡祐介 (宮崎大学), 鶴剛, 上ノ町水紀, 池田智法, 松田真宗, 成田拓仁 (京都大学), 田中孝明, 鈴木寛大 (甲南大学), 倉知郁生 (ディーンアンドエス), 幸村孝由, 内田悠介 (東京理科大学), 新井康夫 (KEK)

次世代広帯域 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 からなる絶縁層を挟みセンサ層と CMOS 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おり、検出効率においては数百 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。しかし 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 ADC(アナログ-デジタル変換器) は検出器上 (on-chip) に搭載することが不可欠である。今回は on-chip ADC を搭載した XRPIX9 を作成し、ADC の性能試験を行った。XRPIX9 は 14bit のサイクリック ADC を 16 基搭載しており、その性能試験として ADC をファンクションジェネレータに接続し、外部信号を入力した。これらの波形から ADC の積分非線形性、微分非線形性、入力ノイズを評価した。積分非線形性においては解析の結果 0.06% と優秀な性能であることがわかった。今後の計画として XRPIX9 で検出した X 線信号を on-chip ADC へ入力し ADC および検出器の性能を評価する予定である。本講演ではこれらの解析結果と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](#)

V345a 超伝導遷移端型 X 線検出器の多画素化に向けた位置分解型多吸収体 TES の読み出し開発

古山泰成, 林佑, 山田真也 (立教大), 八木雄大, 田中圭太, 太田瞭, 山崎典子 (ISAS/JAXA)

超伝導遷移端 (TES) 型 X 線検出器は、ダークバリオン (Warm-Hot Intergalactic Medium; WHIM) 探査において、高いエネルギー分解能により、赤方偏移し高階電離した酸素輝線を前景放射と切り分けて検出することを可能にする。広範囲の WHIM の詳細な観測には高い分光撮像能力を持つ X 線観測機器が求められる。本研究では、高いエネルギー分解能を持つ TES の多画素化に向けて、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) の実証実験に挑戦した。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を可能とする。実証実験として、4 つの X 線吸収体を 1 つの TES で読み出すことから始めた。4 つの吸収体は Au 薄膜のサーマルリンクで接続されており、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、波形弁別により X 線の入射した位置を特定することができる。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ない、測定は希釈冷凍機を用いて行なった。4 つの吸収体に繋がった 1 つの TES は正常に超伝導遷移することが確認できた。 ^{55}Fe 線源を用いて得られた X 線波形を詳細に解析し、信号時定数および時系列の信号波形が有意に異なり、ピクセルの弁別や、各ピクセルのエネルギー分解能の評価を行うことができた。本講演では、実証実験の結果および今後の開発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](#)

V346a 部分日食とリムフレアイベントを用いた太陽観測衛星 Hinode/XRT のミラー散乱成分の評価

○加島颯太 (JAXA 宇宙研/関学大)、坂尾太郎 (JAXA 宇宙研)、成影典之 (国立天文台)、佐藤慶暉 (総研大/国立天文台)、清水里香 (総研大/JAXA 宇宙研)

Hinode 搭載の X 線望遠鏡 XRT では Wolter1 型斜入射光学系を採用しており、ミラー表面を精密研磨することによって空間分解能 2 秒角 (焦点面検出器 1pixel につき 1 秒角) を達成している。一方でミラーの形状誤差や表面粗さの存在により、光軸から離れた領域に散乱成分が存在するため、できた像の周囲に X 線が若干散乱する。太陽面上の明るい領域から混入する散乱 X 線の量を正確に評価することは、例えばコロナホールのような暗い領域や、X 線で明るい構造のすぐ近くの暗い構造を観測する上で重要となる。

我々は XRT で観測した部分日食データとリムフレアデータを用いてミラー散乱成分の評価を行った。部分日食・リムフレア共に、解析では 2010 年から 2023 年までの期間のデータを網羅的に調査した。部分日食データでは月が太陽を隠して影になっている部分を利用して散乱成分のみを観測できる。特に、活動領域が月に隠されるイベントを利用して、太陽面上の明るい領域からごく近傍 (数十秒角程度) の散乱成分を知ることができる。同様にリムで発生したフレアを用いた散乱成分の調査も行った。リムフレアデータでは太陽のディスク上に散乱成分以外にコロナ構造が重なるため、その領域では評価が困難であるが、特にフレアコアから離角の大きい領域の散乱成分を知ることができる。これら 2 種類のデータを解析し、広い角度範囲でミラーの散乱を評価した。

講演では解析結果と今後の展望を発表する。

[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](#)

V347a 像再構成型 X 線光学系に用いる Kirkpatrick-Baez (KB) ミラーの開発

松本岳人, 宮本明日香, 田中虎次郎, 長谷川拓斗 (東京都立大学), 前田良知, 石田学, 伊師大貴 (宇宙科学研究所)

X 線天文学において望遠鏡の角度分解能を向上させる一つ的手段として、我々は像再構成型 X 線光学系 (Maeda et al. 2018) の開発を行っている。これは、角度分解能向上を担う 2 枚の前置スリットと集光を担う望遠鏡、二次元検出器を組み合わせたものであり、取得したイメージから像を再構成し、高角度分解能を得る。本研究ではこの光学系の集光部分である KB ミラーの開発を行っている。KB ミラーは、1 次元の反射鏡を 2 段に直行直列に配置することで 2 回反射し集光する望遠鏡である。反射鏡として、両面に化学機械研磨 (CMP) を施した厚さ 0.2mm、直径 6 インチの Si 基板を 100×100 mm にカットし、それにタングステン (W) を蒸着したものを製作した。さらにその反射率測定を宇宙科学研究所の 30 m ビームラインで行った。X 線に対しミラーを水平に設置し、そこから 0.1° ピッチで斜入射角 2° までの角度反射率を Al-K α 線 (1.49 keV) で測定した。照射した X 線ビームのサイズは 0.1mm とした。この角度反射率測定の結果から、Si 基板の表面粗さ、蒸着した W の膜厚・表面粗さを求めることで、KB ミラーに組み込んだときの全体の集光力を知ることができる。KB ミラーの集光力向上のために、こうして製作・性能評価を行った反射鏡を上下の各段に 10 枚ずつ積層する予定である。積層する反射鏡を設計通りの入射角度に固定可能な溝が掘られたアライメントバーとそれを固定するためのハウジングを製作した。ハウジングは 4 枚のアルミ板による直方体の枠組みで、反射鏡をアライメントバーに固定した後も反射鏡の角度を調節できるようマイクロメーターが取り付けられている。今後は、計 10 枚の反射鏡を組み入れ、X 線による性能試験を行うことにしている。本講演ではミラーの製作手法や KB ミラーの 1 段目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](#)

V348a 広視野 X 線集光系テストモデルの開発

川田智希, 杉田聡司, 狩野佑成, 平井健登, 吉田篤正 (青山学院大学), 前田良知 (ISAS/JAXA)

ISS(国際宇宙ステーション) に搭載されている全天 X 線監視装置 MAXI は、連続的に全天を観測することが可能であり、超新星や GRB などの突発的な天体現象に対して有効な観測方法を提供する。一方で重力波イベントの際に重力波源の早期 X 線放射の観測を可能とするには MAXI の検出感度では不十分であると考えられる。そこで我々は、暗い可能性がある重力波源の早期 X 線放射の全天モニタによる検出を可能とするため全天モニタ用の集光系を開発する。

集光系は、ターゲットが X 線であるため全反射を用いて集光する。通常、全反射を用いる X 線集光系においては入射角に制限がつくため視野が狭くなるが、MAXI/GSC の様な走査型の場合、全天モニタの走査方向のみ一次元集光系を加えることにより全天 1 周時の全視野を減らさずに受光量を増やすことが可能になる。一次元集光系には平面ミラーとそれを収めるハウジングが必要である。本研究では、焦点距離 1500mm の Wolter I 型光学系を円錐近似した形にミラーを配置する設計となっている。

これまでレプリカ法 (清田 2021 年度秋季年会) とシリコンウェハによるミラーの製作を行い、30 m X 線ビームラインでの集光実験を行なった。その結果、焦点距離は設計値通りであったが集光像は広がっていた。原因として、ミラーを組み込むハウジングの歪みなどがミラー配置に影響したと考え、改善のため設計を見直した。一体加工のハウジングとアライメントプレートを組み合わせた新しいテストモデルで X 線集光実験を計画している。

本発表では 2021 年度発表からの進捗と平行 X 線ビームラインを用いた集光系の X 線撮像実験の結果を報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V349a Lobster Eye Opticsを用いた広視野X線モニターの光学系BBM開発と性能評価

後藤初音、米徳大輔、有元誠、澤野達哉 (金沢大学)、三原建弘 (理研)、坂本貴紀 (青山学院大学)、前田良知、土居明広 (宇宙研)

HiZ-GUNDAM は、高赤方偏移のガンマ線バースト (GRB) を観測する将来の衛星計画である。衛星のミッション部は、GRB などの突発天体を発見・方向決定するための広視野 X 線モニターと、赤方偏移を測定するための近赤外線望遠鏡で構成されている。広視野 X 線モニターには、Lobster Eye Optics (LEO) と呼ばれる X 線集光光学系とイメージセンサを用いたシステムが検討されている。この検出器は、0.4–4.0 keV の軟 X 線帯域において、約 0.5 ステラジアン of 視野を 10^{-10} erg/cm²/s (100 秒間露光) の感度で監視する。LEO は一辺が数十 μ m の微細な四角形の穴が多数配列されたガラス基板を球殻状に湾曲させた光学系で、その内壁を X 線反射鏡として利用する。また、複数の LEO を球殻状に配置することで広視野のモニターを実現することができる。LEO は 1 枚で < 3 分角の位置精度が期待できるが、製造時に生じる焦点距離のばらつきが存在し、光学システム全体としての位置精度を低下させてしまうことが課題である。したがって、個々の LEO の焦点距離を測定し、その情報を元に LEO 同士の位置調整をおこなう必要がある。本開発では、広視野 X 線モニターの光学系のブレードボードモデル (BBM) を製作し、X 線性能の評価を行った。まず、光学系 BBM の基礎部分として 9 枚の LEO を配置するチタン製フレームを製作し、格納した LEO の焦点距離を元に集光位置を 3 分角の精度で合わせ込む調整を行った。そして、構築した X 線モニターの詳細な結像性能を調査した。本講演では、広視野 X 線モニターの光学系 BBM 開発と性能評価について報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V350a 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 (2)

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、大町遼 (名古屋大学)、北浦良 (物質・材料研究機構)、河原憲治、吾郷浩樹 (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)

薄膜光学素子のニーズは幅広く、宇宙分野でも例えば軟 X 線を対象とする飛翔体において、熱制御、可視光防護、汚染物質防護目的等のために利用されている。この薄膜光学素子には各飛翔体で要求される打ち上げ・軌道上環境耐性はもちろん、観測効率の向上を目指した高い X 線透過率が求められる。しかし、従来のプラスチックフィルムでは両立は難しく、特に軟 X 線帯域の感度には改善の余地が残る。そこで我々は原子 1 個分の薄さ ($\sim 3\text{\AA}$ 厚) にも関わらず耐熱性・機械強度に非常に優れたグラフェンに着目し、極端紫外から軟 X 線帯域において、超高透過率 ($>95\%$ @ 10–1000 eV) を実現しうる超薄膜光学素子の開発に着手した。これまで我々は、転写や緻密なアルミ成膜工程の検討、音響試験・高速原子状酸素照射試験・極低温試験などの宇宙環境耐性評価試験、吸収端近傍における軟 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 2021 年春季年会, 柏倉他 2021 年秋季年会, 三石他 日本天文学会 2022 年春季年会)。

現在宇宙環境耐性評価試験を進めており、中でも高速原子状酸素照射試験においては、治具デザインの改良を加え、成膜なしの単層グラフェンに対し、 1×10^{15} , 10^{16} , 10^{17} , 10^{18} , 10^{19} atoms/cm² の照射実験を行なった。また、ラマン分光特性における D/G 比に着目した定量的な評価プロセスを新たに構築した。結果として、照射量 1×10^{17} atoms/cm² までは、照射前後でラマン分光特性において有意な変化は見られず、 1×10^{18} atoms/cm² 以上で劣化が確認された。本講演では、この結果の詳細について報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

W01a 相対論的效果を考慮したマグネターのX線パルス波形の解析：パラメータ推定

屈楚舒, 諏訪雄大 (東京大学), 榎戸輝揚 (京都大学), 玉川徹 (理化研究所), 内山慶祐 (東京理科大学)

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。回転に伴う光度変動 (パルス) がX線放射に観測されており、こうした変動を用いたマグネター表面の研究が進められている。

マグネターの典型的な質量の $1.4 M_{\odot}$ に対しその半径は約 12 km 程度となっており、非常にコンパクトな天体である。従ってマグネターの表面からの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。こうした光路屈曲によって、ニュートン重力では届かない中性子星の向こう側からの放射が観測可能になることを考慮すると、変動しない成分 (オフセット) を無理なく説明できる可能性がある。

我々は、光路屈曲を考慮したマグネター表面のホットスポットからのX線放射パルス解析を進めている。2023 年春季年会では、光路屈曲によるパルス解析の初期成果を報告した。本講演では、マルコフ連鎖モンテカルロ法を用いてパラメータ推定を行なった結果を示す。また、パルス解析に加えスペクトル解析を行い、両者の導く推定パラメータを比較することでモデルの妥当性を議論する。

[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](#)

W02a マグネター SGR 1935+2154 のFRB に付随した2つのグリッチの発見

成田拓仁 (京都大学), Chin-Ping Hu (National Changhua University of Education), 榎戸輝揚 (京都大学, 理研), George Younes, Zorawar Wadiasingh (NASA/GSFC), Wynn C. G. Ho (Haverford College), Matthew G. Baring (Rice University), Sebastien Guillot (IRAP), Paul S. Ray (NRL), Tolga Güver (Istanbul University), Kaustubh Rajwade (ASTRON), Zaven Arzumanyan (NASA/GSFC), Chryssa Kouveliotou (The George Washington University), Alice K. Harding (LANL), Keith C. Gendreau (NASA/GSFC)

高速電波バースト (FRB: Fast Radio Burst) は、ミリ秒スケールの電波突発現象で、その起源は未解明である。2020 年に銀河系内のマグネター SGR 1935+2154 で生じた FRB に付随したX線バーストの観測から、いくつかのFRB はマグネターと関係することが明らかになった (Andersen B. C., et al., 2020)。しかし、FRB がマグネターで起きる機構は未解明である。2022 年 10 月に SGR 1935+2154 で再びFRB が発生し、その2日前後でX線バーストが頻発した。我々はNICER とNuSTAR で観測を行い、FRB の4.4時間前後に、観測史上最大級の自転周波数の上昇 ($\Delta\nu \sim 10^{-5}$ Hz) を示す2つのグリッチを発見し、その間では急速なスピンドアウン ($\dot{\nu} \sim 10^{-9}$ Hz s $^{-1}$) を検出した。定常X線放射は、1つ目のグリッチ前後で変わらなかったが、その2時間後に定常放射の光度とスペクトルの冪乗成分、バースト頻度が急激に上昇し、その後バーストが落ち着いていく間にFRB が起きた。2つのグリッチ間におけるエネルギー損失は、X線放射によるもの ($\sim 7 \times 10^{40}$ erg) が、自転によるもの ($\sim 7 \times 10^{41}$ erg) の約10%程度であることがわかった。FRB 前後のマグネターの挙動は観測されたのは史上初であり、FRB と付随するX線活動が中性子星の内部状態と回転エネルギーの損失と関連することを示す証拠となる。

[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](#)

W03a 高強度電磁波によるフィラメンテーション不安定

岩本昌倫 (京都大学), Emanuele Sobacchi (The Hebrew University), Lorenzo Sironi (Columbia University)

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、どのようなモデルにも関わらず超高強度電磁波がマグネター周辺の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がプラズマを通過する際、フィラメンテーション不安定と呼ばれるプラズマ不安定が生じ、電磁波の伝搬過程に大きな影響を与える。この不安定は高速電波バーストの周波数や分散量度に影響を与えると考えられており (Sobacchi et al. 2020, 2022, 2023)、高速電波バーストを理解する上で非常に重要である。

本研究ではこのフィラメンテーション不安定を第一原理シミュレーションを用いて長時間発展を追った。線形段階は線形解析の結果とよく一致しており、密度および電磁波強度に対するフィラメント上の構造が確認された。さらに非線形段階まで追い、このフィラメントは最終的に電子慣性長程度になるまで合体していくことを発見した。本公演では、このフィラメンテーション不安定が高速電波バースト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](#)

W04a マグネター磁気圏における高速電波バーストの集団的散乱

西浦 怜, 井岡 邦仁 (京都大学)

高速電波バースト (FRB) は 2007 年に初めて発見された宇宙で最も明るい電波パルスである。2020 年に銀河系内のマグネターと呼ばれる強磁場を持つ中性子星の爆発現象に付随して FRB が観測され、起源天体の 1 つが明らかになった。一方で、発生機構に関しては未解明である。観測事実により、単独のマグネターで FRB を発生させるモデルが盛んに議論されているが、マグネターのどの領域で発生するか何桁にも渡って分かっていない。

本講演ではマグネター磁気圏を伝搬する FRB の散乱過程を取り扱う。FRB は磁気圏に満たされている電子・陽電子プラズマと誘導コンプトン散乱を起こして強く減衰することが示唆されている。しかし、強磁場中における散乱粒子の運動は電荷符号に依らない運動が支配的であるため、一見電子と陽電子で散乱がほとんど打ち消されるように思われる。本研究では、プラズマ効果を考慮して粒子集団と電磁波の散乱を取り扱う Collective Thomson scattering と呼ばれる理論をマグネター磁気圏における散乱過程に拡張し、散乱の打ち消し効果が得られないことを示した。またプラズマの熱運動により、サイクロtron 共鳴の影響を受けた特徴的な散乱スペクトルが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](#)

W05a 強い磁場をもつ中性子星におけるクラストの弾性力の効果

小嶋 康史, 木坂 将太 (広島大), 藤澤 幸太郎 (東京工科大学)

中性子星に存在する強い磁場は動的な時間尺度(力学平衡に関わる種々の波の横断時間で1秒以下の短いスケール)では安定な構造で、永年の時間尺度(他の要因で変化するもので1年よりはるかに長いスケール)での磁場進化に伴い、バースト現象などの突発現象に至ると考えられる。数値実験による安定な磁場配位の探求、エネルギー原理や具体例による磁場の不安定モードの存在の議論など、磁気星の安定性は理論的に研究されているものの、一般的帰結は複雑であり、そこから現実の中性子星の磁場モデルの可能性を絞ることはできていない。

中性子星表面付近のクラスト部分における弾性力の、中性子星の磁場への効果が近年、議論されている。動的な数値シミュレーションによる磁場配位の安定化の証拠(Bera+, arXiv:2007.12400, MNRAS(20) 499,2636; Becerra+, arXiv:2209.01042, MNRAS(22) 517,560)や弾性力を考慮することにより、より強い磁気星の静的モデルの構築(Fujisawa+ arXiv:2303.02312, MNRAS(23)946,75; Kojima+ arXiv:2209.04136, MNRAS(22)938,91)がある。これまでの研究の相補的なものとして、今回、ほぼ解析的な手法で以下の異なる観点から、弾性力は磁場の動的な不安定性を抑える方向に働くことがわかった。

(1) 静的な解からの摂動方程式でつくられるエネルギーを調べることで、ある種の磁場の変動に伴う不安定性が存在することが知られているが、そこに弾性力を考慮すると、安定化の方向に働く。

(2) 埋め込まれた磁束はある種の長波長モードに対して、浮き上がる不安定性(Parker 不安定性)が存在するが、弾性力を考慮すると、それが抑えられる方向に働く。

講演では、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](#)

W06a ULX パルサー NGC 300 ULX-1 の X 線スペクトルを構成する放射成分の抽出

小林翔悟 (東理大), 野田博文 (阪大), 榎戸輝揚 (京大), 川島朋尚 (東大), 井上壮大, 大須賀健 (筑波大)

超高光度 X 線源パルサー (ULXP) は、銀河系内に 1 天体、他銀河に 8 天体確認されており、その X 線光度は中性子星のエディントン限界の 100 – 1000 倍に達するため、超臨界降着流を形成していると考えられている。ULXP の X 線スペクトルは、特徴的な構造に乏しく連続成分が支配的なため、様々な物理モデルが縮退してしまい、その降着流の放射描像には未だ不明瞭な部分が多い。そこで本研究では、活動銀河核の観測的研究で使用された解析手法である「C3PO 法」(e.g., Noda et al. 2011, 2014) を初めて ULXP に取り入れた。C3PO 法は、天体からの X 線強度の変化に伴うエネルギー帯域毎の X 線カウントレートの相関を調べることで、激しく強度変動する成分と変動に寄与しない成分のスペクトルを物理モデルに依存すること無く抽出できる。

本研究では、ULXP の中で 31 秒と最もパルス周期が長い NGC 300 ULX-1 の、2016 年 12 月 16 日に行われた XMM-Newton (露光: 214 ks) と NuSTAR (露光: 163 ks) による同時観測の公開データを用いた。C3PO 法は、X 線の強度変動をより細かい時間間隔で分割できるほど分解能が向上するため、最長周期をもつ本天体は、この手法を適用する上で最適である。C3PO 法によって、X 線パルスに同調して変動する成分と不変な成分のスペクトルを抽出したところ、不変成分は内縁温度 0.25 ± 0.03 keV の降着円盤からの多温度黒体放射、変動成分はべき乗で ~ 10 keV まで伸びるコンプトン散乱モデルで再現された。また、パルスピークの前後 4 秒に対応する位相では、変動成分のスペクトルの光子指数が、 $\Gamma = 1.56 \pm 0.06$ から $\Gamma = 1.36 \pm 0.01$ と硬くなっていた。これは中性子星の強磁場に拘束された超臨界降着流が、2つの代表的な温度から成るすり鉢状の構造をしており、開口部分が観測者方向を向く時間帯のみで、「すり鉢」底の磁極付近にある高温領域が観測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](#)

W07a ULX パルサー NGC5907 ULX1 の自転位相分解スペクトル解析による超臨界降着流の構造の解明

三浦大貴 (東京大学, ISAS/JAXA), 山口弘悦 (ISAS), 小林翔悟 (東京理科大学)

超高光度 X 線パルサー (ULX パルサー) は、典型的な恒星質量ブラックホール ($M \sim 10 M_{\odot}$) のエディントン限界光度を超えて明るく輝く中性子星である。すなわち、エディントン降着率を超えた超臨界降着流が存在することが明らかな天体である。よってこの ULX パルサーを観測・解析することにより、超臨界降着流の幾何構造や放射領域を解明することができると期待される。

NGC 5907 ULX1 は ULX パルサーのなかで最も明るい天体であり、特に 2014 年に最も高い光度 ($L \sim 10^{41} \text{ erg s}^{-1}$) で観測された (Fürst et al. 2023)。また 2003 年と 2014 年の比較を行った先行研究では、2014 年の方にのみパルスプロファイルが高エネルギーほど先行する様子が報告されている (Israel et al. 2017)。これは降着の構造に関係すると考えられるが、詳しくは理解されていない。そこで本研究では、0.3–10 keV に感度を持つ XMM-Newton と 3–80 keV に感度を持つ NuSTAR の二つの X 線天文衛星で観測された 2014 年のデータを用い、広帯域の自転位相分解スペクトル解析を行った。その結果、自転位相によって hardness ratio の変化が確認できた。またスペクトルは、低エネルギー側は移流および放射圧が優勢な円盤からの黒体放射モデル、高エネルギー側は磁場に捕捉されて降着した物質によるパルス放射成分で再現できた。本講演では、得られた結果の詳細と、物理的な解釈について議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

W08a 低重元素量矮小銀河 IZw18 に存在する ULX の起源について

善本真梨那, 林田清, 松本浩典, 野田博文, 小高裕和 (大阪大学), 米山友景 (中央大学)

超高光度 X 線源 (Ultraluminous X-ray Source; ULX) は、10 太陽質量の恒星質量ブラックホール (BH) におけるエディントン限界光度 (10^{39} erg/s) を超えて輝く X 線点源である。この正体として、亜臨界降着する中間質量 BH か、超臨界降着する恒星質量 BH が示唆されている。星形成銀河の ULX には、大質量星 X 線連星系 (High-mass X-ray binary; HMXB) を組むものがあり (e.g., Gilfanov et al. 2003)、HMXB の個数は星形成率に相関する (e.g., Grimm et al. 2003)。また、星形成率で規格化した場合、ULX の個数は重元素量と反相関することが分かってきた (e.g., Mapelli et al. 2010)。初期宇宙のような重元素量の低い環境下では、ジーンズ質量の上昇や恒星風の寄与が少ないことで大質量星を形成しやすく、やがて質量の重い BH となる (e.g., Fragos et al. 2013)。従って、このような環境下の ULX は、中間質量 BH として存在する可能性が高い。

そこで、本研究では重元素量が 1/50–1/30 太陽組成と十分低く星形成の活発な青色コンパクト矮小銀河 (Blue Compact Dwarf galaxy; BCD) のうち、最も明るい IZw18 の ULX に着目している。これまで *ROSAT* 衛星、*Chandra* 衛星、*XMM-Newton* 衛星、*Suzaku* 衛星の観測アーカイブデータをもとに、1992 年から 2014 年にわたる軟 X 線スペクトルの長期変動を調査した。2021 年春季年会講演では、系内の X 線連星系との比較により、スペクトル遷移光度の観点から中間質量 BH の可能性について報告した。今回はさらに解析を進め、ULX のスペクトルが円盤からの多温度黒体放射モデルで再現されるとともに、内縁温度の上昇に伴って光度が上昇することを明らかにした。本講演では、このようなパラメータ関係や他の ULX との比較をもとに、IZw18 の ULX の正体として標準円盤を持つ中間質量 BH と、スリム円盤を持つ恒星質量 BH の可能性についてそれぞれ議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

W09b 中性子星内部の超流動状態とパルサーのスピンダウン

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)

中性子星は非常に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。内部の物質の状態は、ニュートリノ放射に特に顕著に表れ、星の表面温度に影響を与える。そのため、表面温度の観測と理論計算を比較することで、中性子星の内部の物質の探求が行われている。しかし、内部の状態については未確定な部分が依然として多い。

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・超伝導の効果を取り入れて、中性子星の冷却計算を行った。中性子星が冷えていく過程で核子の超流動状態への遷移が進み、超流動の領域は星の中で拡大していく。超流動の領域が大きくなることで、星全体の常流動部分の慣性モーメントは減少する。ここで、回転しながら冷える中性子星が磁気双極子放射で減速されると仮定すると、常流動領域の慣性モーメントが減少すると角速度に変化が生じることとなる。この影響を考慮し、冷却計算と同じモデルを用い、 $P-\dot{P}$ 関係を求めた。結果として、星内部で広範囲にわたって超流動状態に遷移すると、 $P-\dot{P}$ 図上での進化経路が大きく変わることが分かった。また、星表面の温度観測のみならず、パルサーのスピンダウンの観測でも、中性子星の内部の状態を制限できることについても分かった。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

W10b 磁化中性子星への超臨界降着流によるアウトフロー；噴出角度の四重極子磁場強度依存性について

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

近年、恒星質量ブラックホールのエディントン光度を超える光度を有する X 線パルサーが続々と検出されている (e.g., Bachetti et al. 2014)。これらの天体は超高光度 X 線パルサーと呼ばれ、磁化中性子星への超臨界降着流 (エディントン降着率を超える降着流) がその駆動源として有力視されている。中性子星は双極子磁場を持つ可能性が高いが、近年、多重極子磁場成分の存在を示唆するサイクロトロン共鳴散乱構造が検出された (Kong et al. 2022)。そこで我々は、四重極子磁場を有する中性子星への一般相対論的輻射磁気流体力学計算を実施し、双極子磁場が四重極磁場よりも卓越する場合は磁極付近から、逆に四重極子磁場が双極子磁場よりも卓越する場合は赤道面付近からガスが降着することを見出した (2023 年春季年会)。さらに我々は、四重極子磁場成分が質量噴出率に与える影響を調べるため、磁極における磁場強度を 4×10^{10} G と固定しつつ、双極子磁場と四重極子磁場の割合を変えたいくつかのモデルについてシミュレーションを実施した。

質量降着率がエディントン降着率の約 100 倍となる状況と比較したところ、四重極子磁場が卓越するモデルでは、赤道面と回転軸近傍を除いたほとんどの角度にガスが噴出し、その質量噴出率はエディントン降着率の約 100 倍となることがわかった。一方、双極子磁場が卓越するモデルの場合、中性子星の片側の磁極付近 (極角約 20 度) にガスが降着し、20-70 度の角度にエディントン降着率の約 10 倍、100-150 度の角度にはエディントン降着率の約 100 倍の割合でガスが噴出することがわかった。運動学的光度における四重極磁場の影響や、噴出構造の磁場強度依存性についても議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

W11b Swift 衛星を用いたガンマ線バーストの指数減光におけるスペクトル変動の研究

藤森愛梨沙 (東京大学), 堀江光希, 勝倉大輔, 田代信 (埼玉大, ISAS/JAXA)

ガンマ線バースト (Gamma-Ray Burst; GRB) は、数秒間で 10^{54} erg のエネルギーが放出される爆発現象である。その放射機構の詳細について議論はあるが、GRB のスペクトルを良く記述する関数として、2 つのべき関数をなめらかにつないだ Band 関数が広く使われている (Band et al., 1993)。この関数を説明するモデルとして、衝撃波下流での磁場の減衰を考慮したシンクロトロン放射モデルが考えられている (Zhao et al., 2014)。一様磁場中のシンクロトロン放射冷却であれば、高エネルギー電子ほど放射効率がいため、時定数が光子エネルギーの $-1/2$ 乗に比例する指数減光が期待される。しかし我々が Swift 衛星搭載の Burst Alert Telescope (BAT) と X-Ray Telescope (XRT) を使い、0.3-150 keV のエネルギー帯域におけるライトカーブの減光時定数のエネルギー依存性を調査したところ、1-10 keV でエネルギー依存性に折れ曲がりがあることがわかった (Katsukura, 2020)。そこで本研究では、明確な指数減光が観測された 3 つの GRB について時間分解スペクトルを Band 関数で評価し、減光するときにスペクトルピークエネルギーが次第に下がっていることを見出した。本講演では、新たに明らかになったスペクトル変化から、減光時定数のエネルギー依存性を作り出す機構について、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](#)

W12b 機械学習を用いたエディントンテンソルの推定

上野航介 (筑波大学), 大須賀健 (筑波大学), 朝比奈雄太 (筑波大学), 矢島秀伸 (筑波大学), 福島肇 (筑波大学)

ブラックホールなどのコンパクト天体をはじめ、光度の大きな天体の形成や進化の問題を解明するためには輻射場を正確に解く必要がある。輻射場を計算するためにはいくつかの方法が提案されているが、昨今、広く用いられている M1 closure (M1) 法 (González et al. 2007) では 0 次と 1 次の輻射モーメント量をもとにエディントンテンソルを近似的に求めているが、光学的に薄い場合や輻射が非等方的な場合には正確に解くことができないことが示されている (Asahina et al. 2020)。輻射輸送方程式を解くことで得られた輻射強度から、正確なエディントンテンソルを求める Variable Eddington Tensor (VET) 法 (Stone et al. 1992) は正確な輻射場を得ることができるが計算量が多いという難点がある。エディントンテンソルを介さずに、輻射強度から輻射モーメント量を直接計算する輻射輸送直接法 (Jiang et al. 2014a, Ohsuga & Takahashi 2016) も提案されているが、計算量が多くなるという困難は回避されていない。

そこで本研究では、機械学習を用いてエディントンテンソルを推定し、正確且つ高速に輻射場を計算する手法を開発する。具体的には、VET 法および輻射輸送直接法を実装した輻射流体計算で得られた輻射場と流体場を説明変数とし、エディントンテンソルを目的変数とした機械学習を行う。こうして作成した機械学習モデルが、エディントンテンソルを正確に推定できるか否かを検証する。M1 法では正しく解くことのできない二本の光線が交差するテスト問題を実施したところ、機械学習モデルが高い精度でエディントンテンソルを推定できることがわかった。時間発展する輻射流体のテスト計算についても議論する予定である。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

W13b 強磁場激変星 RX J1712.6-2414 からの重力赤方偏移

林 多佳由 (UMBC & NASA's GSFC), 森 英之 (ISAS/JAXA), 向井 浩二 (UMBC & NASA's GSFC), 石田 学 (ISAS/JAXA & 都立大), 寺田幸功 (埼玉大 & ISAS/JAXA)

主星に強磁場白色矮星 ($B > 10^5$ G) を持つ激変星は強磁場激変星と呼ばれ、白色矮星への質量降着は磁場に沿って起こる。降着は自由落下であり音速を大きく越えるため、白色矮星近傍で強い衝撃波 ($T > 10$ keV) が発生し、降着ガスはプラズマ化する。プラズマは X 線などを放射することで冷却、減速しながら白色矮星へと落下するため、Fe などの重い元素の H-like イオンは衝撃波直下の高速落下 ($\gtrsim 10^3$ km s $^{-1}$) している領域、Si などの比較的軽い元素は白色矮星表面に近く、減速 ($\lesssim 10^2$ km s $^{-1}$) した領域に存在する。このような速度分布を念頭に、我々は強磁場激変星 RX J1712.6-2414 を、優れたエネルギー分解能 ($\Delta E/E \sim 1/300 @ 2$ keV) keV を持つ Chandra 衛星の High-Energy Transmission Grating で観測した。得られた X 線スペクトルの H-like Si, S, Fe イオンの $K\alpha$ 線から、統計誤差と系統誤差を超える赤方偏移 $\Delta E/E_{\text{rest}} \sim 3.3 - 15 \times 10^{-4}$ (E_{rest} は静止エネルギー) を捉えた。しかし、この偏移量はプラズマ流の流体モデルで予言される速度のドップラー偏移よりも有意に大きく、中央値だと 4 倍以上にもなる。我々は、偏移量を説明し得る他の効果、激変星の系全体の運動によるドップラー偏移や $K\alpha_1$ 線と $K\alpha_2$ 線の光学的厚さの違いによる重心の移動を検討したが、これらの効果で観測量を説明するのは困難であることが分かった。結果、我々は、観測された偏移量を説明するには $\Delta E/E_{\text{rest}} \gtrsim 2 \times 10^{-4}$ の重力赤方偏移が必要であると結論した。これは強磁場白色矮星では初めての重力赤方偏移の検出になる。また、観測された赤方偏移と、理論的な重力赤方偏移とプラズマ流ドップラー偏移の和の比較から、白色矮星の質量は $0.9 M_{\odot}$ 以上と見積もられた。本講演では赤方偏移の測定と、これを説明し得る個々の効果の検討などの詳細を述べる。

[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](#)

W14b Higher Order Methods for Numerical Simulations Including Self-Gravity

Tomoyuki Hanawa (Chiba U.), Patrick Mullen (LANL)

Modern numerical simulations often employ higher order methods to achieve higher spatial and temporal accuracy and track wave propagation. Since self-gravity is important in many astronomical environments, it should also be evaluated accurately. However, to our knowledge, numerical algorithms for self-gravitating hydrodynamics are limited to second-order accuracy in space. In this poster we introduce a method to derive the gravitational acceleration per unit volume ($\rho \mathbf{g}$) and gravitational energy release per unit volume ($\rho \mathbf{v} \cdot \mathbf{g}$) at fourth-order accuracy in space for a given cell average density (ρ) on a uniform Cartesian grid and numerical mass flux ($\rho \mathbf{v}$) across a cell surface.

Our scheme has the following features: (1) the truncation error is proportional to h^4 for both $\rho \mathbf{v}$ and $\rho \mathbf{v} \cdot \mathbf{g}$, where h denotes the unit cell width; (2) the total linear momentum is conserved exactly (to round-off error); (3) the total energy (including gravitational potential energy) is conserved without truncation error; and (4) all terms are given explicitly and do not require iteration (except for solving the Poisson equation).

We also present several numerical examples including (1) an error analysis for a self-gravitating spherical body with an overlying, low mass, power law envelope, (2) the advection of a self-gravitating sheet, (3) the propagation of a gravito-acoustic wave, and (4) the hydrostatic equilibrium of an $n = 5$ polytrope. These tests illustrate that our scheme is free of artificial gravitational heating and cooling. This work has been assigned a document release number LA-UR-23-26228.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

W15a すざく衛星による超コンパクト X 線連星 4U 1543–624 のスペクトル観測

吉野有咲, 山内茂雄 (奈良女子大学)

小質量 X 線連星 (Low Mass X-ray Binary, LMXB) の中でも 80 分未満の短い周期の小質量 X 線連星を超コンパクト X 線連星 (Ultra Compact X-ray Binary, UCXB) という。一般的な LMXB は水素が豊富な伴星を持つが、UCXB は水素が少ない、もしくは縮退した伴星をもつ。いくつかの中性子星による LMXB では低エネルギー側に幅の広い輝線を持つものがあり (e.g., Madej et al. 2014, RAS, 1157, 1165)、4U 1543–624 はそのひとつである。

4U 1543–624 は軌道周期が 18.2 分の UCXB であり (Wang et al. 2015, PASA, 32, 35)、C と O に富んだ白色矮星を伴星に持つ。4U 1543–624 のコンパクト天体は中性子星の可能性が高いとされている。しかし、典型的な中性子星連星のモデルでフィットすると、低エネルギー側に残差が残る。この残差の解釈として幅の広い酸素の線スペクトルではないかというものがある一方、星周物質、星間物質による過剰な吸収を許容することで残差が解消されるという報告もある (Juett et al. 2001, ApJ, 560, L59)。

このような背景のもと、我々はすざく衛星の観測データを使用し、4U 1543–624 のスペクトル解析を 0.5 keV–10 keV の範囲で行った。この解析では、星周物質・星間物質による吸収の構造を考慮して、酸素の線スペクトルの有無を検証した。本講演では解析結果の報告をし、それ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](#)

W16a Understanding Optical and Near-Infrared Variability during the Periastron Passage of the Gamma-Ray Binary PSR B1259–63: Insights from 3D Simulations

Atsuo Okazaki (Hokkai-Gakuen University)

Gamma-ray binaries, characterized by their radiative output peaking above 1 MeV, remain enigmatic systems with only nine known examples, comprising a massive star and a compact object. Among the known gamma-ray binaries, five exhibit an O star companion, while four are associated with Be stars – massive stars surrounded by circumstellar disks. Unraveling the complex physics governing interactions in gamma-ray binaries, especially those involving Be stars, poses a significant challenge.

This presentation focuses on the optical and near-infrared variability exhibited by PSR B1259–63. This unique system consists of a radio pulsar with a relativistic pulsar wind orbiting a Be star in an extremely eccentric ($e = 0.87$) and wide ($P_{\text{orb}} = 3.4$ yr) orbit. Despite previous investigations, the emission mechanisms at play in this system remain incompletely understood.

We employ 3D SPH simulations of PSR B1259–63 to shed light on the intricate interaction between the pulsar's relativistic wind, the stellar wind, and the circumstellar disk surrounding the Be star. We then develop an emission model utilizing the simulation data. By comparing the simulated variability with observational data, we gain valuable insights into the origins of the observed variability. Specifically, we find that the pronounced increase in $\text{EW}(\text{H}\alpha)$ around periastron primarily stems from tidal interactions, while the pulsar wind also contributes significantly to this variability.

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

W17a X線スーパーバーストに対する核物理の不定性の調査

土肥明 (理研), 谷口億宇 (香川高専), 西村信哉 (理研), 祖谷元 (理研), 木村真明 (理研)

X線バーストと呼ばれる降着中性子星の表面での核燃焼がしばしば観測されているが、その中でもバーストのエネルギーが通常よりも1000倍ほど大きい(1000倍ほどバーストの継続時間が長い)天体がいくつか見つっている。これをスーパーバーストと呼び、15天体で観測されている(in'tZand 2017)。こうした巨大な爆発を引き起こす最も有力なシナリオは、通常のX線バーストを1000–10000回程度起こすことで生成される炭素が、中性子星のクラスト内部に侵入して核燃焼を起こすことだと考えられており、炭素同士の核反応率がスーパーバーストを特徴づける観測(特に再起時間とバーストエネルギー)を説明する上で重要となる。加えて、炭素が点火する場所は中性子星の内部なので、中性子星の内部で発生するクラスト加熱やニュートリノ冷却過程も炭素燃焼の起こりやすさを決める上で重要となる。ニュートリノ冷却過程がスーパーバーストに及ぼす影響に関しては、これまでの天文学会で既に議論した(Dohi et al. ApJ 937 124 (2022))。

炭素燃焼の核反応率と、X線バーストに影響を及ぼしうる中性子星内部の物理過程はいずれもミクロな核物理に影響される。我々はこうしたスーパーバーストの重要な物理を統一的に取り扱い、核子相互作用の不定性がスーパーバーストに及ぼす影響を調べた。具体的には、炭素同士の核反応率は、AMD法に基づく微視的計算により得られた結果を用いた。中性子星内部の物理過程に関しては、標準的な熱源に加え、急激な冷却過程である核子直接ウルカ過程に着目した。本講演では2つの核モデルを採用し、核子有効相互作用の不定性が及ぼす炭素の点火位置、スーパーバーストの再帰時間の変化について議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

W18a MAXI/GSC が検出した 2023 年度前半の突発現象

根来 均, 中島基樹 (日大), 瀬戸口健太 (京大), 河合誠之 (東工大/理研), 岩切 渉 (千葉大) 芹野素子, 杉田聡司 (青学), 梅木雄斗 (宮崎大), 三原建弘, 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12日現在、新たなX線新星の発見はないが、4月19日に未同定天体からの約10秒ほど続く特異な軟X線バースト XRF 230419A/MAXI J2108-395 を検出した (Negoro(HN)+, Astronomer's Telegram, ATel #16027)。

既知天体については、3つのBe/X線パルサー 4U 0115+63, XTE J1858+034, Swift J0243.6+6124 のアウトバーストをそれぞれ3月28日と30日、4月8日に検出した (Nakajima(MN)+ #15967, #15970, Setoguchi+ #15983)。そのうち4U 0115+63は、その後、ここ27年間で最大強度となるジャイアントアウトバーストに発展した (MN+ #15975)。中性子星との低質量連星系については、3月20日に球状星団 Terzan 1 内の XB 1732–304(?) (Homan+ #15957) からと、5月24日に銀河中心付近の SAX J1747.0–2853 (Li+ #16061) からのアウトバーストを検出した (HN+ #15955, #16059)。6月11日に4U 1702-429 方向から検出されたX線バーストについては、新天体からの可能性もあり、ATelに報告した (Iwakiri+ #16081)。また、近傍の超新星爆発 SN 2023ixf の爆発前後と思われる時期の検出上限値を5月22日にATelに報告した (Kawai+ #16044)。

5月から重力波観測 O4 が始まったが、O4に入ってから最初に検出された S230518h と中性子星合体の可能性のある S230529ay について検出の上限値などを報告した (Serino+ GCN Circulars, G33823, Sugita+ G33893)。また、この時期、GRBも2つ検出した (GRB 230510B: MN+ G33760; GRB 230520: Umeki+ G33831)。

講演では、年会開催までに発見検出されたものを含め、これら突発天体の特徴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](#)

W19a MAXI による X-ray flash type GRB 221006A の観測

杉田聡司, 芹野素子, 坂本貴紀, 平松裕貴, 吉田篤正 (青山学院大学), 根来均 (日本大学), 岩切渉 (千葉大学), 川久保雄太 (LSU), 三原建弘, 河合誠之 (理研) 他 MAXI チーム

2022 年 10 月 6 日に MAXI によって観測・報告された GRB 221006A は、Swift XRT の追観測により X 線残光が発見され、OSIRIS の可視光観測により $z = 0.731$ であることが明らかになった。MAXI の位置通報から追観測によって z が決まった 3 例目の GRB である。

GRB 221006A の即時放射のスペクトルは、2–20 keV の power-law モデルで photon index が -2.2 ± 0.2 となり、Band-function で α を -1.3 に固定した場合の E_{peak} の上限値が < 5 keV という非常にソフトなスペクトルであった。このような軟 X 線領域の放射が卓越しているイベントは HETE-2 で多く観測され (Sakamoto et al., 2005)、HETE-2 の観測を基にした分類では GRB 221006A は X-ray flash (XRF) となる。XRF と典型的な GRB が異なる現象なのかどうかは未だ明らかにされていないが、エネルギー帯以外の特徴は似ているため統一モデルで議論されていることが多い。GRB として考えた場合、 $E_{\text{peak,src}} < 9$ keV、 $E_{\text{iso}} = 1.9^{+1.1}_{-0.4} \times 10^{51}$ erg と標準的な GRB に比べてそれぞれ小さい低光度 GRB となる。また $E_{\text{peak,src}}-E_{\text{iso}}$ 関係 (Amati et al., 2002 他) に従う結果となった。X 線残光は 6.3 時間後からの観測であったため初期のライトカーブは得られなかったが、Swift の観測を用いた XRF 調査 (Katsukura et al., 2019) と比較したところ、X 線残光の明るさとベキの傾向は一致した。残光初期に急激に暗くなり、その後ならかに減光する時間プロファイルと推測される。

本発表では MAXI による GRB 221006A の観測と、即時放射と X 線残光のそれぞれで典型的な GRB と比較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](#)

W20a ガンマ線観測衛星 INTEGRAL/SPI を用いた r-process 核ガンマ線解析による中性子連星合体残骸の探査

大住 隼人 (埼玉大学), 本上 侑吾 (埼玉大学), 寺田 幸功 (埼玉大学, ISAS/JAXA), 勝田 哲 (埼玉大学), 馬場 彩 (東京大学), 藤本 信一郎 (熊本高専), 山崎 了 (青山学院大学)

宇宙に存在する元素のうち ^{56}Fe より重い中性子捕獲元素の合成過程は主に s-process と r-process の 2 つがあり、特に後者は唯一 ^{209}Bi 以上の元素を合成するとされる。r-process 進行の現場としては中性子連星合体 (NSM) 残骸が有力候補とされている。残骸は合体後一年程度で光学的に薄くなり、理論的には r-process 元素の崩壊核ガンマ線が MeV 領域で観測できるようになる。しかし近年観測された NSM 重力波イベント GW170817 では、赤外線観測による間接証拠はあるものの、直接的な核合成の証拠はつかみきれていない。

先行研究では、数値計算によって得られた NSM からの r-process 核ガンマ線モデルを用いて、硬 X 線領域 (10–500 keV) とガンマ線領域 (70–3000 keV) の color-color diagram を示し、中性子連星合体残骸とその他の天体との判別方法を述べた (Terada et al. 2022)。

本研究では、先行研究の手法をガンマ線観測衛星 INTEGRAL/SPI のアーカイブデータに適用し、NSM 残骸を探索した。この手法により硬 X 線・ガンマ線観測のデータにおいて、color-color diagram で示されたエネルギー帯域で放射強度比を比較した。その結果、銀河中心における硬 X 線・ガンマ線放射天体から NSM 残骸候補天体を 8 点抽出した。本講演では候補天体の詳細な解析結果を述べ、NSM 残骸候補天体として妥当かを議論する。

[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](#)

W21a HEX-P 衛星を用いた中性子星連星合体残骸の同定と r-process 核輝線検出の推定

本上侑吾 (埼玉大学), 寺田幸功 (埼玉大学, ISAS/JAXA), 勝田哲 (埼玉大学), 大住隼人 (埼玉大学), 馬場彩 (東京大学), 藤本信一郎 (熊本高専), 山崎了 (青山学院大学)

宇宙における重元素、特に r-process による元素の合成現場の特定は非常に重大な課題の 1 つである。r-process を進行させる中性子過剰な環境として、最も有力な現場が中性子星連星合体 (NSM) である。NSM からの r-process 核の崩壊による核ガンマ線を観測することができれば、r-process 合成の直接的な証拠となる。しかし、その放射は極めて微弱で、メガパーセクの距離にある合体直後の天体のフォローアップ観測や、銀河系内の NSM 残骸探索は、2030 年代の MeV ガンマ線ミッションでも感度が不足するとされる (Terada et al., 2022, ApJ, 933(1), 111)。

本研究では、r-process 核の娘核からの特性 X 線に着目し、新たに X 線帯域での同定と輝線の検出可能性を検討する。そこで、2-200 keV の軟・硬 X 線帯域で高い有効面積 (4400 cm^2) を持つよう米国で提案されている、HEX-P 衛星計画での検出可能性を探った。NSM における r-process 核からの X 線ガンマ線の放射データは、Terada et al., 2022 の核ガンマ線の推定データに、崩壊後の娘核からの特性 X 線の推定データを加えたものを使用した。NSM は、特殊なスペクトル形状を持つと予想されており、2-200 keV 帯域のエネルギースペクトルのスロープを調べることで他の天体と区別できる。そこで、観測時間 1 Ms の観測シミュレーションを実施し、(25-70 keV)/(2-25 keV) と (70-200 keV)/(25-70 keV) における輻射量の比を調べた。その結果、距離 100 pc 以内において、残骸年齢 10^4 year まで、NSM とその他の天体を、少なくとも 3σ の有意度で区別できるという結果を得た。加えて本発表では、各残骸年齢において、HEX-P のエネルギー帯域で最も強い輝線の検出可能性についても議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

W22a 数値シミュレーションから探るロングガンマ線バーストの光球面放射の性質

伊藤裕貴 (理化学研究所), 松本仁 (慶應大学), 長瀧重博 (理化学研究所), Don Warren (フロリダ工科大学), Maxim Barkov (ロシア科学アカデミー), 米徳大輔 (金沢大学)

ロングガンマ線バーストは大質量星の外層を突き破った相対論的ジェットによって引き起こされていると考えられている。そのプロンプト放射の放射機構は未解明であるが、有望視されている理論の一つに光球面放射モデルがある。光球面放射を正確に評価するためには、星の内部を伝搬するジェットの多次元かつ非定常なダイナミクスを明らかにし、光子が放たれるまでの輻射輸送計算を行う必要がある。我々はこれまでそのようなアプローチで光球面放射の研究を行ってきた。Ito et al. 2019 においては、ジェットの伝搬ダイナミクスを三次元相対論的流体シミュレーションを用いて計算し、そこで得られた時間発展データを背景流体として採用し、モンテカルロ輻射輸送計算を行った。その結果、光球面放射は、その見込み角依存性によって、放射スペクトルのピークエネルギーと最大光度の相関関係である米徳関係を自然に再現することが明らかになった。

本研究では、Ito et al. 2019 にて行われたモンテカルロ輻射輸送計算を、粒子数を 10 倍に増やして実行した。これにより、光子の統計精度を向上させ、光球面放射のより詳細な解析を行った。本計算からは、光球面放射は、時間分解をしたピークエネルギー (E_p) と光度 (L_{iso}) の相関、及びプロンプト放射 (E_p, L_p, E_{iso}) とローレンツ因子の相関 (Γ) も再現することが明らかになった。さらに、偏光の解析からは、ジェットのコア領域からの放射は低い偏光度 ($\lesssim 4\%$) を示す一方、コアの外側からの放射では見込み角度が大きくなるにつれて偏光度が増加する傾向を示し、最大で 20 – 40% 程度に達することが分かった。また、偏光度や偏光角は大きな時間変動やエネルギー依存性を示すことが明らかになった。本講演では、これらの結果について紹介する予定である。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

W23a ガンマ線バースト残光の電波像とジェット構造の関係の研究

高橋和也（東京大学）、仏坂健太（東京大学）、井岡邦仁（京都大学）

ガンマ線バースト残光は、連星中性子星合体に伴う電磁波対応天体の 1 つであり、相対論的ジェットの衝撃波によって加速された電子のシンクロトン放射が電波から X 線までの広い波長帯域で観測される現象である。ガンマ線バースト及び残光を作り出すジェットがどのような構造を持つかは、ジェットの生成・伝播メカニズムと関係する興味深い問題であるため観測・理論の両面から研究がなされているがよくわかっていない。

本研究は、重力波信号の電磁波対応天体として将来観測されるであろうガンマ線バースト残光の電波像を用いてジェット構造を制限できる可能性に着目した。本研究において我々は off-axis GRB 残光の電波像を計算するための計算コードを開発し、それを様々な構造のジェットに適用した。本発表ではジェット構造の特徴が電波像にどう反映されるかを概観し、将来の VLBI 観測によってジェット構造が決定できる条件・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](#)

W24a ガンマ線バースト残光の流体スケール乱流磁場モデルによる偏光観測の解釈

桑田明日香、当真賢二（東北大）、浦田裕次（NCU）

ガンマ線バースト (GRB) の残光は、相対論的な衝撃波で加速された電子からのシンクロトン放射だと考えられている。この衝撃波では星間空間の磁場の増幅が起こっているが、光度曲線と放射モデルの比較から、衝撃波圧縮のみによる増幅よりも 100 倍以上強い磁場が存在することが期待されている。これほど強い磁場の増幅メカニズムは残光の放射機構の大きな謎の一つであり、この解明は衝撃波での高エネルギー宇宙線の加速機構や GRB の全エネルギーの制限につながる。

これまで、磁場の増幅メカニズムはプラズマ不安定と乱流ダイナモの二つが考えられてきた。これら二つのメカニズムで生じる乱流磁場のスケールは大きく異なり、シンクロトン偏光の観測から区別できると予想される。前者の機構で生じるプラズマ慣性長程度のスケールの乱流磁場による偏光はモデル化され、観測と比較されている (Sari 1999; Shimoda & Toma 2021)。観測との比較の結果、プラズマスケールモデルは、GRB 171205A が示す周波数ごとの偏光角の違い (Urata et al. 2019) や、GRB 191221B で見られた可視偏光度と可視偏光角が時間的に一定であるという振る舞い (Urata et al. 2023) と非整合であった。そこで、Kuwata et al. 2023 では、もう一つの増幅機構である乱流ダイナモで生じる流体スケールの乱流磁場に着目し、偏光の準解析的モデルを構築し数値計算を行った。その結果、磁場の非等方性を考慮することで、流体スケール乱流磁場は既存の全ての偏光観測と整合的であるという示唆を得た。本研究では、流体スケールモデルを用いて個々の残光偏光観測データの解釈を行った。GRB 171205A や GRB 191221B、観測史上最も明るい GRB である GRB 221009A の電波・可視偏光観測の結果を解釈し、流体スケールモデルが示唆する乱流磁場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](#)

W25b ブラックホール降着円盤の大局的・長時間計算に向けた Local Adaptive Time Stepping 法の実装

朝比奈雄太 (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は回転するガスの降着による降着円盤が形成される。ガスの質量降着によって解放された重力エネルギーは、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おり、降着円盤の構造やアウトフロー駆動機構を調べるために多くの数値計算が実施されている。近年 Kitaki et al. (2021) らの大局的な BH 降着円盤の計算によって、遠方まで到達できる従来のアウトフロー構造に加えて、降着円盤に再合流するアウトフロー構造が発見された。また、2022 年秋と 2023 年春の天文学会では、降着円盤の歳差運動によって観測されている光度の準周期振動や歳差ジェットを説明しうる可能性を報告した。しかし、計算コストの関係で歳差運動の一部のみの結果の報告であり、光度変動やアウトフローの歳差運動の詳細を得るためには長時間計算が必須である。以上のように大規模・長時間計算の需要が高まりつつある。

そこで我々は Local Adaptive Time Stepping 法を実装することで計算コストの削減に成功した。1 ステップの間に進めることのできる時間 Δt はグリッドの幅に比例する。球座標では BH 近傍や軸付近でグリッド幅が小さいため Δt も小さくする必要がある。それに対して BH 遠方ではグリッド幅が大きくなるため Δt は大きくとることができる。この手法は、BH 近傍や軸付近は小さな Δt でステップ数を多くし、遠方は大きな Δt でステップ数を少なくすることで計算コストを削減する、という手法である。この手法を実装することでグリッド数が 300×300 の降着円盤の計算では 1.6 倍程度、 $200 \times 180 \times 64$ の計算では 6 倍程度の高速化に成功した。また、グリッド数やグリッドの取り方によっては数十倍程度の高速化が見込めることを示した。

[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](#)

W26b ブラックホール磁気圏強電場領域の研究：降着円盤由来 MeV 光子の影響

金滉基 (東北大学)、木坂将大 (広島大学)、当真賢二 (東北大学)

ブラックホール (BH) 周りの降着円盤は、エディントン降着率を大きく下回る低降着率に対し輻射非効率降着流 (Radiatively Inefficient Accretion Flow: RIAF) となる。このとき、効率的な磁束輸送により BH 上空に磁気圏と呼ばれる電磁場優勢領域が形成される。そこでは局所的に磁力線に沿った方向の非定常強電場が発達し、非熱的粒子によるガンマ線放射が卓越する可能性が指摘されている (e.g. Kisaka et al. 2020)。磁気圏プラズマ由来放射の検出は BH スピンなどの物理量に観測的制限を与え、BH ジェット駆動機構モデル (Blandford & Znajek 1977) の検証にもつながる。そのため、現実的なプラズマ粒子シミュレーションにより BH 磁気圏プラズマ現象を解析し、ガンマ線放射の検出可能性を調べるのが重要である。

これまで我々が行った BH 磁気圏の 1 次元・一般相対論的プラズマ粒子シミュレーションでは、磁気圏周囲の降着円盤に由来する低エネルギー光子が磁気圏プラズマに散乱され、その散乱光子が別の円盤由来光子と対消滅することによる粒子注入を考慮した。その結果、プラズマがある程度希薄な状況下では非定常強電場領域が形成されることを示した。一方で、別の効果として円盤由来 MeV エネルギー帯光子同士の間での対消滅による粒子注入も想定できる。これは電場遮蔽に寄与するプラズマの量を増加させ、粒子注入率によっては電場の発達を阻害する。しかし、どの程度の注入率で電場遮蔽が成り立つかについては、定常近似のもとでの解析的な議論に留まってきた (c.f. Levinson & Rieger 2011)。そこで本研究では、この MeV 光子対消滅による粒子注入を導入した 1 次元・一般相対論的プラズマ粒子シミュレーションコードを開発した。それを用いて、電場が遮蔽される粒子注入率を定量的に評価した。講演では、注入電子陽電子対の初期運動量の影響についても議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

W27b 低角運動量ガスの超臨界降着流における降着衝撃波の調査

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

ブラックホールへの超臨界降着（降着率がエディントン限界降着率を超える降着流）は、極めて光度の大きなコンパクト天体のエネルギー源であると考えられている。これまでは比較的角運動量の大きなガスが引き起こす超臨界降着現象が調べられてきたが、潮汐破壊現象などでは比較的角運動量のガスによる超臨界降着が生じる可能性がある。輻射流体シミュレーションにより、SS433 や ULXs（超高光度 X 線源）が低角運動量ガスが引き起こす超臨界ブラックホール降着流で説明可能であるという報告もある (Okuda & Singh 2021)。ただし、ブラックホールへの超臨界降着流をより現実的に調べるためには、一般相対論的輻射磁気流体力学シミュレーションが必要である。

そこで我々は、2.5 次元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、角運動量が小さいガスが引き起こす超臨界降着流では、衝撃波のような高温高密度領域が形成されることと、エネルギー変換効率が超臨界降着円盤よりも小さくなることを明らかにした (2023 年春季年会)。さらに我々は、上記の降着構造の時間進化と安定性を調査するため、低角運動量ガスを連続的に流入させる条件を採用し、長時間シミュレーションを実施した。その結果、ブラックホール近傍の高温高密度領域は、安定して存在できることを明らかにした。講演では降着率依存性やブラックホールのスピンパラメータ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](#)

W28a 可視・近赤外線観測によるヘリウム激変星 PNV J0624+0208 のスーパーアウトバーストの変光メカニズムの研究

磯貝桂介 (京都大, 東京大), 反保雄介, 小路口直冬, 伊藤潤平, 加藤太一 (京都大), 永山貴宏, 山中雅之, 奥田智也 (鹿児島大), 他鹿児島大学 1m 光赤外線望遠鏡グループ, VSOLJ & VSNET collaborations

激変星とは白色矮星を主星に持つ近接連星系で、ロシュローブを満たす伴星から主星へガスが流れ込んで降着円盤を形成している。降着円盤に一定以上の質量が溜まると円盤内の物質は一気に主星へと落ちていき、重力エネルギーの解放により円盤は明るく輝く。この現象はアウトバーストと呼ばれ、様々な降着円盤で広くみられる現象である。ヘリウム激変星は非常に小さな連星質量比=伴星/主星質量を持つ天体が多いため、ダブルスーパーアウトバーストや再増光と呼ばれる特徴的な増光パターンを示す天体も多く存在する。しかし、その前後で円盤がどのような状態になっているのかはよく分かっておらず、増光メカニズムもまた決着がついていない。Matsui+ (2009) ではある天体の可視・近赤外同時撮像データから、アウトバースト後に赤外超過が見られることを明らかにした。しかし、その天体では再増光が発生せず、再増光と赤外超過の関連は不明であった。

2023 年 1 月、新星候補天体として PNV J06245297+0208207 の増光が報告された。小口径望遠鏡による連続測光観測から、この天体がダブルスーパーアウトバーストおよび再増光を起こすヘリウム激変星であることが予測できたため、せいめい望遠鏡に搭載された可視 3 色同時撮像装置 TriCCS および鹿児島大学 1m 望遠鏡に搭載された近赤外 3 色同時撮像装置 kSIRIUS による測光観測を行った。その結果、可視～近赤外での赤外超過成分の色変化の検出に成功し、更に、スーパーハンプと呼ばれる微小変動を可視連続測光データから検出することにも成功した。本講演では、これらの結果から円盤の物理状態を推定し、この天体の変光メカニズムについて考察する。

[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](#)

W29a Tomo-e Gozen 高頻度サーベイデータに基づく銀河系外 Fast Optical Transient の発生率への制限

押切翔, 田中雅臣 (東北大学), 富永望 (国立天文台), 諸隈智貴 (千葉工業大学), 高橋一郎 (東京工業大学), 反保雄介 (京都大学), Tomo-e Gozen コラボレーション

可視光突発天体のうち、明るさの変動が数日スケールである Rapid Transient と呼ばれる天体が近年、発見されるようになってきた。これは、広視野カメラにより高頻度での突発天体探査が可能になったことが大きな要因の一つである。しかし、変動の時間スケールが更に短い、数時間程度での変動を示す突発天体 (Fast Optical Transient, FOT) は観測難易度の高さもあり、ほとんど発見されていない。

そこで、我々は東京大学木曽観測所の 105cm シュミット望遠鏡に搭載されている Tomo-e Gozen カメラを用いた可視光広視野高頻度サーベイのデータを利用し、銀河系外 FOT の探査を行った。このサーベイでは、約 3000 平方度の領域を一晩あたり 4 回程度、1 時間程の間隔で観測しており、数時間で変動する天体を検出することが可能である。約 3 年に及ぶ Tomo-e Gozen の観測データの中から、検出期間が 5 日以内の突発天体を探し出し、113 天体の FOT 候補を選出した。これらを Pan-STARRS1 や ZTF など他のサーベイデータも合わせて光度曲線の比較を行い分類した結果、多くが、銀河系内の矮新星と考えるのが妥当であることが分かった。そして、銀河系外 FOT に対して、タイムスケールごとに発生率の上限値を定めた結果、絶対等級が -26 等級より明るい天体に対して、例えば、4 時間のタイムスケールで $3.0 \times 10^{-9} \text{ Mpc}^{-3} \text{ yr}^{-1}$ という制限が得られ、数日以下のタイムスケールで、他のサーベイよりも厳しい制限を設けることができた。

[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](#)

W30a WZ Sge 型矮新星 TCP J23580961+5502508 のアウトバースト初期の降着円盤構造の進化

佐崎凌佑, 植村誠, 中岡竜也, 今澤遼 (広島大学)

矮新星は白色矮星と低質量星からなる連星系で、白色矮星の周囲に降着円盤を形成する。矮新星は降着円盤の不安定性でアウトバーストを繰り返す。その中でも、典型的な振幅が 7–9 等と、最も規模の大きなアウトバーストを見せる天体は WZ Sge 型矮新星と呼ばれる。WZ Sge 型矮新星の特徴の一つに早期スーパーハンプ (Early Superhumps: ESH) と呼ばれるダブルピークを持つ明るさの周期変動がある。ESH は降着円盤の幾何学的な構造を反映していると考えられている。そのため多波長帯で長時間撮像することで降着円盤の動径方向と方位角方向の情報が得られ、円盤構造を再構成することができる。しかし ESH はアウトバーストから数日しか現れず、多色連続撮像が必要なることもあり、これまでに 3 天体のみでしか円盤再構成は行われていない。

我々はかなた望遠鏡と観測装置 HONIR を用いて、2022 年 9 月 30 日から 10 月 2 日までの 3 日間、WZ Sge 型矮新星 TCP J23580961+5502508 を可視光と近赤外線と同時に撮像した。観測の結果、1 日目の ESH の振幅は V バンドで 0.16 等、色指数 $V-J$ の平均は -0.14 等で、主極大に 0.20 位相遅れて最も赤くなった。3 日間の中では初日の ESH 振幅が最も大きく、平均の色指数は最も青かった。また、主極大に対する色指数の極小の遅れは徐々に小さくなり、3 日目には 0.05 位相となった。3 日連続での ESH の多色観測を行ったのはこの観測が世界初である。再構成した円盤構造では、初日は非軸対称な 1 本腕構造が現れ、その後、2 本腕が発達して軸対称に近づいた。理論的には 2:1 共鳴半径での軸対称に近い 2 本腕構造が予想されているが、特にアウトバースト初日では観測結果とこの理論予想とが大きく異なる。

[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](#)

W31a 数値シミュレーションによる、矮新星 SS Cyg における異常な光度変動の再現

木邑真理子 (理化学研究所), 尾崎洋二 (東京大学)

矮新星は白色矮星 (主星) と低質量星 (伴星) から成る近接連星系で、主星の周囲に降着円盤 (以下「円盤」) を持つ。円盤の熱不安定により、円盤のガスが主星に降着する明るいアウトバースト期と、伴星から輸送されるガスが円盤に貯まる暗い静穏期を繰り返す (Osaki 1996)。SS Cyg は可視光・X 線の両方で最も明るく、100 年もの間およそ一ヶ月おきに振幅 3–4 mag のアウトバーストを繰り返していた代表的な矮新星だが、2019 年 8 月から静穏期の可視光・X 線の光度が徐々に上がり始め (前兆現象)、2021 年 2 月からしばらくの間、振幅が普段の半分程度のアウトバーストを連続的に起こし、X 線光度も一桁程度上がる異常な状態 (anomalous event) が続いた。

Kimura et al. (2021) では、SS Cyg の可視光・X 線観測データを解析し、静穏期における円盤粘性の上昇が異常な光度変動の原因であると示唆した。この観測結果に基づき、Kimura & Osaki (2023) では、円盤半径可変の 1 次元数値計算コード (Kimura et al. 2020) を用いて、SS Cyg の異常な光度変動のシミュレーションを行った。その結果、長期的に静穏期の円盤粘性が増加し続けることで、静穏期の光度が上昇し、アウトバーストの振幅・頻度がそれぞれ減少・増加し、アウトバーストの増光が緩やかになることが分かり、前兆現象と似た光度変動を再現できた。しかし、円盤粘性の増加だけでは anomalous event に似た光度変動を再現できなかった。そこで、伴星からのガス流が円盤面をオーバーフローする割合が急上昇するのではないかと考え、シミュレーションに取り入れたところ、anomalous event に近い光度変動を再現できた。伴星からのガス流のオーバーフローは、なぜ矮新星の静穏期の X 線光度は理論予想より ~2 桁以上高いのか? という長年の謎を解決するかもしれない。本講演では、これらの数値シミュレーションの結果とその考察を紹介する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

W32a ガス中を運動する天体が受ける抵抗力の公式：降着の効果

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)

我々の宇宙には、ブラックホールをはじめとしてガス中を運動する天体が遍在している。天体がガス中を運動すると、下流側に高密度ガス塊が形成され、その重力によって抵抗力 (力学的摩擦) を受け、減速すると考えられている。このとき、天体が受ける抵抗力を速度の関数として表した公式が、Ostriker (1999) で線形解析を用いて導出されている。この公式は線形領域、つまり天体の重力圏よりも外側でしか成り立たないが、その後、数値シミュレーションによって非線形領域でも成り立つ公式が提案されている (Kim and Kim 2009 等)。

しかし、これらの研究ではガス降着の効果が無視されており、天体の運動を正確に記述できていなかった。降着ガスは天体に対して運動量を持ち込むため、天体が受ける真の抵抗力は、これと力学的摩擦の和となるはずである。2023 年度春季年会 W14a において、真の抵抗力がシミュレーションの分解能に依存せず、力学的摩擦に比べて本質的であることは既に指摘した。

本研究では、SFUMATO (Matsumoto 2007) による 3 次元流体シミュレーションを用いることで、降着ガスによる運動量の持ち込みを考慮した真の抵抗力を天体の速度の関数として調べ、Ostriker (1999) に対応する公式を構築した。その結果、真の抵抗力は、超音速領域において Kim and Kim (2009) で提案された力学的摩擦の値に近づく一方で、亜音速領域においてはガス降着による非線形性によって Kim and Kim (2009) の値よりも大きくなることを明らかにした。また、マッハ数が 1 付近での力学的摩擦についてはこれまであまり言及されてこなかったが、真の抵抗力について調べた本研究では、その値がほぼ一定となることがわかった。本講演ではこれらの結果について報告するとともに、構築した公式の応用についても議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

W33a Evolution of hot white dwarf binaries

Lucy McNeill (Kyoto University), Ryosuke Hirai (Monash University)

The Laser-Interferometer-Space-Antenna (LISA) will be capable of detecting 10's of thousands of Galactic double white dwarf binaries with orbital periods < 20 minutes. The current catalogue of detached white dwarf binaries detected by Zwicky Transient Facility (ZTF) suggests that short-period binary components are hot (surface temperatures $> 15,000$ K), and that their radii are up to a factor of two larger than the cold mass-radius relation for completely degenerate white dwarfs (Eggleton 1983). This is also the case for the recent, first ever temperature measurement of a mass transferring donor white dwarf in a binary (Burdge et al. 2023). Taken together, these observations are in conflict with the theoretical picture typically assumed in Galactic population modelling. Namely, that white dwarfs cool before the onset of mass transfer, so that the stability criteria for white dwarf binary mergers is determined by the cold mass-radius relation. Using a temperature-dependent mass radius relation, we show that a larger fraction of Galactic white dwarf binaries should merge, compared to using the cold relation. Next, we consider tidal heating as a possible explanation for the temperature evolution suggested by these observations. Finally I will put these results into context regarding preparing for the unprecedented data set of Galactic white dwarf binaries from LISA in the 2030s.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

W34a 反復新星 U Scorpii の 2022 年爆発：食解析から探る光球面の後退と降着円盤の構造変化

村岡克紀, 伊藤潤平, 野上大作, 加藤太一, 小路口直冬, 反保雄介, 磯貝桂介, 田口健太 (京都大学), 森山雅之 (VSOLJ), Franz-Josef Hambsch, Berto Monard, Tonny Vanmunster (VSNET), 他 VSNET Collaborations

新星とは、白色矮星と低温星 (伴星) の近接連星系において、白色矮星表面へと降着したガスの熱核反応の暴走で発生する爆発現象である。爆発が起きると光球面は連星系全体より大きくなり、可視光では突発的な増光として観測される。その後、光球面の後退に伴い減光し、連星間距離程度まで小さくなると、高軌道傾斜角の系では食が観測される。また、中には減光中に一時的に可視光度が一定になる (平坦期) 系が存在する。U Sco の 1999 年爆発から、平坦期は白色矮星に照射された降着円盤に由来するものであり、その円盤半径は静穏期より大きく L1 点まで達する可能性が示唆された。しかし、これを補強する降着円盤の形成過程を追った観測は殆どない。

我々は、U Sco の 2022 年爆発に関し、VSNET を通じて国際共同可視連続測光観測を行った。食は可視極大期から約 11 日後に見え始めた。一方で平坦期は約 14 日後に始まり、約 24 日後に終了した。この爆発では、平坦期に入るよりも前に食が開始しており、伴星、降着円盤の順に寄与が見え始めるという理論的な予想と合致した。また、得られた食のプロファイルから食幅を見積もり、降着円盤半径の時間変化を求めた。平坦期の円盤半径は L1 点近くまで達するが、平坦期を終えると急激に tidal truncation 半径まで落ちていくことが初めて確認された。本講演では、これらの結果から光球面の後退、及び新星爆発による降着円盤の構造変化について議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

W35a Ia 型超新星の Double Detonation model: 炭素爆轟波着火の He 外層質量の影響

鶴見薫樹, 前田啓一, 岩田和也 (京都大)

0.5-8 太陽質量 ($M_{\odot}$) の中小質量星は最終的に C/O を主成分とする白色矮星になり、その一部は核融合反応により Ia 型超新星爆発を起こして一生を終える。Ia 型超新星の詳細な爆発メカニズムは未解明であり、有力なモデルの一つに Double Detonation model がある。本モデルでは、白色矮星表面に降着した僅かな He 外層が点火し、超音速の燃焼波である detonation が発生する。発生した衝撃波が内側へ伝搬することで、C/O コアにも detonation を発生させ最終的な爆発に至ると考えられている。

Double Detonation model で Ia 型超新星の観測的性質を満たすためには少量の He 外層 ($M_{\text{He}} \lesssim 0.02 M_{\odot}$) で爆発が実現されることが要求される。このような小質量 He 外層の場合に He detonation が発生する条件が調査される一方で、C/O コアの点火条件に関しては見過ごされている。我々は、C/O コア点火条件として、He 質量 (M_{He}) $\sim 0.01 M_{\odot}$ が重要な境界値になると概算した。そこで本研究では、 $0.4 \sim 1.35 M_{\odot}$ の C/O コアに対して M_{He} を $0.01 M_{\odot}$ 近傍で連続的に変化させ、親星モデルを作成した。我々は、数値流体計算コード FLASH を用いて、各親星モデルに対し He 外層に点火し、衝撃波の進行を解き、detonation の成否を判定した。計算条件としては一次元球対称や 13 核種の核反応ネットワーク (Aprox13)、適合核子細分化法 (AMR) などを採用した。

計算の結果、He 外層質量と Double Detonation の成否との間に、小質量 ($< 0.60 M_{\odot}$)・中質量 ($0.60 \sim 1.10 M_{\odot}$)・大質量 ($> 1.10 M_{\odot}$) の親星モデルに大別される相関関係が見られた。特に、大質量親星モデルでは観測的制限 ($M_{\text{He}} \lesssim 0.02 M_{\odot}$) を満たしての detonation に成功した。本講演では、これらの結果から、Ia 型超新星の爆発モデルとしての Double Detonation model の妥当性を評価し、報告する。

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

W36a 超新星爆発におけるニュートリノ核子散乱の影響

伊藤侃 (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、ニュートリノと物質との反応を適切に組み込んで解く必要がある。その中でもエネルギーのやり取りがある反応はニュートリノ加熱機構に大きな役割を果たし、重要である。また、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り、これは非常に高い計算コストがかかる。そのため、先行研究でエネルギーのやり取りがある反応の中でも等エネルギー散乱として近似してきたニュートリノ核子散乱について、計算コストを抑えながら、非等エネルギー散乱過程としてニュートリノ輻射輸送を解くことが要求される。本研究では、ニュートリノ核子散乱をエネルギーのやり取りがある効果を組み込んで計算する方法について調べる。本講演では、その計算手法の妥当性や、反応だけによる運動量変化を計算した OneZone 計算の結果、超新星爆発に対する影響について報告する。

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

W37a Core-collapse supernovae neutrinos: Effect of energy-dependent scattering on fast collective neutrino oscillations

Milad Delfan Azari, Hirokazu Sasaki, Tomoya Takiwaki, Hirotada Okawa

In astrophysical environments such as supernovae, where neutrinos are plentiful, collective neutrino oscillations play a crucial role in transporting lepton flavor. Although intensive and extensive studies have been undertaken to unravel the explosion mechanism of supernovae, the evolution of neutrino flavor conversion in supernova cores remains a mystery. It is known that neutrino self-interactions in dense neutrino media such as supernova cores can trigger a change in collective neutrino oscillations. Understanding the physics of neutrino flavor conversions is very important as if collective neutrino oscillations occur fast in supernova cores, they can regenerate stalled bounce shocks and provide energy for supernova explosions.

In this talk, I will present our latest results on the study of the dynamics of fast neutrino flavor conversions with collisions under energy-dependent treatment. I will present how the neutrino flavor conversion will be significantly enhanced if the energy-dependent collision term is considered in the neutrino transport equation which has been ignored in previous studies. It is believed that this effect may have implications for core-collapse supernova explosion mechanisms, nucleosynthesis, and neutrino 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](#)

W38a A better image and time variation of Sgr A* from EHT2017 data

Makoto Miyoshi(NAOJ), Yoshiaki Kato(JMA), & Junichiro Makino(Kobe Univ.)

EHT Collaboration (EHTC) が報告したブラックホールのリング像は、Point Spread Function (PSF、電波干渉計では dirty beam と呼称) の構造に由来する artifacts であり、M 87 や Sgr A* の天体像ではない。電波干渉計、VLBI による厳密な像解析では、最終画像をデータとの残差量に基づいて選択する。我々は EHTC リング像よりも残差が小さく、かつ先行研究での像と無矛盾な像を得ている (我々の M 87 像では、広がるジェット像の検出、また Lu et al. (2023) の像と一致するコア構造を先行して得ている)。

春の学会では 2022 年 5 月、EHTC 発表の Sgr A* のリング像について、その公開データを調査した結果を報告、また、我々の独自のデータ解析から、EHTC のリング像よりも観測データと整合性のある別の像を得たことも報告した。その形状は従来の 43, 86 GHz 観測の結果、つまり、東西方向に伸び、東側が明るい像と矛盾しない。

しかし、M 87 の場合と比べると、我々の像、EHTC のリング像ともになぜかデータとの整合性が悪く、残差が有意に大きい。その原因を探るため EHTC 公開の全データのクロージャ位相、振幅を調査し、すべてにおいて、二つある記録チャンネル間でそれらの差があった。そのため残差はその差より小さくならない事が判った。クロージャはアンテナ観測誤差には依らず、天体構造のみによってきまる量であるので、極めて理解しがたい現象である。天体情報が十分正しく記録されていない恐れもある。

その一方で、観測データは正しいと仮定し、時間変動像の復元を試みている。SMI method (Miyoshi 2008) を用い周期的変動成分を抽出、そこで得た各周期のフーリエ成分を再合成して Sgr A* の時間変動動画の作成を試みている。その結果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](#)

W39a IXPE 衛星による恒星質量 BH Cyg X-1 の偏光 X 線の短時間変動の探査

二之湯開登 (東京理科大学), 山田真也 (立教大学), 五十嵐太一 (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 (立教大学)

ブラックホール連星 (BHBs) は伴星からのガスがブラックホールに降着する過程で、ブラックホール (BH) の周囲には X 線を放射する数 keV の降着円盤と数百 keV のコロナが形成され则认为られている。しかし、その詳細な物理過程や幾何学的構造は明らかになっていない。BHBs からの X 線は、降着円盤やコロナにおいてコンプトン散乱を受け偏光していると考えられており、その偏光をプローブとして、BH 近傍の物理状態の解明が期待されている。2021 年に打ち上げられた X 線偏光観測衛星 IXPE による Cyg X-1 の観測結果からは、2-8 keV で偏光度 4 % と見積もられ、降着円盤とコロナの幾何学的構造が制限された (Krawczynski et al. 2022)。また、BHBs からの X 線強度は非周期的に短時間の激しい変動を示すことが知られている。この変動をとらえる解析手法として、「ショット解析」が考案された (Negoro et al. 1994)。「ショット解析」では、光度曲線から数秒以下の増光現象 (ショット) を複数識別し、足し込んで生成されたプロファイルにより、その特徴を捉えることができる。

我々はショット解析と偏光観測を組み合わせ、短時間の強度変動と偏光状態の変動の相関から、短時間の強度変動の起源を探ることを目的に、IXPE の Cyg X-1 観測データにショット解析を適用し偏光 X 線の短時間変動の研究を行っている。IXPE から得られる 2-8 keV の光度曲線を用いてショット解析を行い、ショットがピークの ~ 1 s 前から明るくなりはじめ、ピーク後 ~ 1 s で暗くなることが確認できた。さらに、短時間の X 線増減光に伴うストークスパラメータ (Q, U) およびモジュレーションカーブの詳細解析を行い、偏光 X 線の変動量の評価を行った。本講演では、偏光 X 線の短時間変動へのアプローチとその起源の考察について述べる。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

W40a ブラックホール天体 XTE J1550 – 564 の準周期振動とエネルギー依存性

水川竜希 (埼玉大), 久保田あや (芝浦工大), 鶴見一輝 (芝浦工大), 田代信 (埼玉大)

ブラックホール連星では、しばしば周期が完全には一定ではない時間変動である準周期振動 (Quasi-periodic oscillation: QPO) が X 線で観測される。これは時間変動の Power Spectrum Density (PSD) で幅の広いピークとして特徴づけられ、中心周波数と半値全幅の比の値である Q 値と、ノイズのパワー、形状から typeA、B、C と分類できる (Remillard et al. 2002, ApJ, 564, 962)。硬 X 線が相対的に明るいハード状態や hard intermediate state (HIMS) では typeC の QPO が、soft intermediate state (SIMS) では typeB の QPO が検出されることが多く (Ingram & Motta 2019, NewAR, 85, 101524)、降着円盤の周りに存在する、温度が数 10keV の高温プラズマが QPO の起源であることが示唆される。本研究では、高温プラズマと QPO の関係を詳細に調べるために、強い QPO が発見されているブラックホール天体 XTE J1550 – 564 (Sobczak et al. 2000, ApJ, 531, 537) の RXTE 衛星による観測データを用いて PSD のエネルギー依存性について精査した。

1 つの観測時期ごとのデータを 2-4keV、4-13keV、13-30keV、30-60keV のエネルギー帯に分割して PSD を作成し、typeC では lorentzian モデル、typeB では gaussian モデルを用いて中心周波数、QPO のパワーを評価した。typeC の QPO で、全エネルギー帯で中心周波数が高いほど QPO のパワーは小さく、その影響は低エネルギー帯で顕著に現れるという結果を得た。また、typeC の QPO は全エネルギー帯では、ハード状態と HIMS に形状の差は見られないが、エネルギーを分けた PSD では、30-60keV の PSD でハード状態と HIMS に顕著な違いが現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](#)

W41a ブラックホール X 線連星 MAXIJ1820+070 の長期光度曲線の解析

樋口成和 (東京工業大学), 村田勝寛 (京都大学), 河合誠之, 庭野聖史, 笹田真人, 高橋一郎, 谷津陽一 (東京工業大学), 伊藤亮介 (美星天文台), 志達めぐみ (愛媛大学), 花山秀和 (国立天文台), 堀内貴史 (東京大学), 東京工業大学 MITSuME チーム

ブラックホール X 線連星はブラックホールと伴星による近接連星系であり、伴星からブラックホールへの質量降着によって形成される降着円盤では急激な重力エネルギーの解放によって X 線の大増光が観測される。増光は幅広い波長域で観測され、可視光の放射機構としては標準円盤からの多温度黒体放射やジェットによるシンクロトロン放射が考えられている。

MAXI J1820+070 は全天 X 線監視装置 MAXI によって 2018 年 3 月に発見されたブラックホール X 線連星である。(Kawamuro+ 2018 ATel #11399) 我々は本天体について MITSuME 明野・岡山 50cm 望遠鏡で可視光 3 バンドでの高頻度モニター観測を行っており、11 等に達したメインアウトバーストとそれぞれ 13 等に達した 3 度のミニアウトバーストを X 線と同期して検出した。また、この観測から 3 度のミニアウトバーストの光度曲線が類似していることが分かった。本研究では長期的な可視光変動を光度曲線や色等級図を用いて解析することで、当該天体の放射機構を推定した。特に色等級図で 3 度のミニアウトバーストを重ねて比較した結果、ピークを迎える前は青くなりながら増光し、ピークで一度赤くなった後減光と共に再度少しずつ青くなっていくことがわかった。この色等級図上での変化をモデルと比較したところ、降着円盤成分とジェット成分の強度の変化で可視光の光度変化が概ね矛盾なく説明できることがわかった。本講演では、3 度のミニアウトバーストについて色等級図での解析結果を中心に報告する。

[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](#)

W42a MAXI J1820 + 070 における X 線変動の動的因子モデルによる物理成分分解

大間々知輝, 辻本匡弘 (総合研究大学院大学), 海老沢研 (東京大学), 水本岬希 (福岡教育大学)

ブラックホール連星 (BHB) はブラックホールと主系列の伴星からなる連星系であり、ブラックホール周囲の降着円盤や高温降着流、その反射などが X 線で放射される。BHB は主にソフト状態とハード状態があり、ソフト状態ではブラックホールのごく近傍まで降着円盤が伸びていることが分かっている。一方、ハード状態の周辺構造や寄与成分については議論が続いている。エネルギースペクトル解析では成分のエネルギー分布を調べることは可能だが、それら成分の変動を調べることは難しい。変動自体の特徴や成分変動の相関関係を調べることは周辺の物理構造を反映したものとなっており、これへのアクセスは多くの物理情報が抽出できると期待される。BHB の周辺構造の理解のためにスペクトルとタイミングの同時解析が必要である。

2017 年に打ち上げられた Neutron star Interior Composition Explorer (NICER) は優れた時間分解能と大きな有効面積を持つことから、BHB のスペクトルおよびタイミングを同時に研究することが可能になった。2018 年にアウトバーストを起こした MAXI J1820+070 は観測条件に恵まれた天体であり、これの NICER 観測は新手法の開発に最適なデータセットの 1 つである。我々はこれを用いて、因子分析の時系列版である「動的因子モデル」を用いた解析手法を開発した。通常の因子分析と同様に、動的因子モデルは因子回転による任意性を持っている。ここにエネルギースペクトル解析の結果を用いることで、観測光度曲線からエネルギースペクトルでフィットした成分変動への分解が達成される。すなわちスペクトルとタイミングの同時モデリングが実現したことになる。本講演ではモデルの設定と観測光度曲線の成分分解の結果やそのフーリエスペクトル解析の結果とその物理的な示唆について考察する。

[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](#)

W43a 広帯域 X 線観測で探るブラックホール連星 GRS 1915+105 の降着状態の変化

菅原一希 (東理大), 小林翔悟 (東理大), 松下恭子 (東理大)

GRS 1915+105 は 1992 年に発見された、K 型巨星と連星系をなす X 線トランジェント天体である。エディントン比はブラックホール X 線連星系の中でも極めて明るく 100% 程度に迫り、発見以来光度の激しい時間変動が観測されていた。しかし、2018 年に突如減光してから現在に至るまで静穏状態が続いている。その原因としては、状態変化により暗くなった可能性 (Ratheesh et al., 2021) や視線方向に何らかの吸収体が現れた可能性 (Neilsen et al., 2023) が議論されている。本天体では、他のブラックホール X 線連星系で観測されている一般的な状態に当てはまらない、特殊なスペクトルが観測されることもある。本天体の降着状態を調べることは、ブラックホール X 線連星系における新たな降着状態を探ることにつながる可能性がある。

解析には、軟 X 線帯域に有効面積を持つ *NICER* と、硬 X 線帯域に有効面積を持つ *NuSTAR* の同時観測を用いることで、広エネルギー帯域の観測を可能とした。本研究では 2017 年から 2019 年にかけての、増光を繰り返していた活動期から減光後の静穏期にかけてのデータを比較することで、天体の光度が変化した原因を探る。活動期のデータでは特徴的な輝線は見え、滑らかな連続成分が優位なスペクトルが得られた一方で、静穏期のデータでは鉄輝線がはっきりと見える、複数の電離反射成分で再現できるスペクトルが得られた。このとき、活動期と静穏期では吸収成分の値に大きな差は見られなかった。このことから、我々から見える支配的な放射成分は、活動期のべき成分から静穏期の反射成分に変化していて、それは天体の降着状態の変化が原因と考えられる。

[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](#)

W44a ブラックホール周囲の構造解明に向けたコンプトン散乱を考慮した一般相対論的偏光輻射輸送計算コードの開発

竹林晃大 (筑波大学), 大須賀健 (筑波大学), 川島朋尚 (東京大学)

ブラックホール周囲に存在すると考えられる降着円盤などの構造は、輻射スペクトル解析やその時間変動の議論をもってしてもまだよくわかっていない。X 線の偏光観測はこうした状況を打破する可能性がある。電子散乱による X 線の偏光度および偏光方向がブラックホール周囲の物質の空間分布によって決まるからである。例えば、偏光撮像衛星 IXPE によって判明した電波ジェットと向きの揃った X 線偏光は、Cyg X-1 の高温コロナが降着円盤に沿うように分布していることを示唆している (Krawczynski et al. 2022)。我々は、まずコンプトン散乱による偏光計算を行うために、非相対論的な偏光輻射輸送計算コードを開発してきた (2023 年春季学会)。しかし、より正確にブラックホール周囲の物質の空間分布を解明するためには、一般相対論的偏光輻射輸送計算を実施 (Schnittman et al. 2013) することで、観測結果と直接比較可能な理論モデルを構築することが不可欠である。

そこで我々は、一般相対論的輻射輸送計算コード RAIKOU (Kawashima et al. 2023) に上記のコンプトン散乱の偏光計算モジュールを組み込むことで、一般相対論的偏光 X 線輻射輸送計算コードへと拡張した。特殊相対論効果および一般相対論効果のテストとして、円盤から放射された光子の偏光輻射輸送計算を実施したところ、先行研究 (Schnittman et al. 2009) で示された偏光方向や偏光度を再現することに成功した。さらに、円盤の上空に光学的に薄い高温のコロナを設置してコンプトン散乱を含めた計算を実施したところ、散乱によって生じた高エネルギー光子が降着円盤に垂直な偏光方向を示すことがわかった。本講演では、密度、温度、流体速度をパラメータとして、様々な円盤コロナ構造を仮定した計算結果についての議論も行う。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

W45a 相対論的流体中での多重散乱光子が作る輻射強度分布の解析解

竹田麟太郎 (筑波大学), 大須賀健 (筑波大学), 高橋労太 (苫小牧工業専門学校)

ブラックホール周辺の光学的に厚い降着円盤やそこから発生する高密度アウトフローの内部では、光子が頻繁に散乱されながら伝搬していると考えられる。こうした相対論的流体中での光子の多重散乱過程を数値的に解くためには、極めて小さな時間ステップが必要となるため、多くの輻射輸送計算・輻射流体力学計算コードでは近似的な手法を採用しているのが現状である。ブラックホール周囲の構造やダイナミクスをより正確に解明するには、相対論的流体中での光子の多重散乱を正確に扱える手法の開発が必要である。

そのような背景のもと、高橋労太らは、相対論的流体中で散乱を繰り返す光子の集団的振る舞いを記述する確率密度関数の解析解を得ることに成功した (2022 年度天文学会春季年会)。これによって、任意の時刻での光子の数密度分布 (輻射エネルギー密度に対応) を正確に予言することが可能となった。ただし、光子の方向分布 (輻射強度に対応) については未解明であった。そこで本研究では、高橋労太らの解析解を応用することで、相対論的流体中の輻射強度分布の解析解を導出することに成功した。光の輻射エネルギー密度、輻射フラックス、輻射ストレスもこの輻射強度分布から得ることができる。講演では解の導出過程に加え、解の応用に向けた展望についても議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

W46a 円柱シアリング箱による降着円盤の磁気流体数値実験: 間欠的活動性と微細構造の形成

鈴木 建 (東大総合文化)

降着円盤の磁気流体機構を数値実験的に調べる代表的なこれまでの研究手法として、大局的なシミュレーションと局所円盤シミュレーションを挙げることができる。前者は大域的効果を全て考慮することができる現実的な手法である一方、小スケールの現象を十分に解像することができないという問題にしばしば遭遇する。対して局所シミュレーションは解像度の問題は容易に克服できる一方で、局所デカルト近似にともなう対称性に仮定のため、角運動量が定義できず中心天体への降着も直接扱えないという弱点がある。

我々はこの両極端の手法の長所を取り入れつつ、弱点を回避する円柱シアリング箱近似による、磁気流体数値シミュレーション手法を開発している。この手法では、局所円盤領域のみを数値実験するために欲しいだけの解像度を設定できる一方で、円い円盤の曲率を考慮しているため、角運動量が普通に定義でき質量降着も直接取り扱えることができる。

円柱シアリング箱近似を用いて降着円盤の磁気回転不安定性により励起された磁気乱流の基本的性質を精査した結果、デカルト近似の場合に比較して高い間欠性を示し、さらに微細構造が励起され易いことが分かった。これらはいずれも、デカルト近似では考慮できないエピサイクル振動の動径方向依存性に起因していることを突き止めた。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

W47a 相対論的リーマン問題解法の改善法：高ローレンツ因子をもつ膨張波による解像度問題

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る。例えば、ガンマ線バーストやブラックホール候補天体の周辺で観測される高エネルギー・ジェット等である。こういった相対論的な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、相対論的な数値流体計算においては、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る。

このような問題は、Riemann 問題といった単純な場合でも生じる。Riemann 問題とは、仕切りの左右に一定値をもつ流体を入れた状態を初期とし、その仕切りを外したとき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、非相対論的な場合と違って、仕切りに沿った速度成分（横成分）が解に影響を与える。初期の横成分が大きいような場合は非常に高解像度な計算を行わないと解析解を再現できないことが知られている (e.g., Zhang & MacFadyen 2006)。しかし、その原因や解決法は未解明である。

そこで我々は、この困難の改善に取り組み、横成分解像度問題が衝撃波側ではなく、膨張波側の解像度が原因であることを突き止めた。本発表では、横成分解像度問題が生じ得る条件を示す。また、我々が開発した粒子法である Special Relativistic Godunov SPH 法 (Kitajima & Inutsuka 2023 in prep.) をもとに、それが具体的な数値計算法においてどのようにして解決しうるかを議論する。

[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](#)

X01a 可視光から近赤外の多波長広視野撮像データを用いた原始銀河団探査

石田光 (東北大学), 兒玉忠恭 (東北大学), 小山佑世 (国立天文台), 他 *HSC*² team

銀河団は宇宙年齢スケールで形成進化してきたと考えられており、特に最も星形成が活発で激動の時代とされている $z = 1 - 3$ の原始銀河団を詳細に調べることは極めて重要である。原始銀河団はサンプル数が少なく、銀河団の普遍的な性質を知るには未だ不十分である。近年すばる望遠鏡による可視光の大々的サーベイ、HSC-SSP が完了し、Wide 領域の 232 平方度の領域に 2000 個近くの $z < 1.1$ の銀河団候補天体が発見されている (Oguri 2018)。さらに Deep 領域では赤外線観測した他の望遠鏡との協調観測が行われ、より遠方の銀河探査や詳細な物理量を推定するのに有効な近赤外線撮像データが蓄積されている。これらの広視野かつ深い観測データは銀河団を広い視野で探査するのに最適であり、銀河団の形成進化や銀河団銀河の性質を統計的に調べることができる。私たちはこれらのデータセットを組み合わせ、シンプルな色選択により複数の赤方偏移スライスごとに銀河団サーベイを行った。結果、およそ 7.2 平方度の視野の COSMOS field において 3 つの赤方偏移スライスで 27 個の銀河団候補天体を発見することができた。さらに、未解析の領域を含めるとおよそ 27 平方度の領域で同様な解析が可能であり、より遠方の赤方偏移スライスを含めるとサンプル数は 10 倍以上になると期待される。それらのサンプルは今後すばる望遠鏡に搭載され共同観測が開始される予定の Prime Focus Spectrograph (PFS) によって広視野分光フォローアップが可能であり、撮像・分光データの組み合わせた大規模なサンプルが構築できると考えている。本講演では発見した原始銀河団候補天体、候補銀河の空間分布、色の性質等の解析成果と、今後のサーベイとフォローアップ計画について議論・報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

X02a New insight into the role of AGNs in forming the cluster red sequence

Rhythm Shimakawa (Waseda University), Yusei Koyama, Masayuki Tanaka, Ichi Tanaka (NAOJ), Tadayuki Kodama (Tohoku University), et al.

The Spiderweb protocluster at $z = 2.2$ is one of the best studied protocluster so far, based on huge investments from various telescope facilities. We report here the latest results in this field, adding a new dimension to previous research on cluster formation at high redshift. Prior studies have reported a significant overdensity of massive $H\alpha$ (+[NII])-emitting galaxies, which were previously thought to be dusty, active star-forming galaxies given their rest-frame optical and infrared features. However, this paper argues that a third of them are more likely to be “passively-evolving” galaxies with AGNs rather than star-forming galaxies, judging from the multi-wavelength SED fit with the X-ray module. The bulk of their $H\alpha$ + [NII] emission would come from the central AGNs to explain their SED-based star formation rates. Such a different interpretation between this work and past studies, including ours, is particularly supported by the recent deep Chandra/X-ray observation. Furthermore, we have spectroscopically confirmed such a quiescent nature for one of them, with its multiple stellar absorption lines but with [NII] emission lines. This important update provides a new insight into the role of AGNs in forming the cluster red sequence observed in the present-day universe.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

X03a $z \sim 2$ における原始銀河団形成初期の構造と星形成銀河の性質

大工原 一貴, 兒玉 忠恭 (東北大学), 日下部 晴香, 田中 竜, 本原 顕太郎, 小山 佑世 (国立天文台), 小西 真広 (東京大学), 福島 啓太 (大阪大学), 嶋川 里澄 (早稲田大学), 梅畑 豪紀 (名古屋大学)

銀河団の祖先である原始銀河団は、大規模構造の結末点で発達してきたと考えられている。銀河の形成進化を理解するためには、原始銀河団という特殊な環境が、その成り立ちと共に、銀河の形成進化をどのように左右してきたかを明らかにすることが必要である。 $z = 2.30$ にある HS1700+64 (HS1700) には、100 kpc 以上の大きさを持つ 7 つの $\text{Ly}\alpha$ のガス雲 (Lyman-Alpha Blob, LAB) が 2 本の直線上に存在する (Erb et al. 2011)。このことから、この原始銀河団はフィラメント状の形態を持ち、銀河団へと成長する初期の組み立て段階にあると考えられている。今回我々は、すばる望遠鏡に搭載された SWIMS と MOIRCS の狭帯域フィルターを用いて、HS1700 の $\text{H}\alpha$ 輝線銀河と [OIII] 輝線銀河を新たに見つけ出し、星形成銀河の空間分布とそれらの性質について調査を行った。その結果、2 本の LAB フィラメントの交点に、 $\text{H}\alpha$ 輝線銀河と [OIII] 輝線銀河が密集し、かつ大質量銀河が集中していることが分かった。この領域はフィラメントの結末点にあるため銀河が加速的に成長し、今後この領域を中心として大きな構造を形成していくと考えられる。また、HS1700 には活動銀河核の候補天体となり得る、大質量かつ高電離状態 ($\log([\text{OIII}]/\text{H}\beta) > 1$) の天体が約 10 天体ほど存在していることも分かった。この原始銀河団では、すでに活動銀河核が一般フィールドよりも多く存在することが知られており (Digby-North et al. 2009)、星形成活動だけではなく、活動銀河核の活動性も促進されている可能性がある。本講演では、これらの結果についてより詳しく説明する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

X04a 赤外線全天観測アーカイブデータに基づく、 $z = 1 - 3$ の明るい電波銀河周辺環境における隠れた星形成の進化

久保真理子 (東北大学), 柏川伸成, 伊藤慧 (東京大学), 利川潤 (西はりま天文台), 内山久和 (国立天文台)

遠方銀河高密度領域、原始銀河団は、現在の銀河の環境依存性がいつどのように生まれたか解明するための重要なターゲットである。原始銀河団は主に可視近赤外線で見えられてきたが、近年のアルマ望遠鏡等によるサブミリ波観測から、ダストに隠れた活発な星形成銀河が多く存在し、原始銀河団では急激に大質量銀河が成長しつつあることが示されている。よって原始銀河団の星形成の進化の平均的描像を得るには、多くの原始銀河団の可視光だけでなく遠赤外線 - ミリ波までの多波長観測が必要となる。特に赤外線 Spectral Energy Distribution (SED) を決定するための遠赤外線帯の観測は地上からは困難である。

本研究では、原始銀河団が付随するとされる分光赤方偏移 $z = 1 - 3$ の明るい ($\log L_{1.4\text{GHz}}/\text{ergs}^{-1} > 27$) 電波銀河の WISE ($3 - 20\mu\text{m}$)、Planck 衛星 ($350 - 850\mu\text{m}$) 等赤外線アーカイブ画像のスタッキング解析を行い、電波銀河および周辺領域からの平均的な中遠赤外線総放射を検出した。Planck を用いて検出した遠赤外線放射は Herschel SPIRE 等で測定された個々の電波銀河の 2 倍以上であったこと、WISE では点源より広がった放射が検出されたことは、検出した放射が電波銀河本体からのものだけではなく、電波銀河周辺の銀河高密度領域にもよることを示している。SED フィットに基づき、電波銀河と周辺領域の赤外線に基づく平均的総星形成率は $z = 2 - 3$ で 300 から $3000 M_{\odot} \text{yr}^{-1}$ へ進化したことがわかった。また WISE $12\mu\text{m}$ には星形成銀河や電波銀河本体の活動銀河核だけでなく、周辺領域の隠れた活動銀河核の超過も寄与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](#)

X05a 赤方偏移 3 から 5 の原始銀河団における明るい銀河の密度超過

利川潤 (兵庫県立大学), Stijn Wuyts (University of Bath), 柏川伸成, 伊藤慧, 小野宜昭 (東京大学), Chengze Liu (上海交通大学), Marcin Sawicki (Saint Mary's University), Roderik Overzier (ブラジル国立観測所), 久保真理子, 児玉忠恭 (東北大学), 内山久和 (国立天文台), Malcolm Bremer (Bristol University), Yen-Ting Lin (ASIAA)

原始銀河団と呼ばれる遠方宇宙における銀河高密度領域は、宇宙の構造形成だけではなく銀河進化と環境効果の関連性を探るためにも重要な研究対象である。しかし銀河団は稀な天体であることからサンプル数が少なく、また多様な探査手法による観測バイアスも原始銀河団の特徴の理解を難しくさせている。本研究は HSC すばる戦略観測 (HSC-SSP) の広視野可視撮像サーベイを用いることで一様な手法による多数の原始銀河団サンプルの構築を行い、原始銀河団の一般的な描像を理解することを目指している。Deep 領域は $\sim 24 \text{ deg}^2$ もの広さを持ち、U-band サーベイの CLAUDS と組み合わせることで深い多色撮像データも利用できる。赤方偏移 3 から 5 にわたって合計 100 個以上の原始銀河団候補領域を同定することができた。次に、星形成銀河の静止波長 UV での明るさ分布を原始銀河団候補領域の銀河とフィールド銀河と比較すると、原始銀河団候補領域では明るい銀河がより多く存在していることが分かった。Deep 領域における近赤外撮像データも活用することで、SED フィッティングから原始銀河団候補領域の銀河とフィールド銀河の平均的な物理性質について調べた。その結果、原始銀河団候補領域に存在する銀河は星質量に対する星形成率の割合はフィールド銀河と違いはないものの、星質量の大きい銀河がより多く存在していることがわかった。高密度環境では銀河形成がより早い時期に始まるものの、個々の銀河の星形成活動そのものに対しては大きな影響を与えていないと推測できる。

[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](#)

X06a Ruby-Rush: Accelerated evolution of red monsters in $z \sim 5$ protoclusters

高橋宏典, 児玉忠恭, 大工原一貴, 岡崎莉帆 (東北大学), 小西真大 (東京大学), 但木謙一 (北海学園大学), 利川潤 (兵庫県立大学), 小山佑世, 本原顕太郎 (国立天文台), 他, RubyRush チーム

巨大銀河がいつ、宇宙のどこで誕生し、そしていつどのように星形成活動を止めたかを理解することは、初期宇宙における銀河形成の効率や現在の標準的な階層的構造形成論に大きな制限を与えるために極めて重要な鍵である。これまでに $z \sim 4$ で既に銀河系クラス ($\sim 6 \times 10^{10} M_{\odot}$) の銀河が分光確認されている (Glazebrook et al. 2017, Carnall et al. 2023 など) が、我々はさらに時間を遡り、宇宙誕生後 12 億年 ($z \sim 5$) の原始銀河団領域を系統的に探査し、同等の質量で星形成活動がほぼ停止した大質量銀河 (Massive quiescent galaxies、以下 MQG) を見つけ、初期宇宙の高密度領域と、そこで急成長する大質量銀河の形成過程を明らかにすることを目指す。

そのために、Gold-Rush プロジェクト (Onoue et al. 2018) が見つけたライマン・ブレイク銀河が群れている原始銀河団候補領域を狙う Ruby-Rush プロジェクト (代表、児玉) を推進している。Subaru/SWIMS を用いて、星形成活動が停止した銀河のスペクトルに顕著に見られるバルマー・ブレイクを 2 つの中間帯域フィルター (K_2, K_3) で挟み込むことで、従来の撮像観測では成し得なかった $z \sim 5$ という遠方の MQG 候補を発見することに成功した。より強固なデータセットにするため、Subaru/HSC (可視光) や Spitzer/IRAC ($\sim 4 \mu\text{m}$) のデータも用いて SED フィットを行い、候補天体を複数同定した。ここで発見した MQG の個数は TNG300 (Nelson D. et al. 2019) による理論予想では再現が困難であると示唆された。本講演ではこれまでの Ruby-Rush の成果を総括し、さらに最近行われた Subaru/MOIRCS で 2 つの中間帯域フィルター (K_3, K_4) を用いた $z = 5.3$ の原始銀河団を狙った観測成果の報告も併せて、年齢約 10 億年の宇宙の原始銀河団領域における加速的な銀河形成の実態に迫る。

[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](#)

X07a JWST と ALMA による最遠方の原始銀河団コアの同定: 宇宙年齢 6.5 億年における環境効果の始まり

橋本拓也¹, J. Álvarez-Márquez², 札本佳伸^{3,4}, L. Colina², 井上昭雄³, 仲里佑利奈⁵, D. Ceverino⁶, 吉田直紀⁵, L. Costantin², 菅原悠馬³, A. Crespo Gómez², C. Blanco-Prieto², 馬渡健¹, S. Arribas², R. Marques-Chaves⁷, M. Pereira-Santaella¹⁰, T. J. L. C. Bakx^{4,8}, 萩本将都⁸, 橋ヶ谷武志⁹, 松尾宏⁴, 田村陽一⁸, 碓氷光崇¹, 任毅³, (¹ 筑波大学, ² El Centro de Astrobiología, ³ 早稲田大学, ⁴ 国立天文台, ⁵ 東京大学, ⁶ マドリード自治大学, ⁷ ジュネーヴ大学, ⁸ 名古屋大学, ⁹ 京都大学, ¹⁰ IFF)

宇宙再電離期の原始銀河団は、銀河進化や宇宙再電離の過程を理解する上で、理想的な研究対象である。我々は JWST の面分光モードを用いて、最遠方の原始銀河団 A2744-z7p9OD のコア領域を観測した。この結果、わずか $\sim 11 \text{ kpc} \times 11 \text{ kpc}$ という小さな領域に、赤方偏移 $z = 7.9$ (宇宙年齢 6.5 億年) にある 4 天体もの銀河を、[O III] 輝線で同定することに成功した。興味深いことに、このうち 3 天体のメンバー銀河は ALMA によってダスト連続光の放射が検出されており、これは再電離期の原始銀河団としては初めての例である。JWST と ALMA の多波長データを組み合わせてスペクトルエネルギー分布を解析したところ、メンバー銀河は多様性を持ち、恒星質量は $\log(M_*/M_\odot) \sim 7.6 - 9.2$ および 星形成率は $3 - 50 M_\odot \text{ yr}^{-1}$ であった。さらに、高い空間分解能をもつ宇宙論シミュレーション FirstLight を用いて、本天体を理論的に説明できるか考察した。この結果、メンバー銀河の性質 (星質量、[O III] 輝線光度など) を再現することに成功したばかりでなく、メンバー銀河は 1000 万年以内に合体し、 $M_* \sim 6 \times 10^9 M_\odot$ をもつ大きな天体に進化すると予測される。本研究成果は、宇宙年齢 6.5 億年において、銀河の環境効果がすでに働き始めていたことを示す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](#)

X08b Dark Matter Subhalo 衝突と Missing Satellite 問題

大滝恒輝, 数野優大, 森正夫 (筑波大学)

現在の標準的な銀河形成モデルとして Cold Dark Matter に基づく階層的構造形成論が広く受け入れられている。このモデルは宇宙の大局的な構造の観測的性質を再現するが、銀河スケール以下の構造における理論と観測の矛盾がいくつか指摘されている。天の川銀河内で観測された衛星銀河の個数が理論的な予測よりも 1 桁以上少ないことは Missing Satellite 問題と呼ばれている。

この問題に対し、明るい銀河とダークマターサブハローの衝突過程を考えることで、観測することができないほど暗い矮小銀河の存在を見出す可能性がある。また、ダークマターサブハロー同士の衝突現象は新しい銀河の形成を誘発することが示されている (Otaki & Mori 2023)。そのため、ダークマターサブハローと矮小銀河の衝突やダークマターサブハロー同士の衝突は Missing Satellite 問題解決への糸口となる物理現象である。近年の観測手法の向上により、矮小銀河同士の衝突現象の痕跡が観測され始めてきた。そこで本研究は、これまで行ってきたダークマターサブハロー同士の衝突頻度の解析を発展させ、Navarro-Frenk-White プロファイル (Navarro, Frenk & White 1996) の密度分布を持つ宿主銀河の分布関数を基に、ダークマターサブハロー同士の相対距離と相対速度の確率密度分布関数を導出した。これにより、ダークマターサブハロー同士の衝突頻度について知見を得ることができる。宿主銀河が天の川銀河程度のビリアル質量の場合、ビリアル半径程度の相対距離を持つダークマターサブハローが最も多く、矮小銀河程度ではビリアル半径の $1/3$ 程度の相対距離を持つダークマターサブハローの確率が最大となることがわかった。一方、相対速度は宿主銀河の質量が減少するほど速くなる傾向となる。これらを用いたダークマターサブハロー同士の衝突頻度の定量的な解析結果を報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

X09b Galaxy collisions and metal gradients of the Andromeda Giant Southern Stream

山口未沙, 森正夫, 堀田彩水, 大滝恒輝 (筑波大学)

近年の高精度の観測により、アンドロメダ銀河 (M31) やそのハローには銀河衝突の痕跡が多数発見されている。その一つである Andromeda Giant Southern Stream (AGSS) は中心から 100 kpc 以上にも渡って恒星が細長く分布する巨大な構造である。AGSS の形成過程については約 0.6 Gyr 前に小質量銀河が衝突したとする minor merger 説 (Fardal et al. 2007; Mori & Rich 2008) と、数 Gyr 前に大質量銀河が衝突したとする major merger 説 (Hammer et al. 2018) の二つの仮説が議論されている。minor merger 説を支持する Miki et al. (2014) では、progenitor の軌道運動を体系的に調査した結果、5,699,760 軌道モデルのうち観測を再現できるものは僅か 138 モデルであり、その軌道運動を大幅に制限を付ける事に成功し、いずれも 0.6 Gyr 以内に衝突が起こったことを主張している。一方で major merger 説では、AGSS の形成のみならず、M31 円盤で観測されている 10 kpc スケールのダストリング構造を説明できることを主張している。本研究では minor merger 説に着目し、progenitor の運動を過去数 Gyr に渡って調べることで、その progenitor の新しい軌道を調べ、数値シミュレーションを実行することで、AGSS の形成や M31 ディスクの力学進化過程の詳細について明らかにした。本研究では、Preston et al. (2021) で得られた AGSS の重元素分布と、本シミュレーションから得られる AGSS の重元素分布並びに速度分布を詳細に比較する。特に、progenitor の重元素量の勾配を変化させ、衝突後の AGSS の重元素の空間分布を調べた。その結果と観測的に分かっている AGSS のそれとが一致するように、progenitor の重元素量の勾配を求めた。本発表では、AGSS の重元素分布などの解析内容と結果の詳細について報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

X10b 色等級図を用いた星形成-化学進化史導出アルゴリズムの精度検証

佐藤恭輔 (法政大学), 小宮山裕 (法政大学), 岡本桜子 (国立天文台), 田中幹人 (法政大学), 小上樹 (総合研究大学院大学/国立天文台)

銀河系矮小銀河の形成メカニズムについては詳しく解明されておらず、その形成史を調べることは宇宙初期に誕生した銀河系のビルディングブロックがどのようにして形成されたか解き明かす手掛かりになる。

近年の分光観測の結果、複数の銀河系矮小楕円体銀河 (dSph) が金属量と速度分散の異なる複数の恒星種族により構成されていることが分かり、銀河系 dSph の形成メカニズムのバリエーションについて活発な議論が行われている。形成メカニズムの違いは、それぞれの恒星種族の年齢の違いとして現れると予想されている。銀河系矮小銀河の形成メカニズムに制約をかけるためには、年齢-金属量分布を推定し種族ごとの星形成史を導出する必要がある。本研究では、遺伝的アルゴリズムとアニーリング法を組み合わせたハイブリッド遺伝的アルゴリズム (HGA) を使い、恒星系の色等級図から年齢-金属量分布を推定する。ただし、実際の観測データには測光誤差や年齢と金属量の分布の広がりがあるため、それぞれを正しく推定することは難しい。そこで年齢と金属量をあらかじめ定めたモデル銀河の色等級図を作成し HGA を適用することで、その推定精度を検証した。結果としてモデル銀河の種族を広がりのない単一の年齢と金属量で仮定した場合では、金属量の多い種族と少ない種族を分布として判別することが可能であったが、年齢方向に 0.1 Gyr、金属量方向に 0.01 dex の標準偏差を持ったガウシアンで仮定した場合では分離が難しいことが分かった。本講演ではモデル銀河に対し推定を行った結果から、実際の観測データに対し HGA を用いて種族を分離することが可能か議論する。

[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](#)

X11b The Extended [C II] under Construction? Observation of the brightest high- z lensed star-forming galaxy at $z = 6.2$

札本佳伸 (早稲田大学, 国立天文台), 井上昭雄 (早稲田大学), 菅原悠馬 (早稲田大学, 国立天文台)

Over the past decades, several optical/near-infrared surveys have built large samples of high-redshift galaxies at $z > 6$. Further, recent rapid progress of [CII] $158\mu\text{m}$ emission line surveys made it possible to reveal interstellar medium (ISM) properties for > 100 of galaxies at high redshift. To date, these high- z ISM observations, however, have been mostly limited to massive star-forming galaxies (e.g., $M_* > 10^{10} M_\odot$) and we only have small samples of less evolved, low-mass/low-SFR galaxies. This is because detailed ISM observations of relatively low-mass galaxies are still one of the major challenges even for extremely sensitive interferometer (e.g., ALMA) as they are intrinsically faint. One method to push to fainter limits is to adopt strongly lensed galaxies to investigate the detailed properties of high-redshift, low-mass galaxies in a feasible observing time.

In this talk, we report an observation of a strongly ($\mu \sim 22$) lensed $\sim L^*$ star-forming galaxy: MACS0308-zD1 at $z \sim 6.2$. We clearly detect a [CII] $158\mu\text{m}$ emission line and measures the spectroscopic redshift of MACS0308-zD1 for the first time. Making use of high-resolution, high-sensitivity ALMA observations, we also study the velocity structure and morphology of the [CII] emission. These suggest multiple components of [CII] emission that are distinct in spatial and spectral directions. Further, with the extremely compact sizes of $r_e \sim 27\text{pc}$ and the high [CII] luminosity, MACS0308-zD1 represents one of the most extreme star-formation environments in the epoch of reionization.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

X12b gzK 選択による赤方偏移 2 の電波銀河探査

小林 星羅, 長尾 透, 山本 優太, 井手 亮太, 柴田 航平 (愛媛大学), 久保 真理子 (東北大学), 内山 久和, 鳥羽 儀樹, 山下 拓時 (国立天文台)

銀河中心の巨大ブラックホールと母銀河のバルジは共進化してきたと考えられているが、近傍の電波銀河は低い星形成率と低いエディントン率で特徴付けられるため、共進化において電波銀河は最終段階にあると考えられている。このため初期宇宙における電波銀河を探索することが共進化のタイムスケールやメカニズムの理解に繋がると考えられる。しかし、遠方電波銀河は希少であり、正確な統計的性質は未解明である。これまで用いられてきた遠方電波銀河の選出方法として、電波スペクトルの傾きに注目する方法や、可視多色撮像でライマンブレイクを捉える方法があった。しかし、これらの方法は、星形成率や星形成史によらず遠方電波銀河をコンプライートに選択する方法として必ずしも適当ではない可能性がある。そこで我々は、多様な星形成史を持つ遠方電波銀河のサンプルを構築するため、星形成銀河に加え星形成を終えたパッシブ銀河も選出できる手法を用いて遠方電波銀河候補天体選出を試みた。

本研究では、すばる望遠鏡の HSC で得られた可視光源カタログと VISTA の VIKING サーベイで得られた近赤外線源カタログをマッチングし、 gzK 選択によって $z \sim 2$ の銀河を 38,703 天体選出した。それらを FIRST の電波源カタログとマッチングさせることで、 $z \sim 2$ の星形成電波銀河を 200 天体、パッシブな電波銀河を 32 天体得た。近傍電波銀河はパッシブ銀河が支配的であるが、今回の結果によって $z \sim 2$ の宇宙では星形成をしている電波銀河も多く存在していることが示された。また、遠方電波銀河候補天体の統計的性質を調査するために unWISE の中間赤外線源カタログも使用して SED fitting を行なった。今回の発表ではその結果についても議論をする。

[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](#)

X13b Investigating the onset conditions of galactic winds in dwarf galaxies of the Local Group

松井瀬奈 (名古屋大学), 竹内努 (名古屋大学, 統数研)

The Local Group, a collection of galaxies including the Milky Way, predominantly consists of dwarf galaxies. Dwarf galaxies have undergone evolutionary processes driven by both internal mechanisms, such as star formation and galactic winds, and external influences, such as tidal effects and the impact of nearby massive galaxies on star formation. This study focuses on dwarf Spheroidal galaxies (dSphs), a specific class of galaxies characterized by their extremely low luminosity and lack of interstellar gas. The lack of interstellar gas in dSphs are considered to be due to some or most of the interstellar gas having been blown away/out by galactic winds in the past. Galactic winds refer to the phenomenon in which gas is expelled from a galaxy when numerous supernova explosions occur within a short timescale. Previous studies (e.g., Ferarra et al. 2000) have associated the initiation of galactic winds with the mass of the galactic halo. Hence, in this study, we estimated the halo mass based on observational data. Furthermore, we calculated the timing of galactic wind initiation by considering the energy from supernovae and the binding energy, comparing it with the star formation history from Weisz et al. (2014). The results reveal that galactic winds have affected numerous dwarf galaxies, leading to a temporary or near-complete stop of star formation. However, there were some dwarf galaxies for which no galactic wind was supposed to have blown, depending on the assumed conditions. We plan to discuss those results. In addition, the results of changing the conditions of halo mass will be presented.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

X14c 敵対的生成ネットワークを用いた天体画像の高解像度化

朝井建太 (和歌山大), 澁谷隆俊, 馬屋原拓也, 伊藤呼人, 三浦則明 (北見工大), HSC Project 264 メンバー

本研究では、敵対的生成ネットワーク (GAN) を用いて、すばる望遠鏡の広視野カメラ Hyper Suprime-Cam (HSC) 画像の高解像度化を行った。点像分布関数 PSF 逆畳み込み法などの従来の高解像度化手法では、シャノン・ナイキスト標本化定理により画像復元能力が制限されること、処理に時間がかかることから、近年は GAN による画像高解像度化が注目されている。しかし、銀河画像に対する GAN を用いた先行研究では学習画像が千枚程度と少ないため、遠方天体の内部構造の十分な復元には至っていない。本研究では学習画像を数万枚に増やし GAN の訓練を行った。学習モデルには、画像から画像への翻訳に優れている条件付き GAN の Image to Image (Pix2Pix) を使用した。学習用データとして、低解像度である HSC 画像と高解像度であるハッブル宇宙望遠鏡の画像のペア約 1-6 万枚を GAN に入力し、ネットワークを訓練した。訓練した GAN を赤方偏移 $z \gtrsim 2$ の遠方銀河の HSC 画像に適用すると、元の画像では不鮮明であった数 kpc スケールの内部構造が高解像度で確認できるようになった。この高い高解像度化性能は、約 1-6 万枚という比較的大量の学習画像によって実現できたと考えられる。本発表では、学習画像や学習手順の詳細、画像高解像度化の性能評価 (構造的類似性 SSIM, 合体銀河検出率など) の結果、今後の展望について述べる。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

X15c すばる望遠鏡/Hyper Suprime-Cam 画像の高解像度化による赤方偏移 $z \sim 2-6$ の銀河形態の研究 I: 銀河合体率の環境依存性

澁谷隆俊, 伊藤呼人 (北見工大), 朝井建太 (和歌山大), 三浦則明, 馬屋原拓也 (北見工大), 播金優一 (東大), 藤本征史 (テキサス大), 鳥羽儀樹 (国立天文台), 大木平 (愛媛大), HSC Project 264 メンバー

我々は複数の画像処理手法を使って, すばる望遠鏡の広視野カメラ Hyper Suprime-Cam (HSC) 画像を高解像度化し, 遠方希少銀河の形態について研究を行なっている (HSC Project 264). 特に 3 つの画像処理手法: 点像分布関数 PSF 逆畳み込み法 (古典的手法), 古典的手法に疎性および平坦性の制約条件を加えたスパースモデリング (SpM), 敵対的生成ネットワーク (GAN) を用いて, 低解像度 HSC 画像を高解像度化する手順を確立した. 高解像度化 HSC 画像と HSC 探査データの広い探査領域を活かし, 静止紫外線で明るい銀河など, 遠方希少銀河の典型的な形態 — 特に, 銀河合体の兆候の有無 — をこれまでになく統計精度で明らかにしている.

本発表の研究では, 高解像度化 HSC 画像を用いて, 赤方偏移 $z \sim 2-6$ における銀河合体の環境依存性を調べた. photo- z 銀河, dropout 銀河の銀河サンプル (Harikane et al. 2022a など) のうち, 静止紫外線等級で $m < 23.5$ の明るい銀河 ~ 5 万天体の HSC 画像を高解像度化し, 合体銀河/孤立銀河の形態判定を行なった. 銀河個数密度 δ 毎に銀河合体率 f_{merger} を測定すると, 古典的手法, SpM, GAN, どの画像高解像度化手法でも「銀河密集度が高くなるほど f_{merger} が高くなる」という f_{merger} の環境依存性が $z \gtrsim 4$ の遠方で初めて見えてきた. この傾向は, $\delta - f_{\text{merger}}$ 関係の傾きも含め, $z \sim 0-1$ の理論および観測研究と同様であることから, f_{merger} の環境依存性は $z \sim 0$ から $z \sim 6$ の広い赤方偏移範囲で普遍的である可能性がある. 発表では, 銀河合体が銀河密集領域の天体に及ぼす影響などについて議論を行う.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

X16c Application of machine learning to the spatially resolved SFR–Mass relation

Wen E. SHI (1), Tsutomu T. TAKEUCHI (1,2), Kiyooki OMORI (1)
(1) Nagoya University; (2) Institute for Statistical Mathematics

Recent studies have shown that the star formation rate (SFR) surface density traces the stellar mass surface density in kpc scales, giving the Kennicutt-Schmidt (K-S) law (Kennicutt Jr, 1989). This resolved relation indicates the connection between the global star formation main sequence (SFMS) and the local star formation process. However, a united explanation combining both theory and observation is still waiting to be established.

We made an extensive analysis of the SFMS based on the DustPedia database (Davies et al., 2017). We provide a new division method to define the “spaxels” (meaning space-pixel) in the 2D galaxy band maps, each with 1kpc interval, to represent the relative position of the spaxel inside the galaxy. We study the SFR, mass, and band data variance in every spaxel with respect to their galactocentric radius. This agrees with the “inside-out quenching” scenario for galaxy formation and evolution in the previous studies.

We identify the star-forming regions with various methods and compare the results with other papers. Based on the results, we will discuss the quenching process and star formation mechanism for these galaxies.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

X17c すばる望遠鏡/Hyper Suprime-Cam 画像の高解像度化による赤方偏移 $z \sim 2-6$ の銀河形態の研究 II: 合体銀河が豊富な原始銀河団の性質

伊藤呼人, 澁谷隆俊, 三浦則明 (北見工大), 朝井建太 (和歌山大), 馬屋原拓也 (北見工大), 播金優一 (東大), 藤本征史 (テキサス大), 鳥羽儀樹 (国立天文台), 大木平 (愛媛大), HSC Project 264 メンバー

すばる望遠鏡の広視野カメラ Hyper Suprime-Cam (HSC) の高解像度化画像を用いて、赤方偏移 $z \sim 2-6$ の合体銀河が豊富な原始銀河団の性質を調べた。我々は photo- z 銀河, dropout 銀河の銀河サンプル (Harikane et al. 2022a など) から銀河個数密度マップを作成し、 $z \sim 2-6$ の原始銀河団候補を選択した。スパースモデリングや機械学習の方法で高解像度化した HSC 画像から、原始銀河団毎に構成銀河の銀河合体率 f_{merger} を計算した。 f_{merger} の数値に基づき原始銀河団を数サンプルに分けると、合体銀河が豊富な原始銀河団は、そうでない原始銀河団に比べ、統計的に 10–30% 程度、構成銀河が静止紫外線波長域で明るくなっていることが分かった。本傾向は、合体銀河/孤立銀河の形態判定を行なっていない暗い天体も含めて確認されている。増光の原因の一つとして構成銀河の星形成活動の活発化が挙げられる。合体銀河が豊富な原始銀河団では、領域全体で銀河進化が促進されている段階にあり、構成銀河の星形成活動が全体的に活発化している可能性がある。発表では、原始銀河団の構成銀河の明るさの比較に加え、 f_{merger} と原始銀河団の形状の関係、合体銀河の空間分布の研究結果も紹介する。これらの研究結果を踏まえ、銀河合体と原始銀河団の進化段階との関係について議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

X18c JWST/MSA シャッターのスリットロスによる物理量測定への影響

碓氷光崇, 橋本拓也, 馬渡健 (筑波大学), 仲里佑利奈, 吉田直紀 (東京大学), 井上昭雄, 菅原悠馬, 札本佳伸, Yi Ren (早稲田大学), 田村陽一, 萩本将都, Tom Bakx (名古屋大学), 橋ヶ谷武志 (京都大学), 松尾宏 (国立天文台)

ジェームズウェッブ宇宙望遠鏡 (JWST) の登場により、宇宙再電離期における銀河の星間媒質を特徴づける重要な物理量 (重元素量や電離パラメータ、電子密度など) の詳細な測定が可能となった。JWST の分光観測では主に面分光 (IFU) モードと多天体分光 (MOS) モードが使用される。IFU は $3'' \times 3''$ という小さな視野内を分光し、空間分布を調べることができる。MOS は $3.4' \times 3.6'$ の広視野を持ち、多くの天体を一度に分光観測できるという利点がある一方で、1つのスリットは $0.20'' \times 0.46''$ と小さいため、フラックスを漏らしてしまい誤った物理量を測定する可能性がある。そこで本研究では、大規模なサンプル数と高い分解能を実現している FirstLight シミュレーション (Ceverino et al. 2017) で形成された赤方偏移 7、星質量 $> 10^8 M_{\odot}$ の天体を使用した。シミュレーション天体に対して CLOUDY (Ferland et al. 2013) を用いて輝線計算を行い (Nakazato et al. 2023)、そのデータに対して擬似的に面分光、及びスリット分光観測を行うことでスリットロスによる物理量測定への影響を調べた。その結果、フラックスは 40–70% の大きな漏れがあった一方で、フラックスの比から求める重元素量や電子密度といった物理量については面分光とスリット分光の差が $\sim 10\%$ であり、スリットロスの影響は少ないことがわかった。また、輝線ごとにフラックスロスの大小が異なることも明らかになった。これは電離ポテンシャルの高いイオンからの輝線ほど天体中心で輝線強度が大きく、輝線ごとに異なる表面輝度分布をするため、フラックスロスの大小が異なると考えられる。本講演ではこれらの結果及び考察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](#)

X19a The star formation history of a massive quiescent galaxy in the group environment at $z = 4.53$

柿元拓実 (総合研究大学院大学), 田中賢幸, 小野寺仁人, 嶋川里澄 (国立天文台)

現在の宇宙で観測される大質量銀河のうち特に楕円銀河は、過去に爆発的な星形成を短いタイムスケールで経験し、その後長期間にわたって星形成活動をほとんど行わなかったことが推測されている。しかしながら、この爆発的な星形成の引き金や、その後の星形成を抑制する物理的なメカニズムはまだ謎のままである。そこで本研究では、 $z > 4$ の星形成をやめている天体 (Quiescent 銀河) に注目し、その形成過程を直接解明しようと考えた。

前回の講演では、 $z = 4.53$ に存在する Quiescent 銀河についての分光確認と、暫定的に得られた物理的性質について議論した。今回の講演では、この銀河の詳細な星形成史や形成過程について、過去の研究との比較を行うことにより議論する。星形成史から推定すると、この銀河は $z = 5$ において約 100 Myr という短いタイムスケールで爆発的な星形成を経験した後、急速に星形成を抑制したことが明らかになった。この 100 Myr というタイムスケールは、遠方宇宙に存在する典型的な爆発的な星形成銀河のガスを使い切るタイムスケールと同等のものであったことから、今回の天体は爆発的な星形成によりガスを消費し切ったことで星形成を抑制した可能性がある。また、COSMOS 領域のカatalogから周辺環境を調査すると、本研究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。この結果は、銀河の爆発的な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する。講演では、このような高密度領域における環境効果にも注目して形成シナリオを議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

X20a 準解析的銀河形成モデルによる星形成 quenching メカニズムの調査

清水達生 (北海道大学), 岡本崇 (北海道大学), 大木平 (愛媛大学), 長島雅裕 (文教大学)

星形成活動に着目したときに銀河は二つのクラスに分類できる。星形成が活発な star-forming galaxies (SFGs) と活発ではない quiescent galaxies (QGs) である。銀河が SFGs から QGs に移行するのに寄与する主なメカニズム (quenching メカニズム) は何かということに関しては明白ではない。Peng et al. (2015) は SFGs と QGs のそれぞれで、星金属量と星質量のスケーリング則 (MZR) を観測データから求め、SFGs と QGs の間に星金属量の違いがあることを発見し、このことから主な quenching メカニズムは strangulation (銀河へのガスの供給が妨げられること) ではないかと主張した。彼らは単純な解析モデルを用いてこのことの定量的な裏づけも行った。しかし、宇宙論的銀河形成シミュレーションや準解析的銀河形成モデルにおいては SFGs と QGs の間の星金属量の差をあまり再現できておらず、主な quenching メカニズムが本当に strangulation なのかをこれらを使って確認することは出来ていなかった。一方、我々が準解析的銀河形成モデル ν^2 GC を用いて SFGs と QGs の MZR を調べたところ、星金属量の差を再現できていた。そこで、我々はこれを用いて quenching メカニズムの調査を行った。まず、星形成タイムスケールを変化させたときの星金属量の差の変化を調べたところ、星形成タイムスケールが短くなるにつれて SFGs と QGs の星金属量の差が小さくなることが分かった。このことは星金属量の差が strangulation によって生み出されているものだとする考えと整合的である。次に、中心銀河に限定して SFGs と QGs の MZR を調べたところ、星金属量の差がほとんどなくなっていた。我々のモデルでは重い銀河を除いて、中心銀河は strangulation を受けるメカニズムが存在しないため中心銀河は strangulation を受けず、星金属量の差が生まれなかったと考えられる。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

X21a JWST/NIRSpec による $z \sim 3-4$ quiescent 銀河の分光観測

佐藤理究, 井上昭雄 (早稲田大学), 播金優一 (東京大学), 札本佳伸 (早稲田大学/国立天文台), 山中郷史 (鳥羽商船高専), 馬渡健 (筑波大学), 橋本拓也 (筑波大学), 田村陽一 (名古屋大学), 松尾宏 (国立天文台)

quiescent 銀河は星形成活動をほとんど行っていない銀河の一種である。quiescent 銀河は何らかの機構により星形成が抑制されたと考えられているが、その形成と進化の具体的なプロセスについてはよく分かっていない。遠方宇宙に存在する quiescent 銀河を観測しその形成と進化について理解することは、初期宇宙における銀河の形成進化プロセスの理解に重要である。本研究ではジェームズウェッブ宇宙望遠鏡 (JWST) の近赤外分光器 NIRSpec により観測された赤方偏移 $z \sim 3-4$ の quiescent 銀河について報告する。

本研究は JWST/NIRSpec 固定スリット低分散分光モードによって分光観測された赤方偏移 $z \sim 3-4$ にある 3 つの quiescent 銀河を対象としている。本研究ではこの分光観測データを BAGPIPES (Carnall et al. 2018) により SED フィットすることで星質量、星形成率、ダスト減光といった基本的な物理量を推定した。3 つの対象銀河の星質量はいずれも $M_* < 10^{10.5} M_\odot$ と推定され、これまでに発見されている $z \sim 3-4$ quiescent 銀河と比べていずれも低質量である。そのうち 1 天体は星質量が $M_* < 10^{10} M_\odot$ と推定され、これまでに発見された $z \sim 3-4$ quiescent 銀河の中では特に低質量となっている。また、別の 1 天体からは星形成活動の存在を示す $H\alpha + [\text{NII}]$ 輝線が検出された。その起源は星形成による $H\alpha$ 、あるいは弱い AGN 活動による $[\text{NII}]$ の可能性がある。さらに、解析結果に基づいて quiescent 銀河の形成と進化に関する示唆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](#)

X22a 初期宇宙での Bondi-Hoyle-Lyttleton 降着機構による中質量ブラックホールの進化

尾形絵梨花, 大須賀健, 福島肇, 矢島秀伸 (筑波大学)

超大質量ブラックホール (BH) の形成過程の解明は現代天文学における重要課題の 1 つである。なぜなら、超大質量 BH と銀河は共進化してきた可能性があり (e.g. Marconi & Hunt 2003)、銀河形成史の解明にも繋がるからである。超大質量 BH の形成過程としては、太陽質量の 10^4 倍程度の質量を持つ中質量 BH が銀河円盤中を漂いながらガスを吸い込み成長することが有力視されている (Bondi-Hoyle-Lyttleton 降着)。多くの先行研究によって、BH 近傍からの輻射を等方と仮定した流体シミュレーションが実施されてきたが (e.g. Toyouchi et al. 2020)、現実的には BH 周囲に降着円盤が形成されることで非等方的な輻射場が生成されると考えられる。

そこで本研究では、中質量 BH 周囲に降着円盤が形成される状況を想定し、非等方輻射場での Bondi-Hoyle-Lyttleton 降着の 3 次元輻射流体シミュレーションを実施した。ここでは、Adaptive Mesh Refinement を実装した流体コード SFUMATO (Matsumoto 2007) に、M1 クロージャ法に基づく輻射輸送ソルバーを実装した SFUMATO-M1 (Fukushima & Yajima 2020) を用いた。日本天文学会 2022 年秋季年会では、非等方輻射場での流れの構造に着目し、赤道面付近にのみ Bondi-Hoyle-Lyttleton 降着に似た降着流が準定常的に存在することを示した。さらに、力学的摩擦を詳細に調査した結果、初期宇宙の高密度な環境で比較的低速度の中質量 BH は (10^4 cm^{-3} , $0.1 Z_\odot$, 20 km s^{-1})、約数十 Myr で $\gtrsim 100 \text{ km s}^{-1}$ まで加速され、質量がほぼ一定のまま銀河円盤中を漂い続けることがわかった。一方で、超高密度な環境では (10^6 cm^{-3})、質量がほぼ一定のまま約 0.4 Myr で速度が音速よりも十分小さくなり、Bondi 降着に遷移して急速に成長する可能性があることが分かった。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

X23a 形成初期銀河 SBS 0335-052E が示す近赤外線放射の時間変動とその起源

波多野駿 (総合研究大学院大学), 大内正己, 中島王彦 (国立天文台), 川口俊宏 (尾道市立大学), 小久保充, 菊田智史, 富永望 (国立天文台), Yi Xu (東京大学), 渡辺くりあ (総合研究大学院大学), 播金優一, 磯部優樹, 松本明訓 (東京大学), 西垣萌香 (総合研究大学院大学), 小野宜昭 (東京大学), 小野寺仁人 (国立天文台), 菅原悠馬 (早稲田大学), 梅田滉也, Yechi Zhang (東京大学)

SBS 0335-052E は太陽金属量の $1/40$ と低い金属量をもつ、近傍の形成初期矮小銀河である (Izotov et al. 1990, 2001)。SBS 0335-052E は、地上望遠鏡が得た分光データから水素原子よりも約 7 倍大きい電離エネルギーを持つ [Ne v] 輝線が検出されていること (e.g., Thuan & Izotov 2005; Izotov et al. 2009) や、ハッブル宇宙望遠鏡の可視光-近赤外線域の測光データから ~ 800 K の熱いダストが検出されていること (Reines et al. 2008) などから、隠れた電離源が存在することが示唆されていたものの、活動銀河核 (AGN) を持たない銀河だと理解されていた。

本研究は、SBS 0335-052E の時間変動と SED を調べた。赤外線衛星 WISE のモニター観測データから SBS 0335-052E の近赤外線 ($3\text{--}4\mu\text{m}$) 放射に半年から数年スケールの時間変動を検出した。過去の研究が得たサブミリ波から紫外線域の測光データ (e.g., Hunt et al. 2014) に対して AGN の存在を考慮した SED フィッティングを行なったところ、可視光から近赤外の SED が AGN トーラスのダスト放射で説明できることから時間変動が AGN 起源であり、X 線光度が非常に弱いことから SBS 0335-052E の AGN が heavily obscured AGN もしくは Compton-thick AGN であることがあることがわかった。講演では、この銀河に観測されている $\text{H}\alpha$ 広輝線 (e.g., Izotov et al. 2001, 2009) の起源と、輝線比とショックモデルを用いて超新星の可能性についても議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

X24a Rapid Growth of Galactic Supermassive Black Holes through Accreting Giant Molecular Clouds during Major Mergers of their Host Galaxies

Chi-Hong Lin (University of Tokyo), Ke-Jung Chen (ASIAA), Chornng-Yuan Hwang (NCU, ASIAA)

Observations have revealed the existence of supermassive black holes (SMBHs) with masses of $10^9 M_\odot$ in high-redshift galaxies at $z \sim 7$. Consequently, understanding the formation of SMBHs located at the centers of galaxies has become a crucial topic in modern astrophysics. In order to address this intriguing issue, we have employed a merger scenario coupled with our molecular-cloud model and ran hydrodynamics simulations using the GIZMO code. This code is well-suited for modeling complex galaxy interactions and the growth processes of SMBHs. In our simulations, we have applied physical parameters to construct the halo, disk and bulge, based on observational results (e.g., Gaia) and Fujii's Milky-Way model. We have taken into account gas dynamics, star formation, and the physics associated with SMBHs. By examining the growth of SMBHs, the activity of star formation, and the size of the galactic bulge, we investigate the co-evolution between SMBHs and their host galaxies. Our findings indicate that during major mergers, molecular clouds drive rapid SMBH growth from $10^7 M_\odot$ to $10^9 M_\odot$ and trigger starbursts. To further validate this discovery, we also discuss the migration timescale of molecular clouds and explore the empirical relation between stellar mass and SMBH mass, which contributes to our understanding of the formation of these “heavy monsters.”

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

X25a HSC-SSP データによる $z \sim 5$ におけるクエーサーのクラスタリング解析

倉澤日菜, 松岡良樹, 大木平 (愛媛大学), 内山久和 (国立天文台)

クエーサー環境の研究はクエーサーの活動や進化を理解するための鍵となり、その有力な手法としてクラスタリング解析がある。質量が大きいダークマターハローほど空間分布に偏りがあるため、クエーサーの空間分布の偏りを測定することで、クエーサーサンプルが属するダークマターハローの質量を推定することができる。しかし、高赤方偏移の宇宙では既知のクエーサーサンプル数と表面密度が限られているため、クラスタリングの測定は難しく、これまで $z < 4$ に限られていた。

そこで本研究では、すばる望遠鏡 Hyper Suprime-Cam による戦略枠観測 (HSC-SSP) の最新データから得られた $z \sim 5$ のかつてないサンプル数のクエーサーに対してクラスタリングの測定を行った。先行研究 (Niida et al. 2020, ApJ, 904, 89) で確立された色・形態の選択基準を用いることで、HSC-SSP S21A Wide カタログから $z \sim 5$ のクエーサー候補天体として 621 天体 ($-27.0 < M_{1450} < -22.5$ mag) が選出された。このサンプルを用いて、クエーサー自己相関関数に有意なシグナルを検出することに成功し、空間相関長とバイアスを導出したところ、それぞれ $18.2^{+8.0}_{-14.0} h^{-1}\text{Mpc}$ 、 $15.5^{+6.0}_{-11.4}$ となった。N 体シミュレーションにより較正された楕円体収縮モデルに基づき、バイアスからダークマターハロー質量へ変換を行った結果、質量は $7.1^{+9.9}_{-7.0} \times 10^{12} h^{-1} M_{\odot}$ と推定され、 $z = 0$ において $\sim 2 \times 10^{14} h^{-1} M_{\odot}$ まで進化した、銀河団の典型的な質量スケールに成長することが分かった。本講演では、これらの結果について報告し、そこから示唆されるクエーサー進化について議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)[スケジュール \(全体\) に戻る](#)[講演者索引 TOP に戻る](#)X26a 低光度クエーサー候補を宿す $z = 6.05$ の銀河合体に対する ALMA 観測

泉拓磨 (国立天文台/総研大), 松岡良樹 (愛媛大), 尾上匡房 (KIAA), 梅畑豪紀 (名古屋大), 藤本征史 (Austin) 河野孝太郎, 柏川伸成, John D. Silverman (東京大), 他 SHELLQs チーム

$z = 6.05$ で発見された低光度クエーサー ($M_{1450} = -22.5$ mag) 「候補」天体に対する ALMA 観測の結果を報告する。この天体 (以降 A と呼ぶ) は Subaru Hyper Suprime-Cam (HSC) による広域サーベイで発見されたもので、FOS 分光による明るい Ly α 輝線と暫定的な NV 輝線 (地球大気の影響で明確には検出されていない) の検出からクエーサーの可能性がある。さらに、約 2 秒角 (12 kpc に相当) 離れた地点かつ同赤方偏移に別天体 (B と呼ぶ) も発見されており、相互作用/合体する銀河であることが示唆されていた。我々はこの天体に対し、ALMA 望遠鏡を用いた [CII] 輝線と静止系遠赤外線連続波観測を実施した。その結果、[CII] 輝線は A と B 双方から、連続波は A から、各々明確に検出することができた。A と B は [CII] 放射で橋渡しされていることから、この 2 天体は明らかに相互作用中で、近い将来合体することが予想される。また、遠赤外線連続波から推定した A の赤外線光度と星形成率は $1.3 \times 10^{12} L_{\odot}$ と $\sim 200 M_{\odot} \text{ yr}^{-1}$ で、激しい星形成を伴っていることも分かった。[CII] 輝線の視線速度図からも、非常に激しい相互作用の様子が見て取れる。また、A の中心部には [CII] 輝線の速度分散が著しく上昇している (Gaussian FWHM 換算で $\sim 1000 \text{ km s}^{-1}$) 地点があり、位置-速度図の解析とあわせてクエーサーに駆動された高速アウトフローの可能性を示唆している。以上のことから、我々は銀河合体により急激に天体進化が進んでいる現場を目撃していると考えられる。一つの可能性として、この低光度クエーサー (候補) は近い将来には SDSS サーベイ等で発見されていたような最大級の光度のクエーサーへと成長することもあり得るだろう。本講演ではこれらの観測結果に加えて、中心光源の素性を確定させるために必要な JWST 観測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](#)

X27a 銀河とブラックホールの共進化過程における種ブラックホール質量の影響

桐原 崇亘, 矢島 秀伸 (筑波大学), 安部 牧人 (呉高専)

銀河の中心にはあまねく超巨大ブラックホール (SMBH) が存在し、SMBH 質量と母銀河の星質量との間の相関はマゴリアン関係として広く知られている。銀河と SMBH は共進化してきたと考えられているが、その過程は十分に理解されていない。特に、近年の ALMA 望遠鏡を用いた高赤方偏移 ($z > 6$) の QSO 観測によると、近傍のマゴリアン関係に比べて、銀河の星質量に対して 1 桁程度 Overmassive な SMBH も多数発見されている (Pensabene et al. 2020)。一方で銀河形成シミュレーションでよく用いられる銀河への BH の seeding 方法では、そのような Overmassive な SMBH を形成することは難しい。このような SMBH の成長過程の問題に取り組む上で、どのような BH の seeding 方法を用いた場合に、SMBH が成長しやすいのかを理解することは重要である。

そこで本研究では、銀河に種 BH を設置する際の、銀河ハローの質量および種 BH の質量の両方を系統的に変化させた宇宙論的な銀河形成シミュレーションを実施した。シミュレーションでは、BH への質量降着とそれに伴う AGN フィードバック、星形成、超新星フィードバック等を考慮し、赤方偏移 2 までの進化を追った。本計算の結果、種 BH の質量に依らずハローの質量がより大きくなってから種 BH を設置する方が、BH は成長しやすくなる傾向があることが分かった。また、ハロー質量が小さい ($\sim 10^9 M_\odot$) 段階で大質量 ($\gtrsim 10^5 M_\odot$) の BH を設置すると、早期の BH のフィードバックにより銀河内のガスが失われ、赤方偏移 2 までの間にほとんど BH が成長しないことが明らかとなった。講演ではこれらの結果について紹介するとともに、時間が許せば個々の銀河におけるガスの運動情報や星形成に対する BH seeding 方法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](#)

X28a 重力波を用いた高赤方偏移 $z = 6$ での $M_{\text{BH}}-M_{\text{halo}}$ 関係の制限

古澤和也 (名古屋大学), 田代寛之 (崇城大学), 横山修一郎 (名古屋大学), 市来淨興 (名古屋大学)

現在観測されているほとんどの銀河は、その中心に $10^6 M_\odot$ - $10^{10} M_\odot$ 程度の質量を持つ超巨大ブラックホール (SMBH) を持っており、これらは共進化してきたことが示唆されている。しかし、SMBH の形成・進化を説明するシナリオは提案されているものの解明には至っていない。

本研究では、ダークマターハローと SMBH の共進化モデルを構築し、重力波観測による検証可能性を議論する。具体的には、Shimasaku & Izumi (2019) の解析結果に基づき、初期条件として $z = 6$ での $M_{\text{BH}}-M_{\text{halo}}$ 関係に観測から示唆されるべき乗関係を課し、 $0 \leq z \leq 6$ での SMBH の質量成長を計算する。このモデルでの結果は、クエーサーの観測結果とは異なる暗い領域 $M_{\text{halo}} \lesssim 10^{12} M_\odot$ について示唆を与えることができる。また、実際の SMBH は合体とガス降着により質量成長していると考えられているが、このモデルは合体による成長のみを考慮するため、質量成長の下限とみなすことができる。そして、このモデルで記述される SMBH の合体から発生する重力波を計算し、パルサータイミングアレイ (PTA) と LISA による検出可能性を議論する。結果として、PTA から得られる確率的重力波背景放射の上限から、 $z = 6$ における $M_{\text{BH}}-M_{\text{halo}}$ 関係のべき乗 n に対する制限 $n \geq 1.2$ を導出した。一方で、LISA による重力波検出数が、 $z = 6$ において SMBH を持つことができるハローの質量の最小値に対し下限を課すことがわかった。本講演では、これらのパラメータに対する制限から、重力波観測が将来的に SMBH の形成・進化の解明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](#)

X29b COSMOS 領域における $z \sim 0.8$ の中心に非対称成分を示す Post-starburst 銀河の色勾配

藤本淳也, 鍛冶澤賢 (愛媛大学)

銀河は、星形成銀河 (Star-forming galaxies, SFG) と、星形成をしていない銀河 (Quiescent galaxies, QG) に分けられることが知られているが、その原因については明らかになっていない。爆発的に星を形成した直後に星を作らなくなった銀河 (Post-starburst galaxies, PSB) は急激な星形成の減少をしているためピックアップしやすく、減衰のメカニズムを調べるのに適している。これまで我々は COSMOS 領域の $z=0.7-0.9$ の銀河について、SED fitting から推定された 3 つの期間の sSFR を用いて $sSFR_{321-1000\text{Myr}} > 10^{-9.5}\text{yr}^{-1}$, $sSFR_{40-321\text{Myr}} < 10^{-10.5}\text{yr}^{-1}$, $sSFR_{0-40\text{Myr}} < 10^{-10.5}\text{yr}^{-1}$ の条件で PSB を選出し、これらの銀河が SFG や QG に比べて高い非対称成分の中心集中度 (C_A) を示すことを発見している (Himoto & Kajisawa 2023, MNRAS, 519, 4110)。

本研究では、PSB で見られる C_A の高さの原因を探るために、COSMOS 領域の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、これらの銀河の色が中心から外側へ向かってどのように変化するかを調査した。その結果、PSB は SFG や QG と比較して、外側に比べて内側の方が青いカラーを示すこと、特に C_A が高い PSB においてその傾向が顕著であることが分かった。これらの色の特徴は、PSB の最近起きた強い星形成活動が中心領域で起きた可能性を示唆しており、中心領域の非対称成分は激しい星形成活動のなごりかもしれない。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

X30b 赤方偏移 4 における遠方電波銀河の性質

山本優太, 長尾透, 鍛冶澤賢 (愛媛大学), 山下拓時, 鳥羽儀樹, 内山久和 (国立天文台), 久保真理子, 市川幸平 (東北大学), 登口暁 (信州大学), 播金優一, 小野宣昭 (東京大学)

現在の宇宙に存在する大質量銀河の多くは、初期宇宙から継続的に星形成を行ってきたわけではなく、100 億年以上前の高赤方偏移宇宙においてスターバーストとその後の急速なクエンチングによって形成された (Thomas et al. 2005)。しかし、宇宙初期に大質量銀河が急速にクエンチした物理的なメカニズムはよくわかっていない。このような急速なクエンチングの起源となりうる重要な現象のひとつが、活動銀河核であり、そのフィードバックによって星形成が抑制される (Hopking et al. 2008)。特に、電波銀河は現在の宇宙では星形成をほぼ完了した天体であり、大質量進化の観点で重要な研究対象となっている。遠方電波銀河の性質や恒星質量、星形成の歴史を調査することで、遠方電波銀河が宇宙初期における大質量銀河の形成とどのように関係しているかについて理解が深まると考えられる。そこで遠方電波銀河の性質解明を目的とした探索を行った。

本研究では、すばる望遠鏡 HSC による観測プログラムである HSC-SSP サーベイのデータから得られた g -dropout ライマンブレイク銀河サンプルを使用した。このサンプルと FIRST 電波源カタログをマッチさせた結果、遠方電波銀河候補が 144 天体得られた。この遠方電波銀河候補の性質を調査するため、近・中間赤外線データの VIKING、UKIDSS と unWISE で検出された 28 天体に対し、X-CIGALE を用いた SED フィットを行った。その結果、7 天体については赤方偏移 4 程度の天体と整合的な SED を持ち、それらの天体は星質量が $10^{11} M_{\odot}$ に及ぶ大質量の銀河であることが分かった。また、星形成史を調査した結果、急激に星形成をやめたモデルと一致することがわかった。またこの内 1 天体に対して Gemini 望遠鏡で分光観測を行った結果についても、その解析状況を報告する。

[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](#)

X31b Euclid+UNIONS/WISHES サーベイが開く $z = 3-8$ の活動銀河核探査

市川幸平 (東北大・早稲田大), 尾上匡房 (KIAA), 長尾透, 松岡良樹, 井手亮太 (愛媛大), 泉拓磨, 今西昌俊, 鳥羽儀樹 (国立天文台)

JWST の打ち上げによる非常に高感度の近・中間赤外線分光観測が可能になったことにより、 $z = 5$ を超える遠方の低光度活動銀河核 (AGN; $L_{\text{bol}} < 10^{45} \text{ erg s}^{-1}$) の発見が相次いでいる。その一方で、最遠方 ($z > 7$) の非常にレアな高光度活動銀河核であるクエーサーを探索するには広域の可視光近赤外線探査が必要不可欠である。2023 年 7 月に打ち上げ予定の Euclid は、いままでの missing パラメータ領域であった近赤外線高感度広域探査を予定している。南天および北天で合計 1 万平方度を超える領域を近赤外域で探査予定であるが、その北天領域である 4500 平方度については *ugriz* の可視光帯域の測光サーベイとして UNIONS サーベイがすでに進行中であり、photo- z を精度よく決めるために必須な測光情報を提供予定である。その中でも WISHES サーベイは Subaru/HSC を用いて z -band で 23.4 等の深さまでの探査を担当しており、UNIONS サーベイの、特に $z > 5$ を超える遠方銀河・AGN 探査で重要な役割を担っている。きたる Euclid サーベイと UNIONS/WISHES サーベイデータを組み合わせて実現可能な AGN サイエンスを最大化するために、我々は 2022 年 5 月から月一回のテレコンを非公式に行い、UNIONS/WISHES データ (+Euclid) を用いた活動銀河核のサイエンス検討を進めてきた。今夏には WISHES サーベイ z バンドデータを含めた UNIONS 測光カタログが内部公開される予定であり、本講演ではこのカタログによって新たに開かれる AGN サイエンスである $z = 3-8$ の遠方 AGN 探査計画について報告する。特に遠方電波銀河探査、遠方クエーサー探査、埋もれた AGN 探査についてと、現状の preliminary な UNIONS 可視光データセットで行った $z \sim 3$ の電波銀河探査についても報告をする。

[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](#)

X32a Subaru/HSC-SSP データを用いた銀河系ハローの動径密度分布の導出

鈴木善久, 千葉柁司 (東北大学), Rosemary F. G. Wyse (Johns Hopkins University)

冷たい暗黒物質を仮定した宇宙の構造形成モデルに基づく、銀河は小さな恒星系が重力を介して合体・降着を繰り返すことで形成されてきたと考えられている。複数の数値実験 (e.g., Bullock & Johnston 2005) により、この過程の痕跡は銀河円盤を取り巻くハローと呼ばれる領域に刻まれていることが示されてきた。ハロー構造を観測的に調査する上で、私たちの住む銀河系が注目されてきた。それは恒星の空間分布や空間運動および化学組成に基づいて、ハロー構造を詳細に分析することができるからである。昨今の観測技術の進展により銀河系中心から 30 kpc 以内のハローの構造については理解が進む一方、その外縁部の構造については明らかになっていない。

本研究では Subaru/HSC-SSP の Wide レイヤーで得られた暗い主系列星の観測データを用いて、銀河系ハローの動径密度プロファイルを導出した。その結果、RR Lyrae 星を用いた先行研究 (e.g., Watkins et al. 2009) と同様に太陽から約 30 kpc において動径密度分布の不連続が検出された。その上で外縁部について調査した結果、ハローの動径密度分布が視線方向に応じて異なることが明らかとなった。本講演ではこれらの結果に基づいて銀河系ハローの大局的な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](#)

X33a すばる望遠鏡/HSC 深観測による M33 恒星ハローの探査

小上樹 (総合研究大学院大学/国立天文台), 千葉柊司 (東北大学), 小宮山裕 (法政大学), Puragra Guhathakurta (University of California), Evan Kirby (University of Notre Dame), 石垣美歩 (国立天文台), 林航平 (仙台高等専門学校), 桐原崇亘 (筑波大学)

Λ CDM による階層的構造形成シナリオにおいて、銀河はより小さい恒星系 (e.g., 矮小銀河や球状星団) の合体集積過程により形成されたと考えられている。このような銀河形成過程において、降着した恒星系に付随していた星は空間的に拡散し、銀河の外側領域にまで分布する。このような構造は恒星ハローと呼ばれており、銀河の降着史を解き明かすための重要な構成要素である。局所銀河群にある M33 は、我々から 809 kpc の距離に位置する中質量渦巻銀河である。銀河のハローとサブハローの質量比を考慮すると、M33 には $5 \times 10^{10} M_{\odot}$ のハロー質量を持った恒星系が降着したことが推測され、恒星ハローが存在することが理論的に予測されている。これまで、銀河系や M31 のような大型銀河に対しては恒星ハローの観測が行われ、その性質が明らかになってきたが、M33 のような小さい銀河に対しては、その暗さも影響し、恒星ハローの性質を探る観測はあまり行われていない。そこで我々はすばる望遠鏡/HSC を用いて M33 の深い観測を行い、外側領域の構造解析を行った。

観測の結果、本解析データの 50 % completeness は $i \sim 25.5$ 等級と先行研究より ~ 2 等級以上深いことが確認でき、ハローに普遍的にかつ多く存在する暗く古い星 (Red Clump; RC; $i \sim 24.5$) を捉えることができた。RC を用いて解析した結果、その色が $-0.03 \pm 0.01 \text{ mag kpc}^{-1}$ の空間勾配を持つことが確認できた。RC の色は年齢および金属量と密接に関係し、本観測で得られた空間勾配は外側ほど年齢の古い/金属量が低い恒星ハローの存在を示唆している。本講演では、これらを踏まえた M33 の解析結果についてより詳細に発表する。

[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](#)

X34a Stellar stream の分裂可能性と parallel stellar streams の形成

金田優香, 森正夫 (筑波大学), Andreas Burkert (Ludwig-Maximilians-Universität München, Max-Planck Institute for Extraterrestrial Physics), 三木洋平 (東京大学)

M31 は銀河系に最も近い大質量円盤銀河であり、高精度・高分解能の観測が可能であるために、銀河形成・進化を研究する上で重要なテストピースの役割を担っている。今世紀になって精力的に行われてきた大規模サーベイ観測によって、M31 のステラーハロー部分には過去の銀河衝突の痕跡が多数観測されており、代表的なものとして Andromeda Giant Southern Stream, North-Western Stream, Eastern Extent, Stream A, Stream B, Stream C, Stream D 等が挙げられる。特に、Stream C と Stream D は非常にユニークな特徴を持つことが知られている。この二つのステラーストリームは、互いに天球面上でほぼ平行な位置関係にあるだけでなく、その奥行方向の距離も近い事がわかっている。部分的に視線速度も測られており、共に大きな差異はない。さらに、二つのストリームの幅は同程度であり、金属量もほぼ等しい。以下では、この二つのストリームを parallel stellar streams と呼ぶ。Parallel stellar streams は上に挙げたように極めて興味深い観測的特徴を持つが、その形成過程についての理論的モデルは未だ提案されていない。そこで我々は parallel stellar streams の形成過程を初めて提案する。本研究では、「元々単一であったステラーストリームに他天体の衝突による摂動が加えられることにより二つに分裂する」という仮説を設定し、その正当性に対して N 体シミュレーションによる検証を行った。この結果、衝突により単一ストリームが分裂することを確認した。加えて本講演では、ストリームの分裂の「摂動因子の質量」、「摂動因子の大きさ」、「摂動因子の軌道」に対する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](#)

X35a 宇宙論的 N 体シミュレーションデータの解析によるダークマターサブハローの角運動量ベクトルの獲得メカニズムについて

長船大樹 (北海道大学), 和田桂一 (鹿児島大学), 石山智明 (千葉大学), 岡本崇 (北海道大学)

ダークマターハローは銀河の大部分の質量を担う銀河の構成要素の 1 つである。ダークマターハローの角運動量は銀河の形状や内部構造に関係しており、weak lensing の解析や銀河形成を理解する上で重要である。そのため、先行研究では、ダークマターハローの角運動量に対して、潮汐場によるトルクの影響 (Peebles 1969) や大規模構造フィラメントによる影響 (Libeskind et al. 2012) について調べられてきた。しかしながら、ダークマターハローの内部に存在するダークマターハロー (サブハロー) について詳細な解析は行われておらず、サブハローの角運動量の獲得メカニズムは明らかではない。そこで本研究は、サブハローの角運動量ベクトルの進化に着目し解析を行なった。本研究には、2 つの高分解能宇宙論的 N 体シミュレーションデータ Phi-4096 (Ishiyama et al. 2021) と ν^2 GC-S (Ishiyama et al. 2015) を用いた。Phi-4096 は 1 粒子の質量が $5 \times 10^3 h^{-1} M_\odot$ と質量分解能が高く、 ν^2 GC-S はボックスサイズ $L = 280 h^{-1} \text{Mpc}$ で大量のハローのデータを持つため、これら 2 つの相補的なデータを用いることで統計的かつ高分解能な解析が行える。また、低解像度のデータをサンプルから取り除くため、Bett & Frenk (2016) の条件をもとに粒子数 $N > 1000$ などの制限を満たすサブハローを対象とした。解析の結果、サブハローの角運動量ベクトルはサブハローが降着したハロー (ホストハロー) の中心からの距離と関係が見られ、サブハローの角運動量の方向は、ホストハローの中心付近ではホストハローの角運動量の方向に向き、ホストハローの外縁部ではランダムに向く傾向が得られた。この結果を踏まえて、ホストハローからの潮汐効果がサブハローの角運動量の進化に与える影響について議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

X36a Estimating Galaxy Spectra from Photometry via Latent Representationn

Daiki D. Iwasaki (1), Tsutomu T. Takeuchi (1,2) Suchetha Cooray (1)((1) Nagoya Univ., (2) ISM)

In this study, we present a novel approach for estimating high-dimensional galaxy spectra from limited photometric data. In our recent presentation at the ASJ meeting, we presented the results of a Variational Autoencoder (VAE) trained with galaxy spectra. We demonstrated the effectiveness of VAE latent variables in accurately reconstructing the full spectra and extracting valuable information about the physical properties and morphologies of galaxies. Specifically, we showed that by predicting these latent variables solely from photometric data, we can reliably estimate the complete galaxy spectra.

However, predicting the latent variables from band data poses a challenge due to the complex underlying structure of galaxy spectra captured by VAE latent variables. To overcome this problem, we propose a new semi-supervised VAE model that assigns physical meaning to the latent space. This approach enables us to predict the latent variables from band data.

Traditionally, obtaining galaxy spectra requires expensive and time-consuming spectroscopic observations. However, our proposed method offers an alternative solution by harnessing the power of generative models and latent representations. In this report, we introduce the new model we have developed and demonstrate its ability to accurately obtain full spectra from band 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](#)

X37a すばる望遠鏡 HSC データと SDSS クェーサーカタログを用いた $z = 0.3 - 1.0$ のクェーサー周辺環境の調査

柴田航平, 長尾透 (愛媛大学), 内山久和 (国立天文台), 久保真理子 (東北大学), HSC Project 444

クェーサーの発現メカニズムの一つとしてガスが豊富な銀河同士の合体が提案されているが (e.g., Hopkins et al. 2008)、観測的には確証が得られていない。こうした合体は銀河の個数密度の高いところで、より頻繁に生じることが期待される。したがってクェーサーがどういった銀河環境に存在するのかを確かめることが重要である。

本講演では、すばる望遠鏡 Hyper Suprime-Cam (HSC) データと Sloan Digital Sky Survey (SDSS) クェーサーカタログを用いて、約 $1,000 \text{ deg}^2$ に渡って $z = 0.3 - 1.0$ の 1,955 個のクェーサーの環境を統計的に調査した結果を報告する。これらのクェーサーは SDSS DR14 クェーサーカタログから選択した HSC-SSP Wide 観測領域内に位置する天体である。更に、クェーサーの母銀河星質量と赤方偏移をマッチさせた比較銀河を HSC データから 1,955 天体選択し、同様に環境を調査した。環境の調査には、着目天体から k 番目に近い銀河までの距離に基づいて銀河数密度を算出する k -近傍法を用い、クェーサー周辺の HSC photo- z 銀河の数密度を計測した。

結果として、過去の研究でしばしば報告され銀河相互合体によるクェーサー発現の傍証となっていた、クェーサー周辺の銀河密度の超過は見られなかった。また、クェーサー周辺の銀河数密度と物理量 (ブラックホール質量・絶対等級) の関係を調査した結果、共に有意な正の相関が見られた。その一方で、比較銀河についても星質量からブラックホール質量を推定し、周辺の銀河数密度と物理的性質の関係を調査した結果、同様の相関が見られた。そのため、クェーサー周辺の銀河数密度と天体の物理的性質の関係はクェーサーに特有な関係ではなく、大質量銀河が銀河数密度の高い環境に存在していることに起因しているものだと考えられる。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

X38a The properties of AGN-host galaxies at $z \sim 0.7 - 2.5$ unveiled with COSMOS-Web

Takumi Tanaka (U.Tokyo/Kavli IPMU), John D. Silverman (U.Tokyo/Kavli IPMU), Xuheng Ding (Kavli IPMU)

Studies of local galaxies found a strong correlation between the mass of galaxies and the mass of supermassive black holes (SMBHs) at their centers, suggesting a coevolution between them. Thanks to the high resolution and sensitivity of JWST, we can discuss the properties of AGN-host galaxies at higher- z in more detail. To delve into the properties of host galaxies more statistically, we present an analysis of ~ 70 X-ray-selected and already spectroscopically observed type-I AGNs at $0.7 < z < 2.5$ within COSMOS-web (Casey et al. 2022), a large ($\sim 0.54 \text{ deg}^2$) imaging survey using JWST. We perform a 2D image decomposition method (c.f., Ding et al. 2022) that extracts host galaxy components from image data by fitting with PSF and Sersic profiles and succeed in detecting host galaxy components, including sub-structure at $z \sim 2$. Then, we estimate the stellar mass of the host galaxies through SED fitting to discuss the evolution of the mass relation between host galaxies and their SMBHs in the high- z universe. We also discuss the morphological parameters and sub-structures of host galaxies. In this presentation, we will report our initial results using the COSMOS-web data obtained in January and April 2023.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

X39a First detections of SiII* haloes at $z > 2$ with MUSE

Haruka Kusakabe (NAOJ/UniGE), A. Verhamme (UniGE), V. Mauerhofer (RUG), T. Garel (UniGE), J. Balizot (CRAL), J. Richard (CRAL), Y. Guo (CRAL), F. Leclercq (UT Austin)

The hydrogen of the circumgalactic medium (CGM) is found to be common among star-forming galaxies at high redshifts through extended Ly α emission (e.g., Steidel+11; Leclercq+17; Kusakabe+22). The CGM is supposed to be metal enriched even at $z > 2$ from absorption line studies (e.g., Lehner+16; Muza-hid+21; Davies+22). However, this method does not provide the spatial distribution of the CGM. Recently the metal-enriched CGM has been mapped with [OII], MgII, and FeII* at $z = 0-1.5$ (e.g., Yuma+13; Finley+17; Wang+20; Leclercq+22) as well as with [CII] at $z > 5$ for massive galaxies (e.g., Fujimoto+19). At $z > 2$, SiII* can be observed with MUSE. In this project, we searched for SiII* extended emission around $N \sim 40$ individual galaxies at $z \simeq 2-6$ using MUSE HUDF + MXDF DR2 (Bacon+23) and got 5 detections of SiII* haloes. We also stacked a subsample of UV-bright galaxies and confirmed the presence of SiII* haloes. We will investigate the surface brightness profiles of SiII* and UV continuum and discuss photon conservation by measuring EW of resonant absorption and fluorescent emission. We will also compare those observational results with simulations in Mauerhofer+21.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

X40a 赤方偏移 $z = 3.3$ の DLA 母銀河からの Ly α 輝線の検出

小森楓雅, 井上昭雄, 菅原悠馬 (早稲田大学), 馬渡健, 橋本拓也 (筑波大学), 山中郷史 (鳥羽商船高専), 梅畑豪紀 (名古屋大学), 藤本征史 (テキサス大学), Jorjyt Matthee (ETH Zurich)

銀河や銀河群、あるいは銀河団などを結ぶ水素ガスの大規模構造 “Cosmic Web” は銀河進化において重要な役割を持つ。また、クエーサーや銀河のスペクトルに見つかる高い中性水素 (HI) 柱密度を持つ Ly α 吸収線系は Damped Lyman-Alpha system (DLA) と呼ばれる。VLT/MUSE による観測で DLA は単一の銀河にのみ付随するものではなく銀河群のような複雑な銀河環境と関係しているとする結果が得られており (Péroux, C. et al. 2019)、DLA と Cosmic Web や宇宙の大規模構造の関連性を示唆している。我々は以前の観測で、 $z = 3.3$ の DLA、ライマンブレーク銀河、および分子ガスに富むサブミリ波銀河が 200kpc 以内で互いに隣接する銀河群を見つけた。この銀河群中の DLA は、 $\log(N_{\text{HI}}/\text{cm}^{-2}) \simeq 21.7$ の高密度 HI ガスをもち (Mawatari et al. 2016)、銀河群メンバーの位置関係から Cosmic Web のフィラメントの一部の可能性もある。銀河の高い密度ゆえに強まった電離放射により、Ly α 輝線で光るフィラメントがあるかもしれない。そこで、Keck/KCWI を利用して積分時間 24000 秒の深い面分光観測を $20''.4 \times 33''$ の視野で行うことで、Ly α フィラメント構造の検出を試みた。

先行研究の Mawatari et al. 2016 で得られた DLA スペクトルを参考に DLA の中心波長帯 (5245 - 5305Å) のナローバンドイメージを作成した。そこから連続光成分を引いて Ly α 輝線および吸収線イメージを作成した。DLA による吸収を画像上で確認し、その有意性は $S/N \simeq 6$ であった。また、DLA 吸収領域のすぐ隣に Ly α 輝線を $S/N \simeq 4$ で検出し、DLA とのインパクトパラメータは 13.7 kpc ($1''.84$) だった。この Ly α 輝線は空間的にコンパクトなため DLA を発生させる HI ガスの母銀河だと考えられ、銀河群の新たなメンバーの可能性もある。

[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 遠方銀河団の近赤外線分光観測によって探る銀河の質量-金属量関係

安達孝太, 児玉忠恭 (東北大学), Jose Manuel Perez Martinez(IAC), 鈴木智子 (IPMU), 他 MAHALO チーム

高赤方偏移の銀河団環境における質量-金属量関係 (MZR) には、銀河の形成・進化に関わる物理過程に制限を与えられる可能性が秘められており、また星形成率、ガス質量といった追加のパラメータを考慮することで、より基本的なスケーリング則である Fundamental Metallicity Relation(FMR, Mannucci et al. 2010) を探る試みがなされている。しかし高赤方偏移における MZR の環境依存性については未だ明確な結論が出ていない (Maiolino & Mannucci 2019)。

我々は Keck 望遠鏡に搭載された近赤外線多天体分光器 MOSFIRE を用いて、 $z = 1.46$ の銀河団 XMMXCS J2215.9 – 1738 のメンバー銀河に対して J, H バンドでの分光観測を行い、輝線フラックスから星形成率と金属量を求めた。結果、これらのターゲットは FMOS-COSMOS で捉えられた $z \sim 1.5$ のフィールド銀河 (Kashino et al. 2017) と比較して平均 0.1 dex 高い金属量を有することが明らかになった。この傾向は星形成率が同赤方偏移の星形成銀河の主系列を下回る銀河ほど強くなるため、FMR を示唆する結果となった。更にこれらのデータと ALMA band 3, band 7 で得られたガス質量のデータを組み合わせ、gas regulator model(Peng & Maiolino 2014, Suzuki et al. 2021) を仮定することでアウトフローの強さに関して推定したところ、mass-loading factor $\lambda =$ アウトフロー率/星形成率が比較的小さい値を示した。これは銀河団ガスによってアウトフローが抑制されていることに起因するかもしれない。講演ではこれらの結果について、フィールド環境のアウトフローとの比較などより詳細な考察を行う。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

X42a 種族 III 星が混在する初代銀河の形成過程

矢島 秀伸, 安部 牧人, 福島 肇 (筑波大学)

近年、ジェームズウェッブ宇宙望遠鏡により遠方銀河探査が急速に進んでいる。それにより、赤方偏移 8 を超える初期宇宙での銀河の光度関数、星形成史、星間ガスの状態などが徐々に明らかになりつつある。一方で、理論的には初代銀河内での星形成、フィードバック、星間ガスの構造などは良く分かっていない。我々は、宇宙論的輻射流体シミュレーションによって、初期宇宙のミニハローから大質量銀河形成までを繋ぐシミュレーションを行った。特に、原始銀河団と呼ばれる宇宙大規模構造での高密度領域に着目し、シミュレーションには種族 III 星のモデルを考慮して研究を行った。

結果として、初代銀河は 10 太陽質量/年を超える活発な星形成と、超新星フィードバックによるガスの排出、星形成の抑制を繰り返し、星形成は激しく変動しながら進む事が分かった。そして、我々のモデル銀河は、近年ジェームズウェッブ宇宙望遠鏡で観測された赤方偏移 10 以上の銀河の星形成、星質量を上手く再現する事が分かった。また、種族 III 星から種族 II 星への遷移はハロー質量の成長とともに徐々に進んでいき、星質量が 1000 万太陽質量程度の銀河においても、種族 III 星が僅かながら含まれる事が分かった。講演では、種族 III 星と初代銀河の関係を定量的に示した上で、観測特性への影響についても議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

X43a 初代銀河形成シミュレーション：星団の形成と進化

Fred Angelo Batan Garcia, Massimo Ricotti (メリーランド大学)、杉村和幸 (東北大学)、Jongwon Park、(メリーランド大学)

宇宙で最初の世代の銀河である初代銀河の形成は、現在にまで至る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の活躍などにより初代銀河の観測が飛躍的に進みつつある今、その理論的な理解を進めることがこれまで以上に強く求められている。本講演では、Garcia, Ricotti, Sugimura, Park, MNRAS 522, 2495 (2023) 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。

本シミュレーションでは、銀河を構成する星々が主に星団として形成することに着目し、その過程をシミュレーション中の星形成モデルとして実装することで、初代銀河形成の際に星団の形成と進化がどのような役割を果たすかについて調べた。その結果、星団中で生まれた星々は、その後の時間発展の中で星団を離れてフィールド星になり、そのようなフィールド星が初代銀河の主な質量を担うことがわかった。一方で、銀河がバースト的に星形成している状況では、銀河の全光度に対して、星団中に存在する若い大質量星の占める割合が大きくなり、そのような初代銀河は不規則銀河として観測されるという示唆が得られた。

[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](#)

X44a 銀河衝撃波が銀河間空間に伝播するための星形成率閾値

照井 勇登 (防衛大学校)、釜谷 秀幸 (防衛大学校)

近傍宇宙の観測において、宇宙論的に予測されるバリオン総量の内半分程度しか観測できていない。残りのバリオンがどこにどのような形態で存在するかを解明することは、現代の宇宙の構造形成を詳細に理解するために必須の研究である。こういったミッシングバリオンの正体を明らかにするためには、観測技術の制約を踏まえつつ、高赤方偏移における天体構造形成過程を再吟味する必要がある。そこで、近傍宇宙における星間物質や銀河間物質の研究及び観測結果を踏まえ、今後の研究の進展に活用できる天体構造形成課程の物理モデルを構築したい。前回の研究では、Sofue(1994) を参考に、銀河中心部で短期間に多数の超新星爆発が発生した場合に、銀河極方向に噴出する銀河風により発生する銀河衝撃波の伝搬の様相を示す物理モデルを提案した。今度はその対象を高赤方偏移に存在する銀河に拡張し、同様に銀河衝撃波の伝搬の様相を計算し、近傍宇宙に存在する同種銀河の場合と比較した。結果、高赤方偏移では近傍宇宙と比べて星形成率 (SFR) の上昇 (Kashino et al.(2013)) による効果が銀河間空間の密度上昇の効果を上回り、銀河衝撃波がより遠方まで伝搬することが分かった。また、銀河衝撃波が銀河を飛び出し銀河間空間へ到達するための星形成率閾値 (critical SFR) は、他の物理量 (銀河半径、銀河質量等) との関係吟味することで、銀河回転速度と密接な関係があることが分かった。本講演では、さらにこれらの結果について考察し、今後の研究を進行させる上での意義も述べる。

[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](#)

X45a Feedback Efficiency at $z \sim 4-8$ Probed by JWST NIRSpec and NIRCам WFSS

Yi Xu (U. Tokyo), Masami Ouchi (NAOJ/U. Tokyo), Kimihiko Nakajima (NAOJ), Yuichi Harikane, Yoshiaki Ono, Yuki Isobe, Hiroya Umeda, Yechi Zhang (U. Tokyo)

Massive stars and supernovae heat and expel the surrounding gas that is launched as outflows. Theoretical models suggest that the outflows efficiently suppress the star formation in low-mass galaxies with shallow gravitational potential, especially for the galaxies that form in the first 1 billion years of cosmic history at $z > 6$. However, observational constraint of feedback efficiency is difficult due to the inconspicuousness of the outflow signatures. The latest James Webb Space Telescope offers the ability to observational constrain stellar feedback at high z . We use the NIRSpec data of 15 $z \sim 4-8$ galaxies taken by the GLASS program (Treu et al. 2022). We also reduce the NIRCам/WFSS data taken by the FRESCO program (Oesch et al. 2023) and include 14 $z \sim 7-8$ [OIII] emitters found in the GOODS-S/-N fields. We detect outflow signatures for 11 out of the 29 ($= 15 + 14$) galaxies. We conduct double Gaussian fitting to the [OIII] $\lambda 5007$ emission lines to derive the outflow properties. We calculate the outflow velocity and find a tight correlation between outflow velocity and the circular velocity of the dark matter (DM) halo (v_{cir}) consistent with previous findings. We estimate the mass outflow rate $\dot{M}_{\text{out}}$ and the mass loading factor $\eta = \dot{M}_{\text{out}}/\text{SFR}$. We obtain $\eta \sim 0.1-1$ similar to those of $z \sim 2$ star forming galaxies although our galaxies have lower stellar masses and DM halo masses. On the other hand, our galaxies have similar v_{cir} to $z \sim 2$ galaxies due to the compactness of high- z galaxies. We thus propose v_{cir} as a major property that regulates the feedback efficiency.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

X46a Star-by-star 銀河形成シミュレーションに向けた超新星フィードバックのサロゲートモデリング

平島敬也, 藤井通子 (東京大学), Shirley Ho (CCA/Princeton 大学/NYU), 森脇可奈 (東京大学), 平居悠 (Notre Dame 大学/東北大学), 斎藤貴之, 牧野淳一郎 (神戸大学)

銀河形成シミュレーションでは、 N 体/Smoothed particle hydrodynamics (SPH) 法や moving mesh 法, adaptive mesh refinement を用いて計算するが、現状のアルゴリズムでは、十分な並列化効率が達成できる並列度に限界がある。例えば、重力だけで相互作用する粒子 (ダークマター粒子と星粒子) と、流体力学相互作用する粒子 (SPH 粒子) の 3 種類の粒子を用いる N 体/SPH 法による Zoom-in シミュレーションでも 10^9 個程度の粒子で天の川サイズの銀河を表しており、質量分解能は $10^3 M_{\odot}$ 程度に止まっている (Applebaum et al. 2021).

我々は、 N 体/SPH 法を用いて、スーパーコンピュータ「富岳」上で銀河の個々の星まで分解した star-by-star シミュレーションを実行するためのコードの開発を進めている。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、銀河内における超新星フィードバックの数値シミュレーションを機械学習で再現する手法 (サロゲートモデル) を開発し、演算・通信回数の削減を試みる。本手法では、高分解能の巨大分子雲スケールでの超新星爆発シミュレーションの結果を事前にモデルに学習させる。本モデルは、巨大分子雲内で超新星爆発が起こった時刻の周辺領域の物理量の分布を入力とし、 $\Delta t = 10^5$ 年後の物理量の分布を予測する。本講演では、エネルギー保存や超新星残骸の形状などの再現の観点から、短い時間刻みでシミュレーションを行った場合とのずれを評価し、予測の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](#)

X47a 巨大分子雲の進化像

福井康雄 (名古屋大学)

巨大分子雲 GMC は銀河における星形成の場である。GMC の進化を解明することは、銀河進化を理解するうえで基本的な重要課題である。1999 年、福井らは大マゼラン雲の分子雲を NANTEN によって掃天観測し、GMC の全体像を一個の銀河について初めて明らかにした (Fukui et al. 1999)。その結果、GMC には星形成の活発さの異なる次の 3 タイプがあることが見出され、各 Type は several-10Myr を時間スケールとする進化系列を表すと解釈された。

Type I は星形成の兆候を示さず、

Type II は小規模な HII 領域を伴い、

Type III は大規模な HII 領域と星団を伴う。

この結果は、GMC の星形成は時間とともに活発化し、最終的には GMC は星団の作用によって散逸する、という進化の描像を示す。同じ傾向は M33 においても確認され (Corbelli et al. 2017)、最近 M74 にも拡張されて (Demachi et al. 2023)、普遍的な進化描像として確立されつつある。さらに、2009 年以降の研究によって、分子雲衝突のトリガーが大質量星/星団を形成することが明らかになり (Fukui et al. 2021)、Type 間の遷移が分子雲衝突によって確率論的に起こる可能性が有力である (Demachi et al. 2023)。GMC の重力的緩和が 10Myr のタイムスケールで進行し、柱密度が増加することによって、Type III の星形成は一層活発化すると考えられる。本講演では、以上の研究によってもたらされた GMC 進化像を整理し、今後の研究展開を展望する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

X48a Initial results of the CRISTAL Survey I. Overview and [CII] size measurements

Ryota Ikeda (SOKENDAI), Ken-ichi Tadaki (Hokkai-gakuen Univ.), Ikki Mitsuhashi (Univ. of Tokyo), Rodrigo Herrera-Camus (Univ. de Concepción), Manuel Aravena, Jorge González-Lopez (Univ. Diego Portales), Ilse De Looze (Ghent Univ.), Natascha Förster Schreiber (MPE), Justin Spilker (Texas A&M Univ.) and the CRISTAL Team

One of the major achievements in extragalactic studies with ALMA is the detections of the [CII]158 μ m line emission in young star-forming galaxies during and after the Epoch of Reionization. With deep HST imaging and the launch of JWST, we are entering an era where stars and gas are studied in detail on kiloparsec scales. In this context, we present the overview and initial results of the ALMA Cycle 8 Large Program, CRISTAL Survey (PI: R. Herrera-Camus). CRISTAL targets 19 typical $z \sim 4-5$ galaxies at kiloparsec resolution spanning a factor of 30 in stellar mass, and will produce detailed kinematic and morphological maps of the cool gas in and surrounding these galaxies. Individual [CII] sizes including merging systems are successfully obtained by modeling visibilities, where about half of them were not measured with the low-resolution data alone. The [CII] line emission is more extended than the rest-UV and FIR emissions by up to a factor of ~ 4 . We plan to discuss the origin of this extended nature of the [CII] line emission by comparing size ratios with various physical properties.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

X49a Initial results of the CRISTAL Survey II: Resolved dust emission of typical star-forming galaxies at $z=4-6$

Ikki Mitsuhashi (Univ. of Tokyo), Ken-ichi Tadaki (Hokkai-gakuen Univ.), Ryota Ikeda (SOKENDAI), Rodrigo Herrera-Camus (Univ. de Concepción), Manuel Aravena, Jorge González-López (Univ. Diego Portales), Ilse De Looze (Ghent Univ.), Natascha Förster Schreiber (MPE), Justin Spilker (Texas A&M Univ.) and the CRISTAL Team

Submillimeter morphologies of high redshift galaxies are essential for understanding galaxy evolution as a tracer of obscured star formation. In the ALMA cycle-8 large program, CRISTAL, we have individually detected dust continuum emission from 15 typical star-forming galaxies at $z = 4-6$ in addition to [C II] $158\mu\text{m}$ emission line. The fraction of dust-obscured star formation is 50% in the mass range of $\log M_*(M_\odot) \sim 9.5-10.5$, and it exhibits significant variety from one galaxy to another. Thanks to high-resolution and deep observations, we could measure the dust continuum size of these galaxies. The effective radii of the dust emission are on average ~ 1.5 kpc and are almost comparable with the rest-frame UV sizes of these galaxies. The infrared surface densities of these galaxies are one order fainter than dusty star forming galaxies, which show a compact starburst in the center. Based on the comparable contribution of dust-obscured and dust-unobscured star formation and comparable spatial extent, it is suggested that typical star-forming galaxies are forming their disks through their widespread star formation.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

X50a ALMA 観測による $z \sim 5$ の赤い大質量銀河のダスト吸収と星形成活動の研究

福島秀麻 (早稲田大学), 札本佳伸 (早稲田大学/国立天文台), 井上昭雄 (早稲田大学), Pascal Oesch (University of Geneva), Andreas Faisst (Caltech/IPAC), 他

宇宙開闢以来、銀河がどのように進化してきたかを知るために、高赤方偏移の銀河の星形成率を調査することは極めて重要である。この星形成率の推定には、静止系紫外線の情報が主に用いられてきた。しかし、紫外線は塵による吸収を強く受ける。そのため、塵による吸収の度合いを定量的に調査することは、銀河進化の研究で基礎となる重要な意味を持つ。この塵による吸収を推測するために使われている関係性が、IRX- β 関係である。Meurer et al. (1999) が近傍銀河の観測で発見したこの関係は、赤方偏移が 4 以下で同様に成り立つことが種々の研究で明らかにされている。一方で、赤方偏移が 5 を超える場合、この関係は変化する可能性が示唆されている。特に ALMA ラージプログラム ALPINE では、主として $z \sim 5$ の $\beta < -1.5$ の銀河を研究し、近傍宇宙の IRX- β 関係よりも急であることを示唆しているが (Fudamoto et al. 2020)、一方でサンプルが β の値の小さいものに偏っているという指摘もある。

以上の背景のもと、我々は以下の研究を行ったので報告する。 $z \sim 5$ で $\beta > -1.5$ を満たすとみられる銀河を COSMOS 領域, GOODS-South 領域, UDS 領域から 24 個選んで ALMA で観測し (band-7: 345GHz), うち 14 天体のダスト連続光を 3.5σ 以上で検出した。既存のカatalogデータも利用して、各天体の IRX や β の値を計算した。また、恒星質量 M_* , 赤外線による SFR, 紫外線による SFR なども計算した。講演では、これらの値の関係を先行研究と比較しつつ発表する。加えて、JWST による観測結果も援用し、静止系紫外から可視、遠赤外線波長にわたる銀河の形態を比較することで、高赤方偏移での星形成に制限を与える。

[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](#)

X51a Importance of the scatter in the SFR-halo mass relation in analysing galaxy survey and line intensity mapping data

Rui Lan Zhang (UTokyo), Kana Moriwaki (UTokyo), Tom Theuns (Durham University)

Future observations aim to map increasingly larger volumes of the universe, with Euclid planning to map $15,000\text{deg}^2$, for example. Spectroscopic galaxy surveys will provide precise position information, while line intensity mapping (LIM) can efficiently map faint galaxies undetected by galaxy surveys by measuring the cumulative emission from spectral lines. Besides its role in constraining cosmology, LIM complements galaxy surveys in providing opportunities to probe the star formation history and constrain the star formation rate density, by probing larger numbers of galaxies and deeper redshifts.

The observations will map emission lines, which can serve as indicators of the star formation rate (SFR), thereby offering valuable insights into star formation processes. However, interpreting these observations requires suitable models. A common alternative to computationally expensive hydrodynamical simulations is to assign galaxy properties to dark matter halos. With such methods, accurate modelling of scatter in the SFR remains challenging due to its stochastic nature. We evaluate how important the scatter in the SFR-halo mass relation is, including what uncertainties arise from assuming no scatter or Gaussian scatter. We are also using the IllustrisTNG and EAGLE simulations to investigate what drives this scatter, with the aim of building more accurate models. Additionally, we address other subtleties in modelling, such as how important the rare objects are. Questions such as these become important when we want to extrapolate to larger volumes.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

X52a Simulating Galaxy Colors for Next-Generation Photometric Surveys

Suchetha Cooray¹, and Peter Behroozi^{1,2}

(1: National Astronomical Observatory of Japan, 2: University of Arizona)

Next-generation surveys such as the Rubin Observatory Legacy Survey of Space and Time (LSST) and the Subaru Hyper Suprime-Cam (HSC) Survey offer an unprecedented amount of data in the form of magnitudes and colors (differences in magnitudes at various wavelengths). Developing a physically consistent simulation encompassing multi-wavelength and multi-cosmic epoch observations is crucial to maximally infer galaxy formation physics from these surveys. However, replicating observed color distributions remains a significant challenge due to the wide range of timescales of the physical processes involved, spanning from approximately 10^7 to 10^{10} years. In this study, we extend the empirical galaxy formation model, UniverseMachine (Behroozi et al., 2019), to forward model observable color distributions in the optical regime for redshift < 0.1 . More photometric bands, redshift ranges, and surveys are being implemented. Theoretical implications include an unbiased picture of the connection between galaxy and halo growth while self-consistently modeling dust and other observational effects. Implications for observers are accurate handling of selection functions and highly realistic mock catalogs for the next-generation large-volume surveys informed by the latest observations. The broader impacts are constraints on both cosmology and galaxy formation physics.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

X53a JWST/NIRSpec 分光データで探る $z=9-13$ における星形成活動

播金優一 (東京大学)

本研究では JWST/NIRSpec 等で分光同定された赤方偏移 $z = 8.61 - 13.20$ の 25 個の銀河サンプルを用いた UV 光度関数と星形成率密度への制限について発表する。ERO, ERS, GO, DDT で取られた複数の NIRSpec 分光データを解析することで、 $z = 11.04$ での新しい分光同定天体を含む 16 個の $z = 8.61 - 11.40$ の銀河を同定した。過去の研究で分光同定された 9 天体を合わせた 25 天体を用いて UV 光度関数を $z = 9 - 12$ で計算したところ、NIRCam 撮像画像をもとにした結果と無矛盾な個数密度が得られた一方で、 $z = 12$ では一部の理論モデルの予想に比べて高い値が得られた。またこの結果を用いて宇宙の星形成率密度の下限値を計算したところ、 $z = 9 - 10$ では赤方偏移によらず一定の星形成効率を仮定したモデルの予想と無矛盾だったが、 $z = 12$ ではモデルの予想と tension がみられた。この tension の原因としては、1) 高い星形成効率、2) AGN, 3) top-heavy な初期質量関数が考えられる。本講演では NIRSpec 分光データを用いた暗い AGN 探査の結果も合わせて紹介しつつ、これらの原因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](#)X54a NOEMA observations of GN-z11: Constraining Neutral Interstellar Medium and Dust Formation in the Heart of Cosmic Reionization at $z = 10.60$

札本佳伸 (早稲田大学, 国立天文台), Pascal Oesch (University of Geneva), 井上昭雄 (早稲田大学), 菅原悠馬 (早稲田大学, 国立天文台)

The first few hundred million years after the Big Bang at redshifts of $z > 10$ are the last major unexplored epoch in the history of the Universe. Recently, the arrival of the James Webb Space Telescope (*JWST*) has opened a completely new window to study the very high redshift Universe. During the first observation cycle, *JWST* confirmed a spectroscopic redshift of GN-z11 at $z = 10.603$, an extremely luminous $z > 10$ galaxy identified using *HST* and *Spitzer* (Oesch+16, Bunker+23). Due to the extreme luminosity of GN-z11 ($M_{UV} = -21.5$), GN-z11 is one of the prime interest in the *JWST* cycle-1, and detailed observations have been performed; Deep imaging (Tachella+23), spectroscopy (Maiolino+23a). Despite the detailed, large amount of observations, GN-z11 still remains one of the most puzzling galaxies (e.g., Maiolino+23b, Charbonnel+23).

In this talk, we present the results of our observations of GN-z11 using the Northern Extended Millimeter Array (NOEMA). The observations have been carried out over multiple cycles between the year 2014 and 2019. By combining all observations, we achieved a high sensitivity to deeply constrain the limit of the [CII] 158 μm emission luminosity and $\lambda \sim 160 \mu\text{m}$ dust continuum of GN-z11. The observations allow us to study the neutral gas and dust formation of GN-z11, to which *JWST* does not have access. We will further discuss the importance of future mm/submm observations of very high-redshift galaxies using NOEMA and 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](#)

X55a 高い窒素酸素比を持つ高赤方偏移銀河 GN-z11 の元素の起源

渡辺くりあ (総合研究大学院大学), 大内正己, 中島王彦, 冨永望, 石垣美歩, 高橋亘 (国立天文台), 鈴木昭宏, 野本憲一, 磯部優樹 (東京大学), 他 Watanabe et al. (2023) 共著者

ジェイムズ・ウェッブ宇宙望遠鏡 (JWST) によって高赤方偏移銀河の直接観測が可能になり、初期宇宙における銀河の元素組成比が調べられるようになった。特に、JWST 観測で報告された $z=10.6$ にある GN-z11 銀河は $[N/O]=0.52$ と非常に高い窒素酸素比を示しており、その豊富な窒素の起源が議論されている (Bunker et al.2023)。GN-z11 における窒素の供給源の候補として、Wolf-Rayet (WR) 星の恒星風 (Cameron et al.2023) や $10^4 - 10^5 M_{\odot}$ の超大質量星 (SMS) の CNO サイクル (Charbonnel et al.2023) が挙げられている。

本研究では、上に挙げた 2 つのシナリオが予想する元素組成比について定量的に比較検証を行った。WR 星では星の自転により、CNO サイクルが活発化され、窒素が豊富になり、恒星風によって放出されるが、超新星爆発 (SN) が起こると酸素が供給され、N/O は低下する。WR 星の恒星風と SN による N/O の進化モデルを作成し、GN-z11 の N/O の再現するためには、 $\sim 97\%$ 以上の WR 星が SN を起こさず、直接崩壊 (DC) し、ブラックホールになる必要があることがわかった。WR 星と SMS の窒素の供給源はどちらも CNO サイクルであるため、GN-z11 ですでに観測されている N/O や C/O では 2 つの窒素の起源を区別できない。そこで、CNO サイクルの影響を受けず、高赤方偏移でも比較的観測しやすい Ar に着目した。本講演では、化学進化モデルを用いて、2 つの候補を分離するために Ar/O が有効であることを示すとともに、GN-z11 や他の JWST で観測された高赤方偏移銀河の元素組成比について議論する。また、Maiolino et al. (2023) によって、GN-z11 に AGN があることが示唆されているため、AGN で起こる星の潮汐破壊現象が N/O の増加に寄与している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](#)

X56a RIOJA: Optical and Far-Infrared View of a Major Merger at $z = 7.15$

Y. Sugahara^{1,2}, J. Álvarez-Márquez³, T. Hashimoto⁴, L. Colina³, A. K. Inoue¹, L. Costantin³, Y. Fudamoto^{1,2}, K. Mawatari⁴, S. Arribas³, T. J. L. C. Bakx⁵, C. Blanco-Prieto³, D. Ceverino⁶, A. Crespo Gómez³, M. Hagimoto⁵, T. Hashigaya⁷, R. Marques-Chaves⁸, H. Matsuo², Y. Nakazato⁹, M. Pereira-Santaella¹⁰, Y. W. Ren¹, Y. Tamura⁵, M. Usui⁴, N. Yoshida⁹ (¹Waseda U., ²NAOJ, ³El Centro de Astrobiología, ⁴Tsukuba U., ⁵Nagoya U., ⁶U. Autònoma de Madrid, ⁷Kyoto U., ⁸Geneva Observatory, ⁹U. of Tokyo, ¹⁰Instituto de Física Fundamental)

Combinations of JWST infrared and ALMA submillimeter observations allow us to investigate a multi-phase structure of high-redshift galaxies. The Reionization and the ISM/Stellar Origins with JWST and ALMA (RIOJA) is a JWST GO Cycle 1 program targeting bright [OIII]88+[CII]158 μm emitters at $z > 6$ with NIRCам and NIRSspec IFU to establish relations between stellar, gaseous, and dusty properties of the high-redshift galaxies. In this talk, we would like to present results of our NIRCам observations targeting B14-65666 (a.k.a. Big Three Dragons), a bright major merger at $z = 7.15$. The NIRCам images clearly revealed detailed morphology of the two merging clumps in mid-infrared wavelengths in the observed frame. A merging clump is accompanied with diffuse emission around it, indicating large tidal tails at this high redshift. The F444W photometry shows excesses in both merging clumps being caused by a strong [OIII] 5007 emission line, which support that it is experiencing instant starburst caused by the major merging event. We will discuss results of the SED fitting and a comparison with ALMA observations of emission lines and underlying dust continua.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

X57a EIGER: 宇宙再電離における銀河の役割と銀河間ガスの進化

柏野大地 (NAOJ), EIGER チーム

EIGER サーベイ (Emission-line galaxies and Intergalactic Gas in the Epoch of Reionization) によって得られた知見を報告する。EIGER は JWST/NIRCam 広視野スリットレス分光モードで、6 つの高赤方偏移 ($z \gtrsim 6$) クェーサー領域において銀河探索を行うプログラムである。2023 年春季年会では、第 1 の観測領域から得られた初期成果を報告したが、今回の発表では新たに完了した 3 個のクェーサー領域の解析結果を含める。いずれの領域でも多数 (およそ 90 から 150 個) の $[\text{O III}]\lambda 5008\text{\AA}$ 輝線を分光検出することに成功した。非常に興味深いことに、我々のサンプルは、これらの背景クェーサーは常に極めて顕著な銀河密度過剰領域に存在していることを示している。また銀河の分布と背景クェーサーの中性水素吸収スペクトルとの相関を調べ、銀河の周辺 5–6 cMpc 程度の範囲に $\text{Ly}\alpha/\text{Ly}\beta$ 光の透過領域、つまり電離領域が形成されている証拠を発見した。これは、まさに銀河が宇宙再電離の駆動体であることを示している。さらに再電離完了以前の $z > 5.5$ では、銀河の数密度とガスの透明度の空間分布の間に正の相関が見られるのに対し、 $z < 5.5$ では負の相関に反転する様子も確認した。この反転は、 $z = 5.5$ を境に電離放射場が空間的に十分に様になったことを示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](#)X58a $z = 7 - 12$ 銀河の $\text{Ly}\alpha$ 輝線等価幅とベイズ推定で探る宇宙再電離史

中根美七海 (東京大学), 大内正己 (国立天文台/東京大学), 中島王彦 (国立天文台), 播金優一, 小野宜昭, 磯部優樹, Yechi Zhang, 梅田澁也, Yi Xu (東京大学)

宇宙を満たしていた中性水素 H I は、晴れ上がりから $z \sim 5 - 6$ までの間に電離され、宇宙の再電離が起こったと考えられている。再電離の赤方偏移進化 (再電離史と呼ぶ) は未解明の課題であり、現在 2 つのシナリオが提唱されている。1 つは低質量銀河が再電離源となり早い時代 ($z \sim 13$) からゆっくりと再電離が進む単調シナリオ (Finkelstein et al. 2019) であり、もう 1 つは高質量銀河や AGN が再電離源となり遅い時代 ($z \sim 10$) から急速に再電離が進んだ加速シナリオ (Naidu et al. 2020) である。再電離史を明らかにするためには、各赤方偏移の背景天体のスペクトルに見られる $\text{Ly}\alpha$ 減衰翼の吸収を測定し、宇宙平均の水素の中性度 x_{HI} を測定する方法があるが、これには高い S/N で背景天体 (QSO や GRB など) の観測が必要となるため、高赤方偏移 ($z \gtrsim 7 - 8$) の x_{HI} の測定は行えなかった。我々は、JWST/NIRSpec の高い感度を生かし、ERS と GTO, GO 観測等で得られたアーカイブデータにある 35 個の $z = 7 - 12$ 銀河のスペクトルを用いて、 $\text{Ly}\alpha$ 輝線の等価幅を求めた。 $\text{Ly}\alpha$ 等価幅分布が銀河間物質の H I による $\text{Ly}\alpha$ 減衰翼の吸収で変わることを利用し、観測から得られた等価幅の赤方偏移進化と数値シミュレーションの結果をベイズ推定を用いて比較することで x_{HI} を求めた。その結果、赤方偏移 8–12, 7 では $x_{\text{HI}} \simeq 0.8 \pm 0.2, 0.6 \pm 0.2$ であることが分かった。これから、 $z > 10$ で大半の再電離が起こるといった早い時代の再電離を棄却できた。一方で、本研究で得られた x_{HI} の推定値に対する誤差が大きいため、上述の 2 つのシナリオを見分けることはできなかった。本講演では、明らかにされた再電離史から予想される再電離源について議論すると共に、2 つのシナリオを見分けるのに必要な観測について提案したい。

[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](#)

X59a 銀河の Ly α 減衰翼吸収から探る $z = 7 - 12$ の中性割合と電離泡半径の進化

梅田滉也 (東京大学), 大内正己 (国立天文台/東京大学), 中島王彦 (国立天文台), 播金優一, 小野宜昭, Yi Xu, 磯部優樹, Yechi Zhang (東京大学)

宇宙再電離によって銀河間の中性水素 HI が $z \sim 5$ までは全て電離されたことが確かめられている一方、宇宙再電離がいつ始まり、中性割合 x_{HI} がどのような赤方偏移進化を辿ったかはまだ分かっていない。電離光子の供給源が少数の大質量銀河 (e.g., Naidu et al. 2020) か大量の小質量銀河 (e.g., Finkelstein et al. 2019) かに応じて x_{HI} の赤方偏移進化も変わるため、宇宙再電離史は宇宙再電離の物理的起源を理解する上でも重要な課題である。 $z > 7$ の x_{HI} は非常に明るい QSO や GRB の連続光の Ly α 減衰翼吸収から見積もることができるが、QSO/GRB は $z > 7$ において個数密度が低く、宇宙全体の x_{HI} を求めることは難しい。そこで我々は JWST/NIRSpec の ERS, GO, DDT 観測によって得られた合計 26 個の高感度の $z = 7 - 12$ の銀河の連続光スペクトルを用いて、Ly α 減衰翼吸収から x_{HI} を推定した (Umeda et al. 2023a)。まず 26 天体のスペクトルを赤方偏移に応じて 4 つのビンに分けてスタッキングした。CGM 吸収が考慮されている銀河のスペクトルテンプレートを用い、かつ銀河が再電離源である際に銀河を中心に生じる電離泡の半径 R_b をフリーパラメータにして、スタックスペクトルから x_{HI} を求めた。得られた赤方偏移ごとの x_{HI} はすばる望遠鏡で観測された Ly α 輝線銀河を用いて推定した $z < 7$ での x_{HI} 推定値から赤方偏移に応じて単調増加していることが確認でき、また電離光子脱出率 $f_{\text{esc}} \approx 0.17$ である時の星形成率の変化に伴う x_{HI} 進化 (Ishigaki et al. 2018) と最も整合することが確かめられた。さらに、我々が得た x_{HI} ごとの R_b の値は解析的に予想される値に比べ 20 倍ほど大きいことが、数値シミュレーションで予想される明るい銀河周辺で複数の電離領域が重なった場合の典型的な電離泡の大きさと整合することが確かめられた。

[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](#)

X60a 多相星間物質モデルで探る赤方偏移 $z = 8.312$ の星形成銀河における中性ガスの “porosity” の推定

萩本将都, 田村陽一, 梅畑豪紀, 谷口暁星 (名古屋大学), Tom Bakx (チャルマース工科大学), 井上昭雄, 菅原悠馬, 札本佳伸 (早稲田大学), 橋本拓也, 馬渡健 (筑波大学), 播金優一 (東京大学 ICRR), 松尾宏 (国立天文台)

宇宙再電離期において、銀河からの紫外線放射がどのようにして銀河間空間に脱出したのかを理解する鍵は、銀河内部の局所的な星周囲の星間物質 (ISM) の電離構造、とりわけ、中性ガスの “porosity” にあると考えられる。最近の ALMA による $z > 6$ のライマンブレイク銀河 (LBG) やライマンアルファ輝線銀河の観測は、[O III] 88 μm /[C II] 158 μm の光度比が近傍の星形成銀河や、遠方のダストを多く含む爆発的星形成銀河よりも高いことを明らかにしてきた。先行研究 (e.g., Harikane et al. 2020) は、高い電離パラメータや、高い水素ガス密度、小さな中性ガスの被覆率 (cov_{PDR}) などによって、このような高い [O III]/[C II] 比が説明できる可能性を示唆している。そこで我々は、光電離モデル CLOUDY を用いて、 cov_{PDR} を考慮した ISM の電離構造モデルを構築した。本講演では、[O III] 88 μm 、[C II] 158 μm 、ダスト連続光が検出されている最も高赤方偏移に位置する LBG の 1 つである、MACS0416.Y1 ($z = 8.312$) に対して、観測結果とモデルの比較から、最適な物理パラメータを推定した結果を紹介する。その結果、 $\text{cov}_{\text{PDR}} \sim 70\%$ と推定され、電離ガス領域の $\sim 30\%$ が星間空間に剥き出しになっている構造が示唆された。この結果は、電離光子が星間空間に逃げやすい構造を支持しており、この銀河が宇宙再電離に寄与した可能性を示すと考えられる。また、金属量をはじめとする、いくつかの固定した物理パラメータを変えた場合でも、中性ガスの porosity の存在が支持される結果が変わら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](#)

X61a $\text{Ly}\alpha$ 輝線銀河の $\text{Ly}\alpha$ 輝線表面輝度プロファイルの広がりから迫る宇宙再電離

菊田智史 (国立天文台), 大内正己 (国立天文台/東京大学), Yongming Liang (東京大学), 柏川伸成 (東京大学), 日下部晴香 (国立天文台), 百瀬莉恵子 (Carnegie Observatories), 山中郷史 (鳥羽商船高等専門学校)

赤方偏移 $z > 5-6$ (宇宙年齢約 10 億年以下) の宇宙再電離期には銀河間物質 (IGM) の中性水素が初代天体からの電離光子によって電離するという重大な変化が起こる。この宇宙再電離がどのようにして、どんな天体からの電離光子で進むかを明らかにすることは現代の銀河天文学における大目標の一つである。これを探る手段の一つとして、主な再電離源として有力視されている $\text{Ly}\alpha$ 輝線銀河 (LAE) の周囲の $\text{Ly}\alpha$ 輝線放射の表面輝度プロファイルの広がりを使う方法がある。水素の $\text{Ly}\alpha$ 光子は IGM 中の中性水素により共鳴散乱を受けるため、中性度の高い再電離完了前の宇宙に存在する LAE の周囲では再電離完了後の LAE よりも空間的に広がった $\text{Ly}\alpha$ 輝線放射が見られることが理論的に予測されている (Jeeson-Daniel et al. 2012, MNRAS, 424, 2193)。

本研究では、Kikuta et al. 2023 (arXiv:2305.08921) で構築されたすばる望遠鏡 HSC による戦略枠サーベイ (HSC-SSP) で得られたデータを利用したこれまでで最大かつ深い狭帯域フィルター画像が得られている $z = 5.7$ (再電離終末期) および $z = 6.6$ (再電離進行中) の最新 LAE サンプルを用い、スタッキング解析を通じて各時代の平均的な $\text{Ly}\alpha$ 輝線放射の表面輝度プロファイルを求めその進化を議論する。初期解析の結果、理論予測通りに再電離完了前において $\text{Ly}\alpha$ 輝線放射がより広がっている兆候が見られたが、結果に影響する様々な誤差についても考察する。また、提唱されている再電離シナリオによって LAE の明るさや周囲の銀河の数密度により電離の進み方が異なるため、こうした物理量の違いでプロファイルの広がりがどう変化する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](#)

X62a 銀河形成シミュレーションを用いた再電離期における clumpy 銀河の形成

仲里佑利奈, 吉田直紀 (東京大学), Daniel Ceverino (the Universidad Autonoma de Madrid)

近年 JWST の面分光および ALMA の高空間分解能観測によって、高赤方偏移銀河の輝線分布および内部の星形成の描像が 100 pc スケールで明らかになりつつあり、再電離期にある clumpy 銀河が複数観測されてきた (e.g. Tamura et al. 2023, Haineline et al. 2023)。再電離期でみられる clumpy 銀河は宇宙初期での構造形成のトレーサーとして非常に重要となるが、それらの性質および形成過程を理論的に調べるには pc スケールの高分解能かつ大量のサンプルを有するシミュレーションを用いる必要がある。そこで本研究では最高分解能が ~ 20 pc かつ 62 個の銀河サンプルをもつズームインシミュレーション FirstLight (Ceverino et al. 2017) を使用し、 $z = 9-6$ にある遠方銀河の clump 構造を同定し、その形成環境および星形成史を追った。

銀河サンプルの 1 つに注目したところ、 $z = 7.8$ で major merger する際に中心銀河周辺のガスが重力不安定となり高密度領域が分裂し、数 kpc 以内に 3-4 つの clump が一時的に生じることが分かった。これは最新の高空間分解能観測で明らかとなった銀河構造と一致する。星質量 $\sim 10^8 M_\odot$ をもつ clump は、60 km/s の速度分散をもつことで 40 Myr 以内に中心銀河と合体し、 $z = 7.3$ の時点で星質量 $6 \times 10^9 M_\odot$ の大質量銀河へと成長する。さらに、合体に伴い中心銀河の角運動量は増大し円盤状の形態となる。最後に clump の各星粒子の周りに広がる電離領域を CLOUDY を用いてモデル化し、100 pc の分解能で [OIII] 輝線分布を計算し、11 kpc $\times$ 11 kpc ($3'' \times 3''$) 以内に 4 つの遠方銀河が存在する Abell 2744 超過密領域の JWST 面分光結果と比較した。観測されたメンバー銀河の輝線強度、速度オフセット、星質量が上記の clump 構造と類似しており、本講演ではさらに観測天体の形成過程について理論的解釈およびその進化を予測する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Y01a 首都圏外の大学院生による学生アウトリーチ団体の発足と、天文・宇宙物理学に関するサイエンスコミュニケーション活動の実践

松井瀬奈, 佐藤伸成, 細木雄登 (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

現代におけるサイエンスコミュニケーション (以下、SC) 活動は、SNS の活用や動画配信といったデジタルコンテンツを中心に多様化している。一方で 2023 年 5 月、新型コロナウイルス感染症の 5 類感染症移行に伴い、今後は対面での SC 活動の機会増加が期待できる。しかし SC 活動に興味を持つ大学生・大学院生は少なくないものの、実際に活動を行っている学生は少ない。2021 年度第 51 回天文・天体物理若手夏の学校・全体企画「アウトリーチ 2020 年代!」で行われたアンケートでは、SC 活動に興味は「とてもある」「ある」という回答は 83 %にも及ぶにも関わらず、実際に「活動している」「過去に活動していた」と答えた割合は 25 %に留まった。さらに経験則として、首都圏外で SC の機会を学生自身が発見し実行するまでのハードルは高いと想定される。

そこで 2023 年 4 月、我々は「名古屋大学学生アウトリーチ研究会 IGNIMUS」という団体を発足した。アウトリーチ活動に興味を持ちながら行動へのハードルが高いと感じる名古屋大学の学生に向けた SC 関連情報の提供や、活動機会の共創を目標とした団体である。学生だけでなく、学生の SC 活動に協力的なスタッフや卒業生の参加も歓迎し、2023 年 6 月 12 日現在早くも 26 名のメンバーが在籍している。

本発表では 4 月から 7 月にかけて全 4 回開催の主催イベント「月替わりサイエンス食堂」の実施結果に関して議論を行う。さらに名古屋大学学術研究・産学官連携推進本部とのタイアップ企画の実践報告や、団体初となる学外イベントへの出展報告なども予定している。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Y02a 宇宙天気インタプリタ育成カリキュラム開発のためのゼミ型講義の試行

野澤恵, 笹本晃祐, 高城有生 (茨城大学)

近い将来「太陽フレア爆発等の極端な宇宙天気現象によって、通信・放送・測位、人工衛星、航空無線、電力等の社会インフラに異常を発生させ、社会経済活動に多大な影響を与えるおそれ」が報告され、その人材育成が急務となっている。その一つとして宇宙天気予報士制度の提言がされている。しかし、一般社会への宇宙天気の影響は限定的なものであるため、実際は特定実務を対象とした専門的な予報を行う役割が必要である。その役割を「宇宙天気インタプリタ」とし、その育成カリキュラム開発が必要である。この実現のために、本年度から科研費基盤 C「宇宙天気予報を深化させた宇宙天気インタプリタ育成カリキュラムの開発」(23K02807) として採択された。このカリキュラムを修了することで、将来の宇宙天気が必要な業種への就職などに繋げる人材の育成を目指す。

その実践として、最初に学ぶ側の需要を知る必要があり、今年度の上半期にオンラインで宇宙天気を学びたい受講生をあつめた。短期間で 60 名ほどが受講の希望があったが、大学生や院生が半分程度で、あとは社会人であった。また、宇宙天気予報士を目指すグループもあり、これらの棲み分けが必要ながわかった。実際の講義はゼミ形式で、この夏までに導入としての概論を 5 回で開講する予定である。学生らが宇宙天気に調べたことを発表し、それに関して講師から助言をする形を取る。しかし、社会人が多いため、実際オンラインで参加するの半数以下であり、録画して受講者に配信も行なっている。

始めたばかりなので手探り状態であるが、配信を聞くだけの講義はこの講義の目的ではないので、積極的な参加方法の仕掛けが必要ながわかった。次の段階として、今年度下半期の講義は概論ではなく、特定業務で必要とされる人材像とより具体化した講義内容としたオンラインのゼミ型講義を行う予定である。

[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](#)

Y03a IAU Astronomy Day in Schools project : 文化、社会、生活と関連した天文教育実践のこれまでのレビュー

富田晃彦 (和歌山大学教職大学院)

Astronomy Day in Schools (学校天文の日) というプロジェクトが国際天文学連合の Division C: Education, Outreach and Heritage, Commission C1: Astronomy Education and Development, WG of Astronomy Education Research & Methods の sub WG として進められており、富田は共同代表のひとりとして携わっている。春分・夏至・秋分・冬至の時期に Zoom ミーティングを通して、学校の授業あるいは課外活動や野外活動センターでの活動での天文教育に関連した実践報告を行い、その資料を公開しているプロジェクトである。先端的な科学教育としての天文教育実践だけでなく、ごく普通の天文教育実践も、天文という分野の特徴から国際連携によく乗るものといえる。交流と資料の公開を通して、ごく普通の天文の授業の充実に貢献することが、このプロジェクトの目的である。Astronomy Day in Schools というプロジェクト自体は IAU 100 周年記念事業のひとつとして始まった。その最初のプロジェクトは終了したが、上記の目的で模様替えし、Commission C1 のプロジェクトとして再開している。2021 年の夏至の時より現在の形のプロジェクトを本格的に立ち上げ、2023 年の春分の時まで 9 回実施してきた (2023 年の夏至は行っておらず、秋分から再開の予定)。これまでの実践内容を整理し、レビューしたものを紹介する。学校教員だけでなく生徒の参加もあり、生徒による交流の例についても紹介する。Zoom ミーティングでの交流は当初の目標を達しているが、資料の整理と公開がやや手間取っており、この点で当初の目標からやや遅れている。現時点での公開の状況について報告するとともに、このプロジェクトへの協力についても呼びかけたい。

[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](#)

Y04a 天文学に対する一般市民の意識調査の報告

高梨 直紘 (東京大学), 平松 正顕 (国立天文台), 川越 至桜 (東京大学), 日下部 展彦 (アストロバイオロジーセンター), 澤田 幸輝 (和歌山大学), 玉澤 春史 (京都市立芸術大学)

天文学と社会の望ましい関係を考える上で、一般市民が天文学に対してどのような意識を持っているのかを知ることが重要である。しかし日本では、これまでそのような基礎的な社会調査は十分に行われてこなかった。そこで我々は、一般市民を対象に天文学に対してどのような意識を持っているのかアンケート調査を行ったので、その結果について報告する。この調査はオンラインで行われ、日本の人口動態に合うように割り付けられた 2000 名からの回答を得た。このデータを整理し、日本人が一般的に持つ関心、学習経験、知識、情報入手手段、所有物、施設訪問経験、天文現象の経験、天文学への関与経験について定量的な評価を行った。また、一部調査項目に関しては天文学の教育普及関係者に対しても同様の調査を行い、一般市民とどのような違いがあるのかを比較検討した。その結果、天文学への関与という観点からは両者の違いは明らかであるものの、連続性があることも示唆された。本講演では、これらの分析結果を踏まえて、今後の調査研究の方向性についても議論したい。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Y05a 市民科学で読み解く国内外の「光害」研究史

大西浩次 (国立長野高専), 大西昂 (東北大)

「市民科学」= “Citizen Science” の源流として、科学研究のプロ (職業研究者) とアマチュア (市民研究者) の分離以前 (19 世紀) の Naturalist と呼ばれるアマチュアの活躍と、1960~70 年代の欧米におけるプロが積極的に社会問題に参加する「市民科学運動」等が挙げられる。光害に関する社会的事象として、日本では、1972 年に結成された「日本星空を守る会」によるサーチライト停止運動などが知られている。前回、「日本星空を守る会」を「市民科学」の文脈で読み解くと、どの様に位置づけられるか、及び、「光害」や “light pollution” に関する国内外の研究がどの様に誕生してきたのかを、1 次資料やデータベース (NASA/ADS, 国立国会図書館サーチ, ジャパンサーチ, 主要新聞データベース) 上で調査した。その結果、日本では、アマチュア天文家を中心とした光害の啓発活動や調査が、海外に比べて早い時期にスタートしていること、そして、その活動がまさに「市民科学」であったこと、しかし、組織力の弱さなどにより大きなトレンドが作れなかったことなどを紹介した。

では、現在の光害研究・啓発の大きなトレンドの起源は何であろうか。そこで、1970 年代初頭のアメリカやカナダでの光害対策としての天文台移設計画とそれに伴う天文学者による科学運動 (アリゾナ大学天文台 “A Guide for Businessmen and the General Public”) や、市民参加型光害調査 (RASC による “Sky Brightness Program”) などを挙げてみる。そして、これらの活動から 1988 年の IAU Colloquium 112 への動きを整理し、現在の光害対策ガイドラインへの流れを明らかにする。その中で、1987 年の環境庁のプレ星空継続観察やその後の全国星空継続観察なども調査する。同時に、これらを起点として現在までの「光害」や “light pollution” の研究動向をデータベースなどの数値からも明らかにする。さらに、現在に至る諸活動を「市民科学」の文脈で読み解いてみる。

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

Y06a 星空と “Awe” の関係性についての予備調査とその考察

縣秀彦 (国立天文台), 高橋真理子 (星つむぎの村), KAGAYA (KAGAYA スタジオ), 中島静 (国立天文台)

「人は何故、星空を見上げるのか?」、「星空を見ることは社会とどうつながるのか?」これらの問いに対して諸説あるものの学術的なアプローチが十分になされてきたとは言えない。一方、心理学及び脳科学では、星空を見ること等の驚きの体験は、Awe や Wonder という感情を引き起こし、向社会的な行動を引き起こす場合があると予想している (例えば、Piff et.al., 2015)。本研究では星空を眺めた際の行動変容を理解する上での予備調査として、2021 年春に COVID-19 感染症対策に迫られる医療機関に対し、A1 サイズの両面印刷の星空ポスターを全国 36 病院へ計 78 枚配布し、どのような反応が見られるか予備調査を実施した。

その結果、(1) 星空ポスターを見て、医療従事者の方々が癒されるケースがあった。(2) 星空ポスターを見て、患者の家族がポジティブな刺激を受けるケースがあった。さらに (3) この活動を知り、地域で医療従事者への支援活動を開始した天文教育関係者がいた。ただし、これらの行動変容が Awe によるものなのかは正確には判別できなかった。このため、2023 年 1 月より同ポスターに簡易的なアンケートフォームへ誘導する QR コードを付加し、病院以外も加え約 150 枚配布した。調査母数 (n=279; 2023 年 6 月現在) はポスター掲示を見て自ら回答した方々であり、潜伏変数等の認知バイアスが存在する可能性が残るものの、6 割がポスターを見て「気持ちが癒された」と回答した。また、「ポジティブな気持ちになった」と回答したのは 14 % であった。広大な海、沈む夕日、山頂からの眺め等でも同様の感情を生むケースがあることを確認した。講演では本調査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](#)

Y07a 国立国会図書館デジタルアーカイブツールの天文学史教育研究相互利用

玉澤春史（京都市立芸術大学）

国立国会図書館（NDL）では所蔵する様々な書籍を OCR によるデジタルテキスト化、およびその検索・利用ツール開発を行っており、特に現在は著作権処理が比較的容易な明治期資料が豊富に公開・利用可能であることから、関連する教育・研究双方の領域で非常に強力なツールとなっている。大学の共通教育における天文学史の授業では受講者に実際に検索してもらい、当時の科学認識や現代との比較などを自ら考える導入として扱うことができる。研究の面では、当時の教科書のみならず各種冊子の検索性も向上したことから、例えば冊子に投稿することで交流していたアマチュア研究者に関する情報の検索がより容易になった。このようなツールは教育・研究それぞれで利用するだけでなく、双方にフィードバックをかけることでより効果的なものとなり、特に天文学においては教育普及史に関する有効なものとなっている。本講演では実際の利用実践を報告し、今後のさらなる有効活用方法を探る。

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

Y08a 地震史料集に掲載された天文関係の史料の課題とその検討

服部健太郎（関西大学）

大正一昭和時代の地震学者である武者金吉（1891-1962）により、1941 年から 1943 年にかけて、地震史料集『増訂大日本地震史料』全 3 巻が編纂された。過去の地震を記した様々な史料が掲載されている。中には、天文観測との関連を思わせる史料や、天文現象の記述をも含む史料がある。本発表では、次の史料に注目する。

『寒暖晴雨升降記』

河井庫太郎 編『大日本府県志 卷之 10-14』の卷十「天変附気象」

西村遠里 編『本朝天文志』

これら 3 史料の課題を取り上げ、検討する。

『寒暖晴雨升降記』については、“何千何百何十何行”という記述の解釈が未解決（茅野，2001）であった。また、『大日本府県志 卷之 10-14』及び『本朝天文志』については、記述の出典調査に検討の余地があった。

[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](#)

Y09a 岡山 188cm 望遠鏡ニュートン焦点撮像乾板カタログの公開

柳澤顕史 (国立天文台), 古荘玲子 (都留文科大学), 根本しおみ, 春日敏則, 土屋智恵, 長山省吾, 中桐正夫 (国立天文台), 石村周平 (元・茨城大学), 渡部潤一 (国立天文台)

このたび国立天文台・写真乾板ワーキンググループは、旧・岡山天体物理観測所 188cm 望遠鏡 ニュートン焦点で取得された撮像乾板カタログを次の URL より公開したので報告する。 https://prc.nao.ac.jp/prc_arc/okayama/

本カタログは、ニュートン焦点で取得されたすべての乾板 4836 枚の観測メタ情報と、3665 枚のスキャン画像で構成されている。観測メタ情報は、乾板属性をあらわす 9 種類 20 項目 (乾板 ID、天体名、観測時刻、露出時間、フィルター、乳剤ほか) よりなる。原典は観測野帳であり、乾板保管封筒の記述やスキャン画像と照合済である。スキャン画像は、乾板を指定解像度 2400 ppi にて取り込んだ透過画像である。スキャン画像にはサイズの異なる 2 種類がある。これは、ニュートン焦点 (F/4.9, 22.5 arcsec/mm) においてサイズの異なる 2 種類の写真乾板が使用されたことに由来する。ひとつは手札サイズ (82×119 mm) で視野は 31×45 分角、他方は大角サイズ (160×160 mm) で視野は 1×1 度角である。両者はシリーズ名で区別されており、前者は NS、後者は NL である。NS シリーズはコマ収差の影響が無視できる視野中心付近の観測に使用され、主な対象は、系外銀河、星団、星雲、であった。一方 NL シリーズは、コマ収差補正レンズを併用して広視野を必要とする観測に使用され、彗星や小惑星などの位置観測や、未同定天体の探索に利用された。1966 年のさそり座 X-1 の光学同定成功は、NL シリーズの特筆すべき観測成果のひとつである。

本事業は、科研費研究成果公開促進費「岡山天体物理観測所天体写真乾板データアーカイブ」(課題番号:18HP7003、代表:渡部潤一) の支援を受けて実施された。

[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](#)

Y10b 木曽シュミット乾板を対象とした太陽系天体プレカバリーの試み

柳澤顕史, 渡部潤一 (国立天文台)

木曽シュミット乾板ライブラリを調査対象として太陽系天体のプレカバリーを試みた。その結果、地球接近小惑星 7 天体のプレカバリーに成功し、平均 12.6 年初観測時期を前倒しできたので報告する。

プレカバリーとは、天体の発見時期よりも前に撮影された画像のなかから当該天体を見つける処理のことである。1990 年代より太陽系天体のプレカバリー・プログラムが世界各地で継続的に行われている。とくに地球軌道を横切る小惑星 (NEA) には、地球に衝突する可能性の高い、潜在的に危険な小惑星 (PHA) が含まれているため、プレカバリーによる軌道改良が求められている。各プログラムの調査対象は、公開されている殆ど全ての画像アーカイブに及んでいるが、木曽シュミット乾板を対象としたプレカバリー・プログラムは、おそらく初の試みである。

木曽乾板ライブラリは、シュミット望遠鏡 (D=1.05 m, F/3.1) にて取得された 7 千枚の乾板で構成されている。乾板サイズは 36cm 角で視野は 6 度角である。同乾板はデジタル画像化が済んでおり、SMOKA よりデジタル・アーカイブとして公開されている。その中から調査に適した 4512 枚の乾板につき、合計 16 万平方度の観測視野に含まれる太陽系天体を照会した。次に明るく (実視等級 <16)、人類史上初である観測レコードを抽出したところ 120 件を得た。これらのレコードの天体クラス内訳は、メインベルトが 85 件、火星横断小惑星 が 19 件、NEA が 9 件、ハンガリア群 が 7 件であった。NEA について乾板画像を吟味したところ、7 件について天体像を確認できた。そのうち 2 件は PHA であり同一天体であった。以上の結果は、再現不可能な研究資源である乾板を保存・公開することが天文学コミュニティの利益になることを示している。講演では手法と結果を詳細に報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Y11b 国立天文台日食観測隊アーカイブ作成について (I)

米村優輝 (中央大), 萩野正興, 大越治, 入江誠, 日比野由美, 日江井榮二郎, 篠田一也, 米谷夏樹 (国立天文台), 山口慎太郎, 宮田ゆき乃, 影山侑汰 (明星大), 小林舞美 (玉川大)

国立天文台では、日食観測隊の派遣を 1883 年 (明治 16 年) から現在まで 39 回実施している。我々は観測隊のデータおよび資料のデジタルアーカイブ化を進めている。このような天文学の古い観測データをデジタルデータとしてアーカイブ化する意義として、(i) その時にしか得られないデータの希少性、(ii) 電子化以前のフィルムや乾板の保管条件 (湿度や温度) の制約や保管場所の必要性、(iii) データの取得方法などの内容について知っている人の減少、などが挙げられる。これらのデータをきちんと整理された形で残し、次世代につなげていくことは天文教育の使命である。

今回我々が扱ったのは 1958 年 10 月 12 日に北クック諸島スワロフ島にて観測された日食と、1966 年 11 月 12 日にペルーにて観測された日食のフラッシュスペクトルを撮像したフィルムである。これらのフィルムをスキャナーでデジタル化し、それを一般に公開するためのウェブページを作成した。また、今回の簡易的なデータ処理と波長同定の過程で、紫外線域における連続スペクトルの不連続 (段差) が見られるなど、物理学などへの貢献が高いということが改めて示された。

本稿では今回作成したデジタルアーカイブを紹介するとともに、サイエンスのデータとしての活用も議論する。

[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](#)

Y12b 教育用簡易電波干渉計プロトコル ” j-VLBI” 構想 Vol.3.5

木村正樹 株式会社 NEST EdLAB

2022 年度秋の年会において、教育用簡易電波干渉計プロトコル” j-VLBI” 構想について立案した。VLBI (超長基線干渉計) とは複数の離れた位置に置いた電波望遠鏡を用いた高解像度の観測方法の事であり、2019 年に行われた世界初のブラックホールの撮像において用いられた技術である。本研究である” j-VLBI” 構想は、中高生が簡易的・低価格に VLBI の実験を行うことができ、また電波望遠鏡の作成を中高生が市販されている商品を使い、一から VLBI を製作できるプロトコルを作成することで、高度な計測やものづくり、プログラミングの学習や、学校間での連携研究を行うことが期待できる構想である。前年会ではクロックや周波数変換器の動作品を製作し、アンテナで受信した 12GHz 帯域の電波を kHz オーダーに変換するシステムを製作した。太陽に向けて試験観測を行った結果、2 機のうち 1 機にて太陽に対する部分的なパワースペクトルの検出に成功した。2023 年 9 月の本学会においては、AD 変換機の変換・サンプリング速度や強度のダイナミックレンジの調整などの課題を解決し、関連処理が行える段階を目指し、進捗に伴った続報を例会内で発表するものとする。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Y13b 小中学校理科におけるプラネタリウムの学習投影に関する現状と課題 III

二瓶美生 (刈羽村立刈羽中学校), 濤崎智佳 (上越教育大学), 金子紘之 (新潟大学)

2017 年告示の小中学校学習指導要領理科では、博学連携が推進されており、プラネタリウムの利用に関しては、4 年生「月と星」、6 年生「月と太陽」で記述が見られる。我々は、プラネタリウムの学習投影の現状を理解するために、新潟県上越市・柏崎市の小中学校を対象にプラネタリウム学習投影に関する教員アンケートを行い、移動手段などの問題から利用したくてもできない現状があることを明らかにした (2022 年秋季年会 Y11b)。この結果を受けてプラネタリウム学習投影 360 度動画を作成、これを用いた授業実践を行い、さらに柏崎市立博物館プラネタリウム学習投影を利用した児童生徒と引率教員に対してアンケート調査を行った。授業実践と児童生徒に関する調査結果は 2023 年春季年会上に報告している (Y06b)。今回は、このうち引率教員に関するアンケート調査結果を報告する。引率教員のアンケート回答数は 51 名である。

引率教員自身の利用経験を調査したところ、13 名 (25.5 %) が学校の授業や行事でプラネタリウムを利用した経験があった。学習投影に対する評価では、「学習投影を通して、児童生徒の天文分野の理解がしやすくなると思う」に対して「そう思う」が 44 名 (86.3 %)、「今後も学習投影を利用したいと思う」に対して「そう思う」が 45 名 (88.2 %) となり、引率した教員は、学習投影の有用性を実感し、また利用したいと考えていることが明らかになった。また、21 名から自由記述への回答があった。「自分の学校から見た風景 (スカイラインを用いた投影) で投影されていることが良かった」という趣旨の回答が 6 名あり、身近な風景を用いた投影は学習投影における一つのポイントである可能性が示唆される。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Y14b Star Formation Board game Project(1):天文学普及ボードゲーム開発の報告

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)

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開発・使用される。コンテンツを目的によって適切に選択し使い分けることは、教育普及の質を向上させることに繋がる。これらの中にはコミュニケーターや研究者が介在せず、利用者が独立して利用出来るものもある。しかし、これまでは教育目的で開発されること、教育現場での使用が前提とされたものが多かった。発表者らは天文学の普及を目的とし、利用者が独立して天文学に親しめるコンテンツを開発するプロジェクトを進めている。科学普及を効果的に行う方法の一つに異分野との融合がある。これは、アプローチする対象の裾野を広げ、無関心層者の入口となる。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という題材に着目した。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。楽しみながら科学に触れることで無関心層から関心層への引き上げが期待できる。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高くない場合がある。今回は普及を重視するため、学習を目的としたシリアスゲームではなくエンターテインメントに特化したものしつつ、研究者が介入することで双方向からのアプローチが出来るものにした。今回はパターンが多くゲーム展開に反映しやすい星形成をテーマにした。ゲームのルールを把握した人は星形成の知識を理解しやすくなり、星形成の知識を有する人はルールが理解しやすいという構造である。本発表ではこの星形成を題材にしたボードゲームの制作に関する経過報告をする。

[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](#)

Y15b Star Formation Boardgame Project(2):科学コミュニケーションの場としてのコンセプトデザイン決定過程

玉澤春史（京都市立芸術大学）、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）

製品における科学監修では、しばしば製品の魅力・アイデアを具現化することへのこだわりと科学を正確に伝えることへのこだわりがぶつかり合う。アイデア決定の段階から、実際の製品作成、使用状況にいたるまで様々なタイミングでぶつかり合いが発生する状況は科学コミュニケーションの現場そのものである。この過程は科学コミュニケーション研究として示唆に富む題材であるが、製品製作という性質上、プロジェクト開始段階から科学コミュニケーションの観点で観察・記録されることは多くない。本プロジェクトでは教育普及・科学コミュニケーション研究の題材として扱うことを念頭に、ゲーム制作の専門家と天文分野の専門家がそれぞれの立場から議論し、コンセプトの決定、製品の作成、普及への利用までの一連の流れを、打ち合わせやテストプレイの記録を可能な限り保存、また倫理面での配慮を行いながら実施している。本発表ではぶつかり合いの第一段階である科学とゲーム作成の専門家の議論によるコンセプト決定に際し、どのようなコミュニケーションが行われてきたかを分析する。天体形成についての内容をどのようにゲームに取り込むにおいて、製品の目的を教育ではなくゲーム本来の娯楽性に絞ることにより、シリアスゲームの構成ではなくエンターテインメントとしてゲームの構成で天文学要素を取り入れることとなった。このコンセプト決定には、議論だけでなくアイデアをより単純化した形式で試遊することにより目的が明確になること、またゲーム制作者、天文の専門家それぞれが試遊により目的の言語化を促進、教育学分野における「省察」が行われるすることになったと考えられる。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Y16b 大学生を対象とした天文分野の理解度・意識の継続調査：10 年間の変遷

大朝由美子、奥田大翔、小柳香（埼玉大学）、埼玉大学 教育学部／大学院理工学研究科天文学研究室

天文学は、世界観・宇宙観の醸成につながる学問であり、多様な学問分野への入り口の役割を果たしている。また、自然科学の多くの分野を基礎とし、研究の手段として幅広い理学の分野を駆使するため、学際的な見方や科学的思考力の醸成には有用である。しかし多くの場合は高校で地学・地学基礎を履修しないため、中学3年次が天文学を学ぶ最後の機会となる。加えて、天文分野は一般に探究的手法はとりにくく、授業内での観察実験が実施しにくいと考えられ、小中学校でも軽視される傾向が見受けられる。これらの状況から、宇宙で最も大きな天体は太陽と考え、太陽系外に広がる宇宙について知らない大学生も多い。他方、1976/2006 年の天文分野の理解度調査から、30 年で大学生の天文に関する知識・理解が大幅に減少しているとも報告されている（伊東ら 2007 年）。

さらに検証すべく、天文分野における理解度・意識の調査を 2013 年度から埼玉大学で実施している。内容は天文学を含む理科への関心、「太陽と月、天の川」など中学校3年次までに学ぶ知識や観察経験を問うものとなっており、調査対象は、主として教員養成系学部、比較として理工系/文系の大学生である。2014 年度には全国の大学の協力から約 2800 人の回答が得られ、太陽の方角等「位置天文学」の要素に比べて、太陽や月の光り方等「天体物理学的」要素については正答率が低いことが明らかになった（大朝ら 2014 年秋季年会）。その後も埼玉大学では継続的な調査を実施し、約 7000 人の回答が集まっている。さらに、高校生や現職教員も加えた天文分野に関する学習調査も行なった。本研究では、これまで 10 年のアンケート調査や高校生・現職教員を加えた結果から、主として大学生の天文分野に対する理解度や知識、意識の変化について着目し、興味関心の度合い、文・理や高校地学選択の有無、天体観測経験などから分析した結果や課題について報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Y17b 若手天文教育普及ワーキンググループ(わか天)の活動 I: 若手のアウトリーチに対する考え方と、わか天の活動報告

松坂 怜 (鹿児島大学), 三浦飛未来 (明星大学・川崎市青少年科学館) & わか天チームメンバー

天文学や他の基礎研究における教育普及活動（アウトリーチ）は、科学の普及と興味喚起、社会への還元、科学的な思考の促進に欠かせない活動である。また、若手がアウトリーチ活動を実施することで、新しい視点やアイデアの構築、活気が生まれ、天文・宇宙のアウトリーチ分野における更なる発展が期待される。一方で、2021年度の第51回天文・天体物理若手夏の学校で行われたアンケート調査（総回答数118）によると、「天文・天体物理に関する科学コミュニケーション活動」に興味を持っている若手は80%以上だが、実際に活動に携わった経験がある若手の割合は30%以下というのが現状である。その理由として、「アウトリーチ活動に参加するきっかけがない」「仲間が見つけれられない」「活動をどう探せばいいかわからない」という意見が多くあった。このような背景から、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（以下、わか天）では、若手同士が研鑽しスキル向上が期待できる環境を作りを目指した活動を行っている。具体的には、「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」という3つの目標を掲げている。わか天では、これらの目標を達成するために、「企画交流プロジェクト」と「研修会運営プロジェクト」を立ち上げ、オンラインイベントを実施してきた。企画交流プロジェクトでは、「宙への扉」という若手同士のコミュニティ形成や交流を目的としたイベントや、「天文○○」という若手の活動紹介を実施している。研修会運営プロジェクトでは、外部の講師を招き、社会教育や学校教育、社会調査などをテーマにした教育普及活動のスキルアップを目的とした研修会を実施している。本講演では、これらの活動についてまとめて報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Y18b アストロバイオロジー分野についての認知度調査

日下部 展彦 (アストロバイオロジーセンター), 高梨 直紘 (東京大学), 平松 正顕 (国立天文台), 川越 至桜 (東京大学), 澤田 幸輝 (和歌山大学), 玉 澤 春史 (京都市立芸術大学)

太陽系外惑星の研究の発展を受け、アストロバイオロジーという研究分野は天文学の研究業界では定着しつつある。一方で、一般市民においてアストロバイオロジーという研究分野がどの程度認知されているかという調査はほとんどない。今回、一般市民を対象に行った天文学に対する意識調査に合わせ、「アストロバイオロジー」という分野の認知度調査を実施したので、その結果について報告する。調査はオンラインのアンケート方式で実施し、20代から60代までの2000名からの解答を得た。このデータを元に、天文学と生物学の学際領域である「アストロバイオロジー」という研究分野が一般市民にどの程度浸透しているかを調査した。また、「アストロバイオロジー」分野の認知度について、天文教育普及関係者に対しても実施した。その結果、一般市民においては大半がアストロバイオロジーという分野をほとんど知らないという解答が大多数であったが、天文関係者の多くが知っているという結果が得られた。この調査により、まだ一般市民への新しい学問としての認知度は非常に低いということがわかった。今回のアンケートから、宇宙における生命を科学的に研究する「アストロバイオロジー」という分野を、どのように一般市民へ浸透させていくのが効果的な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](#)

Y19c 東京学芸大学 40cm 望遠鏡による月面の鉄濃度分布図の教材化

下井倉ともみ、田中由衣（大妻女子大学）、大房優莉香、土橋一仁（東京学芸大学）

地上から肉眼で見分けることのできる月面の色の違いは、月の「海」・「高地」として大まかな地質特徴を見分けることができる。また、月の形成を調べることで、初期の地球や地球形成の様子を知る手がかりが得られると考えられている。しかしながら、このような月の科学的側面について知る機会は、学校教育においてほとんどないと思われる。学校教育での月に関する学習は、小学校「理科」では、満ち欠けを中心に引き上げられている。また、中学校「理科」及び高等学校「地学基礎」でも、月の形成史や地質特徴（例えば月の化学組成）については、学習指導要領に含まれていないため扱われていない（文部科学省・学習指導要領解説理科編，2017・2018）。

そこで、本研究では、まず、東京学芸大学 40cm 光学望遠鏡による 775nm と 875nm の狭帯域測光観測を実行し、FeO の濃度分布図を作成した。次に、取得したデータを基に、月の地質特徴について理解を深めるための立体教材を制作した。Processing 言語を用いて制作したこの教材は、月面の鉄濃度分布を示すプログラムと、月の存在が地球環境に及ぼしている影響を示すプログラムの 2 つで構成される。この教材の目的は、プログラムの利用者に月の地質学的な特徴を理解させ、また、月と地球の関係について考えさせることである。大学生を対象に教材を用いた教育実践を行い、その効果を検証した。教育実践の前後で実施したアンケートの結果より、本教材の一定の教育効果を確認した。

[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](#)

Y20c 教職課程におけるスペクトル学習パッケージの考察

福江慧（滋賀医科大学/京都産業大学）、新井彰（国立天文台）、福江翼（神戸市外国語大学）

京都産業大学の生命科学部では、教職課程に 1 年生以上を対象とした地学実験を開講しており、地学に関する分野（地質学、岩石学、地球物理学、測地学、気象学、天文学など）の中から、いくつかのテーマを選び、実験・実習・解析を行っている。気象学と天文学の実験・実習・解析では、まず実験・測定結果の整理に必要となる、統計的な誤差の取り扱いを学ぶ。その後、各種測定機器や実験器具を利用して、大気の大気構造、および天文学に関する実用的な実習をキャンパス内で実施している。具体的には、気象分野では静水圧平衡や気圧と沸点の学習、天文学分野では望遠鏡の仕組みと太陽の観測、スペクトルと HR 図、ハッブルの法則などを用いた実習となっている。

地学実験では、「スペクトルの観察」と「HR 図と恒星の進化」の講義で、スペクトルを扱っている。これらを通じて、恒星の HR 図の作成までをゴールとした、スペクトルの学習パッケージを構築することができた。このパッケージは、(1) 簡易分光器の作成と様々な光の分光、(2) 恒星のスペクトルの紹介と並び替え、(3) 絶対等級の解説と HR 図の作成、から構成される。理系の学生は、実際に手を動かして実験・実習を行うことで、理解をより深めることができ、将来的な教材開発のヒントにもなりうる。一方で、教職課程以外でも、例えば外国語学部などの文系学部での講義や、一般向けの公開講座では、対象者の理解や目標に応じて、(1) から (3) の中から必要に応じて選択することも考えられる。特にスペクトルについて初めて学習する人にとっては、光が分かれることを”体験してもらう”ことが重要である。

本発表では、これらの学習パッケージの紹介と、分光器の作成とスペクトルの観察を例にして、スペクトル学習教材の難易度設定について考察する。

[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](#)

Y21c 天文学・宇宙物理学の自然科学教養授業における科学リテラシーに関する知見獲得効果について

山崎大 (茨城大学)

個人、経済、社会、文化の各活動において適切な意思決定、問題定義、それらの解決策の提示と実行に必要な、科学的概念と手法に対する知識と理解は、科学リテラシー (scientific literacy) と呼ばれている。科学的に正しい情報の活用は、個人的なものを含めたローカルな人間活動から、比較的大きなグローバルな社会活動にいたるまで、大きな恩恵をもたらしてきた。それらの情報の正しさを確認するために、科学的な検証過程を経ることが必要であるが、そのような科学的な検証過程を経ない、科学的を装う情報「疑似科学」も、残念ながら日々生み出されている。そのような疑似科学の中には、心身や経済の損害につながるものも少なくない。情報通信技術の急速な発展により、だれでも自由意志に従って、制限されずに情報を発信できる現在社会において、科学的に正しい情報を見分け、安全に活用するため、科学リテラシーが必要不可欠になっている。この背景から、本研究は、天文学・宇宙物理学の自然科学教養授業の一部として実施した科学リテラシーの獲得を目的とした講義内容に関わるアンケートや成績などの情報を複合的に解析することで、現状に即した科学リテラシーの効果的な学修内容の質と量について議論することを目的としている。今回は、科学や情報リテラシーに関わるアンケート結果と、授業の出席率と成績、学生の属性 (学部、理系、文系に対する得意・苦手意識など) との相関を調査し、その解析結果から、科学リテラシーに関する知見獲得を目的とする科目の授業作成指針について議論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](#)

講演者索引 (50音順)

【A】 – 【Z】

Baxter, Joshua Ryo.....	Z124a
Cooray, Suchetha.....	X52a
Delfan Azari, Milad.....	W37a
Feeney-Johansson, Anton.....	Z202a
Gangopadhyay, Anjasha.....	N09a
Gonzalez, Alvaro.....	V132a
Goto, Ichiro.....	M29b
HAMIDANI, HAMID.....	Z111a
Hanawa, Tomoyuki.....	W14b
Huang, Chujie.....	M11b
Iwasaki, Daiki.....	X36a
Kang, Yeongmin.....	M19a
Kido, Miyu.....	P203a
Liao, Jinkun.....	N26c
Lin, Chi-Hong.....	X24a
LIU, QIANG.....	S28a
Matsuo, Taro.....	Z304a
McNeill, Lucy.....	W33a
Ming, Qihui.....	M28b
Quanz, Sascha.....	Z301r
SHI, Wen E.....	X16c
Singh, Avinash.....	N46a
Sofia Lykawka, Patryk.....	P313b
Sofia Lykawka, Patryk.....	P314a
Xu, Yi.....	X45a
Yang, Yao-Lun.....	P113a
Yasui, Chikako.....	P123a
YOON, Seongwhan.....	U19a
Zhang, Rui Lan.....	X51a

【あ】

青木悠馬（あおき ゆうま）.....	V313b
青木和光（あおき わこう）.....	N06a
青柳美緒（あおやぎ みお）.....	V310a
縣秀彦（あがた ひでひこ）.....	Y06a
赤穂龍一郎（あかほ りゅういちろう）.....	N35a
赤堀卓也（あかほり たくや）.....	Z213b

赤松弘規（あかまつ ひろき）.....	V127a
秋田谷洋（あきたや ひろし）.....	Z117b
芥川慧大（あくたがわ けいた）.....	M26a
阿久津智忠（あくつ ともただ）.....	V260a
朝井建太（あさい けんた）.....	X14c
朝野哲郎（あさの てつろう）.....	R16a
浅野瑞基（あさの みずき）.....	V243a
朝比奈雄太（あさひな ゆうた）.....	W25b
安達孝太（あだち こうた）.....	X41a
阿部克哉（あべ かつや）.....	U21a
阿部正太郎（あべ しょうたろう）.....	Q16a
天野雄輝（あまの ゆうき）.....	Q36a
新井翔大（あらい しょうた）.....	V323a
有馬宣明（ありま のりあき）.....	V234b
有山諒（ありやま りょう）.....	Q25a
安東正樹（あんどう まさき）.....	Z316a
安福千貴（あんぶく かずき）.....	V319a

【い】

李尚姫（い さんひ）.....	N12b
飯島陽久（いいじま はるひさ）.....	M03a
五十嵐太一（いがらし たいち）.....	S06a
幾田佳（いくた かい）.....	Z413a
井口聖（いぐち さとる）.....	V141a
井口聖（いぐち さとる）.....	Z216b
池田裕（いけだ ゆう）.....	S35a
池田遼太（いけだ りょうた）.....	X48a
石井峻（いしい しゅん）.....	V134a
石川慶太郎（いしかわ けいたろう）.....	U17a
石川竜巳（いしかわ たつみ）.....	Q24a
石田光（いしだ こう）.....	X01a
石田光宏（いしだ みつひろ）.....	N03a
石橋志悠（いしばし しゅう）.....	P115a
石原昂将（いしはら こうすけ）.....	P126a
石渡幸太（いしわた こうた）.....	V324a
泉拓磨（いずみ たくま）.....	X26a
磯貝桂介（いそがい けいすけ）.....	W28a
磯部直樹（いそべ なおき）.....	S23a
市川幸平（いちかわ こうへい）.....	X31b

市川椋大(いちかわ りょうた).....	M30b
市橋正裕(いちはし まさひろ).....	Q39a
一村亮太(いちむら りょうた).....	P110a
出口真輔(いでぐち しんすけ).....	Z204a
伊藤侃(いとう あきら).....	W36a
伊藤哲司(いとう さとし).....	V241a
伊藤裕貴(いとう ひろたか).....	W22a
伊藤茉那(いとう まな).....	P102a
伊藤耶馬斗(いとう やまと).....	V314b
伊藤洋一(いとう よういち).....	P311b
伊藤呼人(いとう よひと).....	X17c
井上昭雄(いのうえ あきお).....	V216a
井上壮大(いのうえ あきひろ).....	W10b
井上開輝(いのうえ かいき).....	U22a
井上峻(いのうえ しゅん).....	Z410a
井上進(いのうえ すずむ).....	Z105a
今井裕(いまい ひろし).....	N19a
今田晋亮(いまだ しんすけ).....	M01a
今田大皓(いまだ ひろあき).....	Z224a
今西昌俊(いまにし まさと).....	S39a
今村千博(いまむら ちひろ).....	V121a
岩井一正(いわい かずまさ).....	V101a
岩上耕太郎(いわかみ こうたろう).....	V111b
岩城拓弥(いわき たくや).....	Z318a
岩切渉(いわきり わたる).....	Z104a
岩倉龍太郎(いわくら りゅうたろう).....	P135c
岩田季也(いわた としや).....	V328a
岩田悠平(いわた ゆうへい).....	Z203a
岩本昌倫(いわもと まさのり).....	W03a

【う】

上田佳宏(うえだ よしひろ).....	S15a
上野航介(うえの こうすけ).....	W12b
氏原秀樹(うじはら ひでき).....	V126a
碓氷光崇(うすい みつたか).....	X18c
臼田知史(うすだ とものり).....	V251a
宇田川賢(うだがわ けん).....	Q01a
内田裕之(うちだ ひろゆき).....	N33a
内山隆(うちやま たかし).....	V259a

内山秀樹(うちやま ひでき).....	V308a
宇野孔起(うの こうき).....	S17a
宇野慎介(うの しんすけ).....	V107a
梅田滉也(うめだ ひろや).....	X59a
浦郷陸(うらごう りく).....	N18a
浦田岬(うらた みさき).....	R20a

【え】

江刺拓哉(えさし たくや).....	P121c
江澤元(えざわ はじめ).....	V102a
榎木谷海(えのきだに うみ).....	V221a
榎谷玲依(えのきや れい).....	R11b
榎谷玲依(えのきや れい).....	Z220a
榎戸輝揚(えのと てるあき).....	Z114b
榎本晴日(えのもと はるひ).....	P204a
柄本耀介(えのもと ようすけ).....	U01a
海老塚昇(えびづか のぼる).....	V232a
海老塚昇(えびづか のぼる).....	V236b

【お】

大朝由美子(おおあさ ゆみこ).....	Y16b
大金原(おおがね はじめ).....	V244a
大久保宏真(おおくぼ ひろま).....	R07a
大熊悠介(おおくま ゆうすけ).....	Z317a
大小田結貴(おおこだ ゆき).....	P114a
大城勇憲(おおしろ ゆうけん).....	Q28a
大住隼人(おおすみ はやと).....	W20a
太田明日夏(おおた あすか).....	Z310b
大滝恒輝(おおたき こうき).....	X08b
大塚雅昭(おおつか まさあき).....	N25b
大塚雅昭(おおつか まさあき).....	N45a
大辻賢一(おおつじ けんいち).....	V229a
大西浩次(おおにし こうじ).....	Y05a
大西宗博(おおにし むねひろ).....	V334a
大場崇義(おおば たかよし).....	M13b
大橋聡史(おおはし さとし).....	P218a
大平明日香(おおひら あすか).....	V207a
大前陸人(おおまえ りくと).....	Z211b

大間々知輝（おおまま ともし）.....	W42a
大村充輝（おおむら みつき）.....	P119b
大家寛（おおや ひろし）.....	S09b
大家寛（おおや ひろし）.....	S38a
大屋瑠子（おおや るこ）.....	P112a
岡崎敦男（おかざき あつお）.....	W16a
尾形絵梨花（おがた えりか）.....	X22a
小形美沙（おがた みさ）.....	N17a
岡田佳純（おかだ よしずみ）.....	Q29a
小上樹（おがみ いつき）.....	X33a
岡村龍樹（おかむら たつき）.....	P207a
小川巧海（おがわ たくみ）.....	Z309b
奥村暁（おくむら あきら）.....	V333a
尾崎忍夫（おざき しのぶ）.....	V252a
長船大樹（おさふね だいき）.....	X35a
押切翔（おしきり かける）.....	W29a
小沼将天（おぬま まさたか）.....	Q33a
小野瑞季（おの みずき）.....	U03a
小野里宏樹（おのざと ひろき）.....	N16a
小山貴裕（おやま たかひろ）.....	Q09a

【か】

柿元拓実（かきもと たくみ）.....	X19a
柏野大地（かしの だいち）.....	X57a
加島颯太（かしま そうた）.....	V346a
梶山侑里名（かじやま ゆりな）.....	M09a
柏木頼我（かしわぎ らいが）.....	P106a
勝川行雄（かつかわ ゆきお）.....	M20a
加藤辰明（かとう たつあき）.....	Q38a
加藤遼（かとう りょう）.....	P208a
金子美由起（かねこ みゆき）.....	Q14a
金田優香（かねだ ゆうか）.....	X34a
加納龍生（かのう りゅうせい）.....	R03a
上塚貴史（かみづか たかふみ）.....	Z303a
亀山晃（かめやま あきら）.....	V124a
川島朋尚（かわしま ともひさ）.....	S08a
川島由依（かわしま ゆい）.....	P308a
川下大響（かわしも ひろき）.....	N21a
川田智希（かわだ ともし）.....	V348a

河野功（かわの いさお）.....	Z314r
川畑佑典（かわばた ゆうすけ）.....	V202a
河原創（かわはら はじめ）.....	P309b
河邊圭寿（かわべ よしひさ）.....	V338b
川室太希（かわむろ たいき）.....	S21a

【き】

木内等（きうち ひとし）.....	V136a
菊田智史（きくた さとし）.....	X61a
北郁奈（きた ふみな）.....	Q03a
北島欽大（きたじま かんた）.....	W47a
北山哲（きたやま てつ）.....	T06a
紀基樹（きの もとき）.....	S36a
木下凌太（きのした りょうた）.....	V254a
木村和貴（きむら かずたか）.....	P104a
木村成生（きむら しげお）.....	Z102r
木村正樹（きむら まさき）.....	Y12b
木邑真理子（きむら まりこ）.....	W31a
木村明愉（きむら みらく）.....	V342a
久徳浩太郎（きゅうとく こうたろう）.....	Z108r
喜友名正樹（きゆな まさき）.....	P107b
桐原崇亘（きりはら たかのぶ）.....	X27a
金滉基（きん こうき）.....	W26b

【く】

日下部展彦（くさかべ のぶひこ）.....	Y18b
日下部晴香（くさかべ はるか）.....	X39a
楠根貴成（くすね たかよし）.....	P130a
葛原昌幸（くずはら まさゆき）.....	V228a
久世陸（くぜ りく）.....	S01a
屈楚舒（くつ そじょ）.....	W01a
工藤葉奈子（くどう かなこ）.....	T02a
国吉秀鷹（くによし ひでたか）.....	Z405a
久保雅仁（くぼ まさひと）.....	V204a
久保真理子（くぼ まりこ）.....	X04a
久保勇樹（くぼ ゆうき）.....	M14b
倉澤日菜（くらさわ ひな）.....	X25a
藏原昂平（くらはら こうへい）.....	Z219a

倉本春希(くらもと はるき).....	V327a
栗原明稀(くりはら みき).....	M24a
黒石萌香(くろいし もえか).....	M31c
黒崎健二(くろさき けんじ).....	P317a
桑田明日香(くわた あすか).....	W24a
桑山陽次(くわやま ようじ).....	V116b

【こ】

小出眞路(こいで しんじ).....	S07a
黄天鋭(こう たかとし).....	N34a
郷田直輝(ごうだ なおてる).....	V210a
高妻真次郎(こうづま しんじろう).....	N10b
河野樹人(こうの みきと).....	Z209b
郷原康司(ごうはら こうじ).....	V129a
幸村孝由(こうむら たかよし).....	V343a
國生拓摩(こくしょう たくま).....	Q19a
小久保充(こくぼ みつる).....	S12b
越諒太郎(こし りょうたろう).....	N07a
越田進太郎(こしだ しんたろう).....	V256a
小嶋康史(こじま やすふみ).....	W05a
小島礼己(こじま れいき).....	Z311b
越本直季(こしもと なおき).....	P304a
小関知宏(こせき とみひろ).....	Z308b
小谷隆行(こたに たかゆき).....	V233a
小谷竜也(こたに たつや).....	U15a
後藤初音(ごとう はつね).....	V349a
小林一生(こばやし いっせい).....	P312b
小林翔悟(こばやし しょうご).....	W06a
小林星羅(こばやし せいら).....	X12b
小林秀行(こばやし ひでゆき).....	V140a
小林浩(こばやし ひろし).....	Z302a
小林将人(こばやし まさと).....	P128a
古布諭(こぶ さとし).....	S14c
小堀しづ(こぼり しづ).....	U10a
小堀しづ(こぼり しづ).....	U11b
小道雄斗(こみち ゆうと).....	P118b
小麦真也(こむぎ しんや).....	R12b
小森楓雅(こもり ふうが).....	X40a
近藤克(こんどう かつし).....	P225a

近藤奨紀(こんどう しょうき).....	V125a
近藤翼(こんどう つばさ).....	V218a
近藤翼(こんどう つばさ).....	V223b
近藤宙貴(こんどう ひろたか).....	Z305a
近藤麻里恵(こんどう まりえ).....	T04a

【さ】

齋藤隆之(さいとう たかゆき).....	V331a
堺正太郎(さかい しょうたろう).....	Z417a
阪本成一(さかもと せいいち).....	V135a
阪本菜月(さかもと なつき).....	V311a
作田皓基(さくた こうき).....	V317a
酒見はる香(さけみ はるか).....	Z212b
笹岡大雅(ささおか たいが).....	V227a
佐々木俊輔(ささき しゅんすけ).....	N28c
佐々木恵(ささき めぐみ).....	P210b
佐崎凌佑(さざき りょうすけ).....	W30a
笹田真人(ささだ まひと).....	Z126a
佐藤恭輔(さとう きょうすけ).....	X10b
佐藤浩介(さとう こうすけ).....	V305a
佐藤翔太(さとう しょうた).....	S10b
佐藤大仁(さとう まさと).....	N08a
佐藤愛(さとう まなみ).....	Q31a
佐藤慶暉(さとう よしあき).....	M25a
佐藤理究(さとう りく).....	X21a
佐野圭(さの けい).....	V208a
佐野栄俊(さの ひでとし).....	Z201r
澤田真理(さわだ まこと).....	V307a
澤田涼(さわだ りょう).....	P228a
澤田 - 佐藤聡子(さわださとう さとこ).....	S33a

【し】

塩田大幸(しおた だいこう).....	M16b
篠崎愛翔(しのざき まなと).....	P111a
篠田兼伍(しのだ けんご).....	N32a
柴崎清登(しばさき きよと).....	M17a
柴田航平(しばた こうへい).....	X37a
柴田洋佑(しばた ようすけ).....	Q07a

澁谷隆俊(しぶや たかとし).....	X15c
嶋川里澄(しまかわ りずむ).....	X02a
島末匠(しますえ たくみ).....	U08a
島田明音(しまだ あかね).....	S18a
島田悠愛(しまだ ゆうま).....	W27b
島谷侑希(しまたに ゆうき).....	R18a
清水一揮(しみず かずき).....	R17a
清水達生(しみず たつき).....	X20a
清水信宏(しみず のぶひろ).....	Z103a
清水里香(しみず りこ).....	V320a
下井倉ともみ(しもいくら ともみ).....	Y19c
霜田治朗(しもだ じろう).....	Q26a
正嶋大和(しょうじま やまと).....	Q32a
庄田宗人(しょうだ むねひと).....	Z403a
白崎正人(しらさき まさと).....	U06a
白戸春日(しらと はるひ).....	M04a
白濱健太郎(しらはま けんたろう).....	V325a
城野信一(しろの しんいち).....	P226a
神野天里(じんの てんり).....	P315a

【す】

末松芳法(すえまつ よしのり).....	V211b
菅尾竜司(すがお りゅうじ).....	V249c
菅原悠馬(すがはら ゆうま).....	X56a
菅原一希(すがわら かずき).....	W43a
杉田聡司(すぎた さとし).....	W19a
杉村和幸(すぎむら かずゆき).....	X43a
杉村風暁(すぎむら ふうあ).....	N22b
杉本葵(すぎもと あおい).....	V326b
杉山純菜(すぎやま じゅんな).....	V131a
鈴木昭宏(すずき あきひろ).....	N36a
鈴木俊輔(すずき しゅんすけ).....	Q30a
鈴木大輝(すずき たいき).....	P222a
鈴木大介(すずき だいすけ).....	R24a
鈴木建(すずき たける).....	W46a
鈴木仁研(すずき とよあき).....	V217a
鈴木那梨(すずき なり).....	Q34a
鈴木寛大(すずき ひろまさ).....	Q40a
鈴木善久(すずき よしひさ).....	X32a

鈴木竜二(すずき りゅうじ).....	V250c
鈴木智也(すずぐち ともや).....	W32a
砂田裕志(すなだ ゆうじ).....	S22a
住貴宏(すみ たかひろ).....	P305a
諏訪雄大(すわ ゆうだい).....	N29a

【せ】

関口瑞希(せきぐち みずき).....	P202a
瀬戸直樹(せと なおき).....	Z315r
瀬野泉美(せの いずみ).....	Q18a
妹尾梨子(せのお りこ).....	Q21a
芹野素子(せりの もとこ).....	Z120r

【そ】

杣津萌(そまつ もえ).....	V226a
孫赫陽(そん かくよう).....	V114b

【た】

大工原一貴(だいくはら かずき).....	X03a
高石大輔(たかいし だいすけ).....	P116a
高倉理(たかくら さとる).....	V130a
高梨直紘(たかなし なおひろ).....	Y04a
高橋和也(たかはし かずや).....	W23a
高橋慶太郎(たかはし けいたろう).....	Z217r
高橋宏典(たかはし こうすけ).....	X06a
高橋実道(たかはし さねみち).....	P201a
高橋茂(たかはし しげる).....	P301a
高橋英則(たかはし ひでのり).....	V235b
高橋真聡(たかはし まさあき).....	S05a
高橋幹弥(たかはし みきや).....	S02a
高松睦(たかまつ あつし).....	R09a
高村美恵子(たかむら みえこ).....	S32a
瀧哲朗(たき てつお).....	P216b
抱江柊利(だきえ しゅうと).....	Z214b
滝沢風佳(たきさわ ふうか).....	S19a
瀧本幸司(たきもと こうじ).....	V209a
田口健太(たぐち けんた).....	N30a

武井勇樹(たけい ゆうき).....N14a
 武田彩希(たけだ あやき).....V337a
 武田朋志(たけだ ともし).....Z123a
 竹田麟太郎(たけだ りんたろう).....W45a
 竹林晃大(たけばやし こうだい).....W44a
 竹原大智(たけはら だいち).....V115b
 岳藤一宏(たけふじ かずひろ).....Z222a
 多胡諒弥(たご りょうや).....V350a
 田嶋裕太(たしま ゆうた).....Z210b
 田代信(たしろ まこと).....V301a
 立原研悟(たちはら けんご).....Q05a
 辰己賢太(たつみ けんた).....Q27a
 田中賢(たなか さとし).....U18a
 田中孝明(たなか たかあき).....Z313b
 田中匠(たなか たくみ).....X38a
 谷川衝(たにかわ あたる).....Z116b
 谷川貫太(たにがわ かんた).....V112b
 谷口暁星(たにぐち あきお).....V108a
 谷口琴美(たにぐち ことみ).....P109a
 谷口貴紀(たにぐち たかのり).....U09a
 谷田幸貴(たにだ こうき).....U07a
 谷本敦(たにもと あつし).....S20a
 玉川徹(たまがわ とおる).....V316a
 玉澤春史(たまざわ はるふみ).....Y07a
 玉澤春史(たまざわ はるふみ).....Y15b
 玉城磨生(たましろ まお).....P131a
 田村直之(たむら なおゆき).....V255a
 田村元秀(たむら もとひで).....P303a
 樽家篤史(たるや あつし).....U04a
 丹波翼(たんば つばさ).....V322a

【ち】

千秋元(ちあき げん).....P101a
 趙彪(ちょう ひょう).....V222a

【つ】

塚田怜央(つかだ れお).....Z109r
 塚本裕介(つかもと ゆうすけ).....P217a

柘植紀節(つげ きせつ).....Q17a
 辻井未来(つじい みく).....V128a
 土屋史紀(つちや ふみのり).....Z416r
 都築俊宏(つづき としひろ).....Z312b
 津名大地(つな だいち).....N44a
 坪井昌人(つばい まさと).....Q13a
 津村耕司(つむら こうじ).....V213a
 鶴見薫樹(つるみ まさき).....W35a

【て】

手塚愛莉(てつか あいり).....V109b
 出町史夏(でまち ふみか).....P129a
 寺内健太(てらうち けんた).....Z125a
 寺尾航暉(てらお こうき).....V245a
 寺岡耕平(てらおか こうへい).....M21a
 寺澤敏夫(てらさわ としお).....Z208b
 寺澤凌(てらさわ りょう).....U20a
 照井勇登(てるい ゆうと).....X44a

【と】

徳田一起(とくだ かずき).....P132a
 徳野鷹人(とくの たかと).....Z407a
 土阪樹(どさか いつき).....S11b
 敏蔭星治(としかげ せいじ).....N39a
 利川潤(としかわ じゅん).....X05a
 鳥羽儀樹(とば よしき).....S24a
 土肥明(どひ あきら).....W17a
 富岡紗有(とみおか さゆ).....V137a
 富田晃彦(とみた あきひこ).....Y03a
 富田沙羅(とみた さら).....Z106a
 富永遼佑(とみなが りょうすけ).....P212b
 土本菜々恵(どもと ななえ).....Z110a
 友善瑞雄(ともよし みお).....N05a
 鳥海森(とりうみ しん).....V203a

【な】

永井洋(ながい ひろし).....V133a

中川亜紀治（なかがわ あきはる）.....	N23b
中川貴雄（なかがわ たかお）.....	V219a
仲里佑利奈（なかざと ゆりな）.....	X62a
中澤知洋（なかざわ かずひろ）.....	V340a
中澤風音（なかざわ かのん）.....	P227a
中澤皓太（なかざわ こうた）.....	N02a
長澤俊作（ながさわ しゅんさく）.....	V321a
中島拓（なかじま たく）.....	V105a
中嶋大（なかじま ひろし）.....	V330a
長嶋悠月（ながしま ゆづき）.....	R10a
永田竜（ながた りょう）.....	U12c
中根美七海（なかね みなみ）.....	X58a
中野すずか（なかの すずか）.....	R13b
中村航（なかむら こう）.....	N27c
永山貴宏（ながやま たかひろ）.....	V238a
梨本真志（なしもと まさし）.....	Z206a
夏目純也（なつめ じゅんや）.....	M23a
並河俊弥（なみかわ としや）.....	U23a
行方宏介（なめかた こうすけ）.....	Z404a
成田佳奈香（なりた かなこ）.....	Q04a
成田拓仁（なりた たくと）.....	W02a
成田憲保（なりた のりお）.....	V239a
成影典之（なるかげ のりゆき）.....	M02a
鳴沢真也（なるさわ しんや）.....	N04a
成瀬元希（なるせ げんき）.....	U14a

【に】

新沼浩太郎（にいぬま こうたろう）.....	S37a
新沼浩太郎（にいぬま こうたろう）.....	Z215b
新納悠（にいのう ゆう）.....	Z127a
西浦怜（にしうら れい）.....	W04a
西川淳（にしかわ じゅん）.....	V246b
西川悠馬（にしかわ ゆうま）.....	V118b
西澤諒（にしざわ りょう）.....	P215b
西嶋翔（にしじま しょう）.....	P103a
西田来樹（にしだ らいき）.....	V248c
西塚直人（にしづか なおと）.....	M27a
西村淳（にしむら あつし）.....	V122a
新田伸也（にった しんや）.....	Z420b

二之湯開登（にのゆ かいと）.....	W39a
二瓶美生（にへい みお）.....	Y13b
丹羽綾子（にわ あやこ）.....	V103a
丹羽怜太（にわ りょうた）.....	V335a

【ね】

根来均（ねごろ ひとし）.....	W18a

【の】

野口雄弘（のぐち たかひろ）.....	V231a
野崎信吾（のざき しんご）.....	P120b
野澤恵（のざわ さとし）.....	Y02a
野曾原千晟（のそはら ちあき）.....	V106a
野田篤司（のだ あつし）.....	Z306a
野田常雄（のだ つねお）.....	W09b
野津翔太（のつ しょうた）.....	P224a
野津湧太（のつ ゆうた）.....	Z419b
登口暁（のぼりぐち あかとき）.....	S29a

【は】

袴田知宏（はかまた ともひろ）.....	N01a
萩野浩一（はぎの こういち）.....	V341a
萩本将都（はぎもと まさと）.....	V110b
萩本将都（はぎもと まさと）.....	X60a
橋ヶ谷武志（はしがや たけし）.....	V205a
橋本拓也（はしもと たくや）.....	X07a
長谷川幸大（はせがわ こうだい）.....	M07a
長谷川幸彦（はせがわ ゆきひこ）.....	P219a
秦和弘（はだ かずひろ）.....	S31a
波多野駿（はたの しゅん）.....	X23a
八田良樹（はった よしき）.....	M06a
八田良樹（はった よしき）.....	N11b
服部健太郎（はっとり けんたろう）.....	Y08a
花岡庸一郎（はなおか よういちろう）.....	M12b
馬場淳一（ばば じゅんいち）.....	R01a
馬場俊介（ばば しゅんすけ）.....	S04a
浜響子（はま きょうこ）.....	R04a

濱田龍星（はまだ りゅうせい）.....	V230a
濱田龍星（はまだ りゅうせい）.....	Z118b
早川喬（はやかわ たかし）.....	P211b
早川貴敬（はやかわ たかひろ）.....	Q08a
林克洋（はやし かつひろ）.....	V302a
林航平（はやし こうへい）.....	U02a
林多佳由（はやし たかゆき）.....	V304a
林多佳由（はやし たかゆき）.....	W13b
林利憲（はやし としのり）.....	P302a
原弘久（はら ひろひさ）.....	V201a
原田了（はらだ あきら）.....	Z107a
播金優一（はりかね ゆういち）.....	X53a

【ひ】

東翔（ひがし しょう）.....	P105a
東野康祐（ひがしの こうすけ）.....	P133a
樋口成和（ひぐち なりかず）.....	W41a
久島慶大（ひさじま けいた）.....	P209b
平島敬也（ひらしま けいや）.....	X46a
平野信吾（ひらの しんご）.....	P117a
平野照幸（ひらの てるゆき）.....	Z414r
平野佑弥（ひらの ゆうや）.....	P306a
平松大地（ひらまつ だいち）.....	N37a
広瀬暖菜（ひろせ はるな）.....	M22a

【ふ】

深沢泰司（ふかざわ やすし）.....	Z115b
深田静（ふかた せい）.....	N42a
深谷直史（ふかや なおふみ）.....	V104a
吹原瑠（ふきはら はるか）.....	P108b
福井暁彦（ふくい あきひこ）.....	Z415a
福井陽喜（ふくい はるき）.....	V214a
福井康雄（ふくい やすお）.....	X47a
福一誠（ふくいち まこと）.....	T01a
福江慧（ふくえ けい）.....	Y20c
福島光太郎（ふくしま こうたろう）.....	R19a
福島秀麻（ふくしま しゅうま）.....	X50a
福田美実（ふくだみのり）.....	V206a

藤井通子（ふじい みちこ）.....	P124a
藤井隆登（ふじい りゅうと）.....	V318a
藤沢健太（ふじさわ けんた）.....	Z221r
藤田裕（ふじた ゆたか）.....	T05a
藤本淳也（ふじもと じゅんや）.....	X29b
藤本裕輔（ふじもと ゆうすけ）.....	R14a
藤森愛梨沙（ふじもり ありさ）.....	W11b
札本佳伸（ふだもと よしのぶ）.....	X11b
札本佳伸（ふだもと よしのぶ）.....	X54a
古澤和也（ふるさわ かずや）.....	X28a
古山泰成（ふるやま たいせい）.....	V345a

【ほ】

細畠拓也（ほそばた たくや）.....	V220a
堀田英之（ほった ひでゆき）.....	Z402r
堀友哉（ほり ともや）.....	Q06a
堀内貴史（ほりうち たかし）.....	S34a
本多俊介（ほんだ しゅんすけ）.....	V139a
本間和明（ほんま かずあき）.....	P221a

【ま】

前田啓一（まえだ けいいち）.....	N40a
前田郁弥（まえだ ふみや）.....	Q12b
前田郁弥（まえだ ふみや）.....	R22a
前田龍之介（まえだ りゅうのすけ）.....	P122a
前原裕之（まえはら ひろゆき）.....	Z408r
政井崇帆（まさい たかほ）.....	V138a
正木寛之（まさき ひろゆき）.....	M08a
増田賢人（ますだ けんと）.....	Z409r
町田瑞樹（まちだ みずき）.....	R15a
松井瀬奈（まつい せな）.....	X13b
松井瀬奈（まつい せな）.....	Y01a
松井理輝（まつい りき）.....	Z112a
松浦周二（まつうら しゅうじ）.....	V258a
松尾宏（まつお ひろし）.....	V117b
松尾宏（まつお ひろし）.....	Z307a
松木場亮喜（まつこば りょうき）.....	P205a
松坂怜（まつさか れん）.....	Y17b

松下恭子(まつした きょうこ).....	T03a
松月大和(まつづき やまと).....	Z205a
松永海(まつなが かい).....	Q15a
松永典之(まつなが のりゆき).....	V257a
松橋裕洋(まつはし ひろうみ).....	V344a
松原康平(まつばら こうへい).....	Q22a
松本岳人(まつもと がくと).....	V347a
松本仁(まつもと じん).....	N31a
松本健(まつもと たける).....	Q11b
松本健(まつもと たける).....	V142a
松本達矢(まつもと たつや).....	N38a

【み】

三浦大貴(みうら だいき).....	W07a
三浦飛未来(みうら ひびき).....	Y14b
三澤透(みさわ とおる).....	S27a
三澤浩昭(みさわ ひろあき).....	Z207b
水川竜希(みずかわ りゅうき).....	W40a
水越翔一郎(みずこし しょういちろう).....	S16a
水本岬希(みずもと みさき).....	V306a
溝手雅也(みぞて まさや).....	V332a
三谷啓人(みたに ひろと).....	Z418a
道山知成(みちやま ともなり).....	S26a
三橋一輝(みつはし いっき).....	X49a
宮川浩平(みやかわ こうへい).....	Z412a
宮崎翔太(みやざき しょうた).....	P310b
宮田隆志(みやた たかし).....	V253a
宮本明日香(みやもと あすか).....	N15a
宮本祐介(みやもと ゆうすけ).....	R02a
宮山隆志(みややま りゅうし).....	P316a
三好真(みよし まこと).....	W38a

【む】

村井結太(むらい ゆうた).....	N43a
村岡和幸(むらおか かずゆき).....	R06a
村岡克紀(むらおか かつき).....	W34a
村上広椰(むらかみ こうや).....	U05a
村上尚史(むらかみ なおし).....	V242a

村瀬建(むらせ たける).....	Q10b
村瀬建(むらせ たける).....	V123a
村田勝寛(むらた かつひろ).....	Z119b

【も】

望月友貴(もちづき ともき).....	Z319a
本上侑吾(もとがみ ゆうご).....	W21a
森昇志(もり しょうじ).....	P206a
森井嘉穂(もりい かほ).....	P127a
森川朋美(もりかわ ともみ).....	Q35a
森崎宗一郎(もりさき そういちろう).....	Z113a
森下皓暁(もりした てるあき).....	V336a
守屋堯(もりや たかし).....	N20a
森脇可奈(もりわき かな).....	U13a
諸隈智貴(もろくま ともき).....	Z121r

【や】

矢島秀伸(やじま ひでのぶ).....	X42a
保田悠紀(やすだ ゆうき).....	N13a
柳澤顕史(やなぎさわ けんし).....	Y09a
柳澤顕史(やなぎさわ けんし).....	Y10b
柳澤広登(やなぎさわ ひろと).....	U16a
矢野太平(やの たいへい).....	V212b
山響(やま ひびき).....	V237a
山岡和貴(やまおか かずたか).....	V339c
山口慎太郎(やまぐち しんたろう).....	M15b
山口未沙(やまぐち みさ).....	X09b
山口遼大(やまぐち りょうだい).....	Q02a
山崎大(やまざき だい).....	Y21c
山崎大輝(やまさき だいき).....	M18a
山崎康正(やまさき やすまさ).....	Z223a
山下真依(やました まい).....	P134b
山下真依(やました まい).....	Z411a
山田智史(やまだ さとし).....	S25a
山田祐佳(やまだ ゆうか).....	R23a
山田麟(やまだ りん).....	P125a
大和義英(やまと よしひで).....	P223a
山中逸輝(やまなか いつき).....	R21a

山中雅之（やまなか まさゆき）.....	N24b
山中雅之（やまなか まさゆき）.....	N41a
山中祐里奈（やまなか ゆりな）.....	Q37a
山室良太（やまむろ りょうた）.....	P213b
山本宏昭（やまもと ひろあき）.....	Q23a
山本宏昭（やまもと ひろあき）.....	V120b
山本優太（やまもと ゆうた）.....	X30b

【ゆ】

油谷直道（ゆたに なおみち）.....	S30a

【よ】

横須晴彦（よこす はるひこ）.....	V312b
横山光輝（よこやま こうき）.....	M10a
横山央明（よこやま たかあき）.....	Z401r
吉浦伸太郎（よしうら しんたろう）.....	Z218a
芳岡尚悟（よしおか しょうご）.....	S13b
吉田滋（よしだ しげる）.....	Z101r
吉田有宏（よしだ ともひろ）.....	P220a
吉野有咲（よしの ありさ）.....	W15a
吉野富士香（よしの ふじか）.....	V247b
吉久健朗（よしひさ たけろう）.....	M05a
吉村龍成（よしむら りゅうせい）.....	V113b
善本真梨那（よしもと まりな）.....	W08a
米倉覚則（よねくら よしのり）.....	V119b
米田謙太（よねた けんた）.....	V240a
米津鉄平（よねつ てっぺい）.....	P214b
米津鉄平（よねつ てっぺい）.....	Q20a
米徳大輔（よねとく だいすけ）.....	Z122a
米丸若菜（よねまる わかな）.....	V309a
米村優輝（よねむら ゆうき）.....	Y11b
米山友景（よねやま ともかげ）.....	V303a
米山友景（よねやま ともかげ）.....	V315b

【り】

李源（り げん）.....	V224b

【わ】

鷺ノ上遥香（わしのうえ はるか）.....	Z406a
和田桂一（わだ けいいち）.....	S03a
和田武彦（わだ たけひこ）.....	V215a
和田武彦（わだ たけひこ）.....	V225b
渡辺くりあ（わたなべ くりあ）.....	X55a
渡部蒼汰（わたなべ そうた）.....	V329a
渡辺紀治（わたなべ のりはる）.....	P307a
渡邊友海（わたなべ ゆみ）.....	R08a
渡邊祥正（わたなべ よしまさ）.....	R05a

2023 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 瑶 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)

市 来 淨 與 (名古屋大学)

保育室担当

保育室担当

年会開催地理事

金 田 英 宏 (名古屋大学)