

2023年 春季年会

講演予稿集

電子版

於 立教大学

2023年3月13日(月)～3月16日(木)

日本天文学会

日本天文学会 2023年 春季年会プログラム

期 日 2023年3月13日(月)～3月16日(木)

場 所 立教大学池袋キャンパス

電 話 090-4387-6893(学会事務局) <使用期間 2023年3月13日(月)～3月16日(木)>

E-Mail nenkai-committee@asj.or.jp(年会実行委員会)

| 月日 | 会場 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 |
|--------------|----|---|--------------------------|-----------------|---------------------------------|-----------------------------|-------------------------------|--------------------------------------|-----------------------------|--|----|----|
| 3月10日 (金) | | | | | | | 記者会見 | | | 理事会 | | |
| 3月13日 (月) | A | | | | | P2. 原始惑星系円盤 | | | ポスター 15:30 16:30 | 特別セッション ALMA2030 17:00 19:00 | | |
| | B | | | | | T. 銀河団 | | | | | | |
| | C | | | | | Z1. ALMA サーベイ | | | | | | |
| | D | | | | | W. コンパクト天体 | | | | | | |
| | E | | | | | M. 太陽 | | | | | | |
| | F | | | | | V2. 観測機器(光赤・重) | | | | | | |
| | G | | | | | V1. 観測機器(電波) | | | | | | |
| | H | | | | | X. 銀河形成・進化 | | | | | | |
| | I | | | | | Q. 星間現象 | | | | | | |
| | J | | | | | S. 活動銀河核 | | | | | | |
| 3月14日 (火) | A | | 受付 9:30 10:00 | P2. 原始惑星系円盤 | 昼 休 み 12:10-13:30 (代議員総会) | V3. 観測機器(X線・γ線) | ポスター 16:00 17:00 | 天文教育 フォーラム 17:00 18:30 | | | | |
| | B | Y. 教育・広報・他 | | Y. 教育・広報・他 | | | | | | | | |
| | C | Z1. ALMA サーベイ | | Z1. ALMA サーベイ | | | | | | | | |
| | D | W. コンパクト天体 | | W. コンパクト天体 | | | | | | | | |
| | E | M. 太陽 | | M. 太陽 | | | | | | | | |
| | F | V2. 観測機器(光赤・重) | | V2. 観測機器(光赤・重) | | | | | | | | |
| | G | V1. 観測機器(電波) | | V1. 観測機器(電波) | | | | | | | | |
| | H | X. 銀河形成・進化 | | X. 銀河形成・進化 | | | | | | | | |
| | I | Q. 星間現象 | | Q. 星間現象 | | | | | | | | |
| | J | S. 活動銀河核 | | S. 活動銀河核 | | | | | | | | |
| | K | ジュニアセッション(詳細は https://www.asj.or.jp/jsession/ にて) | | | | | | | | | | |
| 3月15日 (水) | A | | 受付 9:30 10:00 | V3. 観測機器(X線・γ線) | 昼 休 み 12:10-13:30 | V3. 観測機器(X線・γ線) | 会員全体集会 16:00 17:30 | 受賞記念講演 17:30 19:00 | | | | |
| | B | P1. 星形成 | | P1. 星形成 | | | | | | | | |
| | C | | | | | | | | | | | |
| | D | W. コンパクト天体 | | W. コンパクト天体 | | | | | | | | |
| | E | M. 太陽 | | R. 銀河 | | | | | | | | |
| | F | V2. 観測機器(光赤・重) | | V2. 観測機器(光赤・重) | | | | | | | | |
| | G | U. 宇宙論 | | U. 宇宙論 | | | | | | | | |
| | H | X. 銀河形成・進化 | | X. 銀河形成・進化 | | | | | | | | |
| | I | Q. 星間現象 | | P3. 惑星系 | | | | | | | | |
| | J | N. 恒星・恒星進化 | | N. 恒星・恒星進化 | | | | | | | | |
| 3月16日 (木) | A | | 受付 9:30 10:00 | V3. 観測機器(X線・γ線) | 昼 休 み 12:10-13:30 | ポスター 13:30 14:30 | | | | | | |
| | B | P1. 星形成 | | | | | | | | | | |
| | C | | | | | | | | | | | |
| | D | W. コンパクト天体 | | | | | | | | | | |
| | E | R. 銀河 | | | | | | | | | | |
| | F | | | | | | | | | | | |
| | G | U. 宇宙論 | | | | | | | | | | |
| | H | X. 銀河形成・進化 | | | | | | | | | | |
| | I | P3. 惑星系 | | | | | | | | | | |
| | J | N. 恒星・恒星進化 | | | | | | | | | | |
| | | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 |

※午前セッション [1日目] - [2日目] 10:00～12:10 [3日目] 10:00～12:10 [4日目] 10:00～12:10

※午後セッション [1日目] 13:00～15:10 [2日目] 13:30～15:40 [3日目] 13:30～15:40 [4日目] -

A 会場 : 5号館 B棟 1F (5124)
 B 会場 : 5号館 B棟 1F (5125)
 C 会場 : 5号館 B棟 2F (5221)
 D 会場 : 5号館 B棟 2F (5222)
 E 会場 : 5号館 B棟 2F (5223)
 F 会場 : 5号館 B棟 2F (5224)
 G 会場 : 5号館 B棟 3F (5321)

H 会場 : 5号館 B棟 3F (5322)
 I 会場 : 5号館 B棟 3F (5323)
 J 会場 : 5号館 B棟 3F (5324)
 K 会場 : 5号館 C棟 1F (5123)

※定員が超過した場合は、予備室(P.9参照)をご利用ください

受 付 : 5号館 A棟 1F ロビー
 展示コーナー : 5号館 A棟 3F (5304)

◎講演数

講演数：合計 593

(口頭講演 (a)：492、ポスター講演 (b)：85、ポスター講演 (c)：16)

◎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1月10日正午～2月28日正午

※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(現地発表希望者)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します。オンラインでのポスターセッションはSlackを利用して質疑応答をお願いします。(添字aの講演者にもSlackチャンネルをご用意いたします)
- 口頭講演者(添字a、b、r)は、現地会場またはオンラインで発表していただきます。
セッション開始5分前から座長が講演方法の説明をいたします。講演者はなるべくご参加ください。
口頭講演は原則としてご自身のPCを用いて講演いただきますが、バックアップ用講演ファイルを任意で事前提出いただき、接続トラブル時に利用します。

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

- オンライン聴講者は、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 |
|----------|-------------|--------------------------|---|
| 3月10日(金) | 14:00～15:00 | オンライン | 記者会見 |
| 3月12日(日) | 13:30～16:00 | 太刀川カンファレンスルーム / オンライン | 公開講演会 |
| 3月13日(月) | 17:00～19:00 | K会場/ オンライン | 特別セッション ALMA2030: Wideband Sensitivity Upgrade |
| 3月14日(火) | 17:00～18:30 | K会場/ オンライン | 天文教育フォーラム |
| 3月15日(水) | 16:00～17:30 | K会場/ オンライン | 会員全体集会 |
| 3月15日(水) | 17:30～19:00 | K会場/ オンライン | 受賞記念講演 (林忠四郎賞・研究奨励賞) |

◎会合一覧表

※今回、通常の会合は募集しておりません。

| 月 日 | 時 間 | 会 場 | 会 合 名 | 参加可否 [※] |
|----------|-------------|------------|-------|-------------------|
| 3月10日(金) | 17:00～18:00 | オンライン | 理事会 | D |
| 3月14日(火) | 12:20～13:20 | K会場/ オンライン | 代議員総会 | D |

※年会参加者の参加可否の説明（オープン化の程度）

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

◎特別セッション：「ALMA 2030: Wideband Sensitivity Upgrade」

日 時：2023年3月13日（月）17：00～19：00

場 所：K会場 / オンライン

概 要： アルマ望遠鏡は、科学運用の開始から10周年を迎えました。この間、惑星の誕生や銀河の初期進化、宇宙の有機分子探査をはじめとしてさまざまなテーマで多くの観測成果をあげてきました。これらアルマ望遠鏡による成果や天文学全体の進展を背景として、2020～2030年代に挑むべき次の科学目標とそのために必要なアルマ望遠鏡の機能強化についての議論を、国内外の研究者コミュニティと協力して行い、結果は「ALMA Development Roadmap」として公開されました。今後、アルマ望遠鏡は段階的に機能強化を進めていきます。その重要項目の一つとして、帯域拡張による感度向上計画が進行しています。ALMA Wideband Sensitivity Upgrade (WSU) と呼ばれるこの計画は、受信機中間周波数を2-4倍拡張させるとともに、伝送系、デジタイザ、および関連器の機能を大幅にアップグレードするものです。これにより、アルマの連続波撮像効率が3倍以上、輝線撮像効率が2-3倍、さらに高周波数分解能(0.1-0.2 km/s)の観測帯域幅が4-68倍向上することが見込まれます。本セッションでは、アルマ望遠鏡の現状とWSUの概要および装置開発について紹介し、WSUによって拓かれる2030年代のミリ波・サブミリ波サイエンスの新展開についてコミュニティの皆様と共有し、議論します。

プログラム：1. ALMAの現状とWSUの概要

Alvaro Gonzalez (国立天文台・ALMA Project Manager)

2. WSUがもたらすミリ波・サブミリ波サイエンスの新展開

廿日出文洋 (東京大学)

3. WSUの装置開発

Alvaro Gonzalez (国立天文台・ALMA Project Manager)

4. アルマ科学諮問委員会からの報告

坂井南美 (理化学研究所・アルマ科学諮問委員会委員長)、佐川英夫 (京都産業大学・アルマ科学諮問委員会副委員長)

5. 全体討論・質疑応答

世 話 人：Alvaro Gonzalez、深川美里、伊王野大介、廿日出文洋

主 催：国立天文台アルマプロジェクト、アルマ科学諮問委員会

◎天文教育フォーラム：「天文学研究 / 教育におけるダイバーシティ推進」

日 時：2023年3月14日（火）17：00～18：30

場 所：K会場 / 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： 日本天文学会・天文学コミュニティでは、長きにわたり男女共同参画の取り組みを進めてきています。この中には、年会時の一時保育の実施や、節目節目でのアンケート調査とその公表、また「女子中高生夏の学校」への支援を通じての女子生徒への働きかけなどが含まれています。

しかし、このような取り組みは、「ここまでやれば十分である」という明確なゴールがあるわけではなく、常に更なる改善を目指すことが求められています。また、近年では多種多様なバックグラウンドを持つ関係者に対する配慮、すなわちダイバーシティ推進のため、目に見える障壁の排除だけでなく、意識レベルでの改革も求められています。

ダイバーシティ推進においては、進路選択にとって重要な年齢層の学生・生徒への教育面での取り組みが重要となる場面もあり、「女子中高生夏の学校」への参加はこの点から行っているものです。今回の教育フォーラムでは、このような取り組みを俯瞰し、それらをさらに充実させるために、広く意見交換できることを期待しています。

話題提供：(1)「日本天文学会における男女共同参画・ダイバーシティ」

野村英子氏 (国立天文台・男女共同参画委員長)

(2)「女子中高生夏の学校(夏学)における日本天文学会の貢献」

白田・佐藤功美子氏 (国立天文台)

実行委員：鴈野重之、松岡義一、富田晃彦、白田・佐藤功美子

主 催：公益社団法人日本天文学会 / 一般社団法人日本天文教育普及研究会

◎日本天文学会公開講演会

日 時：2023年3月12日(日) 13:30～16:00 (開場 13:00)

形 式：対面とオンラインを併用したハイブリッド形式

場 所：【対面】立教大学池袋キャンパス 太刀川記念館 3F 太刀川カンファレンスルーム

住所：東京都豊島区西池袋 3-34-1

【オンライン】Zoom/webinar

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

対 象：中学生以上・一般向け

テ ー マ：「ブラックホール物理と星・惑星科学 ―ブラックホールの観測と惑星探査―」

最近のノーベル物理学賞受賞研究をはじめとしてブラックホールに関する研究の話題が溢れています。日々進歩するブラックホールの研究を身近なものとして、また、ブラックホールに関連する日本の研究が世界をリードしていることを解説します。また、宇宙として最も身近な対象は惑星でしょう。特に、日本では、「はやぶさ2」をはじめとした惑星探査機が数々の成果を挙げ、多くの一般の方の大きな関心を掴みました。当会においては、二つの話題に関わる研究者が、その最先端の研究状況と日本の活躍を語ります。

講師・タイトル：下記をご参照ください。

参加費：無料(学会ホームページにて事前登録が必要です)

定 員：【対面】80名(事前登録制・先着順)、【オンライン】1,000名(事前登録制・先着順)

<講演内容の紹介>

講演1：「X線で見えるブラックホール」

講師：山田真也(立教大学理学部 准教授)

日本の人工衛星を用いたX線観測は約40年以上前から始まり、来年度、最新のX線観測衛星XRISMが打ち上がる予定です。XRISM衛星の主検出器である極低温X線カロリメータの開発担当者として、開発状況からブラックホールサイエンスの話まで、わかりやすく紹介します。

講演2：「はやぶさ2の小惑星旅行」

講師：亀田真吾(立教大学理学部 教授)

はやぶさ2は2020年12月に地球に小惑星のかけらを持ち帰りました。打ち上げは2014年12月であり、6年間の長い旅となりました。この計画の目的/内容について、観測装置の開発担当者としての実体験(裏話)も含めて、ご紹介させていただきます。

主 催：公益社団法人 日本天文学会

共 催：立教大学 理学部

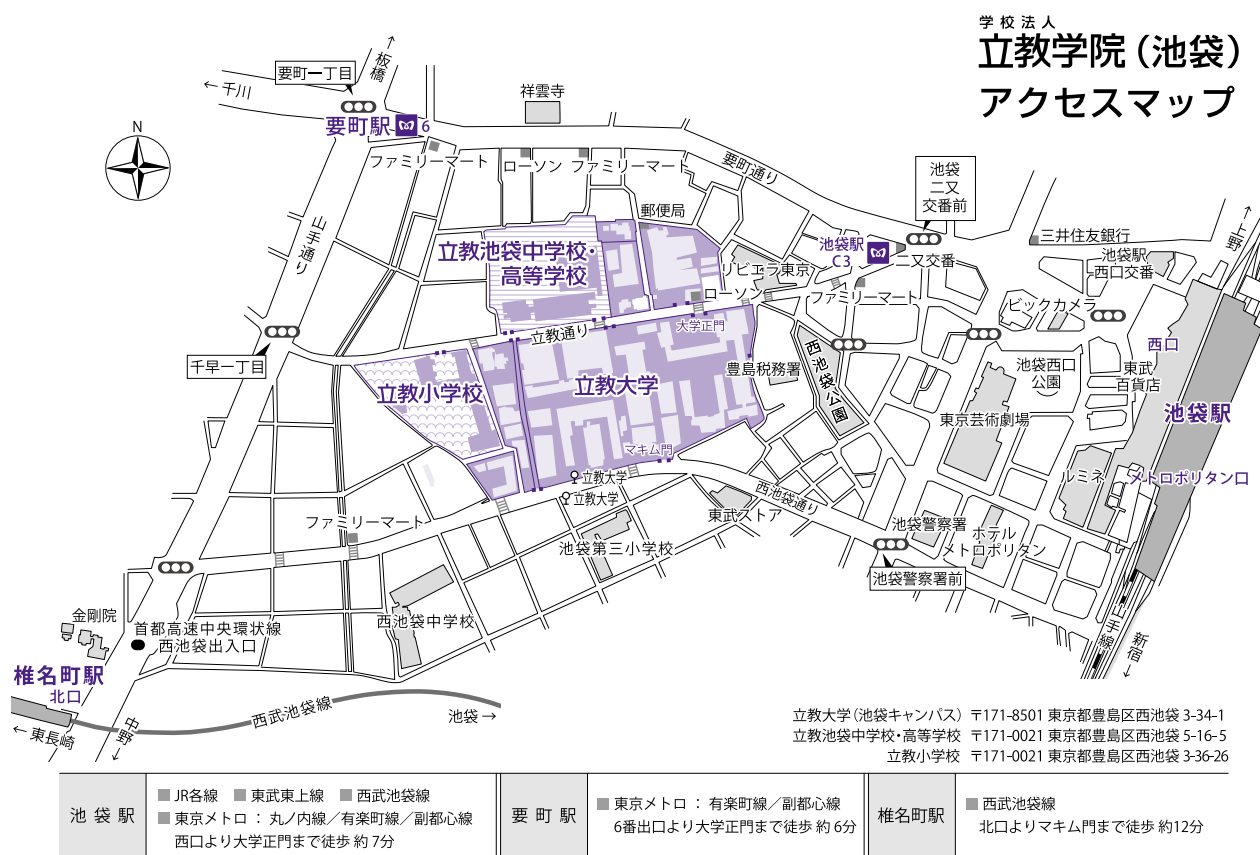
※参加申込方法、及び最新のプログラムにつきましては学会ホームページ(<https://www.asj.or.jp/>)をご覧ください。

交通のご案内

主な交通手段と所要時間

| | |
|-------------|---|
| JR 各線、東武東上線 | 池袋駅西口より大学正門まで徒歩約 7 分 |
| 地下鉄東京メトロ | 丸ノ内線 / 有楽町線 / 副都心線 池袋駅西口より大学正門まで徒歩約 7 分 有楽町線 / 副都心線 要町駅 6 番出口より大学正門まで徒歩約 6 分 |
| 西武鉄道池袋線 | 西武池袋線池袋駅西口より大学正門まで徒歩約 7 分 (改札から池袋駅西口まで、徒歩約 5 分) |

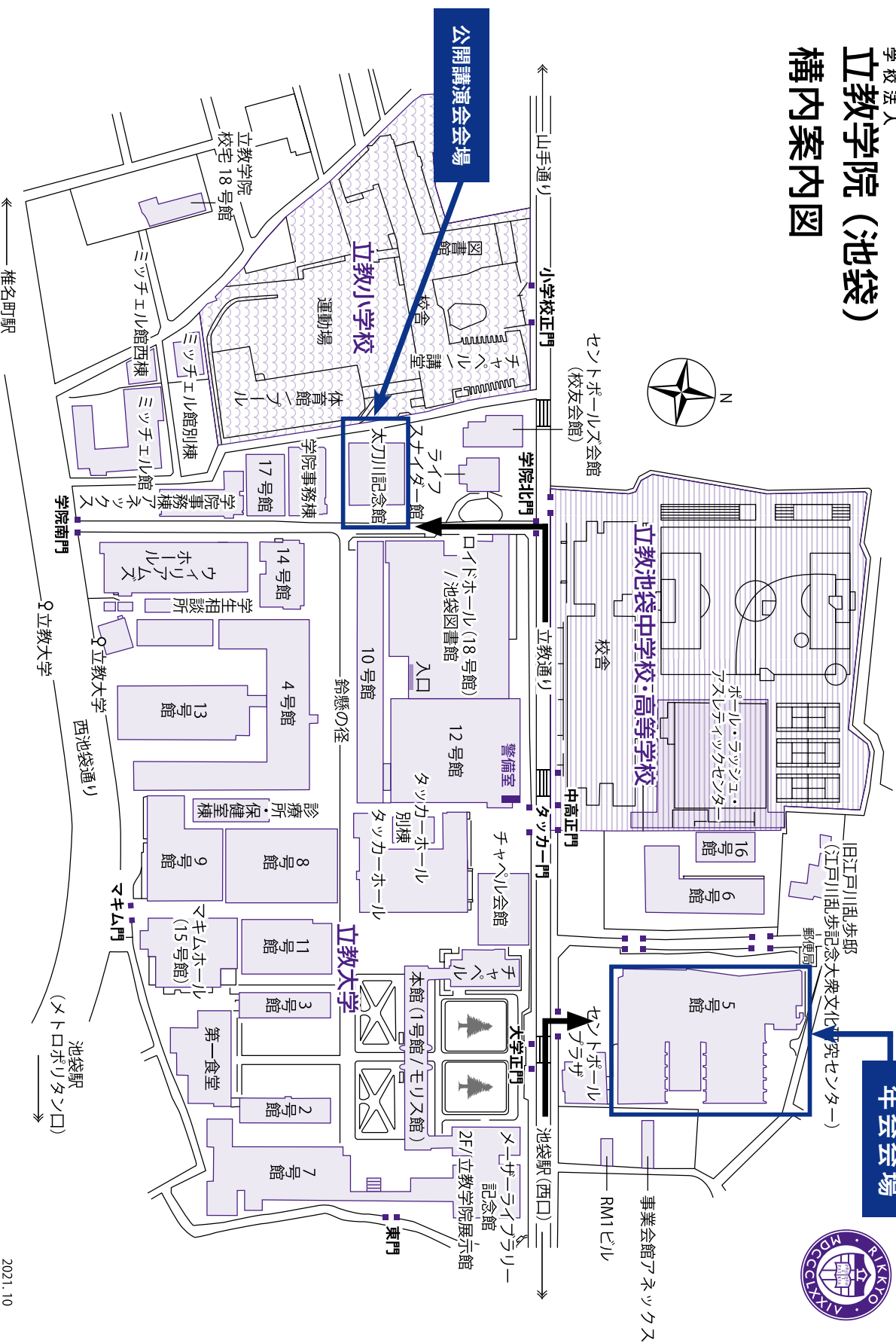
池袋駅から立教大学への地図



立教大学池袋キャンパスマップ

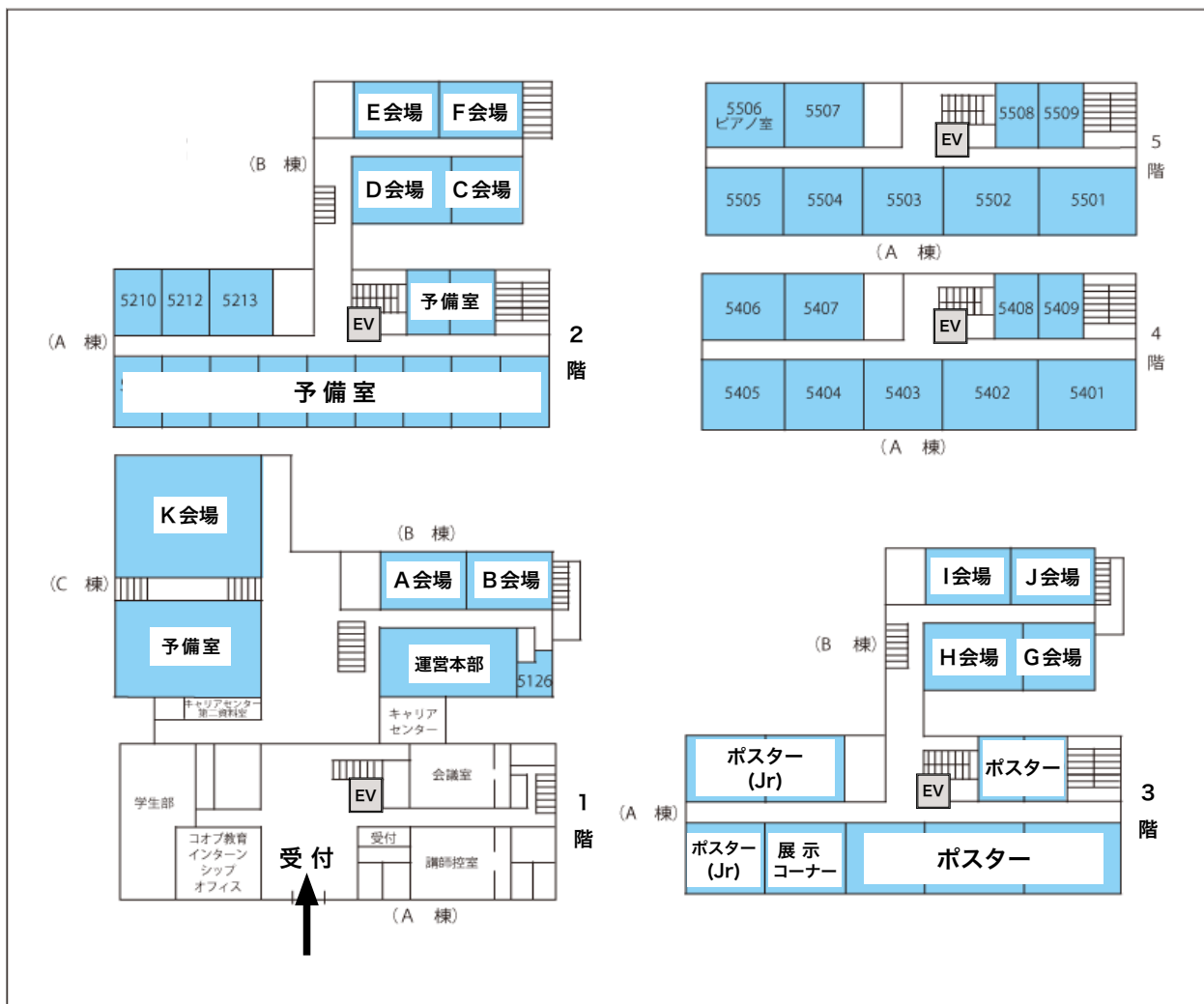
学校法人 立教学院 (池袋) 構内案内図

年会会場



セッション会場のご案内

場所：立教大学池袋キャンパス 5号館



受付 … 体温測定・QRコード確認・名札配布を行います。各会場に移動後、ご自身で名札に名前・所属を記入してください。

EV

… エレベーター（利用できますが、小さいためなるべく階段をご利用ください）

予備室 … 会場の定員を超過した場合にご利用いただけます。各自 PC で Zoom 参加をお願いいたします。空いている場合、ご自由にご利用ください。

座 長 一 覧 表

2023 年春季年会

| 日時 会場 | 3月13日(月) | 3月14日(火) | | 3月15日(水) | | 3月16日(木) |
|----------|--------------------------------------|----------------------------------|------------------------------------|----------------------------------|-----------------------------------|------------------------------|
| | 13:00 - 15:10 | 10:00 - 12:10 | 13:30 - 15:40 | 10:00 - 12:10 | 13:30 - 15:40 | 10:00 - 12:10 |
| A 会場 | P2. 原始惑星系円盤 高橋実道 (国立天文台/鹿児島大学) | P2. 原始惑星系円盤 武藤恭之 (工学院大学) | V3. 観測機器 小高裕和 (大阪大学) | V3. 観測機器 海老沢研 (宇宙航空研究開発機構) | V3. 観測機器 三石郁之 (名古屋大学) | V3. 観測機器 高橋弘充 (広島大学) |
| B 会場 | T. 銀河団 赤堀卓也 (国立天文台) | Y. 教育・広報・他 下井倉ともみ (大妻女子大学) | Y. 教育・広報・他 土橋一仁 (東京学芸大学) | P1. 星形成 伊藤洋一 (兵庫県立大学) | P1. 星形成 徳田一起 (九州大学) | P1. 星形成 古家健次 (国立天文台) |
| C 会場 | Z1. ALMA サーベイ 田中圭 (東京工業大学) | Z1. ALMA サーベイ 大橋永芳 (中央研究院) | Z1. ALMA サーベイ 坂井南美 (理化学研究所) | | | |
| D 会場 | W. コンパクト天体 玉川徹 (理化学研究所) | W. コンパクト天体 櫻山和巳 (東北大学) | W. コンパクト天体 野村真理子 (呉工業高等専門学校) | W. コンパクト天体 藤澤幸太郎 (東京大学) | W. コンパクト天体 土肥明 (理化学研究所) | W. コンパクト天体 川中宣太 (京都大学) |
| E 会場 | M. 太陽 飯田佑輔 (新潟大学) | M. 太陽 堀田英之 (千葉大学) | M. 太陽 横山央明 (京都大学) | M. 太陽 下条圭美 (国立天文台) | R. 銀河 原田ななせ (国立天文台) | R. 銀河 瀧崎智佳 (上越教育大学) |
| F 会場 | V2. 観測機器 松林和也 (東京大学) | V2. 観測機器 大屋真 (国立天文台) | V2. 観測機器 小西真広 (東京大学) | V2. 観測機器 谷津陽一 (東京工業大学) | V2. 観測機器 佐野圭 (九州工業大学) | |
| G 会場 | V1. 観測機器 宮本祐介 (福井工業大学) | V1. 観測機器 松尾宏 (国立天文台) | V1. 観測機器 久野成夫 (筑波大学) | U. 宇宙論 宮武広直 (名古屋大学) | U. 宇宙論 茅根裕司 (高エネルギー加速器研究機構) | U. 宇宙論 高橋龍一 (弘前大学) |
| H 会場 | X. 銀河形成・進化 泉拓磨 (国立天文台) | X. 銀河形成・進化 小野宜昭 (東京大学) | X. 銀河形成・進化 嶋川里澄 (国立天文台) | X. 銀河形成・進化 森正夫 (筑波大学) | X. 銀河形成・進化 本原颯太郎 (国立天文台) | X. 銀河形成・進化 石山智明 (千葉大学) |
| I 会場 | Q. 星間現象 信川正順 (奈良教育大学) | Q. 星間現象 大平豊 (東京大学) | Q. 星間現象 勝田哲 (埼玉大学) | Q. 星間現象 辻直美 (神奈川大学) | P3. 惑星系 藤井友香 (国立天文台) | P3. 惑星系 亀田真吾 (立教大学) |
| J 会場 | S. 活動銀河核 秋山正幸 (東北大学) | S. 活動銀河核 永井洋 (国立天文台) | S. 活動銀河核 秦和弘 (国立天文台) | N. 恒星・恒星進化 守屋亮 (国立天文台) | N. 恒星・恒星進化 青木和光 (国立天文台) | N. 恒星・恒星進化 野上大作 (京都大学) |

口頭セッション 3月13日(月)

| | 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 | 銀河団 | ALMA サーベイ | コンパクト 天体 | 太 陽 | 観測機器 (光赤・重) | 観測機器 (電波) | 銀河形成 | 星間現象 | 活動銀河核 |
| 13:00 | P201a | T01a | 趣旨説明 | W01a | M01a | V201a | V101a | X01a | Q01a | S01a |
| 13:12 | P202a | T02a | Z101r | W02a | M02a | V202a | V102a | X02a | Q02a | S02a |
| 13:24 | P203a | T03a | Z102a | W03a | M03a | V203a | V103a | X03a | Q03a | S03a |
| 13:36 | P204a | T04a | Z103a | W04a | M04a | V204a | V104a | X04a | Q04a | S04a |
| 13:48 | P205a | T05a | Z104a | W05a | M05a | V205a | V105a | X05a | Q05a | S05a |
| 14:00 | P206a | T06a | Z105a | W06a | M06a | V206a | V106a | X06a | Q06a | S06a |
| 14:12 | P207a | T07a | Z106a | W07a | M07a | V207a | V107a | X07a | Q07a | S07a |
| 14:24 | P208a | T08b | Z107a | W08a | M08a | V208a | V108a | X08a | Q08a | S08a |
| 14:36 | P209b P210b | - | Z108r | W09a | M09a | V209a | V109b V110b V111b | X09b X10b X11b | Q09a | S09b S10b S11b |
| 14:48 | - | - | | W10a | M10b M11b | V210a | V112b V113b V114b | X12b X13b X14b | Q10a | S12b |
| 15:00 | - | - | - | W11b | - | - | - | X15b | - | - |
| 15:30 | ポスター | | | | | | | | | |
| 17:00 | 特別セッション ALMA2030: Wideband Sensitivity Upgrade | | | | | | | | | |

口頭セッション 3月14日(火)

| | A会場 | B会場 | C会場 | D会場 | E会場 | F会場 | G会場 | H会場 | I会場 | J会場 |
|-------|-------------------------|----------------------|--------------|----------------------|------|-------------------------|-------------------------|------|--------------|----------------------|
| 開始時刻 | 原始惑星系 円盤 | 教育・他 | ALMA サーベイ | コンパクト 天体 | 太 陽 | 観測機器 (光赤・重) | 観測機器 (電波) | 銀河形成 | 星間現象 | 活動銀河核 |
| 10:00 | P211a | Y01a | Z109r | W12a | M13a | V211a | V115a | X16a | Q11a | S13a |
| 10:12 | P212a | Y02a | | W13a | M14a | V212a | V116a | X17a | Q12a | S14a |
| 10:24 | P213a | Y03a | Z110a | W14a | M15a | V213a | V117a | X18a | Q13a | S15a |
| 10:36 | P214a | Y04a | Z111a | W15a | M16a | V214a | V118a | X19a | Q14a | S16a |
| 10:48 | P215a | Y05a | Z112a | W16a | M17a | V215a | V119a | X20a | Q15a | S17a |
| 11:00 | P216a | Y06b Y07b Y08b | Z113a | W17a | M18a | V216a | V120a | X21a | Q16a | S18a |
| 11:12 | P217a | Y09b Y10b Y11b | Z114a | W18a | M19a | V217b V218b V219b | V121a | X22a | Q17a | S19a |
| 11:24 | P218b P219b | Y12b Y13b Y14b | Z115a | W19b W20b W21b | M20a | V220b V221b V222b | V122a | X23a | Q18a | S20a |
| 11:36 | - | Y15b Y16b | Z116a | W22b | M21a | - | V123b V124b V125b | X24a | Q19a | S21a |
| 11:48 | - | - | Z117a | - | M22a | - | V126b V127b | X25a | Q20a | S22b S23b S24b |
| 12:10 | 昼休み(代議員総会) | | | | | | | | | |
| 開始時刻 | 観測機器 (X線・γ線) | 教育・他 | ALMA サーベイ | コンパクト 天体 | 太 陽 | 観測機器 (光赤・重) | 観測機器 (電波) | 銀河形成 | 星間現象 | 活動銀河核 |
| 13:30 | V301a | Y18a | Z118r | W23a | M23a | V225a | V129a | X26a | Q21a | S25a |
| 13:42 | V302a | Y19a | | W24a | M24a | V226a | V130a | X27a | Q22a | S26a |
| 13:54 | V303a | Y20a | Z119r | W25a | M25a | V227a | V131a | X28a | Q23a | S27a |
| 14:06 | V304a | Y21a | Z120a | W26a | M26a | V228a | V132a | X29a | Q24a | S28a |
| 14:18 | V305a | Y22a | Z121a | W27a | M27a | V229a | V133a | X30a | Q25a | S29a |
| 14:30 | V306a | Y23a | Z122a | W28a | M28a | V230a | V134a | X31a | Q26a | S30a |
| 14:42 | V307a | Y24a | Z123a | W29a | M29a | V231a | V135a | X32a | Q27a | S31a |
| 14:54 | V308b V309b V310b | Y25a | Z124a | W30a | M30a | V232a | V136a | X33a | Q28a | S32a |
| 15:06 | V311b | Y26a | Z125a | W31b W32b W33b | M31a | V233a | V137a | X34a | Q29a | S33b |
| 15:18 | - | - | Z126b | - | M32a | - | V138a | X35a | Q30b Q31b | - |
| 16:00 | ポスター | | | | | | | | | |
| 17:00 | 天文教育フォーラム | | | | | | | | | |

口頭セッション 3月15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 | 観測機器 (X線・γ線) | 星形成 | | コンパクト 天体 | 太 陽 | 観測機器 (光赤・重) | 宇宙論 | 銀河形成 | 星間現象 | 恒星進化 |
| 10:00 | V314a | P101a | | W34a | M33a | V234a | U01a | X36a | Q32a | N01a |
| 10:12 | V315a | P102a | | W35a | M34a | V235a | U02a | X37a | Q33a | N02a |
| 10:24 | V316a | P103a | | W36a | M35a | V236a | U03a | X38a | Q34a | N03a |
| 10:36 | V317a | P104a | | W37a | M36a | V237a | U04a | X39a | Q35a | N04a |
| 10:48 | V318a | P105a | | W38a | M37a | V238a | U05a | X40a | Q36a | N05a |
| 11:00 | V319a | P106a | | W39a | M38a | V239a | U06a | X41a | Q37a | N06a |
| 11:12 | V320a | P107a | | W40a | M39a | V240a | - | X42a | Q38a | N07a |
| 11:24 | V321a | P108a | | W41a | M40a | V241a | - | X43a | Q39a | N08a |
| 11:36 | V322a | P109a | | W42a | M41a | V242a | - | X44a | Q40a | N09a |
| 11:48 | - | P110b | | W43a | M42a | V243a | - | X45a | - | N10b N11b N12b |
| 12:00 | - | - | | W44b | - | V244a | - | - | - | - |
| 12:10 | 昼休み | | | | | | | | | |
| 開始時刻 | 観測機器 (X線・γ線) | 星形成 | | コンパクト 天体 | 銀 河 | 観測機器 (光赤・重) | 宇宙論 | 銀河形成 | 惑星系 | 恒星進化 |
| 13:30 | V323a | P111a | | W45a | R01a | V245a | U08a | X46a | P301a | N17a |
| 13:42 | V324a | P112a | | W46a | R02a | V246a | U09a | X47a | P302a | N18a |
| 13:54 | V325a | P113a | | W47a | R03a | V247a | U10a | X48a | P303a | N19a |
| 14:06 | V326a | P114a | | W48a | R04a | V248a | U11a | X49a | P304a | N20a |
| 14:18 | V327a | P115a | | W49a | R05a | V249a | U12a | X50a | P305a | N21a |
| 14:30 | V328a | P116a | | W50a | R06a | V250a | U13a | X51a | P306a | N22a |
| 14:42 | V329a | P117a | | W51a | R07a | V251a | U14a | X52a | P307a | N23a |
| 14:54 | V330a | P118a | | W52a | R08a | V252b V253b V254b | U15a | X53a | P308a | N24a |
| 15:06 | V331a | P119a | | W53a | R09b | - | U16b | X54a | P309a | N25a |
| 15:18 | - | P120a | | W54a | - | - | - | - | P310a | N26a |
| 15:30 | - | P121a | | - | - | - | - | - | - | N27a |
| 16:00 | 会員全体集会 | | | | | | | | | |
| 17:30 | 受賞記念講演 | | | | | | | | | |

口頭セッション 3月16日(木)

| | A会場 | B会場 | C会場 | D会場 | E会場 | F会場 | G会場 | H会場 | I会場 | J会場 |
|-------|-----------------|-------------------------|-----|-------------|------|-----|------|------|-------------------------|------|
| 開始時刻 | 観測機器 (X線・γ線) | 星形成 | | コンパクト 天体 | 銀河 | | 宇宙論 | 銀河形成 | 惑星系 | 恒星進化 |
| 10:00 | V332a | P122a | | W55a | R10a | | U17a | X55a | P311a | N28a |
| 10:12 | V333a | P123a | | W56a | R11a | | U18a | X56a | P312a | N29a |
| 10:24 | V334a | P124a | | W57a | R12a | | U19a | X57a | P313a | N30a |
| 10:36 | V335a | P125a | | W58a | R13a | | U20a | X58a | P314a | N31a |
| 10:48 | V336a | P126a | | W59a | R14a | | U21a | X59a | P315a | N32a |
| 11:00 | V337a | P127a | | W60a | R15a | | U22a | X60a | P316a | N33a |
| 11:12 | V338a | P128a | | W61a | R16a | | U23a | X61a | P317a | N34a |
| 11:24 | - | P129a | | W62a | R17a | | U24a | X62a | P318a | N35a |
| 11:36 | - | P130a | | W63a | R18b | | U25a | X63a | P319a | N36a |
| 11:48 | - | P131b P132b P133b | | W64a | - | | U26b | - | P320b P321b P322b | N37a |
| 12:00 | - | P134b P135b | | - | - | | - | - | - | - |
| 12:10 | 昼休み | | | | | | | | | |
| 13:30 | ポスター | | | | | | | | | |

※各セッション(午前/午後)の最後に質疑応答(10分)があります。

ポスターセッション 3月13日(月)、3月14日(火)、3月16日(木)

| | |
|---|--|
| <p>【Z1. ALMA サーベイ】(1)</p> <p>Z126b</p> | <p>【U. 宇宙論】(3)</p> <p>U07c U16b U26b</p> |
| <p>【M. 太陽】(3)</p> <p>M10b M11b M12c</p> | <p>【V1. 観測機器(電波)】(12)</p> <p>V109b V110b V111b V112b V113b</p> <p>V114b V123b V124b V125b V126b</p> <p>V127b V128c</p> |
| <p>【N. 恒星・恒星進化】(7)</p> <p>N10b N11b N12b N13c N14c</p> <p>N15c N16c</p> | <p>【V2. 観測機器(光赤外・重力波・その他)】(11)</p> <p>V217b V218b V219b V220b V221b</p> <p>V222b V223c V224c V252b V253b</p> <p>V254b</p> |
| <p>【P1. 星・惑星形成(星形成)】(7)</p> <p>P110b P131b P132b P133b P134b</p> <p>P135b P136c</p> | <p>【V3. 観測機器(X線・γ線)】(6)</p> <p>V308b V309b V310b V311b V312c</p> <p>V313c</p> |
| <p>【P2. 星・惑星形成(原始惑星系円盤)】(4)</p> <p>P209b P210b P218b P219b</p> | <p>【W. コンパクト天体】(9)</p> <p>W11b W19b W20b W21b W22b</p> <p>W31b W32b W33b W44b</p> |
| <p>【P3. 星・惑星形成(惑星系)】(4)</p> <p>P320b P321b P322b P323c</p> | <p>【X. 銀河形成・進化】(7)</p> <p>X09b X10b X11b X12b X13b</p> <p>X14b X15b</p> |
| <p>【Q. 星間現象】(2)</p> <p>Q30b Q31b</p> | <p>【Y. 天文教育・広報普及・その他】(13)</p> <p>Y06b Y07b Y08b Y09b Y10b</p> <p>Y11b Y12b Y13b Y14b Y15b</p> <p>Y16b Y17c Y27c</p> |
| <p>【R. 銀河】(3)</p> <p>R09b R18b R19c</p> | |
| <p>【S. 活動銀河核】(8)</p> <p>S09b S10b S11b S12b S22b</p> <p>S23b S24b S33b</p> | |
| <p>【T. 銀河団】(1)</p> <p>T08b</p> | |

Z1. ALMAサーベイ観測による星・円盤・惑星系形成研究の進展

| 3月13日(月) 午後・C会場 | | 3月14日(火) 午前・C会場 | |
|-----------------|---|-----------------|--|
| 13:00 | 趣旨説明 | 10:00 | Z109r FAUST: Fifty AU Study of the chemistry in the disk/envelope system of Solar-like protostars 大屋瑤子(京都大学) |
| 13:02 | Z101r Early Planet Formation in Embedded Disks (eDisk): overview and first results Ohashi, Nagayoshi (ASIAA) | 10:20 | Z110a FAUST: 非常に若い低質量原始星 IRAS 15398-3359 の物理・化学構造 大小田結貴(理化学研究所) |
| 13:22 | Z102a eDisk により得られた原始星円盤の観測の輻射輸送モデル 高桑繁久(鹿児島大学) | 10:32 | Z111a Probing the Flared Disk of IRAS04368+2557 with Sulfur-bearing Molecules (FAUST) Zhang, Ziwei E. (RIKEN) |
| 13:34 | Z103a eDisk IRAS16253-2429 観測を例にした原始星系の構造・力学解析 麻生有佑(国立天文台/韓国天文研究院) | 10:44 | Z112a Class 0/1 小質量原始星 R CrA IRS7B における 50 au スケールの化学組成分布 渡邊祥正(芝浦工業大学) |
| 13:46 | Z104a eDisk First-look Result: 原始星 Ced110 IRS4A 周囲の円盤におけるサブストラクチャー形成の可能性 崔仁士(ASIAA) | 10:56 | Z113a Multiple star formation in the VLA 1623-2417 region revealed by FAUST 大橋聡史(理化学研究所) |
| 13:58 | Z105a Class 0 原始星 CB 68 の降着ストリーマーと化学構造 城戸未宇(鹿児島大学) | 11:08 | Z114a Class 0 原始星連星系 VLA1623A1/A2/B システムの固有運動の解析 西合一矢(鹿児島大学) |
| 14:10 | Z106a ALMA アーカイブデータを用いた太陽系近傍星形成領域における原始星アウトフローの統計的研究(6): アウトフローの性質と原始星円盤との関係 徳田一起(九州大学/国立天文台) | 11:20 | Z115a PErseus ALMA CHEmical Survey (PEACHES) 坂井南美(理化学研究所) |
| 14:22 | Z107a ALMA アーカイブデータを用いた太陽系近傍星形成領域における原始星アウトフローの統計的研究(7): 原始星 WL17 は本当に若いのか? 原田直人(九州大学) | 11:32 | Z116a MAGellanic Outflow and chemistry Survey (MAGOS) II: 大小マゼラン雲原始星アウトフローの物理特性 田中圭(University of Colorado Boulder) |
| 14:34 | Z108r eDisk サーベイで得られた若い原始惑星系円盤の性質の理論的解釈 富田賢吾(東北大学) | 11:44 | Z117a MAGellanic Outflow and chemistry Survey (MAGOS) III: 大小マゼラン雲のホットコアサーベイ 下西隆(新潟大学) |
| 14:54 | 質疑応答(10分) | 11:56 | 質疑応答(10分) |

M. 太陽

| 3月14日(火) 午後・C会場 | | 3月13日(月) 午後・E会場 | |
|-----------------|---|-----------------|---|
| 13:30 | Z118r 原始惑星系円盤の化学：MAPSプロジェクトの成果 古家健次(国立天文台) | 13:00 | M01a 磁気リコネクションに伴う粒子加速の理解を目指す衛星計画 PhoENiX の進捗報告(2023年春) 成影典之(国立天文台) |
| 13:50 | Z119r 低質量星形成過程における分子組成進化 相川祐理(東京大学) | 13:12 | M02a ニオブ酸リチウムエタロンを用いた太陽近赤外狭帯域チューナブルフィルターの開発 末松芳法(国立天文台) |
| 14:10 | Z120a FAUST: 低質量 Class 0 原始星天体 NGC 1333 IRAS 4C 円盤の化学層状構造 野津翔太(理化学研究所) | 13:24 | M03a 暗い太陽のパラドックスに対する「重い太陽仮説」の妥当性検証 佐藤匡(千葉大学) |
| 14:22 | Z121a FU Ori 型星 V883 Ori 周りの円盤における複雑有機分子の観測 大和義英(東京大学) | 13:36 | M04a 太陽が作る 1/f 揺らぎ 中道晶香(京都産業大学) |
| 14:34 | Z122a スパースモデリングを用いた星・惑星系形成領域の ALMA 超解像度画像解析 所司歩夢(九州大学) | 13:48 | M05a Probing the solar interior with lensed gravitational waves from known pulsars 高橋 龍一(弘前大学) |
| 14:46 | Z123a 低質量天体 ZZ Tau IRS の非対称円盤における粒子成長 寺田由佳(国立台湾大学/ASIAA) | 14:00 | M06a 赤道加速を達成した超高解像度計算の角運動量輸送のスケール解析 森敬都(千葉大学) |
| 14:58 | Z124a 遷移円盤最内域に滞留するコンパクトダスト円盤の検出と今後の観測計画 折原龍太(茨城大学) | 14:12 | M07a 輻射磁気流体計算を用いた音波の二点間伝播時間測定への観測ケーデンスの影響評価 八田良樹(名古屋大学) |
| 15:10 | Z125a ALMAアーカイブ悉皆解析によるタイタン大気中同位体比の大規模分光サーベイ 飯野孝浩(東京大学) | 14:24 | M08a 表面磁束輸送モデルを用いた太陽極小期の検証 梶山侑里名(東京大学) |
| 15:22 | Z126b 原始惑星系円盤におけるダスト駆動不安定性の観測的検証に向けたモデル化 富永遼佑(理化学研究所) | 14:36 | M09a 惑星間空間磁場の太陽周期にわたる変動を起こす太陽磁場成分 吉田南(東京大学) |
| 15:26 | 質疑応答(10分) | 14:48 | M10b 太陽圏サイエンスセンターの設立と活動 増田智(名古屋大学) |
| | | 14:48 | M11b H α 線と CaIIK を用いた Ellerman Bomb の高度詳細解析 市川椋大(茨城大学) |
| | | | M12c 可視光測光・分光自動追観測システム PHAST による巨大恒星フレア観測(1) 甲原潤也(中央大学) |
| | | 15:00 | 質疑応答(10分) |

| 3月14日(火) 午前・E会場 | | 3月14日(火) 午後・E会場 | |
|-----------------|---|-----------------|---|
| 10:00 | M13a Imaging Spectroscopy Diagnostics of the Cool flare Loops on 2017 September 10 Cabezas, Denis Pavel (Kyoto University) | 13:30 | M23a MILOS と MERLIN インバージョンで導出された太陽極域磁場の比較 久保雅仁(国立天文台) |
| 10:12 | M14a 活動領域フレアにおける、フラックスロープの三次元不安定性の解析 木田祐希(京都大学) | 13:42 | M24a 対流層の底から光球までの浮上磁場シミュレーション: 黒点对の非対称性生成の要因について 堀田英之(千葉大学) |
| 10:24 | M15a 野辺山電波ヘリオグラフを用いたフレアに伴う電子の加速・伝搬過程 II 松本圭太郎(名古屋大学) | 13:54 | M25a ねじれの無い磁束管の浮上に伴う有限の磁気ヘリシティ注入 鳥海森(宇宙航空研究開発機構) |
| 10:36 | M16a GAIA と F_X を用いたデリンジャー現象の規模推定 北島慎之典(防衛大学校) | 14:06 | M26a 深層学習による太陽高解像度画像の復元: 様々な観測条件における検証 福満翔(東京大学/国立天文台) |
| 10:48 | M17a “Time-of-Flight” 解析による太陽フレア粒子加速領域の時間変化の推定 矢倉昌也(名古屋大学) | 14:18 | M27a A compression method for solar spectro-polarimetry data accumulated by Hinode SOT/SP Batmunkh, Jargalmaa (Niigata University) |
| 11:00 | M18a 飛騨天文台 SMART/SDDI および SDO/EVE を用いた 2022 年 10 月 2 日 M8.7 フレアの多波長分光 Sun-as-a-star 解析 大津天斗(京都大学) | 14:30 | M28a 超大型太陽望遠鏡 DKIST で観測された太陽静穏領域の対流運動と磁場構造 石川遼太郎(国立天文台) |
| 11:12 | M19a Multi-wavelength observations of prominence eruptions on a young solar-type star 行方宏介(国立天文台) | 14:42 | M29a ケーデンス 2 秒以下での高速 2 次元分光による活動領域の時間・空間変動の検出 當村一朗(大阪公立大学工業高等専門学校) |
| 11:24 | M20a 太陽長期変動におけるマイクロ波放射と各種太陽指標の関係 一太陽型・晩期型星からの熱的マイクロ波放射の解釈に向けて一 下条圭美(国立天文台) | 14:54 | M30a 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) |
| 11:36 | M21a 史上最大の恒星フレアの NICER とせいめい望遠鏡による X 線・ $H\alpha$ 線観測 井上峻(京都大学) | 15:06 | M31a 近赤外多波長偏光分光観測の診断能力検証: 光球・彩層磁気リコネクション 川畑佑典(国立天文台) |
| 11:48 | M22a IPS 観測データと BepiColombo 衛星観測データを統合した CME の MHD シミュレーション 岩井一正(名古屋大学) | 15:18 | M32a 赤外 Stokes vector の時系列データから彩層ジェットの起源を探るには 松本琢磨 (ISEE) |
| 12:00 | 質疑応答 (10 分) | 15:30 | 質疑応答 (10 分) |

N. 恒星・恒星進化

| 3月15日(水) 午前・E会場 | | 3月15日(水) 午前・J会場 | |
|-----------------|--|-----------------|--|
| 10:00 | M33a 飛騨天文台 DST 偏光分光観測装置を用いた He I 10830 Å によるプロミネンスの磁場観測 橋本裕希(京都大学) | 10:00 | N01a アクシオン不安定型超新星の観測的特徴 森寛治(福岡大学) |
| 10:12 | M34a HeI 10830Å 線の偏光分光観測によるプロミネンス内波動の診断 一本潔(京都大学) | 10:12 | N02a 電子捕獲型超新星と鉄コア崩壊型超新星の多色光度曲線 佐藤大仁(総合研究大学院大学) |
| 10:24 | M35a 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 山崎大輝(京都大学) | 10:24 | N03a $^{12}\text{C}(\alpha, \gamma)^{16}\text{O}$ 反応率不定性が対不安定型超新星の元素合成に与える影響 川下大響(東京大学) |
| 10:36 | M36a IRIS の分光観測によるコロナホール底部へ伝播する波動の研究 内藤由浩(総合研究大学院大学) | 10:36 | N04a 重力崩壊型超新星爆発における ^{56}Ni 元素合成の詳細な描像と、 ^{56}Ni 問題について 澤田涼(東京大学) |
| 10:48 | M37a 深層学習による動画予測手法を用いた SDO 紫外線画像の全球時系列予測 佐々木明良(新潟大学) | 10:48 | N05a II _n 型超新星の水素ライン形状と爆発前質量放出機構の関係 石井彩子(山形大学) |
| 11:00 | M38a 機械学習を用いた太陽電波放射からの EUV 放射スペクトルの予測 前田護(防衛大学校) | 11:00 | N06a Ia 型超新星におけるヘリウム表層デネーションのセル構造に関する 2 次元シミュレーション 岩田和也(京都大学) |
| 11:12 | M39a 輝線強度比を用いたコロナループの加熱分布測定による加熱機構の調査 石神瞬(総合研究大学院大学) | 11:12 | N07a 爆発的質量放出による II 型超新星の前兆現象 津名大地(東京大学/カリフォルニア工科大学) |
| 11:24 | M40a Solar p-mode as an additional energy source for coronal heating 国吉秀鷹(東京大学) | 11:24 | N08a 種族合成計算で探る連星相互作用による星周物質との相互作用で強く光る超新星爆発の性質 黄天鋭(東京大学) |
| 11:36 | M41a 太陽コロナにおける放射凝縮現象の初期段階についての1.5次元MHDシミュレーション 吉久健朗(京都大学) | 11:36 | N09a 水素外層を失った大質量星からの大規模な質量放出とその後の超新星 武井勇樹(東京大学/理化学研究所) |
| 11:48 | M42a 黒点磁場をささえる電流の起源 柴崎清登(太陽物理学研究所) | 11:48 | N10b 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) |
| 12:00 | 質疑応答(10分) | 11:48 | N11b 複数の親星におけるアクシオンを考慮した重力崩壊型超新星爆発の比較 高田剣(福岡大学) |
| | | 11:48 | N12b RS CVn 型近接連星 σ^2 Coronae Borealis のX線フレアからの中性鉄 K α 輝線の検出 内山秀樹(静岡大学) |

| | | | | |
|-------|------|---|----------------------|---|
| 12:00 | N13c | 銀河面からの軟 X 線背景放射 (10) 安福千貴 (名古屋大学) | 3 月 15 日 (水) 午後・J 会場 | |
| | N14c | 共生星 MWC560 の活動期の分光観測 安藤和子 (岡山理科大学) | | 13:30 N17a 非対称な超新星残骸 W49B におけるチタン欠乏 佐藤寿紀 (立教大学) |
| | N15c | 原始中性子星外層の後期熱的進化に関する解析 Liao Jinkun (東京理科大学) | | 13:42 N18a 星周物質の X 線精密分光解析による超新星残骸 RCW 103 の親星推定 成田拓仁 (京都大学) |
| | N16c | 磁場を考慮した3次元超新星モデルからの重力波 中村航 (福岡大学) | | 13:54 N19a 超新星残骸 G0.61+0.01 におけるジェット状爆発の観測的証拠の発見 田中優貴子 (京都大学) |
| | | 質疑応答 (10 分) | | 14:06 N20a 大質量星の晩期の大規模な質量放出現象と炭素殻フラッシュ 長谷川智也 (東京大学) |
| | | | | 14:18 N21a 突発的質量放出天体 WISE J180956.27-330500.2 のダストシェル構造 (2) 山村一誠 (宇宙航空研究開発機構) |
| | | | | 14:30 N22a 恒星・変光星の系統的長期光度変化 - 1/f 揺らぎの簡単なモデル - 森川雅博 (お茶の水女子大学) |
| | | | | 14:42 N23a 金属欠乏星における i-process 中性子捕獲の特性 (2) 山田志真子 (北海道大学) |
| | | | | 14:54 N24a 光度曲線の数値微分を利用した接触食連星の質量比の推定 高妻真次郎 (中京大学) |
| | | | | 15:06 N25a The brightness increase of the Be stars viewed in the infrared Jian, Mingjie (Stockholm University) |
| | | | | 15:18 N26a 可視低分散分光によるベテルギウスの TiO 分子帯吸収から求めた有効温度の変化 大島修 (岡山理科大学) |
| | | | | 15:30 N27a 1999年以降のベテルギウスのUBVRI 測光 大金要次郎 (ひかり天体観測所) |
| | | | | 15:42 質疑応答 (10 分) |

P1. 星・惑星形成(星形成)

| 3月16日(木) 午前・J会場 | | 3月15日(水) 午前・B会場 | |
|-----------------|---|-----------------|--|
| 10:00 | N28a α Booの彩層と星風 保田悠紀(北海道大学) | 10:00 | P101a streaming velocityによる初代星星団の形成 平野信吾(東京大学) |
| 10:12 | N29a A new grid of (magnetic) massive star evolutionary models Keszthelyi, Zsolt (CfCA/DoS/NAOJ) | 10:12 | P102a 宇宙初期の超大質量星形成における原始星構造について 木村和貴(京都大学) |
| 10:24 | N30a 磁気回転星進化理論の構築 2. ねじれアルフベン波による自転加速現象の再現 高橋亘(東北大学) | 10:24 | P103a 近接初代星原始星連星の合体条件 桐原崇亘(筑波大学) |
| 10:36 | N31a 前主系列星の可視光高分散分光観測 山下真依(兵庫県立大学) | 10:36 | P104a 種族 III 原始星星周円盤分裂と状態方程式の硬さについて 須佐元(甲南大学) |
| 10:48 | N32a すばる/IRDの近赤外スペクトルを用いた中期・晩期M型星の磁場強度変動調査 花見卓也(東京工業大学) | 10:48 | P105a 初代星形成における円盤分裂に対する乱流磁場の影響 定成健児エリック(東北大学) |
| 11:00 | N33a M型星フレアの彩層線輝線輪郭の青方偏移現象 III: M型星のコロナ質量放出 野津湧太(コロラド大学/東京工業大学) | 11:00 | P106a GL 490における分子雲衝突に誘発された星形成 山田麟(名古屋大学) |
| 11:12 | N34a 多色測光観測による若いM型星 K2-25の磁気活動とその惑星トランジット観測への影響調査 森万由子(東京大学) | 11:12 | P107a フィラメント状分子雲における分子雲コア角運動量の進化に対する磁場の影響 三杉佳明(鹿児島大学) |
| 11:24 | N35a スパースモデリングによる恒星表面マッピング 幾田佳(東京大学) | 11:24 | P108a 野辺山45m鏡7BEE受信機によるオリオン座分子雲の観測(1) 立松健一(国立天文台) |
| 11:36 | N36a 太陽型恒星コロナ放射の系統的X線分光解析と年齢依存性 伊藤駿(名古屋大学) | 11:36 | P109a 大質量フィラメントの幅の維持機構 安部大晟(名古屋大学) |
| 11:48 | N37a 自動微分可能なスペクトルモデルによるM型矮星の大気リトリーバル 石川裕之(アストロバイオロジーセンター/国立天文台) | 11:48 | P110b 隣接したMHD slow mode shockの安定性 安部大晟(名古屋大学) |
| 12:00 | 質疑応答(10分) | 12:00 | 質疑応答(10分) |

| 3月15日(水) 午後・B会場 | | 3月16日(木) 午前・B会場 | |
|-----------------|---|-----------------|---|
| 13:30 | P111a Core evolution in 70 μm -dark High-mass Clumps 森井嘉穂(東京大学) | 10:00 | P122a 低金属量銀河小マゼラン雲における大質量原始星のALMA観測(2): 原始星に付随するフィラメント状分子雲の性質 國年悠里(大阪公立大学) |
| 13:42 | P112a BISTRO Project Status (13) 古屋玲(徳島大学) | 10:12 | P123a 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 柘植紀節(Friedrich Alexander University) |
| 13:54 | P113a 星団形成領域 Corona Australis 分子雲内部のフィラメント状構造 深谷直史(名古屋大学) | 10:24 | P124a Survey of NH_2CHO , HNCO , HH_2CO , and CH_3CN toward high-mass protostars by the DIHCA Project 谷口琴美(国立天文台) |
| 14:06 | P114a 近傍の星団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) | 10:36 | P125a 大質量星形成領域 G24.33+0.14におけるミリ波メタノール輝線の増光 廣田朋也(国立天文台) |
| 14:18 | P115a 星形成過程において高密度コアの衝突は極めて重要な過程である 中村文隆(国立天文台) | 10:48 | P126a ALMAによる原始星 HH270mms1 から駆動するアウトフロー・ジェットの観測 大村充輝(九州大学) |
| 14:30 | P116a 高密度コアの衝突により誘発されるストリーマ構造の形成 矢野雄大(東京大学) | 11:00 | P127a 前主系列星の長期モニタリング(III) 星近傍のジェット構造の長期時間変動 高見道弘(台湾中央研究院) |
| 14:42 | P117a MHD シミュレーションで探る分子雲コアの角運動量と磁場構造 木下真一(東京大学) | 11:12 | P128a 前主系列星のスピンダウン問題に対する解決策の提案 高棹真介(大阪大学) |
| 14:54 | P118a 分子雲コアの周辺環境が原始星への質量降着率やアウトフローに及ぼす影響 野崎信吾(九州大学) | 11:24 | P129a Gaia DR3を用いた Monoceros OB1 領域の若い星の解析 西亮一(新潟大学) |
| 15:06 | P119a Insights on the Sun birth environment in the context of star-cluster formation in hub-filament systems Arzoumanian, Doris (NAOJ) | 11:36 | P130a Gaia DR3を用いた Cep OB3 association の解析 樋山舜崇(新潟大学) |
| 15:18 | P120a 初代銀河における星団形成シミュレーション: 初期星質量関数 福島肇(筑波大学) | 11:48 | P131b ALMAを用いた大質量星形成領域に対する化学組成のサーベイ観測 塩村信人(電気通信大学) |
| 15:30 | P121a Young Massive Cluster 形成時の観測的特徴: 連続光 spectrum と高密度 HII 領域 細川隆史(京都大学) | 11:48 | P132b 正二十面体による HII 領域推定の拡張 王蘊玉(神戸大学) |
| 15:42 | 質疑応答(10分) | 11:48 | P133b 低金属量銀河小マゼラン雲における大質量原始星のALMA観測(1): 原始星アウトフローの初検出 徳田一起(九州大学/国立天文台) |

P2. 星・惑星形成(原始惑星系円盤)

| | | |
|-------|--|--|
| 12:00 | P134b 非理想磁気流体力学効果が及ぼす単極アウトフロー駆動への影響 高石大輔(鹿児島大学) | 3月13日(月)午後・A会場 |
| 12:00 | P135b Lindroos 天体を含む散開星団の発見 伊藤洋一(兵庫県立大学) | 13:00 P201a 原始惑星系円盤の長期進化シミュレーションのためのコード開発 小林雄大(鹿児島大学) |
| 12:12 | P136c Lupus 領域の前主系列星に付随する原始惑星系円盤の進化時間 高木悠平(国立天文台) | 13:12 P202a 原始惑星系円盤の散逸過程:中心星質量依存性 駒木彩乃(東京大学) |
| 12:12 | 質疑応答(10分) | 13:24 P203a 惑星が原始惑星系円盤動径方向に駆動するガス流:惑星質量及びガスの向かい風速度依存性 桑原歩(東京工業大学) |
| | | 13:36 P204a 原始惑星系円盤の鉛直構造を考慮した永年重力不安定性の線形解析 富永遼佑(理化学研究所) |
| | | 13:48 P205a 原始惑星系円盤における乱流中のダスト成長 河原昌平(筑波大学) |
| | | 14:00 P206a ダスタグリゲイトの衝突合体成長:粒子間相互作用モデルの影響 荒川創太(海洋研究開発機構) |
| | | 14:12 P207a 付着N体計算で探るダスト集合体の圧縮強度と岩石付着力への制限 辰馬未沙子(東京工業大学) |
| | | 14:24 P208a プラズマ合成で探る有機分子のグリゲイト状構造の形成過程/撮像 前澤裕之(大阪公立大学) |
| | | 14:36 P209b 水氷ダスタグリゲイトとシリケートダスタグリゲイトの衝突結果の違い 長谷川幸彦(東京大学) |
| | | 14:36 P210b 微惑星形成時のダスト衝突帯電による雷発生 西澤諒(東京工業大学) |
| | | 14:48 質疑応答(10分) |

P3. 星・惑星形成(惑星系)

| 3月14日(火) 午前・A会場 | | 3月15日(水) 午後・I会場 | |
|-----------------|---|-----------------|--|
| 10:00 | P211a Subaru/SCEXAO の高速偏光差分撮像 (Fast PDI) モードによる星周円盤の偏光観測 越坂紫織(総合研究大学院大学) | 13:30 | P301a 木星形成による雪線内側への氷微惑星輸送 小林浩(名古屋大学) |
| 10:12 | P212a IM Lup 周囲の原始惑星系円盤表層部におけるダスト散乱特性 田崎亮(ゲルノーブル・アルプ大学) | 13:42 | P302a 木星の成長及び移動段階に生じる地球型惑星領域への早期水輸送 荻原正博(上海交通大学) |
| 10:24 | P213a ダストリング幅の観測波長依存性に基づく原始惑星系円盤 HD 163296 のダストサイズ分布の推定 土井聖明(総合研究大学院大学/国立天文台) | 13:54 | P303a 多相媒質を扱うための非等質量粒子を用いた Volume-based SPH 法の開発 瀬野泉美(名古屋大学) |
| 10:36 | P214a ALMA 多波長観測で探る CW Tau 円盤内側領域の赤道面温度 植田高啓(Max-Planck Institute for Astronomy) | 14:06 | P304a 小天体衝突が形成する衝撃波圧力分布の状態方程式依存性 宮山隆志(名古屋大学) |
| 10:48 | P215a 原始惑星系円盤における輝線の圧力広がりへの発見とガス面密度の直接的制約 吉田有宏(総合研究大学院大学/国立天文台) | 14:18 | P305a 階層的三体系における Lagrange 的安定性の軌道要素依存性 林利憲(東京大学) |
| 11:00 | P216a 自己重力不安定による低金属量巨大ガス惑星の形成 松木場亮喜(京都大学) | 14:30 | P306a M 型星周りにおけるハビタブルゾーン内側境界 小玉貴則(東京大学) |
| 11:12 | P217a 標準降着円盤の検討に基づくペブル集積を考慮した惑星系形成 N 体シミュレーション 神野天里(神戸大学) | 14:42 | P307a 太陽系外地球型惑星上層大気の検出可能性 亀田真吾(立教大学) |
| 11:24 | P218b 形成過程における原始惑星系円盤の自己重力的分裂に対する条件 高橋実道(国立天文台/鹿児島大学) | 14:54 | P308a 短周期惑星進化における大気散逸の影響 三谷啓人(東京大学) |
| 11:24 | P219b 月形成円盤における角運動量輸送と非線形パターン、およびその解像度依存性 山岡尊(神戸大学) | 15:06 | P309a 恒星高エネルギー粒子のフルエンスを考慮した系外惑星への影響評価(その3) 山敷庸亮(京都大学) |
| 11:36 | 質疑応答(10分) | 15:18 | P310a Upper limits on transmitter rate of extragalactic civilizations placed by Breakthrough Listen observations 宇野友理(国立中興大学) |
| | | 15:30 | 質疑応答(10分) |

| | | | |
|-----------------|---|-------|---|
| 3月16日(木) 午前・I会場 | | | |
| 10:00 | P311a MuSCAT シリーズとすばる望遠鏡 IRD インテンシブ観測によるTESSトランジット 惑星候補のフォローアップ観測 III 成田憲保(東京大学) | 12:00 | P323c マウナケア「星空ライブカメラ」を用い たヘルクレス座 τ 流星群の観測 長谷川均(国立天文台) 質疑応答(10分) |
| 10:12 | P312a トランジット測光による系外惑星 KELT- 19Ab の逆行軌道の推定 河合優悟(東京大学) | | |
| 10:24 | P313a Two Unique Planetary Systems around Giant Stars Discovered by Okayama Planet Search Program Teng, Huan-Yu (Tokyo Institute of Technology) | | |
| 10:36 | P314a すばる望遠鏡 IRD, REACH での系外惑 星・褐色矮星の観測: PyIRDによる解析 笠木結(総合研究大学院大学) | | |
| 10:48 | P315a 系外惑星高分散リトリバル ExoJAX: 広帯域化アルゴリズム 河原創(宇宙航空研究開発機構) | | |
| 11:00 | P316a 「あかり」遠赤外線全天観測による3つ の黄道面付近ダストバンド構造の検出と 各ダストバンドの起源小惑星族の推定 大坪貴文(国立天文台) | | |
| 11:12 | P317a C/2021A1(Leonard) の偏光観測 鈴木文二(渋谷教育学園幕張高校) | | |
| 11:24 | P318a 木星衛星イオの環境を想定した SO ₂ 霜 の生成及び変性実験 古賀亮一(名古屋大学) | | |
| 11:36 | P319a 土星リング内の小衛星が作るギャップ構造 鳥居尚也(東京工業大学) | | |
| 11:48 | P320b 太陽系外惑星 TrES-1b の近赤外線 でのトランジット観測 植野雅々(兵庫県立大学) | | |
| 11:48 | P321b すばる HSC-SSP Public Data Release 2 既知太陽系小天体カタログ 大坪貴文(国立天文台) | | |
| 11:48 | P322b 衛星周回機を想定した金星大気のサブ ミリ波ヘテロダイン分光の放射輸送計算 前澤裕之(大阪公立大学) | | |

Q. 星間現象

| 3月13日(月) 午後・I会場 | | 3月14日(火) 午前・I会場 | |
|-----------------|---|-----------------|---|
| 13:00 | Q01a 超新星残骸 G359.0-0.9 の X 線解析による親星の質量制限 松永海(京都大学) | 10:00 | Q11a NICER, RXTE によるカニ星雲の月掩蔽観測を利用した周辺ハローの X 線解析 勝田哲(埼玉大学) |
| 13:12 | Q02a Tycho's SNR の星周環境モデルの構築 小橋亮介(京都大学) | 10:12 | Q12a 像再構成による高解像度 X 線像を使ったかに星雲の研究 森井幹雄(宇宙航空研究開発機構/DATUM STUDIO(株)) |
| 13:24 | Q03a Ia 型超新星残骸 DEM L71 の精密 X 線分光解析による膨張速度の測定 大場滉介(東京大学) | 10:24 | Q13a IXPE 衛星による「かに星雲・パルサー」の X 線偏光観測 水野恒史(広島大学) |
| 13:36 | Q04a Ia 型超新星残骸 3C 397 に付随する分子雲 伊藤大将(岐阜大学) | 10:36 | Q14a RCW 86 東部の X 線・分子雲観測を用いた衝撃波-分子雲相互作用と宇宙線加速の関係の検証 馬場彩(東京大学) |
| 13:48 | Q05a 超新星残骸 G346.6-0.2 のスペクトル解析と再結合優勢プラズマの形成過程 古瀬愛実(奈良女子大学) | 10:48 | Q15a Fermi-LAT を用いた Vela 超新星残骸からのガンマ線放射検出と超高エネルギー電子の存在 日暮凌太(立教大学) |
| 14:00 | Q06a 再結合優勢プラズマを持つ超新星残骸 W49B における中性鉄輝線の探査 鈴木那梨(奈良女子大学) | 11:00 | Q16a GeV ガンマ線超新星残骸 3C 391 に付随する分子雲と宇宙線加速 寺本寛生(岐阜大学) |
| 14:12 | Q07a すざく衛星による超新星残骸 Kes 27 のプラズマの空間構造の調査 藤重朝妃(奈良女子大学) | 11:12 | Q17a ガンマ線超新星残骸 RX J0852.0-4622 における陽子起源・電子起源ガンマ線の観測的定量:複数平面による領域ごとのガンマ線起源の分離 有賀麻貴(名古屋大学) |
| 14:24 | Q08a Chandra 衛星による超新星残骸カシオペア座 A の北東領域の X 線時間変動解析(2) 小湊菜央(立教大学) | 11:24 | Q18a ガンマ超新星残骸 (SNR) における宇宙線の起源 福井康雄(名古屋大学) |
| 14:36 | Q09a 統計誤差を考慮した位置依存型 Richardson-Lucy deconvolution を用いた超新星残骸カシオペア座 A の X 線画像解析 酒井優輔(立教大学) | 11:36 | Q19a 超新星残骸から放射される高エネルギーガンマ線の次世代装置による観測可能性の検討 西川智隆(名古屋大学) |
| 14:48 | Q10a 超新星残骸の X 線放射分布の重心を用いた衝撃波や爆発噴出物の運動測定 鈴木寛大(甲南大学) | 11:48 | Q20a PeVatron 候補天体 HESS J1641-463 の X 線観測 辻直美(神奈川大学) |
| 15:00 | 質疑応答(10分) | 12:00 | 質疑応答(10分) |

| 3月14日(火) 午後・I会場 | | 3月15日(水) 午前・I会場 | |
|-----------------|--|-----------------|---|
| 13:30 | Q21a 地球磁気圏に付随した電荷交換 X 線放射の時空間変動モデル構築 伊師大貴(東京都立大学) | 10:00 | Q32a かなた望遠鏡可視偏光サーベイ: Sagittarius 銀河腕中の3次元磁場構造 (I) 土井靖生(東京大学) |
| 13:42 | Q22a Chandra 衛星による W50/SS433 系の東端ホットスポットの X 線詳細観測 早川亮大(立教大学) | 10:12 | Q33a サブミリ波偏波観測で捉えた銀河中心領域の磁気圏に関する考察 佐藤和樹(鹿児島大学) |
| 13:54 | Q23a ALMA 較正用天体に対する分子吸収線探査 III: QSO J1851+0035 方向の銀河系内分子ガスの化学的多様性とそれを説明する分子雲の描像 成田佳奈香(東京大学) | 10:24 | Q34a Bullet Stars Leave Long Tails in the Galactic Center 坪井昌人(宇宙航空研究開発機構) |
| 14:06 | Q24a ASTE を用いた大質量星形成領域 RCW 38 の [CI]($^3P_2-^3P_1$) 観測 佐野栄俊(岐阜大学) | 10:36 | Q35a Near-IR spectroscopy of massive young stellar object toward the direction of the Galactic center: XCN and aromatic C-D features 尾中敬(明星大学) |
| 14:18 | Q25a 温度分布を用いた KAGONMA 天体の分子雲への星形成フィードバック 竹葉理史(鹿児島大学) | 10:48 | Q36a Reverse Shock が示す高速 AGN 風でできたフェルミバブル 藤田裕(東京都立大学) |
| 14:30 | Q26a 巨大分子雲複合体 RCW 106 における銀河面に垂直に伸びたフィラメント状分子雲の発見 河野樹人(名古屋市科学館/名古屋大学) | 11:00 | Q37a 過去 8Gyr の天の川銀河進化史の理解と解明に向けて 霜田治朗(名古屋大学) |
| 14:42 | Q27a 銀河面に降り注ぐ中間速度中性水素雲 米田龍生(大阪公立大学) | 11:12 | Q38a PeV ガンマ線で捕らえた天の川銀河ハロー内宇宙線の兆候とその銀河進化に対する意義 井上進(文教大学/理化学研究所) |
| 14:54 | Q28a 中高銀緯広域における中間速度雲の重元素量空間分布 (4) 早川貴敬(名古屋大学) | 11:24 | Q39a 抵抗性電場によって加速された宇宙線 2 次電子によるガスの電離 大平豊(東京大学) |
| 15:06 | Q29a 銀河面方向に位置する銀河団を用いた星間物質量の推定 安樂由実子(奈良女子大学) | 11:36 | Q40a 初代宇宙線による銀河間空間の加熱 横山将汰(東京大学) |
| 15:18 | Q30b Spitzer 宇宙望遠鏡を用いた光解離領域の PAH の探査 明石一希(兵庫県立大学) | 11:48 | 質疑応答(10分) |
| 15:18 | Q31b 機械学習アルゴリズムを用いた Near-Far 問題の解法 (4) 分子雲衝突天体の個数推定 藤田真司(東京大学) | | |
| 15:30 | 質疑応答(10分) | | |

R. 銀河

| 3月15日(水) 午後・E会場 | | 3月16日(木) 午前・E会場 | |
|-----------------|--|-----------------|---|
| 13:30 | R01a 銀河中心ブラックホール近傍における共鳴緩和 II 船渡陽子(東京大学) | 10:00 | R10a Spatially resolved dust temperature in HyLIRG quasar at $z=4.4$ 津久井崇史(Australian National University) |
| 13:42 | R02a 数値シミュレーションと機械学習を用いた天の川銀河構造の解明 黒澤里沙(筑波大学) | 10:12 | R11a 複数分子複数準位輝線で探る超高光度赤外線銀河中心部における分子ガス状態 馬場俊介(鹿児島大学) |
| 13:54 | R03a 天の川銀河のペルセウス腕における分子雲進化の研究 梅澤智幸(筑波大学) | 10:24 | R12a ALMAによるNGC 1068の $\lambda=3$ mm帯イメージング・ラインサーベイ観測 中島拓(名古屋大学) |
| 14:06 | R04a Giant Molecular Clouds in the local dwarf galaxy NGC 6822 濤崎智佳(上越教育大学) | 10:36 | R13a A statistical study of molecular emission in the starburst galaxy NGC 253 using principal component analysis (PCA) 原田ななせ(国立天文台) |
| 14:18 | R05a 棒渦巻銀河の棒部における星形成効率の統計的調査 2 前田郁弥(東京大学) | 10:48 | R14a NGC 253 中心部におけるガスダイナミクスの解明 I: coherent structure の同定 小西諒太郎(大阪公立大学) |
| 14:30 | R06a 近傍銀河における kpc スケールのガス密度頻度分布 (GDH) 松坂怜(鹿児島大学) | 11:00 | R15a ALMA CO-observations of starburst-driven molecular outflow in NGC1482 MIAO, WENYAO(筑波大学) |
| 14:42 | R07a 近傍渦巻銀河の構造同定および分子ガスの速度分散と星生成効率の多様性 清水一揮(北海道大学) | 11:12 | R16a ブラインド音源分離手法と精密分光観測を組み合わせたスターバースト銀河 M82 における電荷交換反応の探索 尾近洗行(CfA) |
| 14:54 | R08a NGC 3627における星形成活動性と分子ガスの物理状態の関係 柴田和樹(筑波大学) | 11:24 | R17a 重力レンズ効果を用いた銀河磁場観測のシミュレーション II 大前陸人(総合研究大学院大学) |
| 15:06 | R09b 偏波解消特性を用いた渦状銀河の3次元磁場構造解明 田嶋裕太(総合研究大学院大学/国立天文台) | 11:36 | R18b Nobeyama 45-m CO $J=1-0$ Observations of Luminous Type 1 AGNs at $z \approx 0.3$ 道山知成(大阪大学) |
| 15:18 | 質疑応答(10分) | | R19c 超低金属量銀河DDO154の12COおよび13CO観測 小麦真也(工学院大学) |
| | | 11:48 | 質疑応答(10分) |

S. 活動銀河核

| | | | | |
|-----------------|------|-------|------|--|
| 3月13日(月) 午後・J会場 | | 14:48 | S12b | MIR Search of Heavily Obscured $z > 3$ AGN Missed in X-ray Surveys 松本尚輝(東北大学) |
| 13:00 | S01a | | | |
| | | 15:00 | | 質疑応答(10分) |
| 13:12 | S02a | | | |
| 13:24 | S03a | | | |
| 13:36 | S04a | | | |
| 13:48 | S05a | | | |
| 14:00 | S06a | | | |
| 14:12 | S07a | | | |
| 14:24 | S08a | | | |
| 14:36 | S09b | | | |
| 14:36 | S10b | | | |
| 14:36 | S11b | | | |

| 3月14日(火) 午前・J会場 | | 3月14日(火) 午後・J会場 | |
|-----------------|---|-----------------|--|
| 10:00 | S13a 一般的な静的球対称時空における準円軌道の近点移動 原田知広(立教大学) | 13:30 | S25a A better image of Sgr A* from EHT2017 data 三好真(国立天文台) |
| 10:12 | S14a 低密度領域電流層の安定性についての特殊相対論的判定条件 小出眞路(熊本大学) | 13:42 | S26a 広帯域VERA 偏波観測による狭輝線セイファート1型銀河の中心核の探査 高村美恵子(東京大学/国立天文台) |
| 10:24 | S15a 大局的な一般相対論的磁気流体降着流の高エネルギーニュートリノ・スペクトル: 宇宙線注入率および加速効率依存性 川島朋尚(東京大学) | 13:54 | S27a The Jet Collimation Profile Analysis and Core Shift Measurement of M84 Fariyanto, Erika Prameswari (The University of Tokyo) |
| 10:36 | S16a ポーラーダストを含む活動銀河核トラスからの赤外線 SED モデル: 近傍低質量活動銀河核との比較 小川翔司(京都大学) | 14:06 | S28a Revisit the Dragonfly Galaxy I. High-resolution ALMA and VLA Observations of the Radio Hot Spots in a Hyper-luminous Infrared Galaxy at $z=1.92$ Zhong, Yuxing (Waseda University) |
| 10:48 | S17a より内側領域を考慮した輻射駆動噴水モデルからの X 線スペクトル計算 谷本敦(鹿児島大学) | 14:18 | S29a 近傍高光度 Swift/BAT-AGN の広帯域 X 線解析 稲葉昂希(京都大学) |
| 11:00 | S18a 活動銀河中心核電離ガストラスからの自由自由放射 工藤祐己(鹿児島大学) | 14:30 | S30a 広帯域 X 線観測で探る電波銀河の中心核構造 中谷友哉(京都大学) |
| 11:12 | S19a 間欠性を利用した磁場優勢ジェットの高エネルギー散逸 草深陽(東京大学) | 14:42 | S31a Fe-K α 輝線反響マッピング法を用いた NGC 3516 活動銀河核構造の研究(3) 野田博文(大阪大学) |
| 11:24 | S20a 電波銀河のジェット・強磁場降着流ハイブリッド多波長放射モデル 久世陸(東北大学) | 14:54 | S32a 活動銀河核の軟 X 線超過の起源: 温かいコロナの加熱とその安定性 川中宣太(京都大学) |
| 11:36 | S21a ブレーザー BL Lacertae が 2020 年に生じたフレアの MAGIC 望遠鏡による観測 今澤遼(広島大学) | 15:06 | S33b X 線分光による電波銀河 Markarian 6 の円盤風解析 榎木大修(広島大学) |
| 11:48 | S22b ガンマ線ブレーザーのライトカーブを用いたフラックス分布解析 中屋和樹(芝浦工業大学) | 15:18 | 質疑応答(10分) |
| 11:48 | S23b 大質量ブラックホールへの超臨界降着流と大局的アウトフロー構造 芳岡尚悟(京都大学) | | |
| 11:48 | S24b M87 における三日月状シャドウの時間変動とブラックホール・スピンの測定 高橋幹弥(筑波大学) | | |
| 12:00 | 質疑応答(10分) | | |

T. 銀河団

U. 宇宙論

| 3月13日(月) 午後・B会場 | | 3月15日(水) 午前・G会場 | |
|-----------------|--|---|---|
| 13:00 | T01a 弱重力レンズ効果を用いた銀河団質量推定におけるバイアスの経験的補正法 浜名崇(国立天文台) | 10:00 | U01a Extended Delta-map: a map-based foreground removal method for CMB polarization observations 南雄人(大阪大学) |
| 13:12 | T02a 非圧縮性乱流による粒子加速とAbell 2255メガハローの起源 西脇公祐(東京大学) | 10:12 | U02a 宇宙複屈折に対する弱重力レンズ補正 直川史寛(東京大学) |
| 13:24 | T03a 衝突早期の銀河団 CIZA1359 で見つかった新しい電波レリック候補 藏原昂平(国立天文台) | 10:24 | U03a 原始重力波起源のCMB偏光Bモード観測におけるCMBモノポールの星間吸収の影響 室越琳生(東北大学) |
| 13:36 | T04a Wide-angle tailed 電波銀河からの非熱的放射 大村匠(東京大学) | 10:36 | U04a POLARBEAR 実験によるCMB偏光を用いたAxion探査の現状 茅根裕司(KEK/QUP) |
| 13:48 | T05a XMM-Newtonを用いた衝突銀河団 Abell 3667のICM速度マッピング 大宮悠希(名古屋大学) | 10:48 | U05a ミニハロー起源の21cm吸収線におけるサブハローの寄与～サブハローの熱的・力学的進化の影響～ 成瀬元希(名古屋大学) |
| 14:00 | T06a RGSを用いた銀河団・銀河群中心および早期型銀河におけるO, Ne, Mg測定 福島光太郎(東京理科大学) | 11:00 | U06a Peculiar velocity reconstruction of galaxy clusters with CNN for the kSZ effect 谷村英樹(Kavli IPMU) |
| 14:12 | T07a VLBI観測によるほうおう座銀河団中心のAGN調査 大木愛花(東京大学/国立天文台) | U07c CMBレンジング解析における観測誤差の伝搬 III 永田竜(宇宙航空研究開発機構) | |
| 14:24 | T08b Galaxy Group Finding via Unsupervised Clustering Ma, Hai-Xia (Nagoya University) | 11:12 | 質疑応答(10分) |
| 14:36 | 質疑応答(10分) | | |

| 3月15日(水) 午後・G会場 | | 3月16日(木) 午前・G会場 | |
|-----------------|--|-----------------|--|
| 13:30 | U08a 高赤方偏移における CMB 重力レンズ信号抽出の新技术開発 新居舜(名古屋大学) | 10:00 | U17a 宇宙論的重力レンズ効果における平面近似の精度の検証 谷口貴紀(東京大学/Kavli IPMU) |
| 13:42 | U09a 4重像重力レンズによる宇宙の小スケール密度揺らぎの探査 I - 手法と計画 - 井上開輝(近畿大学) | 10:12 | U18a 3次元 Lyman- α forest の宇宙論解析における天体形成フィードバック効果の影響 中島光一郎(名古屋大学) |
| 13:54 | U10a 弱重力レンズサーベイにおける Super sample covariance の高速・精密な計算手法の開発 寺澤凌(東京大学/Kavli IPMU) | 10:24 | U19a すばる HSC の3年度データと SDSS データを用いた宇宙論解析: 弱重力レンズ信号とクラスタリング信号の測定 宮武広直(名古屋大学) |
| 14:06 | U11a 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) | 10:36 | U20a すばる HSC の3年度データと SDSS データを用いた宇宙論解析: Λ CDM モデルにおける宇宙論パラメタ推定 杉山素直(東京大学/Kavli IPMU) |
| 14:18 | U12a Fast semi-analytical method for generating mock line intensity maps Zhang, Rui Lan (University of Tokyo) | 10:48 | U21a SDSS 及びすばる HSC で測定した弱重力レンズ、クラスタリング、赤方偏移歪みを用いた一般相対性理論の検証 中沢准昭(名古屋大学) |
| 14:30 | U13a 初期統計的非等方性の非線形構造形成への影響 片山友貴(総合研究大学院大学) | 11:00 | U22a HSC 3年目と BOSS のデータを用いた一般相対論の検証 谷田幸貴(名古屋大学) |
| 14:42 | U14a Investigation of the HSC unrecognized blends with machine learning Paillassa, Maxime (Nagoya University) | 11:12 | U23a 光子の観測と波動 藤原ケイ |
| 14:54 | U15a 測光観測におけるバリオン音響振動の測定 石川慶太郎(名古屋大学) | 11:24 | U24a 宇宙の誕生過程は空であるか 青島正和 |
| 15:06 | U16b 超高エネルギー宇宙線の銀河間物質に対する影響 井上進(文教大学/理化学研究所) | 11:36 | U25a 素粒子を作ったビッグバンの以前のブラックホールの痕に、宇宙の中心のブラックホールができた。 小堀しづ |
| 15:18 | 質疑応答(10分) | 11:48 | U26b ダークマターの生成とダークエネルギー 小堀しづ |
| | | 12:00 | 質疑応答(10分) |

V1. 観測機器 (電波)

| | | | |
|-----------------|---|-------|---|
| 3月13日(月) 午後・G会場 | | 14:48 | V114b FPGAを用いた太陽観測用電波望遠鏡の開発 竹原大智(茨城大学) |
| 13:00 | V101a 福井工業大 10 m アンテナに搭載する Phased Array Feed の開発 山崎康正(大阪公立大学) | 15:00 | 質疑応答(10分) |
| 13:12 | V102a ミリ波帯周波数可変導波管型バンドパス フィルタの開発 堀裕一(名古屋大学) | | |
| 13:24 | V103a 広帯域電波天文受信機のための超伝導 ペンタバンド帯域通過フィルタの開発 良知颯太(山梨大学) | | |
| 13:36 | V104a 広帯域受信機のための高温超伝導マル チバンド帯域阻止フィルタの基礎検討(2) 湯山義崇(山梨大学) | | |
| 13:48 | V105a 茨城観測局電波望遠鏡搭載広帯域 CX 帯円偏波分離器の開発 4 知念翼(大阪公立大学) | | |
| 14:00 | V106a 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(IV) 氏原秀樹(京都大学) | | |
| 14:12 | V107a 野辺山 45m 鏡 7BEE 受信機の試験観測 (1) 受信機性能の評価 米山翔(大阪公立大学) | | |
| 14:24 | V108a 野辺山 45m 鏡 7BEE 受信機の試験観測 (2) ビーム特性の評価 西本晋平(大阪公立大学) | | |
| 14:36 | V109b 野辺山 45m 鏡 7BEE 受信機の試験観測 (3) 月能率の測定 立松健一(国立天文台) | | |
| 14:36 | V110b 分子分光装置 SUMIRE 用 Band7+8 受信 機の開発 渡辺隆行(電気通信大学) | | |
| 14:36 | V111b 20GHz 帯受信機中間周波数系の受信機 利得の安定化 藤森柁人(筑波大学) | | |
| 14:48 | V112b 純ニオブ材による導波管共振器を用いた 超伝導導波管の伝送特性の測定 中島拓(名古屋大学) | | |
| 14:48 | V113b 南極 30 cm サブミリ波望遠鏡用光学 ポインティングシステムの開発 II 茅野太一(筑波大学) | | |

| | | | |
|-----------------|---|-------|--|
| 3月14日(火) 午前・G会場 | | 11:48 | V127b Initial study of 15–29 GHz optics and receiver system for SKA Band 6 Yamasaki, Yasumasa (Osaka Metropolitan University) |
| 10:00 | V115a 強度干渉計実験に向けた光学系の開発 小関知宏(筑波大学) | | |
| 10:12 | V116a 曲面エッチング加工を用いたサブミリ波観測用広帯域シリコンレンズの開発 長谷部孝(東京大学カブリ数物連携宇宙研究機構) | | V128c VERA-upgrade for EAVN and GVLBI 計画の進捗 VI: K-band RF Direct A/D 小山友明(国立天文台) |
| 10:24 | V117a 次世代マイクロ波背景放射偏光観測実験 Simons Observatory の現状報告 桜井雄基(岡山大学) | 12:00 | 質疑応答(10分) |
| 10:36 | V118a CMB 偏光観測衛星 LiteBIRD 計画の進捗 堂谷忠靖(宇宙航空研究開発機構) | | |
| 10:48 | V119a CMB 偏光観測実験 GroundBIRD に搭載する超伝導検出器 MKID の開発 田中智永(東北大学) | | |
| 11:00 | V120a 月の観測データを用いた CMB 望遠鏡 GroundBIRD のビームパターンの推定 辻井未来(東北大学) | | |
| 11:12 | V121a 野辺山 45 m 電波望遠鏡に搭載した 100-GHz 帯 MKIDカメラの2022年試験観測の状況と雑音性能評価に向けた開発 本多俊介(筑波大学) | | |
| 11:24 | V122a 野辺山 45 m 電波望遠鏡搭載用 100-GHz 帯電波カメラの解析パイプラインの開発 永井誠(国立天文台) | | |
| 11:36 | V123b 野辺山 45 m 電波望遠鏡 100-GHz 帯 MKIDカメラ搭載試験におけるビーム特性の評価 李豪純(筑波大学) | | |
| 11:36 | V124b 野辺山 45 m 電波望遠鏡 100-GHz 帯 MKID カメラによる大質量星形成領域 W49A の観測データの解析 石崎悠治(筑波大学) | | |
| 11:36 | V125b 高萩・日立 32 m 電波望遠鏡の整備運用・状況 2023A 米倉覚則(茨城大学) | | |
| 11:48 | V126b EAVN/VERA 86GHz 帯を用いた巨大ブラックホールの観測に向けて 秦和弘(国立天文台) | | |

V2. 観測機器 (光赤外・重力波・その他)

| 3月14日(火) 午後・G会場 | | 3月13日(月) 午後・F会場 | |
|-----------------|--|-----------------|---|
| 13:30 | V129a 分散クラスター対応の FITS WebQL SE v5 の試験運用開始 ZAPART, CHRISTOPHER (国立天文台) | 13:00 | V201a TMT 計画 - 進捗報告 臼田知史 (国立天文台) |
| 13:42 | V130a スパースモデリングによる電波干渉計画像再構成手法の輝度分布モデルを用いた定量的評価 蛸谷かおる (日本女子大学) | 13:12 | V202a Environmental Test of Silver-based Coatings for TMT Optics Hayashi, Saeko S. (NAOJ) |
| 13:54 | V131a Update on ALMA Operations and Development Program - Spring 2023 Gonzalez, Alvaro (NAOJ) | 13:24 | V203a SuMIRe-PFS[34]: プロジェクト概要と装置開発進捗状況まとめ 2023 年春季 田村直之 (東京大学カブリ数物連携宇宙研究機構) |
| 14:06 | V132a ビーム結合能率を指標とする公差解析手法の開発 今田大皓 (国立天文台) | 13:36 | V204a SuMIRe-PFS[35]: Second spectrograph module installation and test at Subaru telescope Moritani, Yuki (NAOJ) |
| 14:18 | V133a Experimental Study of Silicon Membrane Based Superconducting Waveguide-to-CPW Transitions Shan, Wenlei (NAOJ) | 13:48 | V205a SuMIRe-PFS[36]: PFS の共同利用観測に向けた科学運用の検討および開発状況について 小野寺仁人 (国立天文台) |
| 14:30 | V134a SIS ミキサの周波数アップコンバージョン特性に関する数値シミュレーション 上月雄人 (国立天文台) | 14:00 | V206a SuMIRe-PFS[37]: 2次元PSFモデリングに向けた解析 林康太 (東京大学カブリ数物連携宇宙研究機構) |
| 14:42 | V135a The Next Generation Very Large Array - Spring 2023 百瀬宗武 (茨城大学) | 14:12 | V207a すばる望遠鏡IRCSによる熱赤外線偏光撮像観測 工藤智幸 (国立天文台) |
| 14:54 | V136a SKA プロジェクトへの参加計画 7 赤堀卓也 (国立天文台) | 14:24 | V208a 東京大学アタカマ天文台 TAO 6.5m 望遠鏡計画 進捗報告 2023 宮田隆志 (東京大学) |
| 15:06 | V137a SKA プロジェクトに向けた科学検討 6 町田真美 (国立天文台) | 14:36 | V209a TAO 6.5m 望遠鏡用近赤外線観測装置 SWIMS : すばる望遠鏡での共同利用運用報告 小西真広 (東京大学) |
| 15:18 | V138a 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 2 井口聖 (国立天文台) | 14:48 | V210a TARdYS の検出器システム性能評価 穂満星冴 (東京大学) |
| 15:30 | 質疑応答 (10分) | 15:00 | 質疑応答 (10分) |

| 3月14日(火) 午前・F会場 | | 3月14日(火) 午後・F会場 | |
|-----------------|---|-----------------|--|
| 10:00 | V211a ULTIMATE-Subaru: 地表層補償光学の解析的な性能評価 大野良人(国立天文台) | | V223c 放物柱面鏡を有するオフセット光学システム 浅利栄治(東京農業大学) |
| 10:12 | V212a 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 - 大金原(東北大学) | 11:36 | V224c 可視光用大フォーマット CMOS 検出器の開発 鎌田有紀子(国立天文台) 質疑応答(10分) |
| 10:24 | V213a Shack-Hartmann 型波面センサーを用いた大気擾乱モニターシステム MAMO の開発 小牧誠人(京都産業大学) | | |
| 10:36 | V214a 連星系における系外惑星探査のための波面測定技術の開発 米田謙太(国立天文台) | 13:30 | V225a 可視3色高速撮像分光装置 TriCOS 用面分光ユニット開発 - 光学設計 - 松林和也(東京大学) |
| 10:48 | V215a 広視野近赤外線望遠鏡 PRIME の進捗状況 山響(大阪大学) | 13:42 | V226a せいめい望遠鏡に搭載する系外惑星探索専用高分散分光器 GAOES-RV: 初期性能評価 佐藤文衛(東京工業大学) |
| 11:00 | V216a 大型低温重力波望遠鏡 KAGRA の現状 陳たん(国立天文台) | 13:54 | V227a 岡山 188cm 鏡 / HIDES-F における高精度視線速度測定のための天文コンピュータの解析 細井雄太郎(東京工業大学) |
| 11:12 | V217b すばる望遠鏡レーザーガイド星高出力化と性能評価 美濃和陽典(国立天文台) | 14:06 | V228a 近赤外線高分散分光器 WINERED: Magellan 望遠鏡ファーストライト 竹内智美(京都産業大学) |
| 11:12 | V218b 補償光学で用いる4ビームレーザーガイド星の伝搬モデルの開発 小鹿哲雅(関西学院大学) | 14:18 | V229a OISTER 連携観測で明らかになった Starlink's Visorsat の反射光低減効果 堀内貴史(東京大学) |
| 11:12 | V219b ハワイ・ハレアカラ東北大 60cm 望遠鏡に搭載する補償光学装置の開発 吉野富士香(東北大学) | 14:30 | V230a 三波長同時撮像装置 MuSaSHI のぐんま天文台 150cm 望遠鏡搭載と観測(2) 金井昂大(埼玉大学) |
| 11:24 | V220b 高コントラスト観測法 Coherent Differential Imaging on Speckle Area Nulling (CDI-SAN) の開発 2 米田謙太(国立天文台) | 14:42 | V231a 明野・岡山 50cm 可視光望遠鏡 MITSuME の 2022 年度運用実績 高橋一郎(東京工業大学) |
| 11:24 | V221b 引き摺り3点計測法による 1.8m 軸外し望遠鏡 PLANETS 主鏡の研磨 鍵谷将人(東北大学) | 14:54 | V232a 天体画像における深層学習を用いたラインノイズ除去手法 江良真結子(東京工業大学) |
| 11:24 | V222b 京都大学飛騨天文台太陽磁場活動望遠鏡マグネトグラフの高精度化 永田伸一(京都大学) | 15:06 | V233a Tomo-e Gozen 広域サーベイの動的最適化システムの開発 津々木里咲(東京大学) |
| | | 15:18 | 質疑応答(10分) |

| 3月15日（水）午前・F会場 | | 3月15日（水）午後・F会場 | |
|----------------|--|----------------|--|
| 10:00 | V234a 紫外線宇宙望遠鏡のフォーカス調整システムの開発 渋川雅人（早稲田大学） | 13:30 | V245a 銀河進化・惑星系形成観測ミッションの概要 井上昭雄（早稲田大学） |
| 10:12 | V235a 紫外線突発天体探査衛星うみつばめの突発天体検知手法開発 能登亮太郎（東京工業大学） | 13:42 | V246a HCW を用いた Immersion Grating 材料の極低温赤外線透過率測定装置の開発 李源（名古屋大学） |
| 10:24 | V236a 宇宙望遠鏡のための紫外線カタログ開発 大平明日香（東京工業大学） | 13:54 | V247a 極低温中間赤外線での Immersion Grating 材料の屈折率測定方法の開発 榎木谷海（総合研究大学院大学/宇宙航空研究開発機構） |
| 10:36 | V237a 超小型衛星による宇宙可視光背景放射観測ミッション VERTECS 佐野圭（九州工業大学） | 14:06 | V248a JASMINE 計画の全体的な概要と進捗 郷田直輝（国立天文台） |
| 10:48 | V238a 宇宙可視光背景放射観測 6U 衛星 VERTECS : ミッション概要 瀧本幸司（九州工業大学） | 14:18 | V249a JASMINE 搭載検出器の性能評価試験 : 128x128 画素素子の量子効率測定 宮川 浩平（国立天文台） |
| 11:00 | V239a CIB 観測ロケット実験 CIBER-2 : 第 2 回打上げ実験の準備状況 松浦周二（関西学院大学） | 14:30 | V250a JASMINE での精密測光・位置天文に向けた検出器の新しい較正手法の開発 多田将太郎（総合研究大学院大学） |
| 11:12 | V240a 准共通光路波面分割型位相シフト干渉法による 2D FT-IR 分光器の性能評価 趙彪（名古屋大学） | 14:42 | V251a JASMINE のデータ解析 山田良透（京都大学） |
| 11:24 | V241a LOPYUTA 計画の検討状況 土屋史紀（東北大学） | 14:54 | V252b JASMINE 望遠鏡光学系の開発 : バンドパスフィルタの影響解析 鹿島伸悟（国立天文台） |
| 11:36 | V242a 高感度太陽紫外線分光観測衛星 SOLAR-C: プロジェクト最新状況(2023年春) 清水敏文（宇宙航空研究開発機構） | 14:54 | V253b 多数枚撮像による高精度星像位置決定の多角的な実証 矢野太平（国立天文台） |
| 11:48 | V243a SOLAR-C 計画 : 観測装置 EUVST 設計検討の進捗報告 原弘久（国立天文台） | 14:54 | V254b 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） |
| 12:00 | V244a SUNRISE-3 大気球太陽観測実験 : 2022 年のフライト結果 勝川行雄（国立天文台） | 15:06 | 質疑応答（10分） |
| 12:12 | 質疑応答（10分） | | |

V3. 観測機器 (X線・ γ 線)

| | | | |
|-----------------|---|-----------------|--|
| 3月14日(火) 午後・A会場 | | | V313c 超小型衛星による、宇宙空間からの太陽中性子の観測 (VI) 山岡和貴 (名古屋大学) |
| 13:30 | V301a オーバーハング吸収体を用いた TES 型 X 線マイクロカロリメータの開発 宮川陸大 (東京大学) | 15:18 | 質疑応答 (10 分) |
| 13:42 | V302a 精密X線分光分析に向けた大規模なTES型X線マイクロカロリメータシステムの開発 林佑 (高エネルギー加速器研究機構) | 3月15日(水) 午前・A会場 | |
| 13:54 | V303a X 線分光撮像衛星 XRISM 搭載 Resolve の開発の現状 XII Uchida, Yuusuke (東京理科大学) | 10:00 | V314a 超小型X線衛星 NinjaSat の開発進捗(2) 武田朋志 (東京理科大学/理化学研究所) |
| 14:06 | V304a マイクロカロリメータ精密分光器のあたらしい軌道上ゲインドリフト推定法 澤田真理 (理化学研究所) | 10:12 | V315a 地球磁気圏 X 線撮像計画 GEO-X (GEOspace X-ray imager) 搭載検出器の開発 松本拓也 (関東学院大学) |
| 14:18 | V305a 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 (9) 信川久実子 (近畿大学) | 10:24 | V316a X 線偏光観測衛星 IXPE の現状 (3) 玉川徹 (理化学研究所) |
| 14:30 | V306a X 線分光撮像衛星 XRISM の科学運用準備の現状 (2) 米山友景 (ISAS/JAXA) | 10:36 | V317a 硬X線集光偏光計 XL-Calibur 気球実験の2022年フライトと今後 高橋弘充 (広島大学) |
| 14:42 | V307a X 線分光撮像衛星 XRISM の科学運用に向けての模擬試験 林克洋 (ISAS/JAXA) | 10:48 | V318a GRAMS 計画 7: 全体報告 小高裕和 (東京大学) |
| 14:54 | V308b X 線分光撮像衛星 XRISM の観測データ処理ツールの開発状況 山田智史 (理化学研究所) | 11:00 | V319a GRAMS 計画 8: 工学気球実験に向けた準備 新井翔大 (東京大学) |
| 14:54 | V309b X 線分光撮像衛星 XRISM 時刻システムの地上評価検証 (II) 志達めぐみ (愛媛大学) | 11:12 | V320a 軟X線から硬X線の広帯域を高感度で撮像分光する衛星計画 FORCE の現状(15) 森浩二 (宮崎大学) |
| 14:54 | V310b 原子層堆積法を用いた Co 成膜 Si 光学系の開発 辻雪音 (東京都立大学) | 11:24 | V321a SOI 技術を用いた新型 X 線撮像分光器の開発 56:MeV ガンマ線観測への応用に向けた SOI ピクセル検出器の基礎特性評価 (2) 橋爪大樹 (広島大学) |
| 15:06 | V311b GEO-X 衛星に向けた迷光防止用コーメータの開発 村川貴俊 (東京都立大学) | 11:36 | V322a SOI 技術を用いた新型X線撮像分光器の開発 57: PDD 構造を持つ大面積X線 SOI-CMOS 検出器 XRPIX の性能評価 泉大輔 (宮崎大学) |
| | V312c HiZ-GUNDAM 搭載用 X 線検出器に関するデータ処理手法の検証 山口嵩史 (関西学院大学) | 11:48 | 質疑応答 (10 分) |

| 3月15日(水) 午後・A会場 | | 3月16日(木) 午前・A会場 | |
|-----------------|---|-----------------|--|
| 13:30 | V323a X線高分解能撮像に寄与する革新的な観測方位計測システム“TAMS”の提案 塚野達樹(早稲田大学) | 10:00 | V332a 日米共同・太陽フレア X線集光撮像分光観測ロケット実験 FOXSI-4に搭載するプレ・コリメータの開発 佐藤慶暉(総合研究大学院大学) |
| 13:42 | V324a X線高分解能撮像に寄与する革新的な観測方位計測システム“TAMS”のクロスプリズムの研究報告 寺田怜央(早稲田大学) | 10:12 | V333a 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光線追跡シミュレーションによる性能評価 作田皓基(名古屋大学) |
| 13:54 | V325a 多重像 X線干渉計 MIXIM の開発 -EM アルゴリズムを用いた復号解析 - 朝倉一統(大阪大学) | 10:24 | V334a 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(1) 藤井隆登(名古屋大学) |
| 14:06 | V326a 可視光による Lobster Eye Optics の焦点距離測定法の評価 後藤初音(金沢大学) | 10:36 | V335a 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(2) 安福千貴(名古屋大学) |
| 14:18 | V327a 狭視野 Si/CdTe 半導体コンプトン望遠鏡による気球実験の試作機 miniSGD の開発 大熊佳吾(名古屋大学) | 10:48 | V336a 日米共同・太陽フレア X線集光撮像分光観測ロケット実験 FOXSI-4 に用いる CMOS イメージセンサの X線光子計測能力評価 その2 清水里香(総合研究大学院大学) |
| 14:30 | V328a Cherenkov Telescope Array (CTA) 計画: 全体報告 (23) 窪秀利(東京大学) | 11:00 | V337a 太陽観測ロケット実験 FOXSI-4 に向けたワイドギャップ CdTe ストリップ検出器の開発と性能評価 III 長澤俊作(東京大学 Kavli IPMU) |
| 14:42 | V329a CTA-LST 初号基と MAGIC による TeV ガンマ線同時観測のための解析手法の開発 須田祐介(広島大学) | 11:12 | V338a PhoENIX 衛星計画に向けた高精度 Wolter ミラーの開発研究 加島颯太(宇宙航空研究開発機構/関西学院大学) |
| 14:54 | V330a CTA 大口径望遠鏡 2-4 号機における波形記録チップ DRS4 のサンプリング時間幅較正 服部勇大(茨城大学) | 11:24 | 質疑応答(10分) |
| 15:06 | V331a ALPACA 実験 4:ALPAQUITA 初期性能と今後の建設計画 埜隆志(東京大学) | | |
| 15:18 | 質疑応答(10分) | | |

W. コンパクト天体

| 3月13日(月) 午後・D会場 | | 3月14日(火) 午前・D会場 | |
|-----------------|--|-----------------|--|
| 13:00 | W01a MAXI/GSC が検出した 2022 年度後半の突発現象 根來均(日本大学) | 10:00 | W12a 孤立ブラックホール磁気圏からの高エネルギーガンマ線放射とその検出可能性 金滉基(東北大学) |
| 13:12 | W02a NuSTARのSN1987A 観測中に認められた serendipitous source の調査 佐藤淳矢(大阪大学) | 10:12 | W13a 超臨界降着流から噴出するラインフォース駆動型円盤風 野村真理子(呉工業高等専門学校) |
| 13:24 | W03a 短時間の可視光突発現象の検出を目指した広視野 CMOS カメラ Tomo-e Gozen の大規模動画データ解析パイプラインの開発 有馬宣明(東京大学) | 10:24 | W14a 連星種ブラックホールの降着成長: 力学的摩擦 鈴木智也(京都大学) |
| 13:36 | W04a ディープラーニングによるブラックホール連星系の X 線高速変動の解明 牧田佳大(立教大学) | 10:36 | W15a 円盤コロナモデルの最適化と低周波 QPOのLense-Thirring モデルによる理解 久保田あや(芝浦工業大学) |
| 13:48 | W05a Magnetohydrodynamic simulations of outflows from white dwarf merger remnants Zhong, Yici (The University of Tokyo) | 10:48 | W16a LASSO によるブラックホール連星 XTE J1550-564 の低周波 QPO の解析 鶴見一輝(芝浦工業大学) |
| 14:00 | W06a スペクトル・時間変動解析に基づく強磁場白色矮星 AE Aquarii の非熱的放射の性質の探査 南喬博(東京大学) | 11:00 | W17a Gaia で観測可能な恒星質量ブラックホール連星の空間分布に関する理論予想 鹿内みのり(東京大学/ブリティッシュコロンビア大学) |
| 14:12 | W07a Z Cam 型矮新星におけるアウトバースト頻度の長期変動 大島誠人(兵庫県立大学) | 11:12 | W18a 位置天文衛星 Gaiaによるブラックホール連星探査とその候補天体 谷川衝(東京大学) |
| 14:24 | W08a 矮新星 MASTER OT J030227.28+191754.5 における、アウトバースト中のX線放射の起源 木邑真理子(理化学研究所) | 11:24 | W19b コンプトン散乱を考慮した偏光 X 線の輻射輸送計算コードの開発 II 竹林晃大(筑波大学) |
| 14:36 | W09a 史上最大規模の矮新星アウトバースト: MASTER OT J030227.28+191754.5 反保雄介(京都大学) | 11:24 | W20b 突発的超臨界降着流の一般相対論的輻射磁気流体計算: 降着構造と衝撃波について 島田悠愛(筑波大学) |
| 14:48 | W10a スーパーチャンドラセカール質量白色矮星の重力崩壊 森正光(東京大学) | 11:24 | W21b カー・ブラックホール周りにおける Magnetically Arrested Supercritical Disk の一般相対論的輻射磁気流体シミュレーション 内海碧人(筑波大学) |
| 15:00 | W11b Pa β 特殊狭帯域フィルターによる Norma Arm Region の白色矮星連星系探査 森鼻久美子(国立天文台) | 11:36 | W22b 一般相対論的輻射磁気流体力学計算による亜臨界降着円盤の内縁構造とブラックホールスピンの研究 大野翔大(筑波大学) |
| 15:12 | 質疑応答(10分) | 11:48 | 質疑応答(10分) |

| 3月14日(火) 午後・D会場 | | 3月15日(水) 午前・D会場 | |
|-----------------|--|-----------------|---|
| 13:30 | W23a 超高光度 X 線源 NGC 5408 X-1 からの CO 分子輝線の検出 水本岬希(京都大学) | 10:00 | W34a 超広帯域電波観測で探る PSR J1107-5907のbright 状態 喜久永智之介(熊本大学) |
| 13:42 | W24a X-raying the Birth of Binary Neutron Stars and Neutron Star-Black Hole Binaries 樫山和己(東北大学) | 10:12 | W35a 降着X線パルサーのパルスプロファイル解析を用いた降着円柱からの放射異方性の解明 丹波翼(東京大学) |
| 13:54 | W25a SS433-W50 システムにおける物質流とその振舞い 井上一(宇宙航空研究開発機構) | 10:24 | W36a 降着駆動型X線パルサーの軟 X 線超過放射と低電離鉄輝線の系統的な解析 永井悠太郎(京都大学) |
| 14:06 | W26a 幾何学的に厚い降着円盤での磁束輸送に関する解析的・数値的研究 山本凌也(大阪大学) | 10:36 | W37a 四重極子磁場を有する中性子星への超臨界降着流の一般相対論的輻射磁気流体力学シミュレーション 井上壮大(筑波大学) |
| 14:18 | W27a ブラックホール近傍で起こる磁気リコネクションの磁気レイノルズ数依存性 小出美香(崇城大学) | 10:48 | W38a 中性子星 X 線連星 Aql X-1 の X 線及び可視光変動の研究(2) 庭野聖史(東京工業大学) |
| 14:30 | W28a 相対論的流体力学を記述する Godunov SPH 法の開発 北島敏大(名古屋大学) | 11:00 | W39a Be/X 線連星パルサー EXO 2030+375 のジャイアントアウトバースト後の活動 中島基樹(日本大学) |
| 14:42 | W29a 相対論的アルフベン波中の電子の放射過程 後藤瞭太(東京大学) | 11:12 | W40a X 線トランジェント MAXI J0709-153 (Be 星 LY CMa) の可視光分光観測 志達めぐみ(愛媛大学) |
| 14:54 | W30a 相対論的 Alfvén 波の崩壊不安定性のパラメータ依存性 石崎渉(京都大学) | 11:24 | W41a 中性子星の冷却に伴う超流動状態の出現がスピンドアウンに及ぼす影響 野田常雄(久留米工業大学) |
| 15:06 | W31b 歳差運動する超臨界降着円盤の光度変動 朝比奈雄太(筑波大学) | 11:36 | W42a SN 1987A 内の中性子星からの熱放射検出の可能性 土肥明(広島大学/理化学研究所) |
| 15:06 | W32b SS433 ジェット先端フィラメントの広帯域スペクトル解析 酒見はる香(鹿児島大学) | 11:48 | W43a Evolution of fast neutrino flavor conversions with scattering effects in core-collapse supernovae Delfan Azari, Milad (Waseda University) |
| 15:06 | W33b ブラックホールへの降着流最内縁領域からの定常的ジェット放出 井上一(宇宙航空研究開発機構) | 12:00 | W44b 中性子星内部のニュートリノ冷却が X 線バーストの元素合成に及ぼす影響 土肥明(広島大学/理化学研究所) |
| 15:18 | 質疑応答(10分) | 12:12 | 質疑応答(10分) |

| 3月15日(水) 午後・D会場 | | 3月16日(木) 午前・D会場 | |
|-----------------|---|-----------------|---|
| 13:30 | W45a 中性子星のクラストにおいて保持可能な弾性限界内の磁場の強度と形状 小嶋康史(広島大学) | 10:00 | W55a 親星外層中を伝搬するガンマ線バーストジェット of 3次元相対論的流体シミュレーション、解像度の影響 水田晃(理化学研究所) |
| 13:42 | W46a クラストの弾性力によって支えられた比較的強いトロイダル磁場を持つ中性子星 藤澤幸太郎(東京大学) | 10:12 | W56a ロングガンマ線バーストに付随する熱的コクーン放射の光度曲線モデリング 鈴木昭宏(東京大学) |
| 13:54 | W47a 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 屈楚舒(東京大学) | 10:24 | W57a Cocoon emission in neutron star mergers HAMIDANI, HAMID (Tohoku University) |
| 14:06 | W48a ガンマ線連星 LS 5039 : 「あすか」データによる~9秒パルスの確認 牧島一夫(東京大学) | 10:36 | W58a ガンマ線バースト残光の流体スケール乱流磁場による偏光 桑田明日香(東北大学) |
| 14:18 | W49a X線偏光観測衛星 IXPE によるマグネター 4U 0142+61 の偏光観測 内山慶祐(東京理科大学/理化学研究所) | 10:48 | W59a 相対論的衝撃波における下流乱流磁場生成効果による粒子加速 森川莞地(東京大学) |
| 14:30 | W50a マグネターのバーストにおける Expanding fireball 和田知己(東京大学) | 11:00 | W60a 観測史上最も明るいガンマ線バースト GRB 221009A の MAXI, Swift, NICER による観測 小林浩平(日本大学) |
| 14:42 | W51a 分子ガス観測で明らかになった高速電波バースト母銀河の多様性 廿日出文洋(東京大学) | 11:12 | W61a スーパーカミオカンデ実験におけるガンマ線バースト GRB221009A 由来のニュートリノ探索 藤田紗希(東京大学/カブリ数物連携宇宙研究機構) |
| 14:54 | W52a The molecular gas kinematics in the host galaxy of non-repeating FRB 180924B Hsu, Tzu-Yin (National Tsing Hua University) | 11:24 | W62a 重力波に付随するニュートリノ信号の予言: GRB211211Aを用いた検証 松井理輝(東北大学) |
| 15:06 | W53a 高速電波バースト可視光放射への同時・追跡観測制限 平松大地 (Center for Astrophysics Harvard & Smithsonian) | 11:36 | W63a ガンマ線バーストの可視・電波偏光同時観測から測る真の全エネルギー 當真賢二(東北大学) |
| 15:18 | W54a Detection rate of fast radio bursts in the Milky Way with BURSTT Hashimoto, Tetsuya (National Chung Hsing University) | 11:48 | W64a 超高エネルギーガンマ線バーストの二成分を持つジェットからの多波長残光放射 佐藤優理(青山学院大学) |
| 15:30 | 質疑応答(10分) | 12:00 | 質疑応答(10分) |

X. 銀河形成・進化

| | | | |
|-----------------|--|-------|---|
| 3月13日(月) 午後・H会場 | | 14:48 | X12b 重カレンズ天体を判別する機械学習モデルの作成 石田侑一郎(九州大学) |
| 13:00 | X01a The Formation of Pop III Star Clusters under UV radiation Xhemollari, Oerd (University of Tsukuba) | 14:48 | X13b 深層学習を用いた渦巻銀河のS型・Z型の分類 河田元氣(芝浦工業大学) |
| 13:12 | X02a The Age of Discovery with the James Webb Space Telescope: Excavating the Spectral Signatures of the First Massive Black Holes 稲吉恒平(北京大学) | 14:48 | X14b 異常検知を用いた暗黒物質サブハロー探索システムの構築 坂本朋弥(芝浦工業大学) |
| 13:24 | X03a Morphologies of Galaxies at $z \approx 9 - 16$ Uncovered by JWST/NIRCam Imaging 小野宜昭(東京大学) | 15:00 | X15b HSC-SSPデータを用いた天の川銀河トモグラフィー2 鈴木善久(東北大学) |
| 13:36 | X04a Mass-Metallicity Relation of Galaxies at $z=5-9$ with Improved Reduction and Calibration of First Batch of JWST/NIRSpec Data 中島王彦(国立天文台) | 15:12 | 質疑応答(10分) |
| 13:48 | X05a Early Results on Early Galaxies from the GLASS JWST Early Release Science Program Morishita, Takahiro (Caltech/IPAC) | | |
| 14:00 | X06a JWST observations of ALMA [O III] $88\mu\text{m}$ emitters in the epoch of reionization 橋本拓也(筑波大学) | | |
| 14:12 | X07a EIGER 初期成果: 宇宙再電離における銀河の役割と銀河間ガスの進化および超大質量ブラックホールの形成 柏野大地(名古屋大学) | | |
| 14:24 | X08a 遠方銀河シミュレーションを用いた [O III] 輝線強度計算と輝線比診断 仲里佑利奈(東京大学) | | |
| 14:36 | X09b $4 \leq z \leq 7$ の星形成銀河における超大質量ブラックホールの成長率と母銀河との関係 松井思引(東京大学) | | |
| 14:36 | X10b 高赤方偏移に存在する Quenching 銀河の形成メカニズムの解明 柿元拓実(総合研究大学院大学) | | |
| 14:36 | X11b Near-Infrared Characterization of Ultra-Diffuse Galaxies in Abell 2744 Cluster by JWST/NIRISS imaging 池田遼太(総合研究大学院大学/国立天文台) | | |

| 3月14日(火) 午前・H会場 | | 3月14日(火) 午後・H会場 | |
|-----------------|--|-----------------|--|
| 10:00 | X16a 高赤方偏移の銀河衝撃波による銀河間空間における構造形成 照井勇登(防衛大学校) | 13:30 | X26a 面分光観測によるライマン連続光放射銀河候補の Ly α 輝線ハローの分析 小森楓雅(早稲田大学) |
| 10:12 | X17a Dusty-gas 内を漂う種ブラックホールの Bondi-Hoyle-Lyttleton 降着: 円盤 shadow 角依存性 尾形絵梨花(筑波大学) | 13:42 | X27a Discovery of a protocluster of massive quiescent galaxies at $z=2.77$ 伊藤慧(東京大学) |
| 10:24 | X18a Observation of the [O III] 52 micron emission from a $z=7.2$ galaxy Ren, Yi W. (Waseda University) | 13:54 | X28a Characterizing CO Emitters in SSA22-AzTEC26 Field Huang, Shuo (The University of Tokyo) |
| 10:36 | X19a JWST Exploration of Early Growth History of Supermassive Black Holes and Host Galaxies at $z > 6$: First Results 尾上匡房(北京大学KIAA/Kavli IPMU) | 14:06 | X29a JWST mid-infrared number counts and inferred cosmic star-formation history Goto, Tomotsugu (National Tsing Hua University) |
| 10:48 | X20a ALMA 多天体観測で調べる高赤方偏移低光度クエーサーでの原始的共進化 泉拓磨(国立天文台/東京都立大学) | 14:18 | X30a IMF と銀河の形状を変化させたダスト進化モデルと遠方銀河への適用 河本慧理奈(名古屋大学) |
| 11:00 | X21a Molecular outflow in the reionization-epoch quasar J2054-0005 revealed by OH 119 μm observations Salak, Dragan (Hokkaido University) | 14:30 | X31a HSC-SSP と CHORUS サーベイデータを基にした LAE カタログの作成 菊田智史(国立天文台) |
| 11:12 | X22a Massive molecular gas companions uncovered by VLA CO(1-0) observations of the $z = 5.2$ radio galaxy TN J0924-2201 Lee, Kianhong (University of Tokyo) | 14:42 | X32a The second data release (DR2) of the Uchuu simulations: 銀河カタログ 石山智明(千葉大学) |
| 11:24 | X23a JWST/NIRSpec の線拡がり関数を用いて探る遠方銀河の動力学と星間物質 磯部優樹(東京大学) | 14:54 | X33a SMBH質量-バルジ質量関係の赤方偏移進化 清水達生(北海道大学) |
| 11:36 | X24a Ruby-Rush: $z \sim 5$ の原始銀河団で加速的に誕生する巨大銀河の探査 高橋宏典(東北大学) | 15:06 | X34a PFS 時代の galaxy-IGM study に向けた宇宙論的流体シミュレーション 奥裕理(大阪大学) |
| 11:48 | X25a Star Formation Rate Functions at $z \geq 4$ indicated from GSMFs and MS relations 浅田喜久(京都大学) | 15:18 | X35a Impact of magnetic field and thermal conduction onto cold streams accreting massive high redshift galaxies Ledos, Nicolas (Osaka University) |
| 12:00 | 質疑応答(10分) | 15:30 | 質疑応答(10分) |

| 3月15日(水) 午前・H会場 | | 3月15日(水) 午後・H会場 | |
|-----------------|---|-----------------|---|
| 10:00 | X36a Red Spiral Galaxies at Cosmic Noon Unveiled in the First JWST Image 札本佳伸(早稲田大学) | 13:30 | X46a CO(2-1)ガス分布形態の定量的・統計的解析による銀河棒状構造と分子ガス中央集中度の関係について 山本卓(筑波大学) |
| 10:12 | X37a High-resolution ALMA study of structure and gas kinematics of cluster galaxies at $z=1.46$ 池田遼太(総合研究大学院大学/国立天文台) | 13:42 | X47a Mixing-Fallback 超新星爆発モデルで探る極金属欠乏銀河の豊富な鉄の起源 渡辺くりあ(総合研究大学院大学) |
| 10:24 | X38a 強輝線銀河における電離領域の物理状態と電離光子脱出率 藤谷愛美(名古屋大学) | 13:54 | X48a すばる望遠鏡/Suprime-Cam, FOCASによるかみのけ座銀河団の $H\alpha$ 光度関数 太田隼(法政大学) |
| 10:36 | X39a Statistical study of recently quenched galaxies in preparation for PFS MAO, Zhiying (Tohoku University) | 14:06 | X49a 電離光子放射天体 Mrk54Iにおける $[O III] 88 \mu m$ と $[C II] 158 \mu m$ の検出とその意味 - 高赤方偏移 ALMA 研究への示唆 II 浦遼太(筑波大学) |
| 10:48 | X40a 中間赤方偏移における極端に大きな星形成率を示す銀河種族の探査 (II) 佐久間昂太(東北大学) | 14:18 | X50a 近傍渦巻き銀河 M74における巨大分子雲の Type 分類と進化 出町史夏(名古屋大学) |
| 11:00 | X41a GALAXY CRUISE: summary of the 1st season 田中賢幸(国立天文台) | 14:30 | X51a Estimating the total mass and onset timing of galactic winds in dwarf galaxies using Galactic Archaeology 松井瀬奈(名古屋大学) |
| 11:12 | X42a GALAXY CRUISE: Morphological classification with deep learning 嶋川里澄(NAOJ) | 14:42 | X52a すばる望遠鏡/HSCで探るこぐま座矮小楕円体銀河の星形成史の空間依存性 佐藤恭輔(法政大学) |
| 11:24 | X43a Quantitative investigation of the impact of mergers in AGN activity in HSC-SSP Omori, Kiyooki (Nagoya University) | 14:54 | X53a Galaxy Collisions and Dynamical Evolution of the Andromeda Galaxy 森正夫(筑波大学) |
| 11:36 | X44a 銀河衝突後期段階における光電離アウトフロー速度の進化 油谷直道(鹿児島大学) | 15:06 | X54a すばる望遠鏡/HSCによる深観測で探る NGC5466 広域分布 小上樹(総合研究大学院大学) |
| 11:48 | X45a HINOTORI: a Statistical Study of Rejuvenated Galaxies with the MaNGA Sample 田中匠(東京大学) | 15:18 | 質疑応答(10分) |
| 12:00 | 質疑応答(10分) | | |

Y. 天文教育・広報普及・その他

| 3月16日(木) 午前・H会場 | | 3月14日(火) 午前・B会場 | |
|-----------------|---|-----------------|--|
| 10:00 | X55a Exploring Galaxy Spectra by Deep Learning Iwasaki, Daiki (Nagoya University) | 10:00 | Y01a 高校理科必修科目に関するカリキュラム研究 (I) 縣秀彦(国立天文台) |
| 10:12 | X56a Generative Model of Simulated Galaxies for Fitting Observed SEDs Cooray, Suchetha (Nagoya University) | 10:12 | Y02a 東京学芸大学新 40cm 鏡による屋間の小学校の教室からの遠隔月面観測 土橋一仁(東京学芸大学) |
| 10:24 | X57a Application of machine learning to the spatially resolved SFR-Mass relation SHI, Wen E. (Nagoya University) | 10:24 | Y03a ひので衛星といっしょに太陽を観測しよう! 2010-2022 矢治健太郎(核融合科学研究所) |
| 10:36 | X58a 改良版 Balsara Switch を用いた、SPH法 の持つ空間ゼロ次誤差が誘発する偽 Kelvin-Helmholtz 不安定の抑制 湯浅拓宏(筑波大学) | 10:36 | Y04a 岡山クーデ分光乾板デジタルアーカイブの予備調査 III 柳澤顕史(国立天文台) |
| 10:48 | X59a Measuring the dark matter halo of a dwarf spheroidal galaxy through normalizing flows Lim, Sung Hak (Rutgers, The State University of New Jersey) | 10:48 | Y05a 東京電機大学天文学研究室の立ち上げとその運営 樋口あや(東京電機大学) |
| 11:00 | X60a 高分解能矮小銀河形成シミュレーションで探るコアカスプ問題 金子克大(東京大学) | 11:00 | Y06b 小中学校理科におけるプラネタリウム学習投影の現状と課題 II 二瓶美生(上越教育大学) |
| 11:12 | X61a ダークマターハローの scaling relation の起源とカスプ-コア遷移 金田優香(筑波大学) | 11:00 | Y07b 高校生・大学生を対象としたプラネタリウム番組制作を通じた天文教育の実践報告(2) 大朝由美子(埼玉大学) |
| 11:24 | X62a 銀河衝突によるダークマター欠乏銀河の形成: フィードバックモデル依存性について 大滝恒輝(筑波大学) | 11:00 | Y08b 高校生・大学生を対象としたプラネタリウム番組制作を通じた天文教育の実践報告(1) 小田達功(さいたま市宇宙劇場) |
| 11:36 | X63a 宇宙論的 N 体シミュレーションデータから探るダークマターサブハローの角運動量ベクトルの進化 長船大樹(鹿児島大学) | 11:12 | Y09b 教育用簡易電波干渉計プロトコル "j-VLBI" 構想 Vol.3.0 木村正樹(株式会社リバネス) |
| 11:48 | 質疑応答(10分) | 11:12 | Y10b 授業教材としての受信実験専用超小型衛星を目指した放射線耐性試験の試行 内山秀樹(静岡大学) |
| | | 11:12 | Y11b 中高における科学史を踏まえた天文教育 - 年周視差と地球の公転の学習 - 林隆之(麻布中学校・高等学校) |
| | | 11:24 | Y12b 国際天文学オリンピックへ日本チーム初参加 中道晶香(京都産業大学) |

| | | | | | | |
|-------|------|--|----------------|-------|-----------|--|
| 11:24 | Y13b | 東京学芸大学新 40cm 鏡の広帯域フィルター及び冷却 CCD カメラの性能評価 西浦慎悟(東京学芸大学) | 3月14日(火)午後・B会場 | 13:30 | Y18a | 国立天文台「市民天文学」プロジェクト GALAXY CRUISE への参加理由調査 臼田 - 佐藤功美子(国立天文台) |
| 11:24 | Y14b | 光学赤外線天文学観測データアーカイブシステムにおける検索高速化の研究 小澤武揚(国立天文台) | | 13:42 | Y19a | ダジック・アースを用いた天文教育の調査 萩野正興(国立天文台) |
| 11:36 | Y15b | 天文衛星による観測データを用いたプログラミング教材の作成 村上弘志(東北学院大学) | | 13:54 | Y20a | 大妻女子大学での宇宙に関する企画展の開催 下井倉ともみ(大妻女子大学) |
| 11:36 | Y16b | 釜山 IAU 総会における外国語固有名詞の発音調査 佐藤勲(宇宙用語研究会) | | 14:06 | Y21a | 夜空の明るさ測定へのスマートフォン搭載カメラの適用可能性評価 小野間史樹(星空公団) |
| 11:48 | Y17c | 紀伊半島周辺の小中学生を対象とした天体望遠鏡の組み立て講座実施報告 池田浩之(和歌山工業高等専門学校) | | 14:18 | Y22a | 市民科学で読み解く「光害」と「光害研究」の動向 大西浩次(長野工業高等専門学校) |
| | | 質疑応答(10分) | | 14:30 | Y23a | 高齢者のウェルビーイングに貢献する天文学 鴈野重之(九州産業大学) |
| | | | | 14:42 | Y24a | 低頻度大規模災害としての宇宙由来イベントの学際的研究への予備的調査 玉澤春史(京都大学/京都市立芸術大学) |
| | | | | 14:54 | Y25a | 元素楽章×元素合成: 元素擬人化で表現する宇宙の元素合成 西村信哉(理化学研究所) |
| | | | | 15:06 | Y26a | 女性計算係の英米日比較 馬場幸栄(国立科学博物館) |
| | | | | | Y27c | 元素楽章×元素合成 西村信哉(理化学研究所) |
| | | | 15:18 | | 質疑応答(10分) | |

予稿ページ

Z101r Early Planet Formation in Embedded Disks (eDisk): overview and first results

Nagayoshi Ohashi (ASIAA), the eDisk collaboration

The ubiquitous detections of substructures, particularly rings and gaps, in protoplanetary disks around T Tauri stars raise the intriguing possibility that at least some planet formation may have started already during the embedded stages of star formation and evolution. In order to address exactly how and when planet formation might begin, the Large Program “Early Planet Formation in Embedded Disks (eDisk)” has been conducted with the Atacama Large Millimeter/submillimeter Array (ALMA), aiming to search for substructures in disks around 12 Class 0 and 7 Class I protostars in nearby (<200 pc) star forming regions at a resolution of ~ 5 au ($0''.04$) in the 1.3 mm continuum. The first-look results show that the continuum emission, mostly arising from disks around the sample protostars, have relatively few distinctive substructures, such as rings and spirals, in marked contrast to Class II disks. The drastic difference from Class II disks may suggest that substructures quickly develop in disks when the systems evolve from protostars to Class II sources or alternatively that high optical depth of the continuum emission could obscure the internal structures. Kinematic information also obtained through CO isotopologue lines and other lines reveal the presence of Keplerian disks around protostars, providing us with crucial physical parameters, in particular, the dynamical mass of the central protostars. In this presentation, we describe the background of the eDisk program, the sample selection and their ALMA observations, the data reduction, and also highlight representative first-look results.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Z102a eDisk により得られた原始星円盤の観測の輻射輸送モデル

高桑繁久, 西合一矢, 城戸未宇 (鹿児島大学), 大橋永芳 (ASIAA), eDisk Team

本講演では、ALMA 大型観測プログラム eDisk の観測結果を再現するための輻射輸送モデルの結果について紹介したい。eDisk は 19 の原始星円盤を 1.3-mm ダスト連続波、 $C^{18}O$ (2-1), その他の Band 6 分子輝線で 5 au に及ぶ空間分解能で観測している。その結果、複数の原始星円盤において、1.3-mm ダスト連続波が短軸方向に非対称な構造を現していることや、非常に高いピーク輝度温度 (>150 K) を示していることが明らかになってきている。さらに $C^{18}O$ (2-1) 輝線がダスト円盤のピーク方向で弱くなっていることや、一方で $C^{18}O$ 輝線で見える円盤の半径はダスト円盤の半径よりも大きいことも示されている。今回、我々はこのような観測結果を再現すべく、RADMC3d を用いた原始星円盤の輻射輸送モデルの構築をおこなった。その結果、1.3-mm ダスト連続波の短軸方向に非対称な構造は、flaring した光学的に厚いダスト円盤のモデルにより再現できることが明らかになった。これは原始星円盤においては、Class II 天体周囲の円盤で見られている dust settling がまだ起こっていない可能性を示している。さらに、ダスト連続波の高い輝度温度は、中心の原始星からの passive な heating のみでは説明できず、原始星円盤自身が viscous accretion heating により輝いている必要があることが明らかになった。また、 $C^{18}O$ 輝線がダストのピークで輝度が弱くなっているのは輻射輸送の効果であって実際に $C^{18}O$ 分子の存在量が減っているわけではないことも示された。一方、円盤の外縁部では $C^{18}O$ 分子の広がりの半径が、ダスト円盤の半径よりも実際に大きい可能性も示された。本講演ではこのような結果を紹介するとともに、本結果が ALMA による原始星や惑星形成の研究にどのようなインパクトを及ぼす可能性があるのかも議論していきたい。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Z103a eDisk IRAS16253-2429 観測を例にした原始星系の構造・力学解析

麻生有佑 (国立天文台、韓国天文研究院), the eDisk Collaboration

原始星系が惑星形成の場として注目を集める中、その理解のために原始星系の円盤及びその周辺の構造や力学は重要である。そのような背景のもと原始星 19 天体からの 1.3 mm 連続波及び分子輝線を高感度、高空間分解能で観測する ALMA 大型プロジェクト eDisk が成果を出している。前回の年会では eDisk サンプルの一つ IRAS16253-2429 の初期成果として、同原始星周囲には半径 20-30 au のケプラー円盤、それを囲む SO リングと東から円盤への SO ストリーマー、さらに外を覆う落下エンベロープという構造があることを報告した。本講演では構造と力学に関するより詳細な解析結果を報告する。

まず 1.3 mm 連続波は東西に伸びている (P.A.=113 度)。これを軸対称を仮定したモデルでフィットしたところ、東に第二成分があり、北より南に放射が広がっていることがわかった。前者はストリーマーがある方向と一致し、後者は厚い円盤の外壁と解釈できる。エンベロープを捉えた C18O J=2-1 輝線の位置速度図は、我々が求めた中心星質量 0.14 Msun と過去に報告された比角運動量 45 km/s au を用いて Ulrich エンベロープモデルで説明できる。同エンベロープモデル中の弾道と比較したところ、SO ストリーマーの位置と速度は円盤面より 30 度上空からの弾道と矛盾しないこともわかった。位置速度図を用いた解析は eDisk の他の天体でも試みられており、全サンプルを通じた描像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](#)

Z104a eDisk First-look Result: 原始星 Ced110 IRS4A 周囲の円盤におけるサブストラクチャー形成の可能性

崔仁士 (ASIAA), the eDisk team

近年の ALMA を用いた観測から、T タウリ型星周囲の円盤に惑星起源とも考えられるギャップやリングといったサブストラクチャーが一般的に見られることが明らかとなってきた。これらの背景から、さらに若い原始星周囲の円盤に同様の構造が見られるのかが惑星形成の理解の上で重要となっている。ALMA 大型プロジェクト eDisk は原始星 19 天体をターゲットとし、1.3 mm 連続波及び分子輝線の高感度、高空間分解能観測から原始星周囲の円盤におけるサブストラクチャーの有無を調査している。本公演では eDisk の初期成果として、原始星 Ced110 IRS4 の観測結果について報告する。~0.05" (~10 au) 分解能での 1.3 mm 連続波の観測から Ced110 IRS4 は二重星であることが明らかとなった。Ced110 IRS4A 及び IRS4B に付随する 1.3 mm 連続波は円盤のような形状をしており、ダスト円盤に由来すると考えられる。CO 同位体の輝線観測では、実際に Ced110 IRS4A を中心としたガスの回転運動が見られ、位置速度図の解析から回転速度はおよそケプラー回転に従うことが示唆された。Ced110 IRS4A に付随する 1.3 mm 連続波 (半径 ~110 au) は、T タウリ型星周囲の円盤に広く見られるようなはっきりとしたサブストラクチャーは示さない一方で、その長軸方向半径 ~40 au に小さなバンブ構造を示すことが明らかとなった。輝度分布モデルとの比較によると、このバンブ構造は半径 ~40 au に位置する浅いリング構造で説明ができる。明らかとなった浅いリング構造は若い円盤内でのサブストラクチャー形成を示唆するかもしれないが、連続波の高い輝度温度から連続波が光学的に厚い可能性が考えられるため、光学的に薄い波長でのさらなる観測が必要である。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Z105a Class 0 原始星 CB 68 の降着ストリーマーと化学構造

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

ALMA の誕生によって若い星の周囲に付随する円盤を詳細に観測することが可能になり、リングギャップ構造など惑星の存在を示唆する円盤の内部構造が検出されてきた。このような内部構造は T タウリ型星周囲の円盤で普遍的にみられていることから、惑星が形成され始めるのはそれよりも若い原始星段階であるという理解が一般的になりつつある。つまり、惑星形成過程を追うためには Class 0/I の原始星に着目する必要がある。ALMA 大型観測プログラム eDisk は、原始星 19 天体に対して超高分解能で円盤の内部構造、及び周囲の落下エンベロープや双極分子流も観測し、原始星における惑星形成の全体像を得ることを目的としている。秋季年会では eDisk の対象天体の 1 つである CB 68 に対して 1.3mm ダスト連続波、 $C^{18}O$ ($J = 2-1$)、 ^{12}CO ($J = 2-1$) の 3 輝線の初期解析結果を報告した。本講演ではその他分子輝線の観測結果と $C^{18}O$ ストリーマーの詳細な解析結果について報告する。ダスト連続波は北西から南東に伸びた非常にシャープな構造 ($i=74$ degree) を示しており、非軸対象な構造を持つことも確認された。新たな解析により、北側から、このダスト円盤に繋がる細長い曲線構造が ^{12}CO 、 $C^{18}O$ 、 ^{13}CO の 3 輝線で検出された。その位置速度図を作成した結果、中心星に対して回転しつつ落下するガスストリーマーの描像が確認された。さらに SO や SiO、 CH_3OH といったショックトレーサーが、ストリーマーが円盤と繋がるポイントで検出され、アクリーションショックをトレースしている可能性も示された。本講演では力学、化学の両面でこのストリーマーの起源について議論していきたい。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Z106a ALMA アーカイブデータを用いた太陽系近傍星形成領域における原始星アウトフローの統計的研究 (6) : アウトフローの性質と原始星円盤との関係

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

原始星からの双極分子流 (アウトフロー) は様々な環境の星形成領域において普遍的に観測され、星形成活動の最も判別しやすい指標の一つとして知られている。近年、放出されるアウトフローとその駆動源である原始星円盤の物理的性質は、分子雲コアを貫く磁場の向きなどの初期条件によって変化することが数値計算によって示されていることから (e.g., Hirano et al. 2020)、原始星周辺のガスを統計的に特徴化し、多様性の起源について理解を深めることが重要である。我々は太陽系近傍星形成領域の原始星を網羅的に観測したアーカイブデータの解析を進めており、本発表では距離 ~ 400 pc に位置する Serpens 及び Aquila に位置する Class 0/I 段階の原始星 41 天体の 1.3mm 帯データ解析を紹介する。本データの空間分解能は ~ 300 au であるため、 $^{12}CO(2-1)$ 輝線よりアウトフローの有無とその空間速度構造を明らかにするには十分である。しかし原始星円盤のサイズや内部構造は特定できないため 1.3mm 連続波ピーク強度を円盤の質量の指標とした。システム速度に対して相対速度 5 km s^{-1} を上限値として CO アウトフローが連続波源に付随していないものに関しては連続波強度が全体のサンプルの中でも小さい部類に集中し、比較的質量の軽い円盤が形成されていることが示唆される。一方でアウトフローが同定された天体に関してはその速度と連続波強度との間に緩い相関が見られた。赤外線観測より求められた T_{bol} とは無相関であったことから、アウトフローの多様性は進化段階よりは駆動源 (円盤) 自体に起因する可能性がある。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Z107a ALMA アーカイブデータを用いた太陽系近傍星形成領域における原始星アウトフローの統計的研究 (7)：原始星 WL 17 は本当に若いのか？

原田直人, 所司歩夢, 山崎駿, 佐藤亜紗子, 町田正博 (九州大), 徳田一起 (九州大/国立天文台), 立原研悟 (名古屋大)

干渉計を用いた近年の高分解能連続波観測により、原始惑星系円盤が普遍的にリング・ギャップ構造を持つことが明らかとなった。円盤構造と惑星形成過程は密接に関係するため、このような構造がいつから存在するのかを観測的に制限することが重要である。星の進化段階の指標として SED による Class 分類がよく用いられるが、より詳細には中心星周囲の分子ガスの性質を調査する必要がある。 ρ Ophiuchus 分子雲に位置する原始星 WL 17 は、Class I 天体でありながら半径 ~ 10 au のギャップ構造を伴う円盤を持つ。円盤半径は ~ 20 au であり、DSHARP 天体と比べると比較的小さい。単一鏡により $\sim 30''$ スケールのアウトフローが付随していることが確認されているが、その根本が原始星円盤に続いているかどうかまではわかっていなかった。我々は太陽系近傍星形成領域内の合計 100 天体を超える ALMA アーカイブデータ (2019.1.01792.S) の解析を行っており、本講演では WL 17 のアウトフロー構造の解析結果を報告する。まず Herschel の観測により得られた水素分子の柱密度マップを用いて、WL 17 が $\sim 2 \times 10^{22} \text{ cm}^{-2}$ のピーク柱密度を持つ分子雲コアに埋もれていることを確認した。次に、ALMA の CO ($J=2-1$) 輝線データ (分解能 $\sim 1'' = 137 \text{ au}$) では相対速度 $\geq 5 \text{ km s}^{-1}$ のアウトフローが検出され、その根本は連続波源に繋がっていることが明らかとなった。一方で、アウトフローの赤方偏移成分と青方偏移成分の向きが異なるなど複雑な構造を持つこともわかった。このように、明瞭なギャップ構造を持つ WL 17 は今もなおアウトフローを駆動する若い進化段階にあることを明らかにした。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Z108r eDisk サーベイで得られた若い原始惑星系円盤の性質の理論的解釈

富田賢吾 (東北大学)

降着率の高い若い進化段階 (Class-0/I) にある原始惑星系円盤はより進化の進んだ Class-II 段階の円盤よりもコンパクトでありながら、同等以上の質量を持つことが観測的に知られている。一方、磁気流体シミュレーションの結果からは、降着率の高い段階では原始惑星系円盤は大きな質量を持ち、重力不安定性によって渦状腕を生じたり、場合によっては分裂を起こして連星系を形成することが理論的に予想されている。我々はこのような若い原始惑星系円盤の形成と進化を直接的に明らかにするため、ALMA による系統的な高空間分解能サーベイ “eDisk” を行った。その結果、従来の予想通りコンパクトな円盤が多く見つかった一方、大きな半径を持つ円盤も含まれていた。また、従来分解できていなかった連星系が発見された天体もあったが、顕著な渦状腕を持つ円盤が少なかったことは単純な理論的予測とは異なっていた。

本講演では eDisk サーベイで得られた Class-0/I 天体の原始惑星系円盤の性質について、主にその力学的な構造に着目して理論的立場からの解釈を議論する。特に、円盤のサイズ及び質量と進化段階の関係、円盤進化における各種角運動量輸送過程や重力不安定性の役割について論じる。個々の天体についての詳細な解析は現在進行中のため、本講演では DSHARP をはじめとする Class-II 天体のサーベイ観測との比較を含めて全体的な傾向について議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Z109r FAUST: Fifty AU STudy of the chemistry in the disk/envelope system of Solar-like protostars

大屋 瑠子 (京大/基礎物理学研究所), Cecilia Ceccarelli (Univ. Grenoble Alpes), Claudio Codella (INAF), Claire J. Chandler (NRAO), 坂井南美 (理研), 山本智 (東大), FAUST team members

近年、惑星系の構造形成における多様性が明らかになってきているが、その起源は星形成過程のより初期まで遡ると考えられる。さらに、分子雲コアのガスでは、有機分子の組成に天体間での化学的多様性があることが示唆される。極端な例としては、原始星近傍で複雑な有機分子の輝線が強く検出される hot corino 天体や、不飽和な炭化水素に富む warm carbon-chain chemistry 天体が見出されてきた。しかし、このような化学的多様性が惑星系形成の母体となる原始星円盤形成領域 (~ 50 au スケール) でも見られるのか、どのような分子種がエンベロープガス (~ 2000 au スケール) から円盤までもたらされるのかについては、未だ系統的に理解されていない。

上記の問いに挑むため、ALMA large project “FAUST” (P.I. S. Yamamoto) では、太陽型原始星の形成初期段階に着目し、将来惑星系が形成されるサイズスケール (~ 50 au) における物質組成を探究することで、化学組成進化の総合的な理解を目指す。この目的のため、分子雲スケールにおける化学的特徴が異なる 13 個の Class 0, I 原始星天体に対して、一律な空間解像度と感度での化学サーベイ観測 (ALMA Band 3, 6) を実施した。各天体の観測データは、特に以下の 4 点に着目してそれぞれ解析を進めている。(1) (50 – 2000) au スケールにおけるエンベロープ成分と円盤成分の空間的解像。(2) 有機分子組成の特徴付け。(3) イオン化領域の探査。(4) 重水素濃縮度の評価。いくつかの天体での詳細な成果は、個別の講演で報告する。本講演では、13 天体での観測結果の比較を通して、円盤/エンベロープ構造における化学組成とその多様性を俯瞰する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Z110a FAUST: 非常に若い低質量原始星 IRAS 15398–3359 の物理・化学構造

大小田 結貴 (RIKEN), 大屋 瑠子 (東京大学), Logan Francis, Doug Johnstone, (NRC-Herzberg/U. Victoria), 犬塚修一郎 (名古屋大学), Cecilia Ceccarelli (IPAG), Claire Chandler (NRAO), Claudio Codella (Arcetri), 坂井 南美 (RIKEN), 山本 智 (東京大学), and FAUST Team

IRAS 15398–3359 は Class 0 の低質量原始星 ($T_{\text{bol}}=44$ K) で、おおかみ座の分子雲 ($d=155$ 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、その運動からアウトフローは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、高分解能観測で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 $0.007_{-0.003}^{+0.004} M_{\odot}$ と見積もられた (Okoda et al. 2018)。原始星周り数 10^3 au では、不飽和炭素鎖分子に恵まれ、Warm Carbon-Chain Chemistry (WCCC) 天体である (Sakai et al. 2009)。

我々は、ALMA Large program FAUST でこの天体に対する高感度・高分解能観測 (~0."2-0."3) を行い、数 10^3 au スケールと数 10 au スケールについてそれぞれ結果を得た。ACA と 12 m Array の観測から、 H_2CO , SiO , SO , CH_3OH の分子輝線を用いて、原始星の南東にアーク構造を検出した。これらの分子輝線は主に衝撃波をトレースする。 H_2CO と SO では、原始星近傍を通して北西側に伸びる構造も見える。 H_2CO の運動を調べたところ、原始星から離れるにつれて加速する運動であることがわかった。これはアウトフローに特徴的な運動であり、過去に吹いたアウトフローの名残であると考えられる。また、原始星近傍数 10 au スケールの化学構造を調べると、 CH_3OH の高励起輝線 ($E_{\text{upper}}=61-537$ K) に加え CH_3OCHO と CH_2DOH を検出した。LTE を仮定して CH_3OH の温度、柱密度、beam filling factor を見積もったところ、それぞれ 119_{-26}^{+20} K, $3.2_{-1.0}^{+2.5} \times 10^{18} \text{ cm}^{-2}$, $0.018_{-0.003}^{+0.005}$ となった。これらの結果は、この天体が複雑な有機分子を併せ持つ hybrid 天体であることを示す。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Z111a Probing the Flared Disk of IRAS04368+2557 with Sulfur-bearing Molecules (FAUST)

Ziwei E. Zhang¹, Nami Sakai¹, and the FAUST Team.

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

IRAS04368+2557 in L1527 is a Class 0/I protostar with a clear disk-envelope system which is revealed by previous ALMA observations. In this presentation, we discuss the flared structure of this source with observed sulfur-bearing molecules included in the FAUST program. The analyses of molecular distributions and kinematics have shown that CS, SO, and OCS trace different regions of the disk-envelope system, such as the infalling-rotating envelope and the centrifugal barrier. To evaluate the temperature across the disk, we derive rotation temperature with the two observed SO lines. The temperature profile shows a flared “butterfly” structure with high temperature being ~ 50 K and low temperature “hollow” coinciding with the continuum peak, indicating heating from accretion rather than radiation. Other physical properties, including column densities, are also estimated and further used to demonstrate the vertical structure of L1527.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Z112a Class 0/1 小質量原始星 R CrA IRS7B における 50 au スケールの化学組成分布

渡邊祥正 (芝浦工大), Linda Podio (INAF), 大屋瑤子 (京大基研), 山本智 (東京大学), FAUST team

R CrA IRS7B は南のかんむり座にある Class 0/I の小質量原始星である。この原始星の周辺領域は Herbig Ae 星である R CrA からの強い紫外光の影響を受けた結果、広がった分子ガスの温度が約 50 K と高く (Lindberg et al. 2012)、その分子組成も CN や CCH などの光乖離領域で特徴的な分子の存在量が多い (Watanabe et al. 2012, Lindberg et al. 2015) ことが知られている。このように IRS7B は星団形成領域内で紫外光の影響を受けて形成された原始星の特徴を調べるのに適した原始星である。

我々は原始星 IRS7B を ALMA Large Program FAUST の観測対象天体の 1 つとして、約 50 au スケールの空間分解能で観測を行った。ALMA Band 6 による観測の結果、IRS7B では互いに約 86 au 離れた強度が約 10 倍異なる 2 つの連続波天体を検出した。そのうち強度の強い連続波ピークの IRS7B1 には、SO と C¹⁸O が付随しており、さらに IRS7B1 を中心とする回転運動が検出された。一方で、IRS7B1 に付随した CS や CH₃OH などの分子輝線は弱く、特に Hot Corino に見られる複雑な有機分子は検出されなかった。その理由として、紫外光によって温度が高い環境において、原始星形成時に分子がダストに吸着しづらかったことで、ダストの表面反応による有機分子形成が抑制された可能性がある。他の可能性として、Class 0/I の原始星であるため化学進化がやや進み存在していた有機物が壊されていることが考えられる。本講演では、角運動量保存を仮定した回転落下モデル FERIA (Oya et al. 2022) を用いて IRS7B1 周辺の SO と C¹⁸O の運動を解析した結果についても紹介する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Z113a Multiple star formation in the VLA 1623–2417 region revealed by FAUST

Satoshi Ohashi (RIKEN), Claudio Cdella (INAF-OAA), Seyma Mercimek (INAF-OAA), Nami Sakai (RIKEN), Claire J. Chandler (NRAO), Cecilia Ceccarelli (Univ. Grenoble Alpes), Satoshi Yamamoto (Univ. Tokyo), and FAUST team

The VLA 1623-2427 is a complex star-forming region because of a protostellar binary and its associated circumstellar disk (A1 + A2), plus a Class 0 protostar (B) at 150 au away from the binary. In addition to these protostars, another protostar (W) is located 2000 au away, making it a complex star-forming region. We have performed H^{13}CO^+ ($J = 3 - 2$), CS ($J = 5 - 4$), CCH ($N = 3 - 2$), CH_3OH , and C^{18}O ($J = 2 - 1$) molecular observations of this region with the ALMA Large project, FAUST.

We found that the disk minor axis of the circum-binary disk and outflow direction are inconsistent, suggesting that the angular momentum and magnetic field may be misaligned. We also found that the CH_3OH emission lines are detected for the first time in the vicinity of protostars A1 and B. Furthermore, we observed the gas in the envelope by the C^{18}O emission and found a streamer-like structure connecting the binary system A+B and protostar W. This result suggests that the protostar W may have been ejected from the A+B binary during its protostellar formation.

We will discuss the multiple star formation of VLA 1623 by summarizing these results.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Z114a Class 0 原始星連星系 VLA1623A1/A2/B システムの固有運動の解析

西合 一矢、児玉沙江、城戸未宇、高桑繁久 (鹿児島大学)、川辺良平 (国立天文台)、原千穂美 (NEC)

近年の ALMA 望遠鏡による高感度・高解像度観測により、星形成初期段階にある天体がこれまでの予想を遥かに超えて複雑な非対称な構造を持つことが徐々に明らかにされつつある。Class 0 原始連星天体である VLA1623A1/A2 においても、2つの原始連星が放出源と思われる不揃いな多重双極分子流が検出され (Hara et al. 2021)、また周連星円盤と outflows の軸が揃っていないことが報告されている (Ohashi et al. 2022)。さらに周連星円盤は 0.87mm 1.3mm 連続波で南側に強く偏った輝度分布を見せている。しかし、これらの構造形成を理解するための基礎である原始連星の公転運動に関してはよくわかっていなかった。今回、我々は VLA1623 システムに関する過去 9 年にわたる EVLA および ALMA 望遠鏡で取得された高分解能観測データを解析することで原始連星の公転運動運動を検出することができたので報告する。検出された公転運動は周連星ガス円盤の回転方向と一致し、円軌道を仮定すると公転周期はおよそ 300 年と見積もられた。これは周連星ガス円盤の回転などから推定された値とほぼ一致しており、outflow 上に見られる周期構造を連星公転起源とする説と一致する結果であった。重心位置に対する対称性から原始連星の質量比はほぼ 1 に近い等質量連星であることもわかった。さらに我々は VLA1613A のおよそ 100 天文単位西にある強い遠赤外・サブミリ波源である VLA1623B に関して VLA1623A の重心位置に対する内部固有運動を調査したが誤差の範囲で検出することができなかった。これらのことから原始連星 VLA1623A1/A2 は比較的円軌道に近い軌道を持つ等質量連星であり、VLA1623B は VLA1623A に比較的近い速度をもつ天体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](#)

Z115a PErseus ALMA CHEmical Survey (PEACHES)

坂井南美, Yao-lun Yang, Ziwei Zhang, Nadia M. Murillo, Shaoshan Zeng, 大橋聡史 (理化学研究所), Yichen Zhang (ヴァージニア大学), 大屋瑠子 (京都大学), Ana Lopez-Sepulcre (IRAM), PEACHES Team Members

低質量原始星天体には複雑な有機分子に富むものと炭素鎖分子に富むものがあり、化学的に多様性があることが知られている。この多様性の全貌とその起源を知るには、原始星円盤・エンベロープにおける分子組成を準統計的に調べることが重要である。そこで我々は、太陽系からの距離や分子雲コアの初期元素組成などの条件がほぼ同じ条件にある原始星天体を網羅的に観測できるペルセウス座分子雲に着目し、化学サーベイ観測を行ってきた。2014-2015 年度に野辺山 45m 電波望遠鏡で原始星を育む 37 個の分子雲コアのサーベイを行い、5,000 au スケールでのエンベロープの化学組成を明らかにした後、同分子雲コアに含まれる 50 個の Class 0/I 原始星に対して ALMA 望遠鏡で 100 au-200 au スケールの化学組成を調べた (2015-2018 年度)。1000 au スケールでの ACA を用いた観測が未だ実施されていないため、エンベロープ内側に存在する炭素鎖分子の存在量比は比較できていないが、円盤形成領域については、複雑な有機分子の存在量を比較することができた。58% の天体で複雑な有機分子を検出した一方、その存在量には、ガスの質量や天体の luminosity の違いなどを考慮しても、2 桁以上のばらつきがあることもわかった (Yang et al. 2021, ApJ, 910, 20)。また、PEACHES では複雑な有機分子と炭素鎖分子の違いに着目して多様性の実体と起源を調査しているが、硫黄を含む分子や重水素化分子など、他の様々な分子のスペクトル線も同時に観測されている。それらのサーベイ結果や、個々の天体におけるエンベロープガスの運動やアウトフローについても解析を進めているため、その結果をまとめて報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Z116a MAGellanic Outflow and chemistry Survey (MAGOS) II : 大小マゼラン雲原始星アウトフローの物理特性

田中圭 (CU Boulder/国立天文台), Yichen Zhang (Virginia), 下西隆 (新潟大学), 富田賢吾 (東北大学), Jonathan C. Tan (Chalmers/Virginia), 野村英子 (国立天文台), John Bally (CU Boulder)

宇宙史を通じて銀河環境は大きく変化しており、特に金属量は初期宇宙と銀河系円盤の本質的な違いといえる。多様な金属量環境における星形成過程の普遍性を検証することは、天文学における基幹的問題である。近年、低金属量星形成領域の高分解能観測は進展しつつあるが、まだ天体数が限られており、その系統的性質を解明するためのサーベイ観測がいま求められている。近傍矮小銀河・大小マゼラン雲はそれぞれ 0.5 & $0.2Z_{\odot}$ の低金属量を持ち、比較的近距离 (50 & 60kpc) に存在するため、低金属量星形成サーベイの理想的なターゲットである。そこで、我々は低金属量星形成における物理・化学過程の解明を目標に、ALMA 望遠鏡を用いて大小マゼラン雲の原始星サーベイプロジェクト “MAGellanic Outflow and chemistry Survey (MAGOS)” を進めている。本プロジェクトでは $> 10^4 L_{\odot}$ の大質量原始星 40 天体を対象に、350GHz 帯で空間分解能 0.1pc (~ 0.4 & $0.3''$) の観測が行われた。我々は SO を用いて原始星コアの視線速度、線幅を測定し、CO により原始星アウトフローの質量、運動量、エネルギーを評価した (SO_2 , CH_3OH 等を用いたマゼラン雲ホットコア化学については下西らの講演を参照)。本講演では MAGOS の概要と、大・小マゼラン雲それぞれの原始星アウトフローの物理特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](#)

Z117a MAGellanic Outflow and chemistry Survey (MAGOS) III : 大小マゼラン雲のホットコアサーベイ

下西隆 (新潟大学), 田中圭 (コロラド大学/国立天文台), Yichen Zhang (バージニア大学), 古家健次 (国立天文台)

銀河系円盤部よりも低い金属量環境にある星間分子の研究は、宇宙史を通じた星間物質の化学進化の様子の変遷を理解するうえで重要である。ALMA の登場により、星形成コアスケールの星間化学研究は、より遠方の天体へと拡張された。大マゼラン雲や銀河系最外縁部において、ホットコア (原始星を包む高密度、コンパクト、かつ高温の分子ガスの塊) が新たに発見され、天体に付随する星間分子の化学分析が行われた。これらの領域はいずれも太陽系近傍に比べて少なくとも半分以下の金属量であることが知られている。一連の研究により、低金属量環境下の星形成コアに付随する星間分子の化学的複雑性が明らかになりつつあるが、これまでに発見された低金属量ホットコアの数は限られており、系統的な探査観測が必要とされていた。

我々は ALMA を用いて、大・小マゼラン雲内にある 40 天体の大質量原始星をターゲットとしたホットコアおよびアウトフローのサーベイ観測を行った。観測は 350GHz 帯で行い、マゼラン雲の距離において約 0.1 pc に相当する空間分解能を達成している。観測周波数域には、ホットコアのトレーサーとして有力な CH_3OH や SO_2 に加え、 HCO^+ , H^{13}CO^+ , H_2CO , SO などの高密度ガストレーサーや、ショックトレーサーである SiO 、さらに天体に付随するアウトフローを検出するための CO の輝線が含まれている (アウトフローの解析については本年会の田中らの講演を参照)。本講演では、当該プロジェクトにより大小マゼラン雲内に新たに発見された複数のホットコアの化学分析の結果を報告し、金属量が星形成コアの化学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](#)

Z118r 原始惑星系円盤の化学 : MAPS プロジェクトの成果

古家健次 (国立天文台)

原始惑星系円盤は惑星系の形成現場であり、円盤の物理構造 (温度や密度の空間分布) や化学構造 (分子組成の空間分布) の観測的な研究は惑星系形成過程を解明する上で不可欠である。ALMA 第 4 観測期に、20 個の円盤においてダストの分布を 5 au の空間分解能で探る DSHARP (Disk Substructures at High Angular Resolution Project) が行われ、多くの円盤でダストがリング-ギャップ状またはらせん状の空間分布を持つことが明らかになった。ダストは地球型惑星やガス惑星の中心核の材料であるが、円盤内においてダストの占める質量はガスの 100 分の 1 に過ぎず、その分布は円盤ガスの影響を受けて変化する。そこで円盤の主成分であるガスを 20 種以上の分子種で高空間分解能 (≥ 15 au) で観測する MAPS (Molecules with ALMA at Planet-forming Scales) プロジェクトが第 6 観測期に行われた。MAPS で観測された天体数は 5 天体と限られたものではあるが、ダストの空間分布や中心星質量など異なる性質を持つ天体が観測された。

MAPS の主目的は (1) 円盤内のダスト分布とガス分布との関連を明らかにすること、(2) 観測された分子輝線が円盤鉛直方向のどこから放射されているかを制限すること、(3) C/O 比、重水素濃縮度、有機分子存在量などの円盤化学組成の空間分布を明らかにすること、(4) ガスの柱密度、温度、電離率などの円盤物理量を明らかにすることである。本講演では MAPS で得られた成果を中心に、ALMA 観測で明らかになってきた原始惑星系円盤の化学的描像について紹介する。

[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](#)

Z119r 低質量星形成過程における分子組成進化

相川祐理 (東京大学)

星形成領域においてガスや水の組成は非平衡に変化している。中心星輻射や衝撃波による加熱は、昇華や反応障壁をもつ化学反応を活性化させる。これに伴う気相分子存在度の変化は、原始星の星周構造を探る手掛かりとなる。一方で、原始星周囲で観測される分子はやがて原始惑星系円盤に取り込まれて惑星系の材料となる。原始星周囲での分子輝線観測は、星間物質から惑星系物質への進化を探る上でも重要である。これら二つの研究、つまり分子輝線観測で物理構造解明を目指す研究と物質進化そのものを追求する研究は、表裏一体の関係にある。本講演では eDisk, FAUST, MAPS の結果を主に後者の視点で概観する。

原始星段階を特徴づける分子として、6 原子以上からなる大型有機分子 (Complex Organic Molecules, COMs) と炭素鎖分子があげられる。前者は原始星近傍の 100 K 以上の領域で主に昇華によって急増し、後者は CH₄ 昇華 (~ 25 K) に伴う気相反応で増加すると考えられる。観測では、それぞれの分子輝線の強度は天体によって大きく異なること、輝線強度の違いは天体の光度だけでは説明できないことが示されている。このような原始星コアの化学的多様性は、星形成前の環境に依存する氷存在度や氷内反応の影響で生じ得ることが理論モデルからも示唆されているが、ダストの光学的厚さや形成中の円盤が天体の温度構造や輻射輸送に与える影響も考慮する必要がある。よって eDisk のような高空間分解能連続波観測との組み合わせが有用である。

円盤はエンベロープよりも高密度で、半径方向、鉛直方向に温度・密度の大きな勾配を持つ。分子の組成や気相・固相分配も、物理パラメータを反映して場所ごとに大きく異なる。さらにダストの成長、沈殿、radial drift は、温度分布や輻射場の変化を通じて分子組成を変化させるだけでなく、元素組成の不均一な分布をもたらす。

[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](#)

Z120a FAUST: 低質量 Class 0 原始星天体 NGC 1333 IRAS 4C 円盤の化学層状構造

野津翔太, 坂井南美, Ziwei E. Zhang (理化学研究所), Yichen Zhang (University of Virginia), Ana López-Sepulcre, Cecilia Ceccarelli (IPAG), Claudio Codella (INAF & IPAG), Claire J. Chandler (NRAO), 山本智 (東京大学), FAUST Team Members

近年の ALMA 分子輝線観測の進展により、Class II 段階の原始惑星系円盤において、円盤垂直方向に高さに応じて化学組成が変化する構造 (= 化学層状構造) や動径方向の電離率分布の変化などが検出されつつある。一方で分子雲に埋もれた若い原始星円盤においては、その様な観測が難しかったために、円盤高さ方向の化学層状構造の存在はあまり議論されてこなかった。本講演では ALMA Large Program FAUST で実施した、Perseus 分子雲 (距離 235 pc) に位置する低質量 Class 0 原始星天体 NGC 1333 IRAS 4C の観測結果を報告する。過去の観測 (e.g., ALMA/PEACHES: Zhang et al. 2018) により、この天体は円盤回転軸が視線方向に対してほぼ垂直に傾いた edge-on 天体である事が分かっており、円盤高さ方向の分子組成分布を調べる事に適している。解析の結果、CCH や c-C₃H₂ などの光化学反応により再生成される分子が密度が薄い円盤上層に分布する一方、C¹⁸O や H₂CO などの分子は原始星周辺の高密度領域まで分布しており、円盤高さ方向に化学層状構造を持つ事を発見した。また、H¹³CO⁺ と C¹⁸O 輝線放射分布の比較から円盤動径方向の電離率分布を見積ったところ、外側ほど電離率が増加する傾向が確認された。講演では Class II 円盤の観測結果 (e.g., ALMA/MAPS) とも比較する事で、若い原始星円盤内の化学層状構造・電離率分布の特徴を議論する。

[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](#)

Z121a FU Ori 型星 V883 Ori 周りの円盤における複雑有機分子の観測

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

原始惑星系円盤内の固体成分 (氷および岩石ダスト) はその後形成される惑星系の材料となる重要な要素である。近年、円盤内の氷成分の化学組成を調べる方法として、中心星への質量降着率の変動に伴う一時的な増光を示す FU Ori 型星が着目されている。FU Ori 型星では、増光によって円盤の温度が上昇し、氷に閉じ込められていた複雑な有機分子を含む様々な分子が気相中へと昇華していることが期待される。Lee et al. (2019) は、典型的な FU Ori 型星である Class I 原始星 V883 Ori 周りの円盤を ALMA Band 7 (~0.9 mm) で観測し、固相から昇華してきた多種の複雑な有機分子の輝線を検出した。しかし、光学的に厚いダスト放射によって分子輝線が吸収を受け、分子輝線強度および柱密度が過小評価されている可能性がある。そこで我々は、ダスト放射がより光学的に薄いと期待される ALMA Band 3 (~3 mm) を用いて、複雑有機分子を含む分子輝線観測を V883 Ori の円盤に対して行った。その結果、メタノール (CH₃OH) やアセトアルデヒド (CH₃CHO) を含む 11 種の複雑な有機分子からの 90 本近い輝線が検出・同定された。そのうち、エタノール (C₂H₅OH)、ジメチルエーテル ((CH₃)₂O)、プロペナル (CH₂CHCHO) はこの天体では初めて検出された。さらに、得られた輝線スペクトルを輝線のブレンドも考慮しつつフィッティングすることで、各分子の柱密度を推定した。得られた柱密度は 10¹⁵-10¹⁸ cm⁻² と高く、昇華した分子を捉えていると考えられる。講演では、得られた分子の組成について Class 0 原始星天体や太陽系の彗星などの化学組成と比較することで、星間物質から惑星系物質への化学進化を議論する予定である。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Z122a スパースモデリングを用いた星・惑星系形成領域の ALMA 超解像度画像解析

所司歩夢, 佐藤亜紗子, 原田直人, 町田正博 (九州大学), 徳田一起 (九州大学/国立天文台), 山口正行 (ASIAA), 中里剛 (国立天文台), 塚越崇 (足利大学), 池田思朗 (統計数理研)

星・惑星系形成の研究において、電波干渉計を用いた高解像度観測の重要性が高まっている。特に近年では、スパースモデリング (SpM) による画像合成法により、従来の CLEAN によって得られた画像より約 3 倍分解能が高い画像を作成し、原始惑星系円盤の新たな構造を検出した (Yamaguchi et al. 2021)。これらを受けて、ALMA アーカイブデータに同様の解析を行う研究の需要が急速に高まりつつあるが、様々な観測天体および異なるデータ品質に対しての有効性に関して広くパラメータサーベイはされてなかった。

我々は CLEAN 解析により 0".2-1" 程度の解像度を達成している原始惑星系円盤等の波長 0.9-1.3mm の ALMA アーカイブデータに対して、公開ソフトウェア PRIISM (Nakazato & Ikeda 2020) を用いた SpM 解析により超解像度画像を生成し、より高い解像度の CLEAN 画像と比較することにより解析の評価を行った。本研究では主に Ophiuchus 星形成領域のリング-ギャップ構造などの特徴的な構造を持つ原始惑星系円盤と大マゼラン雲にあるフィラメント状分子雲 (長軸方向に 7") のデータを使用した。このうち、原始惑星系円盤の ~0".3 解像度データに SpM を適用した場合、より高い解像度 (~0".1) の CLEAN 画像で判別されていた微細構造を描き出すことができた。以上より、現存する ALMA データにおいては SpM 解析が効果的に働く解像度の閾値が存在すると思われる。一方、フィラメント状分子雲の 0".2 解像度データでは、ほぼ CLEAN 解析と同様な画像が得られた。これは分子雲のように空間的に広がった構造は高分解能の情報をもつ長基線長データの振幅強度が微弱であるため、その範囲のモデルフィットが機能しなかったことが原因である。

[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](#)

Z123a 低質量天体 ZZ Tau IRS の非対称円盤における粒子成長

寺田由佳(国立台湾大学/ASIAA), 橋本淳(アストロバイオロジーセンター), Haoyu Baobab Liu(ASIAA),
Roubing Dong(University of Victoria), Beibei Liu(Zhejiang University), 武藤恭之(工学院大学)

近年、ALMA 望遠鏡の高解像度観測によって、原始惑星円盤におけるダスト連続波の非対称性が報告されている。このダスト円盤の非対称性の解釈として、ダストトラップが提唱されており、その結果、非対称な円盤は微惑星形成や惑星形成の現場として考えられている。その一方で、動力学時間が長いと考えられる超低質量周りの円盤でダストトラップによる固体微粒子の成長が効率的に促進されるかどうかは議論の余地がある。そのため、このような超低質量星周りの粒子成長を調べることは不可欠である。

本発表では、超低質量天体 ZZ Tau IRS (0.1 – 0.3 太陽質量程度) に付随する原始惑星円盤の、JVLA 望遠鏡による多波長観測結果を報告する。ZZ Tau IRS のダスト円盤は、超低質量星の中で最も明るい。ALMA 望遠鏡の観測から非対称なリング構造をもつことが報告されている (Hashimoto 2021)。JVLA 望遠鏡による 3 バンドの観測からは、本天体の周囲に有意な信号が検出された。そして、この結果と過去の ALMA 望遠鏡の観測結果を用いてスペクトル指数 (SED) を求め、放射輸送計算から得られる様々な最大ダスト半径における SED との比較を行った。その結果、円盤のリングと非対称性における最大ダスト半径は、それぞれ $60\mu\text{m}$ 以下と 1mm 以上とわかった。これは ISM サイズよりも粒子成長が起こったことを示唆する。本講演では、現在までの研究成果と今後の観測における展望を議論する。

[スケジュール\(セッション毎\)に戻る](#)

[スケジュール\(全体\)に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Z124a 遷移円盤最内域に滞留するコンパクトダスト円盤の検出と今後の観測計画

折原龍太, 百瀬宗武 (茨城大学)

原始惑星系円盤は、若い星の周囲にあるガスとダストから成る回転円盤である。このうち中心星に近い場所のダストに乏しい円盤を遷移円盤と呼ぶ。近年の ALMA による高分解能撮像観測によって、遷移円盤最内域に滞留する数 au スケールのダスト円盤が検出されている。一般的な粘性降着円盤ではダストはすぐに星へ落下するため、コンパクトダスト円盤の存在は謎に包まれており、この円盤の滞留を説明するメカニズムが必要である。

また、形成されたコンパクト円盤はその後の円盤形成に影響を与える。一酸化炭素などの分子輝線観測からは、コンパクト円盤の回転軸が円盤全体に対して傾いている様子が確認されている。この傾いたコンパクト円盤が中心星の光を特定の方向のみ遮ることで、輝度分布の非軸対称性を作り出す可能性がある。

我々は SY Cha (距離: 180.7 pc) に付随する遷移円盤を 7 au の空間分解能で観測し、コンパクトダスト円盤を検出したが、これを十分に分解することはできなかった。そこで、このコンパクト円盤の内径を 1 au と仮定したモデルを構築し、観測波長 0.44 mm の模擬観測を行ったところ、空間分解能は 2 au を達成し、リング構造に起因する 2 つの輝度ピークを検出できることが分かった。このような高分解観測によって得られるコンパクトダスト円盤の詳細な空間分布は、ダスト滞留メカニズムに制約を与えることが期待される。

数 au スケールのコンパクトダスト円盤の形成メカニズムとその後の円盤進化に与える影響を明らかにすることは、太陽系惑星の進化プロセスを理解する上でも重要である。本発表ではこれまでのコンパクトダスト円盤の観測をレビューし、進化プロセスを踏まえて、今後の高分解撮像観測計画について議論する。

[スケジュール\(セッション毎\)に戻る](#)

[スケジュール\(全体\)に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Z125a ALMA アーカイブ悉皆解析によるタイタン大気中同位体比の大規模分光サーベイ

佐川英夫 (京産大), 谷口琴美 (国立天文台), 野澤悟徳 (名大), 山田崇貴 (NICT), 高橋茂 (東京大/国立天文台), 塚越崇 (足利大)

ALMA は太陽系内天体の大気化学・物理や地表物性についてもブレイクスルーをもたらしている。我々は科学観測・校正観測双方の ALMA アーカイブデータの悉皆的なキャリブレーションとイメージングを行い、論文化に取り組んできた。特に土星衛星タイタンについては、3000 個の SpW を生成、未決定の同位体比の決定を目指している。タイタン大気においては、主成分である窒素分子とメタンの光解離を起点とする光化学過程により、多様な有機分子が生成されている。これまでに、アセトニトリル (CH₃CN) やシアノアセチレン (HC₃N) の ¹⁵N および ¹³C 同位体の抽出に成功し、CH₃CN の生成に銀河宇宙線による窒素分子の解離が関与していること、分子雲に比べて HC₃N の前駆体の寿命が短いために同位体分別が生じないことなどを示唆し、生成過程の制約に取り組んできた (飯野ら, 2019 年秋季年会等)。本発表ではこれまでの進捗や隣接領域とのシナジー、そして他天体を含む太陽系電波天文学の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](#)

Z126b 原始惑星系円盤におけるダスト駆動不安定性の観測的検証に向けたモデル化

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

これまでの原始惑星系円盤の連続波観測によって、年齢が百万年程度の天体の周りに広がったダスト円盤が見つかってきた (e.g., Ansdell et al. 2016; Andrews 2020)。ALMA 観測により明らかになった多重のダストリング構造は特筆すべき点の 1 つであり、円盤の構造形成も踏まえた惑星形成過程の解明が新たな課題として広く議論されている (e.g., ALMA Partnership et al. 2015; Long et al. 2018; Andrews et al. 2018)。リングの成因として広く議論されている過程の一つは、早期に形成された惑星による構造形成である (e.g., Kanagawa et al. 2015; Zhu et al. 2018)。しかし構造の見つかった円盤外側領域 (10 au 以遠) で早期に惑星を作ることは極めて難しく、外側の惑星形成を促進する機構、もしくは惑星以外の構造形成過程を明らかにすることが重要である。これまでの研究で我々はダスト円盤の構造形成と微惑星形成を起し得る新たな機構として coagulation instability を提唱した (Tominaga et al. 2021, 2022a)。この不安定性はダストの衝突合体成長が駆動する不安定性であり、リング状にダスト濃集領域を形成することが数値計算でわかった (Tominaga et al. 2022b)。濃集領域では空気抵抗の反作用によりダストの落下速度が下がり、10 au 以遠でもダストが大きく成長することが可能である。これは効率的な構造形成・微惑星形成の可能性を示唆しており、観測的検証が急務である。そこで ALMA 連続波観測に基づく coagulation instability の観測的検証を試みる。本研究では赤道面でのダスト-ガス比が 1 程度まで上がった時に coagulation instability によるダスト面密度の上昇が止まるということに注目して簡便なモデルの構築を行い、そこから予想される連続波強度を従来の ALMA 観測と比較する。本講演ではこの結果に基づきダスト円盤観測を説明し得る条件を議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

M01a 磁気リコネクションに伴う粒子加速の理解を目指す衛星計画 PhoENiX の進捗報告 (2023 年春)

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

磁気再結合は磁場中に蓄えられた磁気エネルギーを爆発的に解放し、そのエネルギーを短時間で運動や熱のエネルギーに変換することが出来るプラズマプロセスである。そして、効率的な粒子加速のための環境を形成する機構として注目されている。太陽フレアは、この機構が働く一例であり、磁気再結合が生み出す構造群を空間分解して観測できる唯一の宇宙プラズマ現象という点で極めて重要な研究対象である。一方で、太陽フレアにおける高エネルギー現象、特に粒子の加速機構は、その理解に至っていない。その理由は、粒子の加速にはマイクロからマクロなスケールの物理が介在しているが、太陽フレアの場合、そこに $1\text{m} \sim 10^7\text{m}$ という 7 桁ものギャップが存在するためである。加えて、既存の観測はグローバルスケール ($\sim 10^8\text{m}$) に留まっているのも理由である。

PhoENiX では、この状況を打ち破るため、太陽フレア粒子の加熱・加速・輸送・エネルギー分配の調査を目的とし、プラズモイドや衝撃波といったマクロスケールの加速源候補を空間・時間・エネルギー分解し、定量的な評価を行う。加えて数値計算も活用し、観測情報から物理 (マクロスケール以下の物理を含む) を引き出す。本講演では、2022 年度公募型小型計画・宇宙科学ミッションコンセプト募集に応募した本計画のコンセプトを紹介する。

[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](#)

M02a ニオブ酸リチウムエタロンを用いた太陽近赤外狭帯域チューナブルフィルターの開発

末松芳法, 伊集朝哉, 篠田一也, 萩野正興 (国立天文台), 上野悟 (京大)

近赤外には磁場観測に有用なスペクトル線 He I 1083 nm、光球精細磁場観測に有用な Fe I 15649 nm があり、これらの撮像偏光観測により、光球・彩層の 3 次元磁場構造の情報を得ることができる。このため He I 1083 nm 及び Fe I 1564.9 nm の広視野狭帯域撮像偏光観測を行うため、電圧により波長可変のニオブ酸リチウム・エタロンを開発を行っている。ニオブ酸リチウムは屈折率が 2 を超える複屈折性の人工結晶で、両面に電圧をかけると、屈折率、エタロンの厚さが変化することで波長変位が生じる。また屈折率が大きいので、小さな口径で広い視野の観測が可能となる利点がある。Y-cut の結晶では常光線、異常光線を直線偏光板で選択でき、透過波長の自由度が増える。一方、必要な狭い透過波長幅で手に入る波長選択の狭帯域ブロッキング・フィルターが使えるフリースペクトルレンジを実現するため、厚さの異なるニオブ酸リチウム・エタロンを直列に並べる必要がある。京都大学・飛騨天文台の DST 望遠鏡にて口径 70mm、厚さ 0.9 mm 及び 1.2 mm のエタロンの光学電圧特性測定を行い、ブロッキングフィルター、直線偏光板により He I 1083 nm 波長を選択し、プロミネンス、活動領域、静穏領域において波長スキャン (± 0.04 nm) 観測データが得られたので結果を報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

M03a 暗い太陽のパラドックスに対する「重い太陽仮説」の妥当性検証

佐藤匡, 堀田英之, 花輪知幸 (千葉大学)

標準よりも大きい初期質量・質量損失の太陽進化のシミュレーションを行い、暗い太陽のパラドックスの解決案の一つである「重い太陽仮説」の妥当性を検証した。現在の標準太陽進化モデルでは、初期段階の太陽は現在の70%ほどの明るさしかなく、その時期には全球凍結し生命が誕生しなかったと予想されるのが、暗い太陽のパラドックスである。この問題に対する天文学的解決案として「重い太陽仮説」が提案されている。質量を増やすことで数十億年前でも、十分な明るさが保たれる。一方、現在の太陽の質量を満足するためには、現在の2桁から3桁大きな質量損失が必要だが、初期の強い磁場による太陽風によって現在の1000倍程度の質量損失がなされていた可能性が示唆されている (Suzuki et al., 2013)。この天文学的解決案の妥当性を検証するため、初期質量が太陽よりも5%大きい星に対し、大きな質量損失を仮定し、10から40億年かけて現在の太陽質量となるような星の進化シミュレーションを行った。太陽質量で現在の太陽光度を満足するためには、太陽中心部で標準モデルとほぼ同じ組成比を必要とするため、日震学の精度で区別するような成層の差は得られなかった。一方、初期に質量が重かったモデルでは太陽光度を実現するまでにかかる時間が、現在の太陽の年齢よりも8000万年から3.5億年程短くなることが確認できた。太陽の年齢については、隕石の放射性同位体元素を用いた制約があり、今回の結果から「重い太陽仮説」による暗い太陽のパラドックスの解決は困難であることが示唆される。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

M04a 太陽が作る 1/f 揺らぎ

中道晶香 (京産大共教), 上坂泉, 松井愛弥 (京産大理), 森川雅博 (お茶大理)

太陽はその様々な属性が1/f揺らぎを示す。つまり、太陽風や太陽磁気圏を介した宇宙線などの時間変化に対するパワースペクトル密度が極低周波領域で $f^{-\alpha}$ ($0.5 < \alpha < 1.5$) となる。この1/f揺らぎは、半導体の電流・電圧や水晶発振体、生体のリズム、神経伝達や音楽、浅い地震など、あらゆるところに現れるが原因が不明であった。

我々は最近、揃った多数の波がうなり振幅変調を介して1/f揺らぎを作る簡単なモデルを構築した。波が揃う原因として、同期、共鳴、赤外発散の3種類を提案した。

この簡単な振幅変調モデルを太陽で検証する。特に共鳴の可能性を考える。太陽の対流領域では強固な5分振動が存在して、それに共鳴したプラズマ波が励起している。これらの振幅変調で極低周波領域に1/f揺らぎが現れる可能性がある。

我々は太陽で知られている既存の1/f揺らぎに加えて、フレアエネルギー時系列や、南極氷床の NO_3^- 堆積 (望月 et al. arxiv.2209.11330) にも新たな1/f揺らぎを見出したので、これらも考え併せて、解析していく。

初めに、一般に共鳴がどのように1/f揺らぎを作り出すのかという原理と、その発現としての特徴を例を挙げて説明する：水晶発振体、地球自由振動と浅い地震、楽器とユニゾンなど。1/f揺らぎは振幅変調なので、その発現のためには整流あるいは閾値が必須である。これは半導体では電圧2乗平均や検波、地震では断層であるが、太陽フレアでは磁気再結合であるという提案をする。これが太陽風や磁場を介した宇宙線量の時間変化に1/f揺らぎをもたらす可能性を議論する。

[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](#)

M05a Probing the solar interior with lensed gravitational waves from known pulsars

高橋 龍一 (弘前大学)、森崎 宗一郎 (宇宙線研究所)、須山 輝明 (東京工業大学)

高速で自転する中性子星は現在稼働中の重力波検出器 (LIGO, Virgo, KAGRA 等) の有望な重力波源のひとつです。中性子星が自転軸周り非軸対称な質量分布を持つと、(単一周波数の) 連続的な重力波を放出します。(ブラックホールや中性子星の) 連星合体からの重力波はこれまでに約 90 イベント報告されていますが、中性子星の自転による信号はまだ報告されていません。

もし中性子星が太陽の後ろを通過すると、重力レンズ効果により、その重力波波形に変調が生じます。重力レンズによる取斂のため振幅が増幅し、シャピロ時間遅れにより位相も変調を受けます。振幅と位相の変調は、それぞれ太陽の表面密度と重力ポテンシャルを反映します。そのため、この重力波信号を解析することにより、太陽内部の密度分布を直接測ることができます。

我々は最新のパルサーカタログ (ATNF pulsar catalog) から、3つのパルサー (J1022+1001, J1730-2304, J1745-23) が太陽の背景を毎年通過し、今回の目的に適していることを見出しました。我々はこれらのパルサーからの重力波信号が検出された場合に、どの程度の精度で太陽内部の密度分布を測定できるか理論的に解析しました。その結果、1年間の観測でシグナルノイズ比 (SNR) =100 を達成すると、約 10σ の精度で重力レンズ信号を測定できることを見出しました。また太陽内部の密度分布を決めるためには少なくとも SNR=1000 は必要なことを見出しました。

[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](#)

M06a 赤道加速を達成した超高解像度計算の角運動量輸送のスケール解析

森敬都, 堀田英之 (千葉大学)

赤道加速を達成した超高解像度 3次元磁気流体計算 (Hotta & Kusano, 2021, Nature Astronomy, 以下 HK21) の速度場・磁場をスペクトル解析することで、実際の赤道加速での角運動量輸送のスケール依存性を調査した。太陽は、赤道が速く差動回転をしていることが知られている。以前は乱流が角運動量を運んでいると考えられていたが、高解像度計算では赤道加速を達成できないことが問題となっていた。HK21 では、超高解像度計算を実行することで、はじめて人工的な手当てなく赤道加速を達成した。HK21 では、磁場による角運動量輸送が支配的になっていることが明らかになっている (Hotta et al., 2022) が、「どのスケールで何が」角運動量を運んでいるかは調査できていない。一方、我々は角運動量輸送をスケールごとに解析する手法を開発し、一般的な低解像度計算に適用した (2022 年秋季年会 M41a)。本研究では、ここで開発された手法を HK21 の計算結果に適用することで、角運動量フラックスの速度場・磁場の空間スケール分解を行った。解析したデータは、解像度のみが異なる 3 ケースである。解析を行った結果、乱流による角運動量輸送はどのスケールでも動径方向内向きが支配的となっており、典型的な高いロスビー数のレジームの結果を示している。一方、磁場による角運動量輸送はどのスケールでも動径方向外向きを示していた。とくに 60 Mm 以下の空間スケールでの輸送がもっとも効率的に働いており、小スケールの磁場が角運動量輸送において重要な役割を果たしていることを示している。また、さらに、スケール分解したフラックスを運動エネルギー密度で規格化した。その結果、高解像度化によって磁場の角運動量輸送が大きくなったのは、無次元の相関が大きくなったからではなく、磁場強度が大きくなったからであることが明らかになった。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

M07a 輻射磁気流体計算を用いた音波の二点間伝播時間測定への観測ケーデンスの影響評価

八田良樹 (名古屋大学), 堀田英之 (千葉大学), 草野完也 (名古屋大学), 関井隆 (国立天文台/総合研究大学院大学)

これまでの日震学的観測では、太陽振動がおおよそ 5 分の周期を持つため 1 分程度の観測ケーデンスが採用されている。その一方で、より高ケーデンス観測を行った場合に日震学的データにどの程度の改善が見込まれるのかは明らかになっていない。そこで本研究では、日震学を用いた将来の太陽観測計画を念頭に、5 秒という高いケーデンスでデータを出力した光球の輻射磁気流体計算を擬似データとして用い、観測ケーデンスの影響評価を行った。特に、音波が太陽表面の二点を伝播するのにかかる時間 (伝播時間, Gizon and Birch 2002 など) の測定誤差に焦点を絞り、その時間ケーデンス依存性を調べた。擬似データとしては R2D2 コードで計算した太陽光球面 (光学的厚み $\tau = 1$) での鉛直方向速度場を利用した。その結果、伝播距離が短いほど伝播時間測定誤差の観測ケーデンス依存性が大きいことがわかった。この依存性は、伝播時間計算の際に特定の音波を抽出するために用いられる振動数フィルタ (Gizon and Birch 2005 など) の振動数依存性等に基づいて説明できる。例えば伝播距離が 4-9 Mm (14-19 Mm) の場合、対応する振動数フィルタによって主に 4.5 mHz (3 mHz) の音波モードが抽出されており、大まかに言って観測ケーデンスが 222/4 ~ 55 秒 (333/4 ~ 80 秒) 以上になるとケーデンスの効果が顕著になり、伝播時間測定誤差が大きくなる。以上の結果から、特に短い伝播距離 (< 数 Mm) であれば、従来観測よりも高い観測ケーデンスを採用することで音波の二点間伝播時間測定の精度を向上させることが予想される。

[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](#)

M08a 表面磁束輸送モデルを用いた太陽極小期の検証

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。

その結果、Dalton Minimum 程度の低調な太陽活動は数百年に一度のペースで現れることが示唆され、またこのような極小期を引き起こすサイクルの黒点の特徴として、傾斜角と面積が鍵を握ることが明らかになった。本研究の成果は、Grand Minimum は現状の観測される太陽黒点の特徴によって説明できること、また一部の特徴をもつ黒点に注目すれば数年後に Grand Minimum が発生するか否かの予測が可能であることを示唆する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

M09a 惑星間空間磁場の太陽周期にわたる変動を起こす太陽磁場成分

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

太陽の磁場構造は活動周期によって変化している。極小期では双極子構造をとり、主に極域から延びる開いた磁場 (オープンフラックス) は、惑星間空間へ広がる。一方、極大期では、低緯度の活動領域と衰退する極域磁場により複雑な磁場構造をもち、オープンフラックス領域も変化する。オープンフラックスは主にコロナホールから延び、惑星間空間磁場 (IMF) を作り出すと考えられる。しかし、太陽磁場と IMF を結びつけて惑星間空間の磁場構造を理解するには課題が多い。その一つに太陽磁場のどの成分が地球近傍の IMF の長期的な変動を作り出しているか解明されていないことが挙げられる。

本研究の目的は、太陽と惑星間空間の大局的な磁場の接続を目標に、IMF の長い時間スケールの変動が、太陽磁場の何に起因するのかを探ることである。SDO/HMI の太陽光球磁場マップを Potential Field Source Surface (PFSS) モデルに入力することによってコロナ磁場を外挿し、IMF と比較した。また、コロナ磁場構造を球面調和関数の成分 (次数 (ℓ, m)) に分解し、成分ごとに IMF との変動の関係を探った。解析の結果、太陽磁場と IMF の関係性は太陽活動サイクルの各フェーズに分けて特徴付けられた。極大期の終盤には IMF が急激に増大する振る舞いを示した。この変動は、 $(\ell, m) = (1, \pm 1)$ の成分である赤道方向の太陽双極子磁場の変動と対応していた。このことは、活動領域のような高次の成分が、子午面還流や差動回転によって経度方向に拡散される過程で $(\ell, m) = (1, \pm 1)$ の低次成分を作り出し、IMF の変動を駆動していると考えられる。一方、極小期の IMF は緩やかに減少から増大に転じる傾向を示した。この傾向は、安定的に存在する双極子成分 ($\ell = 1$) の振る舞いとは異なり、 $\ell \geq 2$ の高次成分の変動に対応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](#)

M10b 太陽圏サイエンスセンターの設立と活動

増田智, 三好由純, 堀智昭, C.-W. Jun, 松本琢磨, 中村紗都子, 飯島陽久, 岩井一正, 瀬川朋紀, 塩川和夫, 小路真史, 草野完也 (名古屋大), 篠原育, 清水敏文, 浅村和史, 村上豪 (JAXA), 今田晋亮 (東京大), 原弘久, 勝川行雄 (国立天文台), 松田昇也 (金沢大), 北原理弘 (東北大), 塩田大幸 (NICT)

JAXA 及び国立天文台との連携のもと、太陽圏システム科学を推進するための「太陽圏サイエンスセンター」が、2022 年度より、名古屋大学宇宙地球環境研究所に新たに設立された (<https://chs.isee.nagoya-u.ac.jp/> 参照)。「太陽圏サイエンスセンター」では、現在稼働している「ひので」「あらせ」「みお」の各衛星・探査機に関するデータファイルの整備、統合解析プログラムの開発と公開、運用計画の立案等の取り組みを進め、国内外の関連コミュニティの多くのユーザーに活用されている。

「ひので」に関しては、ひのでフレアカタログの維持管理、「ひので」に関連する博士・修士論文リストの作成などに加えて、科学目的に応じて加工された 2 次データのデータベースの公開を行っている。2021 年度の「太陽活動領域の非線形フォースフリー磁場データベース」に続けて、2022 年度には「ひので極磁場データベース」を公開した。どちらのデータベースにも固有の DOI を付与しており、永続的な検索や引用に役立つようになっている。

また、最近の活動としては、「みお」のデータに関するデータファイルの整備や解析ツールの開発にも着手するとともに、SOLAR-C 衛星のサイエンスセンター機能・業務に関する検討を開始している。本講演では、太陽圏サイエンスセンターの活動についての紹介と今後の展望の報告を行う。

[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](#)

M11b H α 線と CaIIK を用いた Ellerman Bomb の高度詳細解析

市川 椋大 (茨城大学)、野澤 恵 (茨城大学)

本ポスターでは、H α 線 (656.3nm) と CaIIK 線 (393.4nm) を用いて、速度・温度・明るさ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 α 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。そこで、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。

我々は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、H α 線と CaIIK 線を同時に観測した。今回の観測では、H α 線と CaIIK 線が同時に増光する分光画像を撮影できなかったため H α 線が強く増光した 2022 年 10 月 16 日 00 時 UTC の活動領域 NOAA13124 と、CaIIK の増光が強かった 7 月 29 日 00 時 UTC の活動領域 NOAA13068 の二つの Ellerman Bomb を解析した。H α 線ではバイセクター法を用いてドップラーシフトを測定し、CaIIK では 3 つの吸収線を分離しそれぞれのドップラーシフトを測定し視線方向速度を求めた。また、クラウドモデルを用いて、Ellerman Bomb 発生時の静穏時と比べての上昇温度も求めた。その結果、H α の増光が強かったものは彩層上部に値するコア部分の速度は平均 2km/s の下降流、光球面に値する TiII(655.9nm) での速度は ± 1 km/s で上昇と下降を繰り返した。CaIIK の増光が強かったものは彩層上部に値する K3、彩層中部に値する K2 とともに下降流だったが、消滅に近づくにつれ K2 の速度が低下していく様子が確認できた。上昇温度に関しては静穏時と比べ高くなることが予想される。よって、本講演ではこの速度、温度の具体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](#)

M12c 可視光測光・分光自動追観測システム PHAST による巨大恒星フレア観測 (1)

甲原潤也, 坪井陽子, 浦部蒼太, 那波咲良, 根本登, 後藤絵美, 金子陽, 猶木皓太, 河合広樹 (中央大学), 岩切渉 (千葉大学), 他 MAXI チーム

恒星フレアには 10^{39} erg ものエネルギーを放出するものがあり、星半径の数倍にも至る巨大フレアリングの存在が示唆されるが、その形成過程や幾何の観測的理解は未だ不十分である。我々はフレア初期から恒星フレアを観測し、それらを理解しようとしている。具体的には、全天 X 線監視装置 MAXI からのアラートを受け、中央大学天文台 CHAO (CHuo-university Astronomical Observatory) の 3 台の望遠鏡でフレアを追尾している。今回は 2021 年 3 月に新設した可視光測光・分光自動追観測システム PHAST (PHotometric And Spectroscopic Telescope) での初期成果を報告する。PHAST は経緯台の駆動速度が 20 deg s^{-1} と速く、天体導入精度は 9 秒角と非常に高い。また、波長分解能 $R = 19000$ の高分散分光と U, B, V, R, I バンドでの測光の同時観測が可能である (2022 年春季年会 V217a)。これを用いて我々は、11 月 3 日に、dMe 型星 EQ Peg のフレアを、アラートメール受信の 10 分後から追尾することに成功した。X 線での放射エネルギーは 5×10^{34} erg、継続時間は約 50 分と短かったが、H α 線での増光のピークを捉えることができた。また、ピーク以前で blue shift、ピーク後には red shift した成分の存在を確認した。他にも RS CVn 型星 II Peg および HR 1099 のフレアの追尾を、それぞれ 9 月 3 日と 11 月 20 日に、5.5 時間後および 6 時間後から行った。II Peg からのフレアでは、 170 km s^{-1} で red shift したフレア成分を検出した。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

M13a Imaging Spectroscopy Diagnostics of the Cool flare Loops on 2017 September 10

Denis P. Cabezas, Kiyoshi Ichimoto (Kyoto University), Petr Heinzel (Czech Academy of Sciences), Július Koza (Slovak Academy of Sciences), Ayumi Asai, Satoru UeNo, and Kazunari Shibata (Kyoto University)

On 2017 September 10, the active region NOAA 12673 produced the second largest solar flare (class X8.2, peak 16:06 UT) of solar cycle 24. This event resembles the classical model of solar flares, in which a flux rope eruption was followed by the formation of a current sheet and an extended arcade flare loops lasting for many hours. The late gradual phase of the flare in question was captured in multi-spectral imaging by the Solar Magnetic Research Telescope (SMART/SDDI) and Domeless Solar Telescope (DST/UTF) at Hida Observatory. In this work we present $H\alpha$ imaging spectroscopy diagnostics of the cool flare loops, observed between 22:05 and 22:30 UT. We computed wavelength-integrated intensities over the flare loop apex and derived the emission measure by applying the non-LTE theoretical relations. The emission measure along with the geometrical thickness inferred from our observation led us to estimate the electron density of about $5 \times 10^{10} \text{ cm}^{-3}$, which is high even several hours after the flare peak. Jejić et al. 2018 and Koza et al. 2019 found the electron density of the order of 10^{12} cm^{-3} during the flare peak. Our result indicates that the flare process, i.e., magnetic reconnection, is still ongoing even on much longer time scales. Additionally, using SDO/AIA and Hinode/XRT observations we also derived the differential emission measure, temperature, and density of the hot coronal flare loops. We discuss the physical process of the flare and the long-duration of the cool and hot flare loops.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

M14a 活動領域フレアにおける、フラックスロープの三次元不安定性の解析

木田祐希, 永田伸一 (京都大学)

太陽フレアに伴うコロナ質量放出 (Coronal Mass Ejection: CME) を引き起こすフラックスロープ (磁束管) が太陽表面から噴出する初速度は、宇宙天気研究および予報の基礎となる、重要なパラメータである。観測的には CME の噴出方向が動径方向となす角は鉛直を中心とした分布を持つことが知られており、これはフラックスロープの磁場と周囲の磁場との相互作用を反映していると考えられている。しかしながら多数の先行研究では、フラックスロープの膨張の有無を、Torus 不安定の指標となる Decay Index に基づき、動径方向への噴出の観点から考察するととどまっている。そこで今回、2021 年 9 月 23 日に NOAA12871 にて発生した M クラスフレアについて、Decay Index を三次元的に調べ、CME の伝搬経路との関係について解析を行った。このイベントでは SOHO LASCO により非動径方向に噴出する CME と、これに対応するフラックスロープが非動径方向に上昇する様子が SDO AIA で確認できる。また、京都大学飛騨天文台 SMART 望遠鏡の $H\alpha$ 観測からは、活動領域中心部の半円弧状のリボンと、活動領域周辺部のリモートリボンからなる、サーキュラーリボン型のフレアであることが分かった。AIA 94Å を用いたフラックスロープの移動速度解析からは、2 段階の GOES ライトカーブに対応する 2 段階加速が見られた。そこで、このフラックスロープの運動を説明するため、SDO HMI で得られた光球磁場を外挿し、Decay Index と射影速度プロファイルとの空間的な関連性を調べた。その結果、フラックスロープの速度変化は Decay Index に基づくトーラス不安定性とは整合しないことが判明した。一方、フレア極大前から AIA 画像において磁気中性線上で増光があり、フラックスロープの成長が見られる。講演では、既存のフラックスロープの安定性ではなく、力学的非平衡状態にあるフラックスロープの発達という視点からの解析結果を報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

M15a 野辺山電波ヘリオグラフを用いたフレアに伴う電子の加速・伝搬過程 II

松本圭太郎, 増田智, 岩井一正 (名古屋大学), 金子岳史 (ロッキード・マーティン太陽天体物理学研究所), 簗島敬 (海洋研究開発機構)

太陽フレアに伴う粒子加速機構は太陽物理学における未解決問題であり、加速電子のピッチ角分布は加速機構を理解する上で重要な手がかりになる。準相対論的な速度まで加速される電子は非熱的なマイクロ波を放射する。[Yokoyama+2002] は野辺山電波ヘリオグラフ (NoRH) を用いて、非熱的マイクロ波源の伝搬速度から加速電子のピッチ角を推定した。我々は新たに同様な観測例 (2014 年 10 月 22 日の M クラスフレア) を発見し、NoRH17GHz に加えて、Fermi 衛星、SDO 衛星による多波長観測、NLFFF モデルを用いて加速電子のピッチ角についての議論を行った。さらに、片側のフットポイントに向かった電子注入を仮定した場合、ループに沿った電子のバウンス運動を示唆する結果を得た (日本天文学会 2022 年秋季年会 M25a)。本講演ではこの現象に関して、加速電子のループ内での注入位置やピッチ角分布を理論的に検証した。NLFFF から得られた磁気ループに沿った 1 次元座標系で、ピッチ角、エネルギーを独立変数とした位相空間密度について Fokker-Plank 方程式を解き、さらにループに沿った 17GHz マイクロ波放射の時間変化を求める手法を確立した。その結果、観測と比較すると電子注入が片側のフットポイント方向に発生したと考えられる。さらに、この手法を用いて加速電子の注入位置、ピッチ角分布に関するパラメータサーベイを行い、その結果と観測を比較し、このイベントにおける加速電子の注入に関して議論を行う。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

M16a GAIA と F_X を用いたデリンジャー現象の規模推定

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

電離圏は、太陽からの EUV・X 線放射により分子・原子が電離している地球大気の領域である。短波通信障害であるデリンジャー現象 (Dellinger 1937) の主な要因は太陽フレアからの X 線放射の急増による電離圏 D 領域の電子密度増大であることが知られる。本研究では、太陽フレア放射スペクトルの入力により地球電離圏の電子密度変動を求めることができる数値計算モデル GAIA を使用し、デリンジャー現象の規模推定を行った。

デリンジャー現象発生の有無は、イオノゾンデで観測される最小反射周波数 (f_{min}) の値で知ることができる。 f_{min} の変動量は、主にフレアの X 線の最大放射強度と太陽天頂角に依存することが先行研究 (Tao et al., 2020 など) より報告されている。そこで、アップルトンハートレーの式及び GAIA の計算値を用いて電波減衰率の高度分布と f_{min} の予測値を導出した。まず電離圏伝搬時の電波の減衰率を計算した結果、電離圏 D 領域で ~90–100%、E、F 領域で ~10% の電波が減衰し、D 領域の電子生成に寄与しているフレア放射波長は X 線放射であることがわかった。つまり、デリンジャー現象の ~90% は電離圏 D 領域の影響であり、主な電離波長は X 線放射である。

次に、情報通信研究機構が運用するイオノゾンデで観測された f_{min} 実測値と GAIA で計算した f_{min} 予測値を比較し、デリンジャー現象の規模推定を行った。その結果、相関係数は 0.81、ブラックアウト捕捉率は 31% の精度であり、ブラックアウトの予測精度は低く、フレア放射ピーク時の電離圏 D 領域の電子密度を過小評価していることがわかった。そこで、太陽天頂角補正した X 線放射強度 (F_X) を変数として用いて GAIA の電離圏 D 領域の電子密度を変動させた。この電子密度変動を用いてデリンジャー現象の規模推定を行った結果、相関係数は 0.85、ブラックアウト捕捉率は 62% となり、デリンジャー現象の予測精度を向上することができた。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

M17a “Time-of-Flight” 解析による太陽フレア粒子加速領域の時間変化の推定

矢倉昌也, 増田智 (名古屋大学)

太陽フレア発生時に大量の粒子が加速されていることは、これまでの観測から明らかであるが、その機構は未解明である。解明のための重要な情報の一つである粒子加速領域については、その直接観測は難しく、“Time-of-Flight” (ToF) 解析から間接的にフレアループとの位置関係を推定する手法が使われてきた (Aschwanden et al. 1996)。一方、フレアでは時間とともに構造が成長していく様子が観測されているが、Aschwanden らの解析ではフレア構造の時間変化は考慮されていなかった。そこで我々は ToF 解析を改良し、一つのフレア中に複数回、加速領域から彩層までの経路長を求めることにより、フレア中にそれが変化していることを示す初期結果を得た (2022 年秋季年会 M26a)。

この結果の解釈のために、SDO/AIA の 1600 Å の画像との比較を行ったところ、経路長が長くなるタイミングで、それまでと異なるフットポイント領域が輝くことが分かった。したがって、磁気リコネクション領域の連続的な上昇に伴う経路長の変化というよりは、別の磁場構造にエネルギー解放領域が移ったことによる結果と解釈するほうが自然である。この結果は、Aschwanden らの一つのフレアの全放射期間に対し、一つの経路長を求めるという手法に疑問を呈するものである。

また、この手法をより客観的な条件 (GOES クラス、発生場所など) で選んだ複数のフレアに適用し、統計的な研究に発展させることも行っている。本講演では、複数のフレアの ToF 解析と撮像観測の結果から、フレア中の粒子加速領域の時間変化の傾向とその解釈についても議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

M18a 飛騨天文台 SMART/SDDI および SDO/EVE を用いた 2022 年 10 月 2 日 M8.7 フレアの多波長分光 Sun-as-a-star 解析

天津天斗, 浅井歩 (京都大学)

恒星では最大級の太陽フレアの 10 倍以上のエネルギーを放出するスーパーフレアが観測されている (Namekata+ 2022a,b 他)。太陽観測とのアナロジーから、スーパーフレアにもコロナ質量放出 (CME) が伴う場合があると期待される。しかし、恒星で発生する CME は、太陽の場合のような白色光による空間分解観測はできないため、その検出が難しい。恒星 CME に関わるシグナルの候補としては Balmer 線や UV 線の blue asymmetry (Maehara+ 2021, Leitzinger+ 2011 他)、X 線や Extreme Ultraviolet (EUV) における Coronal Dimming (Veronig+ 2021 他) などが挙げられる。直接観測不可能な恒星 CME をより確実に捉えるためには、これらのシグナルを同時に検出する必要がある。さらに、このような恒星 CME の多波長同時観測の結果が真に CME によるのかを明らかにするためには、太陽 CME に関わる多数のシグナルが太陽を遠くの恒星のように扱った解析、すなわち、Sun-as-a-star 解析 (Otsu+ 2022 他) でどのように観測されるかを明確にしておくことが重要である。

そこで、本研究では 2022 年 10 月 2 日に発生した M8.7 フレアと関連する噴出現象について、飛騨天文台 SMART/SDDI (H α 線撮像分光) と SDO/EVE (EUV 全面積分分光) 同時観測データを用いて、Sun-as-a-star 解析を行った。結果として、空間積分した H α 線スペクトルには ~ 300 km/s の blue shift した吸収成分が現れた。さらに、この高速成分の吸収とほぼ同時に O V 62.973 nm などの EUV 線スペクトルで blue shift した増光が確認された。本講演では、これらの blue shift 成分について詳細を報告する。また、電波バーストとの対応、Coronal Dimming の有無についても議論し、本研究の恒星観測への応用について述べる。

[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](#)

M19a Multi-wavelength observations of prominence eruptions on a young solar-type star

Kosuke Namekata, Hiroyuki Maehara (NAOJ), Vladimir Airapetian, Rishi Paudel, Keith Gendreau, Zaven Arzoumanian (NASA), Pascal Petit (Obs. Midi-Pyrenées), Kai Ikuta (U.T.), Satoshi Honda (U.H.), Yuta Notsu (C.U.), Shun Inoue (K.U.), Shin Toriumi (JAXA), Meng Jin (LMSAL), Kyoto's team

Young solar-type (G-type main-sequence) stars are known to exhibit frequent superflares ($>10^{33}$ erg). The XUV flare emission and coronal mass ejections (CMEs) may have profound impacts on atmospheres of young (exo-)planets. Recently, we discovered a blue-shifted H α “absorption” as the first evidence of a massive and fast filament eruption associated with a superflare on a young solar-type star, EK Dra (G2V, Age \sim 100 Myr). Here we report a new result of our monitoring observations of EK Dra, performed in April 2022 with the Seimei (H α), NICER (X-ray), TESS (white light), and TBL (spectropolarimetry). Three superflares (10^{33-34} erg) were detected in all three wavelength bands with two of them showing blue-shifted H α “emission” components at 400-700 km/s. This implies the detection of two fast prominence eruptions, in contrast to our previous discovery of the filament eruption from EK Dra (Namekata+22a). The temporal changes of the prominence velocity suggest that the direction of one of the eruptions could be \sim 20 deg to the LOS. X-ray observations do not show signatures of X-ray dimming, which is often associated with solar CMEs, but the upper limits were derived. Simultaneous spot/magnetic field map were performed with TESS&TBL data, which may constrain the location of the eruptive prominences. These first multi-observatory and multi-wavelength observations provide properties of these eruptions that would lead to a more comprehensive understanding of stellar CMEs.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

M20a 太陽長期変動におけるマイクロ波放射と各種太陽指標の関係 — 太陽型・晩期型星からの熱的マイクロ波放射の解釈に向けて —

下条圭美, 行方宏介 (国立天文台), 岩井一正 (名古屋大学), 浅井歩 (京都大学), 渡邊恭子 (防衛大学校)

名古屋大学 空電研究所から国立天文台 野辺山太陽電波観測所に移設された強度偏波計による太陽マイクロ波のモニター観測 (観測周波数: 1, 2, 3.75, 9.4 GHz) は、野辺山での観測だけでも 30 年近くの歴史があり、円偏波の情報を含む均一な観測データを現在でも生成・蓄積し続けている (Shimojo & Iwai 2022)。これらのデータは、感度の著しい上昇をもたらす次世代の電波干渉計 (ngVLA や SKA) により観測されるであろう、太陽型や晩期型星からの熱的マイクロ波放射を解釈する上でのテンプレートになりうる。しかし、野辺山で得られた観測データがテンプレートとして使えるように整備・考察がなされていない。そこで我々は、野辺山で得られた観測データのうち非フレア時のデータを抽出して日毎の代表値を定め、マイクロ波強度および円偏波率の太陽周期変動を、2021 年天文学会秋季学会 (M41a) にて議論した。本講演では、これらのマイクロ波データと黒点数・X 線/EUV 強度・総磁束量・Ca Plage Index・MgII Index などの太陽活動指標と比較した結果を示す。

想定通り 1, 2, 3.75, 9.4 GHz の強度と各指標に強い相関があるが、特に 1, 2 GHz と総磁束量と EUV 強度は両対数グラフ上で綺麗な比例関係が見られた。この太陽マイクロ波・総磁束量の両対数グラフ上に、非常に数は少ないが、磁場が測定されており、熱的マイクロ波放射も検出されている G, K, M 型の四つの星のデータをプロットさせると、その値は太陽マイクロ波・総磁束量の比例関係の延長線上の近くに位置した。このことは、星の熱的マイクロ波強度と野辺山の観測データから作り上げたテンプレートから、その星の活動を知ることができることを明示している。

[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](#)

M21a 史上最大の恒星フレアの NICER とせいめい望遠鏡による X 線・H α 線観測

井上峻, 榎戸輝揚 (京大), 野津湧太 (コロラド大/東工大), 岩切渉 (千葉大), 前原裕之, 行方宏介 (NAOJ), 本田敏志 (兵庫県立大), 甲原潤也, 浦部蒼太, 那波咲良, 根本登, 金子陽, 後藤絵美, 猶木皓太, 坪井陽子 (中央大), 濱口健二 (NASA/GSFC, UMBC), Hans Moritz Guenther, Dheeraj Pasham (MIT), Keith Gendreau, Arzoumanian Zaven (NASA/GSFC), 内田裕之, 鶴剛, 野上大作, 柴田一成 (京大)

恒星フレアは星の表面において磁気エネルギーが突発的に解放される爆発現象である。特に、磁氣的に活動性が高い RS CVn 型の近接連星系は極めて規模の大きいフレアを起こし、最大で 10^{39} erg 程度のエネルギーを軟 X 線で解放するフレアが確認されていた (Sasaki et al. 2021)。だが、 10^{39} erg を超える極めて規模の大きいフレアは X 線のみでしか観測されておらず、H α 線との同時観測例は未だ無かった。

HD 251108 は 500 pc 程の距離に位置し、RS CVn 型連星の可能性が指摘されている。Lobster eye micro-pore 光学系を用いた軟 X 線広視野撮像装置 LEIA (0.5–4.0 keV) は、2022 年 11 月 7 日に HD 251108 が通常の 5 倍程度の光度にまで増光していることを発見した (ATel #15478)。この増光は HD 251108 が起こした恒星フレアによるものだと考えられ、X 線望遠鏡 NICER (0.2–12 keV) や京都大学岡山天文台の 3.8m 可視光望遠鏡せいめい及び中央大学可視光望遠鏡 SCAT によるフォローアップ観測が行われた。NICER の X 線データからこのフレアが軟 X 線で 10^{39} erg 以上のエネルギーを解放したことがわかり、本イベントは過去最大のフレアを多波長観測した事例となった。また、本フレアの減光の時間尺度 (e-folding 時間)、解放エネルギーは軟 X 線では 2.2 日、 1×10^{39} erg 以上であり、H α 線では 11 日、 3×10^{38} erg 以上であった。これらの値は、Kawai et al. 2022 が示すフレアの持続時間やエネルギーに関するスケーリング則の上に位置する。本発表では、上記イベントの詳細を紹介する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

M22a IPS 観測データと BepiColombo 衛星観測データを統合した CME の MHD シミュレーション

岩井一正 (名古屋大学), Sanchez-Cano, B (University of Leicester), 塩田大幸 (NICT), 村上豪 (ISAS/JAXA), 徳丸宗利, 藤木謙一, 三好由純 (名古屋大学)

惑星間空間を伝搬中のコロナ質量放出 (CME) 現象は観測が難しく、電波の散乱現象を利用した惑星間空間シンチレーション (IPS) 観測が重要な観測手段である。加えて、近年多数の飛翔体が内部太陽圏を飛翔中であり、これらの観測データを IPS 観測と統合することで、CME の伝搬をより高精度で再現できると期待される。本研究では、2021 年 10 月上旬に、BepiColombo 衛星と地球が動径方向に並んだ時期に太陽ディスク中央付近で発生した CME 現象に対して、IPS 観測および飛翔体観測を太陽圏の MHD シミュレーション (SUSANOO-CME) に取り込む実験を行った。MHD シミュレーション結果から得られる太陽圏の密度の 3 次元分布を用いて、地球から任意の方向に電波の散乱を解くことで疑似的な IPS データを計算できる。CME の初期パラメータを変えたシミュレーションを多数行い、実際に観測された IPS データと最も近い疑似 IPS データが得られるシミュレーションを抽出した結果、IPS 観測に最も近いシミュレーションは CME の BepiColombo 衛星への到来を最も良く再現した。これは IPS 観測が CME に対して感度を持つ内部太陽圏の領域にちょうど BepiColombo 衛星がいたことで、飛翔体の位置近傍でシミュレーションの最適化が行われたためと考えられる。一方、IPS 観測および BepiColombo 衛星観測に最もよく合うシミュレーションの CME は地球には実際よりも 5 時間程度早く到来した。本結果は約 0.3AU の位置にいた BepiColombo 衛星と地球との間の CME の伝搬をシミュレーションが再現できていない可能性を示唆し、その要因としては CME の 3 次元構造や背景太陽風などの影響が考えられる。

[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](#)

M23a MILOS と MERLIN インバージョンで導出された太陽極域磁場の比較

久保雅仁 (国立天文台)、塩田大幸 (情報通信研究機構)、勝川行雄、下条圭美 (国立天文台)、D. Orozco Suarez (IAA)、N. Nitta、M. DeRosa (LMSAL)、R. Centeno (HAO)

太陽極域磁場とその時間発展の詳細な観測は、「ひので」衛星の重要な成果の一つである。極域磁場の精密な測定は太陽活動の 11 年周期変動を理解する上で不可欠であり、太陽風の発生源を特定する上で重要な境界条件を提供する。「ひので」可視光磁場望遠鏡の偏光分光装置 (SOT-SP) で観測された極域磁場のデータベースを名古屋大学 ISEE が 2022 年に公開した。磁場の導出は、Shiota et al. (2012) の手法を踏襲しており、MILOS インバージョンコードが用いられている。一方、米国 HAO は、SOT-SP で得られた全データに対して、MERLIN インバージョンコードで導出したベクトル磁場を Level2 データとして公開している。本研究では、両インバージョンコードで得た極域磁場の比較を行った。インバージョンコードに入力する Level1 データは HAO で公開されている物で統一し、導出されたベクトル磁場に対する処理 (磁場方位角の 180 度不定性等) も共通の手法を用いた。その結果、MERLIN で導出した太陽面の法線方向の磁束密度が、MILOS の結果に対して 1.2 倍程度大きくなる傾向を持つことが分かった。この傾向は、太陽サイクルや北極/南極に依存せず常に見られたため、インバージョンコードの特性と考えられる。MILOS と MERLIN で得られた magnetic filling factor の差は、磁場強度/傾斜角/方位角といった他の磁場パラメータと比べて大きい。MERLIN 結果と等しい filling factor で値を固定して MILOS を実行すると、両者の磁束密度はほぼ同じ値になった。この結果は、filling factor の違いが磁束密度の差を生む主要因であることを示唆する。MILOS と MERLIN は共に Milne-Eddington インバージョンコードであるが、filling factor に差が出るのは、stray light profile (非磁気大気プロファイル) の仮定が異なるためと考えられる。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

M24a 対流層の底から光球までの浮上磁場シミュレーション：黒点对の非対称性生成の要因について

堀田英之 (千葉大学)、鳥海森 (宇宙航空研究開発機構)、草野完也 (名古屋大学)

対流層の底を出発した磁束が太陽表面で黒点を生成するところまでの一連の過程を追う計算をはじめて実行し、黒点对の非対称性生成の要因を調査した。対流層の底付近でダイナモによって増幅された磁場は、何らかの作用によって太陽表面に浮上し、観測されるような黒点を形成すると考えられている。しかし、光球と対流層深部間の極端な空間・時間スケール差のために、この一連の過程を包括した数値シミュレーションができていない。結果として、太陽表面の観測と内部のダイナミクスをつなげた議論ができていなかった。とくに、黒点を作るような磁場は、対流層の底付近では数 Mm ほどの細い磁束管になっていることが予想されており、その分解に高い解像度を必要とすることが数値シミュレーションを難しくしていた。本研究では、輻射磁気流体コード R2D2 を用いて、86 億点もの格子点を対流層を分解するのに費やすことで、対流層深部での細い磁束管の進化を追うことに成功し、磁気浮上から黒点形成までの一連の物理過程をもれなく追うことができた。本講演でとくに注目したのは黒点对の非対称性である。観測的には、先行黒点は後行黒点よりもコンパクトになることが知られている。今回のシミュレーションでもこの特徴は再現できている。シミュレーションの結果は、コリオリ力によって生じた磁場形状の違いが引き起こす、光球直下で生じる上昇流の非対称が、先行後行黒点の非対称を生み出すことを示している。

[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](#)

M25a ねじれの無い磁束管の浮上に伴う有限の磁気ヘリシティ注入

鳥海 森 (宇宙航空研究開発機構), 堀田英之 (千葉大学), 草野完也 (名古屋大学)

太陽フレア・コロナ質量放出は、対流層からの磁束浮上に伴って、コロナ中に磁気ヘリシティが供給・蓄積されることで発生する。特に、多数の観測的証拠から、ねじれた磁束の浮上や回転を通して磁気ヘリシティがコロナへ供給されていると理解されている。しかし、そのことは果たして自明だろうか？本研究では、現実的な太陽熱対流を再現する輻射磁気流体コード R2D2 を用いて「ねじれの無い」磁束管の浮上を計算した。自転を考慮しない対流層の深さ 22 Mm に、軸磁場強度 12.2 kG、典型的半径 8 Mm のガウス関数型磁束管を置き、背景流速場に従って浮上させた。各時刻に光球面で磁気ヘリシティフラックスを測定し、それを時間方向に積分することでコロナに注入された磁気ヘリシティを求めた。背景対流の存在しない理想的な状況下では、ねじれの無い磁束管が浮上しても磁気ヘリシティ注入はゼロとなるはずである。計算の結果、光球総磁束量の最大値 3.1×10^{22} Mx に対して、磁気ヘリシティは最大 2.9×10^{43} Mx² に達した。詳細な解析から、ヘリシティ注入は回転する黒点の近傍で、主に水平運動に伴って (すなわちシア項によって) 生じることが見出された。黒点の直下では、磁束が下降流プルームに沿って垂直に対流層深部まで伸びており、下降流に向けて周囲から流体が局所的な渦を伴って流入するため、その渦が磁束や光球の黒点を回転させる。すなわち、初期の浮上磁束管にねじれが無くとも、背景流の渦度によって黒点回転が駆動され、有限の磁気ヘリシティ注入が生じるのである。実際の太陽活動領域で観測されるのと同程度のねじれを与えた磁束管浮上計算と比較すると、ねじれ無しの場合の注入ヘリシティ量はねじれありの場合の約 20% から 50% にも達した。このことは、フレア黒点において測定される磁気ヘリシティは、従来の認識とは異なり、浮上磁場自体だけでなく対流場がもたらす寄与も相当量含んでいる可能性を示している。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

M26a 深層学習による太陽高解像度画像の復元：様々な観測条件における検証

福満翔 (東京大学/国立天文台), 勝川行雄 (国立天文台/東京大学), 石川遼太郎 (国立天文台), 一本潔 (京都大学), 飯田祐輔 (新潟大学)

太陽の地上観測において地球大気の揺らぎは観測画像の解像度を劣化させるなどの障害となる。これを克服するために補償光学によって低次波面補正を行い、MFBD や Speckle masking などの後処理により画像復元がなされてきた。しかし後処理による画像復元は計算コストが高く処理に膨大な時間を要することから深層学習を用いた画像復元が近年提案された。これまでの我々の研究では、MURaM による光球の画像を使用し、口径 4 m の太陽望遠鏡 DKIST による観測を想定のもと、フリードパラメータ $r_0 = [14, 28]$ cm で Kolmogorov phase screen に基づく PSF から劣化画像を作成し、さらに補償光学による低次波面補正を模擬して擬似観測画像を作成した。これらの画像を用いて U-net を参考に作成したネットワークにより画像復元を実行した。その結果、復元画像の精度は r_0 に依存しており $r_0 \lesssim 19$ cm では目標の復元画像と正解画像の RMSE < 0.01 を達成できなかった。また実用化に向けては劣化画像における様々な条件 (フリードパラメータ, 望遠鏡の口径, 観測対象, 観測波長など) において目標を達成する必要があるという課題があった。そこで本研究ではこれら様々な条件において検証を行った後、実際の観測画像への適用を行った。口径を 1 m に変更した場合は 4 m の場合と比較して画像復元が容易となり目標の RMSE < 0.01 を達成した。観測対象として黒点の画像に適用した場合は静穏領域の画像と同様に人工的な構造の出現もなく画像を復元することができた。一方で r_0 の範囲を $[8, 22]$ cm に変更した場合は、 $r_0 \lesssim 14$ cm で復元精度が急激に低下し劣化度合いにネットワークが対応できなかった。また DST/IBIS (830 nm) の観測画像に適用した結果、黒点画像においてコントラストは 16.4% から 19.6% まで回復し空間分解能の向上を確認した。

[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](#)

M27a A compression method for solar spectro-polarimetry data accumulated by Hinode SOT/SP

Jargalmaa Batmunkh (Niigata U.), Yusuke Iida (Niigata U.), Takayoshi Oba (NAOJ), Haruhisa Iijima (Nagoya U.)

Analysis on solar spectra is fundamental in research of solar physics to understand about our sun and its connection with the earth. Hinode SOT/SP has accumulated spectro-polarimetry (SP) data since 2006, however, it is difficult to process such a great amount of high dimensional data with the existing computational methods. To this end, we aim to obtain a compressed representation of SP data that will be important for more detailed studies of solar spectra, such as flare prediction, automatic categorization of spectra and detection of anomalous spectra. Autoencoder, an encoder-decoder structured deep learning model, was built for compressing solar spectra containing Stokes I and V polarization parameters, where the encoder converts the input of raw SP data into a lower-dimensional compressed representation of the spectra, and then decodes it back into a reconstruction as the output. We compared performances of the model trained with different error functions, including customized loss as the sum of weighted mean absolute error of Stokes parameters, and from the true-reconstruction scatter plot the model with customized loss function resulted smaller standard deviations of 0.57–0.7% (continuum) and 2.71–3.16% (line centers) for Stokes I, and 4.79% (left line core) for Stokes V. Furthermore, we analyzed the model trained on datasets with different degree of balance—sunspots vs quiet sun regions, and the tendency of higher the data balance, better the model performance was confirmed.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

M28a 超大型太陽望遠鏡 DKIST で観測された太陽静穏領域の対流運動と磁場構造

石川遼太郎、勝川行雄 (国立天文台)、Alfred de Wijn (HAO), Marc DeRosa (LMSAL), Mark P. Rast (CU Boulder), Carlos Quintero Noda (IAC), 大場崇義 (国立天文台), Tino L. Riethmüller (MPS)

太陽光球は乱対流運動が支配的である。特に粒状斑境界である間隙領域や、粒状斑の消滅過程などにおいて乱流が発達しやすく、それがスペクトル線幅増大として顕れることが示唆されている。またこのような乱流が磁場を強化する可能性もある。しかしながら既存の観測装置の限られた空間分解能や観測波長範囲により、乱流以外の過程である可能性を棄却できていなかった。

我々は米国ハワイ州に建設された、口径 4 m を誇る超大型太陽望遠鏡 Daniel K. Inouye Solar Telescope (DKIST) に搭載された可視光偏光分光観測装置 (ViSP) と可視光撮像観測装置 (VBI) を用いた。ViSP では Fe I 630 nm と Ca II 854 nm の波長帯でスキャン幅 1 秒角の観測を行なった。シーイングの影響が強く、安定した観測が連続的に実現されたのは約 4 分間程度であった。また比較的安定した時間帯であっても、粒状斑のコントラストは 5 % 程度以下であり (Hinode-SOT では 7 %)、空間分解能は限定的であった。一方で、スリット方向に binning することで偏光測定において S/N 比を上昇させることができ、0.15 秒角の分解能で、630 nm 帯で $8.0 \times 10^{-4} I_{\text{cont}}$ 、854 nm 帯では $1.1 \times 10^{-3} I_{\text{cont}}$ の精度で測定できた。これにより、Fe I 630 nm 線だけでなく、Ca II 854 nm 線による直線偏光の信号も確認できた。本講演では、DKIST で観測された静穏領域での偏光分光スペクトルを紹介するとともに、そこから得られる対流運動や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](#)

M29a ケーデンス 2 秒以下での高速 2 次元分光による活動領域の時間・空間変動の検出

當村 一朗 (大阪公立大学高専), 川上 新吾 (文科省), 上野 悟, 一本 潔 (京都大学飛騨天文台)

我々は京都大学飛騨天文台ドームレス太陽望遠鏡 (DST) と高速 2 次元分光観測システムを用いて多波長同時観測を行うことにより、太陽彩層～光球のダイナミクスの時間変動を調べている。2022 年 7 月および 10 月の DST 共同利用観測においては、彩層で形成される H α 線と、H α 線より少し下で形成される NaI 589.6 nm 線 (D₁ 線) による 2 波長同時観測を行い、7 月の観測では活動領域 NOAA13053 の黒点近傍における活動現象を 1.3 秒のケーデンスで約 10 分以上、10 月の観測では活動領域 NOAA13112 近傍のフィラメントにおける時間・空間変動を 1.9 秒のケーデンスで約 30 分間連続して捉えることに成功したので報告する。

2022 年 7 月 13 日 (JST) の観測時刻は 01:16-01:27UT、観測視野はスリット方向・太陽像のスキャン方向共に約 100 秒角、空間サンプリングはスリット方向に 0.16 秒角、スキャン方向に 0.64 秒角、カメラのフレームレートは 160fps、H α 線、NaI D₁ 線の波長分散はそれぞれ 0.78Å/mm (5.4 mÅ/pixel)、0.80Å/mm (5.5 mÅ/pixel) である。2022 年 10 月 6 日 (JST) の観測時刻は 23:15-23:34UT でフレームレートは 100fps、それ以外の観測パラメータは 7 月と同様である。H α 線、NaI D₁ 線のスペクトルから積分強度、ドップラーシフト、ドップラー幅等を求めて時系列マップを作成した結果、H α 線において、7 月の観測ではサージと思われる現象についてブルーシフトと線幅の変動の発生から消失までと、AFS と思われる構造のドップラーシフトの変動を、また 10 月の観測ではフィラメントのドップラーシフトの変動を捉えることができた。NaI D₁ 線における顕著な変化は見いだせなかったが、7 月に観測したサージの足元では NaI D₁ 線ドップラーシフトが定常的に大きいことが確認できた。

[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](#)

M30a 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 (京都大学)

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

しかしこれまでの先行研究では、局所的な領域における解析しか行われていない。これを受けて本研究では、2022 年 5 月 4 日、京都大学飛騨天文台 SMART/SDDI を用いて 12 時間以上に及ぶ太陽全面の分光撮像観測を行った。そして H α 線を用いて強度や速度などのパラメータを抽出し、パワースペクトルや位相差を計算し、静穏領域だけでなくプラージュ領域や活動領域、enhanced network など様々なスケールの磁場構造と波の伝播の関係を調べた。

その結果、特に 3 分周期および 5 分周期の振動パワーや位相差に関して、静穏領域ネットワークや活動領域、enhanced network、ダークフィラメントでの波動の伝播において特徴的な分布があることが明らかとなった。また、これまで多くの観測研究において彩層の吸収線のドップラー速度の 5 分周期のパワーは磁力線が傾いたネットワーク領域で強いことが示されてきたが、本研究では太陽全面にわたりインターネットワーク領域で強くなっているという結果を得た。本講演では、得られた結果のうちのいくつかを紹介し、それらの物理的解釈について議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

M31a 近赤外多波長偏光分光観測の診断能力検証:光球・彩層磁気リコネクション

川畑佑典, 勝川行雄, 久保雅仁, 大場崇義 (国立天文台), 松本琢磨 (名古屋大学), Carlos Quintero Noda (IAC)

太陽下層大気では Ellerman bomb や UV burst といった磁気リコネクション起源と考えられる現象が存在する。光球から彩層にかけては電離度 (0.01 – 1%) やプラズマ β (10^{-4} – 10^2) が大きく変化するため、エネルギー変換効率の発生高度依存性が理論的に予想されている (Smith & Sakai 2008, Ni et al. 2018)。これらの理論予想の検証のためには、様々な高度で発生する磁気リコネクション領域周囲の物理量 (磁場、速度場、温度) を取得し、変換効率の環境依存性を調査することが必要である。上記の観測的課題に対して、多波長偏光分光観測は強力な解決策になりうる。日本が中心となって開発する SCIP は近赤外線領域の多波長偏光分光観測を行い、光球・彩層の物理量のシームレスな取得を目指しており、磁気リコネクション現象も重要な観測対象の一つである。

本研究の目的は近赤外多波長偏光分光観測の磁気リコネクション現象に対する診断能力を検証し、その有用性を議論することにある。Hansteen et al. (2017) の輻射磁気流体計算に対して SCIP が観測予定のスペクトル線のうち、5つのスペクトル線の輻射合成を行い、異なる高さで発生する2つの磁気リコネクション領域に着目し解析を行った。低高度 (<500 km) での磁気リコネクションの場合光球のスペクトル線 (Fe I, K I) でリコネクションアウトフロー起源の青方遷移の成分が確認され、高高度 (>500 km) の磁気リコネクションの場合、形成層上部が加熱されていることによる彩層のスペクトル線 (Ca II) の輝線が確認された。これらの結果は、SCIP の多波長観測が異なる高度で起こる磁気リコネクションを弁別する能力があることを示唆している。また光球-彩層における磁場診断能力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](#)

M32a 赤外 Stokes vector の時系列データから彩層ジェットの起源を探るには

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

彩層ジェットは太陽彩層中でのエネルギー・質量輸送を担う現象であるが、その駆動機構については十分に理解されていない。これまで提唱されてきた駆動機構を特定するには偏光分光観測が非常に有力な手段となるが、現実的な大気からの輻射を物理的に解釈することは容易ではない。そこで将来の磁場観測の解釈の一助として、本研究では現実的な輻射磁気流体シミュレーション (飯島&横山 2017) を元に Stokes profile を合成することで (Uitenbroek 2001)、SUNRISE III/SCIP (勝川ら 2020, Sunrise Chromospheric Infrared spectro-Polarimeter) で得られるであろう赤外偏光分光観測を予言した。解析した彩層ジェットは Slow shock と遷移層との衝突によって駆動されており、Slow shock の起源は光球での磁気シートの合併により生じた下降流および Torsional Alfvén 波の伝播によるものであると解釈できる。下降流は slow rarefaction として slow shock に先行して上空に伝播するが、その様子は Fe I 846.8 nm および Ca II 854.2 nm のドップラーシグナルの時間的ラグとして観測される。また Torsional Alfvén 波の結果として生じた渦は Slow rarefaction 波として Slow shock 後方に存在し、Ca II 854.2 nm で弧状の空間構造を持つ直線偏光シグナルとして観測できる。本研究によって判明した彩層ジェットの時間発展および空間的構造と偏光分光シグナルとの対応関係は、SUNRISE III や DKIST (Daniel K. Inouye Solar Telescope), EST (European Solar Telescope) などの将来観測を解釈するための強力なツールになると期待できる。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

M33a 飛騨天文台 DST 偏光分光観測装置を用いた He I 10830 Å によるプロミネンスの磁場観測

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

プロミネンスの磁場は、プロミネンスの性質を理解する上で重要な物理量である。第一にプロミネンスの噴出メカニズムはその磁場構造に大きく依存する。第二に磁場はプロミネンスの加熱メカニズムに密接に関わっている。プロミネンスの加熱メカニズムとして熱伝導や Alfvén 波が考えられるが、これらの向きや強さは磁場に依存する。そして、磁場は偏光観測により直接推定することができる。

そこで、本研究では飛騨天文台 DST の偏光分光観測装置 (2022 年秋季年会 M16c) を使い、He I 10830 Å で複数のプロミネンス (Off-limb) を観測した。各フレームの露光時間は 30-60 ms で、1 セットのストークスプロファイルを得るために波長板を 0.7-1 Hz で回転させながら 80-100 フレームを取得した。得られたストークスプロファイルを偏光計算コード HAZEL (Asensio Ramos et al. 2008, ApJ) を用いてインバージョンし、磁場の推定を行った。結果として、磁場強度は静穏型プロミネンスでは < 40 G となり、先行研究 (e.g. Casini et al. 2003; Orozco Suárez et al. 2014; Martínez González et al. 2015) の結果とコンシステントであった。一方で活動領域プロミネンスでは $20 - 100$ G となり、フィラメント (On-disk) の偏光観測を行ったいくつかの先行研究 (e.g. Kuckein et al. 2009; Sasso et al. 2011; Xu et al. 2012) による結果 $100 - 800$ G に反する結果となった。この理由としては、先行研究で観測された強磁場はフィラメント由来ではなく直下の活動領域に由来している可能性が考えられる。

本講演では、得られたプロミネンスのストークスプロファイルを紹介するとともに、いくつかのプロミネンスの磁場強度・構造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](#)

M34a HeI 10830Å 線の偏光分光観測によるプロミネンス内波動の診断

一本潔, 山添雄大, 楠野兼太朗, 鈴木海渡, 白戸春日, 浅井歩, 上野悟, 橋本裕希, 黄于蔚 (京都大学)

太陽プロミネンスにみられる振動現象については、これまで速度場や高解像画像の観測から多くの報告がなされてきた。プロミネンスの振動は、コロナ中に存在する波動を可視化したもとの考えられ、そのモードの特定やエネルギー輸送量の定量的な評価は、コロナ加熱問題やプロミネンス磁場構造の日震学的診断等ともつながり、興味深い課題となっている。本講演は、HeI10830Å 線の偏光分光観測によって捉えられた、静穏型プロミネンスにおける波動伝搬現象について報告するものである。

観測は 2022 年 9 月 26 日、飛騨天文台ドームレス太陽望遠鏡の垂直分光器に設置された偏光分光装置 (2021 秋季年会 M13b, 2022 年秋季年会 M37a) を用いておこなった。分光器のスリット (長さ約 120 秒角) をリムに平行にし、西北縁のプロミネンス上に固定して、HeI10830Å 線のフルストークスプロファイルの約 1 時間 45 分に渡る時系列を得た。各フレームの露出時間は 50ms、回転波長板を 2 秒周期で回しながらこれを 120 枚取得し、これを 1 セットとしてデータを取得をした。そのタイムスケールは 8 秒である。

偏光復変調の後、ラインの強度プロファイルから得られた視線速度の時系列より、このプロミネンスの内部で周期 3 分~5 分の顕著な振動が見られ、それがスリット方向に約 120km/s の位相速度で伝搬する様子が捉えられた。線強度や HeI10830Å の blue component と red component の強度比に殆ど周期変動が見られないことから、この振動が非圧縮性の波、すなわち Alfvén 的な波動である事が伺える。本講演では、さらに HeI 10830Å の Stokes Q, U, V プロファイルから得られる磁場、および、波動に伴うその変動の有無について調査した結果を報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

M35a 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

山崎大輝、黄于蔚、橋本裕希、Denis P. Cabezas (京都大)、川手朋子 (核融合研)、上野悟、一本潔 (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。また我々は、露光時間 15 msec のもと、画像 200 枚の積算で 3.0×10^{-4} の精度を達成する DST 近赤外偏光観測装置を開発してきた (cf. 2017 春年会 M05a, 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概ね静穏領域上空のダークフィラメント 9 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た。ストークスインバージョンには、HAZEL (Asensio Ramos et al. 2008) を用いた。その結果、磁場強度は 8 – 35 G、磁場構造は 9 例中 7 例が順極性型、2 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。他方、磁場構造については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) と異なる結果である。本講演では、観測したダークフィラメントの形成領域、形成高度と得られた磁場構造の関係についても、先行研究と比較し議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

M36a IRIS の分光観測によるコロナホール底部へ伝播する波動の研究

内藤由浩、岡本文典、原弘久 (総研大/国立天文台)

近年、コロナホールにおける高速太陽風の加速機構として、光球、彩層底部から開いた磁力線に沿ってコロナへ伝播した Alfvén 波の散逸をエネルギー源とする仕組みが考えられている [e.g. Suzuki and Inutsuka 2006]。彩層・遷移層温度による磁力線の振る舞いはスピキュールから間接的に観測でき、これを伝える波動の検出は太陽風の加速機構に関わる Alfvén 波の伝播過程を観測的に議論する上で有意義なものである。IRIS では Si IV 輝線によりスピキュールの彩層・遷移層温度プラズマを十分な時空間分解能で分光、撮像観測することが可能で、撮像イメージを用いたスピキュールを伝える擾乱を扱った研究はある [Samanta+ 2015]。しかし、分光観測ではスピキュールに存在する波動の散逸を扱った研究 [Antolin+ 2018] はあるが、スピキュールを伝播する進行波の研究は CLASP の Ly α 線による観測でなされている [Yoshida+ 2019] 一方で、IRIS の Si IV 輝線による例は見られない。

本研究では、IRIS の Si IV 輝線による極域コロナホールの分光観測に注目した。撮像イメージから分光スリットとスピキュールが重なっている範囲とその時刻を特定し、対応するスペクトルから得られる視線方向速度と EM により間接的に求まる密度摂動の時間変動を調べた。すると、連続的に現れた視線方向速度の赤方・青方偏移が 94.0 [km/s] で上方へ伝播していく現象が見られた。これを波動と解釈し、視線方向速度分布と密度摂動の間に有意な相関がないことからそのモードが kink mode であると結論づけた。コロナホールの彩層・遷移層におけるアルヴェン速度は 100 [km/s] 程度と見積もれることから、この現象はスピキュールに沿っている開いた磁力線に存在する波動がコロナ底部へ向かい伝播していく様子を捉えた例のひとつと言える。今回は、上記のイベントにおける観測の特徴から考察しうる物理的性質について議論し、他の観測データから得られた類例について紹介する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

M37a 深層学習による動画予測手法を用いた SDO 紫外線画像の全球時系列予測

佐々木明良, 飯田佑輔 (新潟大学)

地球周辺の宇宙天気攪乱は航空機や人工衛星の運用に大きな影響を持ち、近年の宇宙利用の普及から宇宙天気予報の重要性は年々増加している。宇宙天気に影響を持つ太陽活動の予測には太陽の全球画像の紫外線像がしばしば用いられる。動画予測 (Video Prediction) とは、動画の一部分を入力としてモデルに渡すと、その入力に続く予測されるフレームを生成し出力する深層学習モデルである。動画予測は ConvLSTM (Shi, Xingjian, et al 2015) の登場を機に近年目覚ましい発展を遂げており、空間的特徴と時間的変化を統一的なメモリフローでモデル化した Pred-RNN (Wang, Yunbo, et al. 2017) や、三次元畳み込みを導入した E3D-LSTM (Wang, Yunbo, et al. 2018) などが提案されている。本研究では、Chang, Zheng, et al. (2021) で提案された、Pred-RNN をベースとする Motion-Aware Unit (MAU) を用いて、太陽全球紫外線画像の予測に挑戦した。

データセットとして、コロナホールや活動領域などの大規模構造が明瞭に見られる SDO/AIA211Å 全球画像を使用した。2010 年から 2022 年のデータを 4 時間間隔でサンプリングした。48 時間分のデータ、つまり全球画像 12 枚、をインプットとし、その後の 48 時間を 4 時間毎に推定するモデルを作成した。

作成したモデルは、直前の入力の時点で球面に確認できている大規模な構造を、差動回転に沿って概ね再現した。そのような活動領域 10 個に対して予測画像と正解画像の同ピクセルの輝度強度を比較し相関係数を計算したところ、4 時間後で 0.86、24 時間後で 0.76、48 時間後で 0.63 であった。また、直前の入力の時点で東の外縁部に存在し、時間経過後に球面に現れる活動領域も輝度強度の分布をおおよそ再現した。これらの結果は、深層学習による動画予測技術の宇宙天気予報における有用性を示している。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

M38a 機械学習を用いた太陽電波放射からの EUV 放射スペクトルの予測

前田護, 渡邊恭子, 西本将平, 北島慎之典 (防衛大学校), 下条圭美, 行方宏介 (国立天文台), 増田智 (名古屋大学)

太陽からの X 線と極紫外線 (EUV) 放射は電離圏の形成に寄与しているため、電離圏環境は太陽の 11 年周期や太陽フレアなどの現象によって変動している。このうち EUV 放射は、衛星観測に限られているため定常的なデータがない。一方、太陽からの電波放射は地上で観測できるため、地球圏環境への太陽放射の影響を見積もる際には F10.7 という 2.8 GHz の電波が EUV 放射のプロキシとして用いられてきた。

電波放射と EUV 放射では放射機構が異なり、また電波放射は熱制動放射とジャイロ放射からの重ね合わせとなっていることから、これらの放射の関係を理論的に導出することは難しい。そこで本研究では、Zhang & Paxton (2018) を参考にして、機械学習を用いて複数周波数の電波観測データから太陽 EUV 放射スペクトルの再現を行った。入力する電波データは、野辺山強度偏波計 (NoRP) の 4 周波数 (1, 2, 3.75, 9.4 GHz) と The USAF Radio Solar Telescope Network (RSTN) Learmonth 観測所のデータ (245, 440, 610, 1415, 2695, 4995, 8800, 15400 MHz) を用いた。EUV 放射スペクトルの検証には、TIMED/SEE で観測されている 0.5-190 nm の EUV 放射スペクトルを用いた。2002 年から 2016 年の間の日平均観測データを用いて EUV 放射スペクトルの再現を行ったところ、130 nm 以下の波長において相関係数 0.90 以上で再現することができた。また、EUV 放射の再現に主に効いている電波の周波数は、EUV の波長によって異なるという結果が得られた。

今回の発表では、EUV 放射の再現に寄与している電波放射について、データ解析と機械学習の結果より報告する。また、この太陽活動度による違いについても議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

M39a 輝線強度比を用いたコロナループの加熱分布測定による加熱機構の調査

石神瞬, 原弘久, 大場崇義 (総合研究大学院大学/国立天文台)

本研究の目的は、分光データからコロナループの加熱状態を推定し、現在提案されているコロナ加熱機構(リコネクション加熱・Alfvén 波加熱など)との関連を調査することである。Schrijver ら (2004) は、何らかの加熱機構により F_H [erg/cm²/s] でコロナループ(以下ループと表記)が加熱されていると仮定した場合、加熱量 F_H ・ループ底部磁場 B ・ループ半長 L の間に成り立つ関係式からループの加熱機構を制限した。 F_H はループに沿った加熱の空間分布(以下加熱分布と表記)により決定できる。加熱分布は、観測から温度・密度分布を決定することで推定できる。先行研究では、フィルター観測を用いた温度・密度診断が行われてきた。しかし、フィルター観測を使った温度診断には不定性が伴い、ループ外部の様々な温度のプラズマから放射される輝線に影響を受けるうえ、密度診断はプラズマの視線長を仮定する必要がある。本研究では Hinode/EIS で得られた EUV 分光データを解析し、複数の活動領域ループの温度・密度分布を測定した。測定には、分光データから得られる 2 輝線の強度比を使った。輝線比を使った温度診断は、ループ内部と大きく温度の異なるプラズマの影響は少なく、密度診断は視線方向の厚みを仮定する必要がないという利点がある。結果、ループ全体が一様に加熱されている場合よりも、ループに沿って平坦な温度分布が得られた。そこで、ループの位置 s に沿った加熱分布を $E(s) = E_0 \exp(-s/s_H)$ と仮定し、加熱スケール s_H と底部加熱率 E_0 の推定を行った。結果、 s_H が 3–11 Mm の範囲で得られ、フィルター観測を用いて得られた先行研究 (Aschwanden et al. 2000; $s_H = 17 \pm 6$ Mm) と同等かより短いものが得られた。さらに得られた加熱分布から、加熱量 F_H を決定し、 B と L との関係から予想される加熱モデルを推定した。結果、リコネクションがループの加熱に重要な役割を果たしていることが示唆された。

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

M40a Solar p-mode as an additional energy source for coronal heating

Hidetaka Kuniyoshi (The University of Tokyo), Richard Morton (Northumbria University), Takaaki Yokoyama (Kyoto University)

It is widely accepted that Alfvénic waves generated by granulation are the dominant energy carrier for the solar coronal heating. Additionally, p-modes excite acoustic waves into the upper atmosphere, although their contribution to the coronal heating has been ignored because they are believed to steepen into shocks rapidly before reaching the corona. However, observations found that the coronal Alfvénic energy flux show an enhancement of power at around 3 mHz. This power peak suggests that they originate from p-modes, whereas there is still no theoretical model to prove that the p-mode-driven waves can transfer their energy to the coronal Alfvénic waves before being dissipated. Therefore, we aim to investigate the propagation mechanism of the p-mode-driven waves into the corona by using a numerical model, including from the upper convection zone to the corona. To reproduce the p-mode oscillation, acoustic fluctuations in the convection zone are imposed. Consequently, we have revealed that the p-mode-like oscillations contribute to the coronal Alfvénic power around 3 mHz due to the mode conversion from acoustic to Alfvénic waves.

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

M41a 太陽コロナにおける放射凝縮現象の初期段階についての 1.5 次元 MHD シミュレーション

吉久健朗, 横山央明 (京都大学)

太陽プロミネンスやコロナルレインなどのコロナにおける低温高密度なプラズマの形成に関しては、長年様々な議論がなされているが、完全な解決には至っていない。プロミネンス形成問題について、Antiochos & Klimchuk (1991) は、固定された窪みをもつコロナループの足元に空間的に局所的な加熱を加えることにより、熱的非平衡なループを再現して、彩層蒸発によりコロナに流入したプラズマがコロナに蓄積することで密度上昇に伴う暴走的な冷却を起こし、プロミネンスを形成するというモデルを提案して、1次元流体シミュレーションでそれを実証した。プロミネンス形成において、この熱的非平衡や冷却過多な状態を作り出すためには、冷却項だけではなく、定常的や突発 (ナノフレア) 的な加熱機構の取り扱いが実は重要である。しかし、これまでは、加熱項はアドホックな形でしか与えられていない。そこで、本研究では、光球からの波の伝播によるエネルギー散逸によってコロナループの加熱問題を調べた 1.5 次元 MHD シミュレーションを参考にして、プロミネンス形成問題とコロナ加熱問題を同時に解くことを試みた。ここでは、窪みを持つようなループ状の磁力線を用意して、彩層蒸発により大量のプラズマを注入するためにループの足元でナノフレアを模した局所的な加熱を追加している。結果、彩層蒸発によるプラズマ流入によってコロナ中の密度が局所加熱を加える前より 1 桁程度大きくなり、さらに、ループ両足元からやってくる衝撃波が衝突するところでさらなる密度上昇がみられ放射凝縮が生じることを確認した。これは密度上昇前後で、衝撃波の衝突地点における加熱率と冷却率の大小関係が逆になることがコロナでの凝縮現象をもたらすことを示している。

[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](#)

M42a 黒点磁場をささえる電流の起源

柴崎清登 (太陽物理学研究所)

太陽黒点は強い磁場が集中し、まわりはほとんど磁場のない静かな光球に囲まれている。このような構造を維持するためには、黒点のまわりに磁場に直交する電流層が必要である。しかし黒点のある光球面付近の温度は低く、ガスはほとんど中性で電離度は 0.1 パーセント以下である。このような状態でいかにして電流が流れるかを明らかにするとともに黒点磁場の強度や構造について検討する。完全電離気体であれば、MHD 運動方程式を用いて定常状態での力学的平衡を議論することができるが、中性粒子は磁場と直接相互作用しないのでこれを用いることはできない。そこで中性粒子と荷電粒子の相互作用の素過程を検討して電流の起源をさぐる。十分小さな流体素を考え、そこでは中性粒子も荷電粒子も同じ温度で熱平衡状態にあるとし、磁場は一樣とする。電離度は 0.1 パーセント以下ではあるが電荷を持った粒子が存在するので、中性粒子とこれらの荷電粒子との衝突を考える。中性粒子が荷電粒子に衝突すると、その前後で荷電粒子の案内中心はジャンプする。これを平均化するとドリフト運動となり、ドリフト電流を生ずる。このドリフト電流に働くローレンツ力は、衝突の際に中性粒子から受けた力と大きさは同じで向きが反対である。中性粒子からの力を合計すると圧力勾配力であるから、MHD 運動方程式の圧力勾配の項に中性粒子の圧力勾配を加えればよいことになる。これによって、 $\nabla(\text{磁気圧} + \text{ガス圧}(\text{中性} + \text{電離})) = 0$ という力学的平衡が成り立ち、黒点磁場の閉じ込めが可能となる。黒点内部のガス圧を無視し、電流層が非常に薄いとする、黒点内部の磁気圧 = 光球のガス圧となる。光球面のガス圧を 1 万パスカルとすると、約 1,600 ガウスの磁場が得られる。光球での深さ方向のガス圧分布を静水圧分布とすると、深さ方向の磁場強度分布がわかる。1,600 ガウスを超えるような磁場強度は、深部の磁場が測定されていると考えられる。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

N01a アクシオン不安定型超新星の観測的特徴

森寛治 (福岡大学), 守屋堯 (国立天文台), 滝脇知也 (国立天文台), 固武慶 (福岡大学), 堀内俊作 (バージニア工科大学), Sergei I. Blinnikov (クルチャトフ研究所)

質量が $140M_{\odot}$ を超える超大質量星は、電子・陽電子対の生成により引き起こされる重力崩壊と爆発的核反応により電子対生成型超新星爆発 (PISN) に至ると考えられている。PISN の内部では非常に高温の環境が実現されるため、未発見の素粒子アクシオンが生成される可能性がある。アクシオンの詳しい性質は明らかになっていないが、電子質量の 2 倍より軽く光子との結合が十分に強いならば、電子・陽電子対に代わってアクシオンの生成が PISN に類似した爆発 (アクシオン不安定型超新星; AISN) を引き起こしうる。先行研究 (Sakstein, Croon & McDermott PRD 105 (2022) 095038) によると、アクシオンが存在する場合、PISN/AISN に至る親星質量が標準的な範囲より小さい方向に移動し、ブラックホールの質量ギャップが変化する。この予言は連星ブラックホールからの重力波信号を用いて確かめることができる一方、AISN からの電磁波信号はこれまでに調べられてこなかった。

そこで本研究 (Mori et al., arXiv:2209.03517) では、AISN の流体シミュレーションを実施し、その観測的兆候を調査した。その結果、親星質量を固定した場合、爆発エネルギーおよび ^{56}Ni 質量が通常の PISN のものより大きくなることを発見した。さらに、アクシオンの質量が電子と同じ値の場合、光度曲線の立ち上がり方が PISN に対する従来の予言より 10-20 日程度早くなることを発見した。したがって、PISN/AISN の候補天体の光度曲線とこの予言を比較することによって、アクシオンの性質に対して制限を付けることができると期待される。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

N02a 電子捕獲型超新星と鉄コア崩壊型超新星の多色光度曲線

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)

約 10 太陽質量を超える星は鉄コアを形成し重力崩壊型超新星 (鉄コア崩壊型超新星) となると知られている。約 8 太陽質量を下回る星は白色矮星として一生を終える。この間の 8-10 太陽質量の星の結末を明らかにすることは恒星進化理論に残された最後の 1 ピースである。これらの星は、理論的には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明確な観測はない。近年、候補天体として SN2018zd が観測されたが、鉄コア崩壊型との提案もあり統一的な解釈に至っていない。また鉄コア崩壊型の下限質量は正確に求まっていない。そのため電子捕獲型超新星の観測が待ち望まれるがその同定方法すら明らかとなっていない。

そこで今回、9-12 太陽質量の赤色超巨星 (Sukhbold et al. 2016) を親星とした鉄コア崩壊型超新星と、超漸近巨星分枝星 (Tominaga et al. 2013) を親星とした電子捕獲型超新星の光度曲線を、多波長輻射流体計算コード STELLA (Blinnikov et al. 2000) を用いて計算した。

そして、多色光度曲線を比較し、鉄コア崩壊型に対する電子捕獲型の光度曲線の特徴を調べた。その結果、放射絶対等級の光度曲線が類似しているモデルでも、プラトーの色進化が異なっており、電子捕獲型超新星では短波長のバンドで明るくなることが分かった。また、多色光度曲線が異なるにも関わらず放射絶対等級の光度曲線が類似することは、光球面の位置と温度の関係で説明できることが分かった。本講演では、用いた親星モデル及び多色光度曲線を報告する。更に、多色光度曲線を用いた電子捕獲型超新星の同定方法を提案するとともに、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](#)

N03a $^{12}\text{C}(\alpha, \gamma)^{16}\text{O}$ 反応率不定性が対不安定型超新星の元素合成に与える影響

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

$M_{\text{ZAMS}} = 140M_{\odot} \sim 260M_{\odot}$ の大質量星で起こると予言されている対不安定型超新星 (Pair-instability supernova: PISN) は e^+e^- 対不安定性の影響で元素合成が暴走し生じる爆発現象である。PISN では最終的に星の全ての部分が星の重力束縛から脱出しコンパクト天体を残さないため、PISN を起こす親星質量に対応して Pair-instability mass gap (PI mass gap) と呼ばれるブラックホール不存質量領域があると考えられていた。しかし重力波イベント GW190521 によって実はこの領域内にブラックホールが存在したことが明らかとなり、PI mass gap に関する従来の理解は修正を迫られている。

近年、PI mass gap の範囲は原子核反応、特に $^{12}\text{C}(\alpha, \gamma)^{16}\text{O}$ 反応率不定性の影響を大きく受けることが発見され、GW190521 で発見されたような $100M_{\odot}$ 近く重いブラックホールの形成を説明できる可能性として注目されている。しかし、原子核反応の不定性を考慮した場合、PISN 自体がどのような爆発となるか、特に観測的にどのような影響があるかはほとんど検討されていない。

本研究では恒星進化シミュレーションコード MESA を用いて、PISN において $^{12}\text{C}(\alpha, \gamma)^{16}\text{O}$ 不定性が元素合成、特に超新星の最大光度を支配する ^{56}Ni の合成量に与える影響を検討した。この結果、同じ質量の親星について見ると $^{12}\text{C}(\alpha, \gamma)^{16}\text{O}$ 反応率が高い環境のほうが獲得する爆発エネルギーは大きく、また ^{56}Ni の生成量は多くなることが明らかになった。また、 $^{12}\text{C}(\alpha, \gamma)^{16}\text{O}$ 反応率が低い環境のほうが重い親星でも PISN を起こすことがわかった。重い親星で PISN を起こすためには多くの爆発エネルギーが必要であるため、低反応率環境の方が反応率ごとに生成する最大 ^{56}Ni 量は多く、また最大爆発エネルギーも大きくなることが見い出された。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

N04a 重力崩壊型超新星爆発における ^{56}Ni 元素合成の詳細な描像と、 ^{56}Ni 問題について

澤田涼, 諏訪雄大 (東京大学)

重力崩壊型超新星 (以下、超新星) の爆発機構の詳細は、まだ十分に解明されていない。その原因には計算精度や近似にも課題が残されているが、なによりも現在の超新星爆発物理への理解が不十分である可能性が大きい。近年の self-consistent な多次元流体計算では、「ゆっくりとしたエネルギー成長率 ($\lesssim O(1)[\text{erg s}^{-1}]$) で、超新星爆発の典型値 $10^{51}[\text{erg}]$ まで到達しうる」と示唆されている (e.g., Bollig et al. 2021; Burrows & Vartanyan 2021)。しかし、これらの大規模計算の爆発エネルギーの増加率 ($E_{\text{expl.}}$) は、観測を説明する ^{56}Ni 質量の合成には不十分であることが最近指摘されている (Sawada et al. 2019, Suwa et al. 2019, Saito et al. 2022)。この問題を「 ^{56}Ni 問題」と呼ぶ。近年、この ^{56}Ni 問題は爆発モデルが単純であるために生まれたものであり、より現実的なモデルに更新すると解消されるとの明確な反論が出ている (Imasheva et al. 2022)。

この反論を受け本研究では、超新星爆発における放射性同位元素 ^{56}Ni の元素合成と爆発機構の詳細な関係について、再整理することを目的とした。具体的には、近似的なニュートリノ加熱モデル (light-bulb scheme) を用いて、 ^{56}Ni の元素合成領域とその合成量について、爆発エネルギーの増加率との相関傾向を調べた。本研究の結果、近年の反論と矛盾の無い形で、 ^{56}Ni 問題が改めて存在することを確認した。本講演では、我々の計算結果を基に、超新星内部での同位体 ^{56}Ni の元素合成過程の詳細について報告する。また、爆発機構のコミュニティで「 ^{56}Ni 問題」を取り扱ううえで考える不定性について、観測・理論の両面から議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

N05a II_n 型超新星の水素ライン形状と爆発前質量放出機構の関係

石井彩子 (山形大学)、武井勇樹 (東京大学、理化学研究所)、津名大地 (東京大学、カリフォルニア工科大学)、茂山俊和 (東京大学)

スペクトルに幅の狭い水素ラインが見えている超新星は II_n 型超新星と呼ばれ、そのラインは超新星により放出される物質と濃い星周物質との相互作用により生じると考えられています。光度曲線の理論解析から、いくつかの II_n 型超新星では爆発直前に親星の質量放出率が $10^{-3} M_{\text{sun}}/\text{yr}$ を上回る非常に大きな値に達することがわかっており、大規模で爆発的な質量放出が起こっている可能性が示唆されています。一方で、いくつかの II_n 型超新星のスペクトルでは、水素について幅の狭い P-Cyg と幅の広がった輝線が組み合わさった特徴的なラインが観測されています。ラインの形状は星周物質構造と、また星周物質構造は超新星爆発前の親星の質量放出機構と密接に関連しています。よって、星周物質構造とライン形状の関係を数値シミュレーションによって定量的に明らかにすることにより、ライン形状から爆発直前の星の質量放出の性質に制限をつけられる可能性があります。

本研究では、定常風の場合および超新星爆発直前に大規模質量放出が起こった場合のそれぞれについて、輻射流体シミュレーションによって星周物質構造を計算し、ポストプロセスとして光子輸送シミュレーションによって各時刻における光子エネルギースペクトルを計算しました。H α のラインに着目して計算したところ、大規模質量放出モデルの場合には爆発直後から P-Cyg ラインが見られるものの、定常風の場合には吸収線が見られないということがわかりました。これは、吸収線が見られるかどうかは星周物質の速度分布に正の勾配があるかどうかで決まっていることによると考えられます。また、様々な星周物質の質量でライン形状を比較した結果についても議論していく予定です。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

N06a Ia 型超新星におけるヘリウム表層デトネーションのセル構造に関する 2 次元シミュレーション

岩田 和也, 前田 啓一 (京都大学)

Ia 型超新星爆発を引き起こすとされている核燃焼波で、超音速の伝播速度をもつものをデトネーションと呼ぶ。これまでの先行研究では、多次元の流体シミュレーションによってデトネーションを含んだ爆発モデルの数値的検証が行われてきたが、その多くで、得られる解が格子解像度に強く依存することが確認されている。近年有力な爆発モデルとして議論される、double-detonation モデルにおいても同様であるが、結局のところどれほどの解像度が必要なのかについて明確な基準はない。

一方で、デトネーションには一般的に、最小スケールである、セル構造と呼ばれる多次元に分岐する衝撃波構造が存在する。地球上の爆発事故やエンジン燃焼など工学分野で見られるデトネーションの研究では、このセル構造の解像度が解の収束のための必要十分条件であるというのが共通認識である。よって Ia 型超新星のシミュレーションでも解像度依存性の議論に際し、セル構造のサイズを指標とすることは重要であると考えられる。しかしセル構造の研究については炭素・酸素コア内のデトネーションに対して数例存在するのみで、double-detonation モデルで想定される、ヘリウムを含んだデトネーションに対するものは皆無である。

そこで本研究では、ヘリウム表層物質内のデトネーションに関し、セル構造の 2 次元シミュレーションを行っている。これまでの結果では炭素・酸素にヘリウムが加わることで、アルファ捕獲反応に起因してセル構造サイズが縮小することが示されている。また、密度の減少に伴ってセル構造サイズが増大する結果も得られている。本講演ではこれらの効果について詳しく議論し、Ia 型超新星の成否にセル構造がおよぼす影響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](#)

N07a 爆発的質量放出による II 型超新星の前兆現象

津名大地 (東京大学、カリフォルニア工科大学)、武井勇樹 (東京大学、理化学研究所)、茂山俊和 (東京大学)

スペクトルに水素の兆候を示す II 型超新星は、重力崩壊型超新星の過半数を占めるありふれた爆発現象である。近年の II 型超新星の早期観測から、これらの大部分において爆発する親星のごく近傍に高密度の星周物質が存在することが示唆されている。この星周物質の具体的な起源はわかっていないが、超新星の数ヶ月から一年ほど前に何らかの爆発的な質量放出によって生じる説が有力となっている。もしこのような爆発的質量放出現象が現実に行われている場合、これを前兆現象として捉えることで近傍の超新星爆発を数ヶ月前から予測することができるとも考えられる。本研究では輻射流体シミュレーションを用いて、II 型超新星の親星である赤色超巨星からの質量放出に伴う可視・赤外放射を計算した。本講演ではシミュレーション結果を発表するとともに、マルチメッセンジャー天文学の主要なターゲットの一つである近傍 (10Mpc 以内) の超新星での観測可能性を議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

N08a 種族合成計算で探る連星相互作用による星周物質との相互作用で強く光る超新星爆発の性質

黄天銳、衣川智弥 (東京大学)、武井勇樹 (東京大、理研)、平井遼介 (Monash 大学)

超新星爆発の中には周囲の濃い星周物質と相互作用することで通常よりも明るく光るものが見つかっている。それらの超新星爆発ではエジェクタが濃い星周物質と衝突して光るので、星周物質由来の狭い幅の輝線が存在する。この中でも水素の狭い輝線を示すものは II_n 型、ヘリウム、炭素の狭い輝線を示すものはそれぞれ Ib_n、Ic_n 型超新星爆発として知られており、近年発達している突発天体観測によって多く見つかってきている。

これらの周囲にあった濃い星周物質は、親星が爆発直前に引き起こす大規模な質量放出によって形成されたと考えられるが、このような大規模な質量放出を引き起こすシナリオについては様々なものが提案されており、今現在も議論が続けられている。それらの大規模質量放出シナリオは大きく 2 つに分けられる。1 つは重力を復元力として振動する波によるコアからのエネルギー輸送などの大質量星の単独星進化シナリオであり、もう 1 つは大質量星と連星相互作用による質量放出の連星進化シナリオである。II_n 型の親星の大規模質量放出ではこれら両方のシナリオが考えられるが、Ib_n、Ic_n 型超新星爆発の親星はコンパクトであり、重力束縛が強く、単独星進化によって大規模な質量放出を起こすのはエネルギーが足りず困難であることが知られており、連星進化シナリオが有力視されている。そこで、本研究では大質量星とコンパクト天体の連星進化によって Ib_n、Ic_n 型超新星爆発が生じると考え、それらの種族合成計算を行い、観測から得られた割合との比較を行った。その後、その連星パラメータを用いて、連星相互作用によって II_n 型超新星爆発が引き起こされる場合の計算も行い、観測結果と比較することによって、II_n 型超新星爆発の親星の質量放出シナリオに対して制限をつけた。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

N09a 水素外層を失った大質量星からの大規模な質量放出とその後の超新星

武井勇樹 (東京大学, 理化学研究所), 黄天銳 (東京大学), 津名大地 (東京大学, カリフォルニア工科大学), 茂山俊和 (東京大学)

大質量星の中には進化末期に外層の一部を突発的に失い、密度が非常に高い星周物質を形成するものが存在することが観測的に知られている。質量放出の具体的なメカニズムは分かっていないが、外層の底にエネルギーが何らかの形で注入されることで吹き飛ばされることが示唆されている。一方で、水素外層を失った大質量星が密度の高い星周物質の中で爆発した際に生じる Ibn 型超新星の親星は、IIIn 型超新星の親星と比べてコンパクトであり束縛エネルギーが強いため、より大きなエネルギーをより短時間に注入しないと Ibn 型超新星の星周物質を形成できないことが示唆されている。本講演では、Ibn 型超新星の親星の内側からエネルギー注入を行うことで星周物質をシミュレーションし、その後の超新星の光度曲線を計算して実際の Ibn 型超新星のデータと比較しながら注入メカニズム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](#)

N10b 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现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が可能になった。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次元の複雑な流体现象であり、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。また、乱流によるエネルギー輸送やニュートリノ加熱に与える効果も注目されている。乱流にはさまざまな効果があると考えられるが、最も重要な効果は何かわかっていない。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、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う。その結果レイノルズ分解した R_{rr} の半径分布は先行研究らと対応する結果が得られた。今回は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](#)

N11b 複数の親星におけるアクシオンを考慮した重力崩壊型超新星爆発の比較

高田 剣, 森 寛治, 中村 航, 固武 慶 (福岡大学)

ダークマターの候補である未発見の素粒子アクシオン (Axion-Like Particles; ALPs) の発見は、宇宙天体物理学に多大な影響を与えると考えられている。ALPs の効果が検討されている天体現象の一つとして、重力崩壊型超新星がある。重力崩壊型超新星とは、大質量星が進化の最終段階に引き起こす爆発現象であり、ニュートリノ駆動型超新星爆発が有力視されている。しかし、詳細な物理過程を考慮した空間 1 次元シミュレーションで超新星爆発を再現することに成功した例は特別な場合に限られる。

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

そこで本研究では、Mori et al. (2022) で開発された ALPs を考慮した超新星爆発コードを使用し、1 次元数値シミュレーションを実行した。特に親星依存性を調査するため、11.2、25、40 太陽質量の 3 つのモデルに対して計算を行った。その結果、親星の質量が大きくなるにつれ、衝撃波が復活しうる ALPs パラメータ領域が広範囲となることを発見した。これは大質量の親星ほどコアバウンス後の中心が高温となり、より重い ALPs 生成に効果的な環境が実現されるためであると結論付けられる。本公演では ALPs がニュートリノ放射・加熱とそれともなう衝撃波の時間発展にどのように影響するのかを解析し、親星質量への依存性を議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

N12b RS CVn 型近接連星 σ^2 Coronae Borealis の X 線フレアからの中性鉄 $K\alpha$ 輝線の検出

内山秀樹, 磯貝拓史, 河野敬信 (静岡大学)

σ^2 Coronae Borealis は共に質量 $\sim 1.1M_{\odot}$ の 2 つの恒星が 1.14 日周期で公転する RS CVn 型近接連星である (Raghavan et al. 2009)。 σ^2 Coronae Borealis で 2006 年 8 月 24 日に起きた X 線フレアの「すざく」衛星搭載 X 線 CCD カメラ XIS による観測データを我々は解析した。フレア期間中の X 線スペクトルから、中性鉄 $K\alpha$ 輝線 (等価幅 ~ 50 – 81 eV) をこの天体からは初めて検出した。この中性鉄 $K\alpha$ 輝線の起源は、フレアで生じた高温プラズマ (~ 60 MK) からの X 線で光球が照らされて生じた蛍光放射が考えられる。その場合、この中性鉄 $K\alpha$ 輝線は、遠方の恒星では空間分解が困難なフレアの高温プラズマの空間構造を制限する新たな情報となり得る。一方でプラズマ診断により、フレアの減衰時間が高温プラズマの放射冷却時間と同程度と仮定すると、フレアで生じた高温プラズマの大きさ (半径) を星の半径 R_* の 15% 程度と見積もることができた。Drake et al. (2008) によるモンテカルロシミュレーションの結果を元に、この様に広がった高温プラズマで光球が照らされた場合の、蛍光で生じた中性鉄 $K\alpha$ 輝線等価幅と高温プラズマの位置 (光球からの距離 h 、および、恒星・プラズマ中心と我々の視線方向のなす角 θ) の関係を我々は計算した。その結果、今回検出された中性鉄 $K\alpha$ 輝線の等価幅から、フレアで生じた高温プラズマの位置について、 $h < 0.08R_*$ と制限することができた。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

N13c 銀河面からの軟 X 線背景放射 (10)

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

軟 X 線 ($\lesssim 1$ keV) 背景放射成分に対して、銀河面中性物質の吸収による X 線強度の減衰が予想より小さいことから、銀河面特有の放射成分の存在が示唆された (McCammon & Sanders 1997)。その後、すざく衛星を用いた軟 X 線分光解析により、銀河面 14 領域にてその全てから温度 1 keV 程度の未知の熱的超過成分が検出された (三石他 2013 年秋季年会)。また超過成分に対する点源の寄与を調べるため、XMM-Newton 衛星による観測時間 60 ks 以上の 34 領域で、視野内点源を足し合わせた分光解析を行った。結果、全領域で温度 0.9 keV 程度とほぼ様な熱的超過成分が確認され、点源、特に晩期型星の寄与が明らかになった (三石他 2019 年秋季年会)。さらに我々は、撮像能力は有しないものの、広い視野と軟 X 線に対し高い感度を持つ全天観測を実施した超小型衛星 HaloSat (Kaaret et al., 2020) の銀河面観測データに着目し、上述の点源足し合わせ解析と合わせ、超過成分の起源解明を目指している。これまで最もシンプルなモデルとして LHB や CXB 成分に加え、吸収のない熱的プラズマモデルで分光解析を行い、先行研究と無矛盾な熱的超過成分が検出された (2022 年秋季年会 安福他)。

そこで今回我々は HaloSat 衛星視野内の点源の寄与を定量化するべく、X 線源カタログ 4XMM-DR12 とのマッチングを行い、アーカイブデータから領域内の点源の抽出と足し合わせを行うことによりスタックスpekトルの作成を試みた。特に観測時間が長く、明るく広がった天体によるコンタミが見られない 1 領域については、解析候補点源として 197 個を検出している。本ポスターでは、分光解析結果についての議論をはじめ、検出された点源の種族等の詳細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](#)

N14c 共生星 MWC560 の活動期の分光観測

安藤和子, 福田尚也 (岡山理科大学), HIDES-F 運用グループ

MWC 560 は赤色巨星 (M5III) と白色矮星の共生連星と考えられている。共生星は爆発的増光 (アウトバースト) を半規則的に起こす。約 200 天体の共生星のうち、アウトバースト時に高速ジェットを示した共生星は 10 数個知られており、MWC 560 は恒常的にジェットを示す天体と考えられ、1990 年代にその速度は約 -6000 km/s にも達した。この天体がもつ周期は光度曲線から 9570 日、1860 日、1930 日と 331 日で議論されている (e.g. Doroshenko et al. 1993, Goromadzki et al. 2007)。2018 年 11 月には予想外の増光を示したことで注目され、以降観測シーズンごとに明るさの最大等級を更新している。我々はこの天体に対して、2016 年 3 月から分光観測を行っている。2018 年 11 月の予想外の増光前後で特に水素の Balmer 線に変化が見られた。Goranskij et al. (2018) が増光を報告してから 38 日後のスペクトルに $v_{\text{FWHM}} \approx 700$ km s $^{-1}$ に広がった wing 成分を確認した。共生星のサブタイプである Z And 型には通常のアウトバーストとは異なる弱いアウトバーストが起こることが示唆されており、MWC560 でみられた H α のスペクトル変化がこの直後を捉えていると考えられる。またこのタイプの共生星は増光後、白色矮星の周りに、疑似光球が作られることがあると予想されている。MWC560 は、2021 年 10 月に疑似光球が形成されていたと報告された (Goranskij et al. 2021)。我々の取得したスペクトルにも同様の変化が起こっており、さらに形成前から形成後にかけての変化を捉えた。本発表では観測で得られたスペクトルデータからアウトバースト後のアウトフローの膨張速度、スペクトルの時間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](#)

N15c 原始中性子星外層の後期熱的進化に関する解析

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)

超新星爆発後、中心に原始中性子星(proto-neutron star, PNS)と呼ばれるコンパクト天体が残される。この天体がニュートリノの放出により、温度が下がっていき、中性子星に進化する過程は原始中性子星冷却(PNS cooling, PNSC)である。ニュートリノの観測が超新星爆発と原始中性子星の理解に繋がる。SN1987Aの超新星ニュートリノは12.4秒しか検出できなかったが、近年ニュートリノ検出器感度の向上より、超新星ニュートリノの観測可能時間が長くなると期待されている。また、先行研究(Nakazato et.al 2018)がPNS外層の異なる重い原子核分布によるニュートリノ反応や進化計算への影響を議論した。本研究では、特にPNS外層の後期熱的進化に注目し、包括的詳細な解析を行った。

その際、我々は球対称一般相対論的な準静的PNSC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。ニュートリノ輸送として、multi-energyのflux limited diffusion schemeを使った。また、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。この計算を通じて、各反応による寄与などを議論する。

[スケジュール\(セッション毎\)に戻る](#)

[スケジュール\(全体\)に戻る](#)

[講演者索引 TOPに戻る](#)

N16c 磁場を考慮した3次元超新星モデルからの重力波

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

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

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

そこで我々は、磁場を考慮した空間3次元ニュートリノ輻射流体計算により、9-24太陽質量の単独星の重力崩壊過程を調べた。先の日本天文学会2022年秋季年会(N01a)では、16モデルの爆発後に残された中性子星の諸量(質量・スピン・キック速度)について報告した。本講演では、超新星爆発の際に放出される重力波の特徴について報告する。

[スケジュール\(セッション毎\)に戻る](#)

[スケジュール\(全体\)に戻る](#)

[講演者索引 TOPに戻る](#)

N17a 非対称な超新星残骸 W49B におけるチタン欠乏

佐藤寿紀 (立教大学), 前田啓一 (京都大学), 澤田真理 (理化学研究所)

超新星残骸 W49B は、銀河系内に存在する極めて非対称な構造を示す超新星残骸で、強い鉄輝線と共に過電離プラズマを示す特異な天体である (Ozawa+09 など)。その起源に関しては長年論争が続いており、その候補の一つはジェット駆動の重力崩壊型超新星である (Lopez+13)。ジェットを含むような非対称性の高い爆発では、局所的な高エントロピー領域で強い α -rich freezeout が起こり、 ^{44}Ti や $^{44}\text{Cr}(=^{48}\text{Ti})$ のような α 粒子の捕獲によって合成された元素が増加すると予想される。本研究では、この高エントロピーな元素合成プロセスの存在に敏感な安定チタン (主に ^{48}Ti) の存在量を観測的に示し、この残骸の起源の推定を目指す。結果として、すぎく衛星による W49B の観測の解析からは、有意な Ti 輝線は検出されず、Ti と鉄の質量比の上限は 8.2×10^{-4} (99%信頼区間) と見積もった。この結果、重力崩壊型超新星のほとんどの候補が棄却され、特にジェットを含む非対称度の高い爆発では説明が難しい事が分かった。他にも安定 Ti は、Ia 型超新星の場合、高密度な Ia 型超新星の中心部や爆発時に He shell の燃焼を含む Ia 型超新星 (白色矮星合体や Double Detonation モデル) でも合成される (Leung+20, Boos+21, Pakmor+22 など)。現状では、多くの軽めの白色矮星起源の Ia 型超新星の候補は棄却され、一部のチャンドラセカール質量に近い爆発が観測が許容する範囲に入る。一方で、チャンドラセカール質量に近い Ia 型超新星としての難しさも残っている (小さな Ni/Fe 比など)。2023 年度打ち上げ予定の XRISM 衛星の精密 X 線分光によって正確な元素量が測定できれば、これらの爆発モデルへより強い制限が可能になるだろう。

[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](#)

N18a 星周物質の X 線精密分光解析による超新星残骸 RCW 103 の親星推定

成田拓仁, 内田裕之, 吉田敬, 鶴剛 (京都大学), 田中孝明 (甲南大学)

星周物質は星の進化の途中で外層から吹き出す星風が星の周囲に溜まったものであり、大質量星の星周物質は、超新星爆発の衝撃波によって掃き集められて加熱されることで、超新星残骸において X 線で明るく光る。星周物質には星の進化の途中で合成された元素が含まれ、特に炭素 (C)、窒素 (N)、酸素 (O) の組成比は親星の初期質量や初期回転速度などに関係していることが分かっている (Maeder et al. 2014)。しかし、超新星残骸の観測に広く使われている CCD カメラなどの検出器では、低エネルギー側 (≤ 1 keV) でのエネルギー分解能が足りず、それらの元素の輝線を分光することは難しかった。そこで我々は、点源において現在のところ最も優れたエネルギー分解能を持つ、XMM-Newton 衛星搭載の反射型回折分光器 (RGS) を、コンパクトな構造を持つ超新星残骸 RCW 103 に応用し、低エネルギー側 (≤ 1 keV) における精密分光解析を行なった。この解析の結果、RCW 103 からこれまで検出できていなかった窒素の K 殻輝線を検出し、星周物質として特徴的な元素組成比 ($N/O = 3.8 \pm 0.1 (N/O)_{\odot}$) を得た。また、恒星進化モデルから様々な親星について星周物質の元素組成比を推定し、スペクトル解析の結果と比較することで、RCW 103 の親星の初期質量 ($10\text{--}12M_{\odot}$) と初期回転速度 ($\lesssim 100$ km/s) を推定した。本講演では RCW 103 の親星推定について報告し、星周物質を使った親星推定の今後の展望についても紹介する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

N19a 超新星残骸 G0.61+0.01 におけるジェット状爆発の観測的証拠の発見

田中優貴子, 内田裕之, 松永海, 成田拓仁, 天野雄輝, 佳山一帆, 鶴剛, 前田啓一 (京都大), 田中孝明 (甲南大), 岡朋治 (慶應義塾大), 竹川俊也 (神奈川大)

銀河中心領域の巨大分子雲 Sgr B2 の近傍には「すぎく」による先行研究により He-like 鉄輝線 (6.7 keV) の強い領域が見つかっており、G0.61+0.01 と名付けられている。この天体は鉄の存在量の多さ (~ 5 solar) から、イジェクタが支配的な数千年の超新星残骸と解釈されている (Koyama et al. 2007)。我々は XMM-Newton による本天体の X 線解析から、東西の性質の似通った 2 つのプラズマ雲から構成されていることを新たに発見した。また G0.61+0.01 のプラズマは、Oka et al. (2022) で報告されていた高速度コンパクト分子雲 (High Velocity Compact Cloud; HVCC) の位置と反相関していることも明らかになった。これらの結果を受け、我々はさらに野辺山 45 m 電波望遠鏡により取得した SiO $J = 2-1$ 輝線等の分子スペクトル線データを精査し、G0.61+0.01 と周辺分子雲が相互作用している強い証拠を得た。分子雲の運動状態から推測すると、東西に広がる G0.61+0.01 のプラズマは、視線上で反対方向に (双極的に) 運動していると考えられる。仮にこのプラズマの運動が超新星爆発に起因するとすると、鉄の豊富なイジェクタがジェット状に噴出したと解釈できる。系内の超新星残骸でジェット状爆発を主張する研究はこれまでもあるが (e.g., W49B; Lopez et al. 2013)、今回のように運動状態まで明らかになった例はなく初の観測的証拠である。本講演では G0.61+0.01 の X 線・電波解析結果およびこの天体の起源について考察する。

[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](#)

N20a 大質量星の晩期の大規模な質量放出現象と炭素殻フラッシュ

長谷川智也, 茂山俊和 (東京大学)

近年、超新星爆発直前の数年間に大規模な質量放出をおこなっている大質量星がいくつか確認されている。例えば Kiewe et al. (2012) は 4 つの II_n 型超新星爆発の前駆天体について、それらが爆発前に 1 年間あたり $10^{-2} M_{\odot}$ から $10^{-1} M_{\odot}$ 程度の物質を放出していたと見積もった。この質量放出の機構についてこれまで多くのモデルが提唱されてきたが、それらは未だ完全にはこの現象を解明していない。私はこの問題に取り組む上で、大質量星が超新星爆発直前期に丁度行っている殻での炭素の核燃焼に着目している。具体的には、殻での燃焼で典型的に見られる点火直後の温度の急上昇に伴って炭素燃焼のエネルギー生成率がニュートリノ生成によるエネルギー損失率を十分上回れば、そのエネルギーが星全体の構造を変化させるのに使われるのではないかと予想している。また殻燃焼の点火直後、殻の温度や圧力などの物理量の急激な変化により衝撃波が発生した場合には、星の外層にそれが伝わって質量放出を起こすかもしれないと考えている。現在私は Sugimoto & Fujimoto (1978) の提示した殻フラッシュの計算方法を大質量星の炭素殻燃焼に応用し、この殻フラッシュでどれだけのエネルギーが放出されるかを計算している。本講演ではその結果を報告する。

Sugimoto, D.; Fujimoto, M. Publications of the Astronomical Society of Japan. 1978, vol. 30, p. 467-482.

Kiewe, M.; Gal-Yam, A.; Arcavi, I. et al. The Astrophysical Journal. 2012, vol. 744, no. 1, 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](#)

N21a 突発的質量放出天体 WISE J180956.27–330500.2 のダストシェル構造 (2)

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

WISE J180956.27–330500.2 (以後 WISE J1810) は、2012 年にわれわれが「発見」した天体である。WISE, AKARI, 2MASS の赤外線測光データが示す特異な SED (Spectral Energy Distribution) と、IRAS で未検出であったということから、われわれはこの天体が、1990 年代後半に突発的に質量放出を行い、急速に膨張・冷却したダストシェルを持つ天体であるとした (Gandhi et al. 2012, ApJ 751, L1)。発見以来、われわれは *Herschel*, すばる, ALMA 等によるフォローアップ観測を行ってきた。それらのデータから、この天体のダストシェルは、酸素過多の状態であること、等方的であること、SED が黒体放射的であること、などが分かっている (天文学会講演 2012 年秋 N19a, 2013 年春 N20a, 2014 年春 N04a, 2015 年春 N14a, 2021 年春 N20a)。

前回の講演で、われわれはこの天体のダストシェルの構造を、球対称を仮定した上で温度分布などの物理量をすべてパラメータ化したモデルにより推定し、物理的には薄く光学的に極めて厚いシェルの外側に、比較的光学的に薄いシェルからなる 2 重シェル構造で説明出来ることを示した。この結果を基に、シェル内部の物理量の整合性をとった厳密な輻射輸達計算を行い、構造パラメータを決定した。講演ではその結果と、そこから導き出されるこの天体の質量放出履歴、およびその進化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](#)

N22a 恒星・変光星の系統的長期光度変化 — 1/f 揺らぎの簡単なモデル —

森川雅博 (お茶大理), 松井愛弥 (京産大理), 上坂泉 (京産大理), 中道晶香 (京産大共教)

変光星の光度時間変動が長年観測され、数十種類にもわたる変光星の多様性が研究されている。我々はその長期的な光度変化に対するパワースペクトル密度に着目した。そこに共通して見いだされる属性を特定し、恒星・変光星の普遍的側面を考察した。すると、いくつかの変光星の超低周波領域に、冪的なふるまいが見られた。それはおよそ、 $f^{-\alpha}$, ($0.5 < \alpha < 1.5$) であらわされる。これは典型的な 1/f 揺らぎであり、1925 年に Johnson が真空管の電圧揺らぎの中に発見して以降、マイクロからマクロまで様々な対象に対して普遍的に見出されてきた揺らぎである。普遍的なので、簡単な物理が背景にあるはずだが、それは長年解明されていない。通常揺らぎは非平衡物理学の対象であり、その基本として Wiener-Khinchin の定理や揺動散逸定理をもとに解析される。これらは長時間記憶や対応する散逸の存在を意味し、対象の系にはそれが見出されないのを謎を深めていた。

多数の星にさえ見出される事から、非平衡統計力学にとらわれずに柔軟に 1/f 揺らぎの可能な物理的背景を探ってみた。そして我々は最近、揃った多数の波がうなり、低周波領域に系統的な信号を生じて 1/f 揺らぎを作るという簡単なモデルを構築した。例えば、テルミンという電気楽器を思い起こそう。10MHz と 10.001MHz の電子発振体を用意して二つを重ねると、kHz 程の可聴域に信号がでて楽器となる。このうなりの原理で 1/f 揺らぎを説明しようというモデルである。

恒星・変光星の場合に、波が揃う原因として、その星が持つ固有振動を考えた。プラズマ波がそれに共鳴し、僅かに異なる波長の波がうなりを作っていくのである。この簡単なモデルを、我々が見出した 1/f 揺らぎを持ついくつかの変光星に対して検討し、モデルの妥当性を検証する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

N23a 金属欠乏星における i-process 中性子捕獲の特性 (2)

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

中性子捕獲量は Burbidge et al. (1957) によって s-process と r-process の 2 つに分類されている、但し、彼らは対称を太陽系の組成元素に限定したため低中性子密度の中性子捕獲反応しか考慮していない。そのため、shielding isotopes の起源を r-process に割り当てている。しかし、金属量が太陽組成の 1/100 以下の超金属欠乏星においては、もはや Fe が neutron poison として機能しなくなるため、より高い中性子密度下における中性子捕獲反応 (i-process) が可能となる。実際、炭素過剰金属欠乏 (CEMP) 星において、Eu/Ba の組成比の大きい CEMP-r/s 星が観測されており、その起源として i-process が考えられている。

前回の報告では、i-process の特性を調べるため質量数が一定の isobars に渡る中性子捕獲断面積の平均値 $\langle \sigma_A \rangle$ を導出し、その中性子密度依存性を調べた。その結果、 $N=82$ と $N=50$ の中性子魔法数において、中性子密度の増大とともに $\langle \sigma_A \rangle$ の最小値が各々 $138\text{Ba} \rightarrow 136\text{Xe} \rightarrow 135\text{I}$ と $88\text{Sr} \rightarrow 86\text{Kr} \rightarrow 84\text{Se}$ のように質量数の小さい isobars へ移行する bottleneck shift が見られた。但し、 135I は β -decay 後に Ba 組成に寄与するが、 84Se は Sr 組成に寄与しない。そのため、前者は time-lag 効果によって Eu/Ba 比を増大させるメカニズムを持つが、後者は持たない。

本報告では、中性子魔法数を持つ Sr, Ba, Pb とその周辺の元素 (La, Sm 等) について CEMP 星の観測との比較を行い、その起源を明らかにする。特に、s-process 元素の組成比は $\langle \sigma_A \rangle$ から求まる定常状態の値と定常状態からの増加分である time-lag の項の和によって決まっている。Eu 以外の元素における time-lag 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](#)

N24a 光度曲線の数値微分を利用した接触食連星の質量比の推定

高妻 真次郎 (中京大学)

接触連星において、質量比は重要なパラメータである。質量比が分かれば、連星系の形状が決まり、各成分星の質量や軌道長半径など他の連星パラメータも特定できる。正確な質量比を求めるには分光観測により視線速度曲線を得る必要があるが、時間的・労力的な負担が大きい。測光質量比は、一般的には光度曲線のモデルフィッティングにより得られ、簡便に質量比を推定する方法として知られている。しかし、その手法では、初期パラメータを適切に設定し、かつ光度曲線のモデリングを幾多もくり返す必要があり、相応の時間的負担がやはり必要となる。

我々は、接触型の食連星の一部について、光度曲線の数値微分により得られた導関数を利用し、質量比を推定する方法を考案した。本手法では、光度曲線に対して 3 階までの数値微分を行い、第 3 次導関数の食時刻付近に現れる 2 つの極値の時刻差を測定して線形変換することにより、質量比を推定できる。分光質量比が既知の接触食連星に対して適用したところ、おおむね ± 0.1 の範囲内で正確に推定できることがわかった。この手法は、従来の方法では不可欠であった反復作業を一切行うことなく、光度曲線から即座に測光質量比を得ることができる。講演では、本手法の適用条件や質量比を算出するための式、分光質量比との比較の結果など、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](#)

N25a The brightness increase of the Be stars viewed in the infrared

Mingjie Jian (StockholmU)

Massive stars are one of the important test lab on how the material behave in extreme physical situations. As fast rotators, the material in their equator may be ejected from the surface of the star to interstellar medium, forming a so-called decretion disk. Current models shows that the star, when developing a decretion disk, would be brighter in a time span of a year in the optical and infrared when the disk is seen face-on, but be fainter in the optical and brighter in the infrared when seen edge-on. Long term optical and IR photometry on fast-rotating massive stars are useful for modeling the decretion disks, determining their inclination and understanding the mechanism which trigger the creation of the disks. However, most of the previous studies only focused on one optical band, and usually on one star. Here we report the long-term variation of ~ 200 massive stars in the infrared, using the epoch photometry from the WISE satellite. Combining the IR photometry with optical ones such as ASAS-SN, we find that there are three main classes of long-term variations, and one of them corresponds to the creation of decretion disk. We also confirm that the W1-W2 color is a key parameter for separating the stars with and without decretion disk, and we expect that the sample of massive stars with decretion disk will be more complete after using W1-W2 as a searching criteria.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

N26a 可視低分散分光によるベテルギウスの TiO 分子帯吸収から求めた有効温度の変化

大島 修 (岡山理科大学), 藤井 貢 (藤井黒崎観測所)

2019 年秋から 2020 年春にかけて、ベテルギウスは天文学史上かつてないほどの大減光現象を呈した。筆者らはすでに 1 箇所の観測所の可視低分散分光による TiO 分子吸収バンドから有効温度を求めるために、分子バンド両端を結んだ線を仮の連続光とみなした「疑似等価幅」を測定した。そして同じ装置同じ方法を用いて MK カタログの M 型超巨星の観測から分光サブクラスによるキャリブレーションを施し、ベテルギウスの有効温度を求めた (大島・藤井 2020)。

今回、波長分解能の異なる 3 箇所の観測所の分光データから系統的誤差を減らし、より良い精度で有効温度を得るため次の 3 点の工夫を行い整約方法を改良した。(1) 波長分解能を最も低い観測に合わせて疑似等価幅を測定した。(2) MK カタログの M 型超巨星も変光しているため、その観測時期ごとに自前で分光分類を実施し分光サブクラスを決定。サブクラス値から有効温度への変換キャリブレーションに使用した。(3) 測定に使用する TiO 分子バンドを、地球大気の影響を受けにくい 3 バンドに限定し、バンドごとにキャリブレーションを実施した。

こうして大減光以前の通常変光期から 2021 年春までのより長期間にわたるより良好な精度の有効温度を得ることに成功した。これらの有効温度と大金他 (2022) の光電測光データ、AAVSO の J バンドの測光データ、気象衛星ひまわりによる多波長バンドデータ (谷口他 2022) と合わせて、ベテルギウスの大減光期とその後 1 年間の変動現象を調べた結果を報告する。

[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](#)

N27a 1999 年以降のベテルギウスの UBVRi 測光

大金要次郎 (ひかり天体観測所), 大島修 (岡山理科大学), 谷口大輔, 高梨直紘 (東京大学)

1999 年以降の、ベテルギウスの UBVRi バンドを同じ測光システムで連続測光した結果を報告します。この研究開始の 1992 年当時は検出器としては光電子増倍管から冷却 CCD への移行期でありましたが、ベテルギウスほかの明るい半規則型変光星の観測を目的としてあえて低感度のフォトダイオードを使用して測光器のシステムを作成しました。フォトダイオードの利点として以下の 3 点が挙げられます。(1) 明るい天体の観測での検出器の飽和を回避できること。(2) 光電子増倍管に必要な高電圧の安定回路の作成を行わず簡略化できることから、安価に測光システムを作成できること。(3) 本研究開始当時の CCD または CMOS の測光装置ではあまり観測されていなかった U バンドの観測が可能なこと。このフォトダイオードを用いた測光システムでの 22 年に及ぶベテルギウスの UBVRi 観測の結果から、周期性の解析を行った結果、約 405 日と約 2160 日ほかの周期を検出しました。また、U バンドでの 20 年以上と思われる長周期変動が暫定的に検出されたことについても議論します。最後に、2020 年の異常大減光 (Great Dimming) 中に発生していることを発見した、色指数 $U - B$ の特異な変動についても検討します。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

N28a α Boo の彩層と星風

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)

晩期型巨星は K 型巨星の段階で X 線でコロナが定期的に観測されるコロナ星から非コロナ星にかわる。その変化は HR 図上で分割線 (Linsky & Haisch 1979) 付近で起き、MHD 計算でも確認された (Suzuki 2007)。我々の以前のモデル (Yasuda et al. 2019) では分割線付近で星風のガス速度 v_{gas} が 80 km s^{-1} 以上の高温高速風 (1 型) から 10 km s^{-1} 未満の低温超低速風 (2 型) へと一変した。しかし観測によると非コロナ星の v_{gas} は表面脱出速度の 3 分の 1 程であり、2 型の v_{gas} は過小である。一方 2 型の質量放出率 \dot{M} は $(1-20) \times 10^{-11} M_{\odot} \text{ yr}^{-1}$ であり、近傍の K 型非コロナ星 (α Boo や α Tau など) の \dot{M} と同程度である (Harper et al. 2022; Robinson et al. 1998)。特に α Boo は 1 ガウス以下の弱い表面磁場 (e.g., Sendhauser & Berdyugina 2011) と $15400-18000 \text{ K}$ の星風基部温度 (Harper et al. 2022) を持ち、さらに拡がった CO 分子大気存在 (Ohnaka & Molares Marín 2018) も指摘されている。そこで今回は乱流圧による大気の拡張を踏まえた MHD モデルを α Boo に適用し、彩層温度と星風特性の再現可能性を調べる。質量を $1.03 M_{\odot}$ 、半径を $25.4 R_{\odot}$ 、有効温度を 4341 K とし以下のことを明らかにした。

v_{gas} は星表面でのガスの不透明度 κ_{surf} に強く依存する。より高温な星表面での値、例えば $\kappa_{\text{surf}} = 5 \times 10^{-3} \text{ cm}^2 \text{ g}^{-1}$ を採用した場合 1 型の星風となる。一方で有効温度 4341 K での値として $\kappa_{\text{surf}} = 2 \times 10^{-4} \text{ cm}^2 \text{ g}^{-1}$ を採用すると v_{gas} の観測値 ($40-50 \text{ km s}^{-1}$) を再現可能となる。しかしその場合、特徴的巨視乱流速度を 14 km s^{-1} 程と観測値 (5.2 km s^{-1} , Carney et al. 2008) より大きくする必要がある。一方でその場合の圧力スケールハイト ($0.02 R_{*}$ 程) は星表面での粒状斑の大きさの見積り ($0.05 R_{*}$; Freytag et al. 2002) よりはやや小さい。本講演ではこれらの計算結果を示し、乱流圧の星風への影響、外層大気中での分子雲 (Tsuji 2009) との共存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](#)

N29a A new grid of (magnetic) massive star evolutionary models

Zsolt Keszthelyi (NAOJ)

Stellar structure and evolution models are widely used in astrophysics. Consequently, any uncertainty in such model calculations can impact various research fields, from the scale of exoplanets to galaxy and even cosmological models. We aim to study a new physical ingredient, magnetism, in evolutionary models of main-sequence massive stars. We use a well-known stellar evolution code and incorporate wind mass-loss quenching, magnetic braking, and efficient angular momentum transport. We obtain that stellar models become slow rotators, depending on the strength of the magnetic field. However, some chemical mixing may take place on a timescale shorter than that of magnetic braking. Therefore, our models might explain the anomalous nitrogen-enriched, slow-rotating stars identified in spectroscopic studies. We quantify a range of initial magnetic field strengths that allow for producing such trends. The possibility of quasi-chemically homogeneous evolution however is inhibited for strong magnetic fields. Our grid of models is fully open access and open source.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

N30a 磁気回転星進化理論の構築 2. ねじれアルフベン波による自転加速現象の再現

高橋 亘 (東北大学)

表面に強い磁場をもつ恒星はありふれた存在であり、また強い磁場は、恒星風との相互作用や自転速度分布への作用を通じて恒星進化に大きな影響を与える。そこで我々は恒星内部の磁場進化および磁場と自転分布の相互作用をできるだけ自己整合的に記述する枠組みを考案してきた。基礎方程式は平均場 MHD 方程式に基づいており、無発散、磁束保存、角運動量保存といった原理的關係を満たしている。

自己整合的な磁気回転星モデルのなかでは差動回転とトロイダル磁場は互いを誘導しあい、この両者がポロイダル磁場を伝って半径方向に伝播する「ねじれアルフベン波」の解が存在する。本講演ではこのねじれアルフベン波の性質を詳しく紹介し、この波の伝播に伴う極めて効率的な角運動量輸送によって、星震学が明らかにした赤色巨星コアの遅い自転速度が自然に説明できることを示す。また近年いくつかの磁気星表面で自転速度が加速する現象が確認されており、見かけ上星の角運動量が増えるという驚くべき結果だとして注目されている。本講演ではこの加速現象がねじれアルフベン波の定在波によって再現できることを示し、その振幅・振動数・波形から星内部の磁場構造を推定できる可能性について議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

N31a 前主系列星の可視光高分散分光観測

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)

自転周期と有効温度はダイナモ活動の強度を決める主な物理量である。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)。前主系列星では原始惑星系円盤からも連続光成分が放射されるため、光球の吸収線の強度を相対的に弱く見積もる“ベ어링”が起こる。また質量降着や彩層活動により明るい彩層輝線を示す (Yamashita et al. 2020) ため、光球の吸収線が輝線成分に埋もれて観測されることがある。Frasca et al. (2017) は、おおかみ座星形成領域に属する前主系列星 102 天体を対象として、VLT/X-Shooter を用いて観測されたスペクトルとモデルスペクトルとを比較した。λ4400 – 9800 Å のうち、質量降着や彩層活動を原因とする強い輝線を含まない領域にある Na I, Ca I, Ti I, TiO の強度と線幅より、有効温度、表面重力、自転速度、ベ어링値を求めた。

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、λ6300 – 9400 Å 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 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。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어링値などを推定した。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

N32a すばる/IRD の近赤外スペクトルを用いた中期・晩期 M 型星の磁場強度変動調査

花見卓也, 佐藤文衛 (東京工業大学), 野津湧太 (東京工業大学/コロラド大学), 葛原昌幸, 宝田拓也, 平野照幸, (ABC/NAOJ), 原川紘季 (ハワイ観測所), 他 IRD-SSP チーム

近年、M 型星周りの太陽系外惑星探査が注目されている。特に IRD-SSP (IRD-すばる戦略枠プログラム) では主に晩期 M 型星 (M4V~) をターゲットとして、近赤外高分散分光器 IRD によるハビタブルゾーン内の地球型惑星探査が行われている。一方、自転による磁場強度分布の変化が M 型星周りの惑星観測の課題となっている。M 型星の磁場強度変動に関して、Terrien et al. (2022) では長期観測で得られた近赤外スペクトルから、中性カリウム (1243.57 nm) のゼーマン効果に伴う線幅変動を調べ、自転周期と一致した磁場変動を検出した。しかし、同様の研究は数が少なく、加えてカリウム以外の吸収線において磁場変動が検出可能かどうかは先行研究で明らかになっていない。そこで本研究では、IRD のスペクトルから磁場に感度を持つ吸収線を複数選択し、線幅の変動を解析することで中期~晩期 M 型星の磁場変動の検出を試みた。ターゲットとして、IRD-SSP において 2019~2021 年に渡って観測された 7 天体 (M3.4V~M5V) を選択した。それらのスペクトルに対して、先行研究の中性カリウムに加え、中性チタンなどの吸収線について半値全幅を計算し周期解析を行った。その結果、GJ699(M4V) と GJ1289(M4.5V) の 2 天体において、カリウム及びチタンの吸収線から周期変動が検出された。また、いずれの周期も文献の自転周期と誤差の範囲で一致した ($P_{\text{vari}} \sim 145$ d, $P_{\text{vari}} \sim 58$ d)。さらに吸収線ごとの変動量を比較したところ、よりゼーマン効果に感度を持つ吸収線ほど変動量が大きいことがわかった。これは主にゼーマン効果が吸収線幅の変動に寄与していることを示唆しており、自転に伴う磁場の変動が検出できたと考えられる。

[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](#)

N33a M 型星フレアの彩層線輝線輪郭の青方偏移現象 III: M 型星のコロナ質量放出

野津湧太 (コロラド大/NSO/東工大), Adam Kowalski, Isaiah Tristan (コロラド大/NSO), 前原裕之, 行方宏介 (NAOJ), 濱口健二 (NASA/GSFC, UMBC), James Davenport, Suzanne Hawley (ワシントン大), 本田敏志 (兵庫県立大), 幾田佳 (東大), 榎戸輝揚, 井上峻, 浪崎桂一, 野上大作, 柴田一成 (京大)

M 型星フレア中の $H\alpha$ 線では、輝線輪郭が青方偏移した超過成分を示す例が報告されている (e.g., Maehara et al. 2021)。フレアに伴う質量放出を反映する可能性もあるが、時間分解した分光測光同時観測例の不足から、青方偏移の生成過程や本当に質量放出を反映するのか、理解は進んでいなかった。

そこで、M 型フレア星 3 星 (YZ CMi, EV Lac, AD Leo) を対象に、米国 APO3.5m 等での可視高分散分光と、地上望遠鏡と TESS 衛星での可視測光での同時観測を実施してきた。その結果、42 例のフレアを検出し 7 例で $H\alpha$ 線の青方偏移した超過成分が確認された。2022 年春季年会 M44a および秋季年会 M32a において、その概要と青方偏移継続時間の多様性や、 $H\alpha$ 線以外の彩層線での青方偏移の有無、NICER での X 線観測結果などを報告した。

この 7 例の青方変移について、Maehara et al. (2021) と同様の fitting 解析を行ったところ、その速度は $73\sim 122 \text{ km s}^{-1}$ となった。太陽プロミネンスの表面輝度の関係式を仮定したところ、青方偏移を示すプロミネンス噴出の質量は $10^{14}\sim 10^{18} \text{ g}$ 、運動エネルギーは $10^{28}\sim 10^{32} \text{ erg}$ 程度と推定された。質量は、太陽のコロナ質量噴出 (CME) の質量とフレア規模の関係式の延長線上に位置し、太陽コロナ質量噴出と M 型星の質量噴出の物理的共通性を示唆する。一方、運動エネルギーは太陽 CME に基づく予想より 1-2 桁程度低い結果であるが、これは $H\alpha$ 線で観測されるプロミネンス噴出 (星表面近くでの現象) と、CME (より上空での現象) の速度差によって概ね解釈が可能である。この結果は、M 型星の CME が、星の質量/角運動量進化や惑星へ与える影響を議論する上で重要である。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

N34a 多色測光観測による若い M 型星 K2-25 の磁気活動とその惑星トランジット観測への影響調査

森 万由子, 幾田 佳, 福井 暁彦, 成田 憲保 (東京大学), MuSCAT チーム

恒星黒点は恒星の磁気活動の指標であり、M 型星においても存在すると予想されるが、その詳細な性質はわかっていない。また、黒点による恒星表面の不均一性は系外惑星のトランジット分光観測に影響し、惑星大気のシグナルの偽検出に繋がりうることが知られている (トランジット光源効果)。この効果は特に M 型星周りの惑星系において顕著であるため、個々の M 型星の磁気活動と、そのトランジット観測への影響を調べることは重要である。

本研究では、黒点の自転による周期 1.88 日の明るさ変動を示す若い ($\sim 730 \text{ Myr}$) M 型星 K2-25 について、可視多色測光による恒星のモニタリング観測と、その惑星のトランジット観測を実施した。モニタリングは LCO1m 望遠鏡の測光装置 Sinistro を用いて行い、トランジット系外惑星探索衛星 TESS と地上サーベイのデータを利用することで、約 1 ヶ月にわたる可視 4 色での測光を実現した。また、惑星 K2-25b のトランジットを多色測光カメラ MuSCAT2, MuSCAT3 を用いて 6 回観測した。

多色での明るさ変動の振幅の違いから、黒点の温度が光球面温度 ($\sim 3200 \text{ K}$) に比べ $\sim 100 \text{ K}$ 低いことが分かった。また、トランジット深さの波長依存性・恒星自転フェイズに対する変動はどちらも不確かさの範囲で一定であることが分かった。これらをもとに得られた黒点分布のモデルに対してトランジット光源効果を算出したところ、ジェームズ・ウェッブ宇宙望遠鏡におけるトランジット分光観測ではトランジット光源効果が無視できない影響を及ぼすことが分かった。本講演では、宇宙望遠鏡による次世代惑星大気観測を想定し、恒星の磁気活動とその影響を多色測光観測を用いて調査することの重要性を紹介する。

[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](#)

N35a スパースモデリング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)

恒星黒点は太陽黒点と同様に星表面の局所的に磁場の強い領域であり, M, K, G 型星などにおいて普遍的に存在している. 黒点は系外惑星の特徴づけに影響を及ぼすため, 星の磁気活動の一つの指標となる黒点の理解は不可欠である. 黒点は星の自転に伴って光度曲線を変動させるため, その光度曲線の周期性や振幅の変化から黒点の位置や大きさの変化に関する情報が得られる. これまで, トランジット系外惑星探査衛星 TESS で観測された明るい M 型星 (AU Mic と YZ CMi の Cycle 1 & 3 及び EV Lac の Cycle 2) の光度曲線 (~ 27 日) からパラレルテンパリングによって黒点の位置と大きさを推定し, その 2 年間の変化の比較を行った (2021 年秋季年会 P320a).

これまでの研究により, 単色の光度曲線からはおよその黒点の位置と大ききの推定が可能であるが, 黒点の個数が異なる複数の解が存在することが示されている. また, 多色の観測では光度曲線の振幅が異なることから黒点の温度の推定が可能であり, 黒点の位置と大ききと温度を同時に推定するマッピング手法が不可欠となる.

本研究では, 多色の光度曲線から恒星表面のマッピングを行うことで, その複数の解の縮退を解き, 黒点の位置と大ききと温度の分布の推定を試みた. 黒点は星表面の一部で明るさが連続的に分布していると考えられるため, L1(光球との明るきの差の絶対値の和) 及び Total Squared Variation (隣接する明るきの差分の二乗和) の正則化項によるスパースモデリングを導入した. そこで, 多色同時撮像カメラ MuSCAT シリーズでの可視から近赤外域の多色のモニタリング観測を想定した, M 型星の人工的な光度曲線を生成して最適化した. その結果, 星表面の明るきの分布の再現が可能である示唆が得られた. この結果を元に, 恒星表面マッピングの性能及び必要な観測波長域と観測精度の評価を行った結果を報告し, 将来的な観測天体の選定とその観測について提案する.

[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](#)

N36a 太陽型恒星コロナ放射の系統的 X 線分光解析と年齢依存性

伊藤駿, 中澤皓太, 三石郁之 (名古屋大学)

恒星風や恒星フレアの駆動源である恒星コロナの物理的理解は, 惑星などを含む恒星周辺環境の進化過程を理解する上で必要不可欠である. 恒星コロナは恒星表面に現れる磁場等により加熱され数百万度に達するため, その加熱機構の理解を目指す上で X 線観測は有用な手段となる. これまで我々は G, F 型星のコロナ特性について, その温度や放射量度に着目し解析を進め, 太陽コロナの理論・観測から予想される分光特性から大きな逸脱がないことを示してきた. また F 型星についてはロスビー数も調べ, 晩期型星同様, X 線活動性に対して負の相関が示唆された (天文学会 2020, 2022 年秋季年会 志村他, 三石他, Shimura, Mitsuishi et al., ApJ, submitted).

今回我々は, 新たに重要な恒星進化パラメータである年齢にも着目し, G 型星の X 線分光特性の年齢依存性を調べるため, 星団内の恒星に着目した. まず, 年齢が推定できる恒星サンプル候補を探すため, CMD より求められた年齢情報を含む星団カタログと X 線カタログとのマッチングを行い, 30 個の星団候補を得た. さらに, 星団候補のメンバーカタログと X 線カタログとのマッチングを行い, 太陽型星かつ比較的高統計 (=高フラックス) なものを選定した. 結果, 前主系列から主系列段階にあたる星団年齢が $\sim 10^{1-4}$ Myr の 13 個の星団に属するサンプルを得た. 例えば年齢がおおよそ 10^2 Myr 程度であり太陽より若いプレアデス星団に属するサンプルの分光解析例は, 温度が ~ 1.1 keV, X 線光度が $\sim 6 \times 10^{29}$ erg s $^{-1}$ であり, 高い温度を示した. 本講演では, 選定された星団や解析結果の詳細などを報告する.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

N37a 自動微分可能なスペクトルモデルによる M 型矮星の大気リトリーバル

石川裕之(ABC/NAOJ), 河原創(宇宙研), 川島由依(理研), 増田賢人(大阪大), 小谷隆行(ABC/NAOJ/総研大), 平野照幸(ABC/NAOJ), 葛原昌幸(ABC/NAOJ), Stevanus Nugroho(ABC/NAOJ), 笠木結(総研大)

系外惑星の主星として近年重視される M 型矮星の分光パラメータ推定は、これまで主に物理仮定に基づくスペクトルモデルとの比較によって行われてきた。しかし低温ゆえに出現する大量の分子線などの効果により、観測スペクトルとモデルとの間もしくは複数の最新モデル間での相違点が知られている。我々は、系外惑星の大気リトリーバルのために開発中の ExoJAX (<https://github.com/HajimeKawahara/exojax>) をよく知られた M 型矮星であるバーナード星の高分散スペクトル(すばる望遠鏡/IRD) に適用することで、物理仮定に極力依存しない第一原理的な方法でスペクトルフィットを行い、大気パラメータを推定した。その結果、いくつかの波長域では分子と原子の吸収フィーチャーを同時によく再現し、温度圧力構造や各原子および分子種の存在量を推定した。一方で、波長域によっては同様の手順でもデータが再現できないことも確認し、最新の吸収線データベースに不足している吸収線について議論している。M 型矮星に対する大気リトリーバル法の精査は、M 型矮星の新たな特性評価法の探索という面と惑星よりは容易に高品質スペクトルを取得できる天体における手法の検証という面の両方において有意義である。

[スケジュール\(セッション毎\)に戻る](#)

[スケジュール\(全体\)に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P101a streaming velocity による初代星星団の形成

平野 信吾, 酒井 勇輔, 梅田 秀之 (東京大学)

初代銀河の形成過程や物理的特徴をモデル化する際、初代星の星質量分布が仮定される。数値シミュレーションを用いた理論的研究より、複数の環境効果が初代星の形成過程を定性的に変えることが明らかになった。環境効果の強さによって、星形成分子雲の個数と初代星質量 ($10 - 10^5$ 太陽質量) が影響を受けるため、初代星の星質量分布は変化する。我々は環境効果の中でも、宇宙再結合期に残されるダークマター・バリオン間の相対速度分布 (streaming velocity; 以下 SV) の影響に着目している。本講演では、初期 SV 値をパラメータとした宇宙論的シミュレーション・サーベイの結果を報告する。

宇宙論的シミュレーションより取得した初代星形成領域 20 個に対して、各領域の計算初期条件に 6 通り (標準偏差の 0, 1, 1.5, 2, 2.5, 3 倍) の SV を加え、計 120 モデルの計算初期条件を作成した。全モデルに対して宇宙論的シミュレーションを行い、計算領域に初めて分子雲 (密度 10^6 cm^{-3} 以上の領域) が現れてから 200 万年後まで計算を行った。長時間進化計算を実現するため、密度 10^6 cm^{-3} 以上のガス収縮は止めている。

分子雲形成は SV が大きいほど遅れ、より大質量のダークマターハローで生じる。この時、ハロー内のガス質量は約 $10^5 - 10^7$ 太陽質量と 2 桁にわたって増加し、大質量ガス雲は複数の分子雲を形成した。SV が小さいと 1-2 個の分子雲しか形成しないが、標準偏差の 1.5 倍以上を与えると 50% 以上のモデルで 3 個以上の分子雲が形成した。今回調べたモデルからは、同じハロー内で最大 25 個の分子雲形成が確認された。

分子雲の質量分布 (core mass function) を比較すると、個数と質量が SV と共に増加する。本講演では、分子雲の質量分布が変化する SV の値と割合、それらを元に推定される初代星の星質量分布について議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P102a 宇宙初期の超大質量星形成における原始星構造について

木村和貴, 細川隆史, 杉村和幸 (京都大学), 福島肇 (筑波大学)

近年の観測では宇宙誕生から 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になっている。このような SMBH 形成の 1 つの方法として、宇宙初期に形成される超大質量星 (SMS, $M_{\text{BH}} \sim 10^{4-5} M_{\odot}$) が同質量のブラックホール (BH) へと重力崩壊し、この BH が観測されている SMBH へと成長するというシナリオが提案されている。このシナリオではそもそも SMS が本当に形成されるのかどうかは鍵であり、SMS 形成には元となる原始星に大量のガスが降着する必要がある。そこでこれまで 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降着ガス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、これまでの研究は星の構造を 1 次元のモデルに単純化しており、現実的な 3 次元構造を考慮した進化は未だに明らかにはなっていない。

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。具体的には SMS 形成が期待される“理想的な球対称ガス雲”と“現実的な乱流入りのガス雲”を用意し、これらが重力収縮して形成される原始星の構造を調べた。球対称の場合はこれまでの 1 次元モデルでは計算できなかった原始星形成直後の構造を追うことができ、さらに原始星が成長していくと 1 次元モデルと同様の進化をすることがわかった。乱流入りの場合は、乱流の角運動量により回転する扁平な原始星が形成される。この時原始星は剛体回転をし、星表面では最大でケプラー回転の 0.8 倍程度の強い回転を示し、遠心力が原始星構造の決定に重要となっていることがわかった。また、この場合の原始星からの輻射は 1 次元モデルよりも 1 桁程度大きくなっている。本講演では本計算の結果が SMS 形成に与える示唆や今後の計算の方向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](#)

P103a 近接初代星原始星連星の合体条件

桐原 崇亘 (筑波大学), 須佐 元 (甲南大学), 細川 隆史 (京都大学), 衣川 智弥 (東京大学)

極端に連星間距離が小さい大質量連星が観測されており、それらは重力波源の母天体である可能性が指摘されている。そのような大質量連星の形成過程は未だ明らかになっていない。大質量近接連星の形成過程を理解する上で、高密度の中心コアと巨大な低密度のエンベロープからなる原始星が、どれだけ接近しても合体しないかを理解することが重要である。我々は原始星連星の合体の条件を調べるために、初期の連星間距離をパラメータとして等質量原始星連星進化の SPH シミュレーションを行った。本研究では、Hosokawa et al. 2010 に基づく降着過程入りの星の進化計算により得られた星質量 $7.75M_{\odot}$ 、星半径 $61.1R_{\odot}$ の 3 次元原始星モデルを構築した。Pop I と Pop III の原始星の内部構造は似ているため、初代星原始星モデルを採用した。連星進化計算の結果、軌道角運動量が原始星のスピン角運動量に輸送されることにより、連星間距離が小さくなった。そして、初期の連星間距離が原始星半径の和の約 80% 以下であれば、連星は潮汐固定のタイムスケールよりも短い時間で合体した。合体に至るまでの質量損失は 3% 程度であり、合体後の星は高速で回転し、その内部構造は初期連星間距離に依存しないことが分かった。本結果は原始星が KH 収縮するあいだか主系列星に至った後に、何らかの連星軌道収縮メカニズムがはたらいた可能性を示唆している。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P104a 種族 III 原始星星周円盤分裂と状態方程式の硬さについて

須佐 元 (甲南大学), 杉村和幸 (京都大学), 細川隆史 (京都大学), 松本倫明 (法政大学)

種族 III の星形成は現在の銀河系での星形成とは異なり、主に水素分子による比較的効率の悪い冷却によって進行する。この始原組成ガスの冷却を考慮すると、コア収縮期には $10^4\text{cm}^{-3} \sim 10^{18}\text{cm}^{-3}$ に渡って実効的に $\gamma = 1.09$ 程度のバロトロピックなガスと近似することができ、その結果コア収縮期は自己相似的になる。コア収縮期に続く質量降着期には、原始星の周囲に星周円盤が形成され、それが重力不安定となって分裂が起きる。この円盤分裂のプロセスは輻射フィードバックと並んで、最終的な星の質量を決める最も重要な物理過程であり、これを正しく理解することは初期宇宙の天体形成を理解する上で極めて重要である。多くのグループの数値計算によって分裂の程度が調べられてきたが、計算で仮定される数値計算のパラメータ (シンク粒子生成密度あるいは状態方程式を硬くする密度) を使って計算結果をスケールすると大筋で異なるグループの結果が整合的になることがわかってきている (Susa 2019)。ただそれでもまだ分裂片の数に関する数値計算結果には同じ時刻で見ても 1dex 程度のばらつきがあり、その起源を理解することが重要である。

そこで本研究では星周円盤の不安定性がどれほど実効的な γ に依存するのかを調べ、併せて粒子コード (SPH) とグリッドコード (SFUMATO) での違いについても調べた。その結果コードによる大きな違いは見られず、 $\gamma = 1$ では非常に活発に分裂が起き、 $\gamma = 1.2$ では全く分裂は起きなかった。 $\gamma = 1.09$ は中間的な結果となった。これらの結果は解析的に星周円盤の Toomre Q の値を計算することにより理解できることも明らかとなった。分裂過程の γ に対する鋭い依存性は、これまでの多くの数値計算結果のばらつきの説明に寄与すると共に、実効的な γ を決定する始原組成ガスの冷却をかなり精密に調べる必要があることを意味している。

[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](#)

P105a 初代星形成における円盤分裂に対する乱流磁場の影響

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

一般に、現在の星形成雲には、コヒーレントな強い磁場が貫いていることが観測から知られており、磁気制動またはアウトフローによって、星周円盤や連星の形成、星形成効率などに影響する。一方で、初代星形成領域内では、微弱な種磁場が乱流ダイナモによって増幅されることで、ランダムに乱れた磁場が生成される。このように増幅された乱流磁場が、コヒーレントな磁場の場合と同様に、円盤や連星形成に影響するかどうかは明らかになっていない。そこで、本研究では、非平衡化学反応と冷却過程を考慮しつつエネルギー方程式を整合的に解いた 3 次元 MHD シミュレーションを用いて、乱流的な始原ガス雲が収縮し、その後、原始星がガス降着によって成長するまで (降着期) の初代星形成過程について調べた。その結果、収縮期に増幅された乱流磁場は、コヒーレント磁場に比べて、磁気制動による角運動量輸送の効率が低く、円盤の大きさへの影響は小さいことがわかった。一方で、磁気圧が重力に拮抗することで、円盤分裂を抑制し、形成される原始星の数が減少することが確認された。従って、収縮期に効率よく乱流磁場を増幅することができれば、初代星形成領域においても、初代星の性質に影響する可能性がある。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P106a GL 490 における分子雲衝突に誘発された星形成

山田麟, 立原研悟, 出町史夏, 深谷直史, 玉城磨生, 石川竜巳, 倉見和希, 高山楓菜, 松月大和, 福井康雄 (名古屋大学), 佐野栄俊 (岐阜大学), 藤田真司 (東京大学), 河野樹人 (名古屋科学館), 西村淳, Doris Arzoumanian (国立天文台), 榎谷玲依 (慶応義塾大学), 徳田一起 (九州大学), 島尻芳人 (九州共立大学)

GL 490 は太陽円外の距離 900 pc に位置する大質量原始星天体 (赤外線光度 $10^3 L_{\odot}$) であり、分子流天体としてもよく知られる (e.g., Lada & Harvey 1981). Moriguchi & Fukui (1987) は名古屋 4-m 電波望遠鏡による広域 CO 観測に基づいて GL 490 方向に 2 個の速度の異なる分子雲があり、これらが力学的に相互作用していることを報告している。しかし、GL 490 の成因についてはよくわかっていなかった。我々は 2022 年 11 月、新たに野辺山 45-m 望遠鏡による ^{12}CO , ^{13}CO , C^{18}O の $J = 1-0$ 輝線の広域観測を実施し、空間分解能 $\sim 20''$ のデータを取得した。おもな ^{12}CO , ^{13}CO の観測結果は次の通りである。この領域には視線速度 -13 km s^{-1} と -19 km s^{-1} の 2 個の分子雲が存在する。 -13 km s^{-1} 雲は質量が少なくとも $10^4 M_{\odot}$ あり、GL 490 はその強度ピーク方向に位置する。一方、 -19 km s^{-1} 分子雲は $10^3 M_{\odot}$ の小質量分子雲であり、両分子雲は相補的な空間分布を示す。さらに、GL 490 分子流に加えて、両分子雲は少なくとも 3, 4 箇所速度方向に伸びたブリッジ成分によって結ばれている。以上の結果から、GL 490 に付随する分子雲は分子雲衝突の観測的兆候 (Fukui et al. 2021) を示すと見られる。そこで我々は、両分子雲がほぼ 0.1 Myr 前に相対速度 10 km s^{-1} で衝突し GL 490 を形成したとの解釈を提案する。 -13 km s^{-1} 分子雲方向の分子雲柱密度は $\sim 10^{22} \text{ cm}^{-2}$ であり、分子雲衝突による大質量星形成の観測的性質を満たす (Enokiya et al. 2021). GL 490 分子雲は太陽円外における大質量星形成の稀な例として注目される。

[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](#)

P107a フィラメント状分子雲における分子雲コア角運動量の進化に対する磁場の影響

三杉佳明, 塚本裕介 (鹿児島大学), 犬塚修一郎 (名古屋大学)

星の母体である分子雲コア (以下、コア) は主に分子雲内のフィラメント構造から形成されていることが Herschel 宇宙望遠鏡による観測で明らかになったため (e.g., André et al. 2010)、フィラメントから形成されるコアの物理量を解明することは必要不可欠である。特に、コアの角運動量は原始惑星系円盤の形成、多重星形成の促進やアウトフローの駆動など星形成過程において重要な役割を果たす。一方で、磁場は磁気制動により角運動量を輸送するため、磁場がコアの角運動量輸送に与える影響を調べることは重要と考えられる。

コアを初期条件とした先行研究では、等温収縮期において磁場と垂直な角運動量が平行な成分と比べて輸送されやすいことが示されている (Tsukamoto et al. 2018)。一方で、分子雲スケールから計算したシミュレーションでは、コアの角運動量と磁場のなす角はランダムであることが報告されている (Chen & Ostriker et al. 2018, Kuznezova et al. 2020)。しかしながら、コアと分子雲の中間スケールであるフィラメント構造において磁場が角運動量輸送に果たす役割は未だ解明されていない。

これまでの私たちの研究では、磁場なしの場合について 3 次元の Smoothed Particle Hydrodynamics 法を用いることで、フィラメントの自己重力分裂により形成されるコアの角運動量の進化を調べてきた。本研究では新たにコードを磁気流体力学へと拡張し、磁場の効果を取り入れることで、フィラメントを貫く磁場がコアの角運動量進化に与える影響について調べた。その結果、磁場強度に依存してコア内部の角運動量プロファイルが変化することがわかった。また、磁場が強い場合、 $0.2 M_{\odot}$ 程度より小さな質量では磁場に垂直な角運動量が平行な成分より小さくなることがわかった。本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](#)

P108a 野辺山 45m 鏡 7BEE 受信機によるオリオン座分子雲の観測 (1)

立松健一, 西村淳, 前川淳 (国立天文台), 小川英夫, 大西利和, 長谷川豊, 山崎康正, 増井翔, 米山翔, 西本晋平, 中川凌, 西川悠馬, 藤巴一航 (大阪公大), 酒井剛 (電通大), 坂井南美 (理研), 徳田一起 (九州大・国立天文台), 宮澤千栄子, 高橋敏一, Alvaro Gonzalez, 金子慶子, 小嶋崇文 (国立天文台)

野辺山 45 鏡に搭載された新受信機 7BEE を用いて、オリオン座分子雲方向で、重水素を含む分子 DCO^+ および DNC の同時受信観測を行った。観測領域は、中質量星形成領域として注目を浴びている OMC-3 領域 (5 分角四方) と、大質量星形成領域 Orion KL 付近 (5×10 分角) である。

OMC-3 領域では、観測された強度の最大値は DCO^+ では 1 K 程度、 DNC では 0.6 K 程度であった。両輝線の分布は、北西-南東につながる OMC-3 のリッジをよく表している。両輝線の分布はよく似ているが、 DNC の分布はより直線的である。立松ほか (2021, ApJS, 256, 25; 2022, ApJ, 931, 33) の FOREST によるマップと比較すると、両輝線の分布は N_2H^+ に最もよく似ており、 HC_3N とは異なっている。非常に clumpy な分布をしている CCS とは全く似ていない。 HN^{13}C マップと比較すると、 DNC 分布と HN^{13}C 分布の間に微妙な差異がみられ、D/H 比の空間的な変化を示唆する。

Orion KL 領域では、両輝線とも弱く、0.1 K 程度以下であった。この領域ではガス温度が比較的高めなので、この影響と考えられる。

今後、星なしコアの観測に重点を置いて観測をすすめ、年会では最新成果を報告したい。

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

P109a 大質量フィラメントの幅の維持機構

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

星は分子雲中の高密度領域で形成されるがその高密度領域がフィラメント状であることや (e.g., André et al. 2010)、分子雲を通過する衝撃波がそのフィラメントの形成を誘発することがわかっている (e.g., Inoue & Fukui 2013; Abe et al. 2021)。フィラメントは、その形成機構を鑑みると磁場に沿ったガス流によって進化する。フィラメント進化過程で決まるであろうフィラメントの幅はフィラメントの幅は星形成開始条件や星の質量を決める重要な量である (Tomisaka 2014; Inutsuka & Miyama 1997)。観測からフィラメントの幅は線密度によらず 0.1 pc であることがわかっている (e.g., Arzoumanian et al. 2019)。ところが、理論的には幅は高密度なものほど小さいはずであり、観測事実と矛盾する。フィラメント境界は多くの場合“スローショック”になると考えられる。スローショックの波面は不安定であり (Lessen & Deshpande 1967; Edelman 1989)、フィラメント内に乱流を駆動し重力収縮を遅らせるための運動エネルギー供給が期待される。またフィラメントのスケールでは両極性拡散が効くためこれを考慮に入れる必要がある。本研究ではフィラメントの幅の普遍性を説明することを目標とし、まず両極性拡散入りのスローショック不安定で乱流生成が起こるか Athena++ (Stone et al. 2020) を用いた二次元非理想 MHD シミュレーションにより調べた。両極性拡散入りのスローショック不安定性の非線形発展の結果、乱流が駆動されることを発見した。さらに自己重力入りの 3D シミュレーションも行い柱密度の動径方向プロファイル調べた。約 $70 M_{\odot} \text{pc}^{-1}$ の大質量フィラメントに対し、プロファイルは観測と整合的で幅は 0.06 pc であった。両極性拡散入りのスローショック不安定性によって駆動された乱流圧が幅の維持を実現することを提案する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P110b 隣接した MHD slow mode shock の安定性

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

星は分子雲中の高密度領域で形成されるがその高密度領域がフィラメント状であることがわかっている (e.g., André et al. 2010)。フィラメントは、その形成機構を鑑みると磁場に沿ったガス衝突によって進化する。フィラメント境界は多くの場合、MHD 波動のうちスローモードの衝撃波“スローショック”になり、フィラメントは二つのスローショックに挟まれることになる。スローショックの波面は不安定であるが (Lessen & Deshpande 1967; Edelman 1989)、二つのスローショックが隣接するときの安定性は調べられていない。隣接した二つのスローショックは磁力線を介して相互作用すると考えられる。本研究では隣接した二つのスローショックの相互作用の理解を目標とし、Athena++ (Stone et al. 2020) を用いた二次元理想 MHD シミュレーションにより調べた。その結果、odd mode は単一のスローショックのときと同様に不安定であり、成長率も変わらなかった。even mode は初期は磁気張力によって安定化されるが、衝撃波圧縮層の厚みが大きくなると衝撃波同士の相互作用が弱くなり不安定性が復活することがわかった。even mode における安定性の遷移の時間スケール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](#)

P111a Core evolution in 70 μm -dark High-mass Clumps

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

The very early evolutionary stage of high-mass star and cluster formation is a key phase for understanding how the progenitors of stars form and evolve. We have conducted the ALMA Survey of 70 μm Dark High-mass Clumps in Early Stages (ASHES) toward thirty-nine cold regions with dense molecular gas, which are thought to be the ideal sites to investigate the early phase of star formation. Thanks to high-resolution (~ 0.02 pc) and high-sensitivity observations, we succeeded in intensifying 839 cores, the largest sample in infrared-dark clumps. We find more than half (60%) of cores without star-forming signatures (i.e., prestellar core candidates) and about 10% of cores associated with molecular outflows traced by CO($J=2-1$) (i.e., protostellar cores). Comparing the virial parameters of these cores, we find a continuous increase of gravitational boundness from the prestellar to the protostellar phase. We find that protostellar cores are more massive than prestellar cores as far as the protostellar core temperature is lower than 25 K, implying their growth in mass. We will make our first presentation about the comparison between the pre- and protostellar core properties using the full sample of ASHES.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P112a BISTRO Project Status (13)

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

BISTRO (B-field In STar forming Region Observations) は、東アジア天文台ジェームズ・クラーク・マクスウェル望遠鏡のサブミリ波偏波計を用いた研究プロジェクトである (2015 年発足, 翌年観測開始)。目的は、星形成における磁場の役割を深く理解することである。BISTRO はラージ・プログラムとして途切れなく採択され、日韓中台越英加愛の国と地域から 156 名の研究者が参加し、26 編の論文 (星形成領域ごとの第一世代論文 19 編, 物理を論じた第二世代論文 5 編, レビュー 2 編) を出版している。データ解析を続ける一方、さらなる観測を進めている。

本講演では、前回年会 P105a(古屋他)からの差分を概観したのち、大質量星形成領域 Monoceros R2 における波長 850 μm での偏波観測の結果を紹介する。(1) 約 ~ 1 pc の領域全体は、ハブ・フィラメント構造を示し、磁場は風車を彷彿させる渦巻き形状であった。(2) 磁場に沿って 9 本のフィラメントが同定され、それらの多くは磁氣的臨界にあると推定される。(3) 求められた質量磁束比の不定性を考慮に入れても、外周部は乱流圧よりも磁場で支えられており、中心部は重力崩壊していることがわかった (Hwang, J., ApJ in press)。以上の結果を他の領域とも比較し、星団形成におけるフィラメントと磁場の関わりに関する解析の方向性も論じる。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P113a 星団形成領域 Corona Australis 分子雲内部のフィラメント状構造

深谷直史¹, 立原研悟¹, 西岡丈翔¹, 徳田一起^{3,4}, 山崎康正², 原田直人⁴, 山崎駿⁴, 町田正博⁴, 深川美里³, Doris Arzoumanian³, 安部大晟¹, 井上剛志⁵, 犬塚修一郎¹, 福井康雄¹(1: 名古屋大, 2: 大阪公立大, 3: 国立天文台, 4: 九州大, 5: 甲南大)

Corona Australis 分子雲は、 $\sim 400 M_{\odot}$ の質量を持つ高密度ガス塊から 5 pc 程度の細長く伸びた構造を持つ head-tail 形状を有し、最近傍 ($d = 149$ pc) の小質量星団形成領域として知られている。我々は小質量星団形成の初期条件の理解を目的として、Corona Australis 分子雲 head 部の ALMA データの解析を進めている。

深谷他 2022 年秋季年会では ACA 観測の $C^{18}O$ データから *FilFinder* を用いて観測領域内 (~ 0.4 pc²) に 91 本のフィラメント状構造 (幅 ~ 0.007 pc) を同定し、それらのフィラメント状構造の物理量は柱密度 $0.5\text{--}5 \times 10^{22}$ cm⁻²、線質量 $0.7\text{--}7 M_{\odot}$ pc⁻¹ と critical line mass よりも小さい値であること、フィラメント状構造間の速度分散として ~ 1 km s⁻¹ を持つことを確認した。この構造内の $C^{18}O$ 輝線は、典型的に ~ 1 km s⁻¹ の線幅を持ち、乱流が卓越している。さらに、同定されたフィラメント状構造の分布と *Spitzer* で同定された約 50 個の YSO の分布 (Peterson et al. 2011) を比較したところ、星形成しているフィラメント状構造は 10 本程度であった。これらの結果から同定されたフィラメント状構造のほとんどは重力的不安定性では分裂せず一時的な構造の可能性がある。また、Corona Australis 分子雲は 2 つの HI シェルの縁が重なる位置に分布していることから外的な擾乱を受けている系と推測される。このような観測から得られた描像は、磁場入りのガス衝突流の slow shock による不安定性を計算した高分解能数値シミュレーションで良く説明されると考えられる (安部他今年会講演参照)。シミュレーション結果との詳細な比較についても報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P114a 近傍の星団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)

星形成過程において、分子雲は崩壊・分裂の寄与によって階層的に高密度構造を形成していき原始星へと至る。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圧力勾配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をジーンズ長と呼ぶ。星団形成に寄与すると予想されるクランプの分裂によって高密度コアが形成されると考えられており、コア間の間隔分布とジーンズ長を比較することで、クランプからコアへの分裂過程に対する手がかりを得ることができる。我々はこれまでに 30 の大質量星形成領域を対象とした ALMA データ (空間分解能: $\sim 10^3$ au at 3 kpc) の解析を行った (Ishihara et al. in prep)。その結果、 $\sim 6 \times 10^3$ au に特徴的なピークを発見し、ジーンズ長と同程度であることが分かった。また、空間分解能や質量感度の違いによる観測的なバイアスを考慮しても結果が揺るがないことを確認している。

本講演では、小質量星形成領域である Ophiuchus 分子雲 ($d \sim 130$ pc) と Corona Australis 分子雲 ($d \sim 140$ pc) の高密度コアに対して同様の解析を適用した予備的な結果を紹介する。この領域は *Herschel* データ (空間分解能: $\sim 1.2 \times 10^3$ au at 130 kpc) を用いた先行研究 (Ladjelate et al. 2020; Bresnahan et al. 2018) によりコアカタログが得られている。これらに記載の高密度コアの座標に対し Minimum Spanning Tree を適用し、間隔分布を取得した。その結果、2 領域ともに星団形成領域では約 10^4 au に顕著なピークを持つ分布が得られた。ピークの間隔は両領域ともジーンズ長の 0.1 倍程度でほぼ一致することが分かった。これは、雲スケールの重力不安定性などの力学過程がコアの形成過程で重要であることを示しているのかもしれない。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P115a 高密度コアの衝突により誘発されるストリーマ構造の形成

矢野 雄大(東京大学), 中村 文隆(国立天文台)

星は分子雲の高密度コアから形成される。古典モデルでは、コアが重力収縮することで中心部に星が形成され、同時にコアの周辺環境の影響は無視される。従って、形成される星の物理的特性は、母天体となるコアの物理的な初期条件によって決定される。しかし、近年の観測的・理論的研究により、コアの物理状態は降着や合体・衝突などの周囲の影響を強く受けている可能性が示唆されている (e.g., Shimajiri et al. 2019; Takemura et al. 2021)。Pineda et al. 2020 は、Perseus の星形成領域 (IRAS 03292+3039) を観測した結果、ストリーマと呼ばれるコアから棒状に伸びた非対称構造をもつ天体を発見した。そうした非対称構造も、コアの進化過程において周囲の影響を受けて形成された可能性があると考えられる。本研究では、力学状態の異なるコア同士の衝突を 3 次元数値シミュレーションによって追跡した。その結果、コアの衝突で星周構造にストリーマ構造が形成されることがわかってきた。また本研究と関連して、我々は既存のコアカタログからコアの衝突頻度を見積もり、分子雲中のコア衝突が十分に起こりうることを確認した。

コア衝突の数値計算には、AMR と Sink Particle を用いた。簡単のため、乱流や磁場、コアの回転は無視した。計算の結果、一方のコア中心部での原始星系形成後に、コアが合体し圧縮層が形成され、そのあと渦巻き構造をもつ回転円盤やストリーマが形成された。角運動量は衝突するコアの軌道運動から注入される。円盤は中心星に向かってガス降着を促し、質量降着率の時間変動を引き起こすことが分かった。衝突で形成されるストリーマはコアから伸びる 2 本腕の構造になることが多いが、それぞれの腕を構成するガス成分の母天体が異なるため、IRAS 03292+3039 で観測されているような化学成分の非対称性も説明できるかもしれない。

[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](#)

P116a 星形成過程において高密度コアの衝突は極めて重要な過程である

中村文隆、矢野雄大、木下真一 (国立天文台・東京大学天文)

現在の星形成の標準モデルでは、分子雲から高密度コアが形成され、そのコアの中心部が重力収縮することによって星が形成される (Shu et al. 1987)。コアの重力収縮過程では、外部からのガスの流入は無視できるほど小さく、星の質量はコア形成時に決まることになっている。しかし、最近の観測的研究・理論的研究の両面から、星形成途中でのガスの流入の重要性が指摘されてきた。例えば、竹村らはオリオン分子雲のコア質量関数と星の初期質量関数を比較し、星なし段階から原始星への進化過程において周囲のガスの流入が重要であることを提案した (Takemura et al. 2021, ApJ, 910, 6; 2022, ApJ, in press, arXiv:2211.10215)。コア質量が増大する過程として、コア周囲のガスの降着過程がしばしば議論されるが、コアの合体成長も重要かもしれない。本研究では、コアの衝突や合体がどの程度重要であるかを既存のコアカタログを使って見積もった (see also Kinoshita & Nakamura 2022, ApJ, 937, 69)。その結果、分子雲中でのコア衝突は高い頻度で起こることが示唆された。

具体的には、同一の球形コアが 3 次元空間に一樣に分布し等方に運動していると仮定し、コアの物理量の観測値を使って衝突頻度の概算値を見積もった。簡単のため、重力・磁場などは無視した。このような見積もりから、rho Oph や Serpens South などの星団形成領域では、典型的なコアはその生涯に 10 回ほどの衝突を経験すると見積もられた。また、Lupus のように星が散在的に形成されている領域でも数回程度の衝突を経験する。つまり、コア衝突は、星形成過程において極めて重要な物理過程であるといえる。ここで、コアの寿命は星なしコア段階と Class 0/I 段階の和 (0.5–1 Myr) と定義した。コア衝突は最近の観測から見えてきた、単一コアの収縮では説明が難しい原始星系の様々な性質を自然に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](#)

P117a MHD シミュレーションで探る分子雲コアの角運動量と磁場構造

木下真一 (東大), 中村文隆 (国立天文台)

星は分子雲コアと呼ばれる高密度ガスが重力収縮することで形成される。そのため分子雲コアの物理的な性質は、星形成を考える上で非常に重要である。特にコア内部の角運動量は連星系や原始惑星系円盤の形成に大きく影響を及ぼすことが知られている (e.g., Tohline 2002; Li et al. 2014)。またコアスケールの磁場はコア内部のガスの運動を左右し、角運動量を輸送する働きを持つ (e.g., Chen et al. 2016; Hull et al. 2017)。

本研究では $\sim 10^3 M_{\odot}$ のクラump内部での星団形成を考え、3次元自己重力磁気流体シミュレーションを実行した。シミュレーションでは、「回転を伴う単一クラumpのインフォール」(e.g., Shimoikura et al. 2016)、及び「クラump同士の衝突」(e.g., Higuchi et al. 2010)の2つの星団形成過程を再現し、形成される分子雲コア内部の角運動量と磁場を統計的に調べた。その結果として、クラumpの回転エネルギーの寄与が大きい場合には、コアの角運動量とクラumpの回転軸が整列する傾向にあることがわかった。一方で、乱流が強かったり、クラumpが衝突する場合にはコアの角運動量の向きはランダムに分布しており、クラumpの大局的な運動に依存しない。またコアの角運動量とコア内部の磁場のなす角は、ほとんどのケースで整列せず、一様な分布を持つことが明らかになった。本講演ではこれらの結果を報告すると共に、コアのエネルギー状態や磁場の大局的な性質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](#)

P118a 分子雲コアの周辺環境が原始星への質量降着率やアウトフローに及ぼす影響

野崎信吾, 町田正博 (九州大学)

分子雲コアが星に進化する際に星がどのように質量を獲得するのは星形成過程を理解する上で非常に重要である。なかでも分子雲コアの周囲にガスが豊富に存在する星形成領域では、周囲のガスが分子雲コアに質量を供給していることも観測的に確認されている (e.g., Könyves et al. 2020; Redaelli et al. 2022)。また ONC 領域の観測では IMF と CMF の関数の形状と最大値をとる質量がよく一致することが示されている (Takemura et al. 2021 a, b)。これらの観測結果では、分子雲コアが星に進化すると同時に分子雲コア自体も周囲のガスを獲得しながら時間進化することを示唆している。分子雲コアの周囲のガスが分子雲コアから星への進化に与える影響を調べるために、我々は初期密度分布と分子雲コアの外側のガスが収縮する範囲をパラメータとして回転・磁場を考慮しない数値計算を行った。その結果分子雲コア周辺の密度分布が比較的高い場合、原始星への高い質量降着率が維持されることを示した (2022 年秋季年会 P146a)。実際には、星形成過程において回転円盤外縁から駆動するアウトフローは、角運動量を輸送する機構として重要である。そのため回転・磁場を考慮した数値計算を用いて分子雲コア周囲の環境の違いがアウトフローにどのように影響を及ぼすかは詳しく調べる必要がある。

そこで今回、我々は3次元磁気流体シミュレーションコードを用いて周囲の密度分布が異なる分子雲コアの収縮過程に関しての磁場・回転を考慮した数値計算を行った。分子雲コアの初期密度分布をパラメータとして、原始星への質量降着率の変化を調べた。その結果、磁場・回転を考慮しない場合と比べて高い質量降着率がより継続することがわかった。さらに分子雲コア周囲の密度分布の違いがアウトフローによる質量放出率に及ぼす影響について議論を行う。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P119a Insights on the Sun birth environment in the context of star-cluster formation in hub-filament systems

Doris Arzoumanian (NAOJ), Sota Arakawa (JAMSTEC), Masato I. N. Kobayashi (NAOJ), Kazunari Iwasaki (NAOJ), Kohei Fukada (Osaka University), Shoji Mori (Tohoku University), Yutaka Hirai (University of Notre Dame, USA), Masanobu Kunitomo (Kurume University), M. S. Nanda Kumar (University of Porto), Eiichiro Kokubo (NAOJ)

Molecular filaments are observed to be the main sites of Sun-like star formation, while massive stars form in dense hubs, at the junction of multiple filaments. The role of hub-filament configurations has not been discussed yet in relation to the birth environment of the solar system and to infer the origin of isotopic ratios of Short-Lived Radionuclides (SLR, such as ^{26}Al) of Calcium-Aluminum Inclusions (CAIs) observed in meteorites. In this work, we present simple analytical estimates of the impact of stellar feedback on the young solar system forming along a filament of a hub-filament system. We suggest that the host filament can shield the young solar system from the stellar feedback, both during the formation and evolution of stars (stellar outflow, wind, and radiation) and at the end of their life (supernovae). We show that the young solar system formed along a dense filament can be enriched with supernovae ejecta (e.g., ^{26}Al) during the formation timescale of CAIs. We also propose that the streamers recently observed around protostars may be channeling the SLR-rich material onto the young solar system. We conclude that considering hub-filament configurations as the birth environment of the Sun is important when deriving theoretical models explaining the observed properties of the solar system.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P120a 初代銀河における星団形成シミュレーション:初期星質量関数

福島肇, 安部牧人, 矢島秀伸 (筑波大学)

初代銀河において誕生する星は、紫外線光による宇宙再電離や超新星爆発等による重元素供給など、その後の宇宙における銀河・星形成に多大な影響を与える。これらの高赤方偏移銀河の観測については、JWSTにより飛躍的に進み、その形成現場が直接捉えられつつある (e.g., Harikane et al. 2022)。このような初代銀河の形成段階では、非一様な分布を持った低金属量ガスが集積することで星形成が進むことが期待される。低金属量星の形成では、ガスの熱進化が異なることから top-heavy IMF が実現することが予測されているが (e.g., Omukai et al. 2005, Chon et al. 2021)、非一様な金属量分布の星形成雲においてどのような星質量分布が実現するかについては未解明である。

そこで本研究では、初代銀河シミュレーション (Abe et al. 2021) から得られたガス雲を初期条件として、輻射流体シミュレーションを行った。これから、初代銀河における星団の星質量分布を導出した。結果として、母体となる星形成雲の金属量が非一様であるため、 $Z \simeq 10^{-3} Z_{\odot} - Z_{\odot}$ の幅広い範囲の金属量を持つ星が誕生した。特に、電離フィードバックによるガス雲蒸発により星形成を制御するため重要である大質量星については、ほとんどの星が $Z \lesssim 10^{-2} Z_{\odot}$ と、低金属量星として主に誕生することが判明した。一方、 $1 M_{\odot}$ 以下の小質量星については、 $Z \gtrsim 10^{-1} Z_{\odot}$ と、金属量の高い星で主に構成される。このため、初代銀河内部の星団では、金属量が異なる星が混在するとともに金属量ごとに星質量に偏りがあることが判明した。そして、低金属量ガスから大質量星がより多く誕生することから、星団全体としては flat に近い top-heavy IMF となる。講演では更に、星団の性質とアウトフローが小質量星の分布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](#)

P121a Young Massive Cluster 形成時の観測的特徴：連続光 spectrum と高密度 HII 領域

猪口睦子, 細川隆史, 嶺重慎 (京都大学), 福島肇, 矢島秀伸 (筑波大学), 田中圭 (東京工業大学)

Young Massive Cluster (YMC) は近傍宇宙に見られ、球状星団の形成時の姿に近いとも言われる。星団内で星形成が継続し、星団質量がまだ増加しているこれらの形成段階をよく理解できれば初期宇宙の星団・矮小銀河形成の理解に直結する可能性がある。最近、Fukushima & Yajima (2021) により YMC 形成の輻射流体シミュレーションが行われ、YMC 形成の条件は母体ガス雲の compactness であることが示唆された。Compactness が高いと、星団周囲に HII 領域が膨張しようとするより早く星団へのガス降着により星団質量が増加する。すると重力的束縛が効くため星団中の星形成が継続し、YMC 形成に至る。

このときの観測的特徴を引き出すため、シミュレーション結果に基づく一連のポストプロセス輻射輸送計算を行った。今回は特に、電波域での連続光 spectrum 計算の結果を紹介する。HII 領域形成時に星団重力が大きく影響するため、YMC 形成時はサイズが大きしながら高密度の電離バブルが長く残ることが特徴である。この進化を反映して、電波の free-free 放射は非常に強く、進化が進んでも強度が低下しない。また、密度が高いため emission measure が大きく、低振動数側で光学的に厚くなる。観測的には、光学的に厚くなる上限振動数を用いて HII 領域のサイズ-密度関係が広く議論されている (e.g., Garay & Lizano 1999)。YMC 形成段階をこのサイズ-密度図上にプロットしたところ、銀河系の HII 領域系列とは明らかに異なる高密度側に来ることが分かった。これは、実際に YMC 形成が見られる系外銀河中の HII 領域が示す傾向 (Hunt & Hirashita 2009) と非常によく一致する。一方で、compactness の低いガス雲から始めたシミュレーションでは、通常の散開星団形成に至って系内 HII 領域の系列に一致することも分かった。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P122a 低金属量銀河小マゼラン雲における大質量原始星の ALMA 観測 (2): 原始星に付随するフィラメント状分子雲の性質

國年悠里, 東野康祐, 鈴木大誠, 北野尚弥, 小西亜侑, 大西利和 (大阪公立大学), 徳田一起 (九州大学/国立天文台), 原田直人, 町田正博 (九州大学), 田中圭 (コロラド大学ボルダー校/国立天文台), Sarolta Zahorecz, 河村晶子 (国立天文台), 福井康雄 (名古屋大学), 下西隆 (新潟大学), Naslim Neelamkodan (アラブ・エミレーツ大学)

小マゼラン雲は最も近い星形成銀河の 1 つで、金属量が太陽系の約 0.2 倍程度であることから低金属量環境下における星間物質の性質や星形成を探る上で重要な実験場である。これまでの銀河系や大マゼラン雲における研究ではフィラメント状分子雲で活発な星形成が起こることが知られており、より金属量の低い小マゼラン雲で同様な構造の有無を明らかにするなど、母体分子雲の性質を調べることが星形成活動の金属量依存性を調べる上で一つの重要な課題であった。我々は小マゼラン雲における 6 つの大質量原始星方向の ALMA データ解析を推進しており (徳田ほか今年会)、本講演では 0.87 mm 帯の連続波及び、 $^{12}\text{CO}/\text{SO}/\text{HCO}^+$ 輝線の結果を紹介する。空間分解能は $0.''34$ (~ 0.1 pc) であり、銀河系の研究で示されているようなフィラメント状分子雲の有無を判別することが十分可能である。0.87 mm 連続波及び SO/HCO^+ 輝線は原始星周辺 0.4 pc 程度のコンパクトな領域でのみ検出され、密度 $\sim 10^6 \text{ cm}^{-3}$ の分子雲コア領域のみをトレースしている。 ^{12}CO 輝線はそれら分子雲コアに接続するように長さ 1-7 pc 程度のフィラメント状の構造を示すことが分かった。 ^{12}CO 輝線強度より求めたそれぞれの総質量は $\sim 10^4 M_{\odot}$ 程度で、個別のフィラメントの物理量は、線質量が数 $100 M_{\odot} \text{ pc}^{-1}$ 、密度 $\sim 10^4 \text{ cm}^{-3}$ 程度と銀河系の大質量星形成領域で見られるものと同程度であり、太さは典型的に 1pc 未満であった。

[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](#)

P123a 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

柘植紀節¹, 東野康祐², 徳田一起^{3,4}, 小西亜侑², 村岡和幸², 大西利和², 立原研悟⁵, 佐野栄俊⁶, 福井康雄⁵ (1: Friedrich-Alexander-Universität, 2: 大阪公立大学, 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) では小マゼラン雲との相互作用起源の $50\text{--}100\text{ km s}^{-1}$ の原子ガス衝突が有望な星団形成過程だと示唆されている。LMC 南東部に含まれる N159 領域では、衝突の向きに対応した、強い指向性を持つフィラメント分子雲が同定されている。これは kpc 規模の原子ガス衝突により pc 規模以下の分子雲/大質量星形成が誘発された可能性を示唆する。よってサンプル数を増やし、分子雲形成過程の普遍性と多様性を検証することが目下の課題である。本講演では ALMA Cycle8 2021 で採択された N44, N11, N79 領域の広域分子雲サーベイ (2021.1.00490.S; PI: Tsuge, K.) の初期解析結果を報告する。従来の 6 倍以上の分解能 ~ 7 秒角 (~ 1.6 pc) の観測により、フィラメント状の構造が明らかになった。また、速度差 $10\text{--}20\text{ km s}^{-1}$ の複数速度成分の存在が明らかとなった。ピクセル間の比較とデンドログラムによる分子雲同定結果から、速度分散、 $^{13}\text{CO}/^{12}\text{CO}$ (積分強度比)、形状の特徴 (雲のアスペクト比、位置角) を 3 領域間で比較した。速度分散の最大値は N44 (14 km s^{-1}) > N11 (8 km s^{-1}) > N79 (5 km s^{-1}) となり、N44 が最も複雑な速度構造を持っている。また、N44 は $^{13}\text{CO}/^{12}\text{CO} > 2$ の雲が N11, N79 よりも多く、高密度ガスがより効率よく形成されていることが示唆される。また、分子雲同定の結果から、N44, N11 はアスペクト比 > 2 のフィラメント状の構造が検出され、指向性を持った分布をしていることがわかった。一方、N79 は他 2 領域と比較すると粒状の構造が多く指向性の顕著な特徴も見られなかった。これらの特徴と原子ガスの衝突方向、衝突速度、衝突圧縮の圧力を比較し、分子雲/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](#)

P124a Survey of NH_2CHO , HNCO , H_2CO , and CH_3CN toward high-mass protostars by the DIHCA Project

Kotomi Taniguchi, Patricio Sanhueza, Masao Saito, Fumitaka Nakamura (NAOJ), Prasanta Gorai (Chalmers University of Tech.), Ankan Das (Institute of Astronomy Space and Earth Science), Fernando Olguin (NHTU)

Formamide (NH_2CHO), the simplest possible amide, has been known as a pre-biotic precursor containing a peptide bond that connects amino acids to form proteins. Although its presence in the interstellar medium has been known for a long time, its formation processes are still under discussion. We have analyzed data of molecular lines from NH_2CHO , HNCO , H_2CO , and CH_3CN in ALMA Band 6 toward 30 high-mass star-forming regions obtained by the Digging into the Interior of Hot Cores with ALMA (DIHCA) project. Forty-five continuum cores and hot molecular cores (HMCs) are identified in the target regions, and we derived fractional abundances of the target molecular species at each core. We have conducted statistical analyses for investigation of chemical links among the molecular species. To exclude the lurking third variable, we applied the partial correlation test. Strong positive correlations between NH_2CHO and HNCO and between NH_2CHO and H_2CO are found. These results suggest chemical relationships between them. The observational results are consistent with our chemical simulations including dual-cyclic hydrogen addition and abstraction reactions between HNCO and NH_2CHO and gas-phase formation of NH_2CHO from H_2CO .

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P125a 大質量星形成領域 G24.33+0.14 におけるミリ波メタノール輝線の増光

廣田朋也、砂田和良、BURNS Ross A. (国立天文台)、金美京 (大妻女子大学)、元木業人 (山口大学)、杉山孝一郎 (タイ国立天文学研究所)、米倉覚則 (茨城大学)、Maser Monitoring Organization (M2O)

2019年9月、大質量星形成領域 G24.33+0.14 において 6.7 GHz 帯のメタノールメーザー増光 (フレア) が WISE による赤外線増光と共に観測された。G24.33+0.14 ではメタノールメーザーフレアが 2010~2012 年にも観測されており、再起的なフレアを起こす特徴が確認されている。このフレア現象は、大質量星形成領域 S255IR NIRS3、NGC6334I-MM1、G358.93-0.03-MM1 で近年報告されたものと同様の、突発的な質量降着現象 (降着バースト) 4 番目の検出例と考えられる。メーザー天体の国際共同研究グループ Maser Monitoring Organization (M2O; <https://www.masermonitoring.com>) は、ALMA バンド 6 での 2016 年 8 月 (Cycle 3)、2019 年 9 月 (Cycle 6 DDT) の観測結果を比較することで、G24.33+0.14 におけるメタノールメーザーフレア前後の連続波放射、および、分子輝線の時間変動を調査した。G24.33+0.14 では、6.7 GHz 帯メタノールメーザーが最も明るいミリ波コア C1 に付随しており、連続波の強度変化 (Cycle 6/Cycle 3) は 1.16 ± 0.01 倍と ALMA の強度較正誤差 (10%) と同程度であることが確認された。また、G24.33+0.14-C1 ではメタノールを除くと 13 分子種からの 26 本の分子輝線が同定され、ホットコアの存在も確認された。これらの Cycle 3 と Cycle 6 での分子輝線強度比は平均 1.12 ± 0.15 となっており、連続波での強度比と同程度の値となっていた。一方、213~230 GHz 帯の 8 本のメタノール輝線は、Cycle 6 では Cycle 3 に比べて強度比が平均 1.23 ± 0.13 となっており、連続波や他の分子輝線に対してやや大きな増光の兆候が見出された。もしこれらミリ波メタノール輝線の系統的な増光が有意であれば、メタノール輝線の放射領域の拡大、あるいはメタノール分子の励起状態の変化として解釈される。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P126a ALMA による原始星 HH270mms1 から駆動するアウトフロー・ジェットの見出し

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)

太陽系近傍の星形成領域から系外銀河まで、大小様々な質量の原始星にアウトフロー・ジェットが普遍的に存在することが知られている。アウトフローとジェットは原始星円盤からの磁気遠心力風と原始星の極近傍からの磁気圧勾配力風の 2 つの異なるメカニズムによって駆動されていると考えられている。しかし、ミリ波・サブミリ波の分子輝線観測によりそれらが共に捉えられている系は限られており、運動学的特徴に基づいて駆動メカニズムの理解を深める詳細な研究が重要である。本研究の対象とする HH270mms1 はオリオン座星形成領域 L1617 ($d=407$ pc, Kounkel et al. 2018) に存在する Class I 原始星であり、干渉計による観測で 10 km s^{-1} 程度の速度をもつ CO アウトフローの存在と (Lee et al. 2000)、サブミリ波観測で 900 au 離角の 2 つの連続波源があることが確認されていたが (Tobin et al. 2020)、アウトフローの駆動源やその詳細な構造などは明らかにならなかった。そこで我々は ALMA アーカイブデータ (2019.1.00086.S) を用い、 $^{12}\text{CO}(3-2)$ 輝線 (分解能 $0''.57$) の解析を行なった。これによりアウトフローの駆動源は mms1-A であることを特定した。さらには先行研究では報告されていない相対速度 $|v_{\text{LSR}} - v_{\text{sys}}| \sim 60 \text{ km s}^{-1}$ までの高速度成分を有していることが新たに分かった。低速度成分 ($10-20 \text{ km s}^{-1}$) の位置速度図から楕円形の構造が見られ、アウトフローの回転をトレースしていると考えられる。相対速度 55 km s^{-1} の高速度成分はよくコリメートされており、その軸線上に 400-800 au 間隔でノット構造も存在する。また、これらの中間的な速度成分も検出され、一部はジェットに巻き込まれて加速された成分であると思われる。以上により、このシステムはアウトフローの回転、ジェットの駆動とそれによるガスの巻き込みと、よく知られた原始星の質量放出に関する現象が単一の輝線で同定された初めての例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](#)

P127a 前主系列星の長期モニタリング (III) 星近傍のジェット構造の長期時間変動

高見道弘 (ASIAA), H.M. Günther (MIT), P.C. Schneider (Univ. Hamburg), T.L. Beck (STScI), J.L. Karr, 大山陽一 (ASIAA), R. Galván-Madrid (UNAM), 鶴山太智 (IPAC), M. White (ANU), K. Grankin (CrAO), D. Coffey (Univ. College Dublin) C.-F. Liu (ASIAA), 深川美里 (NAOJ), N. Manset (CFHT), W.-P. Chen (NCU), 表泰秀 (NAOJ), H. Shang (ASIAA), T.p. Ray (DIAS), 大塚雅昭 (京大), M.-Y. Chou (ASIAA)

ジェットと降着円盤の組み合わせは宇宙のさまざまな天体で見られる。ジェットと質量降着との関係についていくつもの理論が提唱され、数値シミュレーションで検証されている一方、その観測的検証は容易でない。特に原始星や前主系列星のジェットについては、ジェットが放出される領域や加速領域を空間分解できないことが、観測的検証の大きな障壁となってきた。

われわれは代替のアプローチとして、3つの活発な前主系列星 (RW Aur A, RY Tau, DG Tau) について、ジェットや質量降着の長期モニタリング観測を10年にわたり行なった。2016年および2019年の講演ではRW Aur Aについて、可視の分光や測光により観測される質量降着活動が長期変動すること、この変動とジェットの放出が時間相関する可能性を示した。本講演では、すべての天体におけるジェットの [FeII] 輝線の観測を総括する。星近傍のジェットは、 $0''.1$ の空間分解能でも十分に空間分解できない、こぶ (ノット) の連なりで構成される。ノットの放出が時間的に不規則であり、その明るさが時間とともに暗くなる一方、そのサイズは徐々に大きくなる。明るさの減衰の度合いはノット毎に異なり、あるいは個々のノットでも時間に伴い度合いが変化する。これらの結果は、ジェット・ノットが衝撃波によるものであるという説明と矛盾しない。

[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](#)

P128a 前主系列星のスピンダウン問題に対する解決策の提案

高棹真介 (大阪大学), 國友正信 (久留米大学)

星は原始星段階から前主系列星段階にかけて、円盤からの降着により質量や角運動量を受け取る。さらに林トラックにおける半径収縮により、もし星の角運動量が収縮中に保存されたままだと星の自転速度はブレイクアップ速度近くで回転することになる。しかし、観測的には T Tauri 型星のような低質量前主系列星はブレイクアップ速度の10%程度でしか自転していないことが知られている。つまり星が効率的に角運動量を捨てているとわかっているが、その機構は長年の謎となっている。多くの観測から円盤の存在が星のスピン進化を決める鍵だと示唆されているため、星磁場を介した星・円盤相互作用が長年調べられてきた。しかし近年の軸対称2次元シミュレーションによるパラメータ調査により、非常に幅広いパラメータで星がスピニアップしてしまうことが示され (Pantolmos et al. 2020, Ireland et al. 2021)、これまでの理論は困難に直面している。特に、過去のモデルはスピンドウンを説明するために星表面からの強力な星風を仮定せざるを得ない状況にある。このような背景の中、我々は近年の3次元シミュレーションの結果 (Takasao et al. 2022) を踏まえたスピンドウン問題の解決策を提案する。3次元シミュレーションは、星が高速に回転していて共回転半径が磁気圏半径よりも小さい場合に、回転する磁気圏が強力な円盤風を駆動することを示した。その円盤風は質量損失率が降着率の約10%であり、星から角運動量を抜き取る働きをしている。この結果をもとに、我々は磁気圏が駆動する円盤風が太陽質量星のスピンドウンを実現可能か理論的に考察した。星進化計算に基づく星半径進化と降着率の時間進化も考慮してスピンドウン時間を調べたところ、星は約1 Myr 以内にスピン平衡 (磁気圏半径と共回転半径が等しい状態) に到達できるとわかった。本講演では過去の2次元モデルとの相違点も議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P129a Gaia DR3 を用いた Monoceros OB1 領域の若い星の解析

西亮一, 樋山舜崇 (新潟大学)

銀河系における星形成の主要部分は、巨大分子雲において集団的に起きている。集団的に形成した星の大半は星団として生き残ることはなく、OB アソシエーションを形成したのち、フィールド星になっていくと考えられる。我々は Gaia の位置天文データを用いて解析を行うことにより、OB アソシエーションの構造と進化の研究を行っている。

本講演では、Gaia DR3 を用いて行った Monoceros OB1 領域の若い星の解析について報告する。Monoceros OB1 は 700pc 程度の距離にあり、オリオン領域に次いで近傍に存在する巨大分子雲に付随した OB アソシエーションである。若い星の多くは天球面上において分子雲と重なって分布しており、吸収の影響を十分考慮した解析が必要である。我々は、Gaia データを用いた解析により距離と HR 図および固有運動から所属する若い星を選択し 2MASS と組み合わせることで確認を行った。

選択できた中小質量の若い星は既知のサブクラスター Mon OB1 と Mon R1 に集中しており、多くは 10^6 y より若い前主系列星であった。Mon OB1 では膨張運動は明確ではなかったが、Mon R1 では dec 方向へ 2×10^6 y 程度のタイムスケールでの膨張運動が確認できた。オリオン領域など他の領域との比較や、別の選択則を用いた先行研究との比較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](#)

P130a Gaia DR3 を用いた Cep OB3 association の解析

樋山舜崇, 西亮一 (新潟大学)

銀河系内の大質量星を含む星形成の大部分は巨大分子雲で集団的に起こると考えられている。集団的に形成された星は OB association を形成した後、拡散してフィールド星になると考えられている。そのため、OB association の解析は、銀河系の星形成、進化を知る上で重要である。

本講演では、Gaia DR3 のデータを用いた Cep OB3 association の解析結果について紹介する。Cep OB3 association は太陽系から約 800 pc に位置する OB association であり、若い星の集団としては太陽系近傍で最大級の Cep OB3b を含む領域である。この領域から吸収の影響に注意しながら HR 図および固有運動を利用して若い星を選択した。そして、天球面分布から若い星が密集する 2 つのサブグループを決定し、詳細な解析を行った。その結果、どちらのサブグループに対しても位置-速度図から膨張の傾向が確認でき、そのタイムスケール (赤経方向) はそれぞれ 0.60 Myr, 0.33 Myr であった。また、天球面分布における 2 体相関関数を求め、若い星ほど密集している結果を得た。さらに、星の固有運動を巻き戻すトレースバックを行い、過去の天球面分布における 2 体相関関数も求めた。その結果は、位置-速度図から求めた膨張のタイムスケールや HR 図での等時曲線から求めた星形成のピークと整合的であった。さらに、オリオン領域など他の OB association との比較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](#)

P131b ALMA を用いた大質量星形成領域に対する化学組成のサーベイ観測

塩村信人、酒井剛 (電気通信大学)、Patricio Sanhueza (国立天文台)

近年、小質量星原始星周囲の化学組成に多様性があることを示唆する結果が報告されているが、大質量星形成領域において誕生したばかりの星周囲のガスの化学組成に多様性があるのか未だよくわかっていない。本研究では、ALMA による DIHCA (Digging into the Interior of Hot Cores with ALMA) プロジェクト (PI: Sanhueza, P.) で観測されたデータを用い、誕生したばかりの若い大質量星周囲の化学組成を統計的に調査した。観測の空間分解能は $\sim 0.4''$ であり、観測周波数帯は ALMA Band 6 である。DIHCA プロジェクトで観測された 27 領域において、6.6 mJy/beam 以上のピーク強度を持つ連続波源 76 天体について化学組成を調べた。

観測周波数帯域内には数多くのスペクトル線が観測されているが、本研究では特に、酸素を含む複雑な有機分子として、 CH_3OH 、 $^{13}\text{CH}_3\text{OH}$ 、 CH_2DOH 、 HCOOCH_3 、 CH_3OCH_3 、窒素を含む複雑な有機分子として $\text{C}_2\text{H}_5\text{CN}$ に着目し、76 天体の化学組成を調べた。76 天体において、それぞれの分子の検出率は、 CH_3OH :56/76、 $^{13}\text{CH}_3\text{OH}$:45/76、 CH_2DOH :37/76、 HCOOCH_3 :44/76、 CH_3OCH_3 :44/76、 $\text{C}_2\text{H}_5\text{CN}$:41/76 であった。 CH_3OH が観測された領域について rotation diagram により温度を求めたところ 200-300K 程度であった。観測された分子の柱密度を求め、 CH_3OH の柱密度との比を取り、各天体の比較を行なった。その結果、酸素を含む複雑な有機分子の CH_3OH に対する存在量は、それぞれの観測天体において比較的似た傾向を示すが、窒素を含む複雑な有機分子 $\text{C}_2\text{H}_5\text{CN}$ の CH_3OH に対する存在量は、酸素を含む複雑な有機分子の場合に比べ、天体ごとに大きくばらつくことがわかった。本ポスターでは、観測結果の詳細と化学組成の違いの起源についての考察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](#)

P132b 正二十面体による HII 領域推定の拡張

王蘊玉、斎藤貴之、牧野淳一郎 (神戸大学)、藤井通子 (東京大学)、平居悠 (ノートルダム大学/東北大学)

大質量星フィードバックメカニズムは星・銀河進化過程に大きい影響を与えていると考えられている。そのうち、光電離フィードバックは大質量星から放出される電離光子により、周囲のガスを電離・加熱し、HII 領域を形成し、その後の星形成に影響を与えうる。従来の銀河シミュレーションの中では、一様密度場で成り立つストレルムグレン球で電離領域を近似する簡易モデルが比較的よく用いられているが、一様密度場という近似は一般に正しくない。密度分布の偏りにより HII フィードバックモデルの評価に大きな誤差が生じうる。輻射流体シミュレーションで電離領域の形成を直接扱えば原理的困難はないが、光源が多数あると計算規模が極めて大きくなり負担が大きい。本研究では、簡易的に星形成領域の空間非一様性を取り込むため、HII 領域の広がりをも正二十面体の各方向ごとに独立に評価するモデルを導入した。このモデルを SIRIUS プロジェクト (Hirai et al. 2021) で開発されている星団-銀河形成のシミュレーションコード ASURA-BRIDGE に導入し、その評価を行なった。その結果、光源周辺の密度場に傾斜がある場合でも予想される電離半径を二十面体の範囲で再現することができた。本講演では、SIRIUS プロジェクトに基づいた確率的星形成メカニズムを採用し、個別の恒星運動を扱った、星団のシミュレーションに適用した場合についても報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P133b 低金属量銀河小マゼラン雲における大質量原始星の ALMA 観測 (1): 原始星アウトフローの初検出

徳田一起 (九州大学/国立天文台), 國年悠里, 東野康祐, 鈴木大誠, 北野尚弥, 小西亜侑, 大西利和 (大阪公立大学), 原田直人, 町田正博 (九州大学), 田中圭 (コロラド大学ボルダー校/国立天文台), Sarolta Zahorecz, 河村晶子 (国立天文台), 福井康雄 (名古屋大学), 下西隆 (新潟大学), Naslim Neelamkodan (アラブ・エミレーツ大学)

星は誕生した瞬間から双極分子流 (以下、アウトフロー) をほぼ例外なく放出する。これまでの銀河系や大マゼラン雲のミリ波サブミリ波のサーベイ観測や高解像度観測により、アウトフローの統計的性質や駆動メカニズムの理解が大きく進んだ。しかしながら、サブ pc スケールの分解能が達成できる距離において金属量が最も小さい銀河である小マゼラン雲でのアウトフローは検出されてこなかった。そのため、様々な金属量環境下における星形成過程について観測的な制限を加える上で同銀河の原始星を観測する重要性が高まりつつあった。

我々は、小マゼラン雲の 6 つの大質量原始星 (赤外線光度 $\sim 10^4 L_{\odot}$) に対して、アウトフローを検出する上で有用な CO(3-2) 輝線、0.87 mm 連続波等による ALMA 観測を行った。全ての天体において原始星周辺で連続波が検出され、うち 3 つの天体からは原始星アウトフロー起因である $\geq 15 \text{ km s}^{-1}$ の相対速度をもつ CO の高速度成分を見出した。特に Y249 という天体は中心の位置 (連続波ピーク) と速度に対して、高速度成分の空間的/速度的な対称性が最も良かった。これらのアウトフローの運動量等の物理量と赤外線光度の関係は銀河系で知られていたものと矛盾しない。これらのことは、アウトフローを伴った星形成過程が金属量 $0.2-1 Z_{\odot}$ の範囲内において定性的に普遍的であることを意味する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P134b 非理想磁気流体力学効果が及ぼす単極アウトフロー駆動への影響

高石大輔, 塚本裕介, 三杉佳明, 高桑繁久 (鹿児島大学), 須藤靖 (東京大学)

これまでの星形成領域の観測から、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、非常に若い原始星 IRAS 15398-3359 では、双極アウトフローと垂直な方向に駆動するアウトフローが発見されている (Okoda et al. 2021)。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、原始星の活動性やその周囲に形成される原始惑星系円盤への質量降着や角運動量輸送に大きな影響を及ぼす。そのため、原始星から駆動されるアウトフローの形状の違いを理解することは、原始星や原始惑星系円盤の形成進化を理解するために非常に重要である。

これまで私たちは非理想磁気流体 3次元シミュレーションを用いて、より現実的な星形成環境である磁化した乱流分子雲コア中で形成した原始星近傍から駆動するアウトフローの形状について調べてきた。その結果、初期分子雲コアの磁気エネルギー E_{mag} が乱流エネルギー E_{turb} より小さい場合 ($E_{\text{mag}}/E_{\text{turb}} \leq 0.3$)、単極アウトフローが駆動することを発見した。一方で、非理想磁気流体力学効果として考慮していたオーム散逸と両極性拡散が、単極アウトフローの駆動にどの程度影響するのかについてはまだよく分かっていなかった。

そこで本研究では、単極アウトフローが駆動した場合の初期分子雲コアを用いて、非理想磁気流体力学効果を考慮しない、理想磁気流体 3次元シミュレーションを行った。その結果、非理想磁気流体力学効果を考慮しない場合にも、単極アウトフローが駆動することが分かった。これは、単極アウトフローの駆動条件は、オーム散逸や両極性拡散の有無に影響せず、初期分子雲コアの磁気エネルギー E_{mag} と乱流エネルギー E_{turb} 、すなわち、アルフヴェンマッハ数 $M_A = \sqrt{E_{\text{turb}}/E_{\text{mag}}}$ に依存することを強く示唆している。

[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](#)

P135b Lindroos 天体を含む散開星団の発見

伊藤洋一 (兵庫県立大学)

天体の年齢を考えると、弱輝線 T タウリ型星は古典的 T タウリ型星の 10 倍、ポスト T タウリ型星は弱輝線 T タウリ型星の数倍の数があるはずである。しかしながら例えば、おうし座分子雲では古典的 T タウリ型星と弱輝線 T タウリ型星の数は同程度であり、ポスト T タウリ型星はほとんどない。また全天を見渡しても、ポスト T タウリ型星は非常にわずしか発見されていない。とはいえ、付随する原始惑星系円盤は既に光学的に薄く、質量降着も沈静化していると考えられるので、ポスト T タウリ型星はそのスペクトルに顕著な特徴がなく、観測で見逃されてきた可能性もある。

Lindroos 天体は、大質量主系列星の伴星として存在する FGK 型星である。大質量星が主系列に滞在する時間は数千万年程度と考えられるため、伴星の年齢も数千万歳であると考えられる。すなわち Lindroos 天体はポスト T タウリ型星の有力な候補である。

ところで、恒星の大半は集団で生まれる。そこで、Lindroos 天体と同時に形成された恒星を、位置天文学の手法で探査した。研究には、位置天文衛星 Gaia が測定した年周視差、固有運動、みかけの明るさなどを用いた。調査対象は数十個の Lindroos 天体の周囲 1 パーセクである。調査の結果、Lindroos 天体と同様の年周視差、固有運動、年齢を持つ恒星が集団で存在する領域を複数確認した。これらはポスト T タウリ型星の有力な候補といえよう。

[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](#)

P136c Lupus 領域の前主系列星に付随する原始惑星系円盤の進化時間

高木悠平 (国立天文台)、伊藤洋一 (兵庫県立大学)、大朝由美子 (埼玉大学)

前主系列星および原始惑星系円盤、原始惑星の形成過程と進化を明らかにする上で重要な役割を果たすのが正確な年齢決定である。前主系列星は分子雲に埋もれており、かつ原始惑星系円盤の赤外放射があるため、測光観測に基づいた進化過程の詳細な議論は困難である。そこで我々は高分散分光観測による前主系列星の年齢の調査を行った。この方法では、前主系列星が進化とともに収縮することに着目し、分光観測で得られる前主系列星大気の吸収線から表面重力を求めることで年齢を決定する (Takagi et al. 2010, 2011)。

我々はこれまでに、近傍星形成領域である Taurus および Ophiuchus に属する前主系列星の年齢を決定し、原始惑星系円盤の散逸時間を求めた。その結果、Taurus では 2.4 Myr、Ophiuchus では Taurus の約半分の 1.2 Myr で散逸することが分かり (Takagi et al. 2014, 2015)、原始惑星系円盤の進化過程が星形成領域の環境によって変化することを示唆されたが、その原因は明らかになっていない。

そこで Taurus と Ophiuchus と同様、近傍低質量星形成領域である Lupus 領域にある前主系列星に着目し、2021-2022 年にすばる望遠鏡 HDS を用い 800nm 近辺の高分散スペクトルを取得した。Lupus は Ophiuchus と同様、分子雲の近傍に大質量星があることから、Lupus と Taurus、Ophiuchus の原始惑星系円盤の散逸過程を比較することで外的環境と円盤散逸過程の関係性をより詳細に調査できる。本講演では、Lupus 領域の前主系列星 14 天体の年齢と原始惑星系円盤の散逸時間、また他の分子雲との散逸過程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](#)

P201a 原始惑星系円盤の長期進化シミュレーションのためのコード開発

小林雄大, 高石大輔, 塚本裕介 (鹿児島大学)

近年の ALMA 望遠鏡をはじめとする観測技術の向上により、原始惑星系円盤の高解像度な観測が可能になってきた。例えば、観測的な研究では、分子雲コアや原始惑星系円盤をもつ若い天体 (Young Stellar Objects, YSOs) などが観測されている。特に回転円盤を持つ若い天体としては、ALMA によって観測された HL tau が代表的である。

一方で、理論的には原始惑星系円盤の形成進化において磁場の物理が重要であるとされており、主に 3 次元シミュレーションを用いた研究が精力的に行われてきた。その結果、非理想 MHD 効果が円盤の形成進化過程において重要な役割を果たすことが示されている [Tsukamoto et al 2017; Wurster and Bate 2019]。また最近では、惑星の材料であるダストの 3 次元的な運動についても調べられており、アウトフローで巻き上げられたダストが再び円盤に降り積もる”降灰現象”が確認されている [Tsukamoto et al 2021; Koga et al 2022]。

しかし 3 次元シミュレーションでは、計算コストが重たいため、高解像度な原始惑星系円盤の長期進化を調べることは困難である。このようなシミュレーションは円盤内の磁束の進化やダストの成長を調べる上で重要であり、また高解像度な観測が可能になった今、原始星スケールの解像度を持つシミュレーションが求められると考える。そこで本研究では、計算コストの軽い 1 次元シミュレーションを用いて、分子雲コアの重力収縮から Class II 天体までの約 100 万年のシミュレーションを行い、原始惑星系円盤の長期進化を明らかにすることを目的とする。現在はそのためのシミュレーションコードの開発を行っており、円盤形成後約 60 万年までの計算が可能である。本発表では、最近実装した粘性による角運動量拡散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](#)

P202a 原始惑星系円盤の散逸過程：中心星質量依存性

駒木彩乃, 福原修平, 鈴木建, 吉田直紀 (東京大学)

太陽系近傍星形成領域の観測から原始惑星系円盤の寿命は約 3-6 Myr であると見積もられている。特に $2M_{\odot}$ 以上の星周りの円盤はそれ以外の星周りの円盤に比べて円盤寿命が短いことが観測から示唆されており (Ribas et al. 2015)、円盤寿命が中心星質量依存性を持つことが明らかになっている。惑星系は円盤物質 (ガス・ダスト) をもとに形成されることから、円盤寿命は惑星形成の直接的な時間制限となる。また、惑星は円盤との力学的相互作用によって動径方向に移動するため、円盤進化は惑星系構造の決定に重要である。観測的に様々な中心星周りで惑星が発見されているため、様々な主星周りでの円盤進化を考える必要がある。円盤散逸機構として、中心星降着、磁気円盤風、光蒸発が挙げられる。観測された円盤寿命のタイムスケールと中心星質量依存性を同時に説明するためには、初期円盤から円盤散逸までを追う円盤進化計算が必要である。

本研究では円盤 1 次元面密度進化計算を中心星質量が $0.5-7.0M_{\odot}$ の星周りについて遂行した。円盤散逸過程として降着、磁気円盤風 (Suzuki et al. 2016)、光蒸発を考慮した。初めて中心星質量をパラメータとし、2 次元輻射流体計算を用いた光蒸発シミュレーション (Komaki et al. 2021) から光蒸発による質量損失率を見積もった。その結果、主に円盤風によって質量を失い、数 Myr 以降は光蒸発が主な散逸過程となっていた。大質量星周りでは光蒸発による散逸の効果が大きく、光蒸発プロファイルが円盤面密度進化の決定に重要であることが示唆された。円盤質量は数 Myr で 0 に漸近することからシグモイド関数でフィッティングすることで円盤散逸タイムスケールを見積もった。 $3M_{\odot}$ 以下の星周りでは円盤散逸タイムスケールが 8-10 Myr であるのに対し、 $7M_{\odot}$ の星周りでは ~ 2 Myr となり、大質量星周りでは円盤寿命が短くなることを明らかにした。この傾向は観測と整合的である。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P203a 惑星が原始惑星系円盤動径方向に駆動するガス流：惑星質量及びガスの向かい風速度依存性

桑原歩 (東京工業大学), 黒川宏之 (地球生命研究所)

原始惑星系円盤に埋没した原始惑星の周囲には複雑なガス流れ場が形成される。近年の高解像度 3 次元流体計算から、円盤ガスが惑星の重力圏に流入・流出することが明らかになった。惑星重力圏からのガス流出は、惑星軌道の内外 (円盤動径方向) に向かって生じる。このガス流出は、円盤外側から移動してくる小さなダストの動径方向の運動に影響を及ぼす。ガス流出によってダストがせき止められれば、近年の円盤観測から示唆されるダストのリングギャップ構造の形成に繋がる可能性がある。また、ガス流出は惑星へのダスト集積率にも影響を及ぼす。惑星重力圏から流出するガスの速度を知ることは、円盤観測の結果や惑星成長過程を理解する上で重要である。

等温かつケプラー回転する円盤ガスを仮定した先行研究結果から、ガス流出速度は惑星質量とともに増加することが示された。しかし、輻射冷却や惑星が円盤ガスから受ける向かい風の影響を考慮した現実的な状況下でのガス流出速度の惑星質量依存性、及び惑星が円盤ガスから受ける向かい風強さへの依存性は明らかになっていない。

本研究では、円盤内に埋没した小質量惑星を想定し、輻射冷却及び円盤ガスの圧力勾配に由来するガスの向かい風の両方を考慮した 3 次元流体計算を、幅広い惑星質量・向かい風強さに対して実施した。その結果、惑星軌道の内外に生じるガス流出速度の大きさは惑星質量と共に増加し、スーパーアース質量程度でピークを取ることが分かった。惑星軌道外側 (内側) に向かって生じるガス流出は、向かい風が強まるほど強まる (弱まる) 事がわかった。更に、惑星質量・円盤ガスからの向かい風依存性を考慮したガス流出速度の解析解を導出することにも成功した。これらの結果を踏まえ、惑星近傍のガス流れ場がダストの運動に及ぼす影響についても議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P204a 原始惑星系円盤の鉛直構造を考慮した永年重力不安定性の線形解析

富永遼佑 (理化学研究所), 犬塚修一郎 (名古屋大学), 高橋実道 (国立天文台/鹿児島大学)

原始惑星系円盤でダストが微惑星へと成長する過程を明らかにすることは、惑星形成過程を理解するための第一歩である。標準的な惑星形成理論では、ダストの落下など様々な過程で微惑星形成が阻害されることがわかっている (e.g., Weidenschilling 1977)。従来の困難を解決する微惑星形成シナリオとして考えられている機構の一つに円盤の不安定性がある。特に streaming instability はその候補として広く調べられてきた (e.g., Youdin & Goodman 2005; Johansen et al. 2007; Li & Youdin 2022)。しかし近年、ALMA 観測が示唆する弱乱流環境であっても乱流拡散によって streaming instability が安定化してしまうことがわかってきた (e.g., Umurhan et al. 2020; Chen & Lin 2020)。そこで本研究では、微惑星形成を説明し得るもう一つの不安定性である永年重力不安定性に注目する (e.g., Ward 2000; Youdin 2011)。永年重力不安定性は streaming instability よりも長波長側で成長するため拡散の影響を受けにくい。実際、観測が示唆する乱流強度であれば成長できることが先行研究からわかっている (e.g., Takahashi & Inutsuka 2014, 2016; Tominaga et al. 2019)。先行研究では鉛直方向に平均化した解析が行われていたが、弱乱流環境下ではダストとガスは 2 桁も異なる厚みを持ち得るため鉛直構造の考慮は重要である。本研究では鉛直方向の構造と運動を考慮した局所線形解析を行い永年重力不安定性への影響を調べた。その結果、先行研究と比べて成長率は落ちるものの、数十ケプラー周期程度でも成長可能であることがわかった。またガスはダスト層上空にまでおよぶ循環運動をすることがわかった。一方ダストの運動は動径方向に卓越しており、その運動は従来の解析と類似の物理的理解が可能であることがわかった。永年重力不安定性の成長条件も従来の解析のものと同様であり、ダスト円盤質量に対する条件として表せることがわかった。

[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](#)

P205a 原始惑星系円盤における乱流中のダスト成長

河原昌平、梅村雅之 (筑波大学)、石原卓 (岡山大学)

原始惑星系円盤において、固体微粒子であるダストは円盤ガス乱流中で付着成長を繰り返し、微惑星へ成長したと考えられているが、岩石惑星の元となるシリケートダストは衝突時に跳ね返りや破壊が起きやすく、強乱流中ではミリメートルサイズ以上に成長できないという問題は未解決である (Ormel & Cuzzi, 2013)。先行研究では、ナビエ-ストークス方程式を用いた数値シミュレーションにより、粒子の速度分布関数がこれまでの理論的予測よりも数倍小さくなり、その分布は Gaussian 型ではなく、Stretched-exponential 型になり、付着率が上がることが分かった (Ishihara et al. 2018)。これは慣性粒子が渦から弾き出され、渦度の低いところに集積 (乱流クラスタリング) が正確に再現された結果である。

本研究では、高レイノルズ数の乱流 ($Re=36500$) において、慣性粒子の運動を解析し、付着成長が進む領域の特徴を調べた。まず、乱流クラスタリング効果によって、粒子密度が最大で平均の数十倍になり、低速での衝突数が多い領域があることが分かった。また、高レイノルズ数乱流では渦クラスタ構造が形成され、その内外での渦度の強さによる領域の二極化が進んでいる。そのため、渦度の小さい領域に注目することで、系全体の付着率に比べ、かなり高い付着率を得られることが分かった。このような領域では、付着成長して大きくなった粒子の増加率が高く、粒子が寡占的に成長することが分かった。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P206a ダストアグリゲイトの衝突合体成長：粒子間相互作用モデルの影響

荒川創太 (海洋研究開発機構)、田中秀和 (東北大学)、小久保英一郎 (国立天文台)

サブミクロンサイズのモノマー粒子からなるアグリゲイトの衝突合体成長は惑星形成の第一歩であり、ダストアグリゲイトの衝突の物理を理解することは重要である。ダストアグリゲイトの衝突合体では衝突時のエネルギー散逸が重要なファクターであるが、接触したモノマー粒子間の接線方向の運動 (転がり、滑り、ねじれ) における摩擦が主要なエネルギー散逸機構であることが最近示された (Arakawa et al. 2022a)。よって、ダストアグリゲイトの衝突成長条件はこれらの摩擦の強さに依存すると期待される。しかし、摩擦の強さを変えた場合にダストアグリゲイトの衝突成長条件がどう変化するかはこれまで十分に調べられていなかった。

そこで我々は、等質量のダストアグリゲイト同士の衝突について、モノマー粒子間の摩擦の強さの違いが衝突合体・破壊の臨界速度をどのように変化させるのか調べた。計算コード及び初期のダストアグリゲイトは Arakawa et al. (2022a) と同一のものを使用した。モノマー粒子は半径 0.1 ミクロンの H_2O 氷球を仮定した。さまざまな衝突速度及び衝突角度で数値シミュレーションを行い、衝突後に形成された最大のアグリゲイトに注目して平均成長率を求め、成長率が 0 となる衝突速度を臨界速度と定義した。数値シミュレーションの結果、転がり・滑り・ねじれの 3 つの運動に伴う摩擦を全て考慮した場合、転がり摩擦の強さのみを変化させて得られた臨界速度はおよそ $50\text{--}60\text{ m s}^{-1}$ でほぼ一定であった (Arakawa et al. 2022b)。一方で、3 つの運動に対して摩擦がないモノマー粒子からなるアグリゲイトを用いた場合、臨界速度は摩擦を考慮した計算と比較してほぼ半分 (30 m s^{-1} 程度) に低下した (Arakawa et al., in prep.)。本講演ではこれらの数値シミュレーションの結果をアグリゲイトの衝突におけるエネルギー散逸過程等の観点から議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P207a 付着 N 体計算で探るダスト集合体の圧縮強度と岩石付着力への制限

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

ダスト粒子が集合したダスト集合体の圧縮強度は、ダスト集合体や微惑星、その生き残りである太陽系の彗星や小惑星の内部構造を決める。これまでの数値計算では、ダスト成長過程で重要な体積充填率が 0.1 以下の低密度なダスト集合体について圧縮強度が定式化されてきた (Kataoka et al. 2013a)。また実験では、彗星や小惑星への応用に重要な体積充填率が 0.1 以上の高密度なダスト集合体について圧縮強度が調べられてきた (Güttler et al. 2009; Omura & Nakamura 2017, 2018, 2021)。しかし、低密度から高密度までのダスト集合体の圧縮強度の統一的な定式化はされておらず、彗星や小惑星などへの応用には不十分である。

そこで我々は、ダスト集合体の圧縮強度を定式化するため、ダスト粒子の付着力を考慮した N 体計算 (Wada et al. 2007) を用いてダスト集合体の圧縮計算を行った。初期条件としては形成過程を模擬したフラクタル次元が 2 のダスト集合体を用いた。また、境界条件は周期境界を用い、3 軸方向に全ての境界を動かすことで等方的に圧縮した。その結果、ダスト集合体の圧縮強度は体積充填率が 0.1 を超えると急激に高くなることがわかった。そして、体積充填率が低い場合はダスト粒子同士の転がり摩擦を、体積充填率が高い場合は最密充填の排除体積を考慮することで、ダスト集合体の圧縮強度を統一的に定式化することに成功した。さらに、これまでの実験結果と比較した結果、それらを説明するには岩石ダスト粒子の付着エネルギーが 210 mJ m^{-2} 程度でなければならないこともわかった。この値は従来の水氷の値 (100 mJ m^{-2}) よりも高く、本結果は岩石ダスト粒子が付着しやすいことを示唆している。すなわち、岩石ダスト集合体が衝突破壊を受けにくく、岩石微惑星が付着成長によって形成しう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](#)

P208a プラズマ合成で探る有機分子のアグリゲイト状構造の形成過程/撮像

前澤裕之, 米津鉄平 (大阪公立大学)

我々はプラズマ放電により有機分子を形成し、その構造異性体を含めた生成物質の性質を調べるとともに、超伝導検出素子を搭載したミリ-テラヘルツ帯のヘテロダイナミック分光により、その形成に関わるプラズマ内の微量分子の同定・定量を推進している (日本天文学会 米津他 2022 年夏季年会、前澤他 2018 年秋季年会)。形成された茶褐色の凝集体は、土星の衛星タイタンのソリン同様の赤外吸収スペクトルを示し、プラズマの気相からは質量分析や分光により、炭化水素や窒化物など、分子雲や彗星に存在する分子を検出している。一方、付着・堆積した凝集体からは液体クロマトグラフィー/質量分析や高速液体クロマトグラフィー/SIM 測定等において核酸塩基や芳香族化合物、その構造異性体を含めた様々な有機分子を検出している。プラズマによるこうした有機分子の形成では、可視光での発光が非常に強く、また内部でダストが揺らぐため有機分子の形成過程を捉えにくい。本研究では今回、可視光をフィルタリングし、赤外の光源を背景にして高速撮像を行うことで、有機分子の凝集体が形成されていく過程を捉えることに成功した。(プレ) シース領域にかけて有機分子からなる微粒子が形成され、徐々にサイズが大きくなるにつれて下方に移動し枝状構造 (サブミリサイズ) が形成されていく。exothermic な化学反応ではこうしたダストの表面が重要な役割を担う。最終的に堆積物を回収する際には、こうした微粒子や枝状の集合体は密度の低い有機ダストの凝集 (アグリゲイト) 状構造を示す。放電は常温程度で実施しているため、原始太陽系星雲などの比較的温度の温かい環境を想定している。原始惑星系円盤において、こうした生体関連分子や複雑な有機分子群は星間ダストとして様々な形で地球を含めたその後の惑星系にも供給された可能性が考えられる。本研究ではこれらダストの撮像について紹介・報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P209b 水氷ダストアグリゲイトとシリケイトダストアグリゲイトの衝突結果の違い

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

惑星が形成される原始惑星系円盤はガスとダストから成る。ダストは主に衝突付着によって成長すると考えられているが、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成長出来ずに破壊される。このダスト衝突時の成長と破壊は惑星形成の初期段階を理解するために非常に重要であるが、その詳細は、しかしながら、まだそれほど解明されていない。我々は大量のダストモノマーから成る二体のダストアグリゲイトの衝突成長と破壊の様子を N 体コードを用いた第一原理的な数値計算を実行して調べた。本発表では、ダストモノマーが水氷の場合とシリケイトの場合で衝突結果がどの程度変わるのかに焦点を当てた発表を行う。衝突するダストアグリゲイト間の質量比が 10 のオーダーの衝突において、水氷の場合は標的から衝突体への質量輸送が起こって臨界衝突破壊速度が質量比に強く依存する一方で、シリケイトの場合は質量輸送は起こらず臨界衝突破壊速度は質量比にあまり依存しない事が示唆された。この衝突結果の違いは、衝突時の主なエネルギー散逸機構が水氷とシリケイトで異なる事が影響している可能性が考えられる。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P210b 微惑星形成時のダスト衝突帯電による雷発生

西澤諒, 中本泰史 (東京工業大学)

コンドリュールは未分化隕石に多く含まれる球状の珪酸塩鉱物であり、太陽系形成期の情報を有している。コンドリュールはその形状から、ダスト粒子が急激な加熱を受け溶融、再固化して形成されたと考えられているが、その加熱メカニズムについては未だに議論が続いている。

本研究ではコンドリュール生成の熱源として、微惑星形成環境で発生する雷による加熱に注目する。ダスト密度が高くなると、重力不安定により微惑星が形成される。微惑星は、初めは周囲のダストが降り積もることによって大きくなり、ある程度の大きさになると微惑星同士の衝突合体で成長する。成長している微惑星に降り積もるダストには、ダストの大きさに応じたガス抵抗力が働く。そのため異なるダスト同士は違った軌道を辿り、互いに衝突する可能性がある。この衝突で帯電し、さらに衝突後の相対速度が十分大きい場合は、電荷分離が進み電場が形成される。ダスト密度が高くなることでダスト間で頻りに衝突帯電が生じ、電場がガスの絶縁破壊を起こすまで成長すると、雷が発生することが予想される。

微惑星のヒル半径外から流れてきたダストは、微惑星に近づくにつれて微惑星重力の影響で軌道や速度が変化する。本研究では、さまざまな大きさのダストについて微惑星重力を受けた際の軌道を調べ、大きさが異なるダストが衝突する条件を確認した。また、電荷分離に十分な相対速度を持つ衝突が起こる領域と、雷発生に必要なダスト密度を求めた。その結果、重力不安定によって微惑星が形成されるようなダスト密度が高い環境では、微惑星の近傍領域で雷が発生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](#)

P211a Subaru/SCEXAO の高速偏光差分撮像 (Fast PDI) モードによる星周円盤の偏光観測

越坂紫織 (総研大)、小谷隆行 (ABC/国立天文台/総研大)、田村元秀 (ABC/国立天文台/東大)、工藤智幸 (ハワイ観測所)

星周円盤 (以下、円盤) は主にダストやガスで構成されており、それらが衝突合体を繰り返すことで、微惑星や原始惑星、そして惑星へと成長していくと考えられている。若い星回りの円盤ではまさに現在惑星形成が進行していると考えられ、ダストから惑星に成長する過程を理解するには、それらの円盤の詳細な観測が不可欠である。

円盤の調査を行うための方法はいくつかあるが、本研究では、すばる望遠鏡に搭載された極限補償光学 SCEXAO の Fast PDI (Polarization Differential Imaging) モードを使用した。PDI は、主星からの直接光がほとんど無偏光であるのに対し、円盤を構成するダストから散乱を受けた光は偏光するという違いを利用し、前者を差し引くことでダストによる散乱光を抽出するという手法である。特に、SCEXAO の Fast PDI モードは、従来の PDI に比べて 100 倍以上速い速度での偏光状態の制御が可能であり、複数の偏光状態の画像を準同時に撮影することで大気揺らぎに起因するノイズを精密に差し引き、より主星に近い領域の観測を実現すると期待されている。この Fast PDI モードを用いて、AB Aur (4 ± 1 Myr)・AU Mic (23 ± 3 Myr)・HD 32297 (≤ 30 Myr) の 3 つの若い星回りの円盤の偏光観測を行った結果、AB Aur 周りの円盤のみ検出に成功し、先行研究 (e.g. Fukagawa et al. 2004, Boccaletti et al. 2020) で確認されていたスパイラル構造と光度上昇がみられた。後者 2 天体の円盤は無検出であり、その原因としては、積分時間の不足・大気乱れの影響などが考えられる。

[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](#)

P212a IM Lup 周囲の原始惑星系円盤表層部におけるダスト散乱特性

田崎亮 (グルノーブル・アルプ大学)、Christian Ginski (ライデン大学)、Carsten Dominik (アムステルダム大学)

原始惑星系円盤においてダストアグリゲイトがどのような構造を持って成長するのか、という問いは微惑星形成過程を理解する上で重要である。衝突成長するアグリゲイトの構造についてはこれまで室内実験や数値計算の観点から詳細に調べられてきたが、原始惑星系円盤の観測に基づくアグリゲイト構造の解明は未だ発展途上である。

本研究では、アグリゲイトの構造を観測的に明らかにするために、IM Lup 周囲の原始惑星系円盤の可視光・近赤外線での輻射輸送計算を実施した。本研究の最大の特徴は非球形ダストの光学特性を正確に考慮した点にある。まず初めに我々は合計 360 種類の不規則形状粒子・アグリゲイトの形状モデルを作成し、その可視光・近赤外線での光学特性を離散双極子近似・T-Matrix 法を用いて求めた。特に、アグリゲイトに対してはモノマー数、モノマー半径、モノマー組成、空隙率、フラクタル次元が光学特性に及ぼす影響を網羅的に調べた。次に、非球形ダストの光学特性を用いて IM Lup 周囲の原始惑星系円盤を想定した 3 次元輻射輸送計算を行い、得られた結果を VLT/SPHERE による近赤外線の偏光観測結果と比較した。その結果、観測が示唆する散乱の偏光位相関数はフラクタル次元 2 以下のアグリゲイトによって自然に説明可能であることが明らかになった。また観測された円盤の明るさとその波長依存性を説明するためには、モノマー半径が約 $0.2 \mu\text{m}$ で比較的吸収性に富んだ組成が必要であることもわかった。さらに、アグリゲイトのフラクタル次元が 2 以下であるという前提のもと、 $0.2 \mu\text{m}$ よりも十分小さなモノマー半径は観測から棄却されることもわかった。これらの結果は IM Lup 周囲の円盤の表層部では、ダストアグリゲイトの衝突成長の最初期段階が進行中であることを示唆している。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P213a ダストリング幅の観測波長依存性に基づく原始惑星系円盤 HD 163296 のダストサイズ分布の推定

土井聖明 (総合研究大学院大学/国立天文台), 片岡章雅 (国立天文台)

惑星形成は、原始惑星系円盤内でのダストの合体成長から始まると考えられているため、円盤中のダストサイズ分布の推定は惑星形成解明の手がかりとなる。これまで多波長観測によるスペクトラルインデックスや、ダスト偏光観測からダストサイズが推定されてきたが、手法やモデルにより結果が異なり、統一見解が得られていない。

本研究では原始惑星系円盤 HD 163296 のダストサイズ分布を、ダストリング幅の観測波長依存性から推定する。この天体は2つのダストリングと対応するガスリング構造が発見されており、ダストはガスリングにトラップされていると考えられている。ガスリング周辺ではダストのトラップ効率はダストサイズに依存し、大きいダスト粒子ほど細いリングを作っていると考えられる。ダスト吸光係数のダストサイズ依存性は波長に比例するため、長波長での観測ほど大きいダストをトレースし、リング幅は幅狭に見えると考えられる。

ALMA を用いた HD 163296 の Band 4 (2.1 mm)、Band 6 (1.3 mm) での高解像度連続波画像を解析した結果、内側リングでは2バンド間でリング幅にほとんど差がないのに対し、外側リングではリング幅は Band 4 では Band 6 より 1.2 倍程度幅狭であることが明らかとなった。ダストサイズに依存したダストトラップを仮定したダストリングのモデリングとの比較から、リングごとのダストサイズ分布 (最大サイズ、サイズ分布の冪乗) を推定した。結果、外側リングではダストサイズの冪乗は 3.5 以上、最大ダストサイズは 3 mm 以上と制限された。一方で、内側リングでは最大ダストサイズは 500 μm 以下と制限された。この結果は、ダスト成長や微惑星の形成の効率が局所的に変化していることを示唆する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P214a ALMA 多波長観測で探る CW Tau 円盤内側領域の赤道面温度

植田高啓 (Max-Planck Institute for Astronomy), 奥住聡 (東京工業大学), 片岡章雅 (国立天文台)

原始惑星系円盤の赤道面温度は、その場のダストひいては惑星の組成を決定づける。円盤内側領域 ($\lesssim 10$ au) では、円盤ガス降着に伴う加熱によって、円盤赤道面が上層に比べ高温になると考えられる。実際の円盤の鉛直温度構造がわかれば、ダストのサイズ・量や円盤降着機構に制約が与えられると期待される。円盤温度の推定には、電波干渉計 ALMA によるダスト連続波観測が有用である。円盤が光学的に厚い場合、異なる観測波長は異なる円盤高度を観測することとなり、鉛直温度構造を制約できると期待される (Okuzumi et al. 2021)。

本研究では、ALMA ダスト連続波多波長観測を用いて CW Tau 円盤内側領域の温度構造を調べた。過去の ALMA 観測から、CW Tau 円盤は円盤内側領域の輝度温度に大きな差がないことがわかっている (Ueda et al. 2022)。本研究ではまず、CW Tau の中心星光度・質量降着率等の観測量を元に、ダストサイズ等をパラメータとして、赤道面加熱およびダストサイズ依存沈殿を考慮した二次元円盤構造をモデル化した。続いて、得られた二次元円盤構造を元に、輻射輸送計算コード RADMC3D を用いて、ALMA による模擬観測イメージを作成した。その結果、以下のことがわかった。(1) 観測されている輝度温度は中心星の照射加熱によって決まる温度よりも有意に低い。(2) ダストが 300 μm より小さい場合、赤道面加熱によって輝度温度に強い波長依存性が生じ観測と非整合的。(3) ダストが 300 μm 以上であれば、散乱減光によって輝度温度が下がり、観測と整合的。(4) 実際の赤道面温度は観測される輝度温度より 2 倍程度高い。本発表では、これらの結果を紹介した上で、CW Tau 円盤の二次元温度構造および赤道面加熱機構について議論したい。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P215a 原始惑星系円盤における輝線の圧力広がり の発見とガス面密度の直接的制約

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), 植田 高啓 (MPIA, 国立天文台)

惑星系の形成過程を議論する上で、原始惑星系円盤ガスの空間分布は最も重要なパラメータの一つである。それにもかかわらず、円盤ガスを構成する水素分子は低温下ではほとんど放射を出さないため、その観測的制約は非常に難しい。本研究ではアルマ望遠鏡のアーカイブデータを解析し、TW Hya 円盤の中心部から放射される CO 分子輝線のスペクトルが、線中心から ± 10 km/s 程度にまで非常に大きく広がったウィングを持つことを発見した。このウィングは既存のモデルでは説明できず、我々は複数の可能性を吟味した上で、CO 分子と周囲の水素分子の衝突によって生じる圧力広がりによるものであると結論付けた。圧力広がりによるウィングが円盤から検出されたのは初めてであり、ウィングの放射強度がガス空間密度に依存することを利用して、ガス面密度分布を直接的に見積もることができた。その結果、TW Hya 円盤のガス面密度は中心星から 5 au の場所で最小質量円盤モデルの 8 倍に達し、中心星から 5 au 以内の領域には 7 木星質量に相当するガスが存在することがわかった。TW Hya は、若い星の中では比較的古いにもかかわらず、惑星系形成に十分なガス質量を保持しているといえる。さらに、同じ領域で、気相中の水素分子に対する CO 分子の存在度が星間空間での値から 100 分の 1 程度に減少していることもわかった。CO のスノーラインは中心星から 20 au 程度の位置にあると考えられるため、この結果は、CO が CO₂ や有機物などの比較的揮発性の低い物質へ変換され、ダスト表面に存在していることを示唆する。加えて、中心星から 20 au 付近には、ガス面密度に 2 桁に及ぶジャンプがあることが示唆された。これは、円盤内の乱流発生機構として提案されている磁気回転不安定性の不活性領域外縁に対応する可能性がある。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P216a 自己重力不安定による低金属量巨大ガス惑星の形成

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

観測により巨大ガス惑星の存在頻度は、主星の金属量と強い正の相関を持つことが明らかになっている (e.g. Fischer & Valenti 2005; Petigura et al. 2018)。しかし観測手法による制限から、ここで言う巨大ガス惑星は主星を比較的短周期 ($\lesssim 100$ 日) で公転するホットジュピターまたはウォームジュピターに限られている。より長周期で公転する巨大ガス惑星が低金属度環境で存在するのかは、観測的な難しさからいまだ議論の余地がある。一方で理論的な研究から、低金属量な星周円盤では自己重力不安定性による分裂が、太陽金属量の場合よりも起きやすいことが示されており (Tanaka & Omukai 2014; Matsukoba et al. 2022)、このような分裂過程は長周期な巨大ガス惑星の起源となる可能性がある。

そこで本研究で我々は、円盤分裂によって長周期な巨大ガス惑星が形成されることを示すために、低金属量 (0.1 太陽金属量) な星周円盤の進化を 2 次元流体数値計算を用いて追った。本計算は重力的に不安定な星なしコアを初期条件として、それが重力崩壊し、原始星と円盤が形成されていく一連の過程を再現している。またガスとダストの温度進化を別々に、化学進化と整合的になるように解いている。そして円盤形成後 10^6 年まで計算した結果、ひとつの分裂片が星周円盤内に生き残ることがわかった。この分裂片は数木星質量かつ公転周期 ~ 3000 年であり、このことから自己重力不安定による円盤分裂は低金属量な巨大ガス惑星の形成過程となりうることが示された。本講演ではこれら数値計算の解析をもとに、低金属量な巨大ガス惑星の存在について議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P217a 標準降着円盤の検討に基づくペブル集積を考慮した惑星系形成 N 体シミュレーション

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

従来の惑星系形成標準理論では、原始惑星系円盤は軸対称で動径方向に滑らかな構造を持つと考えられてきた。しかし近年、原始惑星系円盤内にリング構造やダスト放射の非軸対称性が観測によって見つかった。円盤リングは、非乱流領域 (dead zone) と乱流領域の境界に生じると考えられており、そこでは圧力バンプによってダストの集積が起こることで、効率的に惑星が形成されると期待されている。本研究では、動径方向に不連続構造を持つ円盤内で惑星系形成 N 体シミュレーションを行い、地球型惑星系形成領域内に存在する不連続境界への継続的なペブル供給が惑星系形成過程に及ぼす影響を調べた。我々の研究では、 N 体系計算コード GPLUM を改良することで、大規模な粒子数を用いて地球型惑星系形成領域内に存在する不連続境界へのペブル供給と集積を実際に再現した。動径方向に構造を持つ降着円盤内で、ペブル集積を考慮した N 体計算を行うと、地球型惑星系形成領域内に存在する不連続境界で微惑星は効率的に成長し、 $\sim 10^3$ 年から $\sim 2 \times 10^4$ 年で地球質量に到達した。また我々の計算結果では、境界近傍に惑星サイズの天体が一定の距離間隔で複数個形成され、さらにペブル集積段階から、多くの系で水星質量から数地球質量の巨大衝突が起こることが確認された。発表では、本研究の結果を示し、動径方向に構造を持つ円盤内でも太陽系のような順で惑星系が形成される可能性について議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P218b 形成過程における原始惑星系円盤の自己重力的分裂に対する条件

高橋実道 (国立天文台/鹿児島大学), 小久保英一郎 (国立天文台), 塚本裕介 (鹿児島大学)

原始惑星系円盤は形成過程の初期において重力的に不安定化していると考えられている。その際、自己重力による分裂が期待され、観測で発見されている遠方巨大ガス惑星の形成メカニズムの候補として注目されている。

これまでの原始惑星系円盤の自己重力的分裂条件については主に孤立円盤について調べられてきたが、解明には至っていない。また、形成過程の原始惑星系円盤のような円盤外部からの質量降着がある系では、質量降着の量や位置なども円盤分裂に影響を与えると考えられる。遠方巨大ガス惑星の形成過程を考える上では、これらの降着の影響を考慮して自己重力的な分裂過程を理解する必要がある。

そこで本研究では、形成過程にある原始惑星系円盤について、質量降着率や降着半径といった物理量が自己重力的分裂に与える影響を調べる。ここでは、二次元流体シミュレーションを用いて降着を考慮した自己重力円盤の時間進化計算を行う。本研究のシミュレーション結果から、降着率及び降着半径が大きいほど分裂しやすいといった結果が得られている。本発表では、シミュレーションの結果を比較し、円盤分裂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](#)

P219b 月形成円盤における角運動量輸送と非線形パターン、およびその解像度依存性

山岡 尊 (神戸大学), 牧野 淳一郎 (神戸大学), 細野 七月 (神戸大学)

ジャイアントインパクト仮説は、月は火星サイズの原始惑星が初期地球に衝突した際に生成された周地球円盤が集積して形成されたというものである。ジャイアントインパクトによって岩石の蒸気円盤ができ、冷え固まって10km程度の微惑星を作る。そしてそれらが重力で集積して月となる。本研究ではこの集積の部分に注目した。周地球円盤内での月の集積は、これまで N 体シミュレーションによって検討されてきた。例えば、Sasaki & Hosono (2018) は周地球円盤内を $10^4 \sim 10^7$ 個の粒子でモデル化し、月形成までの集積過程を追跡し、解像度が月集積の結果にどのような影響を与えるかを調べている。その結果、ロッシュ限界内の渦巻構造が低解像度のシミュレーション ($10^4 \sim 10^5$) と高解像度のシミュレーション ($10^6 \sim 10^7$) とでは異なっていると結論づけた。一方、どちらの場合も初期の月はロッシュ限界のすぐ外側に形成されている。また高解像度のシミュレーションでは渦巻腕が互いにつながっており、それらの間にさらに複雑な構造が形成された。しかしながら、Sasaki & Hosono (2018) ではこの違いがどのように形成されたかに関しては詳しい議論は行っていない。そこで、本研究ではこの構造の違いがどのように形成されるかに関して明らかにする事を目的とし、Sasaki & Hosono (2018) と同様に $10^5 \sim 10^7$ 粒子を用いた月集積の N 体計算を行った。その結果、ロッシュ限界の内側に leading arm が現れることを発見した。本講演では、この構造がどのように形成されるかに関して、紹介する。

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

P301a 木星形成による雪線内側への氷微惑星輸送

小林浩、安田郁斗(名古屋大学)

大量の氷微惑星から形成された重い固体核がガス集積を起こし木星が形成される。すると、木星は強い重力で残った微惑星を内側にも外側にも跳ね飛ばす。内側に跳ね飛ばされた氷微惑星はガス抵抗によって内側の軌道に落ち着くことができる。この木星形成による氷微惑星輸送は、雪線内側への水の供給源、つまり、地球の水やC型小惑星の起源として有力である。この木星形成による氷微惑星の輸送効率は、木星の惑星移動、残存微惑星の量、円盤散逸などに依存するが、過去の研究ではこれらの詳細な依存性が明らかになっていなかった。本研究では、木星の摂動を受ける微惑星のガス抵抗を考慮した軌道進化を N 体シミュレーションにより調べるとともに、解析的なアプローチにより軌道進化のパラメータ依存性を明らかにした。木星に散乱された微惑星は以下の二つの機構で軌道進化をして雪線内側に輸送される。まずは、微惑星は木星の重力散乱により軌道進化する。つまり、ヤコビ積分を保存しながら軌道離心率をあげていく。離心率の上がった微惑星は近日点距離が小さいので、強いガス抵抗を受けるようになる。ガス抵抗によって離心率が下がり、その結果、近日点に向かって円軌道化して軌道が落ち着く。このように「最初に起こる木星散乱による離心率上昇」と「その後起こるガス抵抗による離心率減少」の結果として、雪線の内側に氷微惑星は輸送される。我々は、初期の木星摂動による離心率上昇について解析的な定式化に成功した。一方、離心率の高い微惑星のガス抵抗による軌道進化は Kobayashi (2015) で解析解が与えられている。この二つの解を組み合わせることで、氷微惑星の輸送位置や輸送時間を解析的に予測できるようになった。この解析的予測を用いて、氷微惑星の小惑星帯への輸送効率とガス散逸時間の関係、そして、地球型惑星領域に輸送するための過去の木星の軌道移動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](#)

P302a 木星の成長及び移動段階に生じる地球型惑星領域への早期水輸送

荻原正博(TDLI/ELSI), 玄田英典(ELSI), 関根康人(ELSI/K-INET)

隕石や小惑星などの同位体組成分析に基づいた物質化学的な証拠によると、過去の太陽系ではある軌道で形成した物質が他の軌道へ輸送される物質輸送が生じたと考えられている。しかし、水の輸送がいつ・どの程度生じたかについては確定的な理解には至っていない。本研究ではグランドタックモデルに則った上で、巨大惑星の成長段階及び移動段階においてどの程度の水が地球型惑星領域へ輸送されるかを調べた。そのために我々は、巨大惑星の成長と移動を考慮した N 体計算を実行し、含水微惑星の軌道進化を追った。

シミュレーションの結果、木星の暴走成長に伴う軌道散乱により、原始木星の外側軌道に存在した含水微惑星が早い段階で地球型惑星領域へ輸送されることがわかった。その後の木星の移動段階において追加の物質輸送が生じ、グランドタック移動が終わった時点ではおよそ 10–40 地球海洋質量程度の水が地球型惑星領域へ輸送される。成長と移動段階を通して輸送された微惑星の総量は、計算のパラメータ(木星の成長速度、微惑星サイズ)に強く依存しないこともわかった。本研究の結果は、宇宙地球化学の観点において興味深い示唆を与える。本研究では地球の成長段階に水が原始地球へ集積し得ることがわかったが、地球コアの形成以前に地球に集積した水によってコア中の軽元素の起源を説明できる可能性がある。また、最近の研究では木星は初期太陽系の同位体二分性を説明するために障壁の役割を果たしたと考えられているが、本研究では木星が異なる軌道に存在する物質をある程度混合する役割も有していることがわかった。

[スケジュール\(セッション毎\)に戻る](#)

[スケジュール\(全体\)に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P303a 多相媒質を扱うための非等質量粒子を用いた Volume-based SPH 法の開発

瀬野 泉美, 犬塚 修一郎 (名古屋大学)

原始惑星は水素を主体とした一次大気を持つと考えられている。その後、大気を持った天体同士が衝突合体すると、衝突によって惑星大気を失うだけでなく惑星に大量の熱が供給され、惑星大気は衝突エネルギーによって膨張することが期待されている。Kurosaki & Inutsuka (2022) では、巨大衝突後の惑星大気の安定性について議論するために、数値流体計算法の一つである Smoothed Particle Hydrodynamics (SPH 法) を用いて解析・議論を行なった。SPH 法とは、有限の大きさに離散化した流体粒子をラグランジュ的に追跡して流体を記述する手法の一つで、宇宙物理学の分野で幅広く用いられている。しかし、従来の SPH 法には、大気と岩石のような密度の大きく異なる状態を含む問題を扱う際に、相の境界面で精度が悪くなる、という問題が存在する。これは、系全体を等質量粒子で離散化していることが原因で発生する問題であるが、非等質量粒子を用いた SPH 法の詳しい精度検討と開発・改善は未だ成されていない。本講演では、この問題に取り組み、Inutsuka (2002) をもとに各粒子の質量が非一様な SPH 粒子を扱う新たな計算法として Volume-based SPH 法を開発した成果について発表する。また、従来の SPH 法が抱えていた、接触不連続面で圧力に揺らぎ (wiggle) が生じる問題についても改善法を提案する。

[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](#)

P304a 小天体衝突が形成する衝撃波圧力分布の状態方程式依存性

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、点源爆発の理論に基づくことで、三次元的な減衰領域で状態方程式に依存しない物理量を発見した。これにより、一次元衝撃波の解析解と合わせることで、特に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。

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

P305a 階層的三体系における Lagrange 的安定性の軌道要素依存性

林 利憲, Alessandro Trani, 須藤 靖 (東京大学)

重力三体系の軌道安定性は、天体力学における重要な問題であり、多数の先行研究例がある。また近年では、観測技術の進歩に伴い多数の三体系が発見されており、その実用的な重要性が増している。

三体系の軌道安定性としては、系の初期条件依存の鋭敏性(カオス性)から安定性を論じる観点(以下、Liapunov 的安定性)と、三体系が二体系と一体に崩壊するかによって安定性を論じる観点(以下、Lagrange 的安定性)の2つの大きな枠組みがある。しかし、従来の研究では2つの異なる安定性の峻別が不十分であり、しばしば混同して用いられてきた。Liapunov 的安定性については、Mardling & Aarseth(1999,2001)など多数の先行研究がある。一方で、Lagrange 的安定性およびその不安定性の時間スケールについては、実用的な意義が大きいにも関わらず、その研究は限定的であった。本研究では、三体系の直接数値シミュレーションを用いて、系の崩壊時間分布の軌道要素依存性を調べることで、系の Lagrange 的安定性および、不安定性の時間スケールについて調べることを目的とする。

前回の秋の天文学会では、軌道パラメータ領域を3種類の軌道面傾斜角($0^\circ, 90^\circ, 180^\circ$)に絞り、傾斜角が三体系の崩壊時間に大きく影響を与えることを示した。今回の発表では、より一般の軌道傾斜角や質量比をもつ三体系について、崩壊時間の軌道要素依存性を調べた結果について提示する。また、Liapunov 的安定性との関係や、von Zeipel-古在-Lidov 機構・一般相対論的效果などが Lagrange 的安定性に与える影響についての議論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](#)

P306a M 型星周りにおけるハビタブルゾーン内側境界

小玉貴則(東京大学)

数多くの系外惑星が検出され、その中には地球に似たバルク密度を持つ惑星も報告されている。ほとんどのハビタブル惑星に関する研究は、ハビタブルゾーンと呼ばれる概念を用いて、その表層環境を議論されている。ハビタブルゾーンとは、惑星表面に長期的に液体の水を維持することのできる中心星からの距離の範囲である。G 型星周りにおけるハビタブルゾーンの境界は惑星表面の水分布により大きく変化することが示されている(Kodama et al., 2021)。惑星表面に広く乾燥した領域を持つ惑星は、乾燥領域から多くの惑星放射を射出できるため、湿潤な惑星表面をもつ惑星の暴走温室限界より大きな暴走温室限界をもつことが示されている。

一方で、近年注目されている M 型星周りの地球型惑星に関しては、そのハビタブルゾーンが中心星に近いということもあり、潮汐固定された状態にあると考えられている。潮汐固定された惑星は、自転周期と公転周期が同期し、恒久的な昼面と夜面を持つ。潮汐固定された惑星の気候状態は、近年、大気大循環モデルを用いて調べられている。先行研究では、雲による惑星アルベドの上昇により、1次元放射対流平衡モデルで見積もられた暴走温室限界(ハビタブルゾーン内側境界に対応する中心星放射強度)よりも大きな中心星放射下でも惑星表面に液体の水を維持できる気候状態を示し、大気循環と雲の重要性を示した。水分布を考慮した場合、雲の分布や射出することのできる惑星放射の分布が大きく変化するため、ハビタブルゾーンの内側境界が変化する可能性がある。

本研究では、TRAPPIST-1 惑星を例とし、さまざまな水分布を仮定し、大気大循環モデルを用いた気候検討を行った。講演では、雲分布や射出できる惑星放射に焦点を当て、M 型星周りのハビタブルゾーン内側境界について議論する。

[スケジュール\(セッション毎\)に戻る](#)

[スケジュール\(全体\)に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P307a 太陽系外地球型惑星上層大気の検出可能性

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

すでに多くの地球程度の大きさの惑星が発見されており、太陽系近傍の低質量星のハビタブルゾーンに地球型惑星が複数検出されている。これらの惑星の大気観測にはトランジット分光法が有効であるが、小さな地球型惑星の薄い下層大気の観測には非常に高い測定精度が要求される。一方、低質量星のハビタブルゾーンでは強い XUV 輻射により惑星上層大気が膨張すると考えられ、原子による紫外線の吸収を紫外分光観測で捉えることが可能となる。本研究では複数の上層大気モデルによってその密度分布を推定した。その結果として、どのモデルを用いた場合にも太陽系の地球大気に比べて、濃い上層大気が遠方まで広がることが確認された。しかし、その度合いはモデルによって大きく異なっている。本研究ではここで得られた密度分布に基づき、口径 1.7m や 6m の紫外線宇宙望遠鏡を用いた場合の観測実現性を検討した。この検討の条件として、これまで開発を行ってきた高効率のファネル型 MCP 検出器やトロイダル回折格子を用いることを前提とした。本発表では、この検討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](#)

P308a 短周期惑星進化における大気散逸の影響

三谷啓人 (東京大学)

短周期惑星の進化において主星からの強い輻射によって加熱された上層大気の散逸は重要な過程である。特に 13.6 eV 以上のエネルギーの極端紫外線 (Extreme-Ultraviolet, EUV) による水素原子の光電離加熱が流体力学的な大気散逸を駆動する。こうした大気散逸はトランジット法を用いて多くの短周期惑星において観測されている。流体対力学的散逸は光加熱、重力及びガスの膨張によって決まる。光加熱がガスの膨張に比べてどの程度速いのかを表す特徴的な温度と平衡温度の比が系を特徴づけると考えられる。これまでの研究で流体力学的散逸は惑星半径と重力半径の比 $\xi = R_p/R_g$ 及び惑星質量から決まる臨界 EUV フラックスと惑星 EUV フラックスの比 F_{cr}/F_0 の二つを用いて分類できることを明らかにした。また、観測された短周期惑星について $\xi - F_{cr}/F_0$ 平面で大気散逸の分類を行ってきた。

惑星の質量及び半径は大気散逸によって進化し、主星からの EUV フラックスも年齢に依存する。主星からの EUV フラックスが減るにつれて大気散逸を決める主要な物理が変化する。本研究では大気散逸を考慮した短周期惑星の進化の計算を行った。惑星における大気散逸が放射冷却が主要な Recombination-limited からガス膨張による冷却が主要な Energy-limited へ数 Gyr で進化することがわかった。惑星質量が十分大きい場合は大気散逸の惑星質量への影響が小さく $\xi - F_{cr}/F_0$ 平面上では主星からの EUV フラックスが小さくなるにつれてほぼ垂直に進化する一方で惑星質量が小さくなると惑星質量の減少による影響で進化トラックが変化する事が明らかになった。本講演では散逸した大気と惑星の相互作用による軌道進化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](#)

P309a 恒星高エネルギー粒子のフルエンスを考慮した系外惑星への影響評価(その3)

山敷庸亮, (京都大学), Vladimir Airapetian (NASA/GSFC), 佐藤達彦 (JAEA), 野津湧太 (University of Colorado/東工大), 前原裕之, 行方宏介 (国立天文台), 野津翔太 (理化学研究所), 佐々木貴教, 白樫聖夢, 木村なみ, 佐藤啓明, 大山航, 栗田光樹夫, 野上大作, 柴田一成 (京都大学), 清水海羽 (京都府立大学), 清水里香 (総研大) 他 ExoKyoto 開発チーム

M 型星周りのハビタブルゾーン (CHZ) の再定義について、異なる定義のハビタブルゾーンを比較する ExoKyoto 太陽系外惑星データベース (2017 年春季年会 P245a) に、恒星のフレア発生頻度と惑星境界上のフレア強度の評価 (2017 年秋季年会 N23a)、それぞれの惑星表面での推定被曝量の評価 (2018 年秋季年会 P313a)、大気散逸の影響評価 (2019 年秋季年会 P325a, 2020 年秋季年会 P310a)、CME のフルエンスの評価を考慮した再評価を試みた (2021 年秋季大会 P329a, 2022 年春季大会 P310a)。本研究では、ハビタブルゾーンに位置する地球サイズの岩石惑星 49 個に対して、恒星の自転周期やロスビー数、せいめい望遠鏡を用いたホスト星 (GJ 229, GJ 273, GJ 357, GJ 3323, Ross 128) の H α 等価幅観測から推定される黒点面積から、それぞれ年一回に発生しうる最大フレアエネルギー、地球型大気を想定した場合の 0.1 気圧、1 気圧地点での想定被ばく量、そして恒星の想定 XUV から推定した大気散逸率を推定した。結果、最大被ばく量が想定される惑星は GJ3323b で、1/10 気圧での年間総被ばく量は 4,570Sv にも達し、1 気圧においても 0.56Sv に達した。対して Ross 128 b や LHS 1140b は 1/10 気圧での年間総被ばく量がそれぞれ 0.5Sv、0.1Sv で、星の活動性が低くハビタブル条件に適合しているという従来の予想を裏付けた。TRAPPIST-Id は XUV スペクトルの再評価により地球の 528 倍の大気散逸率が推定された。

[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](#)

P310a Upper limits on transmitter rate of extragalactic civilizations placed by Breakthrough Listen observations

宇野友理, 橋本哲也 (中興大学), 後藤友嗣, S. Tzuyin (清華大学), S. C.-C. Ho (ANU)

Search for Extra-Terrestrial Intelligence (SETI) has been conducted for more than sixty years, and no technosignatures have yet been identified. Most previous studies have focused on stars in our galaxy, and very few searches in the extragalactic Universe, where a much larger volume is available. Civilizations that can handle great energy harvested from a star or a galaxy is called a KII or KIII civilization on the Kardashev scale, respectively. Hypothetically, technosignatures from such advanced civilizations would also be extremely luminous, which can be detected by current radio telescopes even for distant galaxies. To explore a frontier of extragalactic SETI, we investigate the prevalence of such extragalactic civilizations possessing a radio transmitter, known as transmitter rate, based on the results from the Breakthrough Listen (BL) observations. We investigate the transmitter rate by considering the background galaxies in the field of view (FoV) of target stars during BL observations. The total mass of stellar systems in those background galaxies was statistically derived from a galaxy stellar mass function. Our results imply that less than one in hundreds trillion extragalactic civilizations within 969 Mpc possess a radio transmitter above 7.7×10^{26} W of energy if we assume one civilization per one-solar-mass stellar system. Our results set the strictest limits on transmitter rate at such a high energy, emphasizing the high efficiency of searching for ETI in galaxies and the rarity of technologically very advanced civilizations in our 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](#)

P311a MuSCAT シリーズとすばる望遠鏡 IRD インテンシブ観測による TESS トランジット惑星候補のフォローアップ観測 III

成田憲保, 福井暁彦, 小玉貴則, 川内紀代恵, 幾田佳, 渡辺紀治, 木村真博, 森万由子, 蔭谷泰希, 鄒宇傑, 河合優悟, 福田生鵬 (東京大学), 平野照幸, 堀安範, 小谷隆行 (ABC/国立天文台), 生駒大洋 (国立天文台), 田村元秀 (東京大学/ABC), MuSCAT チーム, IRD インテンシブチーム, IRD 装置チーム

2018 年 4 月に打ち上げられた NASA のトランジット惑星探索衛星 TESS は、第 2 期延長計画に移行し、2022 年 12 月現在、5 年目のサーベイを実施している。これまでのサーベイで 6,000 個を超えるトランジット惑星候補が発見されているが、TESS はピクセルスケールが大きいため、発見された惑星候補の中には高い割合で食連星による偽検出が含まれている。そのため、発見された惑星候補が本物の惑星かどうかを地上の追観測によって確認する「発見確認」のための追観測が世界中で行われている。

我々は北半球の 3 台の 1-2m 級望遠鏡に搭載した多色同時撮像カメラ MuSCAT シリーズと、すばる望遠鏡の赤外線視線速度測定装置 IRD のインテンシブ観測により、TESS のトランジット惑星候補の発見確認と、発見された惑星および主星の特徴付けに取り組んでいる。MuSCAT シリーズでは、2022 年 12 月までに主星のタイプを問わず 400 個以上の惑星候補に対して発見確認観測を行い、TESS の公式追観測プログラムである TFOP に結果を報告した。IRD では、MuSCAT シリーズで本物の惑星らしいと確認されたトランジット惑星候補を持つ、有効温度が約 3,500K 以下の赤色矮星約 30 星をターゲットとして、視線速度を測定している。

本講演では 2022 年度の研究成果として、ハビタブルゾーン付近にあるスーパーアース TOI-1452b の発見と、ハビタブルゾーンにあるスーパーアース TOI-4306c の発見について報告し、今後の観測方針について紹介する。

[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](#)

P312a トランジット測光による系外惑星 KELT-19Ab の逆行軌道の推定

河合優悟, 成田憲保, 福井暁彦, 渡辺紀治 (東京大学)

地球や他の太陽系惑星の公転軸は、主星である太陽の自転軸と 10° 以内で揃っている。一方、太陽系外では、主星の自転軸に対する惑星の公転軸のなす角 ψ は 0° (順行軌道) と 90° (極軌道) 周辺に分布しており、その分布はランダムではないことが示唆されている (Albrecht et al. 2022)。特に、 ψ が 125° を超える逆行軌道の惑星はこれまでに発見されていない。

現在発見されている惑星の極軌道は、von Zeipel-Kozai-Lidov 機構と呼ばれる伴星や他の惑星の重力的な摂動などによって引き起こされると考えられている。しかし von Zeipel-Kozai-Lidov 機構のシミュレーションからは、極軌道の惑星と同時に ψ が 180° に近い完全な逆行軌道の惑星も形成されることが示されており、先述の通りこれは観測の前例がない (Vick et al. 2022)。

本研究では、TESS 衛星で得られた A 型星周りの系外惑星 KELT-19Ab の測光データを重力減光モデルを用いて解析し、この惑星の ψ が 125° を超える可能性が 86% 以上であることを明らかにした。KELT-19Ab は現在までに ψ が判明した惑星の中で、そのような極端な逆行軌道を持つ初めての惑星である可能性が高い。今後 TESS の追加観測が実現すれば、この逆行軌道の有意度をさらに高めることができる。本講演では、この推定手法及び結果の報告に加え、KELT-19Ab の軌道進化のシナリオについて議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P313a Two Unique Planetary Systems around Giant Stars Discovered by Okayama Planet Search Program

Huan-Yu TENG*, Bun'ei SATO, Masanobu KUNITOMO, Takuya TAKARADA, Masashi OMIYA, Hiroki HARAKAWA, Makiko NAGASAWA, Ryo HASEGAWA, Guang-Yao XIAO, Yu-Juan LIU, Hideyuki IZUMIURA, Eiji KAMBE, Michitoshi YOSHIDA, Yoichi ITOH, Hiroyasu ANDO, Eiichiro KOKUBO, and Shigeru IDA. *Department of Earth and Planetary Sciences, School of Science, Tokyo Institute of Technology, 2-12-1 Ookayama, Meguro-ku, Tokyo 152-8551, Japan.

We report the detection of two unique planetary systems around giant stars. HD 184010 is K0 type and located at beginning of the red-giant branch and harbors a trio of giant planets. It has a mass of $1.35M_{\odot}$, a radius of $4.86R_{\odot}$, and a surface gravity $\log g$ of 3.18. The planetary system is composed of three giant planets in a compact configuration with orbital periods of 286.6, 484.3, 836.4 d respectively. The dynamical stability analysis reveals that the planets should have near-circular orbits and could remain stable in a time scale of Gyr. HD 167768 is a G8 type giant star with a mass of $1.08M_{\odot}$, a radius of $9.70R_{\odot}$, a metallicity of $[\text{Fe}/\text{H}] = -0.67$, and a surface gravity of $\log g = 2.50$. The planet orbiting HD 167768 is a warm Jupiter, having a period of 20.6532 d, a minimum mass of $0.85 M_{\text{J}}$, and an orbital semimajor axis of 0.1512 au. This planet has one of the shortest orbital periods among those ever found around deeply evolved stars ($\log g < 3.5$) using radial velocity methods. The equilibrium temperature of the planet is 1874 K, as high as a hot Jupiter. We also calculated the orbital evolution of HD 167768 b and found that the planet will be engulfed within ~ 0.15 Gyr.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P314a すばる望遠鏡 IRD, REACH での系外惑星・褐色矮星の観測: PyIRD による解析

笠木結 (総研大), 河原創 (JAXA), 増田賢人 (大阪大), 小谷隆行 (ABC/NAOJ/総研大), 葛原昌幸 (ABC), 平野照幸 (ABC/NAOJ)

褐色矮星は若い系外惑星やホットジュピターと似た大気構造を持つため、系外惑星大気の研究に役立つと期待されている。しかし、褐色矮星は可視光では非常に暗いため、これまで高分散分光観測はあまり行われてこなかった。一方で近赤外線では明るく、すばる望遠鏡の近赤外線高分散分光器 IRD での観測に適している。近年、IRD と補償光学 AO188 を組み合わせる観測技術や、IRD に極限補償光学 (SCEXAO) を繋いだ REACH を使用し、明るい主系列星の近くにある褐色矮星及び系外惑星を空間分解して分光観測を行う手法が確立された。これらの観測からは、モデルフィットによる褐色矮星や系外惑星大気の特徴づけや、視線速度測定による褐色矮星周りの惑星系の調査を行うことができる。実際に、褐色矮星に対する観測から、補償光学によって大気のゆらぎによる主星からの光の波面が補償された、質の高いスペクトルが得られることが既に示されている。

一方で、褐色矮星や系外惑星のような暗い天体のスペクトルをより効率よく取り出すためには、検出器面上のノイズを高精度で除去することが必要である。本講演では、これを目的として開発された高分散分光データの一次処理パイプライン PyIRD とその解析結果について紹介する。PyIRD は github 上で共同開発を行っているオープンソースの解析ツールである (<https://github.com/prvjapan/pyird>)。Python で書かれており、各処理段階での処理データの確認や精度の検証を行うことができるという点も特長である。実際に PyIRD を用いて取り出した褐色矮星スペクトルと従来の一次処理によるスペクトルとの比較や、スペクトル中に多く混在する Sky 輝線の処理方法について報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P315a 系外惑星高分散リトリバーバル ExoJAX：広帯域化アルゴリズム

河原創 (宇宙研), 川島由依 (理研), 増田賢人 (大阪大), 石川裕之 (ABC), Stevanus Nugroho (ABC), 笠木結 (総研大), 小谷隆行 (ABC/NAOJ/総研大), ExoJAX contributors

我々は Python/JAX で書かれた勾配ベースの惑星大気推定ができるスペクトルモデル ExoJAX をオープンソース開発している。ExoJAX は分子・原子のデータベースを直接読み込み、高速に断面積を計算するアルゴリズムを用いて大気各層でのオパシティの計算を行う。放射伝達を解き、天体の rotational broadening や装置応答などを施し、観測データと直接比較できるスペクトルを生成する。生成されたスペクトルは、各層の温度や元素存在量、回転速度といった大気・惑星モデル中の物理パラメータに計算グラフを通じて繋がっている。このため推定したい物理・化学パラメータでスペクトルを (自動) 微分することができる。この機能により確率プログラミング言語 (例えば NumPyro) や勾配ベースの最適化ツール (例えば JAXopt) と互換性を持ち、HMC-NUTS や SVI のようなベイズ推定、また ADAM などを用いた最適化を行うことができる。これまで ExoJAX は、GPU デバイスメモリの制限から狭い波長範囲でしか計算できなかった。今回はこれを克服する新アルゴリズムにより ExoJAX の広帯域化を行った。k 分布や事前計算された荒いグリッドの断面積テーブルに頼ることなく、広い波長域での第一原理リトリバーバルを目指し、すばる REACH/IRD のような地上高分散分光だけでなく、ゆくゆくは JWST や Ariel といった宇宙分光にも適用できるようにしたい。 <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](#)

P316a 「あかり」遠赤外線全天観測による3つの黄道面付近ダストバンド構造の検出と各ダストバンドの起源小惑星族の推定

大坪貴文 (国立天文台), 土井靖生 (東大総合文化)

我々太陽系の惑星間空間には、彗星以外にも小惑星から放出されたと考えられるダストが広がっており、これが黄道光・黄道放射の小惑星ダストバンド構造として観測されることが知られている。小惑星ダストバンドはメインベルト内での小惑星族同士の衝突がダストの供給源であり、Poynting-Robertson 効果などによりダストが太陽方向へ落ちてくることで小惑星軌道から広がったトーラス状構造をしている可能性が指摘されている。我々は、全天の $> 97\%$ をカバーしている赤外線衛星「あかり」の遠赤外線全天画像 (Doi et al. 2015, Takita et al. 2015, Ootsubo et al. 2016) の短波長側 2 バンド (65, 90 μm) に対して黄緯方向にハイパスフィルタなどの画像処理を施すことにより、幅 2.5° 以下の微細な小惑星ダストバンド構造を抽出した。この画像強調処理によって、過去の観測で知られていた黄道面付近 (黄緯 $\pm 5^\circ$ 以内) のダストバンドである黄緯 $\pm 1.4^\circ$ と $\pm 2.1^\circ$ の明確なピークを検出することができている (2022 年秋季年会参照)。今回、さらに詳細な画像解析と観測データに対するダストバンド構造のモデルフィッティングをおこなうことで、 $\pm 1.4^\circ$ バンドのさらに内側に新たに黄緯 $\pm 5^\circ$ 以内では 3 つ目のダストバンドである黄緯 $\pm 0.7^\circ$ 付近の微細なダストバンドを検出したので報告する。ダストバンド構造は、地球の公転により黄経方向 360° に渡ってピークの黄緯が sinusoidal な変化を見せるが、その見かけの構造から、ダストバンドの軌道傾斜角と地球-ダストバンド間の距離を推定することができる。今回推定した黄緯 $\pm 1.4^\circ$ 、 $\pm 2.1^\circ$ バンドのダスト供給源は、それぞれ太陽から ~ 2.8 au の Karin 族、 ~ 3.1 au の Beagle 族であり、 $\pm 0.7^\circ$ バンドに対応する小惑星族は Themis 族、もしくは Euterpe 族、Massalia 族のいずれか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](#)

P317a C/2021A1(Leonard) の偏光観測

鈴木文二 (渋谷教育学園幕張高校)

直線偏光フィルタを用いた偏光撮像装置を自主製作し、口径 0.41m の望遠鏡に装着した。受光素子は 36mm × 24mm の CMOS で、38'.1 × 25'.4 の視野をカバーしている。観測可能波長域は測光標準システムの B, V, Rc, Ic, および狭波長域の C₂, green continuum であり、彗星に特化した偏光装置である。この機器を用いて、C/2021A1(Leonard) 彗星の観測を、2021 年 11 月から 2022 年 1 月まで行った。期間中の位相角は、49.1° から 139.4° までの範囲であった。多くの観測は低高度であったため、背景大気明るさの推定、観測時の大気量変化、および短時間の大気変動を慎重に考慮して解析を行った。その結果、偏光度の誤差は最大でも約 3 % 以内に収めることができた。彗星観測において、位相角が 100° をこえる観測は多くはなく、約 140° における観測は初の事例である。偏光度曲線の解析の結果、この彗星は低偏光度を示す彗星であることがわかり、最大偏光度は 18.9 % (位相角 98.0°)、幾何アルベドは 0.052 と求められた。

[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](#)

P318a 木星衛星イオの環境を想定した SO₂ 霜の生成及び変性実験

古賀亮一, 根岸昌平, 平原靖大, 趙彪, 李源 (名古屋大学), 伊藤文之 (産総研), 今井正堯 (京都産業大学)

火山活動が活発な木星衛星イオでは、SO₂ を主成分とした希薄大気 (10⁻³ Pa) が昼夜の表面温度変化により昇華と凝縮を繰り返す。我々は ALMA の純回転遷移の観測によってイオの火口からの直接噴出 SO₂ ガス成分の検出に成功した (Koga et al., 2021, ApJL)。この SO₂ ガスは断熱膨張により凝縮し (Spencer et al., 2005)、イオ表面に降積する。その結果、イオの火口や溶岩湖などの表層地形に応じた多様な堆積物の存在が可視・近赤外撮像観測によって示唆されている (e.g. Mura et al., 2020)。しかし、SO₂ 固体微粒子の結晶系、粒径、光・熱変性によって最も強くスペクトルが変化する中間赤外波長帯の分光観測例は極めて少ない (e.g. Tsang et al., 2016)。

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 (Qi et al., 2015) に基づくイメージングフーリエ変換中間赤外分光器を用い、波長分解能 $\lambda/\Delta\lambda = 100$ 、空間分解能 12 μm 、3 mm ϕ の範囲で SO₂ 基準振動モードに起因する固体振動バンド (ν_3 7.3 μm , ν_1 8.6 μm) の空間二次元の透過吸収スペクトルを測定した。液体窒素デュアー付き真空チャンバーを使用して以下の手順で SO₂ 凝縮微粒子 (圧力 10⁻³ Pa で昇華温度 120 K) を生成した。(1) チャンバー内を 10⁻³ Pa まで減圧、(2) 赤外透過 ZnSe サンプルステージ温度を 100 K まで冷却、(3) 減圧を停止して、Ar 希釈 1 % SO₂ ガスを圧力が 1000 Pa になるまで噴霧、(4) ガスの導入後 30 分間温度を 100 K に維持し、サンプルステージ上に堆積した SO₂ 凝縮物の吸収スペクトルを 3-5 分ごとに測定。(5) 液体窒素蒸発後、常温までの吸収スペクトルを同様に測定。その結果、ZnSe プレートへの SO₂ の凝縮の進行に伴い、中心波長 7.5 μm 、7.6 μm のダブルピーク形状への漸移が確認された。その後 100 K から 140 K の温度上昇による固相から気相への相変化により、シングルピーク形状へと変化した。今後 SO₂ 凝縮物への紫外線照射・アニーリング実験を行う。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P319a 土星リング内の小衛星が作るギャップ構造

鳥居尚也, 井田茂 (東京工業大学)

1997年に打ち上げられたカッシーニ探査機による土星リングの観測から、リング内の様々な興味深い力学的構造が明らかになった (e.g. Porco et al. 2005)。我々はその中でも特に、Aリング内に埋め込まれた小衛星ダフニスやパンが作るギャップ構造に着目した。カッシーニの観測により、これらの小衛星が作るギャップの端はシャープに切れており、衛星近傍では密度波が立っていることが知られている。過去に解析的議論からシャープなギャップ端の維持メカニズムが提案されており (e.g. Borderies et al. 1982, 1983, 1989)、小衛星とリング粒子間の相互作用についての local な N 体シミュレーション (e.g. Lewis & Stewart 2000) により、そのメカニズムの妥当性も示唆されている。

しかし、ギャップ構造は local な領域内での計算だけでは記述し切れない可能性がある。そこで我々は、土星リング内で実際に起こっている物理を統一的に再現することを目的に、衛星が作るギャップ構造の global な 3次元 N 体シミュレーションを実施した。N 体計算コード GPLUM (Ishigaki et al. 2021) を用いて、リング粒子間の自己重力・非弾性衝突を考慮して、衛星との重力相互作用によるリング粒子群 (10^5 体) の構造形成を、衛星質量と円盤質量を様々に変えて計算した。

その結果、シャープに切れたギャップ端や衛星とリング粒子の重力相互作用によって誘起された密度波の構造を再現したばかりでなく、ギャップ端の密度波面の部分に山脈のようにそそり立つ鉛直構造も再現されていることを発見した。これらは全て、カッシーニの観測によって実際に確認されているものである。本講演ではこれらのシミュレーションの結果を紹介し、衛星質量や円盤質量のギャップ構造への依存性について議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P320b 太陽系外惑星 TrES-1b の近赤外線でのトランジット観測

植野 雅々, 伊藤 洋一 (兵庫県立大学)

トランジット法は、系外惑星が主星を隠すときに起こる、主星のわずかな減光を検出することで系外惑星を発見する観測手法である。系外惑星が大気を持っている場合、トランジット中に主星の光の一部が惑星の上層大気を通過し、原子・分子によって吸収されることがあり、波長によってわずかにトランジットの深さが異なる。

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 を用いて太陽系外惑星 TrES-1b のトランジットを観測した。主星 TrES-1 は半径 0.85 太陽半径、質量 0.88 太陽質量、有効温度 5250 K の K 型の主系列星で、その周りを公転する惑星 TrES-1b は、半径 1.1 木星半径、質量 0.76 木星質量、公転周期 3.03 日のホットジュピターである (Alonso et al. 2004)。NIC は J バンド (中心波長 $1.25 \mu\text{m}$)、H バンド ($1.63 \mu\text{m}$)、 K_s バンド ($2.14 \mu\text{m}$) を同時に観測することができる。近赤外線の波長領域には分子の吸収が多く、惑星の大気の成分を調査するには適した波長である。取得した画像は画像処理ソフト IRAF で処理・解析を行い、EXOFAST を用いて光度曲線のフィッティングを行った。すべてのバンドでトランジットが確認でき、主星と惑星の半径比は J バンド 0.1488 ± 0.0028 、H バンド 0.1425 ± 0.0019 、 K_s バンド 0.1376 ± 0.0026 と求められた。そして、Planetary Spectrum Generator を用いて 60 種類の分子の惑星大気モデルを作成し、観測値と比較した。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P321b すばる HSC-SSP Public Data Release 2 既知太陽系小天体カタログ

大坪貴文, 高田唯史, 古澤久徳, 古澤順子, 寺居剛 (国立天文台), 吉田二美 (産業医科大/千葉工大 PERC), 浦川聖太郎 (日本スペースガード協会), HSC 超高速 DB グループ

微惑星の生き残りである小惑星や彗星などの太陽系小天体の軌道分布やサイズ頻度分布の情報は、太陽系天体の軌道進化・衝突進化の歴史を知る重要な手掛かりである。我々はすばる望遠鏡 Hyper Suprime-Cam (HSC) の大口径と広視野撮像という特長に着目し、まずは位置推定が可能な既知太陽系小天体を HSC の観測データから抽出しカタログ化することを目指して、HSC 戦略枠サーベイ (HSC-SSP) の Public Data Release 2 (PDR2) の観測画像と検出光源リストに基づく既知小天体の同定・抽出作業を進めている。2022 年秋季年会では、各露出での光源カタログをまとめた PostgreSQL データベースを活用した、小天体の予測座標と HSC の検出光源との座標マッチング処理の高速化について報告した (P327a 参照)。2014 年 3 月から 2018 年 1 月にかけての 174 観測夜のうち wide survey の太陽系小天体抽出作業をほぼ終了したので、カタログの詳細を紹介する。PDR2 wide survey のデータでは、小天体の総検出数は延べ 50 万を超え、ユニークな天体数としては 11 万強であった。多数のメインベルト小惑星・木星トロヤ群天体・カイパーベルト天体をはじめ、観測時の地心距離が 0.23 au の地球接近小惑星や、遠いものは日心距離が 50 au を超える外縁天体も数天体含まれている。PDR2 の期間中に複数回観測された天体として、異なるフィルターでの観測を含めた総観測数が 10 回を超える天体は約 1 万 3 千あり、30 回を超えるものも 100 天体弱あった。このカタログは小天体のライトカーブやカラーの研究にとっても有用であると期待される。本講演では、HSC-SSP PDR2 既知太陽系小天体カタログの詳細について紹介し、今後の移動天体抽出の精度向上やカタログの配布方針について紹介する。

[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](#)

P322b 衛星周回機を想定した金星大気サブミリ波ヘテロダイン分光の放射輸送計算

前澤裕之, 山内良斗 (大阪公立大学), 佐川英夫 (京都産業大学)

非磁化かつ CO₂ を主大気とする地球型惑星の大気環境の普遍的な性質を理解する上で、金星は火星と並んで、太陽系にあって詳細の観測が可能な極めて貴重な研究ターゲットである。金星では「あかつき」衛星 (JAXA) や Venus Express (ESA) などの周回探査衛星により、スーパーローテーションなどの気象力学や大気化学、超高層での大気の流出過程などの実態が明らかとなりつつある。一方、高度 60km 近傍の硫酸の雲を介した大気の上下結合や、昼夜間対流からスーパーローテーションがせめぎ合う領域にかけての物質循環についてはまだ未解明となっている。本研究では、これまであまり検討されていなかったサブミリ波帯における金星大気金星周回機によるリムサウンディングやナディア (直下視) を想定し、Venus Climate Database (LMD) や Krasnoplosky (2019)、SPART 望遠鏡 (前澤他 2021 年春季天文学会)、ALMA (PI:前澤 2017) などの観測データをもとに、H₂O、H₂¹⁸O、H₂¹⁷O、HDO、SO、SO₂、OCS、HCl、O₂、CO、¹³CO、C¹⁸O ClO などの大気輸送トレーサーや、光化学や酸化反応に関わる微量分子について放射輸送モデルに基づく 0.3-1THz 帯のスペクトルサーベイの計算を実施した。この波長域のヘテロダイン分光法は、周波数高分解能のデジタル分光計を用いることで大気のドップラー速度も計測でき、中間圏の分子の空間分布と速度場、赤外波長を用いた雲頂から低高度の微量分子の同時観測により、金星大気物質循環に迫ることができると期待される。また観測に太陽のような背景光源を必要としないため、金星の Local time や昼夜の面を問わない観測を行うことができ、地上望遠鏡ではカバーできない全面観測が可能になる。本公演ではこれらの解析について紹介・報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P323c マウナケア「星空ライブカメラ」を用いたヘルクレス座 τ 流星群の観測

長谷川均 (NAOJ 太陽系小天体ゼミ), 宇田豊和 (Aiharasoft), 浮田信治, 田中壺 (NAOJ), 東山正宜 (朝日新聞社)

すばる望遠鏡サイトに設置・運用されている「星空ライブカメラ」(田中 et al. 22 年春季年会, Y13a) の YouTube ストリーミング映像をリアルタイムで解析し、流星を自動検出するシステムを作成した (meteor-detect)。この報告は (1) この検出システムの紹介、(2) これを用いて観測した 2022 年のヘルクレス座 τ 流星群 (TAH) の解析結果、および (3) 母天体 73P/Schwassmann-Wachmann 彗星の 1995 年に起きた彗星核の分裂との関係を議論する。

本システムでは配信される動画を取得し画像解析する。一定時間内 (1 秒) の連続するフレーム間の差分画像の比較明合成像から移動物を抽出する。この中から直線状のパターンが検出された場合にその時刻と比較明合成画像を保存する。これらの画像に対して astrometry.net を用いて WCS を決定し軌跡の座標を求めた。

予想極大日前後で、5 月 30 日には 92 個、5 月 31 日には 448 個、6 月 1 日 31 個の TAH 群の流星を検出した。データを 1 時間毎に区切り、その間の流星経路から放射点を求めた。例えば、5/31 6h-7h(UT) では RA=207.9° , dec=27.1° が得られ、流星観測ネットワーク CAMS や GMN の速報値 (IAUC 5126) とほぼ一致していた。

単点観測の放射点からでも流星の速度を仮定すれば軌道要素が計算可能である。予想値 16.1 km/s の前後 15.8 - 16.7 km/s の場合について軌道要素を求め、汎用 N 体問題計算コード: REBOUND(Rein and Liu, 2012) を用いて過去の位置を調べた。その結果、16.458km/s とすると流星粒子は母彗星が分裂を起こした 1995 年 9 月に 0.004 AU まで最接近することが分かり、Horie et al.(2008) の TAH 群の 2022 年出現予想モデルと符合している。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Q01a 超新星残骸 G359.0–0.9 の X 線解析による親星の質量制限

松永海, 内田裕之, 成田拓仁 (京都大学), 榎谷玲依 (慶應義塾大学), 鶴剛 (京都大学)

超新星残骸の元素組成は星内部の元素合成や爆発機構を反映するため、元素組成を調べることで親星の質量を制限することができる。例えば N49B (Park et al. 2003, 2017) と G284.3–1.8 (Williams et al. 2015) で報告されているように、Mg のアバンダンスが Ne より有意に大きい "Mg-rich" 超新星残骸は大質量星を親星に持つと考えられている (N49B; $> 20M_{\odot}$, G284.3–1.8; $> 25M_{\odot}$)。また、イジェクタの Fe と Si とのアバンダンス比 $Z_{\text{Fe}}/Z_{\text{Si}}$ は親星の質量と負の相関を持ち、特に 0.2 以下の場合親星の質量は $20M_{\odot}$ 以上に達すると考えられている (Katsuda et al. 2018)。ただしこうした大質量星は超新星爆発を起こしにくいとするシミュレーション結果も報告されており (Sukhbold et al. 2016)、その爆発可能性については議論の余地がある。我々は XMM-Newton 搭載の EPIC の観測データを用いて、系内の超新星残骸 G359.0–0.9 の X 線放射のスペクトルを解析した。その結果、イジェクタ全体でのアバンダンス比が $Z_{\text{Mg}}/Z_{\text{Ne}} \sim 2.1$ 、 $Z_{\text{Fe}}/Z_{\text{Si}} \sim 0.14$ と、いずれも大質量星の爆発を示唆する。加えて我々は NANTEN の CO 観測データを解析し、付随分子雲の視線速度によって G359.0–0.9 までの距離を 1–3 kpc の範囲に制限した。特に Scutum arm (~ 2.7 kpc; Reid et al 2016) 上にある場合、X 線解析結果からイジェクタの質量は $21M_{\odot}$ となり、 $20M_{\odot}$ 以上の大質量な親星を仮定しても矛盾しない (Jacovich et al. 2021)。本講演では X 線と電波の観測結果を総合し、超新星残骸 G359.0–0.9 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](#)

Q02a Tycho's SNR の星周環境モデルの構築

小橋亮介, Shiu-Hang Lee, 前田啓一 (京都大学), 田中孝明 (甲南大学)

超新星残骸 Tycho は、球対称に近い形状をしており、一様な星間・星周環境が想定される (Slane et al. 2014)。これは、Ia 型超新星残骸の中でも典型的な例として考えられる。しかし、X 線と電波による観測 (Katsuda et al. 2010; Williams et al. 2016) から衝撃波の運動に方位角依存性があること、CO 観測 (Zhou et al. 2016) から Tycho が分子雲に囲まれていることが最近明らかになってきた。さらに、Tanaka et al. (2021) は、X 線衛星 Chandra による観測データを再解析し、2009 年頃から衝撃波が著しく減速しつつあることを発見し、爆発前の親星からの wind により作られた cavity を持つ分子雲との相互作用を示唆した。これらの観測はいずれも、Tycho の衝撃波が現在進行形で周囲の分子雲と相互作用していることを支持する結果となっており、特に外側環境が一様な環境であるとしてきた仮定を見直す必要を明らかにしている。さらに、この非一様性が爆発前の親星の活動により作られたとする示唆は、Ia 型超新星に至る進化過程解明に向け重要な結果である。次のステップとして、Tycho の衝撃波の時間進化の精密なモデルを通し、星周物質の分布を理解することが重要である。本研究では、まず、まだ分子雲と相互作用していないと思われる年代かつ領域 (分子雲の内側) に関して、各方位角ごとにシミュレーション (1 次元流体計算) を行う。その結果を観測データと比較し、分子雲の内側における密度と、Tycho の地球までの距離に制約を与えた。以上により得られた分子雲よりも内側の cavity 密度と距離の制約の下で、分子雲の位置、分子雲の形状などをパラメータとしたシミュレーションを行い、結果を各方位角方向ごとの観測データと比較し、best-fit モデルを求めた。本講演では、結果として得られた星周環境の性質を示し、そこから得られる親星の活動性への示唆を議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Q03a Ia 型超新星残骸 DEM L71 の精密 X 線分光解析による膨張速度の測定

大場滉介 (東京大学, ISAS), 山口弘悦 (ISAS/JAXA), 田中孝明 (甲南大学), 内田裕之, 天野雄輝 (京都大学)

超新星残骸の膨張速度は、親星の爆発エネルギーや周囲の星間物質密度を反映する。したがって膨張速度の精密測定によって、親星の進化過程や爆発メカニズムに迫ることができる。ただし X 線輝線のドップラーシフトを用いて膨張を測定するには、高いエネルギー分解能をもつ検出器が必要である。DEM L71 は大マゼラン雲に位置する年齢 4000–10000 年 (e.g., Ghavamian et al. 2003; van der Heyden et al. 2003) の Ia 型超新星残骸である。X 線帯域では、衝撃波によって掃き集められ、加熱されたシェル状の星間物質と、中心部に集中する鉄を豊富に含む爆発噴出物が観測される。また逆行衝撃波は中心まで達しているため、爆発噴出物の全てを X 線で観測することが可能となっている (e.g., van der Heyden et al. 2003)。我々は、XMM-Newton 搭載の反射型回折分光器 RGS で DEM L71 の長時間観測を行った。その結果、O VII の共鳴線と禁制線、O VIII や Ne X の $\text{Ly}\alpha$ 輝線、Fe L 輝線などが分離できた。RGS はスリットのない分散系なので、各輝線の形にプラズマ中のイオンの空間分布が反映される。本観測においては、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が得られた一方で、天体の広がりだけでは説明できない輝線幅の広がり観測された。我々はこれを視線方向の運動によるドップラー効果を捉えたものであると解釈した。そこで鉄輝線に関して球対称な密度分布と速度分布を仮定したモデルと比較したところ、外縁部の膨張速度が $\sim 1500 \text{ km s}^{-1}$ であることが分かった。酸素輝線に関してはシェル状の放射領域のモデルを考え、同様に速度測定を行った。本講演では解析の詳細について報告し、それぞれの膨張速度から分かる DEM L71 の起源について議論したい。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Q04a Ia 型超新星残骸 3C 397 に付随する分子雲

伊藤大将, 佐野栄俊, 須藤広志, 高羽浩 (岐阜大学), 三石郁之, 中澤知洋 (名古屋大学)

Ia 型超新星は宇宙の標準光源として広く利用されているが、その爆発機構については議論が続いている。現時点での有力な説は、白色矮星に伴星からのガス降着が起きて爆発する Single Degenerate (SD) 説と、白色矮星同士の合体による Double Degenerate (DD) 説である。SD 説でのみ、高密度星周物質や質量降着風起源の膨張シェル、伴星の検出が期待できるため、これらの観測的検証が進められている。3C 397 は距離 $\sim 8\text{--}12 \text{ kpc}$ に位置する Ia 型超新星残骸 (SNR) である。Ni や Mn を多く含む重元素組成から SD 説が有望視されている (Yamaguchi et al. 2015)。CO 輝線観測からは、空間分布比較により $V_{\text{LSR}} \sim 30 \text{ km s}^{-1}$ 分子雲の付随が主張されている (Jiang et al. 2010) が、H α 吸収線測定はそれとは矛盾する結果を示す (Leahy & Ranasinghe 2016)。また、分子雲の運動学的解析は行われておらず、SD 説の証拠になりうる膨張シェルは見つかっていない。今回我々は、JCMT による $^{12}\text{CO}(J=3-2)$ 輝線の公開データ ($\Delta\theta \sim 16.6''$, Park et al. 2022) と、野辺山 45-m 鏡で新たに観測した $\text{CO}(J=1-0)$ 輝線データ ($\Delta\theta \sim 14''$) を解析したので報告する。結果として、新たに $V_{\text{LSR}} \sim 60 \text{ km s}^{-1}$ に付随候補の分子雲を発見した。分子雲は SNR 北東部から北西部にかけて粒状に分布し、電波連続波シェルと良い空間相関をもつ。このとき運動学的距離は $8.7 \pm 0.2 \text{ kpc}$ と計算でき、過去の H α 吸収線測定の結果とも矛盾しない。また位置速度図の解析から、当該分子雲は $\Delta V \sim 3 \text{ km s}^{-1}$ の膨張運動を示すこともわかった。仮にこの膨張シェルが超新星爆発で形成されたとすると、爆発前の平均密度は $\sim 800 \text{ cm}^{-3}$ とされ、X 線/赤外線などから求められた pre-shock 密度 $\sim 2\text{--}5 \text{ cm}^{-3}$ (e.g., Yamaguchi et al. 2015) と矛盾する。そこで本講演では、これが SD 説に起因する膨張シェルで、3C 397 が希薄なバブル内部で爆発したというシナリオを提案し、そ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](#)

Q05a 超新星残骸 G346.6-0.2 のスペクトル解析と再結合優勢プラズマの形成過程

古瀬愛実, 鈴木那梨, 山内茂雄 (奈良女子大), 信川正順 (奈良教育大), 信川久実子, 森川朋美 (近畿大)

一般的な超新星残骸 (SNR) のプラズマは電離が再結合よりも支配的である電離進行プラズマ状態 (IP) から、時間経過とともに電離と再結合が平衡の電離平衡状態 (CIE) となる。しかし近年、再結合が電離よりも支配的である再結合優勢プラズマ (RP) を持つ超新星残骸が発見されている。この RP の形成過程や起源は未だ議論が続いており、熱伝導や断熱膨張により電子温度が下がる電子冷却説や、近傍光源からの X 線放射や低エネルギー宇宙線により電離が進行する電離促進説などがある。G346.6-0.2 は中心集中した X 線放射と電波シェルを持つ Mixed Morphology 型超新星残骸であり、放射生再結合連続放射を持つことより初期電離温度が 5keV の RP モデルでスペクトルを再現できることが報告されている (Yamauchi et al. 2013, PASJ, 65, 6)。

「すざく」衛星の X 線データを使用し、銀河面 X 線放射を考慮したモデルを用いて バックグラウンドの寄与を見積もり、元素ごとに初期電離温度が異なるモデルを導入して解析を行った。その結果、元素ごとに初期電離温度が異なっており、初期状態は CIE 状態でなくてもよいこと、原子番号の増加にしたがって初期電離温度が大きくなるということが分かった。Yamauchi et al. (2021, PASJ, 73, 3) では 5 つの IP-SNR、4 つの RP-SNR に対して同様のモデルを適用して系統的な調査を行い、この傾向は IP-SNR でも見られること、IP-SNR の電離温度よりも RP-SNR の電離温度の方が高いことから、電離促進により IP-SNR から RP-SNR へ変化したシナリオを提案している。また、G346.6-0.2 から低エネルギー宇宙線陽子起源と考えられる中性鉄輝線が発見されている (森川朋美, 日本天文学会 2022 年 秋季年会 Q34a; Saji, S. 2018, Ph. D. thesis)。これらの結果に基づき、講演では本解析結果の詳細の報告と RP-SNR の形成過程についての議論を行う。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Q06a 再結合優勢プラズマを持つ超新星残骸 W49B における中性鉄輝線の探査

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

標準的な超新星残骸 (SNR) の進化過程に現れないプラズマ状態を持つ SNR が近年多数発見されている。この新たなプラズマは、電離よりも再結合が優勢であり、再結合優勢プラズマ (Recombining plasma, RP) と呼ばれている。RP は形成過程が不明であり、様々な議論が行われている。提案されている起源は、付随分子雲との相互作用による熱伝導や、親星の恒星風により周囲に形成された高密度空間から外側の低密度空間へ衝撃波が抜ける過程での断熱膨張といったプラズマの冷却を考える電子冷却説と、近傍の明るい光源からの光子や SNR で加速された低エネルギー宇宙線による電離の促進を考える電離促進説である。空間構造と周辺環境の比較は、RP の起源の解明に重要な情報を与える。

これまでいくつかの超新星残骸から低エネルギー宇宙線由来の中性鉄輝線の検出が報告されており、RP SNR においては、6 天体で中性鉄輝線が見つかっている (e.g., Nobukawa, K. K., et al. 2018, ApJ, 854, 87)。SNR の周囲に高速粒子が存在すれば、低エネルギー宇宙線によって電離が起こりえる。そこで、電波観測において、分子雲と相互作用していると報告 (Sano, H., et al. 2021, ApJ, 919, 123) された、RP を持つ超新星残骸 W49B のプラズマのスペクトルを調べ、中性鉄輝線の探査を行った。すざく衛星の W49B の約 500 ks のデータを 9 つの領域に分け、1-12 keV band で各領域のスペクトル解析を行った結果、分子雲の近傍領域と X 線で明るい中央領域において中性鉄輝線をマージナルではあるが検出した (有意度 $\sim 3\sigma$)。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](#)

Q07a すざく衛星による超新星残骸 Kes 27 のプラズマの空間構造の調査

藤重朝妃, 山内茂雄 (奈良女子大), 信川正順 (奈良教育大), 信川久実子 (近畿大)

Kes 27(G327.4+0.4) は銀河系内の超新星残骸 (Supernova remnant; SNR) であり、年齢は 2,400-23,000 年と推定される (Ferrand & Safi-Harb 2012)。電波でシェル状、X 線で中心集中した放射が観測され、複合形態型 SNR に分類される。ASCA 観測では、Kes 27 のプラズマは電離平衡または過電離状態の可能性があると報告された (Kawasaki+2005, ApJ, 631, 935)。一方 Chandra 観測では、ほとんどの領域で電離平衡に達していると報告され (Chen+2008, ApJ, 676, 1040)、異なる観測で一致した結論を得られていない。また、全体領域のスペクトルで見られた Fe-K 輝線の有意な広がり (Minami+2014, proc. of Suzaku-MAXI 2014, 48) や、SNR が北東部の HI 雲と相互作用していること (Chen+2008) から、プラズマの電離状態は領域によって異なる可能性が考えられる。

本研究では Kes 27 のプラズマの電離状態およびその空間構造を調査することを目的とする。X 線天文衛星すざくが取得したデータを用いて、バックグラウンドの寄与を慎重に見積もり、スペクトルの解析を行った。SNR 全体を北東・中心・南西に分割した結果、全領域でプラズマは 1 成分の電離平衡モデル (星間物質成分) と 2 成分の電離非平衡モデル (イジェクタ成分) の足し合わせでうまく再現され、先行研究で報告された電離平衡または過電離状態の可能性は低い。さらに南西領域では、電離非平衡モデルの低温成分の電子温度が他の領域よりも低いことがわかった。また、Fe を含む高温成分の電離タイムスケールおよび Fe-K 輝線の中心エネルギーは低く、Fe の電離が進んでいない傾向が見られた。これは、Kes 27 の北東部には HI 雲がある一方で、南西部は密度が低いためブローアウトしていると解釈できる。また、全体のスペクトルで見られた Fe-K 輝線の広がり、Fe の電離状態が領域ごとに異なることが原因であると考えられる。本講演ではスペクトル解析の詳細な結果を報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Q08a Chandra 衛星による超新星残骸カシオペア座 A の北東領域の X 線時間変動解析 (2)

小湊菜央, 山田真也, 佐藤寿紀, 早川亮大, 日暮凌太, 酒井優輔 (立教大学)

近年、いくつかの若い SNR において、非熱的放射の年スケールでの局所的な時間変動が見つかっている (Uchiyama et al.2007)。非熱的放射の時間変動は、粒子加速とシンクロトン冷却が、磁場増幅によって促進されたと解釈すると説明することができる。また、時間変動解析は、変動のタイムスケールから、磁場の強さや被加速粒子の最大エネルギーを見積もることができる有効な手段である。

カシオペア座 A (Cassiopeia A; Cas A) は、約 350 年前に超新星爆発した若い SNR であり、Chandra 衛星の 2000 年から 2007 年の観測でフラックスの変動が見つかっている (Patnaude & Fesen, 2009)。2022 年の春季年会では、CasA の北東領域の非熱的なフィラメント構造における X 線フラックスの増光と減光の発見と、そこから求められる粒子の加速環境について発表した。今回はその結果を踏まえ、同じ領域について、より詳細な領域でのスペクトル解析とイメージ解析を行った。その結果、フィラメントの輝度変化は局所構造によって異なっており、最も変動が大きい構造では 20 年間で約 80 % も増光している事が分かった。また、フィラメントの radial profile から幅の時間変化を求めた。本講演では、その結果についての報告と議論を行う。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Q09a 統計誤差を考慮した位置依存型 Richardson-Lucy deconvolution を用いた超新星残骸カシオペア座 A の X 線画像解析

酒井優輔, 山田真也, 佐藤寿紀, 早川亮大, 日暮凌太, 小湊菜央 (立教大学)

Chandra 衛星は打ち上げから約 20 年が経ち、望遠鏡や検出器の応答関数の理解や較正が深まっており、微弱な空間構造を抽出する様々な試みが行われている。そこで我々は、比較的視直径が大きく明るい天体として超新星残骸カシオペア座 A の微細構造に着目し、Richardson-Lucy deconvolution (RL 法) に独自の改良を試みた。Chandra 衛星の標準的な解析で用いられる RL 法は、観測画像およびその画像の典型的な場所における 1 箇所の Point Spread Function (PSF、点広がり関数) を用いて、ベイズ推定によって反復回数により逐次的に真の鮮明な画像を推定する手法である。一つ目の改良に、1 箇所の PSF ではなく位置毎の PSF を用いた位置依存型 RL 法を開発した。ただし、位置依存型 RL 法を実直に実装すると、 $H \times W$ (H, W は画像の高さ、幅の画素サイズ) で PSF の計算が必要となり、計算コストが高くなる。それを回避するために、PSF のサンプリングを粗視化し、その境界を適切に取り扱うことで、計算速度を向上しつつ画像の滑らかさを大きく失わない方法を実装した。これにより、検出器の焦点面に光子が落ちた位置毎に PSF の影響を適切に考慮し、計算速度も損なわずに広い空間スケールでの適用が可能になった。二つ目は、簡易的誤差診断の方法として、反復回数毎に観測画像のカウントマップをポアソン分布に従う乱数により揺らがせることで、不定性や最適な反復回数を見積もる手法を考案した。このような改良を試みた位置依存型 RL 法を、Chandra 衛星が取得した 2004 年のカシオペア座 A (Observation Id: 4636, 4637, 4639, 5319 の結合したデータ) の 0.5-7.0 keV の全体領域で適用した。その結果、フィラメント構造の鮮明化と不定性についても制限を与えることに成功した。本講演では、その結果についての報告と議論を行う。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Q10a 超新星残骸の X 線放射分布の重心を用いた衝撃波や爆発噴出物の運動測定

鈴木寛大, 水元映良, 田中孝明 (甲南大理工)

X 線衛星 Chandra や XMM-Newton の高い角度分解能により、およそ数 1000 km s^{-1} の超新星残骸の衝撃波や爆発噴出物の運動の測定が盛んに行われている。これらの運動学をもとに、我々は爆発した星の種類や星の爆発メカニズム、星周物質の空間構造等を知ることができる。従来、運動の測定には放射輝度の 2 次元空間分布またはそれを 1 次元に投影した断面図を観測間で比較し、尤もらしい移動量を最尤法を用いて計算する方法がとられてきた (e.g., Suzuki et al. 2022)。ところが、特に爆発からの時間が ~ 1000 年以内の超新星残骸では放射が $\lesssim 0.1 \text{ pc}$ の空間スケール、かつ数年の時間スケールで揺らいでおり、空間分布それ自体を観測間で比較することは必ずしも最適ではない。また、最尤法を用いた方法はシャープな空間構造がない場合に適用しにくい。我々はこれらの点を考慮し、放射の重心座標の移動量を調べる手法を試行している。この方法では小さな空間スケールの揺らぎに比較的影響されず、またシャープな構造がなくても運動を捉えられると期待する。

まず、運動の速度が大きくて測定しやすく、かつ放射分布の揺らぎが小さい天体として G350.1-0.3 にこの手法を適用し、得られる爆発噴出物の速度が最尤法を用いた先行研究 (Borkowski et al. 2020; Tsuchioka et al. 2021; Mayer et al. 2021) と矛盾しないことを確認した。次に我々は Tycho の超新星残骸を用いて、放射の空間分布が異なる複数の放射領域を用いて最尤法を用いた手法と重心を用いた手法とで得られる結果を比較し、それぞれの長所・短所の理解を進めている。本講演では、Tycho の超新星残骸についてエネルギー帯域を区切り、重心の移動を用いた手法で順行衝撃波面や Si, Fe といった各元素の運動測定を行なった結果についても報告予定である。

[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](#)

Q11a NICER, RXTE によるカニ星雲の月掩蔽観測を利用した周辺ハローの X 線解析

勝田哲, 立石大 (埼玉大学), 信川久美子 (近畿大学), 榎戸輝揚 (京都大学, 理化学研究所), 信川正順 (奈良教育大学)

X 線天体の周囲には、数分から数 10 分角に広がる淡い X 線ハローが観測される。これは天体からの X 線が星間ダストによって小角散乱された結果であり、星間ダストのサイズ分布や空間分布を探る貴重なプローブとなる。可視光や紫外線、赤外線ではダストサイズ $0.1 \mu\text{m}$ 以下、X 線ではそれより大きなダストの素性を探ることができ。しかし X 線ハローは微弱なため、天体本体からの X 線が望遠鏡で散乱した成分 (点広がり関数と迷光) との区別が難しい。この根本的問題を解決するのが月掩蔽現象である。コロナグラフと同じ要領で、月が天体を隠す間は天体からの望遠鏡散乱成分が無くなるため、天体周辺の微弱なハローだけを観測できる。

X 線天文衛星 RXTE と ISS 搭載の X 線観測装置 NICER は、それぞれ 2011 年 12 月 11 日、2020 年 3 月 31 日にカニ星雲の月掩蔽現象を捉えた。我々は両データから、純粋なダスト散乱ハロー X 線を検出した。NICER の X 線スペクトルは星間吸収のかかった折れ曲がり冪関数 ($\Gamma_1 = 1.9$, $E_{\text{break}} = 0.7 \text{ keV}$, $\Gamma_2 = 4.6$) で再現できた。RXTE はハローの高エネルギー端 (2–5 keV) をかすかに検出した。その大きな視野はハローの総フラックスを求めることに適しており、ハローとカニ星雲の相対強度を $I_{\text{Halo}} / (I_{\text{Halo}} + I_{\text{Crab}}) = 0.1$ と推定した。そこからダスト散乱の光学的厚みを $\tau_{\text{sca}} = 0.1$ と導いた。可視減光量 A_v (mag)、水素柱密度 N_{H} (10^{21} cm^{-2}) との比は $\tau_{\text{sca}} / A_v = 0.06$, $\tau_{\text{sca}} / N_{\text{H}} = 0.03$ と得られ、両者とも系内天体の典型値と一致する。従って、カニ星雲方向のガス/ダスト比は通常の星間物質と同程度と考えられる。さらに我々は、X 線天文衛星 Chandra と XMM-Newton が取得した撮像分光データを解析した。その結果、ハローの総フラックスが NICER+RXTE の観測結果と一致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](#)

Q12a 像再構成による高解像度硬 X 線像を使ったかに星雲の研究

森井幹雄 (宇宙研/DATUM STUDIO 株式会社), 石田学, 前田良知 (宇宙研), 栗木久光 (愛媛大), 萩野浩一 (関東学院大)

パルサー星雲は、パルサー風で生じる加速粒子からのシンクロトロン放射によって光っている。硬 X 線領域の放射は電子シンクロトロン放射であるため、この観測によりパルサー星雲の磁場構造や加速電子のエネルギー・空間分布を探ることができる。ひとみ衛星は硬 X 線望遠鏡 (HXT) と硬 X 線撮像装置 (HXI) を搭載し 5–80 keV のエネルギーバンドで高角度分解能 (HPD~1.3 分角) の撮像観測ができる。特に、Point Spread Function (PSF) の中心部は尖っており (FWHM~9 秒角)、高解像度のイメージを取得するだけの潜在能力を秘めている。我々は、ひとみ衛星が観測した有名なパルサー星雲であるかに星雲のアーカイブデータに対して、像再構成手法を適用し高解像度化の処理を行った。星雲部分にスムーズ制約を課し、事後分布を最大化してイメージを再構成した。最適化計算には EM アルゴリズムと近接勾配法を用いた。その結果、軟 X 線領域で Chandra 衛星の観測で有名な構造 (トーラスとジェット) に似たイメージを得ることができた。また、硬 X 線領域 (15 keV 以上) でかにパルサーとかに星雲をイメージ上で分離することに初めて成功した。高エネルギー側でかに星雲のサイズが小さくなる傾向があることも分かった。パルス位相に分解した像再構成による結果も可能であれば紹介したい。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Q13a IXPE 衛星による「かに星雲・パルサー」の X 線偏光観測

水野恒史 (広島大), 大野寛 (東北文教大学), 渡邊瑛里, 郡司修一, 柴田晋平 (山形大学), および IXPE チーム

IXPE 衛星は 2–8 keV の帯域で、約 30 秒角の解像度で X 線偏光を測定できる世界で初めての X 線衛星である。2021 年 12 月に打ち上げられ、代表的な X 線天体を順次観測している。ターゲットの一つである「かに星雲」は代表的なパルサー風星雲で、過去に OSO-8 により軟 X 線偏光が初めて (また唯一) 観測された天体であり、近年は PoGO+ や INTEGRAL などにより硬 X 線・ガンマ線偏光も検出された。IXPE は 2022 年の 2 月から 3 月にかけてかに星雲+パルサーを約 90 ks 観測をし、高い有意度で偏光度約 20%・方位角約 145 度の偏光を検出すると共に、以下のような興味深い結果を得た。(arXiv:2207.05573)

- (パルサー) X 線メインパルスの中央部から有意な偏光を検出した一方、他の部分は無偏光とコンシステントであり、パルス全体で積分した偏光度は約 6% 以下という強い上限がつく。
- (星雲) 詳細な X 線偏光マップを初めて取得し、X 線トラス部は概ねポロイダル磁場となっている一方、低偏光 (偏光度 10% 以下)・高偏光 (約 50%) 領域が複数存在する複雑な形状を示す。

本講演では IXPE 衛星による「かに星雲・パルサー」の初期科学観測結果を報告し、特に星雲部の X 線偏光特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](#)

Q14a RCW 86 東部の X 線・分子雲観測を用いた衝撃波-分子雲相互作用と宇宙線加速の関係の検証

馬場彩 (東京大), 佐野栄俊 (岐阜大), 山崎了 (青学大), Jacco Vink (Amsterdam U.)

超新星残骸衝撃波面は、銀河宇宙線の効率良い加速現場として精力的な研究が続けられている。残っている最も大きな課題の一つが、衝撃波の環境によってどのように加速効率・最大加速エネルギーが変化するかを知ることである。現在大きく分けて二つのシナリオが提唱されている。第一に、より希薄な環境下でより効率の良い加速が起こるシナリオである。シンクロトロン冷却が最大加速エネルギーを決める場合、最大加速エネルギーは衝撃波速度の 2 乗に比例することが予測されている (Zirakashvili & Aharonian 2007)。実際、シンクロトロン X 線が発見されている超新星残骸は、熱的 X 線が未検出もしくは暗く、星間密度が薄いことを示唆している (for example; Koyama et al. 1997)。一方、分子雲など密度の高い物質と衝撃波が相互作用すると磁場が増幅され加速効率が良くなる予測もある (Inoue et al. 2012)。実際 RX J1713–3946 では分子雲周辺で明るいシンクロトロン X 線が検出されている (Sano et al. 2013)。いずれのシナリオがより普遍的かは分かっておらず、さらなるサンプル、特に密度情報が取り出せる熱的 X 線も存在するサンプルが必要である。

RCW 86 は熱的 X 線とシンクロトロン X 線が同居し、場所ごとにその比が異なる理想的な研究対象である (Bamba et al. 2000)。また、東部に付随する分子雲が発見されている (Sano et al. 2017)。我々は RCW 86 東部の XMM-Newton 長時間観測データを解析した。その結果、分子雲を取り囲む filament 状の放射を複数発見した。これらのスペクトルは明るい熱的 X 線で記述可能で、シンクロトロン X 線の寄与は小さかった。これらの結果は、RCW 86 では衝撃波と分子雲の相互作用により加速電子は素早く冷却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](#)

Q15a Fermi-LAT を用いた Vela 超新星残骸からのガンマ線放射検出と超高エネルギー電子の存在

日暮 凌太, 内山 泰伸, 林田 将明, 山田 真也 (立教大学)

近年の詳細な宇宙線観測により、予測を超える宇宙線陽電子の存在が明らかとなった。星間空間内を拡散する際のエネルギー損失を考慮すると、陽電子超過の起源として地球近傍の加速源が注目されている。Vela 超新星残骸は地球に最も近い超新星残骸の一つであり、陽電子超過の有力な加速源候補として考えられている。これまで、Vela 超新星残骸の約 8 度の大きな視直径、明るい Vela パルサーと視線方向に重なるガンマ線源、銀河面放射などの影響により解析が難しく、Vela 超新星残骸からのガンマ線放射の検出は報告されていない。本研究の目的は、Vela 超新星残骸からの GeV ガンマ線放射の検出と高エネルギーな電子（陽電子）の存在について、Fermi 衛星 LAT 検出器が観測した 1–1000 GeV のエネルギー帯の約 12 年間分のデータを用いて調査することである。本解析より、Vela 超新星残骸からの放射と考えられる空間的に大きく広がったガンマ線放射を有意に検出した。さらに、Vela 超新星残骸の大きな視直径を活かし 50 個の領域に分解し解析した結果、非一様なガンマ線スペクトルの分布を明らかにした。スペクトルの特徴が似ている北東領域と南西領域に分けて解析した結果、南西領域からのガンマ線放射は逆コンプトン散乱によって放射されていると解釈できる。このとき、最低でも数 TeV 電子（陽電子）の存在が示唆される。本発表では、これらの詳細な結果と解釈を報告する。

[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](#)

Q16a GeV ガンマ線超新星残骸 3C 391 に付随する分子雲と宇宙線加速

寺本寛生, 佐野栄俊, 須藤広志, 高羽浩 (岐阜大学), 有賀麻貴, 福井康雄 (名古屋大学)

ガンマ線超新星残骸 (SNR) に付随する分子雲の特定は、宇宙線の起源解明や、被加速陽子エネルギーの定量に本質的である。一方で空間分解能の制約から、付随分子雲の特定は概ね 3 kpc 以内の近傍天体に限られており、銀河全体に渡る宇宙線加速は検証できていない。3C 391 は、距離 7.1 kpc に位置する電波連続波および熱的 X 線で明るい複合型 SNR である (e.g., Chen et al. 2004; Ranasinghe & Leahy 2017)。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注目されている (Castro & Slane et al. 2010)。1720 MHz OH メーザーが検出されており分子雲との付随が示唆されているものの、ガンマ線との詳しい比較は行われておらず問題だった (e.g., Frail et al. 1996; Reach & Rho 1999)。今回我々は JCMT $^{12}\text{CO}(J=3-2)$ 輝線 ($\Delta\theta \sim 16.6''$, Dempsey et al. 2013) と、新たに野辺山 45-m 電波望遠鏡で観測した $^{12}\text{CO}(J=1-0)$ の輝線データ ($\Delta\theta \sim 14''$) を解析したので報告する。結果として、 $V_{\text{LSR}} \sim 100 \text{ km s}^{-1}$ にて、SNR シェル北西部に沿って分布する粒状分子雲を特定した。これらの分子雲は $\Delta V \sim 6 \text{ km s}^{-1}$ の膨張運動を伴い、1720 MHz OH メーザーが検出された領域で $^{12}\text{CO}(J=3-2)$ 輝線でのみ顕著な速度幅 $\sim 30 \text{ km s}^{-1}$ の wing-like profile を示す。また、SNR シェルに沿った高い $^{12}\text{CO} J=3-2/1-0$ 分布も初めて特定し、衝撃波以外の加熱源 (赤外線点源や大質量星など) がないことを確認した。これらは、当該分子雲が 3C 391 に付随していることを示す観測的証拠である。このとき付随ガス総質量を $\sim 2 \times 10^4 M_{\odot}$ 、シェル内の星間水素平均密度を $\sim 1600 \text{ cm}^{-3}$ と計算した。3C 391 からのガンマ線放射が陽子起源だとすると、付随ガス密度とガンマ線光度から、被加速宇宙線エネルギーは $\sim 1.4 \times 10^{48} \text{ erg}$ と見積もられる。以上を踏まえ本講演では、3C 391 における宇宙線陽子加速エネルギーの時間発展について議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Q17a ガンマ線超新星残骸 RX J0852.0–4622 における陽子起源・電子起源ガンマ線の観測的定量：複数平面による領域ごとのガンマ線起源の分離

有賀麻貴¹, 福井康雄¹, 佐野栄俊², 早川貴敬¹, 立原研悟¹, 井上剛志³, Gavin Rowell⁴, Sabrina Einecke⁴ (1:名古屋大学, 2:岐阜大学, 3:甲南大学, 4:アデレード大学)

TeV ガンマ線超新星残骸におけるガンマ線陽子・電子起源の定量は宇宙線加速を理解する上で重要である。近年までガンマ線陽子・電子起源を観測的に定量する手法はなかったが、Fukui et al. (2021) では、線形モデル $N_g = aN_p + bN_x$ (N_g :ガンマ線カウント, N_p :星間陽子柱密度, N_x :非熱的 X 線カウント) に当てはめ、最小自乗法により N_g を陽子起源 (aN_p) と電子起源 (bN_x) に分離し、概ね 3:1 であることを示した。更に、我々は 2 例目の天体として視直径が ~ 30 pc と大きい RX J0852.0–4622(以後 RXJ0852) に着目した。これまでに Fukui et al. (2021) の手法を適用することで、陽子・電子起源の割合を $\sim 2:3$ と定量しており、RXJ0852 での陽子の加速を明らかにした(有賀ほか 2021 年秋季年会)。しかし、この結果は残差が大きく、当てはまりが悪い ($\text{reduced-}\chi^2=6.48$) 問題を抱えていた。そこで、我々はデータを精査し、RXJ0852 を 3 つの領域(内側部分、中間部分、シェル部分)に分割した。これにより、それぞれの領域で線形モデルを当てはめることで、当てはまりが良くなる ($\text{reduced-}\chi^2=0.61-1.84$) ことが判った。更に、各領域で陽子・電子起源のガンマ線カウントを推定し、両者の割合はどの領域も誤差の範囲内で $\sim 2:3$ であることを示した。中心値で見た場合、陽子起源の割合は外側の領域ほど減少傾向にあり、平均柱密度の値は数十パーセントほど小さい値をとる。また、宇宙線陽子のエネルギー密度とガンマ線カウントは、外側の領域ほど増加する傾向が見られる。本講演では、複数平面による領域ごとのガンマ線起源の分離について紹介し、宇宙線加速の環境依存性について議論する。

[スケジュール\(セッション毎\)に戻る](#)

[スケジュール\(全体\)に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Q18a ガンマ超新星残骸(SNR)における宇宙線の起源

福井康雄¹, 佐野栄俊², 有賀麻貴¹, 早川貴敬¹, 井上剛志³, 立原研悟¹, Gavin Rowell⁴, Sabrina Einecke⁴ (1:名古屋大学, 2:岐阜大学, 3:甲南大学, 4:アデレード大学)

超新星残骸(SNR)において陽子起源ガンマ線を定量することは、宇宙線の SNR 起源を立証するために必須である。我々は RX J1713.7–3946 についてこの課題を初めて達成し(Fukui et al. 2021), 2 例目の RX J0852.0–4622 についても陽子起源ガンマ線の定量を実現した(有賀他, 本年会)。この成果は [ガンマ線強度 N_g], [非熱的 X 線強度 N_x], および [星間陽子柱密度 N_p] の 3 パラメータ空間で、 N_g を 3 次元平面で表現する手法により可能となった。 N_x は逆コンプトン過程項を与え、 N_p は pp 反応項を与える。両 SNR の解析結果は、電子・陽子起源ガンマ線がほぼ 1:1 で発生していることを示して宇宙線の SNR 起源を立証した。ポイントは以下の 2 点に要約される。

- 宇宙線陽子全エネルギー W_p は N_p を用いることによって初めて定量可能となり、その下限値は各 SNR においてほぼ 3×10^{47} erg である。宇宙線 (>1 TeV) エネルギー密度はほぼ 10^{-12} erg cm^{-3} であり、SNR シェル部では数 10% 増加する傾向を示す。宇宙線電子エネルギーは理論モデルの示すとおりの W_p よりも 2 桁程度低い値になるが、磁場の寄与のために不定性は大きい。
- 従来、SNR1 個の供給する宇宙線の総エネルギーは 10^{50} erg 程度と見積もられていたが、上の値はそれより小さい。この差は、星間陽子が粒状に分布するため陽子の一部しかガンマ線発生に寄与しないこと、さらに SNR から逃亡する宇宙線成分によるとみられる。また、電子起源ガンマ線は陽子起源ガンマ線とほぼ同程度発生しているため、ガンマ線全てを陽子起源と仮定した場合よりも W_p は小さく見積もられる。

講演では、上記を踏まえて SNR における宇宙線の全体像を論じる。

[スケジュール\(セッション毎\)に戻る](#)

[スケジュール\(全体\)に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Q19a 超新星残骸から放射される高エネルギーガンマ線の次世代装置による観測可能性の検討

西川智隆・名古屋大学, 犬塚 修一郎・名古屋大学

宇宙線 (cosmic ray) は宇宙から地球に降り注ぐ自然の放射線である。宇宙線の主成分は陽子であり、他に電子や原子核などが含まれる。これらのエネルギーは、 10^8 eV から 10^{20} eV の広い分布を持ち、大まかに 2 種の冪分布で表される。その冪指数は $10^{15.5}$ eV 付近で変化しており、このエネルギーは「knee energy」と呼ばれる。そして、knee energy 以下の宇宙線は超新星残骸にて「拡散衝撃波加速」と呼ばれる加速機構によって生成されると考えられており、この機構によって冪分布と冪指数が説明される。

しかし、拡散衝撃波加速モデルでは超新星の典型的な物理量を用いても knee energy まで到達できないという問題がある。この問題に対し、新たなモデルの一つでは、超新星爆発の初期段階で、陽子が knee energy まで加速され得ることが主張されているが、観測による検証はなされていない。検証のためには、knee energy のエネルギーを持つ陽子が飛来する方向を観測すれば良いと考えられるが、陽子は銀河中の磁場などによってその運動の方向が容易に変えられるため、起源の特定は非常に困難となる。そこで、超新星残骸によって加速された陽子から生じるガンマ線に注目し、knee energy の宇宙線起源の特定を試みる。しかし、ガンマ線は周囲の光子と対消滅を起こし、フラックスが減衰されることが考えられる。

本講演では、光子対消滅による減衰を考慮し、地球で観測される超新星残骸由来のガンマ線量について議論を行う。また、現在建設中のガンマ線望遠鏡 Cherenkov Telescope Array によって観測され得る、超新星残骸からのガンマ線の検出頻度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](#)

Q20a PeVatron 候補天体 HESS J1641–463 の X 線観測

辻 直美 (神奈川大学), 田中 孝明 (甲南大学), Samar Safi-Harb (Manitoba University)

近年の LHAASO によるガンマ線観測から、PeV にも上るガンマ線がいくつかの天体から検出され、PeV のエネルギーを持つ宇宙線の加速器 (PeVatron) の観測的研究が注目を浴びている (Cao et al. 2021, Nature, 594, 33)。HESS J1641–463 は TeV ガンマ線望遠鏡 H.E.S.S. によって見つかったガンマ線源であり、カットオフの兆候がなく $\Gamma \approx 2$ というハードなスペクトルを持つことから、PeVatron 天体ではないかと考えられている (Abramowski et al. 2014, ApJ, 794, L1)。電波で観測されている超新星残骸 G338.5+0.1 と空間的に一致するため、超新星残骸での粒子加速が示唆されているが、近傍に明るいガンマ線天体 HESS J1640–465 も存在し、ガンマ線の放射起源は良く分かっていない。本研究では、2018 年に観測された NuSTAR の硬 X 線データと、軟 X 線のアーカイブデータの解析を行ない、HESS J1641–463 の X 線の性質を調べた。X 線イメージからはガンマ線放射に対応する構造は確認できなかった。ガンマ線の広がり仮定してスペクトルを抽出したところ、0.5–20 keV の帯域で $\sim 4 \times 10^{-12}$ erg s⁻¹ cm⁻² というフラックスの上限値を得た。さらに、X 線からガンマ線に渡る多波長スペクトルに対して、放射のモデリングを行なった。陽子起源の放射 (pp 反応で生じるパイ中間子の崩壊) でガンマ線データを再現した時に、今回得られた X 線フラックスについて、pp 反応で生じる二次電子陽電子からのシンクロトロン放射の可能性を議論した。本講演では、X 線の詳細なデータ解析と、X 線ガンマ線放射のモデリング結果について報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Q21a 地球磁気圏に付随した電荷交換 X 線放射の時空間変動モデル構築

伊師大貴, 石川久美, 江副祐一郎 (東京都立大), 三好由純 (名古屋大), 寺田直樹 (東北大)

太陽風に含まれる酸素などの多価イオンは地球の最外層大気である外圏の主に水素原子と衝突し、電荷交換反応 (Charge eXchange; CX) による特性 X 線を生じる。地球周辺 CX は ROSAT 全天サーベイ中の奇妙な増光雑音を説明するために提唱されたものであり、すざく衛星などの高感度 X 線分光観測により確立してきた (Fujimoto et al. 2007 PASJ, Ezoe et al. 2010 PASJ など)。太陽風が地球磁気圏に衝突し、密度が高くなる衝撃波後方の遷移領域、太陽風が地球近傍に深く侵入可能なカスプ領域で強く放射していると予想されており、磁気圏構造を可視化する新手段になり得る (江副 2018 天文月報など)。本放射は地球周回衛星による X 線天体観測において、常に前景放射として存在するものであり、発光分布や強度の正確な見積もりは重要である。

我々は太陽風データ、地球外圏分布、地球磁気圏形状を包括的に取り入れた地球周辺 CX 放射モデルを構築した (Ishi et al. PASJ 印刷中)。太陽風観測衛星 ACE および WIND の太陽風イオン測定値、地球外圏の中性水素密度の経験式、CX 断面積および遷移確率の地上実験および理論計算を参照し、これらを掛け合わせたものを視線積分する。視線上の遷移領域およびカスプ位置は衝撃波と磁気圏界面の経験モデルおよび Tsyganenko 地球磁場モデルから推定した。すざく衛星の明るい発光事象 5 例で各々モデル発光強度を求め比較した結果、磁気嵐時かつ視線方向が夜側の極付近を向いていた 1 例を除けば、 O_{VII} 発光強度は観測値とモデル誤差の範囲内で一致した。 O_{VIII} 発光強度は全事象で 5–10 倍以上過少評価されており、 O^{8+} 測定誤差が原因と考えられる。上記スケールングを補正すれば、数時間程度の時間変動、また視線方向がカスプ付近を横切る際に生じる 5–10 分程度の突発的な変動を再現できる。本講演では、モデル手法や結果、今後の展望 (XRISM, GEO-X など) を報告する。

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

Q22a Chandra 衛星による W50/SS433 系の東端ホットスポットの X 線詳細観測

早川亮大, 山田真也, 一戸悠人, 日暮凌太, 佐藤寿紀 (立教大), 酒見はる香 (鹿児島大), 町田真美 (国立天文台), 大村匠 (東京大), 勝田哲 (埼玉大), 内山秀樹 (静岡大), 赤松弘規 (SRON), Magnus Axelsson (ストックホルム大)

宇宙の粒子加速の中でも、広範囲に粒子を散逸できる現象の一つにブラックホールジェットがある。特に、銀河中心にある巨大ブラックホールからのジェットは、銀河全体や銀河を超えてその粒子の散逸過程に寄与している。しかし、巨大ブラックホールで加速された粒子が、そもそもレプトンなのかハドロンなのか、どのように散逸が起こるのかを観測的に明らかにするには、人間のタイムスケールでは変化が小さく極めて難しい。

SS433 は、わし座の方向約 5.5kpc にある超新星残骸 W50 の中心に位置する。巨大ブラックホールが中心に位置するクエーサーと類似点が多いことから、マイクロクエーサーと呼ばれ、極近傍の数天体を除いて人間のタイムスケールでの変動観測が原理的に不可能であるクエーサーの理解へ向けた手がかりになりうる。我々は、SS433 ジェットの終端領域での特徴を明らかにするため、W50/SS433 系の東端領域に存在するホットスポットの、Chandra 衛星による初めての観測データの解析を行った。その結果、このホットスポットを空間的に分解することに成功し、この放射が 1 つの点源と 1 つの広がった放射からなることを発見した。また、広がった放射領域が同領域の VLA (Very Large Array) による電波観測の結果とよく相関していることを確認した。さらにスペクトル解析を行い、スペクトルエネルギー分布から、この放射が、磁場 $B \lesssim 50\mu\text{G}$ 、電子の最大エネルギーが数十 TeV の非熱的な放射モデルと矛盾しないことを確認した。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](#)

Q23a ALMA 較正用天体に対する分子吸収線探査 III: QSO J1851+0035 方向の銀河系内分子ガスの化学的多様性とそれを説明する分子雲の描像

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 ($l=33.50^\circ, b=+0.19^\circ$) 方向の約 20 個の速度成分について物理状態や化学組成の解析を進めている (成田他, 2022 年秋季年会)。得られた化学組成を先行研究の結果と統合することで、CN グループ内 (HCN–HNC–CN) および炭化水素グループ内 (C_2H – C_3H_2) で柱密度に非常にタイトかつ線形な相関関係があることを見出した。これらのグループの柱密度を HCO^+ と比較すると、 $N(HCO^+) \lesssim 10^{12} \text{ cm}^{-2}$ では炭化水素グループが HCO^+ に対して分散を持ちつつ相対的に増加し、逆に CN グループは若干減少する傾向が見られた。一方で CO と HCO^+ の柱密度比には 3 桁に及ぶ大きな分散が見られ、CO 輝線と HCO^+ 吸収線を伴いつつも CO 吸収線が見られない速度成分が渦状腕間に見られた。紫外線によって増加すると考えられる $N(HCO)/N(H^{13}CO^+)$ 比は、 $N(HCO^+)$ が比較的大きい ($\sim 10^{12} \text{ cm}^{-2}$) 領域においても光解離領域と同様に 10 を超え、これらの分子ガスが H_2 と C^+ が混在する環境にあることを示唆する。これらを説明する CO-dark な分子ガスを含む分子雲の描像を紹介する。

速度成分の 1 つには衝撃波のトレーサー (SiO や SO) の吸収が見られたが、CO の励起温度は 5.3 K と他の成分と比べて多少高い程度であり、YSO のような励起源も見出されなかった。これは、衝撃波の影響がさほど大きくなかったか、ダストへの再凝集の前にガスが急激に冷却した可能性を示唆する。

最後に、2 月に予定されている野辺山 45m 鏡でのフォローアップ輝線観測の結果についても触れたい。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Q24a ASTE を用いた大質量星形成領域 RCW 38 の $[C\text{I}](^3P_2-^3P_1)$ 観測

佐野榮俊 (岐阜大学), 石井峻, 伊王野大介, 鎌崎剛, 南谷哲宏 (NAOJ), 泉奈都子 (ASIAA), 徳田一起 (NAOJ/九州大学), 山田麟, 立原研悟, 福井康雄 (名古屋大学), 浅山信一郎 (SKAO)

水素分子 H_2 の質量を精確に測ることは、銀河における星形成を理解する上で重要である。中性炭素輝線 $[C\text{I}]$ は、一酸化炭素輝線 CO に変わる H_2 トレーサーとして注目を集めている。特に $[C\text{I}](^3P_2-^3P_1) / [C\text{I}](^3P_1-^3P_0)$ (以後 $R_{C\text{I}}$) による励起温度の定量は、中性炭素の柱密度や質量の精密決定を可能とする。一方 $[C\text{I}](^3P_1-^3P_0)$ 輝線観測は系内では数例に限られており、中性炭素の振る舞いの全容解明には至っていない。RCW 38 は Vela 方向の距離 $\sim 1.7 \text{ kpc}$ に位置する大質量星形成領域で、その中心 $\sim 1 \text{ pc}$ に約 20 個の O 型星候補を含む超星団を内包する (e.g., Wolk et al. 2006)。これらは速度差 $\sim 12 \text{ km s}^{-1}$ の異なる 2 つの分子雲同士の衝突によって形成された (Fukui et al. 2016)。付随分子雲については ASTE $[C\text{I}](^3P_1-^3P_0)$ を用いた中性炭素の観測が行われたが、その励起温度は CO 輝線のものが適用されていたため ($\sim 50 \text{ K}$)、定量精度の向上が求められていた (Izumi et al. 2021)。今回我々は、RCW 38 北部領域について、ASTE Band 10 受信機による $[C\text{I}](^3P_2-^3P_1)$ 輝線デモサイエンスデータを解析したので報告する。 $[C\text{I}](^3P_2-^3P_1)$ は $(^3P_1-^3P_0)$ とその分布・強度に良い相関がみられ、 $R_{C\text{I}} \sim 1.42 \pm 0.01$ を得た。これは $C\text{I}$ の励起温度 $T_{\text{ex}}(C\text{I})$ の平均値 $\sim 100 \text{ K}$ に相当する。 $T_{\text{ex}}(C\text{I})$ の空間分布は $\sim 80\text{--}220 \text{ K}$ と大きく変化しており、星団方向で最も高くなる傾向を示す。 $[C\text{I}](^3P_2-^3P_1)$ -to- H_2 変換係数は、 $A_v \sim 50\text{--}100 \text{ mag}$ において $(9.4 \pm 0.1) \times 10^{20} \text{ cm}^{-2} (\text{K km s}^{-1})^{-1}$ と求めた。柱密度比 $N(C\text{I})/N(\text{CO})$ の最低値は ~ 0.1 であり先行研究と矛盾しない。また、 $C\text{I}$ と ^{13}CO それぞれから求めた H_2 柱密度は 10% の精度で一致した。以上の結果を踏まえ本講演では、RCW 38 における $[C\text{I}]$ の振る舞いを議論するとともに、 H_2 トレーサーとしての $[C\text{I}]$ の可能性を展望する。

[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](#)

Q25a 温度分布を用いた KAGONMA 天体の分子雲への星形成フィードバック

竹葉理史, 半田利弘, 村瀬建, 平田優志, 面高俊宏 (鹿児島大学), 河野樹人 (名古屋市科学館), 仲野誠 (大分大学), Chibueze James O (North-West University/University of Nigeria), Burn Ross A (国立天文台)

星形成活動が星間物質 (ISM) に与える影響 (星形成フィードバック) は、次世代の星形成や銀河の進化を理解する上で重要な物理現象である。この影響は、HII 領域の膨張、双極分子流、強力な紫外線放射や恒星風に起因する衝撃波によって周囲の分子ガスが加熱される形で現れると予想される。そこで我々のグループでは、様々な段階にある星形成領域とその周辺の分子ガスの温度分布から星形成活動が分子ガスに及ぼす影響範囲を調べることを目的として、数年にわたってアンモニア分子輝線を用いたマッピング観測を実施してきた。この観測プロジェクトは「KAGONMA」と呼称している。これまでに我々のグループでは、マッピング観測を行った個別の分子雲に対して分子雲内部の星形成活動と分子ガスの運動学的特徴や温度分布に関する考察を行ってきた (e.g., Chibueze et al. 2013, Nakano et al. 2016, Burns et al. 2019, Murase et al. 2022, Kohno et al. 2022b, Hirata et al. in prep.). これらの先行研究から、星形成フィードバックが分子ガスに与える影響範囲は、活発な星形成領域を含む分子雲で調べた結果 1pc 程度であることがわかってきた。本研究では、マッピング観測が完了した 4 天体の解析結果をまとめ、星形成活動が分子ガスに与える影響範囲について統計的に調べた。影響範囲を調べるために、分子雲の温度分布に着目して、分子雲の典型的な温度 $\sim 15\text{K}$ (Planck Collaboration et al. 2011) を基準に加熱範囲を解析すると約 3pc 以内であった。このことは、分子雲における星形成のフィードバックが数 pc 程度に限定され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](#)

Q26a 巨大分子雲複合体 RCW 106 における銀河面に垂直に伸びたフィラメント状分子雲の発見

河野樹人 (名古屋市科学館), 山田麟, 出町史夏, 立原研悟, 山本宏昭, 早川貴敬, 福井康雄 (名古屋大), 佐野栄俊 (岐阜大), 徳田一起 (九州大/国立天文台), 西村淳 (国立天文台野辺山), 藤田真司 (東大天文センター), 榎谷玲依 (慶應義塾大), 柘植紀節 (Friedrich-Alexander Univ.), 小林将人 (国立天文台)

RCW 106 は、 $l = 330^\circ - 335^\circ$ の銀河面に位置する $\sim 10^7 M_\odot$ もの質量を持つ巨大分子雲複合体である。太陽系からの距離は ~ 3.6 kpc, 光度は $\sim 2 \times 10^6 L_\odot$ であり、ミニ・スターバーストと呼ばれる大質量星形成の現場である (Nguyen et al. 2015)。我々は名古屋大学が運用する NANTEN2 望遠鏡の $^{12}\text{CO } J=1-0$ 銀河面サーベイデータ及び、Mopra, APEX 望遠鏡によって得られた $^{12}\text{CO } J=1-0$, $^{13}\text{CO } J=1-0$, $2-1$ の公開データの解析を行った。その結果、 $l \sim 331.6^\circ$ で銀河面に対して垂直に伸びた巨大フィラメント状分子雲を発見した。分子雲は銀河面の $b = 0^\circ$ 付近に頭部があり、尾部が銀緯方向に伸びたヘッドテイル構造を持つ。視線速度は -35 km s^{-1} であり、RCW 106 と同じ距離を仮定すると長さ ~ 30 pc, 幅 ~ 10 pc, 質量 $9.3 \times 10^3 M_\odot$ である。また、大速度勾配近似 (LVG 法) を用いて、運動温度 (T_{kin}) を計算したところ分子雲の頭部と尾部でそれぞれ $T_{\text{kin}} = 91^{+19}_{-17} \text{ K}$, $T_{\text{kin}} = 27^{+16}_{-9} \text{ K}$ であり、頭部での温度上昇が見られた。これはハーシェル宇宙望遠鏡 $160 \mu\text{m}$ で捉えられた赤外線源による加熱の影響を受けている可能性がある。さらに位置速度図上で見ると、たて座-ケンタウルス座腕に付随する RCW 106 巨大分子雲複合体の -60 – -40 km s^{-1} の速度成分と接続している。これらの結果から今回発見した分子雲は銀河円盤に落下し、銀河面上の分子ガスと相互作用している可能性が高い。本講演では、RCW 106 巨大分子雲複合体の形成に、このような銀河円盤に衝突する分子雲が寄与している可能性を提案し議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Q27a 銀河面に降り注ぐ中間速度中性水素雲

米田龍生, 大西利和 (大阪公立大学), 藤田真司 (東京大学), 福井康雄, 早川貴敬, 立原研悟 (名古屋大学), 西村淳 (国立天文台)

中間速度中性水素雲 (intermediate velocity clouds = IVC) は、その大部分が太陽系に対して青方偏移した -100km/s - 30km/s の速度を示し、銀河系に降り注いでいるとみられる (福井他 2022 年春季年会; Fukui et al. 2021; Shelton et al. 2022)。また、これらの水素雲のほぼ半分は有意に低い 0.2 - $0.5M_{\odot}$ 以下の金属量を持つことがわかり、銀河系外に起源を持つ可能性も高く、注目される (早川他 2022 年年会; Hayakawa & Fukui 2022)。

我々は、中性水素 21cm 線スペクトルの全天データ HI4PI を用いて、新たに中間速度中性水素雲のカタログの製作を開始した。このデータは南北両半球を $16'$ の分解能で観測しており、従来の HI サーベイに比べ角度分解能で 2 倍、感度で 3 倍向上しており、最も高感度な IVC の検出が見込まれる。今回は $(l, b) = (0^{\circ} - 120^{\circ}, -5^{\circ} - -60^{\circ})$ の範囲について予備的なカタログ化ができたので報告する。

HI の観測結果は速度域 -60km/s から -20km/s の範囲について FILFINDER によって同定した。視野の周辺部での歪みの影響をさけるために 1 で 20 度刻みに視野を区切り、各領域 2 回の独立なフィッティングを行なって再現性を確認した。同領域で計 122 個の IVC フィラメントを同定した。代表的な物理量は以下のようにまとめられる。長さとは幅は平均値を用い、距離 1kpc を仮定して、長さ: 210pc 、幅: 14pc 、質量については中央値を用いて、質量: $330M_{\odot}$ であった。

今後全天に拡張してカタログを完成させる計画である。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Q28a 中高銀緯広域における中間速度雲の重元素量空間分布 (4)

早川貴敬, 福井康雄 (名古屋大学)

我々はダスト 353GHz 光学的厚み (τ_{353}) と 21cm 線積分強度 (W_{HI}) からダスト/中性ガス比を推定する手法を確立し (Fukui et al. 2017; Fukui, Hayakawa et al. 2021, PASJ 73, S117)、銀河面から $\sim 1\text{kpc}$ に存在する中間速度雲のダストが太陽系近傍の低速度 HI ガスに比べて少なく、遠方から落下してきた物が相当量ある事を示してきた (Hayakawa & Fukui 2022, arXiv:2208.13406, HF22)。

吸収線や $\text{H}\alpha$ 線の観測から、中性の高速度/中間速度雲は同程度の量の薄い電離ガス (warm ionized medium, WIM) を伴っていることが判っており (例えば Shull et al. 2009; Lehner & Howk 2011; Barger et al. 2012)、また、WIM に付随するダストが存在する観測的証拠が報告されている (Howk & Savage 1990; Dobler et al. 2009; Werk et al. 2019)。しかし、その量については依然として良く分かっていない。HF22 では、電離ガスに付随するダストから τ_{353} への寄与が無いと仮定して計算を行ってきたが、その妥当性を推定する必要がある。

多重回帰モデル $\tau_{353}(l, b) = \sum_X [a_X(l, b)I_{\text{H}\alpha, X}(l, b)] + \sum_X [b_X(l, b)W_{\text{HI}, X}(l, b)] + c(l, b) + \varepsilon(l, b)$ を適用し、WIM、HI ガスそれぞれに付随するダストの寄与 $\tau_{353, X, \text{HI}}(l, b) = a_X(l, b)I_{\text{H}\alpha, X}(l, b)$ 、 $\tau_{353, X, \text{H}\alpha}(l, b) = b_X(l, b)W_{\text{HI}, X}(l, b)$ を推定した (ただし、 $I_{\text{H}\alpha, X}$ 、 $W_{\text{HI}, X}$ は速度帯 X の $\text{H}\alpha$ 強度および HI 積分強度、 c 、 ε は定数項、エラー項である)。低速度 (太陽系近傍) の HI ガスに付随するダストの寄与 (10^{-6}) は、他の成分より 1 桁から 2 桁程度大きく、支配的であることを確認した。WIM に付随するダストの寄与が 10^{-7} 程度あるが、ダスト/中性ガス比の統計に与える影響は小さく、HF22 の結論を変える程度では無いと推定した。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Q29a 銀河面方向に位置する銀河団を用いた星間物質量の推定

安樂由実子, 山内茂雄 (奈良女子大)

天の川銀河の星間物質の分布や物質量の探査は、様々な電波帯 (中性水素原子の 21 cm 線、CO 分子の 2.6 mm 線) で全天観測により行われてきた。しかし、星間ガスは、密度が高く温度が低いと強度が飽和することが分かっており (Fukui et al. 2015, ApJ, 798, 6)、物質量が多いとされる銀河円盤付近では多くの物質量を見逃している可能性が指摘されている。一方、X 線では光電吸収によるため物質量を直接測定することができる。銀河系外のガンマ線バーストの X 線残光の観測 (Willingale et al. 2013, MNRAS, 431, 394) が行われたが、実測値がガンマ線源母銀河の星間吸収の影響を受けること、また、水素柱密度が 10^{22} cm^{-2} より大きい銀河円盤に近い領域のデータがないことが課題にあげられる。

本研究では X 線天文衛星 *すざく* を用いて、3 keV 以上の高エネルギー帯を含む広い波長域で、低銀緯に位置する銀河団を対象として、銀河系の星間吸収とプラズマからの放射を考慮したモデルにより解析を行った。この方法では、母天体の吸収を受けないこと、銀河円盤方向に位置する天体を観測対象としていることから、銀河系の水素柱密度を直接推定することができる。そして、Leiden/Argentine/Bonn と Dickey&Lockman によるサーベイマップから中性水素原子柱密度を、先行研究であるダストによる減光の指標を用いた変換式 (Willingale et al. 2013, MNRAS, 431, 394) と CO の 2.6 mm 線電波強度の変換式 (Dame et al. 2001, ApJ, 547, 792) から水素分子柱密度をデータベースとして用いた。これらのデータベースより導出した推定値と実測値を比較した結果、銀緯 $b < 1^\circ$ の銀河団では実測値は 1 オーダー程大きな値となることが分かった。講演では、詳細な解析について報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Q30b Spitzer 宇宙望遠鏡を用いた光解離領域の PAH の探査

明石一希, 伊藤洋一 (兵庫県立大学)

光解離領域は、電離水素領域と分子雲との境界領域である。水素電離光子のエネルギー (13.6 eV) よりも低エネルギーの光子によって中性原子や分子が励起・電離、または解離されている。中でも、分子構造に複数のベンゼン環を持つ多環式芳香族炭化水素 (Polycyclic Aromatic Hydrocarbon ; PAH) は、近赤外線から中間赤外線で多くの輝線を示す。

本研究では、Sharpless カタログ (sh2 ; 1959) の複数の星雲について、Spitzer 宇宙望遠鏡に搭載された近赤外線カメラ IRAC の 3 つのバンド (3.6, 4.5, 5.8 μm) で取得された画像を調査した。強い紫外線を放射する大質量星 (励起星) に照らされて赤外線で明るく輝く星雲の等級を測定した。使用した 3 つのバンドでは特に、5.8 μm が明るく写っていた。各バンドの等級差 [3.6]-[4.5], [4.5]-[5.8] から二色図を作成し Draine et al. (2007) のモデルと比較を行い、紫外線量と PAH の割合、空間分布を調べた。

今回探査した複数の分子雲で PAH の存在を確認した。講演では PAH の普遍性や領域ごとの多様性について議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Q31b 機械学習アルゴリズムを用いた Near-Far 問題の解法 (4) 分子雲衝突天体の個数推定

藤田真司 (東京大学), 上田翔汰, 西本晋平, 米田龍生, 大西利和 (大阪公立大学), 宮本祐介 (福井工業大学), 島尻芳人 (九州共立大学), 鳥居和史, 西村淳 (国立天文台), 伊藤篤史 (核融合科学研究所), 川西康友 (理化学研究所), 西川薫, 吉田大輔 (名古屋大学), 河野樹人 (名古屋大学, 名古屋市科学館), 井上剛志 (甲南大学), 竹川俊也 (神奈川大学), 金子紘之 (上越教育大学), 徳田一起 (九州大学)

銀河系内の分子雲の運動学的距離において、太陽系軌道より内側では Near 解と Far 解という異なる 2 つの解が同時に導出される問題がある (=Near-Far 問題)。我々はこれまで、Convolutional Neural Network をベースとした、分子雲の Near-Far 推論モデルの構築を行ってきた。そして、野辺山 45m 鏡による CO サーベイ (銀経 = 62–10 度, |銀緯| < 1 度) のデータから同定された約 10 万個の分子雲に対し、本推論モデルを用いることによって運動学的距離を決定し、カタログを作成した (藤田他 2022 年春季年会, Fujita et al. in press)。

今回、本カタログ (^{12}CO データから同定された分子雲) を用い、観測領域内での分子雲同士の衝突の頻度を領域ごとに見積もった。分子雲の円運動から逸脱する 3-D 速度は一律 9 km s^{-1} (Stark 1984) とした。結果、分子雲の平均自由時間は、渦状腕で短く 10 ~ 数十 Myr となることがわかった。これは先行研究 (e.g., Dobbs et al. 2015) の渦巻銀河の分子雲のシミュレーションでの見積もりと概ね一致している。また、衝突が開始されその兆候 (e.g., Fukui et al. 2021) が見えなくなるまでの期間を 1 Myr と仮定すると、期待値としてトータル ~ 500 個の観測可能な衝突イベントが本 CO サーベイデータ内に含まれている計算結果を得る。講演では解析の詳細の他、本カタログの分子雲のより詳しい物理的性質や領域間での違い等についても議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

日本天文学会2023年春季年会

Q32a かなた望遠鏡可視偏光サーベイ : Sagittarius 銀河腕中の 3 次元磁場構造 (I)

土井 靖生 (東京大), 中村 謙吾, 川端 弘治 (広島大), 松村 雅文 (香川大), 秋田谷 洋 (千葉工大)

銀河系大局磁場構造を観測的に明らかにすることは、銀河系構造の形成、例えば銀河渦状腕形成やその内部での巨大分子雲形成について、磁場の果たす役割を解明するための重要な情報をもたらす可能性がある。磁場構造を星間偏光観測により明らかにすべく、広島大学宇宙科学センターでは、全天偏光サーベイプロジェクト SGMAP を推進している (2013 年秋季年会 A12a)。その一環として、我々は口径 1.5 m かなた望遠鏡と可視赤外線同時カメラ HONIR (視野 $10'$ 角) を用いた銀河面付近の観測を開始している (2022 年秋季年会 V219a)。

今回我々は、銀河系の主要な渦巻腕構造の一つ、Sagittarius arm を見通せる領域に着目し、その視線上の磁場構造の距離依存性を、視野中の恒星の可視偏光観測と Gaia DR3 カタログを突き合わせることで解明した。その結果、星間偏光のトレースする cold ISM に付随する磁場は、一般の想定とは異なり、銀河面に平行ではなく、距離毎に位置角 $\sim -30^\circ$ もしくは $\sim +60^\circ$ の向きに局在する傾向があることが明らかとなった。

各距離に観測される磁場は $\sim 5 \text{ pc} \times 10 \text{ pc}$ の観測領域内で非常に良く揃っており、従ってより大きなスケールの大局磁場を反映している可能性がある。そこで我々は Gaia の星間減光データを参照し、Sagittarius arm 中の星間物質の三次元分布を推定した。その結果、観測された磁場位置角と平行あるいは垂直に伸びる数度スケールの準周期的な星間雲分布が見られた。従って磁場とこれら星間物質分布の起源との関連性が示唆される。

[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](#)

Q33a サブミリ波偏波観測で捉えた銀河中心領域の磁気圏に関する考察

佐藤和樹, 新永浩子 (鹿児島大学), 古屋玲 (徳島大学), 鈴木建 (東京大学), 柿内健佑 (名古屋大学), Jürgen Ott (NRAO)

天の川銀河の中心核周円盤 (CND) は、超大質量ブラックホール (Sgr A*) の周囲を約 100 km s^{-1} で回転するリング構造である。CND 近傍の磁場は、ガスを重力収縮に対して抵抗させるだけでなく、角運動量を取り除き、Sgr A* への物質降着を助けると考えられている。このため、磁場構造を明らかにすることは、CND の起源の解明に加え、超大質量ブラックホールの活動性を理解する上でも重要である。これまでの研究から CND 近傍では磁場強度が強く (10 mG 程度)、磁場が支配的であること ($\text{plasma } \beta \sim 10^{-3} \ll 1$) がわかっている。我々は 2022 年秋季年会にて、銀河中心領域の磁場構造は CND 内部のミニスパイラルに沿っていること、その磁場構造が CND 以遠まで続いていることを報告した。本研究では、JCMT (James Clerk Maxwell Telescope) 850 μm 連続波の偏波観測から導出した磁場構造、ATCA (Australia Telescope Compact Array) で観測したアンモニア分子輝線のデータを用い、磁場を含む銀河中心領域の物理状態の解析を行った。今回我々は、SCUBA-2/POL-2 で検出した磁場構造から銀河中心数 pc スケールでの磁気圏の範囲を推定し、磁気圏内と磁気圏外領域の物理量の比較を行い、銀河中心領域における CND や Sgr A* への質量供給過程における磁場の役割について議論する。解析の結果、Sgr A* から 1' 以内の範囲はミニスパイラル構造を含む一つの磁気圏であると判定された。さらに、磁気圏領域と磁気圏外領域は共に $\text{plasma } \beta \sim 10^{-2} \ll 1$ が得られ、磁場が支配的である事がわかった。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Q34a Bullet Stars Leave Long Tails in the Galactic Center

坪井昌人 (JAXA 宇宙研), 宮脇亮介 (桜美林大), Tsutsumi Takahiro (NRAO), 三好真 (国立天文台)

銀河系中心領域では IRS7 と呼ばれる赤色超巨星 (MII?) が高速で運動し長い電離ガスの尾を引いていることが知られている。この星から放出された低電離の恒星風が Sgr A* 周辺の早期型星の星団 (NSC 星団) からの強力なライマン連続光によって電離し、星が周囲のガス中を高速で移動しているために電離ガスが彗星状にたなびいていると推測されている。銀河円盤部ではこのような長大なガス尾を持つ例としてくじら座のミラ (M5-9IIIe) が知られているが生成メカニズムは同一ではないようである。銀河系中心領域には IRS7 に限らずガス尾を持つ多様な星が存在していると考えられる。Atacama Large Millimeter/sub-millimeter Array (ALMA) で銀河系中心ミニスパイラル全域を含む領域を H30 α 再結合線および 230GHz 連続波で観測したデータおよびアーカイブデータを解析して、上記のような天体を探索した。

結果として 2 つの候補天体を発見した。1 つ目の天体は IRS7 によく似た広がった head-shell と幅が広く長い電離ガスの尾を持っていた。IRS7 同様に放出された恒星風が NSC 星団からのライマン連続光によって電離し彗星状にたなびいていると推測される。しかし中心星はミリ波連続波では検出できなかった。中心星がミラのような赤色巨星程度の星であることを示唆するのかもしれない。一方 2 つ目の天体は小さい head-shell と幅が狭く長い電離ガスの尾を持っていた。中心星はミリ波連続波で検出できた。銀河系中心領域で検出されている Wolf-Rayet 型星と似ている。また中心星の固有運動は ALMA での 2 回の位置観測から $\sim 790 \text{ km s}^{-1}$ と見積もられた。非常に高速で運動するために細い尾を引いていると推測される。これらの解析の詳細結果を発表する。

[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](#)

Q35a Near-IR spectroscopy of massive young stellar object toward the direction of the Galactic center: XCN and aromatic C-D features

尾中 敬 (明星大学、東京大学), 左近 樹 (東京大学), 下西 隆 (新潟大学)

We report near-infrared (2.5–5 μm) long-slit ($\sim 30''$) spectroscopy of a young stellar object in the direction toward the Galactic center with the Infrared Camera on board the AKARI satellite. The present target is suggested to be AFGL 2006 based on its very red color and close location. The spectra show strong absorption features of H₂O and CO₂ ices, and emission of H I Br α recombination line and the 3.3 μm band, the latter of which is attributable to polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) or materials containing PAHs. The spectra show a broad, complex absorption feature at 4.65 μm , which is well explained by a combination of absorption features of CO ice, CO gas, and XCN, and H I Pf β emission. The spectra also indicate excess emission at 4.4 μm . The characteristics of the spectra suggest that the object is a massive young stellar object. The XCN feature shows a good correlation with the Br α emission, suggesting that the photolysis by ultraviolet photons plays an important role in the formation of the XCN carriers, part of which are attributed to OCN⁻. The 4.4 μm emission shows a good correlation with the 3.3 μm PAH emission, providing supporting evidence for the first time that it comes from the aromatic C–D stretching vibration, which has been elusive in the past search. The formation of OCN⁻ is of importance for the formation process of prebiotic matter in the interstellar medium (ISM), while the detection of aromatic C–D emission provides valuable information on the deuteration process of PAHs in the ISM and implications on the hiding site of the missing deuterium in the ISM.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Q36a Reverse Shock が示す高速 AGN 風でできたフェルミバブル

藤田裕 (東京都立大学)

フェルミバブルは銀河系中心方向にみられる巨大なガンマ線の構造で、X線や電波でも関連する構造がみられる。フェルミバブルは銀河系中心での何らかの大規模なエネルギー注入でできたと考えられているが、その正体はわかっていない。最近フェルミバブルを取り囲むX線ガスについて観測データの再解析が行われた (Yamamoto et al. 2022)。それによるとガスが非平衡状態にあると仮定すると、ガスの温度は従来言われていたよりも高く、複雑な空間構造をしていることがわかった。さらにガスの非平衡度からガスの加熱が行われた時期も推定された。

そこで本研究では多数の1次元シミュレーションを行い、再解析された観測結果と比較することで、エネルギー注入のパラメーターを決定した。それによるとX線ガスの温度分布は forward shock と reverse shock の組み合わせで表現できることがわかった。特に reverse shock での温度上昇は、銀河系中心から速度 $\sim 1000 \text{ km s}^{-1}$ の高速風が $\sim 10^7 \text{ yr}$ の期間吹いていたことを示している。エネルギー的にはこのような活動は銀河系中心部の星形成活動のみではまかなえず、Sagittarius A* が活動の主体であることがいえる。ガスの加熱が行われた時期は接触不連続面で最も古く、forward shock と reverse shock に向かって現在に近くなるが、これは観測の傾向と一致する。また比較的大きな mass flux は、Sagittarius A* 付近で発生した風が周囲の星間ガスを巻き込んだ結果であると解釈できる。今回見出した Sagittarius A* を起源とする風は、ほかの銀河の AGN でしばしば観測されるものと同種であると考えられる。つまりフェルミバブルは我々の銀河系のみで起きた特殊な現象ではないといえる。

Ref: Fujita, Y. 2022, MNRAS in press, arXiv:2208.01654

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Q37a 過去 8Gyr の天の川銀河進化史の理解と解明に向けて

霜田治朗, 犬塚修一郎 (名古屋大学)

天の川銀河では過去 8 Gyr の間, 数 M_{sun}/yr 程度の星形成率が維持されてきた. 単純に現在の銀河系と同じような状況が続いたと考えると説明しようとする, 材料物質であるガスが 1 Gyr 以内に枯渇してしまう. 我々は宇宙線によって駆動される銀河風が銀河の周りのガスを金属汚染し, 汚染されたガスが冷えて銀河円盤に落下することで, 銀河円盤にガスが供給されこの星形成率が維持される得ることを発見した. これはいわゆる「Galactic fountain」と呼ばれる流れが, 約 100 kpc もの大スケールで駆動することを新たに指摘したことによる. このとき, 銀河風として吹き出すガスは, 現在の天の川銀河で X 線により観測されている希薄なガスであると期待している. 落下するガスは 21cm で観測されている高速度雲と期待している. ここから, 銀河円盤の周りのガスは少なくとも高速度雲という低温成分と, X 線で光る数 keV 程度の高温度成分および宇宙線で構成されることが分かる. 講演では長時間維持される星形成率というパラダイムをレビューし, これを解決することを示した銀河系モデルを紹介する. モデルでは銀河周辺ガスの振る舞いを単純化し, どのような降着率ならば星形成史を説明しうるかを調べた. 結果として, 銀河ハローの熱的に不安定なガスが, 銀河円盤部での分子雲形成等と同じような効率で凝集できれば, 天の川銀河の進化を説明できることを示す.

[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](#)

Q38a PeV ガンマ線で捕らえた天の川銀河ハロー内宇宙線の兆候とその銀河進化に対する意義

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

宇宙線 (CR) 陽子・原子核でエネルギーが PeV 以下のものは, 主に天の川銀河ディスク内で生成され, いずれ銀河ハロー領域へ逃げ出してゆくと考えられる. ハロー内を伝搬している CR は必ず存在するはずだが, 周囲のガスへ熱や圧力を及ぼすことで, ディスクとハローの間でガス循環過程に影響を与え, 銀河全体の進化に重要な役割を担っている可能性がある. 近年, この CR フィードバック効果は, 銀河形成シミュレーションにも取り入れられ, 様々な予想や推論がなされているが, その観測的証拠は乏しく, 詳細はほとんどわかっていない.

ハロー内 CR を探る上で, 周囲のガスとの衝突で生じるガンマ線のうち, PeV 帯域は, CMB による $\gamma\gamma$ 吸収が効くため, 特に有望である: 1) GeV-TeV 帯と異なり, 系外背景成分が有効に遮蔽され, 空間的に大きく広がった放射を探索しやすい. 2) 0.2-2 PeV に対応する伝搬距離が $\sim 400-7$ kpc で, ハローのスケールを網羅し, 起源の特定に役立つ. 我々は, Tibet AS γ で検出された高銀緯イベントに着目し, HVC (high velocity cloud; ハロー内の HI ガス) の分布と比較したところ, 銀河中心に近い HVC と相関の兆候が見られ, ハロー内 CR の証拠を初めて捕らえた可能性がある. そのスペクトルは, ディスク CR よりハードで, ハローで予想される性質と無矛盾である. また, その密度は, 銀河高度 $z \lesssim 10$ kpc ではディスク CR と大差ない可能性があり, 有意な圧力の寄与が示唆される. 今後の LHAASO, 南天での Mega-ALPACA, SWGO 等によるガンマ線観測と, 将来の紫外線・X 線観測によるハローガスの情報との比較から, ハロー内 CR 伝搬の物理や CR フィードバックの解明に期待がかかる.

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

Q39a 抵抗性電場によって加速された宇宙線 2 次電子によるガスの電離

大平豊 (東京大学)

宇宙線はそのエネルギーの高さから宇宙空間のガスを電離する重要な電離源であると考えられてきた。近年、いくつかの分子雲観測から推定される電離率が、地球で観測される宇宙線フラックスから推定される電離率よりも 1~3 桁高い値を示すことがわかってきた。地球には飛来できないが電離はできる程度の非熱的粒子がその分子雲近傍で加速されているという考えが幾つか提案されている。

本研究では、宇宙線が等方的ではなく一方向の流れが存在する場合、宇宙線による電離率が上昇し、高い電離率を説明できる可能性があることを提案する。宇宙線の一方向の流れが存在する場合、その宇宙線電流を打ち消すために熱的電子が帰還電流を流す。熱的電子の帰還電流がクーロン相互作用などの抵抗によって電場を誘導する。また宇宙線は衝突電離によって 10 eV 程度の 2 次電子を作る。その 2 次電子によるガスの電離や励起によるエネルギー損失よりも抵抗性電場による加速が勝ると、2 次電子が加速される放電現象が生じる。この放電により 2 次電子は電子雪崩を起こし、電離率を大幅に増大することが可能になる。

本発表では、この放電現象による 2 次電子のエネルギースペクトルの発展と放電状態の定常的電離率を求めるために、2 次電子の定常ボルツマン方程式と抵抗性電場を求めるオームの法則を数値的に同時に解いた結果を報告する。放電状態の定常的電離率は、分子雲内の自由電子の量と温度に強く依存することがわかった。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Q40a 初代宇宙線による銀河間空間の加熱

横山 将汰 (東京大学), 大平 豊 (東京大学)

銀河間空間のガスの電離や加熱は、構造形成によりできた星や銀河から放出される光子によって達成されると標準的に考えられている。しかし、現在の宇宙では宇宙線も光子と同程度のエネルギー密度をもつことが知られている。初期宇宙でも、初代星の爆発による超新星残骸で無衝突衝撃波が形成されて宇宙線が加速されるという可能性が指摘されており、宇宙線が銀河間空間の加熱に寄与することが期待される。宇宙線による加熱を理解することは、銀河や銀河間空間ガスの進化を知るうえで重要であり、JWST により高赤方偏移の銀河の性質が明らかになりつつある今、より理解の必要性が高まっている。

宇宙線がある方向に流れている系では、その電流を打ち消すように熱的な電子による帰還電流が流れる。熱的電子と熱的陽子との間には Coulomb 衝突が働き、抵抗性の電場が作られてガスが加熱される。本講演では、この抵抗性加熱による加熱率の見積もりを行い、他の加熱メカニズムとの比較を行う。特に銀河間空間の主要な加熱源と考えられている X 線による加熱率との比較を行い、銀河の近傍では宇宙線による抵抗性加熱が卓越することを示す。

[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](#)

R01a 銀河中心ブラックホール近傍における共鳴緩和 II

船渡陽子 (東京大学), 牧野淳一郎 (神戸大学)

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

理論的には銀河中心のような SMBH を含む高密度核星系では共鳴緩和 (resonant relaxation, 以下 RR と略) と呼ばれる力学的な緩和がおこると予想されている (Rauch et al, *NewA*, 1, 149, 1996)。我々は中心に支配的な重力源となる天体がある系に特化した N 体計算コード GPLUM (Ishigaki et al., *PASJ*, 73, 660, 2021) を用いて、SMBH まわりの星系の力学進化を調べ銀河中心においておこる RR について調べている。

二体緩和はエネルギー空間における緩和だが、RR は角運動量空間における緩和であり、タイムスケールや質量依存性が違う。秋季年会では力学系の進化のタイムスケールが二体緩和のタイムスケールとは異なり、RR のタイムスケールの理論的予想と合っていることから、シミュレーション内でおこっている現象が RR と示した (船渡&牧野, 2022 年日本天文学会秋季年会)。今回は、粒子数を何通りか変えたシミュレーションを行った結果を報告する。これは SMBH まわりの星の質量を変化させたことに対応する。この場合も RR のタイムスケールの質量依存性が Rauch 等の予想通りであり、おこっている現象が RR であることさらに強い確証を得た。また、我々の結果から現実的な S2 星の質量 (~ 10 太陽質量) の場合、RR による近点移動の大きさは、一般相対論的影響による近点移動の大きさの数分の一となることがわかった。年会ではこの結果が観測結果で得られた数値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](#)

R02a 数値シミュレーションと機械学習を用いた天の川銀河構造の解明

黒澤里沙, 久野成夫, ZHAI Guangyuan (筑波大学), 和田桂一, 油谷直道, 長船大樹, Alvi Kazi (鹿児島大学), 馬場淳一 (国立天文台)

我々の住む銀河系の構造を知ることは、銀河系の動力学構造や物質循環、及び銀河構成要素である星団・分子雲の形成進化過程を解明する上で非常に重要であるが、我々はその内部に存在しているため、渦状腕などの構造を把握することは困難である。一方で、大規模数値シミュレーションを駆使して天の川銀河の構造を再現する試みがなされている (例えば、Baba et al., 2017)。そこで Baba et al. (2017) のシミュレーションの結果を CfA 銀河面サーベイの CO 観測データと比較し、CO 輝線によって得られた銀経-速度図を最もよく再現するシミュレーションモデルを決めることで、天の川銀河の構造を解明することが本研究の目的である。ここで大きな問題となるのが、モデルによる観測の再現度をどのように評価するかである。先行研究では観測データとシミュレーションモデルの比較において、類似している構造を目視で確認し再現度を人が評価していた。本研究では、評価者に依存しない評価方法として、機械学習による画像認識プログラムを用いた方法を開発した。二つの位置-速度図を並べ、それらが同じ画像同士か異なる画像同士かを画像認識プログラムによって判断させるものである。サンプルするシミュレーション銀河の時刻や観測者の位置を変えることで、学習用と検証用のサンプルを作成した。最終的には、観測データとシミュレーションモデルを並べ、最も似ていると判定されたシミュレーションモデルが判別でき、採用することになる。本講演では、画像認識プログラムの最適化やその評価方法について報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

R03a 天の川銀河のペルセウス腕における分子雲進化の研究

梅澤智幸, 久野成夫, ZHAI Guangyuan, 福島肇 (筑波大学), 齋藤弘雄 (つくばエキスポセンター), 梅本智文 (国立天文台), 藤田真司 (東京大学)

銀河の渦状構造は銀河における星形成に大きく寄与すると考えられているが、そのメカニズムについては渦状構造自体の形成メカニズムとともにまだよくわかっていない。そこで、我々は銀河系における渦状腕と星形成の関係を調べるために、渦状腕が明確で分子雲の距離特定がしやすいペルセウス腕に着目し、星形成の母体となる分子雲の性質と渦状腕の関係について調べた。野辺山 45m 電波望遠鏡で取得された、FUGIN プロジェクト (Umemoto et al. 2017) CO($J=1-0$) データと、Nobeyama 45m Cygnus-X CO survey データを用い、同定した 40 個の分子雲 (半径 ~ 10 pc) について解析した。分子雲領域決定の際には、分子雲を階層構造として同定する Dendrogram と、3次元データにおける重力の相互作用を考慮したマップを作成する G-virial (Guang-Xing et al. 2021) を、分子雲進化のシミュレーションデータと比較検討の上利用し、観測質量 $M(\text{CO})$ 、ビリアル質量等の物理量を算出した。その結果、ビリアル比 (ビリアル質量/観測質量) と観測質量には、負の相関があり、質量が大きい分子雲ほど重力的に束縛される傾向があることがわかった。また、分子雲のペルセウス腕上での位置と、IRAS による HII 領域の有無について比較すると、ペルセウス腕に対して銀河中心から横切る方向に、HII 領域が付随する分子雲が増える傾向がわかった。さらに、星形成の規模を表す赤外線光度 L を観測質量で割った、 $L/M(\text{CO})$ (星形成効率または進化段階の指標) を比較すると、同様に $L/M(\text{CO})$ が大きくなることがわかった。この結果は、密度波理論から予想される、分子雲は上流で渦状腕に突入するにつれて圧縮されていき、下流に向けて渦状腕を進むとともに星形成活動が活発になるという分子雲進化のシナリオと一致する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

R04a Giant Molecular Clouds in the local dwarf galaxy NGC 6822

濤崎智佳, 金子紘之 (上越教育大学), 藤田真司, 江草芙実, 廿日出文洋, 河野孝太郎 (東京大学天文学教育研究センター), 鎌崎剛 (国立天文台), 小宮山裕 (法政大学)

星形成の直接的母体である巨大分子雲 (GMC) は、銀河の成長・進化過程を理解する上で不可欠な要素であり、銀河中の物質循環における分子雲の性質や進化過程の解明は、銀河研究における最重要課題の一つである。特に近年、高赤方偏移での低金属量低質量銀河における星間物質の観測が進んでおり、空間分解が難しい高赤方偏移銀河の解釈を深めるためにも近傍にある低金属量銀河の広域かつ空間分解した観測が急務となっている。

local group に属する dwarf galaxy NGC 6822 (距離 476 kpc) は、金属量 ($\sim 1/5 Z_{\odot}$) が LMC ($\sim 1/2 Z_{\odot}$) よりも低く遠方銀河の環境に近いと考えられ、遠方銀河のテンプレートとしても優れている。ダストについては Herschel 望遠鏡の PACS/SPIRE による遠赤外線観測が行われており (Galametz et al. 2010)、すばる望遠鏡のデータをはじめ、光赤外などの既存データも豊富にある。若い星団等 YSO のカタログも既に存在しているため、星形成進化との比較も容易である (Jones et al. 2019)。また、ASTE 望遠鏡による [CI] ($^3P_1 \rightarrow ^3P_0$) 輝線観測を行うため、新たな分光システムの導入などを科研費 (基盤 A, 研究代表者: 濤崎) で進めている。我々は、ALMA-ACA を用いて、NGC 6822 に対して CO($J=1-0$) の中心領域を広くカバーする $15' \times 20'$ ($= 2.2 \text{ kpc} \times 2.9 \text{ kpc}$) に渡るマッピング観測を行った。空間・速度分解能は $17'' \times 9''$ ($= 41 \text{ pc} \times 21 \text{ pc}$), 1 km s^{-1} である。このデータに対し、clumpfind を用いて独立した cloud の同定を行ったところ、約 60 個が同定された。これらの virial 質量は $\sim 10^{3-5} M_{\odot}$ であり、GMC に相当すると考えられる。多くの GMC には YSO や HII 領域が付随している一方で、星形成の兆候のない GMC も複数存在している。講演では、これらの GMC の性質や星形成との関連について報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

R05a 棒渦巻銀河の棒部における星形成効率の統計的調査 2

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

棒構造は近傍の円盤銀河によく見られる特徴であり、そこでの星形成の性質を理解することは、銀河の星形成活動メカニズムを理解する上で重要である。これまでの観測及び理論研究によって、bar 領域（ここでは、center と bar-end の間の領域を指す）では星形成活動が arm 領域に比べて抑制されているという考えが支持されてきた (e.g. Athanassoula+92, Maeda+20)。一方で、最近の統計的研究では、bar 領域の星形成効率 (SFE) が arm 領域よりも系統的に低いということはないと報告されている (e.g. Muraoka+19, Díaz-García+21, Querejeta+21)。しかし、これら統計的研究における bar 領域の定義には center や bar-end も含まれている。また、角分解能が悪く、bar, center, bar-end を分解することができないサンプルも多く含まれている。Center や bar-end では星形成の性質が bar でのそれと異なることが多いので、これらを分離して SFE を測定することが適切と考えられる。

そこで我々は、見た目の棒構造が十分に大きい棒渦巻銀河を対象に、bar, center, bar-end を区別した上で、bar の SFE を統計的に調査した。2022 年春季年会では、CO(1-0) を用いた初期結果を報告したが、本講演では CO(2-1) も加えた最終的な結果 (Maeda+23) を報告する。サンプルは、棒構造 (両 bar-end 間距離) が SFR の測定に使う WISE 22 μ m と GALEX FUV の画像の分解能 (15") よりも 5 倍以上大きい銀河のうち、bar と arm 領域で十分に分子ガスが検出されている 18 天体とした。CO-to-H₂ 変換係数 (α_{CO}) は銀河内部で一定と仮定した。その結果、arm の SFE に対する bar の SFE は、系統的に 1 より小さく (典型的には 0.6-0.8)、bar での星形成が系統的に抑制されていることが確認された。さらに、抑制の度合いと CO 輝線の速度幅に負の相関関係があることがわかった。この結果は、shear の強さあるいは分子雲の衝突速度の違いが星形成を制御していることを示唆している。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

R06a 近傍銀河における kpc スケールのガス密度頻度分布 (GDH)

松坂怜, 半田利弘, 村瀬建, 柴田洋佑, 笠井梨名 (鹿児島大学), 前田郁弥 (東京大学), 藤本裕輔 (会津大学), 伊東拓実 (熊本大学)

銀河における、kpc から pc スケールに及ぶ幅広い密度構造は星形成と何らかの関係を持つことが指摘されて久しい。例えば、kpc スケールでの星形成率 (SFR) や星形成効率 (SFE) は、銀河内のガス分布や密度構造と関係していることが、Kennicutt - Schmidt 則の存在やそれに関連した数多くの研究から広く信じられている。さらに近年では、HCN や HCO⁺ など高密度ガストレーサーとの関連を調べる方向に研究が進んでいる。一方で、高密度の ISM は低密度の ISM から形成されるものであり、両者の関係は未だに判然としていない。そこで我々は、銀河内に広がった低密度 ISM を扱うのに適した解析方法として、ガス密度頻度分布図 (Gas Density Histogram: GDH) を提案し、天の川銀河内の各 sub-kpc スケールの領域 ($l=10-50\text{deg.}$, $b=\pm 1\text{deg.}$, $2\times 2\text{deg.}/\text{one region}$) に適用することで、GDH の特徴を示すパラメータが kpc スケールの構造と関係することを示した (松坂ほか 2022 年秋季年会 R01a)。しかしながら、天の川銀河は完全な edge-on であるため、奥行き方向の分解にはモデルが必要であり、見つかった構造が渦状腕構造などと一致しているのかを直接確かめることは難しい。そこで本研究では、ALMA-PHANGS プロジェクトの CO ($J=2-1$) 輝線データを用い、近傍銀河における kpc スケールの GDH を調査した。GDH を用いた解析は、構造同定を前提とするコア質量関数などとは異なり、議論の対象となる空間スケールよりもずっと小さな空間構造による影響が小さいことが特徴である。このため、空間分解能が不十分な系外銀河でも広がった ISM の密度構造を定量的に議論することができる。本講演では、近傍銀河における kpc スケールの GDH の特徴を紹介し、銀河環境や形態、銀河全体の星形成などとの関連性を議論する。

[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](#)

R07a 近傍渦巻銀河の構造同定および分子ガスの速度分散と星生成効率の多様性

清水 一揮 (北海道大学), 徂徠 和夫 (北海道大学, 筑波大学)

近傍銀河における星生成効率 (SFE) は銀河ごと、更には銀河の領域ごとに異なることが知られており、その原因として分子ガスの物理状態が異なることが報告されている。Yajima et al. (2019) では棒渦巻銀河 NGC 4303 について、銀河の各領域の SFE と分子ガスの速度分散の間に、ガスの速度分散が $\sim 100 \text{ km s}^{-1}$ 以下の範囲では正の相関を、 $\sim 100 \text{ km s}^{-1}$ 以上の範囲では負の相関を持つことが報告されており、棒状構造では大局的なガスの運動が分子ガスの物理状態に影響を及ぼしていることが示されている。本研究ではこのような関係が複数の銀河で一般的に成り立つものであるのかを明らかにするため、国立天文台野辺山宇宙電波観測所レガシープロジェクト COMING で観測された銀河のうち、相互作用していない渦巻銀河 132 個を対象に、銀河の構造ごとに速度分散と SFE の関係について Yajima et al. (2019) と同様の解析を行った。GALEX FUV と WISE 22 μm から導出された既存の星生成率を用い、また多数の銀河について客観的に構造を同定するために自動で構造を同定するプログラムを作成した。WISE 4.6 μm のデータを用い、16 銀河の構造を渦状腕・棒状構造・渦状腕間 (また内側の円盤領域) として同定し、棒状構造末端の領域を COMING $^{12}\text{CO}(J=1-0)$ 輝線から決定した。構造ごとにスペクトルをスタックし、SFE-分子ガスの速度分散の散布図上にプロットすると、速度分散の低い領域では SFE は速度分散の上昇に伴って増加する傾向を示した。しかし速度分散の大きな領域では、速度分散の増加に伴って SFE が減少する銀河がある一方で、SFE が上昇しつづける銀河も存在することが明らかとなった。SFE に多様性が見られたのは主に棒状構造においてであり、速度分散の広がりに対して SFE が大きな広がりをもつことから、棒状構造ではガスの速度分散以外の要因が星生成に大きな影響を与え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](#)

R08a NGC 3627 における星形成活動性と分子ガスの物理状態の関係

柴田和樹 (筑波大学), 渡邊祥正 (芝浦工業大学), 久野成夫 (筑波大学), 徂徠和夫 (北海道大学, 筑波大学)

近傍銀河において、星形成効率 (SFE) が銀河構造ごとに異なる理由は詳しく分かっていない (e.g. Yajima et al. 2019). この SFE の多様性について調べるため、我々は NGC 3627 の southern bar-end とその周囲で、 $^{13}\text{CO}(1-0)$, $\text{CO}(1-0)$, $\text{CO}(2-1)$ の ALMA データから、励起解析で求めた分子ガスの温度 (T_k) や数密度 (n_{H_2}) と、星形成活動性を比較した。その結果、Beuther et al. (2017) が指摘したように、bar-end で異なる速度の分子ガス同士が衝突し、活発な星形成活動性に寄与していることを示唆する結果が得られた (2020 年春季年会 R01a)。

本研究では、NGC 3627 の southern bar-end で星形成率の表面密度 (Σ_{SFR}) と分子ガスの表面密度 (Σ_{mol}) 及び、SFE と分子ガスの物理状態 (T_k , n_{H_2}) の関係について、より定量的な評価をするために、それぞれピアソンの相関係数 (ρ_p) とスピアマンの順位相関係数 (ρ_s) で相関の強さを評価した。 Σ_{SFR} と Σ_{mol} の間の相関係数は、90 pc, 300 pc, 500 pc, 1 kpc スケールでそれぞれ (ρ_p , ρ_s) = (0.59, 0.63), (0.78, 0.77), (0.85, 0.91), (0.77, 0.74) となり、先行研究 (Onodera et al. 2010) と同様に、空間分解能が 100 pc を下回ると相関が弱くなる結果が得られた。また、SFE と分子ガスの物理状態 (T_k , n_{H_2}) について、90 pc スケールで相関係数を算出すると、 T_k , n_{H_2} それぞれについて (ρ_p , ρ_s) = (-0.48, -0.54), (0.58, 0.54) と、統計的に有意な相関がある結果が得られた。 $\text{CO}(1-0)$ で位置-速度図を作成し視線に異なる速度成分が重なる位置で、 T_k と n_{H_2} が、2,3 倍高い結果が得られていることから (2020 年春季年会 R01a), 今回の結果は、NGC 3627 の southern bar-end において、分子ガスの衝突によって分子ガスの温度が上昇し、衝突によって蓄積された分子ガスが高密度化することで星形成活動が活発になっているという、これまでの結果から得られたシナリオを支持する結果となった。

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

R09b 偏波解消特性を用いた渦状銀河の 3 次元磁場構造解明

田嶋裕太 (総研大/国立天文台), 大村匠 (東京大), 町田真美 (国立天文台)

渦状銀河の磁場は、数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いる。この磁場の磁気エネルギーは銀河ガスの熱エネルギーと同程度であり、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いる (Tashima ら 2022)。

本研究では偏波放射を担う磁場構造の視線上の位置を特定し、その位置と偏波解消特性との関係を調査した。その結果、Face-on の場合では、円盤より観測者側に近い磁場による偏波放射は、周囲よりも偏波強度が低い周波数ピークを持つ傾向にあることを発見した。これは渦状銀河の円盤とハローでファラデー回転に起因する偏波解消の特性が異なることに起因している。円盤部は高いガス密度や強い乱流磁場もつため、ハローに比べて強い偏波解消が生じる。したがって円盤部より観測者側で生じた偏波放射は円盤内で生じる強いファラデー回転の影響を受けずに観測されるため、偏波解消効果が表れる周波数が、円盤部からの放射より低くなる。本講演では、この傾向を用いた磁場の 3 次元情報抽出の可能性について議論し、edge-on の場合の同様の解析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](#)

R10a Spatially resolved dust temperature in HyLIRG quasar at $z=4.4$

Takafumi Tsukui, Emily Wisnioski, and Andrew Battisti (Australian National University)

Quasar 母銀河の星形成率は主に遠赤外連続波放射からダストが若い星によって温められたと仮定して導出されている。しかし、Quasar によって温められたダストが測定にどの程度影響するのかわかっておらず、空間分解したダスト温度の詳細な調査が重要である。本発表では赤方偏移 $z=4.4$ Quasar 母銀河 BRI1335-0417 の空間分解したダストの温度分布を報告する。ALMA による高分解能観測 (~ 1.3 kpc) によって得られた静止系で $161\mu\text{m}$, $91\mu\text{m}$ 連続波画像の各ピクセルに対して一つの修正黒体放射関数で fitting して得られたダスト温度分布は中心に向かって急激に上昇し 57K にまで達することがわかった。また画像解析によって、二つの連続波画像には分解できていない点源が存在することがわかった。同定された点源 flux を活動銀河核によって加熱された暖かいダスト (AGN によって温められたダストトーラス)、残りの広がった flux は母銀河に存在する冷たいダストからのものであると解釈すると、銀河全体の SED を整合的に説明することができた。画像解析による情報 (AGN dust flux と母銀河 flux) を組み合わせた SED 解析の結果、冷たいダストの成分から推定される星形成率は $1500_{-200}^{+300} M_{\odot} \text{ yr}^{-1}$ となり、先行研究で推定された値 $5040 \pm 1300 M_{\odot} \text{ yr}^{-1}$ の 3 分の 1 以下となった。画像から点光源を差し引いて再導出した温度分布は急な温度勾配が消え平坦な分布となった。また、点光源を差し引いて求めた表面星形成率 Σ_{SFR} と表面分子ガス質量 Σ_{gas} は、gas depletion time $50\text{--}100\text{Myr}$ の領域におおよそ線形に分布する結果となった。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

R11a 複数分子複数準位輝線で探る超高光度赤外線銀河中心部における分子ガス状態

馬場俊介 (鹿児島大), 今西昌俊, 中西康一郎 (国立天文台/総研大), 泉拓磨 (国立天文台/都立大)

高光度赤外線銀河 (LIRG) と超高光度赤外線銀河 (ULIRG) は、赤外線光度がそれぞれ 10^{11-12} , $10^{12-13} L_{\odot}$ クラスにある銀河種族である。(U)LIRG はガスに富む銀河同士の合体の結果としてよく現れるが、これは合体の過程でガスが中心部に集められ、そこで爆発的な星形成と超巨大ブラックホールへの急速な質量降着 (活動銀河核=AGN) が生じ、これらの熱源が周囲のダストを温めるためだと考えられている。ゆえに、(U)LIRG の中心領域を理解することは、宇宙で普遍的に起きてきた銀河合体を通していかに星が形成され、超巨大ブラックホールが成長し、母銀河が影響されたかを解明するために重要である。ダストに深く埋もれている (U)LIRG の中心部を探るため、減光の小さい (サブ) ミリ波での観測が、様々な分子輝線で数多く行われている。しかし、星形成と質量降着を担う高密度分子ガスのトレーサーを高空間分解能で網羅的に観測しガスの状態を推定するという試みは、これまで例が無かった。今回我々は、近傍の ULIRG 9 天体および LIRG 1 天体に対し、HCN, HCO⁺, HNC の回転遷移 $J = 2-1, 3-2, 4-3$ での輝線を ALMA を用いて 1-2 kpc の分解能で観測し、同一 J での分子間輝線強度比および同一分子での高 J /低 J 強度比を RADEX による非局所熱平衡計算でフィットすることで、(U)LIRG 中心領域における高密度分子ガスの状態を調べた。そして、(1) 各 J の HCN-to-HCO⁺ 輝線比が、超過した HCN の存在比 ($[\text{HCN}]/[\text{HCO}^+] \gtrsim 3$) でよく再現できること、(2) (U)LIRG 中心の分子ガスが一般的に高密度 ($\gtrsim 10^{3-4} \text{ cm}^{-3}$)・高温 ($\gtrsim 100 \text{ K}$) であること、(3) ただし星形成優勢の (U)LIRG では明るい AGN を持つ場合と比べるとやや低密度・低温であることを見出した。今回の結果は、複数の高密度ガストレーサーの複数励起レベルの輝線を組み合わせることが、(U)LIRG 中心領域の分子ガスの状態推定および熱源の診断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](#)

R12a ALMA による NGC 1068 の $\lambda=3 \text{ mm}$ 帯イメージング・ラインサーベイ観測

中島 拓 (名古屋大), 高野 秀路 (日本大), 濤崎 智佳 (上越教育大), 谷口 暁星 (名古屋大), 原田 ななせ, 齊藤 俊貴, 今西 昌俊 (国立天文台), 西村 優里 (東京大), 泉 拓磨 (国立天文台), 田村 陽一 (名古屋大), 河野 孝太郎 (東京大), Eric Herbst (Univ. of Virginia)

我々は、ダストによる減光を受けにくいミリ波・サブミリ波により、塵に埋もれた遠方の活動的銀河の熱源を観測的に明らかにすることを目指し、まずは典型的な近傍銀河において、中心核領域の活動性 (爆発的星形成 (=SB) や活動銀河核 (=AGN)) と、核周領域の星間物質が示す化学的特徴との関係を解明することに取り組んでいる。これまでに、近傍の AGN である NGC 1068 と典型的な SB 銀河である NGC 253, IC 342 に対して、野辺山 45-m 鏡を用いた 3-mm 帯 (84-116 GHz) のラインサーベイ観測を行った (Nakajima et al. 2018, Takano et al. 2019)。そこでは、各銀河で約 20 種の分子を検出し、特に CN や ¹³CN の存在度が AGN で顕著に高い一方、CH₃CCH は SB 銀河のみで検出されるなど、約 1 kpc スケールで見え違いを明らかにすることができた。

さらに我々は、ALMA を用いて NGC 1068 に対する分解能 0.9 秒角 (~60 pc@14.4 Mpc) での 3-mm 帯のほぼ完全なラインサーベイ観測 (85-114 GHz) を行い、以下の結果を得た。1) circumnuclear disk (=CND) とそれを取り巻く SB リング領域で、23 分子種の分布を初めて明らかにした。2) 45-m 鏡では未検出だった HC¹⁸O⁺, ²⁹SiO, HC¹⁵N, HN¹³C, H¹³CO⁺ が検出された。3) 単一鏡では AGN と SB 銀河の HCN/HCO⁺ 柱密度比はほとんど同じであったが、高分解能では CND での柱密度比が SB リングのそれに比べて約 2 倍大きく、¹³C 同位体ではさらにその差が顕著に見える。4) CND での H¹³CN の卓越はショックトレーサーの SiO と関係しており、中心からの輻射よりも AGN ジェットなどに起因する機械的加熱の影響を受けたものである可能性が高い。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

R13a A statistical study of molecular emission in the starburst galaxy NGC 253 using principal component analysis (PCA)

Nanase Harada (NAOJ), David S. Meier (New Mexico Tech), Sergio Martín (ESO/JAO), Sebastian Muller (Onsala/Chalmers), Toshiki Saito (NAOJ) and ALCHEMI Collaboration

Spectral line surveys in the mm-/sub-mm wavelength are useful in obtaining the physical conditions of molecular clouds. Because these physical conditions are likely associated with star formation activities, it is meaningful to conduct line surveys in various environments. In this work, we will discuss how molecular cloud properties are related to activities in the local starburst galaxy NGC 253. The data we use are from the ALCHEMI survey, one of the Cycle 5 ALMA Large Programs. It is a wide-frequency (85-375 GHz) line survey targeting the central molecular zone (CMZ) of NGC 253. We use principal component analysis (PCA) to investigate the relationship between velocity-integrated intensity images of various molecular line transitions and radio recombination lines (~ 150 transitions in total). This is likely the largest that have been applied to PCA using molecular lines. Our results show that all the transitions have positive values in the first principal component (PC1), suggesting overall gas content. On the other hand, PC2 shows the anti-correlation between the low- J shock tracers (e.g., methanol) and star formation tracers (e.g., radio recombination lines). This relation may imply that shock or turbulence hinders star formation. At the same time, this anti-correlation may also be due to collision-induced star formation with a time delay after cloud collisions.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

R14a NGC 253 中心部におけるガスダイナミクスの解明 I: coherent structure の同定

小西諒太郎, 村岡和幸, 大西利和 (大阪公立大学), 榎谷玲依 (慶應義塾大学), 福井康雄, 立原研悟 (名古屋大学)

スターバースト銀河 NGC 253 中心部は、円盤回転に従うガスや大質量星のフィードバック、100 km/s 以上の速度幅を持つ局所的な非回転運動を伴うガスがあり、ガスの力学構造は多様である (e.g., スーパーバブル: Sakamoto+06, 磁気浮上ループ: Konishi+22)。我々は温度・密度・化学的性質の異なるガスをトレースする複数の ALMA 分子輝線データを駆使することで、NGC 253 中心部におけるガス構造を明らかにした。まず我々は $^{13}\text{CO}(1-0)$ データから位置-位置-速度 (ppv) 空間上で連続したガスの構造を複数発見した (以下 coherent structure と呼ぶ)。これらを以下のように同定して空間分布を明らかにした。ppv データの NGC 253 中心部の長軸の位置角を東西方向の 90° に補正し、南北に 6 pc 積分した pv チャンネル図を南から北まで作成した。そのチャンネル図から、1) 連続した複数の pv 図で検出、2) 4σ 以上の強度、3) 目視で連続的に見える、という 3 条件で coherent structure を定義した。定義した構造を逆正接関数や一次関数でフィッティングし、構造の速度分散を考慮し、確度の高い目立った構造から順に元のキューブデータから差し引いた。銀河中心部の混雑したガス構造の分離のために、初めに光学的に薄く低温高密度なガスを捉える $^{13}\text{CO}(1-0)$ を用いてガス構造の骨格を同定し、差し引いた。 $^{13}\text{CO}(1-0)$ の同定に使ったマスクを $^{12}\text{CO}(3-2)$ と $^{12}\text{CO}(1-0)$ も $^{13}\text{CO}(1-0)$ にも適用した。 $^{13}\text{CO}(1-0)$ で定義しなかった成分は $^{12}\text{CO}(3-2)$ と $^{12}\text{CO}(1-0)$ の残差から追加で分離した。その結果、中心部の半径 850 pc の範囲に 28 構造を発見し、磁気浮上と思われるうねり成分や棒構造のインフローといった多様なガス運動の兆候が見られた。本講演では、28 構造の空間分布や相互作用を比較して NGC 253 中心部におけるガス構造とその性質の議論を行う。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

R15a ALMA CO-observations of starburst-driven molecular outflow in NGC1482

Wenyao Miao(Univ. of Tsukuba), Dragan Salak(Hokkaido Univ.), Nario Kuno(Univ. of Tsukuba)

Galactic outflows are an important component of the evolution of galaxies. Driven by starburst activities, the outflows can transport metal-enriched interstellar medium (ISM) into the circumgalactic medium (CGM), hence contribute to regulate the star formation in galaxies. Molecular gas as the fuel of star formation is widely distributed in galaxies and expected to be detected outside the galactic plane where outflows may exist. In order to understand the properties of the outflows and their influence on the evolution of galaxies, it is important to image outflows of molecular gas and derive the physical properties in the outflows.

In this work, we report on high-resolution($\sim 1''$) observations of the nearby (20 Mpc) edge-on disk galaxy NGC1482 in multiple CO lines, namely, $^{12}\text{CO}(J=2 \rightarrow 1)$, $^{13}\text{CO}(J=1 \rightarrow 0)$, and $\text{C}^{18}\text{O}(J=1 \rightarrow 0)$, carried out by the Atacama Large Millimeter/submillimeter Array in cycle 7. A biconical molecular outflow is detected by $^{12}\text{CO}(J=2 \rightarrow 1)$ line, extending over 1.5 kpc perpendicular to the disk, which is consistent with previous study by $^{12}\text{CO}(J=1 \rightarrow 0)$ line (Salak et al.2020). The distribution of CO exhibits approximately a symmetrical cylinder around the warm and high-temperature gas outflow traced by $\text{H}\alpha$ and soft X-rays. We measured the CO line ratios $R_{21} = ^{12}\text{CO}(J=2 \rightarrow 1)/^{12}\text{CO}(J=1 \rightarrow 0)$ and $R_{12/13} = ^{12}\text{CO}(J=1 \rightarrow 0)/^{13}\text{CO}(J=1 \rightarrow 0)$ using whole-disk CO maps. We find the R_{21} , $R_{12/13}$ in galactic disk and center to be $\sim 0.6-0.7$, 15-20 and 1, 12, R_{21} also obtained in outflow region ~ 0.5 . Combining R_{21} and $R_{12/13}$, we modeled the outflows physical conditions using the radiative transfer tool RADEX.

[スケジュール \(セッション毎\)に戻る](#)

[スケジュール \(全体\)に戻る](#)

[講演者索引 TOPに戻る](#)

R16a ブラインド音源分離手法と精密分光観測を組み合わせたスターバースト銀河 M82 における電荷交換反応の探索

尾近洗行, Randall Smith (CfA), Adrien Picquenot (NASA/GSFC), Adam Foster (CfA)

スターバースト銀河 M82 は、地球から約 3.6 kpc と近傍に位置し大きな傾斜角持つことから、中心の星形成活動で駆動されるアウトフローの性質を研究する上で最も適した天体の一つである (e.g., Freedman+ 94)。近年の X 線観測から、アウトフローを満たすプラズマが星間ガスと衝突し生じる電荷交換反応由来の輝線が検出された (e.g., Liu+ 11)。この放射の強度と空間分布は、プラズマとガス間の相互作用を調べる有効な手段である。しかしながら、電荷交換反応で強まる輝線はプラズマからも放射されるため、これら成分の切り分けは困難であった。そこで我々は、ブラインド音源分離手法の一つであり宇宙マイクロ波背景放射の再構成等の分野に応用される General Morphological Component Analysis (Bobin+ 16) に注目した。この手法を、M82 の全貌をカバーする XMM-Newton 衛星の CDD で取得した高統計データ (~ 150 ks) に適用し、各成分の抽出を試みた。その結果、観測データの持つスペクトルと空間情報のみから電荷交換反応に特有の酸素の輝線で特徴づけられる成分の抽出に成功した。さらに、この成分が南側アウトフローにコンパクトなピーク ($\sim 2'$) を持つことに注目し RGS のデータを解析したところ、電荷交換反応由来の酸素、窒素、炭素の輝線が検出された。詳細なスペクトル解析にもとづき放射領域の見積もったところ、この過程はアウトフロー全域でなくプラズマとガスの境界面近傍で起きていることがわかった。 $\sim \text{arcsec}$ スケールの複雑な $\text{H}\alpha$ フィラメント構造 (Mutchler+ 07) が検出されていることを踏まえると、ガスがプラズマ流によって擾乱された領域で電荷交換が起きている可能性が高い。本講演ではこれら解析の詳細に加え、将来の観測に向けて本結果がもたらすインパクト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](#)

R17a 重力レンズ効果を用いた銀河磁場観測のシミュレーション II

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

電波銀河やクエーサーの多くの視線には暗い銀河が重なっていることが可視光の吸収線観測で知られており、これを介在銀河と呼ぶ。近年、介在銀河の磁場観測として重力レンズ効果の応用が考えられている (Mao ら 2016)。Mao ら (2016) はファラデーモグラフィを用いて、介在銀河の重力レンズ効果によって背景光源の放射が介在銀河の異なる位置を通過したファラデー深度の差から磁場を求める手法をとっている。介在銀河の効果は、無偏極に高赤方偏移の銀河まで調べることが原理的に可能であることから、電波シンクロトロン放射の観測では難しい銀河磁場の宇宙論的進化を探る将来の有力な方法として期待される。

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。以前、我々はファラデーモグラフィを用いることで、分解できていない場合においても、ピークを複数検出しうることを明らかにした (Omae ら 2022, 2022 年春季年会 R17a)。そこで、そのスペクトルからレンズ銀河の RM 構造を取り出すことができるか検討する。レンズ銀河の RM 構造を取り出す手法として、QU-fitting と呼ばれる手法を用いた。結果として、空間分解できていなくてもそれぞれ経験した RM の平均や分散を得ることができた。本講演では、背景光源自身由来のピークとレンズ銀河由来か QU-fitting を用いて区別できるか議論する。加えて、このような重力レンズ偏波源が POSSUM や SKA 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](#)

R18b Nobeyama 45-m CO $J=1-0$ Observations of Luminous Type 1 AGNs at $z \approx 0.3$

Tomonari Michiyama (U.Osaka), Ming-Yang Zhuang (KIAA), Jinyi Shangguan (MPE), Hassen Yesuf (IPMU), Hiroyuki Kaneko (JUEN), Luis Ho (KIAA)

We used the 45 m telescope of the Nobeyama Radio Observatory (NRO) to observe ten type 1 active galactic nuclei (AGNs) at $z \sim 0.3$ in CO $J=1-0$. In any targets, CO $J=1-0$ emission lines were not robustly detected. The upper limits of CO $J=1-0$ luminosities are lower than expected given the molecular gas mass inferred from nebular dust extinction. This suggests that we cannot directly apply the calibration method (from $A_V \approx 1$ to molecular gas mass) in star-forming galaxies with low extinctions ($A_V \approx 1$) to AGNs with very large extinction ($A_V \gtrsim 4$). This survey project clearly demonstrates that the exhaustive “CO” observations are important to understand the relation between AGN activities and molecular gas contents in the host galaxies, i.e., AGN feedback.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

R19c 超低金属量銀河 DDO154 の 12CO および 13CO 観測

小麦真也, 稲葉未来, 進藤哲央 (工学院大学)

一酸化炭素 (CO) 輝線強度から分子ガス密度への変換に利用されるコンバージョンファクタ (X_{CO}) は種々の銀河におけるガスと星形成の関係を理解する上で重要である。特に、金属量の低い矮小銀河は銀河進化初期の段階でのガス状態を保持していると考えられるが、 X_{CO} の金属量依存性がよく理解されていないことが銀河進化理解のボトルネックとなっている。一方で、低金属環境では星間輻射場によって CO 分子が破壊されやすいため、検出が難しく、これまで $12 + \log [\text{O}/\text{H}] < 8$ での CO 検出は 2 例のみである。2011 年に我々は矮小不規則銀河 DDO154 に対して CO 観測をおこなったが、speculative なシグナルを得たのみであった。今回、アップデートされた受信機などを利用して DDO154 に対してより深い 12CO/ 13CO 観測を行ったので報告する。輝線検出には至らなかったが、ダストおよび HI 観測からガス質量を見積もった場合と星形成率からガス質量を見積もった場合についてコンバージョンファクタに下限を与えた結果、天の川の場合に対して数 10 倍という強い制限を与えた。

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

S01a GMRT 322 MHz による Broad Absorption Line クェーサーのサーベイ観測

林隆之 (麻布中学校・高等学校, 国立天文台), 土居明広 (宇宙航空研究開発機構), 永井洋 (国立天文台)

Broad absorption line (BAL) クェーサーは、大きく青方偏移した金属吸収線を静止紫外に示し、SDSS クェーサーの 10-30% を占める。吸収体として降着円盤風が想定されているものの、BAL の検出率 10-30% が円盤風の見込み角によるのか、中心エンジンの本質的な違いで生じるのか、謎に包まれている。円盤風による質量とエネルギーの母銀河への供給は、超巨大ブラックホールから母銀河へのフィードバックの担い手として注目されており、BAL の検出率 10-30% の由来解明は、超巨大ブラックホールと母銀河の共進化の観点からも期待される。

クェーサーからの電波放射は亜光速で運動するジェットの相対論的効果を受ける。円盤風の噴出角が指向性を持つのであれば、BAL クェーサーは non-BAL クェーサーと異なる電波性質を示すだろう。実際、センチ波帯では、BAL クェーサーは non-BAL クェーサーに比べて電波で急峻なスペクトルを示すことが知られている (DiPompeo et al., 2011)。ただし、クェーサーからの電波スペクトルは吸収を受けることでも形状を変えるため、スペクトル形状の差がすべて見込み角で決まるとは限らない。低周波の電波性質はセンチ波帯と異なることも報告されており (Morabito et al., 2019)、メートル波まで含めて電波性質を網羅することが望まれる。

以上を踏まえ、我々はインドに設置された Giant Metrewave Radio Telescope を用い、322MHz にて BAL クェーサーのサーベイ観測を実施した。結果、観測天体の約半数は低周波で強い吸収を受けているものの、同時に観測した non-BAL クェーサーと吸収の度合いを比較すると、両者に有意な差が認められないことが分かった。本講演では、上記の結果を紹介するとともに、BAL クェーサーの電波性質の起源について議論したい。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

S02a ALMA による近傍高光度 Swift/BAT-AGN の高解像度 CO(2-1) サーベイ観測

池田裕 (都立大), 泉拓磨 (都立大/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), 宇野慎介 (東京大), BASS TEAM

近年の観測技術の発達により、多くの活動銀河中心核 (Active Galactic Nuclei: AGN) 周辺の 10-100 pc スケールにおいて、高密度分子ガスの核周円盤 (Circumnuclear Disk: CND) が確認されている。さらに、X 線観測から推定される銀河中心の超大質量ブラックホール (Super Massive Black Hole: SMBH) への質量降着率は、HCN(1-0) 観測による CND の高密度分子ガス質量とよく相関する一方、X 線観測による銀河スケールでのガス質量とは相関しないことが示唆されている (Izumi et al. 2016)。この結果は CND が SMBH への直接的な質量供給源として機能していることを支持するもので興味深い一方で、観測天体の少なさから統計的有意度は低いという問題があった。そこで本研究では、より統計的に有意な結論を得るべく、Swift 衛星の硬 X 線 (> 10keV) サーベイ観測で選定した 32 天体の近傍高光度 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 $\sim 100 \text{ pc}$ 解像度での CO(2-1) サーベイ観測を実施した。CND ($D = 150 \text{ pc}$) の分子ガス質量と AGN 光度の間の相関解析を行ったところ、得られた相関係数は $\rho = 0.039$ となり、両者は無相関であることが示された。しかし、高光度 AGN を研究対象としたことから、分子ガスが CND スケールで吹き飛ばされた可能性に加え、CO 分子の $J = 2$ よりも高い準位への励起や、X 線による解離が起きている、つまり CO(2-1) 光度が分子ガス質量を適切に反映していない可能性がある。本講演では、これらの結果とその解釈に加え、分子ガスの空間分布や速度構造も踏まえて SMBH 降着に対する CND の役割を包括的に議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

S03a ALMA 観測で明らかにする AGN 遮蔽の動的構造

平澤凌 (都立大), 泉拓磨 (都立大/国立天文台), 藤田裕 (都立大), 今西昌俊 (国立天文台), 和田桂一 (鹿児島大), GATOS team

近年、ALMA 望遠鏡での AGN トーラス研究では多相星間物質の分布と動力学に着目してその物理的起源に迫る研究も進んでいる。その実態を与えるモデルの一つに、AGN 放射が駆動する原子アウトフローとその一部が円盤に戻ることで成り立つ、幾何学的に厚い噴水構造がトーラスを形成する放射駆動噴水モデル (Wada 2012, ApJ, 758, 66) がある。そして近傍 AGN の一つである Circinus 銀河での CO(3-2) と [CI](1-0) の ~ 10 pc 分解能観測では、このモデルが支持された (Izumi et al. 2018)。一方、AGN トーラスの幾何学的厚みはエディントン比に依存して変化することが統計的観測から期待される。よって本研究では、トーラス構造のエディントン比依存性を調べるため、Circinus 銀河 ($\lambda_{Edd} = 0.2$) よりエディントン比が小さい NGC 5643 (17 Mpc, $\lambda_{Edd} = 0.05$) と NGC 6300 (14 Mpc, $\lambda_{Edd} = 0.013$) で、Izumi et al. (2018) の手法を適用しトーラス構造を調査した。用いるデータは ALMA で取得した ~ 10 pc 分解能の CO(3-2) と [CI](1-0) 輝線で、それぞれ分子、原子ガスの分布を反映する。NGC 5643 では CO 円盤の上空に [CI](1-0) のみで強い放射が見られ、上空方向への原子アウトフローだと解釈できる。NGC 6300 では、[CI](1-0) は CO(3-2) と比較して放射が AGN 付近に集中している。その [CI](1-0) のスペクトルは、single Gaussian-like な CO(3-2) スペクトルとは異なり線幅の広い成分も加えた double Gaussian 的であり、これも AGN の X 線放射で CO 分子が破壊されて生じた原子アウトフローだと解釈できる。本発表では、これらの放射駆動噴水モデルの重要要素である原子アウトフローの検出に加え、速度場のモデル化から得た分子、原子円盤の幾何学的構造を Circinus 銀河と比較し、そのエディントン比依存性について議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

S04a ガウス過程回帰による活動銀河核ダストトーラスの多波長同時反響マッピング

吉田篤洋, 峰崎岳夫, 恒次翔一, 水越翔一郎, 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)

活動銀河核 (AGN) のダストトーラスは、中心領域に存在する超巨大ブラックホールの成長と母銀河へのフィードバックを理解する上で重要な構造である。ダストトーラスはコンパクトであり直接撮像による観測は困難であるが、ダスト反響マッピングにより内縁構造を調べることができる。AGN の近赤外線放射はトーラス最内部に存在する降着円盤放射で温められた高温ダストからの放射であると考えられており、我々は $K(2.2 \mu\text{m})$ バンドでのダスト反響マッピングによりトーラス内縁の半径光度関係を確立した。そこで我々は近赤外線多波長ダスト反響マッピングによるトーラス内縁部の半径温度構造の調査を考えた。これまでのところ波長 $1-2 \mu\text{m}$ での観測例は少数であり、波長 $2-5 \mu\text{m}$ では半径光度関係による統計的な比較にとどまっている。

本研究では $1-2 \mu\text{m}$ での多波長同時ダスト反響マッピングによる解析を行った。波長間遅延差の正確な測定のためには降着円盤起源の変光成分の除去が重要である。そこで我々は Zu et al. (2011) の降着円盤放射の影響を考慮したガウス過程回帰による反響マッピング解析アルゴリズムを多波長同時測光データに適用できるように拡張した。次に近傍 Seyfert 銀河を模した観測シミュレーションを行い、数年の期間・十数日以下の間隔での観測で $1-2 \mu\text{m}$ における波長間遅延差が測定可能であることを確認した。これを受け MAGNUM プロジェクトで得られた 17 個の Seyfert 銀河に対し $J(1.25 \mu\text{m})$ 、 $H(1.65 \mu\text{m})$ 、 $K(2.2 \mu\text{m})$ バンドで多波長同時測光ダスト反響マッピング解析を行った。結果、波長間遅延差は降着円盤放射に直接照らされているダスト粒子の温度から予想されるより遥かに小さかった。講演では他の観測例との比較や予想されるトーラス内縁部の描像について触れたい。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

S05a The Large fraction of Luminous Obscured Quasars at Cosmic Noon Unveiled with Deep and Wide Multiwavelength Survey

Bovornpratch Vijarnwannaluk, Masayuki Akiyama(Tohoku U.), Malte Schramm(Saitama U.), Yoshiki Matsuoka(Ehime U.), Yoshiki Toba (NAOJ), Yoshihiro Ueda (Kyoto U.), Marcin Sawicki (Saint Mary's U.), Stephen Gwyn (Canadian Astronomy Data Centre), Janek Pflugradt (Tohoku U.)

Statistical studies of X-ray selected AGN indicate that the fraction of obscured AGN increases towards high redshifts where at least 50% of high redshift AGN are obscured. Due to the large amounts of gas and dust most of the accretion activity is hidden away from large optical surveys which are heavily biased against obscuration but can be revealed through deep X-ray datasets. We investigated the obscured fraction of luminous quasars at high redshift ($z > 2$) using a unique sample of 306 X-ray AGN detected in the 2-10 keV band constructed by matching the deep and wide XMM-SERVS X-ray point-source catalog with a multiwavelength photometric catalog covering from u^* to $4.5\mu\text{m}$ bands within the HSC-Deep XMM-LSS field. Assuming a parametric X-ray luminosity and absorption functions, we estimate that $76_{-3}^{+4}\%$ of luminous quasars ($\log L_X(\text{ergs}^{-1}) > 44.5$) above $z > 2$ are obscured by Hydrogen column density ($\log N_H$) larger than $\log N_H(\text{cm}^{-2}) > 22$. The fraction indicates an increased contribution of obscured accretion at high redshift than that in the local universe. Both the obscured and unobscured $z > 2$ AGN show a broad range of SEDs and morphology but follow the expected trend of red-obscured and blue-unobscured SEDs. An investigation of the host galaxy and obscuration properties using SED fitting with the addition of mid-infrared and far-infrared datasets is ongoing.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

S06a Optical IFU Observations of GOALS Sample with KOOLS-IFU on Seimei Telescope: Initial results of 9 U/LIRGs at $z < 0.04$

Yoshiki Toba (NAOJ), Satoshi Yamada (RIKEN), Kazuya Matsubayashi, Shuhei Koyama (U. of Tokyo), Koki Terao, Hideyuki Izumiura, Hiroyuki Maehara (NAOJ), Aoi Moriya, Aoi Hashiguchi, Naomi Ota, Mio Shibata, Anri Yanagawa (Nara Women's U.), Yoshihiro Ueda, Kouji Ohta, Shoji Ogawa (Kyoto U.), Naoki Yonekura, Tohru Nagao, Masaru Kajisawa, Yoshiki Matsuoka (Ehime U.), Masayuki Akiyama (Tohoku U.), Akatoki Noboriguchi (Shinshu U.), and collaborators

We present ionized gas properties of 9 local ultra/luminous infrared galaxies (U/LIRGs) at $z < 0.04$ through IFU observations with KOOLS-IFU on Seimei Telescope. The observed targets are drawn from the Great Observatories All-sky LIRG Survey (GOALS), covering a wide range of merger stages. We successfully detect emission lines such as $H\beta$, $[\text{O III}]\lambda 5007$, $H\alpha$, $[\text{N II}]\lambda\lambda 6549, 6583$, and $[\text{S II}]\lambda\lambda 6717, 6731$ with a spectral resolution of $R = 1500\text{--}2000$, which provides (i) spatially-resolved ($\sim 200\text{--}700$ pc) moment map of ionized gas and (ii) diagnostics for active galactic nucleus (AGN) within the central $\sim 3\text{--}11$ kpc in diameter for our sample. We find that $[\text{O III}]$ outflow that is expected to be driven by AGN tends to be stronger (i) towards the galactic center and (ii) as a sequence of the merger stage. In particular, the outflow strength in the late-stage (stage D) mergers is about 1.5 times stronger than that in the early-stage (stage B) mergers, which indicates that galaxy mergers could induce AGN-driven outflow and play an important role in the co-evolution of galaxies and supermassive black holes (Toba et al. 2022, PASJ, in press.) (arXiv:2208.11824).

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

S07a ポーラーダストを考慮した多波長データ解析で探る合体銀河中の共進化過程

山田智史(理化学研究所), 上田佳宏(京都大学), Martín Herrera-Endoqui (UNAM), 鳥羽儀樹 (NAOJ), 宮地崇光 (UNAM), 小川翔司, 植松亮祐(京都大学), 谷本敦(鹿児島大学), 今西昌俊 (NAOJ), Claudio Ricci (Diego Portales Univ.)

銀河と巨大ブラックホールの共進化を理解する上で、急激な進化段階の種族である超/高光度赤外線銀河 (Ultra-/Luminous Infrared Galaxy; U/LIRG) が注目されている。その多くは合体中の銀河であり、特にそれらの星形成、活動銀河核 (Active Galactic Nucleus; AGN) に加え、ブラックホールと銀河を繋ぐアウトフローを含めた活動の解明が重要視されている。Yamada et al. (2021) では 57 天体の近傍 U/LIRG に対して X 線スペクトル解析を行い、星形成や AGN の活動を調査した。しかし、アウトフローは多波長観測でも検出例が少なく、合体進化の全体像は未解明である。そこで我々は、アウトフローのダスト成分と予想されるポーラーダストの赤外線放射に着目した。X 線を含めた多波長放射モデル (2022 年春季年会の S13a で報告済み) を用いれば、トラスとポーラーダストの赤外線放射を分離できるため、星形成、AGN、アウトフローの系統的調査が可能になる。

本研究では、Yamada et al. (2021) のサンプルに対して我々のモデルを適用し、X 線から電波までの多波長データ解析を行った。まず、合体に伴いポーラーダストの温度は減少することが分かった。また、その温度と AGN のダスト昇華半径からポーラーダストの物理的サイズを推定し、そのサイズが数十 pc (合体初期) から約 1 kpc (合体末期) に発達することが判明した。さらに、星形成率と AGN 光度を比較することで、星形成が先に誘発し、AGN も遅れて促進すること、両者の成長率の比は総じて銀河とブラックホールの質量比と一致することも分かった。以上は、合体時には活発な星形成、AGN、アウトフローを伴って共進化を引き起こす描像を示唆する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

S08a 合体直前の超大質量ブラックホールバイナリ候補 SDSS J1430+2303 における広輝線スペクトル変化のモニター観測

星篤志(東北大学), 山田亨(宇宙科学研究所), 太田耕司(京都大学)

多くの銀河の中心には超大質量ブラックホール (SMBH) が存在し、銀河同士が衝突合体を繰り返し銀河が進化していく過程において、超大質量ブラックホールバイナリ (SMBHB) を形成することが考えられる。セイファート 1 型である天体 SDSS J1430+2303 (赤方偏移 $z = 0.08105$) は SMBHB を持ち、2022 年 1 月までに行われた可視光、紫外線、X 線におけるモニター観測では光度曲線が周期変動し、その周期が減衰していることから、今後、数ヶ月から 3 年以内を高確率で合体すると予想されている大変興味深い天体である (Jiang et al. 2022)。2005 年の SDSS による分光観測では狭輝線に対して 1 つの広輝線のプロファイルが観測されていたが、その後、パロマー 200 インチ望遠鏡及び観測装置 DBSP による 2022 年 1 月の分光観測では 3 つの広輝線 (中心の BLR 成分とそこから対称的にシフトした 2 つの BLR 成分) が出現した。SMBHB の軌道距離が縮まることで活動性が増し、複雑な BLR を生み出したと考えられる。本研究では天体 SDSS J1430+2303 を、せいめい望遠鏡及び観測装置 KOOLS-IFU を用いて追観測を行なった結果を報告する。2022 年 5 月と同年 7 月に行なった H α 領域の観測結果の比較を行うことで対称的にシフトした BLR 成分はあまり大きく変化しないものの、中心の BLR 成分が有意に変化していることがわかった。これは更なる SMBHB の軌道進化に伴って大きく変化し合体の直前のフェーズであると考えられる。また起源不明のピークが他の観測によって消失したと報告されていたが、再び本観測において出現していることがわかった。SMBHB の合体によって引き起こされる現象を理解する手助けとなる希少かつ貴重な研究機会であるため、今後もモニター観測を引き続き行なっていく必要がある。

[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](#)

S09b 可視変光選択された活動銀河核から迫る銀河とブラックホール共進化

星篤志 (東北大学), 山田亨 (宇宙科学研究所)

大多数の銀河中心には観測と理論的観点から超大質量ブラックホール (SMBH) が存在すると考えられている。近傍の宇宙において、SMBH 質量 (M_{BH}) と銀河のバルジ質量が強い正相関をもつことから、SMBH と銀河が共進化していることが示唆されている。しかし、SMBH と銀河がどのように相互作用を起こし、共進化がいつ、どのようなメカニズムで起きているか未だ議論が続いている状況である。本研究では、すばる望遠鏡 HSC-SSP サーベイの Ultra Deep の COSMOS 領域におけるデータセットから、可視変光選択された低光度 ($i_{\text{AB}} \leq 25.9$) かつ高赤方偏移 ($z \leq 4.26$) の AGN サンプルを用いてブラックホールと銀河の調査を行った。前回の年会では SMBH 質量をアーカイブ分光データから得られる広輝線と AGN 光度から BH 質量を行なった結果を報告した。低質量の SMBH を高赤方偏移で同定することは、ブラックホールのシード (seed) から母銀河と共進化する (前の) 過程を調査する上で非常に重要であり、可視変光選択された AGN サンプルを用いることで遠方の低質量の SMBH を検出できることを実証した。今回は AGN 成分と母銀河成分を正確に分離して星質量を算出するために、X 線から MIR までの測光データから CIGALE-v2022 を用いて SED フィットを行った結果を報告する。本サンプルにおける $M_{\text{BH}} - M_*$ 関係の相関は比較的弱いことがわかり、(M_{BH}/M_*) 比が、赤方偏移に限らず M_{BH} に強く依存していた。さらに M_{BH} の大きい AGN は BH の成長が遅く銀河形成が早い傾向があり、反対に M_{BH} の小さい AGN は BH の成長が早く銀河形成が遅い傾向があった。これは近傍の宇宙において銀河とブラックホール共進化が成立する重要な相互作用の一つと示唆される。

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

S10b Subaru HSC COSMOS 時間軸サーベイデータを用いた光度変動 AGN サンプルの構築 II: 分光フォローアップ観測

小久保充, 富永望 (国立天文台), Andy Goulding, Jenny Greene (プリンストン大学), 田中雅臣 (東北大学), 安田直樹, 諸隈智貴 (東京大学), Transient Working Group

1 型活動銀河核 (AGN) で観測される紫外可視降着円盤連続光の一般的性質として、数ヶ月 - 数年タイムスケールの光度変動を示すことが知られている。この性質を用いれば、可視光時間軸サーベイデータから光度変動を示す天体として 1 型 AGN を選択することができ、従来の可視/赤外測光カラーに基づく AGN 選択法では検出できないような、母銀河に埋もれた低光度 AGN の無バイアスサンプルを構築できる可能性がある。我々は、すばる望遠鏡 HSC による COSMOS 領域時間軸サーベイで得られた *grizy* 5 バンド光度曲線データ (2017 年-2021 年; 限界等級 $i \sim 26$ mag/epoch) を用いて、光度変動 1 型 AGN を探査した。その結果、COSMOS UltraDeep/Deep 領域において計 4000 天体の光度変動 1 型 AGN サンプルを得た (2020 年春季年会)。本講演では、Magellan/IMACS およびすばる/FOCAS を用いた光度変動 1 型 AGN サンプルに対する多天体分光フォローアップ観測の結果を報告する。我々が分光に成功したおよそ 100 天体の AGN とアーカイブ分光データを組み合わせることによって、UltraDeep 領域における分光コンプライトネスは 78% に達した。本分光観測の結果から、光度変動による AGN 選択法により、赤方偏移に依存しない magnitude-limited な 1 型 AGN サンプルを構築できることを確認した。さらに、極めて大きな光度変動を示す AGN、 g/r バンドドロップアウト AGN、近接 AGN ペアといった稀な天体に対する分光観測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](#)

S11b X線で検出された Stripe 82 領域内の 1 型クェーサー ($0.2 < z < 0.8$) における、銀河とブラックホールの共進化

瀬戸口 健太, 上田 佳宏, 植松 亮祐 (京都大学), 鳥羽 儀樹 (NAOJ), Junyao Li (UIUC), John Silvermann (Kavli IPMU)

巨大ブラックホール (SuperMassive Black Hole; SMBH) と銀河バルジの共進化を解明する鍵は、スペクトルから SMBH 質量 (M_{BH}) を推定できる 1 型の活動銀河核 (Active Galactic Nuclei; AGN) である。しかし、1 型の母銀河の放射は AGN の放射による影響を受けるため、その性質の調査は 2 型に比べ困難である。本研究では 1 型の母銀河と AGN の成分を分離するため、Subaru Hyper-Supreme Cam のイメージを解析し母銀河測光データを抽出したカタログ (Li et al. 2021) を使用した。多波長観測領域 Stripe 82 内の X 線探査で検出された 1 型クェーサー ($0.2 < z < 0.8$) 77 天体に対し、電波から X 線までのスペクトルエネルギー分布 (Spectral Energy Distribution; SED) を解析し AGN と母銀河の性質を調べた。クランプ状トーラスとポーラーダストを考慮した X-CIGALE code (Yang et al. 2020) により 61 天体の SED 再現に成功し (reduced $\chi^2 < 10$)、以下の結果を得た。

M_{BH} と星質量の比は、近傍宇宙 ($z \sim 0$) における M_{BH} -バルジ質量 (M_{bulge}) 比に近いことが分かった。サンプル天体の母銀河は銀河円盤成分が卓越しているため、近傍宇宙と比べるとバルジに対し SMBH が overmassive であることを示唆する。また、AGN 光度-星形成率は、SMBH と母銀河の同時進化を仮定した際に近傍宇宙の $M_{\text{BH}} - M_{\text{bulge}}$ 関係から推測される比より大きく、SMBH 進化が支配的であることを示唆する。さらに、紫外線/可視光-X 線スペクトル指数と紫外線光度およびエディントン比は、過去の研究で報告された関係と同様の逆相関を持つことが分かった。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

S12b MIR Search of Heavily Obscured $z > 3$ AGN Missed in X-ray Surveys

松本尚輝, 秋山正幸, Bovornpratch Vijarnwannaluk (東北大学)

X 線放射は AGN の観測的特徴として最も特徴的かつ普遍的なもの 1 つであり、X 線での AGN 探査は高い完全性と信頼性を示している。しかし、Compton-thick AGN のような、周辺的气体やダストによって硬 X 線帯域までもが非常に強い減光を受けているような AGN 種族については、X 線探査で見つけることが困難となる。初期宇宙におけるこのような種族は、中心の超大質量ブラックホールと、その母銀河のバルジ成分の急激な形成と成長段階を示していると言われており、重要な種族である。

このような $z > 3$ の X-ray non-detected Heavily Obscured AGN の探査の方法として、私たちは Rest frame $2 - 6 \mu\text{m}$ のダスト放射に注目した。 $z > 3$ では Spitzer の MIPS $24 \mu\text{m}$ band に赤方偏移する。これは $\sim 1500 \text{ K}$ の熱的放射に対応し、これによって SED に生じる excess は、AGN の特徴の 1 つとして知られている。そこで MIPS で選択されたサンプルについて、SED fitting code CIGALE (Yang, G., et al. 2022, ApJ, 927, 192) を用いた、XMM-LSS 領域の可視光から電波までの多波長データによる SED 解析を行った。この領域では HSC-SSP と CLAUDS の広範囲 ($\sim 5 \text{ deg}^2$) かつ深い ($\sim 27 \text{ mag}$) 観測データによって多数のサンプルが得られるとともに、Photometric Redshift を決めることができている (Vijarnwannaluk, B., et al. ApJ in press)。

解析の結果、XMM-SERVS での感度限界 ($L_{\text{BOL}} \sim 10^{45.95-47.60} \text{ erg s}^{-1}$ at $z = 3 - 5$) に対応する Bolometric Luminosity よりも高い AGN Bolometric Luminosity で光っているとされた、35 個の X 線非検出天体が候補天体として得られた。その光度は $10^{46-47} \text{ erg s}^{-1}$ と非常に明るいにも関わらず X 線探査で検出できていないため、X 線帯域で非常に強い減光を受けていると予想される。

[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](#)

S13a 一般的な静的球対称時空における準円軌道の近点移動

原田知広 (立教大), 伊形尚久 (学習院大), 齊田浩見 (大同大), 孝森洋介 (和歌山高専)

水星の近日点移動は一般相対論の古典的な試験の一つとして知られています。最近、射手座 A*にある超大質量コンパクト天体を中心天体とする S2 と呼ばれる星の一般相対論的近点移動が観測されました。ブラックホール候補天体では、真空解である Kerr ブラックホールが標準的に仮定されますが、その他のエキゾチックな天体かもしれないという議論もあります。またブラックホール周辺に高密度の暗黒物質や場が存在するかもしれません。強重力場では重力理論が修正を受けており、ブラックホールも Kerr のものとは異なっているという議論もあります。このような非標準的仮定では、近点移動は Kerr ブラックホールの場合とは大きく異なることがあります。特に、いくつかの場合では近点移動が公転の向きに対して逆行することが示されています。このような研究背景のもと、我々はまず重力理論を特定せずに静的球対称時空における準円軌道の近点移動を調べました。我々は重力場に関する近似を行わず 2 つの公式を導きました。そのうちの 1 つは重力質量 m を用いており、もう 1 つは公転角速度 ω_ϕ を用いています。これらの公式は Schwarzschild 時空ではよく知られた公式を再現しますが、一般には、移動は軌道半径 r 上の Ricci テンソルの成分のある組み合わせのために Schwarzschild 時空からずれます。ニュートン重力ではこれらの公式は広がった質量効果が逆行移動を与えます。一方、コンパクト天体の近くで一般相対論のポストニュートン近似を用いると、逆行移動は、軌道上のエネルギー密度が $\epsilon_c = 3Gm^2/(2\pi r^4)$ で与えられる臨界密度を超えることを意味することがわかります。他方で、Schwarzschild 時空における値以上の進行移動は、エネルギー密度が負になることを意味します。ここで得られた結果が銀河中心に対してもつ意味合いについても議論します。本講演は、プレプリント arXiv:2210.07516 [gr-qc] の内容に基づいています。

[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](#)

S14a 低密度領域電流層の安定性についての特殊相対論的判定条件

小出眞路 (熊本大学), 高橋芳太 (国立高専機構苫小牧高専), 高橋真聡 (愛知教育大学)

活動銀河核から放射される相対論的ジェット (AGN ジェット) のエネルギーは、ブラックホールの回転エネルギーから供給されていることが一般相対論的磁気流体 (GRMHD) 数値計算により示唆されている。一方、AGN ジェットのプラズマの供給については対生成による対プラズマ源が提案されてはいるが、未だ明らかとなっていない。我々は AGN ジェットのプラズマ源の問題に関連して、AGN ジェット根元の低密度領域での『二流体不安定性』の特殊相対論的判定条件を前回の天文学会 (2022 年度秋期分科会) で示した。この二流体不安定性によりジェットの根元の反平行磁場を含む低密度・強磁場領域における電流層の不安定性が引き起こされ、磁場の消失が起こり、円盤領域から通常プラズマ (イオン電子プラズマ) が供給される可能性がある。これは、通常プラズマをジェットに供給する機構としてはじめて提案されたモデルである。前回の天文学会では、この判定条件の非相対論的極限の表式を用いて、低密度領域で二流体不安定性が起こり起こるプラズマ密度 n と電流層の厚さ δ の 2 乗の積 ($n\delta^2$) の上限値を示した。しかし、実際の低密度領域では磁化率 σ が 1 を超えていることが GRMHD 数値計算により示唆されていて、相対論的効果が重要になる可能性がある。

我々はすでに得られている『二流体不安定性』判定条件を用いて、低密度領域での電流層の安定性の条件を特殊相対論に拡張した。二流体不安定性が起こる密度と電流層の厚さの 2 乗の積 $n\delta^2$ に上限があることは非相対論的な場合と変わりが無い。 σ が 1 よりも大きい場合、特殊相対論的効果により二流体不安定性の起こる $n\delta^2$ の上限が非相対論の場合よりイオンと電子の質量比 ($m_i/m_e = 1836$) 倍より大きくなることが分かった。これは、特殊相対論的効果により二流体不安定性が顕著に促進されることを示している。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](#)

S15a 大局的な一般相対論的磁気流体降着流の高エネルギーニュートリノ・スペクトル：宇宙線注入率および加速効率依存性

川島朋尚, 浅野勝晃 (東大宇宙線研)

宇宙線の加速源や加速機構を探る上で、高エネルギーニュートリノは重要なスモーキングガンである。活動銀河中心核は IceCube で観測される高エネルギーニュートリノ放射源の有力候補の一つであるが、例えば降着流やジェットの状態やそこに励起される乱流、ブラックホール・スピンの大きさ、これらが宇宙線の加速とニュートリノ放射に与える影響はわかっていない。この問題への定量的なアプローチを行う上で、従来の 1-zone 近似の枠組を超えて磁気流体降着流やジェットの大局的構造を考慮した計算を実施することは重要である。

そこで我々は、3次元粒子加速・ニュートリノ輻射輸送コード *μ*-RAIKOU を開発し (2021 年秋季年会)、一般相対論的磁気流体シミュレーションに基づく超大質量ブラックホール降着流のニュートリノ・スペクトルを計算している。このコードでは、一般相対論的磁気流体中に非熱的陽子を注入し、その運動をトレーサー粒子として追跡しながら乱流加速や圧縮加熱、断熱冷却等を解き、*pp* 衝突によるニュートリノ放射を重力赤方偏移を考慮して計算する。これまでの計算の結果、1-zone 近似に比べ、降着流の大局的構造効果による様々なニュートリノ放射スペクトルの重ね合わせにより、フラットなスペクトルが形成されることを明らかにした (2022 年春季年会)。

本発表では、ニュートリノスペクトルの宇宙線注入率および加速効率依存性について調べた結果を報告する。注入率を増加させると宇宙線量が増えるため加速が起きにくくなり、スペクトルはソフトになることがわかった。一方で加速効率を増加させると、予想通りニュートリノスペクトルはハードになった。また、近年アップデートが報告された IceCube ニュートリノホットスポット NGC1068 のスペクトルとの比較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](#)

S16a ポーラーダストを含む活動銀河核トラスからの赤外線 SED モデル：近傍低質量活動銀河核との比較

小川翔司, 上田佳宏 (京都大学), 和田桂一 (鹿児島大学), 山田智史 (理化学研究所), 馬場俊介, 工藤祐己 (鹿児島大学)

活動銀河核 (Active Galactic Nucleus; AGN) からの中間赤外線は、ダストトラスに加えて極域に広がるポーラーダストから放射される。ポーラーダストは輻射圧で駆動されたアウトフローが起源と考えられており、AGN の活動と周囲へのフィードバックを理解する上で重要な構造である。ポーラーダストの空間構造を直接観測できる例は少ないため、その性質を系統的に調査する上でスペクトルエネルギー分布 (Spectral Energy Distribution; SED) 解析が有用である。赤外線 SED ではトラスとポーラーダストの情報が縮退するが、X 線スペクトル解析からトラス構造を導出することで両者を分離し、ポーラーダスト成分を高精度に評価できる (山田の講演も参照)。しかし、これまでに行なわれてきたポーラーダストからの赤外線放射をグレイボディで近似する手法では、中心核の赤外線 SED を再現できない天体もあった。

そこで私達は 2022 年秋季年会で、クランピートラスにポーラーダストを導入したダスト分布をもとに輻射輸送計算コード SKIRT (Baes et al. 2011) を用いて実際に輻射輸送を解くことで、最近傍 AGN の 1 つである Circinus 銀河の赤外線 SED を再現できることを示した。前回のモデルだと見込角を変えただけでは、2 型 AGN の Circinus 銀河と同様のパラメータを持つ 1 型 AGN である NGC 4051 の赤外線 SED を再現できないという課題があった。今回私達は仮定した構造を改良することで、見込角の違いで Circinus 銀河とともに、NGC 4051 の赤外線 SED を再現することに成功した。本講演ではモデルの詳細を紹介し、近傍 AGN への適用結果も議論する。

[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 より内側領域を考慮した輻射駆動噴水モデルからの X 線スペクトル計算

谷本敦, 和田桂一, 工藤祐己 (鹿児島大学), 小高裕和 (大阪大学)

活動銀河核 (AGN: Active Galactic Nucleus) アウトフローの理解は、超巨大質量ブラックホールと銀河の共進化を解明する上で非常に重要である。実際、近年の X 線観測により、約 50% の近傍 AGN は、質量降着のみならず、アウトフローを持つと考えられている (Laha et al. 2021)。しかしながら、どのように AGN アウトフローが駆動されるのかや AGN アウトフローの密度分布・速度分布は、未だに理解されていない。

SMBH アウトフロー駆動機構の最有力候補は、輻射駆動噴水モデルである。この輻射駆動噴水モデルでは、ダストを含むガスが、降着円盤からの非等方輻射圧により、非定常なアウトフローを形成するモデルである (Wada et al. 2016)。実際、小川らは、輻射駆動噴水モデルからの X 線スペクトルを計算し、セイファート 1 型銀河である NGC 4051 の X 線スペクトル観測データに適用した (Ogawa et al. 2022)。その結果、彼らのモデルは、アウトフローの低速成分 ($\sim 10^2$ km/s) による吸収線を再現した一方、高速成分 ($\sim 10^3$ km/s) による吸収線の再現は困難であった。この原因として、彼らの計算領域 (約 10^{-1} – 10^1 pc) よりも内側を考慮する必要性が示唆されている。

そこで本研究では、より内側領域を考慮した、輻射駆動噴水モデルからの X 線スペクトル計算に取り組んだ。まず私達は、流体計算コード CANS+ (Matsumoto et al. 2019) を利用して、 10^{-3} – 10^0 pc の領域において、輻射流体計算を行った。次に、光電離平衡計算コード XSTAR (Kallman et al. 2004) を用いて、各領域におけるイオンの存在比を計算した。最後に私達は、モンテカルロ X 線輻射輸送計算コード MONACO (Odaka et al. 2016) を利用して、輻射駆動噴水モデルからの X 線スペクトル計算を行った。本講演では、得られた速度分布やイオン分布を紹介し、アウトフローの高速成分による吸収線が再現可能かどうか議論する。

[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](#)

S18a 活動銀河中心核電離ガストーラスからの自由自由放射

工藤祐己, 和田桂一, 馬場俊介 (鹿児島大), 泉拓磨 (国立天文台/都立大)

活動銀河中心核 (AGN) における幾何学的・光学的に厚いトーラスは広輝線 (BLR) が観える 1 型とそれを隠す 2 型を説明する統一モデル (Antonucci 1993; Urry & Padovani 1995) で提唱されたガス構造である。近年の ALMA や VLTI/GRAVITY といった干渉計を用いた観測によって、トーラスを構成する分子/原子ガスやダストの空間分布が明らかになってきている。一方、トーラスに存在する電離ガスはジェットを背景電波源とした自由自由吸収を用いて調べられている (e.g. Kamenon et al. 2001)。しかし、radio-quiet AGN と呼ばれるジェットの寄与が弱い AGN における電離ガスからの放射源についてはよくわかっていない。

我々は輻射流体シミュレーションで明らかになった輻射駆動噴水機構 (Wada 2012; 2015) による幾何学的に厚いガス構造について調べている。この機構は低温ガス円盤から AGN 放射によって噴出した電離/中性ガスの非定常なアウトフローとして説明される。彼らの計算モデルは ALMA で観測された分子/原子ガス (Izumi et al. 2018) やダスト熱放射 (Wada et al. 2016)、X 線スペクトル (Ogawa et al. 2022) 等の再現に成功している。

本講演では、彼らの輻射流体シミュレーションから得られた電離ガス分布を用いて、自由自由放射に関する輻射輸送計算を行った結果を報告する。放射スペクトルエネルギー分布 (SED) を見ると、おおよそ 400 GHz を境に支配的になる放射過程がダスト熱放射から自由自由放射へとなることがわかった。空間分布としては、低温ガス円盤で強く光っていたダスト放射が弱体化してその上空にある 10 pc スケールで広がる電離ガスからの放射が現れる。sub-pc スケールの電離ガスは放射率が大きくなるものの SED への寄与は小さいことがわかった。本講演ではジェットを模した強い電波源に対する電離ガストーラスの自由自由吸収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](#)

S19a 間欠性を利用した磁場優勢ジェットのエネルギー散逸

草深 陽, 浅野勝晃, 大村 匠, 川島朋尚 (東京大学)

Event Horizon Telescope による M87 の偏波観測は、磁場優勢な相対論的ジェットの放出を明らかにした。理論的に活動銀河核ジェットは根本付近で磁場が優勢になると考えられており、数値シミュレーションからも磁場優勢なジェットの放出が確認されている。一方で、MAGIC や H.E.S.S. による M87 のガンマ線の観測からは、粒子優勢な相対論的ジェットがガンマ線の放射源であることを示唆している。他にも Mrk421 等の多くの BL lac 天体でも同様の示唆がガンマ線フレアの観測から得られている。これはガンマ線放射領域がジェットの根本から遠方に位置し、かつジェットが伝播する過程で大量の磁場を散逸させなければならないことを意味している。

磁場優勢領域に於ける磁場散逸効率、衝撃波の場合非常に低く、また粒子加速効率も悪いことが知られている。一方、磁気リコネクションの場合散逸・加速効率ともに高い。それ故磁気リコネクションは有力な磁場散逸機構として考えられているが、大局的に磁場を散逸できるかについては議論の余地が残っている。また、IXPE による Mrk421, 501 の X 線偏光の観測結果は、磁気リコネクションではなく衝撃波による粒子加速を示唆した。

そこで我々は衝撃波による効率的な磁場散逸を達成すべく、相対論的ジェットの間欠性に着目した。1次元相対論的磁気流体数値計算コードを開発し、磁場優勢ジェットを間欠的に注入する数値実験を行った。ジェットの間期には磁場の弱いプラズマを注入することにした。その結果、磁気圧勾配力によってジェットの磁気エネルギーが、ジェットの間にあるプラズマの運動エネルギーへと転換し、その後衝撃波によって熱エネルギーへと散逸されることを明らかにした。これにより、粒子優勢な相対論的アウトフローが生成され、かつ平均エネルギー散逸効率は 10%程度となった。

[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](#)

S20a 電波銀河のジェット・強磁場降着流ハイブリッド多波長放射モデル

久世陸 (東北大学), 木村成生 (東北大学), 当真賢二 (東北大学)

活動銀河核の一部である電波銀河は中心部から相対論的なジェットが噴出していることが確認されている。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。高エネルギーガンマ線は電波銀河中心部の磁場が強い降着円盤 (Magnetically Arrested Disks: MAD) からの放射で説明できるが、電波から X 線の観測データは説明できない。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。我々は、ブラックホール磁気圏での磁気リコネクションによる粒子注入モデルを用いたジェット・降着円盤からの多波長放射モデルを構築し、観測されている多波長の光子スペクトルを説明できる物理状態を考察した。ジェット根元での磁化率パラメータと降着円盤からの放射は質量降着率に依存しているため、質量降着率を介してジェットからの放射と降着円盤からの放射が関係づくことになる。ジェットの非熱的電子によるシンクロトロン放射で電波から X 線が放射され、降着円盤の非熱的陽子によるシンクロトロン放射と熱的電子によるシンクロトロン放射で GeV ガンマ線とミリ波・サブミリ波がそれぞれ放射される。このモデルを M87 に適用し、観測データと比較した結果、観測データを説明するには放射領域での高い磁化率パラメータが要求されることがわかった。磁化率パラメータが高いため、ジェットでのシンクロトロン自己コンプトンは観測されている高エネルギーガンマ線に寄与しない。この時、ジェットでの磁場強度は電波コアシフトで見積もられる磁場強度と整合的になる。他の近傍の電波銀河や BL Lac 天体へもこのモデルを適用し、天体種別による放射領域の物理状態の違いを議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

S21a ブレーザー BL Lacertae が 2020 年に生じたフレアの MAGIC 望遠鏡による観測

今澤遼, 深澤泰司, 須田祐介 (広島大学), Jelena Strišković (University of Osijek), Stefano Truzzi (Universita' di Siena), Dijana Dominis Prester (University of Rijeka), Elina Lindfors (University of Oulu), Giacomo Bonnoli (INAF), 阿部日向, 阿部正太郎, 浅野勝晃, バクスタージョシュア稜, Daniela Hadasch, Moritz Hütten, 稲田知大, 小林志鳳, 窪秀利, Daniel Mazin, 野田浩司, 大谷恵生, 齋藤隆之, 櫻井駿介, 武石隆治, 手嶋政廣, Ievgen Vovk (東京大学), 櫛田淳子, 西嶋恭司 (東海大学), 中森健之 (山形大学), 岡知彦, 寺内健太 (京都大学), 奥村暁, 高橋光成, 田島宏康 (名古屋大学), 山本常夏 (甲南大学), 他 MAGIC Collaboration

BL Lacertae (BL Lac) はブレーザーの一種で、高エネルギー側のスペクトルが GeV 帯域にピークを持つ low-frequency peaked blazar に分類される。2020 年の 8 月から可視光および GeV ガンマ線で急激に増光し、それぞれで観測史上最も高い光度に達した。本講演では、2020 年の 8 月から 10 月にかけて実施された MAGIC の観測結果について、他波長の光度変動と比較して報告する。MAGIC の観測からは数回に渡って TeV 帯域で検出され、一ヶ月以内で 10 倍程度に増光したフレアも観測された。Swift-XRT の長期観測からは、GeV ガンマ線との光度の正の相関が確認されたと共に、二つの異なる傾きの傾向 (低 X 線光度・高 GeV ガンマ線光度と高 X 線光度・高 GeV ガンマ線光度) が見つかった。TeV フレアが観測されたモニター期間にも両者の傾向が現れた。一領域シンクロトロン自己コンプトンモデルに基づくならば、X 線はシンクロトロン放射、ガンマ線は逆コンプトン散乱によるものと考えられるため、両傾向には放射領域におけるエネルギーの磁場優勢、物質優勢の違いが表れている可能性がある。以上の結果を踏まえ、BL Lac のフレア期間における TeV ガンマ線放射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](#)

S22b ガンマ線ブレーザーのライトカーブを用いたフラックス分布解析

中屋和樹, 吉田健二 (芝浦工業大学)

活動銀河核のうち、光度変動が激しく、そのジェットの出射方向が地球を向いているとされているのがブレーザーである。しかしブレーザーはそのジェットの構造や放射機構など、いまだ不明なことの多い天体である。そこで我々は、ブレーザーのライトカーブを用いてガンマ線帯域におけるフラックス分布について解析を行った。フラックス分布を調べることは、その変動の起源や性質を知る上で大きな手がかりとなる。特に、ガンマ線フラックス分布の確率密度関数 (PDF) を統計的に調べることは、高エネルギー放射プロセスの性質に関して推察し、それによって観測されたブレーザーの変動を駆動する根本的なプロセスを制限するのに役立つ。フラックス分布は、対数正規分布でよく表され、またべき乗測とポアソン分布の畳み込みで表現されることもある。したがって我々は、まず Fermi LAT Light Curve Repository (LCR) と Fermi All-sky Variability Analysis (FAVA) のデータを用いて複数のブレーザーについてガンマ線フラックス分布と予想される観測光子数分布のヒストグラムを作成した。そして対数正規分布についてはフラックス分布、べき乗測とポアソン分布の畳み込みについては観測光子数分布のヒストグラムを用いて、それぞれについて最尤法を用いてフィッティングし、近似できる PDF を求めた。ニュートリノとガンマ線の物理的関係を与える様々なレプトンモデルによると、べき乗測指数はフレアリングの寄与がニュートリノ放出に対してどの程度支配的であるかを示す。これらの結果から我々は、ガンマ線放射におけるブレーザーの振る舞いについて考察し、また高エネルギーニュートリノ放出に対するブレーザーの役割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](#)

S23b 大質量ブラックホールへの超臨界降着流と大局的アウトフロー構造

芳岡尚悟 (京都大学), 大須賀健 (筑波大学), 川島朋尚 (東京大学), 北木孝明

成長期の巨大ブラックホール (例えば NLS1) や超高光度 X 線源など、エディントン光度 L_{Edd} 以上で輝く天体が存在する。これらの天体は、輻射やアウトフローを通して周囲環境へ多大なインパクトを与えることが示唆されており、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である。しかし、従来の輻射流体計算では、計算資源の問題で初期角運動量が小さい計算となっており、それが原因で生じた膨らんだ (puffed up) 円盤構造のため質量噴出率が適切に評価されていなかった可能性が指摘されている (Kitaki et al. 2021)。

Yoshioka et al. (2022) では、大きな初期角運動量と大きな計算領域の下、10 太陽質量ブラックホールの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 (2021 年秋季年会, 2022 年秋季年会)、運動学的光度は輻射光度よりも強い質量降着率依存性を持つことを明らかにした。

以上の結果は大質量ブラックホールでも成立するのだろうか。この疑問に答えるために我々は、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、大局的な輻射流体計算に着手している。その結果、大質量ブラックホールのケースでも膨らんだ円盤構造は見られず、滑らかな円盤構造が得られた。降着流・噴出流の詳細な解析から、 10^4 太陽質量ブラックホールへの質量降着率が $370 L_{\text{Edd}}/c^2$ のとき、質量噴出率は $180 L_{\text{Edd}}/c^2$ まで達することを明らかにした。さらに我々は、10 太陽質量の計算の一部に見られていたリミットサイクル不安定性が、初期角運動量を十分に大きくとる限り、大質量ブラックホールの場合でも現れることを確かめた。時間変動の解析により、 10^7 太陽質量のモデルでは、1 年のうちに 1 桁増光し、10 年程度かけて減光することを示唆する結果が得られた。本講演では、Changing-State AGN との関係についても議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

S24b M87 における三日月状シャドウの時間変動とブラックホール・スピンの測定

高橋幹弥 (筑波大学), 大須賀健 (筑波大学), 川島朋尚 (東京大学宇宙線研究所)

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、2017 年に EHT が M87 を観測した時期よりもやや質量降着率が高く、シンクロトロン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、光子リングと円盤からの直接放射の間に暗い領域 (三日月状シャドウ) が現れることを発見した。そして、その有無や幅が BH スピンに依存することも突き止めた。しかし、Kawashima et al. (2019) では簡単のため定常な降着円盤を仮定している。M87 では数日程度のタイムスケールで観測量が変動することが知られており、BH スピンの測定指標として提案された三日月状シャドウが円盤の物理量が時間変化する場合でも現れるかどうかは定かではない。

そこで我々は、三日月状シャドウが現れる状況をより詳細に調査するため、まず降着円盤の密度が dynamical timescale 程度 (数日程度) で変化する場合の BH シャドウを計算した。その結果、密度が一時的に 2 倍程度変化した場合でも Kawashima et al. (2019) と同様の三日月状シャドウが現れ、シャドウが BH スピンの測定指標となり得ることがわかった。本発表では、円盤の質量降着率が様々に変化する場合の三日月状シャドウの振る舞いと今後の展望を議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

S25a A better image of Sgr A* from EHT2017 data

Makoto Miyoshi(NAOJ), Yoshiaki Kato(JMA), & Junichiro Makino(Kobe Univ.)

我々は、M 87 中心ブラックホールについて、the Event Horizon Telescope Collaborators (EHTC) 報告の「約 $40 \mu\text{as}$ サイズのリング」は正しい像ではなく、データ較正不足と EHT の像合成時のバイアスによる artifact であることを示した。

2022 年 5 月、EHTC 発表の Sgr A* のブラックホール像について、その公開データを調査、M 87 の場合と同様、データの寡少さによる artifact であることを報告する。EHTC の撮像結果 ($50 \mu\text{as}$ のシャドー、謎の 3 つの輝点) はその PSF (dirty beam) の特徴と共通している。EHTC のブラックホール像は M87, Sgr A*、どちらも、各々の PSF に現われるくぼみの形、大きさと一致している。EHTC はその像合成の解析過程で PSF 形状の deconvolution に失敗し、PSF の特徴に沿ったリング像を得たと考えられる。

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。その形状は 43, 86 GHz 観測の結果と矛盾しない。ただし、M 87 の場合と比べると、我々の像、EHTC のリング像ともに残差が有意に大きい。EHTC は独自の仮定のもと、Sgr A* の短期時間変動を「止める」データ補正をしているが、この補正が不十分であることに起因すると思われる。別の可能性もある。「止める」前のデータを含め EHTC 公開の全データのクロージャ位相、振幅を調査したが、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り、天体情報が正しく記録されていない恐れがある。この場合も残差は小さくならないだろう。(クロージャは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。)

[スケジュール\(セッション毎\)に戻る](#)

[スケジュール\(全体\)に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

S26a 広帯域 VERA 偏波観測による狭輝線セイファート 1 型銀河の中心核の探査

高村美恵子(東京大学), 秦和弘、本間希樹、小山友明、山内彩(国立天文台)、萩原喜昭(東洋大学)

相対論的ジェットを持つ活動銀河はこれまでに多く観測されている。その多くは楕円銀河である一方近年、母銀河に渦巻銀河を持ち、相対論的ジェットを噴出する狭輝線セイファート 1 型銀河(NLSy1)がガンマ線を含む多波長観測で特定され、注目されている。しかし、この種族の中心核領域は電波で比較的暗く、高解像度観測が未だ乏しいため、ブラックホール近傍におけるジェットの構造やその周辺環境について未だ観測的によくわかっていない。そこで今回我々は、この種族の中で特に重要度の高い 6 天体に着目し、VERA を用いてその中心核の高解像度電波観測を行なった。現在 VERA は観測システムが大幅にアップグレードされ、22/43GHz 帯で両偏波同時受信かつ最大 16Gbps の超広帯域 VLBI 観測が可能である。本観測の結果、6 天体全てにおいて 1 ミリ秒角を切るスケールで中心核の電波画像を取得し、うち 4 天体では 22/43GHz 両バンドで微弱な偏波信号も高い SNR で検出した。さらにこれらの偏波データを用いて中心核方向のファラデー回転量度 (RM) まで取得することに初めて成功した。我々は得られた NLSy1 の観測結果を、これまで電波帯で偏波特性がよく知られている他の活動銀河ジェット種族(クエーサー、BLLac 型天体)と比較したところ、NLSy1 は偏波率及び RM の大きさ共にこれらの AGN 種族とは異なるパラメータスペースに位置することが示された。これは、NLSy1 の中心ブラックホールが他の種族と比べて質量が小さく、高質量降着率を持つ可能性を示唆している。また、43GHz 帯で検出された 4 天体の偏波角は、ジェットの位置角に対して必ずしも揃っておらず、ジェットが複雑な内部構造を示唆するものである。本講演では、本研究の成果と共に今後の展望も述べる。

[スケジュール\(セッション毎\)に戻る](#)

[スケジュール\(全体\)に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

S27a The Jet Collimation Profile Analysis and Core Shift Measurement of M84

Elika Prameswari Fariyanto (the University of Tokyo), Kazuhiro Hada (NAOJ/SOKENDAI), Mareki Honma (NAOJ/the University of Tokyo), Yuzhu Cui (Shanghai Jiao Tong University)

How the jet in active galactic nuclei (AGN) is collimated has been a longstanding issue in astrophysics. Recent high-resolution VLBI analysis for an increasing number of AGN jet sources has greatly improved our observational understanding of jet collimation properties near the supermassive black hole. However, past jet collimation studies were exclusively based on bright and powerful jet sources. Here we focus on the nearby radio galaxy M84, a prototypical source of low-luminosity AGN (LLAGN), which allows us to examine the jet collimation property at the lower end of the jet activity. We analyzed the detailed jet morphology of M84 using the Very Long Baseline Array and archival Very Large Array data to probe the jet geometry from $\sim 10^2$ Schwarzschild radii (r_s) up to $\sim 10^7 r_s$. The well-fitted jet structure exhibits a transition from a semi-parabolic, $W(r) \propto r^{0.72}$, to a conical shape, $W(r) \propto r^{1.17}$, at about $10^4 r_s$. The distance of the collimation break is significantly shorter than those typically seen in more powerful jets, suggesting that the collimation of the low-power jet is less efficient. In addition, we measure the frequency-dependent core shift effect using phase referencing observations and discuss the jet physical properties such as the magnetic field strength.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

S28a Revisit the Dragonfly Galaxy I. High-resolution ALMA and VLA Observations of the Radio Hot Spots in a Hyper-luminous Infrared Galaxy at $z=1.92$

Yuxing Zhong (Waseda University), Akio Inoue (Waseda U.), Kana Morokuma (U. of Tokyo), Yuma Sugahara (Waseda U.), Shinya Komugi (Kogakuin U.) et al.

Radio-loud active galactic nuclei (RLAGNs) are rare among AGN populations. Lacking high-resolution and high-frequency observations, their structure and evolution stage are not well understood at high redshifts. In this work, we report ALMA 230 GHz continuum observation at $0.023''$ resolution and VLA 44 GHz continuum observation at $0.08''$ resolution of the radio continuum emission from a High-redshift Radio and Hyper-Luminous Infrared Galaxy at $z = 1.92$. The new observations confirm the South-East (SE) and North-West (NW) hot spots identified by previous low-resolution VLA observations at 4.7 and 8.2 GHz, and spot a radio core undetected in all previous observations. The SE hot spot has a much higher flux density than that of the NW one, suggesting that the SE one may have its intrinsic flux density Doppler boosted. In this scenario, we estimate the advance speed of the jet head, spanning $\sim 0.2c - 0.4c$, which yields a mildly relativistic case. The projected linear distance between the two hot spots is ~ 15 kpc, yielding a linear size (≤ 20 kpc) of a Compact-Steep-Spectrum (CSS) source. Combined with new high-frequency and archived low-frequency observations, we find that injection spectra of both NW and SE hot spots can be fitted with a continuous injection (CI) model. Based on the CI model, the synchrotron ages of NW and SE hot spots have an order of 10^5 yrs, consistent with the values of $10^3 - 10^5$ yrs observed in CSS sources related to radio AGNs at an early evolution stage.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

S29a 近傍高光度 Swift/BAT-AGN の広帯域 X 線解析

稲葉昂希, 上田佳宏, 小川翔司, 瀬戸口健太, 植松亮祐, 中谷友哉 (京都大学), 泉拓磨 (国立天文台/東京都立大学), 池田裕 (東京都立大学)

活動銀河核 (AGN) は中心の超大質量ブラックホール (SMBH) と降着円盤, さらにそれらを取り囲むトーラスから主に構成される。トーラスは SMBH への質量供給源であるため, その構造を AGN の諸性質と合わせて統計的に調査することは重要である。その際, 硬 X 線 ($\gtrsim 10$ keV) による観測はガス・ダストの吸収を受けずに AGN を検出できるため, 無バイアスなサンプルを作成する上で強力な手段となる。加えて近年, 近傍 (50 ~ 100 Mpc) の AGN に関しては電波望遠鏡 ALMA を用いた Circumnuclear disk; CND スケール (10 ~ 100 pc) での観測が進められており, それらのトーラス構造 ($\lesssim 1$ pc) の調査は上記と相補的な理解をもたらすと考えられる。

そこで, 我々は硬 X 線で検出された Swift/BAT 70 months catalog に含まれる AGN の中でもおよそ等距離 (50 ~ 100 Mpc) にある近傍 AGN22 天体から成るサンプル (池田ほか, 本年会) に対し, 広帯域 X 線スペクトル解析を行うことにより AGN の物理的性質 (e.g., X 線光度 L_X , 視線上の水素柱密度 N_H^{LOS}) を統計的に調査した。その際, 全ての天体の X 線スペクトルに対して XCLUMPY トーラスモデル (Tanimoto et al. 2019) を適用することにより, 個々のトーラスの幾何的構造を求めた。その結果, Ricci et al. (2017) で報告されているエディントン比とトーラス立体角の関係は, エディントン比が大きくない ($\log \lambda_{Edd} \lesssim -1.5$) 天体について一般的に成立していることが確認された。いっぽう, エディントン比の大きな ESO 383-18 は, Ricci et al. (2017) の関係よりも大きなトーラス立体角を示すことが示唆された。本講演では, 解析の手法および上記を含めた結果の詳細について述べる。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

S30a 広帯域 X 線観測で探る電波銀河の中心核構造

中谷友哉, 上田佳宏, 稲葉昂希, 吉武知弘, 植松亮祐, 瀬戸口健太, 小川翔司 (京都大学)

超巨大ブラックホール (Supermassive Black Hole; SMBH) への質量降着の現場である活動銀河核 (Active Galactic Nuclei; AGN) の構造を調べることは, SMBH と母銀河との共進化を理解する上で非常に重要である。なかでもトーラスは空間的に母銀河と SMBH をつなぎ SMBH へ質量を供給することから, 共進化の鍵となる構造である。その構造を調べるためには X 線広帯域観測が最適である。なぜなら, X 線は高い透過力を持ちガスやダストを含む全物質の構造を調査可能だからである。実際, X 線を用いた近傍 AGN のトーラス構造に関する調査は広く行われてきている (e.g., Ogawa et al. 2021)。しかしながら, 強力な AGN ジェットをもちその周辺環境へのフィードバックを考える上で不可欠な種族である電波銀河のトーラス構造は, 未だ系統的な調査がなされていない。

そこで本研究では, Swift/BAT による硬 X 線サーベイで検出された AGN の中で, X 線に対する電波強度の比が特に大きな天体に着目した。先行研究によって SMBH 質量が求められている 6 天体について, X 線天文衛星すざく, Swift, NuSTAR, XMM-Newton による観測データを用いて, 広帯域 X 線スペクトル解析 (0.2 - 70 keV) を行った。現実的なクランプ状トーラスを仮定したモデル XClumpy (Tanimoto et al. 2019) を用いることにより, 全 6 天体についてエディントン比とトーラスカバリングファクター (SMBH を囲む立体角の割合) を推定した。その結果, これらの電波銀河は, 同じエディントン比をもつ電波で明るくないセイファート銀河 (Ricci et al. 2017) と比べて, ほぼ同様のトーラス構造をもつと考えると矛盾しないことが分かった。この事実は, (1) AGN ジェットの生成される条件はトーラスという pc スケールの周辺環境と関連しないこと, (2) AGN ジェットによるトーラス領域への影響は無視できることを示唆する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

S31a Fe-K α 輝線反響マッピング法を用いた NGC 3516 活動銀河核構造の研究 (3)

野田博文、峯田大靖 (阪大理)、峰崎岳夫、鯨島寛明 (東大天文センター)、小久保充 (NAOJ)、川室太希、山田智史 (理研)、堀内貴史 (東大天文センター)、松本浩典 (阪大理)、渡邊誠 (岡山理科大学)、森鼻久美子 (NAOJ)、伊藤洋一 (兵庫県立大理)、川端弘治、深沢泰司 (広大理)

近年、数年のタイムスケールで光度を桁で変化させ、可視光広輝線が観測される 1 型とされない 2 型の間でタイプを変える AGN が多数発見され、Changing-Look AGN (CLAGN) と呼ばれる。質量降着率の変化に伴い、巨大ブラックホールへの降着流が状態遷移を起こし、光度や SED が激しく変化することが原因と考えられるが (Noda & Done 2018)、広輝線領域 (BLR) に物質が出現/消失するのか、物質は常に BLR の場所に存在するが広輝線の生成が ON/OFF されるのかは未だに分かっていない。BLR の生成メカニズムにも関係する重要な課題である。

我々は、CLAGN NGC 3516 を、暗い 2 型の状態になった 2013–2014 年に、X 線天文衛星「すざく」と地上可視光望遠鏡でモニタし、6.4 keV の狭い Fe-K α 輝線 flux が、2–10 keV 連続光から ~ 10 日遅れて追従することを発見した (2021 年秋季年会 S08a)。 ~ 10 光日という半径は、明るい 1 型時に得られた BLR の半径と無矛盾であることから、広輝線が観測されない 2 型の期間も、BLR の半径には物質が存在し、広輝線の生成が止んでいる状態であることが分かった。2 型時には降着流からの輻射圧が 1 桁以上減少するため、BLR が降着流の輻射圧で生成されるモデルでは説明できない可能性がある。さらに、 ~ 10 日の時間遅延を考慮しながら 2–10 keV と狭い Fe-K α 輝線の flux 間の線形回帰を行い、狭い Fe-K α 輝線 flux を、2–10 keV に追従して変動する成分 $((0.2-2.3) \times 10^{-13} \text{ erg s}^{-1} \text{ cm}^{-2})$ と 1 年以上変動しない成分 ($\sim 1.5 \times 10^{-13} \text{ erg s}^{-1} \text{ cm}^{-2}$) に分離した。変動成分は BLR から放射される一方、変動しない成分はトラスや外側の回転分子領域から生成されると考えられる。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

S32a 活動銀河核の軟 X 線超過の起源：温かいコロナの加熱とその安定性

川中 宣太、嶺重 慎 (京都大学)

I 型活動銀河核の連続放射には、降着円盤起源の熱的成分 (UV バンプ) と、円盤を取り囲む $\sim 10^9$ K 程度の高温コロナ (hot corona) 起源の非熱的成分に加えて、電子温度 0.1 – 0.2 keV のコンプトン散乱で説明される軟 X 線超過 (soft X-ray excess) 成分の存在が知られている。この soft X-ray excess は、その強度や現れるエネルギーが中心の超大質量ブラックホールの質量にはあまり依存しない、スペクトル中に輝線・吸収線が見られない、明るい活動銀河核に特によく見られる、などの特徴があるが、その起源については未だによく分かっていない。我々は 2022 年秋季年会で、降着円盤表面付近に電子による散乱が吸収に卓越する領域が必ず形成されること、その領域が「温かいコロナ (warm corona)」として熱的光子をコンプトン散乱することで soft X-ray excess を特徴づける物理量 (温度、光学の厚み、コンプトン y パラメータ) を説明しうることを指摘した。我々はこの温かいコロナ中のコンプトン散乱による冷却が束縛-自由遷移による冷却に卓越する条件の下、円盤の縦方向の密度構造を考慮することでモデルをさらに精密化した。その結果、高温コロナ同様、温かいコロナにも異常加熱が必要になることが分かった。講演では、温かいコロナが熱的に安定的に存在する条件、スムーズなスペクトルを再現するために温かいコロナの厚みに課される条件について報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

S33b X線分光による電波銀河 Markarian 6 の円盤風解析

梶木 大修 (広島大学), Junjie Mao (Tsinghua University, 広島大学), 深澤 泰司 (広島大学)

活動銀河核 (AGN) には中心に巨大質量ブラックホール (SMBH) が存在すると考えられており、SMBH への質量の流入があると考えられている。その様な質量の流入がある一方で、ジェットや円盤風といった質量の流出があると考えられている。ジェットは光速の 99% に及ぶ流出速度を持っており、細く絞られ遠くまで伸びている。それに対して、円盤風は広い開口角を持っていると考えられており、光速の 10% 程度の流出速度を持ち、高い電離度と高い水素柱密度を持つ Ultra-fast outflow (UFO) や光速の 1% 程度の流出速度を持ち、低い電離度と低い水素柱密度を持つ Warm absorber (WA) などがあり、これらの円盤風はそれぞれ UFO は主に 6-8 keV 程度で、WA は主に軟 X 線で、吸収線としてスペクトル上に現れる。しかし、ジェットと円盤風の関係性は未だ理解されていない。AGN の一種である電波銀河はジェットと円盤成分の両方が観測されうる天体であるため、電波銀河はジェットと円盤風の間接関係を調べるのに適した天体である。Markarian 6 (Mrk 6) は電波銀河の 1 つで、Mehdipour & Costantini (2019) で WA が報告されている電波銀河で最水素柱密度が大きい天体である。我々は Mrk 6 の XMM-Newton 衛星の RGS 検出器と EPIC/PN 検出器のアーカイブデータに対して SPEX code を用いて円盤風の解析を行った。この解析により、UFO と WA が同時に存在するモデルと、円盤風の代わりに中性の光電吸収を用いたモデルの、2 つのベストフィットモデルを得た。UFO と WA の存在は有意ではないが、もし UFO と WA が同時に存在するなら電波銀河としては 4 例目の天体となる。そして UFO と WA が存在するモデルを仮定して、X 線精密分光衛星 XRISM のシミュレーションを行うことで、円盤風の解析に XRISM 衛星が必要であることを示した。

[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](#)

T01a 弱重力レンズ効果を用いた銀河団質量推定におけるバイアスの経験的補正法

浜名崇 (国立天文台)

弱重力レンズ効果を用いた標準的な銀河団質量推定法では、観測されたノイズ入りの重力レンズ信号を銀河団の物質分布のモデルからの予想値とカイ二乗法でもって比較することで質量推定を行っている。観測された重力レンズ信号は、上方ノイズを受けた低質量銀河団によるものと下方ノイズを受けた高質量銀河団によるものの両方の可能性があるが、銀河団の質量関数は質量の減少関数であるため、一般に前者の確率の方が高くなる。これにより標準的な弱重力レンズ質量推定法でもって推定された銀河団質量は過大評価されるバイアスがある。この効果を”excess up-scattering mass bias”と称する。本研究では、HSC サーベイを想定した模擬重力レンズ銀河団データを用いてこのバイアスを評価した。また、標準的なベイジアン統計の枠組みを用いて、CDM model から期待されている dark matter halo 質量関数と質量一集中度関係を事前情報とした経験的なバイアス補正法を提案した。この補正法を模擬重力レンズ銀河団データでもってテストした結果、統計的には 10 パーセント以下の精度でバイアスを補正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](#)

T02a 非圧縮性乱流による粒子加速と Abell 2255 メガハローの起源

西脇公祐 (東京大学), Gianfranco Brunetti (INAF), Franco Vazza (University of Bologna), Claudio Gheller (INAF)

銀河団同士の衝突で解放された重力エネルギーの一部は、衝撃波や乱流による相対論的粒子の加速や磁場の増幅を介して非熱的な成分として銀河団中に蓄えられる。実際、これらの非熱的成分からのシンクロトロン放射は、電波ハローや電波レリクとして観測されている。

銀河団の MHD シミュレーションでは、衝突で駆動された乱流が銀河団中心から 1Mpc 程度まで分布しており、これが電波ハローの起源であると考えられていた (e.g., Vazza et al. 2011)。しかし昨年、低振動数域で高い感度を誇る Low Frequency Array (LOFAR) を用いた観測によって、従来のハローの 30 倍以上もの体積を持つ「メガハロー」の存在が確認され、銀河団辺縁でも粒子加速や磁場増幅が効率的に起きていることが明らかになった (Cuciti et al. 2022)。メガハローの領域では質量膠着の過程によって生じた非圧縮乱流が卓越するため、電波ハローとは異なる乱流成分を起源とする可能性が指摘されている。

本研究では、3次元 MHD シミュレーションで得られる乱流強度と、非圧縮性乱流によるリコネクション・ダイナモに伴う粒子加速 (Brunetti & Lazarian 2016) を考慮し、銀河団辺縁における電波放射を議論する。我々はシミュレーションのスナップショットを用いて電子分布の発展を調べ、シンクロトロン放射を計算した。その際、乱流ダイナモの効率と、加速領域における相対論的電子の平均自由行程をパラメータとした。その結果、乱流ダイナモの効率が 5% 程度のとき、相対論的電子の平均自由行程が Alfvén スケール (約 1kpc) の 50% 程度であれば、Abell 2255 のメガハロー (Botteon et al. 2022) で観測されたスペクトル指数を十分に説明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](#)

T03a 衝突早期の銀河団 CIZA1359 で見つかった新しい電波レリック候補

藏原 昂平 (国立天文台), 赤堀 卓也 (国立天文台/SKAO), Kale Ruta (NCRA), 赤松 弘規, Gu Liyi (SRON), 藤田 裕 (東京都立大学), Intema Huib, Van Weeren Reinout (Leiden University), 中澤 知洋, 大宮 悠希 (名古屋大学), 岡部 信広 (広島大学), Patekh Viral (Rhodes University/SARAO), Shimwell Timothy (Leiden University/ASTRON), 滝沢 元和 (山形大学)

銀河団にある広がった電波源は、銀河団衝突に起因する衝撃波によって加速 (フェルミ 1 次加速) された宇宙線電子からの放射であると考えられている電波レリック、乱流加速 (フェルミ 2 次加速) された宇宙線電子からの放射であると考えられている電波ハローなどがこれまで発見されてきた。近年では、衝突早期段階だと考えられる銀河団から新しい電波構造である電波ブリッジが検出された。一方で、これらの宇宙線や磁場は「どこで、どのように加速・増幅されたのか」は未だ十分に理解されておらず、それらを理解するためには、様々な銀河団進化段階にある銀河団を系統的に調査することが必要であると考えられる。

本研究では、X 線観測から銀河団衝突の早期段階にあると示唆されている銀河団 CIZA J1358.9-4750 (CIZA1359) に着目し、インドの電波干渉計である uGMRT を用いて低周波電波 (300–500 MHz) の観測を行った。その結果、単一視野で最高級のイメージダイナミックレンジ ($\sim 38,000$) を達成し、広がった電波構造をこの天体で初めて検出した。検出された電波構造のフラックス密度は 24.04 ± 2.48 mJy であり、電波パワーにして 2.40×10^{24} W Hz⁻¹ に相当し、銀河団にある典型的な広がった電波源と一致するものであった。また、その空間構造は、X 線観測から示唆されている衝撃波面によく沿っており、その電波スペクトル指数 $\alpha = -1.22 (F_\nu \propto \nu^\alpha)$ は、DSA モデルから得られる値と矛盾しない。本講演では、見つかった電波放射の起源について議論・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](#)

T04a Wide-angle tailed 電波銀河からの非熱的放射

大村匠, 浅野勝晃, 西脇公祐 (東京大学), 町田真美 (国立天文台), 酒見はる香 (鹿児島大学)

乱流によるフェルミ二次的な粒子加速現象 (乱流加速) は、非熱的な天体現象を理解する上で重要な加速機構の一つであるが、加速効率など未解明な点が多い。銀河団では、ジェットが母銀河の固有運動にて生じる外圧を受け 'U' 字に折れ曲がった Wide-angle tailed 電波銀河 (WAT) が観測される。ジェットの終端部分である '尾' は、ジェットと共に移流された宇宙線電子が放つ広がった電波放射で形成される。古くからその尾では、電波スペクトルが予想よりハードであることが確認されており、乱流加速の必要性が指摘されてきた (Pacholczyk & Scott 1976)。また近年の高感度・高分解能低周波電波望遠鏡によって、乱流加速を示唆する高精度なデータが続々と得られている (e.g., Ignesti et al. 2021)。そのため、WAT は乱流加速の研究ターゲットとして非常に適している。

そこで我々は宇宙線のエネルギー及び空間分布の時間発展を解く WAT 形成に関する 3 次元磁気流体数値実験を実施し、乱流加速現象が放射に与える影響について調査した。そこで本研究では、乱流加速時間は数値実験グリッドの散逸量と宇宙線エネルギー密度に依存する形で導入し、また簡単化するため、加速時間がエネルギーによらない現象論的なモデルを導入した。本研究では、乱流加速現象を流体スケールで扱うために、加速時間がエネルギーによらない現象論的なモデルを導入し、加速時間は数値実験グリッドの散逸量と宇宙線エネルギー密度に依存する形で決定した。数値実験の結果、電波スペクトルのハード化は、ジェットエネルギーの 3% 程度が乱流加速を通して宇宙線に分配されることで十分説明できることを明らかにした。また、'尾' からは CMB 光子との逆コンプトン散乱による硬 X 線放射が卓越し、加速効率の良い楽観的なモデルでは将来の X 線衛星 FORCE によって放射が検出可能であることがわかった。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

T05a XMM-Newton を用いた衝突銀河団 Abell 3667 の ICM 速度マッピング

大宮悠希, 中澤知洋 (名古屋大学), 田村隆幸 (JAXA/ISAS), 松下恭子 (東京理科大学), 岡部信広 (広島大学), 佐藤浩介 (埼玉大学), 藤田裕 (東京都立大学), 赤松 弘規, Liyi Gu (SRON)

宇宙の成長に伴う銀河団同士の衝突現象は、 $1500\sim 3000\text{ km s}^{-1}$ の速度で銀河団ガス (ICM) を圧縮し、衝撃波を生成することで、ICM 中に巨大なエネルギーを注入する。励起した ICM の動的運動は、ICM の加熱や粒子加速・磁場増幅等に長い時間をかけて散逸するため宇宙の構造進化に大きな影響を与える。しかし、注入エネルギー量や散逸までにかかる時間などの具体的な衝突描像は、未だに解明されていない。

$z=0.055$ に位置する銀河団 Abell 3667 は、外縁部に対称的な巨大電波構造 (レリック) をもつ衝突銀河団である。中心部には、コールドフロントと呼ばれる接触不連続面が存在し、可視光と重力レンズの観測によって、北西からの銀河団がほぼ天球面上で南東の銀河団に衝突した描像が示唆されている。近年では高感度の数百 MHz-数 GHz 電波望遠鏡 MeerKAT によって、1Mpc 程度に広がった電波構造 (ハロー) の存在が観測されているため、Abell 3667 は衝突による動的運動の励起から粒子加速の散逸まで一連の現象を追う上で最適な銀河団である。

我々は、XMM-Newton 衛星を用いた Sanders+20 の手法を適応することによって、Abell 3667 中の ICM の視線速度を求めた。Sanders+20 の手法とは、EPIC-PN CCD 検出器上の Cu-K α 輝線を用いて、CCD の時間依存・位置依存によるゲインの違いを再補正することにより、約 150 km s^{-1} の精度で ICM の動的運動を捉える方法である。この技法で、コールドフロントに沿って $7.5 \times 3'$ ($\sim 200\text{ kpc}$) の 9 領域で ICM 速度を調べたところ、BCG に対して $\pm 1000\text{ km s}^{-1}$ の範囲内であること示唆する結果を得た。ほぼ天球面上で衝突というモデルを補強するものである。また、XRISM 衛星による ICM バルク速度と乱流の観測について議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

T06a RGS を用いた銀河団・銀河群中心および早期型銀河における O, Ne, Mg 測定

福島 光太郎, 小林 翔悟, 松下 恭子 (東京理科大学)

早期型銀河に分布した高温ガス中における重元素の組成比や空間分布からは、それらの起源である恒星の質量放出や超新星による元素合成を調べることができる。我々は XMM 搭載の回折格子 RGS を用いて高精度分光と空間分解の両立を試み、Centaurus 銀河団などの銀河団中心銀河周辺やその他の早期型銀河では、Ne/O 比の空間分布が平坦であることを発見した (Fukushima+22; 22 年秋季年会 福島講演)。これは貴ガス元素と一般元素で分布が一致することを示唆しており、従来の予想に反して、Centaurus 銀河団などの銀河団中心領域では冷たいダストに元素が貯蔵されている、と解釈するのは難しい結果となった。

今回は 8 銀河団の中心銀河および 8 銀河群中心・早期型銀河の RGS による観測データから、中心領域 $60''$ において O, Ne, Mg の元素組成比を測定した。どの天体のスペクトルも 3 温度の電離平衡プラズマ成分からなるモデルで近似することができた。中心領域のガスの温度が 1 keV を超える天体 (主に銀河団・銀河群中心銀河) では、Ne/O, Mg/O 比が $0.8\text{--}1\text{ solar}$ と重力崩壊型超新星モデルによる予測 ($0.7\text{--}1.2\text{ solar}$, Nomoto+06; Sukhbold+16) に一致した。一方で、より低温の天体 (ほとんどが早期型銀河) では、これらの元素の組成比が $2\text{--}3\text{ solar}$ と元素合成モデルや天の川銀河の恒星における組成比とも矛盾する結果がえられた。測定領域におけるガスの量から考えると、後者の天体では比較的最近に恒星から質量放出されたガスの組成比を観測していると推定できるが、前者の天体でみられる Ne/O, Mg/O 比との大きな差を説明することは難しい。観測された組成比はガス温度と強く相関していること、また Ne, Mg の輝線は RGS をもってしても Fe L 輝線群から十分に分離できているとはいえないことから、これらの結果はプラズマコードの系統誤差に依存しているのかもしれない。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

T07a VLBI 観測によるほうおう座銀河団中心の AGN 調査

大木愛花, 沖野大貴 (東京大学/国立天文台), 赤堀卓也 (国立天文台/SKAO), 藏原昂平, 秦和弘, 本間希樹, 永井洋 (国立天文台), 新沼浩太郎 (山口大学), 北山哲 (東邦大学), 上田周太朗 (ASIAA), 石田学 (宇宙科学研究所)

銀河団の中心部では X 線制動放射によって宇宙年齢の間にガスが冷え切ることが予想される一方で、近傍銀河団の多くの観測からは中心ガスの冷却が十分に進んでいないことが確認されており、これは銀河団研究の長年の謎の一つである。この謎に対し、銀河団中心部の銀河に付随した活動銀河核 (AGN) のジェットが、ガスを加熱しているという説がこれまで議論されてきた。近年、ほうおう座銀河団において、全天で唯一、 $\dot{M}_{cool} = 2000 - 4000 M_{\odot} yr^{-1}$ ほどの中心ガスの激しい冷却 (McDonald et al. 2012, 2013; Ueda et al. 2013; Kitayama et al. 2020) と AGN ジェット (Akahori et al. 2020; Timmerman et al. 2021) とが共存している例が発見された。よってこの天体は銀河団進化を理解する上で重要な観測対象と考えられる。

そこで我々は、銀河団中心部の AGN コアや若いジェットを詳しく調べるために、東アジア VLBI 観測網 (EAVN) を用いてほうおう座銀河団中心部の高解像度観測を十分な感度のもとで行った。しかし解析の結果、FRINGE は検出されなかった。ここから我々は次の 3 つの可能性を議論した。(1) 実は拡がった (77 pc—3.2 kpc) 構造を持つ星形成領域や AGN ジェット等が存在し、そこからのシンクロトロン放射が AGN コア放射より優勢である。(2) 観測対象である AGN が観測視野から大幅に外れていた。(3) AGN コアの明るさが激しく時間変動しており、年スケールで一桁以上も暗くなった。本講演ではこれらの結果と議論を報告するとともに、(2)、(3) を検証するために実施予定の大学 VLBI 連携 (JVN) 及び山口短基線干渉計観測の進捗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](#)

T08b Galaxy Group Finding via Unsupervised Clustering

Hai-Xia MA (1), Tsutomu T. TAKEUCHI (1, 2), Suchetha COORAY (1)
(1) Nagoya University; (2) Institute for Statistical Mathematics

Galaxy groups are collections of galaxies comprising about a few to a hundred gravitationally bounded members. Galaxy groups tend to have chaotic structures. This makes it difficult to determine if galaxies in their region of the sky are gravitationally connected to the group. Cross-sectional studies have suggested an association between unsupervised machine learning, especially clustering algorithm, and identifying galaxy groups. In this work, we made use of six clustering algorithms to test their performance on finding galaxy groups from the galaxy catalogs (De Lucia & Blaizot 2007) built from the Millennium Simulation (Springel et al. 2005). We defined purity and completeness to optimize the values of hyperparameters of each algorithm, and evaluate how close they have predicted for the group members comparing to the real halo members. Of these six algorithms, the well-known hierarchical clustering algorithm, Ordering Points to Identify the Clustering Structure (OPTICS), most consistently balances purity rate completeness, even with a high fraction of identified groups which are exactly the same as given in simulated catalog. We conclude that OPTICS is a robust group finder that is effective at determining a wide range of group shapes and sizes with minimal contamination. We anticipate conducting OPTICS on observed galaxy catalogs to construct galaxy groups that may be more reliable than we could get from traditional methods such as Friends-of-friends.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

U01a Extended Delta-map: a map-based foreground removal method for CMB polarization observations

南 雄人 (阪大 RCNP), 市来 淨與 (名古屋大・KMI)

宇宙マイクロ波背景放射 (CMB) の直線偏光の B モードパターンを精度よく測定することで、インフレーション由来の重力波の情報を得ることができる。高精度の測定のためには、天の川銀河由来の前景放射を取り除く必要がある。

我々が以前開発した “delta-map 法” は、前景放射の空間変化を 1 次までの近似で取り込むことに成功した手法で、CMB に含まれるインフレーションのパラメータを精度よく推定できることが示されていた。しかし、推定したい前景放射パラメータの数によって、前景放射除去に使える観測周波数帯の数が制限されていたため、観測周波数帯を増やすことでの感度向上が難しかった。

本講演では、周波数帯の数の制限なしに前景放射を除去できるように拡張した “extended delta-map 法” を紹介する。ベイズの定理を用い、前景放射の共分散行列が “vague” であるという条件で、Likelihood 関数を周辺化することで extended delta-map 法を導出した。新しい手法を評価するために、現実的な CMB・ノイズ・前景放射のシミュレーションを用いた検証をおこなった。前景放射としては、CMB 観測で支配的なシンクロトロン放射とダスト放射を考慮した。検証の結果、大きなバイアスを生むことなく、テンソルスカラー比 r の感度向上ができていることを報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

U02a 宇宙複屈折に対する弱重力レンズ補正

直川史寛 (東京大学), 並河俊弥 (Kavli IPMU), 小松英一郎 (MPA), 鎌田耕平 (東京大学)

宇宙複屈折は宇宙マイクロ波背景放射 (CMB) の旋光現象である。プランク衛星の CMB 偏光データの解析から、その存在が示唆されている (Minami & Komatsu, 2020)。この現象はパリティ対称性を破ることから新物理探索の手がかりとして注目され、近年盛んに議論されている。

宇宙複屈折のシグナルから物理的情報を引き出す際、偏光パワースペクトルの理論予言と観測データとを比較する。CMB のパワースペクトルは、特に小角度領域において重力レンズによって形がゆがめられ、宇宙複屈折のシグナルも例外ではない。先行研究 (Nakatsuka et al., 2022) ではこの効果は無視されていたが、将来の CMB 偏光観測での観測精度の向上を見据えると、特に地上観測においてこの影響の考慮が重要となる。

本研究では先行研究 (Nakatsuka et al., 2022) で用いられた計算コードを改良し重力レンズ効果を取り込んだ。宇宙複屈折のシグナルに重力レンズがどのように影響を与え、将来の観測で得られるデータにその効果がどの程度寄与するのかを議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

U03a 原始重力波起源の CMB 偏光 B モード観測における CMB モノポールの星間吸収の影響

室越琳生 (東北大学), 茅根裕司 (量子場計測システム国際拠点), 梨本真志 (東京大学), 市來淨與 (名古屋大学), 服部誠 (東北大学)

原始重力波起源の CMB 偏光 B モードの検出はインフレーション理論の動かぬ証拠となるが、未だ検出されていない。そのシグナルの検出において前景放射の除去精度向上が最も大きな課題の一つである。Nashimoto et al.(2020) は星間物質による CMB モノポールの吸収がその検出に無視できない影響を及ぼすことを初めて指摘し、この効果を CMB shadow と名付けた。しかし、彼らの結論はオーダー評価に基づいた研究から引き出されている。本研究では、シミュレーションで生成された CMB 観測マップに対して Delta-map 法を用いて成分分離することで、CMB shadow がテンソルスカラー比 r の測定に与える影響を初めて定量評価した。その結果、前景除去の過程で CMB shadow の影響を考慮しないと、原始重力波起源の CMB 偏光 B モードが存在しない場合には誤検出に繋がり、存在する場合は r を大幅に過大評価してしまうことを示した。さらに、Delta-map 法を改良して CMB shadow の影響を除去する具体的な前景除去方法を提示し、LiteBIRD など次世代 CMB 偏光観測実験が目指す、 $r = 0.001$ の原始重力波起源の CMB 偏光 B モード検出感度を達成できることを示した。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

U04a POLARBEAR 実験による CMB 偏光を用いた Axion 探査の現状

茅根裕司, Jake Spisak (UCSD), ほか POLARBEAR Collaboration

暗黒物質の候補として Axion、特に最近ではより広い意味での “Axion-like particle” (ALP) の研究が急速に進められている。宇宙観測を通じて ALP を検証する方法としては、ALP による宇宙論的複屈折を通じた宇宙マイクロ波背景放射 (CMB) の偏光角の回転を利用した方法が知られている。さらに近年では CMB 観測の持つ高頻度性を活用した手法も提案されている。

本講演では、CMB 偏光角度の時間変化 (“AC 振動”) 測定による ALP への制限について報告する。特に、POLARBEAR 実験による観測データを使った AC 振動解析による ALP への制限について発表する。POLARBEAR 実験は約 5 年に渡る観測を実施しており、本講演では 2012 年から 2014 年にかけて行われた重力レンズ効果の検出に特化した観測データを用いた解析について報告する。この期間中の AC 振動解析により、ALP の質量にして 10^{-21} – 10^{-19} eV に制限を与えることが可能である。将来的には POLARBEAR 実験の残りの 3 年を加えた観測データ、さらには現在観測を行っている最新の Simons Array 実験の観測データを加えることで、より広い質量範囲にわたり制限を向上させることができると期待している。

[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](#)

U05a ミニハロー起源の 21cm 吸収線におけるサブハローの寄与～サブハローの熱的・力学的進化の影響～

成瀬元希 (名古屋大学), 市來淨與, 柏野大地, 田代寛之, 長谷川賢二 (名古屋大学), 門田健司 (中国科学院大学)

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る。先行研究により、ホスト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 線の光学的厚みが増加することが示されているが、実際にどの程度この条件を満たすサブハローが存在しうるのは明らかでない。そこで本研究では、サブハローが力学的摩擦や潮汐破壊のような力学的進化を遂げる中で、どのくらい生き残るかを数値流体シミュレーションを用いて調べた。その結果、ホストハローに対するサブハローの質量比が 1 よりも大きい場合、ホストハローの力学的時間のおよそ 5 倍程度以下のタイムスケールで中心に落ち、潮汐力によって破壊されてしまうことが明らかになった。この効果は、ホストハロー内に豊富にガスが存在する場合にはより強くなり、さらに半分のタイムスケールで潮汐破壊されることも示した。これらの結果から、質量比 1 以下のサブハローのみが 21cm 吸収線のシグナルに寄与し得ると考えられる。加えて本発表では、サブハローの熱的進化についても流体シミュレーションの結果を用いて示し、潮汐破壊を免れたサブハローが本当に 21cm 吸収線に寄与するか否かを詳しく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](#)

U06a Peculiar velocity reconstruction of galaxy clusters with CNN for the kSZ effect

Hideki Tanimura (Kavli IPMU), Nabila Aghanim (CNRS, France), Victor Bonjean (IAC, Spain), Saleem Zaroubi (University of Groningen, Netherlands)

Cosmic matter flow is caused by a gravitational field mainly produced by dark matter, and it allows to probe the evolution of the density field in the Universe; however, the dark-matter distribution is not directly observed. Galaxy distribution follows the cosmic density field, but their distributions are not linearly related.

Therefore, we used the convolutional neural network (CNN) to train the relation between galaxy distribution around a galaxy cluster and its peculiar velocity, particularly in the line-of-sight (LOS) direction. The training was performed using the SDSS's mock galaxy and galaxy cluster catalogs constructed from the Magneticum cosmological hydrodynamic simulations. Our network was tested both in real and redshift space of simulated galaxies, respectively, and we found that the cluster's peculiar velocity is successfully reconstructed in both cases. Then, we applied this trained network for the actual SDSS galaxy distribution and reconstructed the LOS velocities of $\sim 30,000$ galaxy clusters. The cluster's LOS velocity causes the spectral distortion of cosmic microwave background (CMB) radiation due to the scattering of intracluster gas, so-called the kinetic Sunyaev Zel'dovich (kSZ) effect, and thus this kSZ signal is sensitive to the gas distribution. While the current kSZ measurements are limited due to the weakness of the signal, we detected the kSZ signal at 4.9 sigma using the cluster's reconstructed velocities and found their gas distribution extending beyond the virial radius. This measurement can be used to constrain baryonic feedback effects, such as star formation, supernova, and AGN.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

U07c CMB レンズ解析における観測誤差の伝搬 III

永田竜 (宇宙航空研究開発機構), 並河俊弥 (Kavli IPMU)

宇宙論的距離の光源から到来する信号は、光路に存在する密度分布に起因した重力レンズ効果によって像が変調される。マイクロ波背景輻射 (CMB) 偏光地図の重力レンズ効果は近年の観測実験により検出が始まっており、宇宙論研究の大きな情報源となることが約束されている。

重力レンズ効果によって生じた統計の非等方性は、それを援用することで重力レンズポテンシャルを再構築する解析を可能ならしめる。CMB 偏光の観測はレンズ源となる質量分布を明らかにするための強力な手掛かりである。

今回の講演では、CMB 地図の高解像度データを供給する地上観測において、重力レンズポテンシャルを広い領域で再構築する試みについて紹介する。観測に付随する系統誤差が重力レンズポテンシャルの推定に与える影響を検討し、コヒーレントな観測が可能な領域と推定誤差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](#)

U08a 高赤方偏移における CMB 重力レンズ信号抽出の新手法開発

新居 舜, 宮武広直 (名古屋大学素粒子宇宙研究所), 西澤淳 (岐阜聖徳学園大学), John Peacock (エディンバラ大学)

CMB 重力レンズ効果は、大規模構造がつくる非一様な重力場により CMB 光子の測地線が歪曲する現象である。CMB 重力レンズ信号は、CMB 温度揺らぎの収束場成分と既知の銀河をトレーサにした大規模構造の空間分布との角度相互相関を取ることで、赤方偏移と角度の関数として抽出される。CMB 重力レンズ信号の理論予言は、宇宙の構成物質/エネルギーの種別や重力法則に依存する。そこで、信号と予言を比較することで宇宙論および基礎物理が検証できる。近年、M.Biliki and J.Peacock 2018 では、2MPZ/WISExSCOSMOS/SDSS で構成された銀河カタログを用いた CMB 重力レンズ信号の抽出を行い、構造形成の成長率の時間進化に新たな制限を与えた。一方で、さらに高赤方偏移における重力レンズ信号はほとんど測定されていない。これは、重力レンズ源の赤方偏移の不定性が大きいことに起因する。

我々は、高赤方偏移における CMB 重力レンズ源の kernel 関数を、赤方偏移が既知の参照となる銀河サンプルとの角度相互相関を取ることでデータから復元する新たな手法を定式化し、データを用いて手法の概念実証を行った。この手法では、重力による銀河クラスタリングが銀河の種別によらず共通しているという情報から、レンズ源の赤方偏移分布が推定される。CMB 重力レンズの収束場は Planck PR4 (Carron et.al 2022) のデータを用いる。レンズ源となる銀河サンプルは、NVSS/SUMSS (1.4GHz) と VLASS/RACS (3GHz) の電波銀河をそれぞれ用いた。参照サンプルは $0 \lesssim z \lesssim 3$ の SDSS の分光銀河を用いた。本講演では、手法について説明した後、データ解析の結果と理論予言との比較に基づく考察について、報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

U09a 4重像重力レンズによる宇宙の小スケール密度揺らぎの探査 I-手法と計画-

井上 開輝 (近畿大), 峰崎 岳夫 (東京大), 松下 聡樹 (ASIAA), 中西 康一郎 (国立天文台), 藏原 昂平 (国立天文台)

10kpc 以下のスケールにおける宇宙の物質密度揺らぎは、宇宙論的スケールにおけるダークマターや矮小銀河の性質を理解する上で極めて重要であるが、その観測的制限は容易ではない。しかし、多重像を持つ重力レンズ天体では、強い重力レンズ効果により、視線方向にある小質量ハローやボイドによる弱い重力レンズ効果を著しく強めることができるため、それらの重力的效果を観測することが容易になる。最近の理論的研究により、銀河ハローによる重力レンズ効果を受けた重力レンズクエーサーにおけるフラックス比の異常の主要因は、レンズ天体である銀河ハローのサブ構造ではなく、視線方向の銀河間空間に存在する小質量のハローやボイドであることが示唆されている。しかし、その観測的証拠は未だ乏しい。視線方向の全ての小構造による重力的效果は、重力レンズの光源までの距離にほぼ比例することから、小構造による重力レンズ効果と重力レンズの光源の赤方偏移との間には、正の相関があることが予想される。一方、重力レンズ天体である銀河ハローのサブ構造が主要因であれば、光源とレンズ間の距離は極めて大きいため、そのような相関は存在しない。私たちは、視線方向の銀河間空間に存在する小質量構造の存在を確かめるため、いくつかの重力レンズクエーサーをミリ波サブミリ波干渉計 ALMA で観測することを提案する。クエーサーのジェットやクエーサー核周辺のダスト、さらにホスト銀河の分子ガス輝線などの多重像のディレンズ (重力レンズ効果を取り除くこと) により、10kpc 以下のスケールにおける宇宙の物質密度の分布に対して観測的な制限をつける。今回は 1 天体に対する観測結果について報告し、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](#)

U10a 弱重力レンズサーベイにおける Super sample covariance の高速・精密な計算手法の開発

寺澤凌 (東京大学, Kavli IPMU), 高田昌広 (Kavli IPMU), 高橋龍一 (弘前大学), 西道啓博 (京都大学)

宇宙の大規模構造の統計量 (重力レンズ、銀河クラスタリングなど) において、Super sample covariance (SSC) は観測領域より長波長の密度揺らぎとのモードカップリングによって生じる誤差共分散 (covariance) への寄与で、非線形領域で主な誤差源となる (e.g. Takada & Hu, 2013)。観測量の SSC は観測量の長波長揺らぎへの応答で記述することができる。この応答を計算する手法として、Separate universe simulation という手法がある (e.g. Li et al., 2014)。この手法では、長波長揺らぎが正、負の領域をそれぞれ閉じた宇宙、開いた宇宙とみなし、長波長揺らぎを背景膨張宇宙の変化として取り込んで宇宙論的 N 体シミュレーションを行う。我々は、Separate universe simulation と平坦な宇宙でハッブルパラメータを変化させた宇宙論での N 体シミュレーションを行い、物質やハローのパワースペクトルの長波長揺らぎへの応答が、ハッブルパラメータの変更への応答と非線形領域までよく一致することを確認した (Terasawa et al., 2022)。曲率を持つ宇宙の場合と異なり、平坦な宇宙については既にパワースペクトルの精密な理論モデルがあるため、平坦な宇宙の理論モデルから計算したパワースペクトルの有限差分からハッブルパラメータへの応答を精度よく計算できる。我々はこのハッブルパラメータへの応答を用いて SSC を高速かつ正確に計算する手法を開発した。

本講演では開発した SSC の計算手法についての詳細と、弱重力レンズサーベイにおけるコスミックシア、銀河-銀河レンズ、銀河クラスタリングの角度パワースペクトルの covariance への応用を述べる。また、同じくシミュレーションを用いない解析的な従来手法であるハローモデルによる計算との比較も行う。

[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](#)

U11a 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。本講演ではガス密度プロファイルや圧力プロファイルにおけるモデルパラメータの間の関係や、機械学習手法を用いて銀河団の形成過程とこれらのパラメータの関係付けなど、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](#)

U12a Fast semi-analytical method for generating mock line intensity maps

Rui Lan Zhang, Kana Moriwaki (UTokyo), Ken Osato (Chiba University)

Large-scale structure provides information that allows us to constrain the cosmological model. For accurate constraints to be obtained, large volumes need to be mapped to reduce cosmic variance. In contrast to galaxy surveys which detect individual galaxies, line intensity mapping measures the emission of spectral lines from many sources collectively, thus providing a much faster way to map the universe. Its ability to detect contributions from faint galaxies undetected in galaxy surveys also means that deeper redshifts can be probed. In order to analyse the intensity mapping observations, it is necessary to generate many independent realisations of mock intensity maps to evaluate statistical uncertainties and systematic errors.

We develop a new method for generating mock data using a dark matter halo catalogue generator, PINOCHIO, based on Lagrangian Perturbation Theory, allowing it to be faster than conventional N-body simulations. We adopt an approach derived from the empirical model EMERGE to assign SFRs to these halos according to their growth rate, which is found to be correlated with the amount of baryonic material that is available, and halo mass, which is linked to the efficiency of converting this material to stars. We then use the obtained SFRs to assign emission lines to halos. This enables the rapid generation of many mock intensity maps, with cubic volumes as large as 1Gpc on a side at redshift ~ 2 . We also evaluate the effect of varying the model on the resulting power spectrum. These mock catalogues can be used for estimating uncertainties in future constraints as well as training machine learning models for data analysis.

[スケジュール\(セッション毎\)に戻る](#)

[スケジュール\(全体\)に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

U13a 初期統計的非等方性の非線形構造形成への影響

松原隆彦 (高エネルギー加速器研究機構), 片山友貴 (総合研究大学院大学/高エネルギー加速器研究機構), 浦川優子 (高エネルギー加速器研究機構)

本研究では初期ゆらぎの統計的非等方性が、非線形の構造形成にどのような影響を与えるのか調べる。宇宙論的大スケールでは宇宙マイクロ波背景放射などの観測により、宇宙の等方性は高い精度で確認されている。一方で非線形性が重要となる Mpc 以下の小スケールでは、統計的非等方性の有無はまだよくわかっていない。本研究では初期統計的非等方性が非線形の構造形成にどのような影響を与えるのか調べるため、まず非常に簡単な設定のもとで摂動論領域内において解析を実行し定性的な理解の構築を目指した。具体的には、初期スペクトラムの非等方性として奇パリティ及び偶パリティの ansatz を仮定し Schmittfull らによって開発された高速フーリエ変換による手法を用いて 1 ループスペクトラムの計算を行った。本講演ではこの結果を報告する。

[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](#)

U14a Investigation of the HSC unrecognized blends with machine learning

Maxime Paillassa (Nagoya University), Suchetha Cooray (Nagoya University), Hironao Miyatake (Nagoya University), Atsushi J. Nishizawa (Gifu Shotoku University)

A serious issue in astronomical imaging surveys is blending, the phenomenon of apparent source image overlap. When a blend image is considered as a single object, it is referred as unrecognized. Leveraging the Hubble Space Telescope observations, we suspect that a significant fraction of the COSMOS field sources in the Hyper Suprime Cam (HSC) survey are unrecognized blends. Though, their identification remains challenging and their impact on important cosmological probes such as source shapes and photometric redshifts is not totally unveiled. In this work, we extend the GalSim COSMOS data set (Mandelbaum et al., 2012) and use it within the LSST DESC BlendingToolKit software to simulate realistic HSC multiband blend images. Thanks to this new data set, we are able to train a machine learning blend identifier based on Convolutional Neural Networks (CNNs). We show that it can achieve better blend identification performance than that of the HSC pipelines (Bosch et al., 2017) and propose an analysis of the impact of the blend configuration on the accuracy of the CNN and the HSC pipelines.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

U15a 測光観測におけるバリオン音響振動の測定

石川 慶太郎, 砂山 朋美 (名古屋大学), 西澤 淳 (岐阜聖徳学園大学)

銀河観測の手法は大きく分けて分光観測と測光観測がある。分光観測は、銀河までの正確な赤方偏移は分かるが、明るい銀河しか観測できない。一方、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り、サンプル数を十分確保出来るので統計的精度も期待できる。しかし測光観測は銀河までの赤方偏移推定の不定性が大きい。そこで本研究ではバリオン音響振動を用いて、測光観測に付随する系統誤差 (photo- z error) について達成すべき水準を示す。

このため、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、photo- z 効果をモデル化してその効果を mock を用いて検証した。結果、以下の3つのことがわかった。

1つ目に、データに付随する photo- z error の大きさがわかる場合、その大きさをモデルに組み込むことができるので、約 50 Mpc/h に相当する photo- z error が入ったデータを用いても 2σ の統計誤差で 4% まで BAO の位置を制限できる。もし仮に photo- z error の大きさがわからなくとも、spec- z テンプレートまたは photo- z 1% テンプレートでフィットすることで (統計誤差は大きくなるものの) BAO の位置はバイアスされない。

2つ目に、約 50 Mpc/h に相当する photo- z error までなら、3次元二点相関関数は宇宙論検定に使用できる。

3つ目に、photo- z 分布が Gaussian ではなく skew した non-Gaussian である場合でも、分布の平均と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](#)

U16b 超高エネルギー宇宙線の銀河間物質に対する影響

井上進 (文教大 / 理研)

超高エネルギー宇宙線 (UHECR) が銀河間空間を伝搬する際、滞在時間が最も長いのは、宇宙で一番体積比が大きい、いわゆる cool, diffuse intergalactic medium (CIGM) の領域と考えられる。CIGM は、主に低温 ($T \lesssim 10^4$ K)・低密度 ($\rho_b/\bar{\rho}_b \lesssim 10$, $\bar{\rho}_b$ は宇宙の平均バリオン密度) のガスで構成され、クエーサー吸収線系の Lyman alpha forest (LAF) として観測される。一方、UHECR のうち、あるエネルギー以下のものは、銀河間磁場中の拡散時間が宇宙年齢以上になり、CIGM に十分浸透できないと思われる (magnetic horizon 効果)。magnetic horizon が効くエネルギーは、銀河間磁場の強度と相関長に依るが、観測ではほとんど制限されていない。その理論予想は $\sim 10^{13}$ eV から $\sim 10^{18}$ eV まで、大きな不定性があり、それに依って、CIGM 中の UHECR 密度も異なる。

本講演では、LAF ガスの熱エネルギー密度と比べ、CIGM 中の UHECR のエネルギー密度が無視できず、magnetic horizon エネルギーの値によっては、卓越する場合もありうることを示す。そして、UHECR が CIGM に対して何らかの熱的・力学的影響を及ぼしている可能性を検討する。また、この効果の LAF における観測可能性について推測し、最近の観測から示唆されている、未知の非熱的加熱や長距離に及ぶフィードバック効果との関係について触れる。さらに、今後の UHECR 観測から magnetic horizon 効果を制限することの重要性や、LAF 観測から、UHECR の起源について間接的な制限が得られる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](#)

U17a 宇宙論的重力レンズ効果における平面近似の精度の検証

谷口貴紀 (東京大学/Kavli IPMU), 高田昌広 (Kavli IPMU), 高橋龍一 (弘前大学)

宇宙論的重力レンズ効果 (以後コズミックシア) は、光では直接観測できない宇宙の大規模構造のダークマターの空間分布を復元できる強力な手段である。コズミックシアパワースペクトルの宇宙論解析では、天球上のシアを2次元平面に投影する平面近似がよく用いられている (e.g. Hikage et al 2019)。平面近似を行うことで天球上の注目している領域のみを取り出すことができ、波数空間への変換も通常のフーリエ変換で記述できるようになる。一般に平面近似は適用する領域の面積が十分に小さければ精度の良い近似とされているが、平面近似で推定したパワースペクトルの精度は定量的に評価されていなかった。本研究では、全天ガウシアンシア場に平面近似を適用してコズミックシアパワースペクトルを測定し、インプットパワースペクトルと比較することで平面近似の精度を検証した。一例としては、赤道付近、2500 平方度の正方形領域について平面近似を適用しパワースペクトルを測定すると、インプットパワースペクトルから1パーセント程度系統的にずれることがわかった。さらに、赤緯が大きい領域を平面近似する際には、各点でシアを定義している基底を補正した上で平面化する必要があることを示し、各点における基底のずれがパワースペクトルに与える影響を定量的に評価した。例えば、赤緯 45 度を中心とした 2500 平方度の正方形領域について、シアの基底の補正をせずに平面近似を適用すると、インプットパワースペクトルと比較して 20 パーセント程度小さいパワースペクトルが得られることがわかった。

本発表では、平面近似で推定したパワースペクトルの精度について、近似を適用する領域の面積や赤道座標の依存性を含めて包括的に取り扱う。また、赤緯が大きい領域に平面近似を適用する際のシアの補正方法について取り扱い、任意の点で適切な平面近似を可能とする手法について議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

U18a 3次元 Lyman- α forest の宇宙論解析における天体形成フィードバック効果の影響

中島光一郎 (名古屋大学), 西澤淳 (岐阜聖徳学園大学), 田代寛之, 長谷川賢二, 柏野大地, 村上広椰 (名古屋大学), 長峯健太郎 (大阪大学), 清水一紘 (四国学院大学)

2010 年代以降、Ly α forest の 3 次元分布を用いた宇宙大規模構造の測定が行われるようになった。近年では Ly α forest 観測によって、従来の銀河観測では到達できなかった赤方偏移 $z > 2$ でのバリオン音響振動 (BAO) の測定が行われており、高赤方偏移での強力な宇宙論検証の可能性が注目されている。一方で Ly α forest 観測による赤方偏移空間歪み (RSD) を利用した解析は未だ行われていない。これに対し先行研究ではクエーサーとの相互相関を用いる手法が提案されている。ただし現在提案されている相互相関のフィッティングモデルは、天体形成のフィードバックなどが効果的になる小スケールにおいて破綻することが知られている。宇宙論制限のさらなる精度向上のためには小スケールにおける相互相関への理解が不可欠である。

本研究では、GADGET3-OSAKA コードによる宇宙論的流体シミュレーションの結果を用いて Ly α forest の 3 次元パワースペクトルを測定した。本シミュレーションにはフィードバック効果を変えたモデルがあり、それぞれのモデルで 3 次元パワースペクトルを測定するとともに、小スケールにおけるフィードバック効果の影響を調査した。さらに、Ly α forest の自己相関に加え銀河との相互相関も測定し、先行研究で提案されているフィッティングモデルの妥当性および宇宙論パラメータの決定精度についても評価した。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

U19a すばる HSC の 3 年度データと SDSS データを用いた宇宙論解析: 弱重力レンズ信号とクラスタリング信号の測定

宮武広直 (名古屋大学), 杉山素直 (東京大学/Kavli IPMU), Surhud More (IUCAA), 高田昌広 (Kavli IPMU), Xiangchong Li, Rachel Mandelbaum (Carnegie Mellon University), Michael Strauss (Princeton University), 他 HSC collaboration

宇宙定数 Λ と冷たいダークマター (cold dark matter; CDM) を宇宙の主成分とする Λ CDM 宇宙模型は、Ia 型超新星による距離測定、宇宙マイクロ波背景放射の温度異方性、銀河分布のバリオン音響振動など様々な宇宙論的観測を説明することに成功してきた。ただし、宇宙定数とダークマターの正体は全く不明である。従って Λ CDM 宇宙模型を徹底検証し、これらの正体を探ることは現代宇宙論における急務である。2010 年代に入り、弱重力レンズ効果や銀河クラスタリングを用いた後期宇宙の構造形成の測定、特に宇宙論パラメータの一つである $S_8 \equiv \sigma_8 \sqrt{\Omega_m/0.3}$ (σ_8 は物質のパワースペクトルの振幅、 Ω_m は現在の物質のエネルギー密度) を高精度で制限することが可能になった。さらに、ここ数年の最新の観測結果から、後期宇宙で測定した S_8 と宇宙マイクロ波背景放射を用いて前期宇宙で測定した S_8 の間の不一致が指摘されている (S_8 不一致問題)。我々はすばる望遠鏡 Hyper Suprime-Cam (HSC) 3 年目の銀河形状カタログと Sloan Digital Sky Survey (SDSS) Baryon Oscillation Spectroscopic Survey (BOSS) による分光銀河サンプルを組み合わせることにより、宇宙論的弱重力レンズ効果 (コズミック・シア) と銀河弱重力レンズ効果、銀河クラスタリングを測定し、後期宇宙の構造形成から S_8 を制限する宇宙論解析を行った (3x2pt 解析という)。本講演ではこれらの信号の測定および系統誤差の定量化について発表する。

[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](#)

U20a すばる HSC の 3 年度データと SDSS データを用いた宇宙論解析: Λ CDM モデルにおける宇宙論パラメタ推定

杉山素直 (東京大学), 宮武広直 (名古屋大学), Surhud More (IUCAA), 高田昌広 (Kavli IPMU), Xiangchong Li, Rachel Mandelbaum (Carnegie Mellon University), Roohi Dalal, Michael Strauss (Princeton University), 西道啓博 (基礎物理学研究所), 白崎正人 (国立天文台), 他 HSC collaboration

宇宙定数 Λ と冷たいダークマター (cold dark matter; CDM) を宇宙の主成分とする Λ CDM 宇宙模型は、Ia 型超新星による距離測定、宇宙マイクロ波背景放射の温度異方性、銀河分布のバリオン音響振動など様々な宇宙論的観測を説明することに成功してきた。ただし、宇宙定数とダークマターの正体は全く不明である。従って Λ CDM 宇宙模型を徹底検証し、これらの正体を探ることは現代宇宙論における急務である。2010 年代に入り、弱重力レンズ効果や銀河クラスタリングを用いた後期宇宙の構造形成の測定、特に宇宙論パラメータの一つである $S_8 \equiv \sigma_8 \sqrt{\Omega_m/0.3}$ (σ_8 は物質のパワースペクトルの振幅、 Ω_m は現在の物質のエネルギー密度) を高精度で制限することが可能になった。さらに、ここ数年の最新の観測結果から、後期宇宙で測定した S_8 と宇宙マイクロ波背景放射を用いて前期宇宙で測定した S_8 の間の不一致が指摘されている (S_8 不一致問題)。本講演では、すばる望遠鏡 Hyper Suprime-Cam (HSC) 3 年目の銀河形状カタログと Sloan Digital Sky Survey (SDSS) Baryon Oscillation Spectroscopic Survey (BOSS) による分光銀河サンプルを組み合わせ測定した宇宙論的弱重力レンズ効果 (コズミック・シア) と銀河弱重力レンズ効果、銀河クラスタリングの 3 つの信号 (前講演) を使った、 Λ CDM 宇宙模型における宇宙論パラメタの推定結果を発表する。本研究で推定された S_8 パラメタの値は宇宙マイクロ波背景放射観測から推定される S_8 よりも小さく、 Λ CDM 宇宙模型を超えた新しい物理を示唆する可能性がある。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

U21a SDSS 及びすばる HSC で測定した弱重力レンズ、クラスタリング、赤方偏移歪みを用いた一般相対性理論の検証

中沢准昭(名古屋大学), 宮武広直(名古屋大学), 砂山朋美(名古屋大学), HSC SSP サーベイコラボレーション

宇宙の加速膨張は現代宇宙論における最も大きな問題の一つである。一般相対性理論を基礎として構築された Λ CDM 標準模型は宇宙の加速膨張を宇宙項によって説明しているが、その正体は全くの不明である。そこで、一般相対性理論が宇宙論的スケールで適用できるかどうかの検証を行うことは非常に重要である。本研究では、一般相対性理論を宇宙の大規模構造から E_G と呼ばれる銀河弱重力レンズ、銀河クラスタリング、赤方偏移歪みを組み合わせた観測を測定することで検証する。宇宙の大規模構造の測定量の一つである赤方偏移歪みからは $\beta = f/b$ が得られる。ここで線形成長率 f は一般相対性理論の破れに敏感であるが、銀河バイアス b は銀河サンプルに依存するものであり赤方偏移歪みの測定からは得ることができない。ところが、赤方偏移歪みに用いた銀河サンプルの弱重力レンズ信号とクラスタリング信号を組み合わせることで銀河バイアス b を測定することが可能である。よって、この3つの観測を組み合わせることで、線形成長率 f を取り出すことが可能である。本研究では CMASS 銀河サンプルの弱重力レンズ効果を HSC の3年目までのデータを用いて測定した。本講演では、重力レンズ効果の測定結果における系統誤差の検証、CFHTLenS を用いた先行研究と比較して統計誤差がどれだけ改善す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](#)

U22a HSC 3年目と BOSS のデータを用いた一般相対論の検証

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(HSC)の3年目のデータと Sloan Digital Sky Survey(SDSS)の銀河カタログを用いて、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($3 \times 2pt$)を組み合わせて、重力理論を検証することを目指している。この際、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、その第一歩として、上の3つの量の理論モデルを構築し、擬似データにおける解析を行う。これにより、入力した宇宙論パラメータが再現されるかを確認する。

[スケジュール\(セッション毎\)に戻る](#)

[スケジュール\(全体\)に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

U23a 光子の観測と波動

藤原ケイ

宇宙での多くの現象は光子の観測によって確認されるものであるが、光子そのものに対する理解は十分とは言えない。即ち あやふやな光子像で宇宙像・宇宙論が組み立てられている、ということになる。筆者はこの状況の改善に向けて、光子を含む全ての物質の新たな構造モデルを提案し、その一部として光子の挙動について議論している。

<2020 秋>新物質モデル (含む 光子) 発案。 ”光子の減衰=赤方偏移”

<2021 春>新光子モデルで反射・屈折・干渉等の基礎的な挙動を解釈。 ”致命的な齟齬は無い”

<2022 春>新光子モデルからの宇宙像など。 ”宇宙 は膨張していない”

これまでの検討では、新モデルに欠陥は見当たらず、推測できる宇宙像等は通説と大きく異なるがより合理的に見える。

今回は 光子の波動と観測を取り上げる。

現代物理学では”光子は粒子であり、波動でもある”とされるが、新光子モデルでは”直線*”であり、波動性を持たない。結論的に言えば 波動は光子がつくる二次的な現象であり、光子が観測などで消滅する時、周囲の物質を振動させるが、この振動を光子の波動と勘違いしている、ということである。観測しているのは振動である。この確認と、光子の物質からの生成・消滅過程および再生成過程の議論に繋げたい。

* ”直線”：光子は直線状の ”プラス/マイナス始粒の交互配列・二重鎖の自力運動体”。

長さがエネルギーで、”自力運動”に伴う長さ減少が ”赤方偏移”。

[スケジュール\(セッション毎\)に戻る](#)

[スケジュール\(全体\)に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

U24a 宇宙の誕生過程は空であるか

青島正和

青島正和 宇宙の誕生過程は天文好きにとって大変興味深い課題である。また仏教用語の空や無などが重用されている分野でもある。理趣経は「宇宙の真理」を空の属性である性質や相などで説明している。この手法を用いて本研究は「宇宙の誕生過程」が空か否か検討した。 1 理趣経では「宇宙の真理は空である。それは定まった性質がないことに通ずる。 それは定まった相がないことにも通ずる。それは定まった目的がないことにも通ずる。 宇宙の真理は光り輝いている」とされている。空の属性である、性質、相、目的、光が空を支えしており、他の空の理論展開にも使用可能なことが想定される。 2 宇宙の真理が空なら「宇宙の誕生過程は空であるか」も理論展開できると思える。結論を言えば、五蘊皆空(すべては空)と言われているので空のはずである。 3 研究は凡夫の脱煩惱のツールであり、仏のさとりにへの道(理趣)を説いている理趣経と般若心経の2観法を用いた。成果理趣経と般若心経を用いると、空の成立手順は 空→無→性質→相→光輝く→目的 ようになる。宇宙誕生後数分後までの属性は順当に決定され空である。しかし 38 万年後の晴れ上がり前は、光では宇宙が見えなく光輝いていないので空でない。「すべては空」と矛盾する。来年の検討課題である。

[スケジュール\(セッション毎\)に戻る](#)

[スケジュール\(全体\)に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

U25a 素粒子を作ったビッグバンの以前のブラックホールの痕に、宇宙の中心のブラックホールができた。

小堀しづ

1. ビッグバンの痕の素粒子を作ったブラックホールの球体のエネルギーはいくらか。ビッグバン痕のブラックホールとは、このブラックホールの中で、素粒子ができたブラックホールです。ビッグバン痕のブラックホールの球体のエネルギーはビッグバン痕のブラックホールの球体の体積×ビッグバン痕のブラックホールの球体の中間の軌道のエネルギー、とする。ビッグバン痕のブラックホールの球体の体積 $=V_1 = 4/3 \times 3.14 \times (5.976\text{Km})^3 = 893.5\text{Km}^3$ 中間の軌道のエネルギー $=E_1 = 1.161 \times 1035\text{JKm} \div (5.976\text{Km} \div 2) = 1.161 \times 1035\text{JKm} \div 2.988\text{Km} = 3.886 \times 1034\text{J}$ ビッグバン痕のブラックホールの球体のエネルギー $=V_1 \times E_1 = 893.5\text{Km}^3 \times 3.886 \times 1034\text{J} = 3.472 \times 1037\text{JKm}^3$ 2. 宇宙の中心のブラックホールの球体のエネルギーはいくらか。宇宙の中心のブラックホールの球体のエネルギーは宇宙の中心のブラックホールの球体の体積×宇宙の中心のブラックホールの球体の中間の軌道のエネルギー、とする。宇宙の中心の2.631 × 10¹³ 太陽質量の半径は2.804 × 10¹⁰Km です。宇宙の中心のブラックホールの球体の体積 $=V_2 = 4/3 \times 3.14 \times (2.804 \times 10^{10}\text{Km})^3 = 92.299 \times 1030\text{Km}^3$ 宇宙の中心のブラックホールの球体の中間の軌道のエネルギー $=E_2 = 2.524 \times 1027\text{JKm} \div (2.804 \times 10^{10}\text{Km} \div 2) \div (9 \times 10^{10}) = 2 \times 106\text{J}$ 宇宙の中心のブラックホールの球体のエネルギー $=V_2 \times E_2 = 92.299 \times 1030\text{Km}^3 \times 2 \times 106\text{J} = 1.846 \times 1038\text{J Km}^3$ 3. 即ち、ビッグバン痕のブラックホールの球体のエネルギーは3.472 × 10³⁷Jであり、これが宇宙の中心のブラックホールの球体のエネルギー1.846 × 10³⁸Jに成った。

[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](#)

U26b ダークマターの生成とダークエネルギー

小堀しづ

ダークマターは電子のラブが自転して作った磁気的光子を自分の側に置くことによってできた。電子のラブが1秒間に作る磁気的光子のエネルギーは $4.468 \times 10^{-31} \text{aJ}$ です。aはその時の電子のラブの公転軌道です。即ち、10 - 20m時代の電子のラブの公転軌道は、10 - 20mなので、1秒間に作る磁気的光子のエネルギーは、 $4.468 \times 10^{-31} \times 20\text{J} = 4.468 \times 10^{-11}\text{J}$ です。この事により、その時代の電子のラブが1秒間に作る磁気的光子のエネルギーを算出する。更に、その時代に電子のラブが1秒間に作る磁気的光子のエネルギー=その時代の秒数×1秒間に作る磁気的光子のエネルギーを計算します。その値は14.1Jです。全ての時代の電子のラブが1秒間に作る磁気的光子のエネルギーは14.1Jです。それで、10 - 24m時代、10 - 23m時代、10 - 22m時代、10 - 21m時代、10 - 20m時代、10 - 19m時代、10 - 18m時代、10 - 17m時代、10 - 16m時代、10 - 15m時代、にできる磁気的光子のエネルギーを合計すると、 $14.1\text{J} \times 10 = 141\text{J}$ です。但し、10 - 14m時代は、145億年とするので、 $14.1\text{J} \times 1.45 = 20.445\text{J}$ です。合計で、 $141\text{J} + 20.445\text{J} = 161.445\text{J}$ です。陽子のラブが作る磁気的光子のエネルギーは1836分の1ですから、無視する。原初の原子数は1079個です。現代原子数は4%です。96%は電子のラブで、 0.96×1079 個です。1個の電子のラブが現代まで作った磁気的光子のエネルギーは161.445Jですから、宇宙のダークエネルギーは、 $0.96 \times 1079 \text{個} \times 161.445\text{J} = 154.9872 \times 1079\text{J}$ です。但し、145億年間のエネルギーのロスを考慮していません。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V101a 福井工業大 10 m アンテナに搭載する Phased Array Feed の開発

山崎康正 (大阪公大), 浅山信一郎 (SKAO), 宮本祐介 (福井工大), 岩井一正 (名古屋大), 川口則幸 (国立天文台), 小川英夫, 大西利和 (大阪公大)

福井工業大学が有する L, S, X, Q 帯 衛星通信用 10 m アンテナを電波望遠鏡化することを計画している。1.4 GHz 帯 HI 輝線や突発天体などの特に低周波帯の天体観測を目標として、その効率を最大化するためのマルチビームシステムを新たに構築する。フィードホーンアレイの場合、ビーム数はホーンの開口サイズ (数波長) によって制限され、さらに低周波帯では構造・機械的に多くのホーンを設置することは困難である。一方、近年 ASKAP など天文観測に実用化され始めている技術である Phased Array Feed (PAF) では、半波長程度の素子アンテナをアレイ化し、それぞれの振幅と位相を制御することで、コンパクトかつ多数のビームを作ることが原理的に可能である。我々は上記アンテナで PAF を天文観測に実用化すべく、その基礎的技術開発を開始した。

本研究では、福井工大口径 10 m アンテナ ($f/D=0.4$) の焦点面に半波長ダイポールアンテナを素子アンテナとして PAF を構築した時のビーム特性について解析を行なった。それぞれの素子アンテナに等振幅、位相の信号を給電した場合、PAF の放射ビームが細くなることに伴って、開口率率は急激に低下する。したがって、振幅と位相の分布を最適化する必要がある。その一つの手法である Conjugated Field Matching (CFM) では、視野中の任意の方向からの平面波を主鏡に照射し、その反射波の焦点面における電場分布を計算し、焦点面上の素子アンテナが受信する電場の複素共役をその素子アンテナに与えることで、求める方向のビームを作ることが出来る。6×6 の PAF に CFM を適用することでビームの対称性や開口率率はホーンに比べると劣るが、70 個以上のビームが作成可能なことをシミュレーションで確認した。

[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](#)

V102a ミリ波帯周波数可変導波管型バンドパスフィルタの開発

堀 裕一, 中島 拓, 小林 和宏, 加藤 渉, 児島 康介, 山本 宏昭, 立原 研悟, 水野 亮 (名古屋大学)

本研究の目的は、ミリ波帯ヘテロダイン受信機において局部発振器 (LO) 由来の雑音成分を低減することである。従来は LO として Gunn 発振器が使われていたが、現在ではマイクロ波帯の信号発生器 (SG) と周波数通倍器の組み合わせを用いることが主流になっている。しかしこの方法で生成される信号は、側波帯の雑音成分が Gunn 発振器と比較して大きく、受信機雑音温度が高くなる傾向が知られている。これに対し、LO 系に主信号のみを通して雑音成分を取り除くようなミリ波帯導波管型バンドパスフィルタ (BPF) を挿入することで、受信機雑音温度が改善することが先行研究で報告されている (入山他 2020 年春季年会など)。しかし周波数が固定である導波管型 BPF は、観測したい対象や目的によって LO 周波数を切り替える必要が生じる天文観測用の受信機には適さない。そこで本研究では、より広範なニーズに対応できる汎用性の高い周波数可変のミリ波帯 BPF を開発した。

この BPF は、導波管型の可変ハイパスフィルタ (HPF) と可変ローパスフィルタ (LPF) を組み合わせたものである。可変 HPF は導波管の遮断周波数を可変にすることで実現しており、そのために導波管壁面の一部が駆動可能となっている。また、可変 LPF は可変 HPF の反射成分を 90° ハイブリッドカップラを用いて取り出すような仕組みとなっている。この BPF を試作して評価したところ、75–105 GHz の範囲で周波数を連続的に変化させることができた。さらにこの BPF は通過帯域幅も可変となっており、例えば中心周波数 90 GHz の時の帯域幅は、2.3–25.4 GHz の範囲で任意に設定できる。挿入損失は、通過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。受信機を用いた実験では、SG+通倍器を原振とする LO 系にこの BPF を用いることで、LO 周波数 85–105 GHz@IF=4–12 GHz において Gunn 発振器と同程度の受信機雑音温度とな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](#)

V103a 広帯域電波天文受信機のための超伝導ペンタバンド帯域通過フィルタの開発

良知 颯太, 作間 啓太, 關谷 尚人 (山梨大学), 赤堀 卓也 (国立天文台)

宇宙大規模構造に付随する中高温銀河間物質の銀河間磁場が UHF 帯での FRB の直線偏波の観測によって検出できる可能性があり (T. Akahori, PASJ, 70, 115, 2018), UHF 帯における広帯域受信機の開発が求められている。しかし, UHF 帯での観測には衛星通信や携帯電話による電波干渉 (RFI) が多いため連続した広帯域観測は不可能である。そのため, 複数の電波静穏な周波数帯を束ねて広帯域に観測することができる小型・高性能 (低損失, 急峻な遮断特性) な超伝導マルチバンド帯域通過フィルタの開発が求められている。そこで, 我々は RFI が空いている帯域 (0.7, 1.3, 1.6, 2.1, 2.7 GHz) を使った超伝導ペンタバンド帯域通過フィルタ (PB-BPF) を開発したので報告する。各帯域の比帯域幅は 11.3 % (0.7 GHz), 17.5 % (1.3 GHz), 11.1 % (1.6 GHz), 4.1 % (2.1 GHz), 2.5 % (2.7 GHz) とした。すべての帯域の給電部を 1 本の共通した給電線のみで個別に調整する給電方法を考案し, 磁界結合と電界結合それぞれによる給電を可能にしたことで, 基板内のスペースに BPF をより高密度に並べることができ, 整合回路の設計自由度を向上させた。その結果, 低損失かつ急峻な遮断特性を有し, ほぼ条件を満たす広帯域な小型 PB-BPF を開発した。講演では超伝導 PB-BPF の具体的な構成及び設計方法について報告する。

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

V104a 広帯域受信機のための高温超伝導マルチバンド帯域阻止フィルタの基礎検討 (2)

湯山 義崇, 作間 啓太, 關谷 尚人 (山梨大学), 赤堀 卓也 (国立天文台), 新沼 浩太郎 (山口大学)

センチ波帯域は FRB, マグネターや AGN のアウトバーストに代表されるような極限環境下の非熱的なコヒーレント放射やインコヒーレント放射を捉えることのできる最も重要な周波数帯である。しかし近年, 衛星通信や携帯電話による電波干渉 (RFI) が増え, センチ波帯域の広帯域観測は困難を極めている。これに対して, 広帯域に渡りすべての RFI を除去するためには帯域阻止フィルタ (BRF) を高密度実装できる小型・高性能超伝導マルチバンド帯域阻止フィルタ (MB-BRF) の開発が必要不可欠である。そこで, 前回の年会 (2022 年 9 月) で 7 つの帯域を持つ広帯域 (6~18 GHz) に渡る超伝導 MB-BRF の設計を通して, 基礎的な設計指針を明らかにした。今回は前回の報告した超伝導 MB-BRF の作製と測定を行ったので報告する。超伝導 MB-BRF (1) の設計条件は中心周波数を 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18 GHz とし, 各帯域の帯域幅を約 100 MHz とした。今回は MB-BRF (1)-1 として 6, 8, 16, 18 GHz の中心周波数を持つフィルタと MB-BRF (1)-2 として 10, 12, 14 GHz の中心周波数を持つフィルタを別々の基板に作製した。各フィルタはシミュレーションと測定でおおよそ一致する結果を得られた。次に MB-BRF (1)-1 と (1)-2 を縦続接続して測定を行った。その結果, MB-BRF (1) の設計条件通りに全ての帯域を持つフィルタが実現できた。接続部によって高周波側に反射の多少の増加が確認されたが, 帯域数を増やすためには MB-BRF を縦続接続することが有効であると明らかとなった。今回行った超伝導 MB-BRF の作製と測定の詳細については当日報告する。

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

V105a 茨城観測局電波望遠鏡搭載広帯域 CX 帯円偏波分離器の開発 4

知念翼, 孫赫陽, 抱江柁利, 米山翔, 川下紗奈, 増井翔, 山崎康正, 野曾原千晟, 長谷川豊, 澤田-佐藤聡子, 岡田望, 小川英夫, 大西利和 (大阪公立大学), 米倉覚則 (茨城大学), 清水裕亮, 松原空洋, 新沼浩太郎, 藤澤健太 (山口大学)

大質量星形成過程のみに付随することが知られている 6.7 GHz メタノールメーザーに加え、2019 年に初めて観測された励起温度が高い 6.2, 7.6, 7.8, 12.2 GHz のメタノールメーザー (Breen et al.2019, MacLeod et al.2019) を観測することで大質量星形成に関する新たな知見が得られることが期待されている。これを受け我々は 6.7 GHz メタノールメーザーの単一鏡・VLBI 観測を行なっている日立・高萩 32m 鏡に搭載する 6.5-12.5GHz 帯 (比帯域:63%) 円偏波分離器の開発を進めてきた (2021 年秋季年会 V133b, 2022 年春季年会 V102a, 2022 年秋季年会 V106a)。

広帯域化に伴い従来のセプタム型円偏波分離器 (比帯域:30%、挿入損失 0.2 dB、反射損失 20 dB、交差偏波分離度 20 dB) ではなく、位相遅延器と Turnstile 型 OMT を組み合わせたモデルを採用した。広帯域化に伴い、新たに導波管同軸変換器 (RF 信号を導波管伝送モードから同軸伝送モードへ変換) の開発も行った (2022 年秋季年会 V107b)。円偏波分離器のシミュレーション結果は目標帯域において反射損失 20 dB 程度を達成した (2022 年春季年会 V102a)。実測結果では目標帯域において挿入損失 0.3 dB、反射損失 18 dB の結果を得ており (2022 年秋季年会 V106a)、交差偏波分離度 20 dB の結果を得た。従来のセプタム型に比べ帯域は 2 倍以上、挿入・反射損失、交差偏波分離度は同程度で、挿入損失劣化による受信機雑音温度の上昇は 0.7 K 程度に抑えられる見込みである。現在は円偏波分離器+導波管同軸変換器+HEMT アンプの冷却受信機の雑音評価の準備を進めている。本講演では CX 帯受信機の開発の進捗について報告する。(本講演は JSPS 研究費 JP21H01120 を受けたものである。)

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V106a 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 (IV)

氏原秀樹 (京大/情報通信研究機構), 市川隆一, 関戸衛 (情報通信研究機構), 宗包浩志, 宮原伐折羅, 小林知勝 (国土地理院), 寺家孝明, 小山友明 (国立天文台), 竹内央 (JAXA), 今井裕 (鹿児島大)

JSPS 科研費 JP18H03828 の助成で開発した次世代高感度マイクロ波放射計用 16-64GHz 程度の広帯域フィードと OMT を改良し、JSPS 科研費 21H04524 にて放射計を兼ねた広帯域 VLBI 受信機を開発中である。これは観測と同一視線上の水蒸気 (22GHz 帯) だけでなく、その測定誤差要因となる雲中の水滴 (30GHz 帯) と酸素 (50GHz 帯) の放射も同時に計測し、観測と同時・同一視線の水蒸気遅延量の補正を目指すものである。しかし全帯域を受信できる冷却低雑音アンプがみあたらないので、当面は OMT で偏波を分けて 26-34GHz で重なり合う 2 つの帯域を高域側・低域側それぞれのポートで受信する仕様とした (冷却できないアンプなら全帯域受信可能)。この OMT はプリント基板を使っており市販の 1.85mm コネクタでは不安定だったが、コネクタを改良して耐久性を向上させた。また Gala-V で開発した 3.2-16GHz のクワッドリッジタイプの OMT を高周波化して製作中である。今回は 18-64GHz (Port0 は 72GHz) で設計したが、Gala-V と同じく加工精度は 0.01mm 程度を前提とすると上限 120GHz 程度は可能と思われる。へら絞りパラボラ鏡を利用した 90cm 可搬局はカセグレンとパラボラの各 1 式を製作することにした。Gala-V 用に開発した広帯域フィードのうち初期の MARBLE (口径 1.5/1.6m) 用フィードのビーム幅はだいたい SKA と同じであったが、感度向上のために MARBLE の光学系を変更したのでフィードは試作と性能測定のみで留まっていた。これを 18-64GHz に高周波化してパラボラ用に使う予定である。

[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](#)

V107a 野辺山 45m 鏡 7BEE 受信機の試験観測 (1) 受信機性能の評価

米山翔, 西本晋平, 西川悠馬, 藤巴一航, 中川凌, 山崎康正, 川下紗奈, 知念翼, 中尾優花, 孫赫陽, 野曾原千晟, 松本健, 増井翔, 長谷川豊, 澤田-佐藤聡子, 大西利和, 小川英夫 (大阪公大), 立松健一, 西村淳, 宮澤千栄子, 高橋敏一, 前川淳, Alvaro Gonzalez, 小嶋崇文 (国立天文台), 酒井剛 (電通大)

我々は野辺山 45m 電波望遠鏡に搭載する 72–116 GHz マルチビーム受信機 (7 BEam Equipment) の開発を推進している。7BEE 受信機は、観測効率向上のために、7beam、両偏波受信可能なシステムとなっている。また、観測帯域内の多くの輝線を効率よく観測するために、導波管型周波数分離フィルターを採用しており、3つの帯域に分離し、それぞれの帯域を SSB 方式で受信している。

2022 年 8 月に本受信機を 45m 鏡へ搭載した。各ビーム、各偏波、各帯域ごとの受信機雑音温度 T_{rx} の測定を行い、典型的に 70 GHz 帯では 60K、80 GHz 帯では 50K、110 GHz 帯では <100K 程度であることが確認できた。同年 9 月に全 7 ビームでファーストライトを達成した。ファーストライト以降の性能試験では、アラン分散を測定し、全 IF で数十秒を超える受信機の時間安定性を確認した。さらに、 T_{sys} と T_{rms} の関係を調査し、 T_{rms} が T_{sys} の $1/\sqrt{t}$ (t :積分時間) に比例しており、積分時間に応じて T_{rms} が改善されていることが確認できた。また、既存の他の受信機に比べて天体のアンテナ温度 T_a^* が約 20% 低い問題が確認されている。 T_a^* はシステム雑音温度にはよらず主ビーム能率、受信機の Side Band 分離比と IF 系の強度較正誤差に影響を受ける。主ビーム能率は他の受信機と比べてほぼ同程度であり、また、7BEE の各 Band の他 Band への漏れ込みは -20 dB 以下であると考えられることから、主ビーム能率と Side Band 分離比には問題がない。7BEE は独自の IF 系を持っており、その中の可変抵抗の精度が観測所の IF 系の可変抵抗精度より低く、このことが影響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](#)

V108a 野辺山 45m 鏡 7BEE 受信機の試験観測 (2) ビーム特性の評価

西本晋平, 米山翔, 西川悠馬, 藤巴一航, 中川凌, 國年悠里, 近藤奨紀, 東野康祐, 山崎康正, 川下紗奈, 知念翼, 増井翔, 長谷川豊, 大西利和, 小川英夫 (大阪公大), 立松健一, 西村淳, 宮澤千栄子, 高橋敏一, 前川淳 (国立天文台), 酒井剛 (電通大)

我々は 7BEE 受信機 (米山他年会、帯域幅 72–116 GHz、Beam 数:7、V/H 両偏波分離) を新たに開発し、45m 電波望遠鏡に搭載した。この受信機は、星形成が進むにつれて存在量が増える重水素化合物の高速サーベイを目的としており、世界でも類を見ない高効率・広帯域のマッピング観測が実現できる。我々は、9 月から 12 月にかけて、科学運用に向けた試験観測を実施した。本講演では、各 Beam の性能評価の結果について報告する。

本試験観測では、天球面における各 Beam の位置や Beam サイズを正確に把握するため、ミラ型変光星の SiO メーザー (86.243 GHz) に対し、5 点観測と OTF を行った。その結果、全ての Beam で FWHM は $20''$ と概ね設計通りの値であり、そのうち 6 つの Beam では Beam offset が設計値に対し $1''$ 以内であることが確認できた。一方で、Beam-6 では設計値と比べ $5.7''$ 程度ずれており、また Beam-7 では V/H の偏波間に $2''$ の光軸位置ズレがある事が確認された。この原因として、ホーンの設置誤差、内部寸法誤差などが考えられ、現在は詳細検証を進めている。さらに Beam パターンから、サイドローブのピーク強度が -13 dB になることが確認できた。加えて、各帯域 (70 GHz 帯, 80 GHz 帯, 110 GHz 帯) の主 Beam 能率は、中心に位置する Beam-7 を用い、火星の連続波観測によって測定した。観測の結果、7BEE の主 Beam 能率は、70 GHz 帯では 62%、80 GHz 帯では 63%、110 GHz 帯では 40% であり、FOREST とほぼ同等であった。またビームパターンは、各周波数帯域で概ね設計通りであった。これらより試験観測の開始にあたって十分な値を得た。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V109b 野辺山 45m 鏡 7BEE 受信機の試験観測 (3) 月能率の測定

立松健一, 西村淳, 前川淳 (国立天文台), 小川英夫, 大西利和, 長谷川豊, 山崎康正, 増井翔, 川下紗奈, 米山翔, 西本晋平, 中川凌, 西川悠馬, 藤巴一航, 川下紗奈, 知念翼, 孫赫陽, 抱江柊利, 野曾原千晟, 亀山晃, 中尾優花, 松本健 (大阪公大), 宮澤千栄子, 高橋敏一, Alvaro Gonzalez, 金子慶子, 小嶋崇文 (国立天文台), 酒井剛 (電通大)

野辺山 45m 鏡に搭載された新受信機 7BEE を用いて, 月能率 (Moon Efficiency) の測定を行った。広がった天体では, サイドローブへの漏れ込みが無視できない場合があり, 観測結果の解釈において吟味が重要である。本観測では, 満月に近い月齢 13.2 の月の中心を観測した。45m 鏡のビーム・スイッチでは OFF を月の外に設定できないため, 代替として通常のライン観測と同様に分光計 SAM45 を用いて, OFF 点を 1 度角離れたポジション・スイッチ法によって観測した。解析は Mangum (1993) による方法を用いた。観測されたアンテナ温度 T_A^* を観測時の月の輻射温度 $T_R=291.1$ K と比較して, 月能率を求めた。

得られた月能率は 2 偏波 (7H, 7V; 天球面に対して望遠鏡高度の関数で回転する) において, 72 GHz にて $78.3\pm 0.7\%$ (7H), $75.7\pm 1.4\%$ (7V), 86 GHz にて $68.6\pm 0.5\%$ (7H), $73.5\pm 0.7\%$ (7V), 115 GHz にて $76.9\pm 0.7\%$ (7H), $79.3\pm 0.8\%$ (7V) であった。

月のサイズ (直径 $30'$) 以上のマップを取得した場合, (月能率 - 主ビーム能率) / 主ビーム能率の比と直径 $30'$ に対する観測輝線の filling factor を用いることによって, サイドローブへの漏れ込みの影響を評価できる。輝線分布が直径 $30'$ にわたってほぼ一様である場合には, 輻射温度の算出に通常の主ビーム能率による補正ではなくて月能率による補正を用いる可能性が考えられる。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V110b 分子分光装置 SUMIRE 用 Band7+8 受信機の開発

渡辺隆行, 酒井剛, 小野哲, 長沼桐葉, 松浦三奈 (電気通信大学), 小嶋崇文 (国立天文台), 渡邊祥正 (芝浦工業大学), 小山貴裕, 玉内朱美, 坂井南美 (理化学研究所)

我々は, 電波天文用 SIS 受信機を用いた放射型分子分光装置 SUMIRE (Spectrometer Using superconductor Mixer Receiver) の開発を行っている (Watanabe, Y. et al., PASJ, 2021)。これまで, ALMA の Band 6 にあたる 200 GHz 帯のカートリッジ型受信機を SUMIRE 用に開発し, $^{13}\text{CH}_2\text{DOH}$ (Ohno, Y. et al., ApJ, 2022) などのスペクトル線の測定を行なってきた。現在, 我々は, ALMA の Band 7 (275-373 GHz) と Band 8 (385-500 GHz) を 1 つの受信機でカバーする SUMIRE 用 Band 7+8 2SB 受信機の開発を行なっている。Band 7+8 2SB 受信機では, SIS ミキサと LNA を直結し, LNA の出力を IF ハイブリッドに入力している。IF 帯域は 4-20 GHz である。

SUMIRE の 200 GHz 帯受信機では光学系に反射防止加工を施した誘電体レンズを採用したが, 周波数の高い Band 7+8 受信機では AR 加工が難しいため, 楕円鏡と放物面鏡のみで光学系を構築した。受信機デューワーとガスセルの真空窓には, 超高分子量ポリエチレンの平面板に AR 膜を接着したものを製作し使用している。さらに, 分光計 (0.1~2.5 GHz 帯域) の入力部で使用するマイクロストリップラインを用いたチェビシェフ型ローパスフィルタの設計, 製作も行なっている。本ポスターでは, SUMIRE 用 Band 7+8 受信機の詳細とスペクトル線の測定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](#)

V111b 20GHz 帯受信機中間周波数系の受信機利得の安定化

藤森 柗人, 瀬田益道, 河内泰 (関西学院大), 久野成夫 (筑波大)

我々は、つくば 32m 望遠鏡で用いられていた 20GHz の受信器を改良し、雑音を低減し安定性を向上させた 20GHz 帯の受信機の開発を進めている。全体の構成は、冷却受信機で 20GHz の信号を増幅し、中間周波数系で 4-8GHz にさらには分光計用に 0-1GHz に信号を変換し増幅している。この受信機では 23GHz 帯の NH₃(1.1) から NH₃(6.6) 同時観測、H₂O メーザー 22GHz の観測を行う。電波望遠鏡の感度は大気減衰、アンテナ損失、受信機雑音で決まり、今回の受信機では元々 63K ほどあった雑音を 40K 台にする。冷却受信機の冷却アンプを低雑音にするだけでは安定的な高感度観測を行うには不十分であり、利得の安定性が必要である。というのも、利得が変動してしまうと、雑音が増加したり、電波強度の校正に影響が出てしまうためである。受信機のアンプは自身の温度や、バイアスの変動によってゲインが変動してしまう。受信機利得安定性の評価試験として、ノイズソースによって出力された信号を 4-8GHz アンプで増幅し、出力信号強度を決められた時間おきにパワーセンサとパワーメータによって測定し、アラン分散 (測定値と平均値との分散で、安定して観測が行える時間を知ることができ、受信機性能の評価に用いられる) 等で解析を行った。その際、アンプへの電圧や温度、電源、そして、アンプへ接続するコネクタやケーブルの温度などの状況を変化させ、アンプの安定にはどのような要因が必要であるか評価を進めた。結果、アンプの温度変化や電圧変化に加えて、接続するコネクタやケーブルの温度変化が安定化を阻害していた。アンプのバイアスを安定化電源からスイッチング電源に変更してみたが、アラン分散に違いは見られなかった。したがって、スイッチング電源を安定化電源の代わりに使える可能性がある。

[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](#)

V112b 純ニオブ材による導波管共振器を用いた超伝導導波管の伝送特性の測定

中島 拓, 鈴木 和司 (名古屋大学), 小嶋 崇文, 鶴澤 佳徳 (国立天文台), 石野 雅之 (川島製作所), 渡邊 一世 (情報通信研究機構)

現在、ALMA をはじめ多くのミリ波・サブミリ波望遠鏡では、比較的複雑な導波管回路 (偏波分離器やハイブリッドカプラ、周波数分離フィルタなど) をミクサの前段で使用する受信機が主流である。しかしこのような場合、導波管での伝送損失が受信機雑音温度の上昇に大きく寄与することに注意が必要である。導波管材料に超伝導体を用いると、一般的な常伝導金属の導波管に比べて伝送損失を大幅に低減できる可能性があるが、これまで超伝導導波管を実際に製作・評価した研究はほとんどなかった。我々は、超伝導金属である純ニオブ材 (Nb) を用いた導波管を製作し、100 GHz 帯での伝送特性を実測した結果を 2022 年秋季年会で報告した。

この実験では、Nb だけでなく、導波管材料として一般的なアルミニウム合金 (A6061:Al) とテルル銅 (+金メッキ:Au) の 3 種類の金属で共振器を製作し、常温時と極低温時の共振特性をそれぞれ測定した。前回の報告以降、得られた実験データを電磁界解析によるシミュレーションと詳細に比較した結果、超伝導 Nb 導波管の導電率として 1.8×10^{11} S/m が得られた。これは Al や Au と比べて、3-4 桁高い導電率であった。また、この導電率をもとに計算した導波管 1 m 当たりの損失は 0.05 dB/m となり、ある複素ギャップエネルギーを仮定して理論的に予測されていた損失 (Yeap et al. 2015) と比べると、非常に小さいことが確認された。また、我々の実測結果とシミュレーションによる共振特性には約 0.2 GHz の周波数差が見られたが、これは Nb 材が極低温下で 0.2% 程収縮したことで説明でき、これは先行研究で測定された Nb の線膨張係数からの見積りとも矛盾していなかった。講演では、超伝導 Nb 導波管の伝送特性の解析についての詳細と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](#)

V113b 南極 30 cm サブミリ波望遠鏡用光学ポインティングシステムの開発 II

茅野太一, 久野成夫, 本多俊介, 瀧口風太, 青木美和 (筑波大), 西堀俊幸 (JAXA), 瀬田益道 (関西学院大), 他南極天文コンソーシアムメンバー

南極天文コンソーシアムでは、サブミリ波帯での高い大気透過率を誇る南極大陸内陸部の高地に 30 cm サブミリ波望遠鏡を設置し、CO($J=4-3$) 輝線と [CI]($^3P_1-^3P_0$) 輝線による銀河面サーベイ計画を推進している。観測対象とする 500 GHz 帯には電波でのポインティングに適した天体が少ないため、星を用いた光学ポインティングを行う (小山他 2021 年春季年会 V131a)。そのためには、光学望遠鏡の光学軸と 30 cm サブミリ波望遠鏡の電波軸のずれを測定し、補正する必要がある。本講演では、JAXA 実験室内で行う光学軸と電波軸のずれの測定について報告する。

光学ポインティングは 30 cm サブミリ波望遠鏡のビームサイズ $9'$ の 10 分の 1 より高い、 $26''$ の精度でポインティングモデルを作成できることが実測で確認されている。そこで、これ以上の、 $9'$ の 30 分の 1 である $18''$ の精度でずれの角度を測定することを目指す。500 GHz 帯の電波による測定になるため、実際の天体を用いた測定は行えず、実験室内で送信機を用いた測定を行う。またこれにより近傍界測定になるため、測定時のビームパターンは観測時のパターンから歪み、指向方向にずれが生じる。このずれを解析ソフト GRASP による計算で評価し、必要であれば補正を加える。さらに、受信機の設置位置のずれによるポインティングへの影響に関するシミュレーションも行い、それによって求まる受信機設置についての要求精度を実測によって検証する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V114b FPGA を用いた太陽観測用電波望遠鏡の開発

竹原大智 (茨城大学), 野澤恵 (茨城大学)

太陽活動は約 11 年の周期で活発化しており、2025 年頃に太陽活動のピークを迎えると予想されている。太陽活動が活発化することで太陽フレアや CME がより頻繁に発生すると考えられる。一方、社会生活において電子機器をもはや必要不可欠とする我々は電力網や通信網などの重要な社会インフラが故障あるいは破壊される可能性を抱えている。これに伴い現在宇宙天気予報に注目が集まっている。

本研究では宇宙天気予報の精度向上ひいては太陽研究への貢献を目指し、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う。今回は 430MHz で太陽の分光観測を行う。分光計は FPGA を用いて製作し、必要であればデバイスドライバも自作する。対象として 430MHz を選んだ理由はアマチュア無線で使用されている帯域で人工衛星のビーコンにも使用されており、受信機や自動追尾システムのテストにも利用できるからである。具体的には、八木・宇田アンテナ、経緯台、受信機、分光計、自動追尾プログラムといった、電波望遠鏡本体から自動観測に必要なプログラムに至るすべてを自作し、その設計図やソースコードをすべてオープンソースで公開することを目指す。

本研究は既存の技術の積み上げであるが、これにより電波望遠鏡を作る際に必要な要素をすべて公開することで電波天文学での装置開発を始めるためのハードルを下げるができるのではないかと考えている。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V115a 強度干渉計実験に向けた光学系の開発

小関知宏, 丹羽綾子 (筑波大学), 江澤元, 松尾宏 (国立天文台), 柴野比里菜 (東邦大学), 長沼桐葉 (電気通信大学)

我々は 2026 年度に南極新ドームふじ基地で口径 30 cm の 2 素子強度干渉計を用いたテラヘルツ領域の実験計画を進めている。我々の強度干渉計は直接検出器として SIS 光子検出器を用いる事により高感度かつ広帯域の観測が可能である。これまでの研究で、低雑音の読み出し回路の開発により SIS 光子検出器の信号読み出しが可能である見通しが立った (小関他、2022 年秋)。そのため、実験室内で SIS 光子検出器、読み出し回路を搭載した強度干渉計による実証実験を行うための開発を進めている。本講演では、強度干渉計の設計概要および実験室での実証実験について報告する。

実証実験を実現するためには U-V 平面を埋めるための基線長が変更でき実験室内にあるクライオスタットに接続可能である光学系の開発が必要である。そこで我々は、球面鏡 1 枚、平面鏡 8 枚、軸外し放物面鏡 2 枚、Si レンズを用いて SIS 光子検出器にビームを入射する光学系の設計、製作を行った。実験室に製作した 2 素子強度干渉計の性能は平面鏡の 2 枚は移動ステージ上に搭載し基線長が 10-50 cm、開口径が 76.2mm である。

光学窓には、AR コーティングを施した Yoshinaga フィルター、BPP (Black Polypropylene)、UHMWPE (Ultra High Molecular Weight Polyethylene) を作成して用いる。これらの光学フィルターを組み合わせる場合には、強度干渉計実験で用いることで 500 GHz で 60 % 以上の透過率を達成可能である。

[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](#)

V116a 曲面エッチング加工を用いたサブミリ波観測用広帯域シリコンレンズの開発

長谷部 孝 (東京大学カブリ数物連携宇宙研究機構), 佐々木 実 (豊田工業大学)

近年のサブミリ波望遠鏡開発では、光学素子の高感度だけでなく広帯域化も重要な開発要素である。本研究は、望遠鏡集光素子として用いる高感度かつ広帯域のシリコンレンズの開発を目的とする。シリコンは従来サブミリ波観測用レンズとして多く用いられてきたポリプロピレンや高密度ポリエチレンなどのプラスチック材質と比較し、サブミリ波の吸収率が低く屈折率が高いため、集光素子として最適の材質である。一方で、シリコンのサブミリ波に対する表面反射率は約 30 % であるため、高透過率化のためには表面に反射防止加工を施すことが必須となる。

筆者はシリコン表面の反射防止加工の手法として、異方性ドライエッチングを用いたサブ波長周期構造の形成を考案した。エッチング加工を用いることで、ダイシングソーによる機械加工や、レーザーによる熱破壊加工と比べ、形状の微細加工精度向上および高アスペクト比化が可能となるため、素子のこれまでにない高透過率化および広帯域化を実現する。これまでにシリコン平板上に 3 段ステップ構造の加工を行い、実測値として 150 - 450 GHz において平均透過率 98% を達成している。

本研究では、その発展としてシリコン曲面へのサブ波長構造のエッチング加工を行う。曲面への明瞭なパターン転写を行うため、水溶性ポリビニルアルコールフィルムにフォトレジストを成膜しパターン転写を行ったあと、フィルムをレンズ曲面に吸着させるという手法を用いた。直径 25 mm のレンズを用いたテストによって平面と同程度のパターン転写およびエッチング加工精度が得られていることを確認した。さらに曲面の多層加工による広帯域化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](#)

V117a 次世代マイクロ波背景放射偏光観測実験 Simons Observatory の現状報告

桜井雄基, Simons Observatory Collaboration

Simons Observatory (SO) は、宇宙のインフレーションモデルの検証やニュートリノの質量和の測定等を目的とした史上最大規模の次世代地上望遠鏡観測実験である。チリのアタカマ高地 (海拔 5200 m) において、27 - 270 GHz の周波数帯をカバーする 2 台の 6 m 大口径望遠鏡と 3 台の 420 mm 小口径望遠鏡群を用いることで、広角度スケールかつ広周波数帯域での宇宙マイクロ波背景放射 (CMB) 偏光の精密観測を実現する。インフレーション探索では、特に大角度スケールでの精密偏光観測が重要なため、日本グループは小口径望遠鏡に注力し、望遠鏡光学筒、熱フィルター、偏光変調装置、偏光校正装置、パッフル等の主要構成要素を幅広く担当している。現在はこれらの日本グループが開発した要素が組み込まれた統合試験を米国で実施しており、来年度における初期観測を予定している。本公演では、SO 実験の全体の概要、開発状況、今後の観測計画とアップグレードに関して、SO 日本グループの貢献を取り上げながら報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V118a CMB 偏光観測衛星 LiteBIRD 計画の進捗

堂谷忠靖 (JAXA)、他 LiteBIRD Joint Study Group

LiteBIRD は、インフレーション起源の原始重力波を検出することを目指した JAXA 主導の国際共同ミッションである。JAXA の戦略的中型ミッションの 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検出器アレイにより、34-448 GHz の周波数帯域で 15 バンドの多周波観測を行い、銀河ダストやシンクロトロン放射等の前景放射と CMB を分離する。

LiteBIRD は、海外では、仏 CNES を中心とするヨーロッパおよびカナダと、国内では、KEK (「量子場計測システム国際拠点」を含む)、東大 IPMU、岡山大との協力に基づく計画で、米国大学も協力している。LiteBIRD は、ミッション定義段階の活動の総括として、2022 年度内にミッション定義審査を受審する予定で、その後速やかにプロジェクト準備段階 (Phase A) に移行する予定である。講演では、LiteBIRD 計画の状況と今後の計画について報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V119a CMB 偏光観測実験 GroundBIRD に搭載する超伝導検出器 MKID の開発

田中智永(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, 理 c 研), 小峯順太(京大理), 古谷野凌(埼玉大), 鈴木惇也(京大理), 末野慶徳(京大理), 関本裕太郎(JAXA), 田井野徹(埼玉大), 田島治(京大理), 辻井未来(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(筑波大理), 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(IAC), Rafael Rebolo(IAC), José Alberto Rubiño-Martín(IAC), Eunil Won(Korea U)

GroundBIRD は、望遠鏡を仰角 60~70 度に傾けて 20RPM という高速度で回転させて大気揺らぎを克服し、大角度スケールに現れる再電離バンプの測定を試みる地上 CMB 偏光観測実験である。観測帯域は 145、220GHz 帯で、最先端の超伝導検出器 Microwave Kinetic Inductance Detector (MKID) array が搭載される。MKID はオランダ宇宙研究所、デルフト工科大学の協力のもと、日本でデザインし、2022 年 12 月時点で製造が行われている。素子数は 145GHz 帯で 128pixel、220GHz 帯で 23pixel であり、2023 年度から本観測が行われる計画である。

電磁界シミュレーションソフト CST を用いてアンテナの設計値を最適化し、各検出器ピクセルのビームパターンを CST と GRASP を用いて計算した。エッチングに電子ビームを用いることで、アルミの microstrip line の線幅の工作精度を大きく改善し、共振周波数の設計値からのずれを 1 桁小さくすることを目指す。本講演では MKID のデザインの最適化の過程、レンズの接着の過程及び実験室での性能評価実験の結果を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](#)

V120a 月の観測データを用いた CMB 望遠鏡 GroundBIRD のビームパターンの推定

辻井未来(東北大), 本多俊介(筑波大), 末野慶徳(京大理), 服部誠(東北大), 大谷知行(理研), 田島治(京大理), 鈴木惇也(京大理), Ricardo Tanausú Génova-Santos(IAC), Eunil Won(Korea U), Michael W. Peel(IAC), 他 GroundBIRD コラボレーター

GroundBIRD は、仰角 60-70 度に傾けた状態の望遠鏡を 20RPM 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 ($\ell = 6$) 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した実験である。GroundBIRD の観測周波数は 145GHz 帯と 220GHz 帯で、2023 年度からサイエンス観測が始まる。

望遠鏡のビームパターンの正確な実測値を得ることは高精度なサイエンス観測を実現するための基本的な要件である。通常は点源を観測してビームパターンを求める。しかし、GroundBIRD の有効口径は 22cm と小さく、仰角を 60 度以下にすることができないため点源とみなせる天体を用いたビームパターンの測定が困難である。本研究では月の観測から 145GHz 帯のビームパターンを推定した。回折限界で決まる GroundBIRD の分解能は約 0.5 度であり、月は点源として扱えない。一方、月からのミリ波放射強度分布は既知である。そこで畳み込み定理を用いてビームパターンを引き出した。

畳み込み定理を用いるためには観測データをフーリエ変換する必要がある。しかしながら、月静止座標系上のサンプリング間隔は一定ではない。そこで、放射基底関数を用いて不等間隔データを等間隔グリッドに内挿し、その内挿されたデータに対して離散フーリエ変換を行い畳み込み定理に適応した。本講演では以上の手法を GroundBIRD に搭載されているテスト観測用 23 ピクセル MKID array 検出器 (145GHz 帯) で月を観測したデータに適応した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](#)

V121a 野辺山 45 m 電波望遠鏡に搭載した 100-GHz 帯 MKID カメラの 2022 年試験観測の状況と雑音性能評価に向けた開発

本多俊介 (筑波大学), 永井誠, 村山洋佑 (国立天文台), 新田冬夢, 李豪純, 石崎悠治, 久野成夫 (筑波大学), 松尾宏 (国立天文台), 野口卓 (電気通信大学), 成瀬雅人 (埼玉大学), 関本裕太郎 (宇宙研), 中井直正 (関西学院大学), 45 m 運用メンバー (野辺山宇宙電波観測所)

電波天体の広域精密探査に向けて、我々は野辺山 45 m 電波望遠鏡に搭載する 100-GHz 帯域の多素子カメラの開発を推進している。カメラのセンサー部である超伝導検出器 MKID の雑音性能向上のため、Al と NbTiN の 2 種類の金属を用いたハイブリッド型 MKID の作製や高効率な光学レンズの開発を 2021 年までに国立天文台にて完了し、アップグレードされた 109 素子 MKID カメラを野辺山 45 m 電波望遠鏡へと搭載した (村山ほか 2022 年春季年会 V130a)。2021 年に木星など惑星の観測を通じてカメラ系の性能を評価し、雑音等価フラックス密度が前回搭載時と比較して 1/10 と低減できたことを実証した (宮澤ほか 2022 年春季年会 V131a)。今回報告する 2022 年観測では、実際に大質量星形成領域やクエーサーなどのサイエンス観測も行い、取得した天体データの解析を進めている。本講演では 2022 年に取得された金星などの惑星観測から改めて評価した MKID カメラ系の性能評価とともに、W49A や 3C273 といった天体観測の最新結果を報告する。

現在、観測に使用された MKID カメラは実験室に移送され、さらなる性能向上のため現行 MKID の精細な性能評価も実施している。本講演では液体窒素と電波吸収体を組み合わせて得られた 77 ~ 300 K の入射強度に対する MKID の応答性評価を報告し、今後の課題や開発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](#)

V122a 野辺山 45 m 電波望遠鏡搭載用 100-GHz 帯電波カメラの解析パイプラインの開発

永井 誠 (国立天文台), 李豪純, 石崎悠治, 本多俊介, 久野成夫, 新田冬夢 (筑波大学), 村山洋佑, 松尾宏 (国立天文台), 中井直正 (関西学院大学), 関本裕太郎 (宇宙研), 45m 運用メンバー (野辺山宇宙電波観測所)

野辺山 45 m 電波望遠鏡搭載に向けた 100 GHz 帯連続波カメラの解析パイプラインの開発を進めている。解析パイプラインとして、カメラのデータ取得システムによって記録された検出器出力や測定器・制御系のログを総合して、OTF 観測の解析に必要な指向方向とアンテナ温度の情報をまとめて出力するものを想定している。このようなパイプライン処理を適切に行うためには、各素子のビームオフセットの値や測定器の時刻のオフセットなどの較正情報が必要になる。こうした較正情報は、カメラのアラインメント調整など、搭載試験の段階で装置にフィードバックを掛けるためにも迅速に決定することが要求される。

今回、2022 年 3-4 月の搭載試験において取得したデータを用いて解析パイプラインの開発を進めたので、この進捗について報告する。パイプラインの上流では、データ取得システムの出力をタイムスタンプによって紐付けする仮想マージと、検出器 MKID の応答をアンテナ温度へ時刻情報を用いずに簡易的に変換する手法を、採用・実装した。下流側では、ラスターキャン観測のデータから天体のピークを使ってアレイ全体のビームオフセットを簡易的に計算できるようにした。搭載試験データにこれらの処理を半自動で施したところ、観測に使用した 78 素子ないし 58 素子のうちの大部分の素子について適切な結果が得られた。また現状の計算機資源でも、試験データを半日ほどで処理して翌日までにフィードバックを掛けることが可能な処理速度が得られた。

[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](#)

V123b 野辺山 45 m 電波望遠鏡 100-GHz 帯 MKID カメラ搭載試験におけるビーム特性の評価

李豪純 (筑波大学), 永井誠 (国立天文台), 本多俊介 (筑波大学), 石崎悠治, 久野成夫, 新田冬夢 (筑波大学), 村山洋佑, 松尾宏 (国立天文台), 中井直正 (関西学院大学), 関本裕太郎 (宇宙研), 45m 運用メンバー (野辺山宇宙電波観測所)

我々は、遠方銀河の広域探査や銀河系の H_{II} 領域の観測を行うため、野辺山 45 m 電波望遠鏡搭載用 100-GHz 帯連続波カメラの開発を進めている。多素子による観測を目的とした本カメラの焦点面アレイは、109 素子の Si レンズ及び力学インダクタンス検出器 (MKID) によって構成されている。望遠鏡からの信号はカメラの真空窓へ入射すると、2 枚の大口徑 Si レンズによる屈折光学系を経て焦点面アレイへと伝送される。2021 年 5 月の搭載試験 (宮澤ほか、2022 年春季年会 V131a) での火星の観測結果からのビームサイズ評価に続き、2022 年 3,4 月にはより詳細なビーム特性を調べるためクエーサー 3C 273 のラスターキャン観測を行った。

本講演では、各 MKID およびアレイのビーム特性を調べるため、3C 273 の解析結果について報告する。今回新たに観測した 3C 273 は点源と見なせるため、より直接的なビーム特性の評価が可能である。観測結果の解析のため、4' × 4' (Az, El) の領域内でのビームマップを、データの得られた 58 素子分作成した。また、本カメラのビームサイズの設計値が 16.5" であるのに対して、58 素子のうちビームの見える 32 素子の結果から導出したビームサイズアレイ平均は $16.3 \pm 2.6''$ となり、不確かさの範囲で設計値と一致した。本講演では、各素子のビームパターン、ビームサイズを含めたアレイ全体の解析結果の詳細を報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V124b 野辺山 45 m 電波望遠鏡 100-GHz 帯 MKID カメラによる大質量星形成領域 W49A の観測データの解析

石崎悠治 (筑波大学), 永井誠 (国立天文台), 本多俊介, 李豪純, 久野成夫, 新田冬夢 (筑波大学), 村山洋佑, 松尾宏 (国立天文台), 中井直正 (関西学院大学), 関本裕太郎 (宇宙研), 45m 運用メンバー (野辺山宇宙電波観測所)

ミリ波サブミリ波帯多素子カメラは遠方銀河等の広域探査において有用である。我々は 45 m 望遠鏡に搭載する 100-GHz 帯連続波カメラを開発している。焦点面アレイには 109 素子アンテナ結合型力学インダクタンス検出器 (MKID) を使用している。2022 年 3,4 月に天体を用いた試験を実施し、太陽系内惑星や大質量星形成領域 W49A, W51A, クエーサー 3C273 のラスターキャン観測を行なった。

本講演では、W49A の観測データの解析結果について報告する。観測は (4' × 4') の領域を 20 分間かけ赤経、赤緯方向にマッピングした。最大 3 枚を 1 セットとし、それを 83 枚行なった。得られた分解能 17" の観測データから分解能 20" の二次元マップを作成した。今回は、ビームスイッチは用いておらず、単純にスキャンの端の値を大気成分として差し引いている。最終的には、全ての素子のデータをノイズで重み付けして足し合わせた。データを取得できた素子のうち天体の形状を捉えることができたスキャンの枚数は現状 30 枚であった。一度の観測で解析に使用できた素子数は観測条件に依存し最大 56 素子、最小 34 素子であった。本研究で得られたマップと 268 GHz 帯の先行研究との比較を行ない、分布の整合性があることを確認した。本講演では、二次元強度マップ作成のプログラム及び得られたマップの雑音などの詳細、及び追加の解析で最終的に決定する解析に使用したスキャンの枚数、使用素子数について報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V125b 高萩・日立 32 m 電波望遠鏡の整備運用・状況 2023A

米倉覚則, 田辺義浩, 森泉怜, 百瀬宗武 (茨城大), 知念翼, 孫赫陽, 抱江柁利, 小川英夫 (大阪公大), 清水祐亮, 元木業人, 新沼浩太郎, 藤沢健太 (山口大), 須藤広志 (岐阜大), 久野成夫 (筑波大), 中川重紀治 (鹿児島大), 本間希樹, 小林秀行 (国立天文台), 他 JVN 関係者, 近藤哲朗

国立天文台水沢 VLBI 観測所茨城観測局 (日立 32-m アンテナ、高萩 32-m アンテナ) では、VLBI 観測を 6.7、8.4、22 GHz において実施するとともに、6.7 GHz メタノールメーザー源の単一鏡モニター観測 (以下、モニター観測と表記)、日立-高萩電波干渉計 (名前募集中) による連続波高感度観測等を実施している。日立アンテナは 1 年を通して 6–9 GHz 帯受信機を搭載し、モニター観測を毎日実施している。高萩アンテナは、9 月から 6 月は 22 GHz 帯受信機を搭載し、東アジア VLBI 観測網 (East-Asian VLBI Network [EAVN]) の共同利用観測や気球 VLBI 実験に対応する。2022 年度後期は、7–10 月まで 6–9 GHz 帯受信機を搭載し、モニター観測を実施した。EAVN 共同利用観測には、22 GHz 帯において年間 100 時間、6.7 GHz 帯において年間 100 時間を提供している。

(1) 受信機の広帯域化 (6–9 → 6.5–12.5 GHz) を行っている (知念他本年会)。(2) モニター観測の高頻度化を行っている。サンプリングソフトの準実時間 FFT 化に成功した。Intel 第 9 世代の PC の場合、ほぼ実時間で FFT が完了するようになった。FFT 点数と所要時間の関係は次の通りであった (sampling しながら FFT を行い、◎: 300 sec の sampling 終了後 5 秒以内に FFT が完了する、○: 同 30 秒以内に完了する): 4 k (◎), 8 k (○), 16 k (○), 32 k (◎), 64 k (◎), 128 k (◎), 256 k (◎), 512 k (◎), 1 M (◎), 2 M (◎), 4 M (○)。(3) モニター観測結果の公開を行なっている (<http://vlbi.sci.ibaraki.ac.jp/iMet>)。(本研究は、国立天文台大学間連携プロジェクト「国内 VLBI ネットワーク事業 (JVN)」、JSPS 科研費 JP21H01120、JP21H00032 の助成を受けた)。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V126b EAVN/VERA 86GHz 帯を用いた巨大ブラックホールの観測に向けて

秦和弘, 上野祐治, 小山友明, 鈴木駿策, 砂田和良, 本間希樹, 山内彩, 山下一芳 (国立天文台), 小川英夫, 亀山晃, 近藤奨紀, 澤田佐藤聡子, 抱江柁利, 増井翔, 山崎康正 (大阪公立大), 岡田望 (JAXA), 小山翔子 (新潟大), 新沼浩太郎 (山口大), 紀基樹 (工学院大), 高村美恵子 (東京大) 他

活動銀河中心核の巨大ブラックホール (SMBH) から噴出する相対論的ジェット of 駆動機構解明は天文学における積年の課題であり、高解像度な VLBI 観測による SMBH 近傍の直接観測が威力を発揮する。とりわけセンチ波帯と 1 ミリ帯の中間に位置する 86GHz (3 ミリ) 帯は、シンクロトン放射に対する透過力が高く、1 ミリ帯よりも感度が良いことから SMBH・降着円盤内縁・ジェット根元の接続領域が同時に撮影できる極めてユニークな波長帯として注目されている。そこで我々は、現在センチ波帯で定常運用されている東アジア VLBI ネットワーク (EAVN) をアップグレードし、86GHz 帯の EAVN 観測実現に向けて各国連携してアレイ機能強化を進めている (EAVN-high)。その上で最も重要な課題の 1 つが、EAVN の長基線と uv カバレッジに大きく寄与する日本の VLBI 観測網 VERA を 86GHz 帯でも受信可能にすることである。そこで我々は、VERA 水沢 20m アンテナに新たに 86GHz 帯常温受信機を設置し、アンテナ性能評価試験など VERA 86GHz 化に向けた様々な取り組みを開始した。

本講演では、86GHz 帯常温受信機的设计・製作・設置及びアンテナ性能評価試験、バックエンドシステムの 86GHz 対応等について現在までの進捗状況を報告するとともに、今後の広帯域冷却受信機搭載のロードマップや野辺山・韓国・中国と連携した 86GHz VLBI 観測試験に向けた展望についてもまとめる。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V127b Initial study of 15–29 GHz optics and receiver system for SKA Band 6

Yasumasa Yamasaki (Osaka Metropolitan Univ.), Yusuke Kono, Hideyuki Kobayashi (NAOJ), Hiroyuki Nakanishi (Kagoshima Univ.), Tsubasa Chinen, Hideo Ogawa, Toshikazu Onishi (Osaka Metropolitan Univ.), and Shin'ichiro Asayama (SKAO)

SKA project is constructing 50–350 MHz SKA Low in Australia and 0.35–15.4 GHz SKA Mid in South Africa under international cooperation, and the first phase construction (SKA1 project) started in July 2021. The band 6 receiver is an additional higher frequency receiver for the next phase, and its RF coverage is currently 15–24 GHz, but expected to be up to 30 GHz or higher on a best-effort basis.

SKA Mid antenna is a kind of offset Gregorian, and the subtended angle from the feed horn to the sub-reflector is 58 degrees. A feed horn is required to radiate beams with constant beam widths, phase center positions, and low cross-polarization levels without frequency dependence to achieve high aperture efficiencies over the whole band. We adopted an axial corrugated horn because of its simple structure, superior beam characteristics and easy fabrication. By optimizing the horn parameters, we achieved above 70 % of aperture efficiencies between 15–29 GHz.

We have designed a dual-polarization receiver system based on a commercially available cryogenic LNA (CLNA) and a turnstile OMT. The simulation study shows that the design with the greater than 20 dB in return loss is feasible (Chinen et al. 2022, ASJ, spring). The receiver noise temperature of less than 14 K with the OMT and a CLNA in the expected environment in the cryostat (~ 10 K) can be achievable.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V128c VERA-upgrade for EAVN and GVLBI 計画の進捗 VI : K-band RF Direct A/D

小山友明、鈴木駿策、河野祐介、山内彩、酒井大裕、寺家孝明、秦和弘 (国立天文台)、高村美恵子 (東大/国立天文台)、萩原喜昭 (東洋大)、今井裕 (鹿児島大) 他 KaVA, EAVN メンバー

国立天文台水沢 VLBI 観測所では、天文広域精測望遠鏡 VERA の運用開始から 20 年が経過し、2021 年度で銀河系全域のメーザー源の位置と固有運動を計測する VERA プロジェクト観測が終了した。2022 年 9 月からは、EAVN としての共同利用観測、また 2 ビーム、高周波帯での専用 VLBI 観測網という特徴を生かした大型共同観測 (VLCOP) を主として行うプロジェクト (水沢 VLBI 観測所) として再スタートした。

上記状況を見通しつつ、2017 年度より EAVN、SKA、将来の GVLBI (Global VLBI) への対応として以下の VERA アップグレード計画を行ってきた。1) RF-Direct-A/D (OCTAD) を用いた広帯域化 (32 Gbps)、OCTAD 用デジタル信号処理 (Phase-up、偏波変換) 開発、2) K、Q バンド両偏波、多周波同時受信システム開発、3) 低周波 (S-band) 受信機の冷却、広帯域 (L-band 含む) 化、4) GP-GPU を用いたソフト相関器の高速化、5) 10 GbE VDIF (VLBI Data Interchange Format) データのリアルタイムデジタル信号処理ライブラリ開発。上記の中で、今年度の進捗として最終目標機能の一つである OCTAD を用いた K-band (20–24 GHz) RF ダイレクトサンプリングを用いた両偏波 K、Q バンド同時受信広帯域 (16 Gbps) モードでの試験観測を 2022 年 6、11 月に実施、初フリッジ検出に成功した。K-band RF A/D の評価として IF 帯 (5–7 GHz) のサンプリング結果と比較し、各 ch の SNR で 0.5–4% の精度での一致を達成した。本発表では、上記に加えて全体進捗、各局への OCTAD、RF/IF 信号セレクターの搭載、デジタル偏波変換、評価状況、各種 CSV (2 ビーム、両偏波観測等) 試験観測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](#)

V129a 分散クラスター対応の FITS WebQL SE v5 の試験運用開始

ザパート クリストファー、白崎 裕治、大石 雅寿、水本 好彦、川崎 渉、小杉 城治、森田 英輔、吉野 彰、林 洋平

After a somewhat convoluted development process marred by several programming language changes, the distributed computing C / FORTRAN version of FITSWEBQLSE (Supercomputer Edition) has finally moved out of **ALPHA** to achieve the **BETA** status. Beginning with the Subaru and AKARI data, at the Japanese Virtual Observatory we have started a gradual experimental roll-out of the new version 5.

The main differentiator between the Rust-based v4 and C / FORTRAN-based v5 is the support for custom distributed computing. When a large ALMA FITS 3D cube file is opened the data from 2D frequency channels are distributed evenly across a small cluster of commodity PCs (5 desktops in the live production cluster and 4 slower desktops in the development / test cluster). Not only is the RAM distributed across the cluster, upon opening a new FITS data cube file for the first time, we compress it and save the 2D planes in a distributed manner across the cluster as well. Hence each cluster node saves its own 2D planes locally within its own SSD / HDD disk cache. This way the 2nd-time FITS file loading is greatly accelerated as each cluster node only reads a subset of the original FITS data cube. For example, opening a 100GB FITS file only takes a few seconds using a cluster of five commodity desktop computers.

Apart from improved loading times, from the user perspective we have also developed vital new functionality such as a near-realtime Position-Velocity (PV) Diagram for radio-astronomy FITS data cubes. In this talk we make a brief demonstration of improved loading times and the new realtime PV Diagram.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V130a スパースモデリングによる電波干渉計画像再構成手法の輝度分布モデルを用いた定量的評価

蛸谷かおる、奥村幸子 (日本女子大学)、塚越崇 (足利大学)

電波干渉計で観測されたデータから天体画像を合成するための新しい手法として、スパースモデリングを用いた手法が注目されている。2021 年春季年会の中村らの発表 (V106a) で、異なる天体放射分布の再現度とどの程度影響を与えるかについて、輝度分布モデルと ALMA 疑似観測による検証を行っており、特に広がった power-law 型の輝度分布において、従来の CLEAN よりも高い精度で放射が再現されうことを示した。

本研究では、輝度分布モデルを用いた放射再現性評価をさらに発展させる。具体的には、スパースモデリングによる画像作成ソフトウェア (PRIISM) への非等間隔高速フーリエ変換の導入による影響と、疑似観測時間の減少による uv-coverage の減少ともなう再構築画像の変化について、輝度分布モデルを用いた定量的評価を行なう。手法は中村らのものを踏襲しており、天体を考慮した輝度分布モデルを作成し、ALMA 望遠鏡配列による疑似観測レジビリティを得る。それに対し、PRIISM を用いて画像化を行う。輝度分布モデルには、1 成分ガウシアンのほか、2 成分ガウシアンによる非対称輝度分布も用いた。

PRIISM により再構築した画像とモデル画像を比較したところ、非等間隔高速フーリエ変換の導入により放射領域外側の偽放射成分が減少し、0.3 % ほどの誤差でモデルを再現できていることが分かった。また、疑似観測の時間を 3 時間から 3 分へと減少させ uv-coverage を減らしたところ、3 時間と比較しても大差はなく 0.6 % ~ 4.4 % ほどの誤差でモデルを再現でき、画像の再現性にはほとんど影響がないことがわかった。ガウシアン輝度分布は、ノイズのない状況下であれば短時間の uv-coverage でも十分に構造を再現できることを示唆している。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V131a Update on ALMA Operations and Development Program - Spring 2023

A. Gonzalez, M. Fukagawa, D. Iono, S. Sakamoto, K. Sugimoto, T. Kojima, K. Kikuchi (NAOJ), and the ALMA Project team

In this presentation, we will offer an update on ALMA Operations and Development Program.

Operations: The transition from Cycle 8 2021 to Cycle 9 of ALMA scientific observations was very smooth at the end of September 2022. Cycle 8 was the 2nd most productive cycle in ALMA's history in terms of observed hours in the 12m array. Cycle 9 started very well but unfortunately scientific observations were interrupted due to a cyber attack. This presentation will provide an update on the latest situation with respect to the status of Cycle 9, the preparation towards Cycle 10, and some statistics from Cycle 8 2021.

Development: NAOJ is collaborating in the development of receivers for Band 1 (35-50 GHz, led by ASIAA) and Band 2 (67-116 GHz, led by ESO), the ACA Spectrometer (led by KASI), and the ALMA2030 Data Transmission System (DTS, in collaboration with NRAO and KASI) in addition to initial studies in hardware and software. In this presentation, we will provide an update on the status of the different projects and studies. In particular, we will report on the status of work for the implementation of Band 1 and the ACA Spectrometer in ALMA towards Cycle 10, the outcome of the ALMA band 2 Critical Design Review, the first steps in the DTS upgrade, and the demonstration of different technologies towards ALMA2. We will also provide an update on the latest milestones towards the implementation of the ALMA2030 Wideband Sensitivity Upgrade (WSU), including the outcome of the System Requirement Review (SRR) held in October 2022.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V132a ビーム結合能率を指標とする公差解析手法の開発

今田 大皓, 金子 慶子, 坂井 了, 小嶋 崇文, Alvaro Gonzalez (国立天文台)

従前の電波望遠鏡の開発のおかげで、電波領域の観測の高感度、広帯域、高効率化が進み、高品質の観測データが大量に得られるようになった。次世代の観測装置は既存の観測装置を超える性能が求められるのが当然とされる一方で、開発費用を同じように増やすことは不可能である。開発費圧縮に貢献し得る過程の一つに光学系の公差解析が挙げられる。徹底した公差解析は、試作の回数や、調整の手間、開発期間を減らすのに有効である。

光赤外線望遠鏡の光学系に対する公差解析は比較的行われてきたが、電波望遠鏡光学系の公差解析、特にコヒーレントな受信機の場合は、さほど盛んに行われていない。考えられる理由として、(アンテナ1台あたりの)ビームの数が少なくポインティングモデルで対応してしまう、開口能率や偏波特性を見たい等が挙げられるであろう。また、電波望遠鏡の光学性能の数値的な予測(開口能率、ビーム幅など)はコヒーレンスを維持した電磁波解析を用いるのが標準的である。装置に誤差のある中で、多数のビームの特性を一律に維持するのが望まれる場合、これまでの装置開発の手法のみでは限界を迎えるであろう。なぜなら、モンテカルロ的に光学系に誤差を与えた場合の性能予測が必要になってくるからである。

本講演では、標準的な電磁波解析の代わりに計算の圧倒的に速い光線追跡を用い、ビームの結合能率(開口能率の因子の一つ)を指標とする公差解析の手法を紹介する。この手法は光線追跡から受信機に入射する電磁波の(複素)振幅分布を計算し、受信機(フィードホーン、レンズレットなど)の仮想的なビームの近傍解との結合能率を計算する。光線追跡を用いることで、例えば100万通りの誤差を光学系に与え、対応する能率の頻度分布を描くことを可能にした。実際の応用例として、ALMA望遠鏡のBand 2受信機の例を紹介する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V133a Experimental Study of Silicon Membrane Based Superconducting Waveguide-to-CPW Transitions

Wenlei Shan, Shohei Ezaki, Takafumi Kojima (NAOJ), Akihiro Masukura, Tac Nakajima, Akira Mizuno(Nagoya U)

For heterodyne imaging array applications, we have demonstrated fully functional superconductor-insulator-superconductor MMIC mixers at 2 mm wavelengths. The demonstration and related development work were continuously reported in ASJ annual meeting 2019 Spring, 2020 Spring, and 2021 Spring. In the MMICs, silicon-membrane-based planar probes (rectangular waveguide to coplanar waveguide transitions, for short, Wg-to-CPW) are of the most importance in achieving high efficient signal coupling. In the present work, we aim to evaluate the planar probe as a standalone component and investigate its bandwidth potential. We have reported the design of a full-height waveguide transition which covers 125 – 211 GHz, more than 50% fractional bandwidth in 2021 Spring ASJ annual meeting. Since then, this design was tested by using a back-to-back (B2B) probe pair. The experiment study was carried out by performing cryogenic measurement of the transmission of the B2B probe pair with mm-wave network analyzer. On the other hand, the B2B test module were simulated by using electromagnetic field simulator with taking consideration of superconducting transmission line properties. Reasonable agreement of the measured results and the simulated one has been achieved and will be reported in this meeting. The agreement indicates that the membrane-based Wg-to-CPW transitions are reliably realized in MMICs. This is the main achievement of this study.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V134a SIS ミキサの周波数アップコンバージョン特性に関する数値シミュレーション

上月雄人, 鶴澤佳徳, Wenlei Shan

我々は、高感度ヘテロダインミキサ (周波数ダウンコンバータ) として広く利用されてきた超伝導体-絶縁体-超伝導体 (SIS) 接合の新たな利用可能性を見出すために、周波数アップコンバータとしての性能を探求している。これまでに、SIS アップコンバータに従来の SIS ダウンコンバータを縦続接続し、両者の周波数変換利得を用いた低雑音マイクロ波増幅器の実証実験に成功するなど (Uzawa et al. 2018)、近年では SIS ミキサを高利得かつ低雑音の周波数アップコンバータとして応用する研究がなされている。性能追及のためには、SIS ミキサのアップコンバージョン特性を実験的・理論的に理解する必要がある。実験的には、周波数アップコンバージョン利得の発生 の直接観測について、上月他によって 2020 年秋季年会 (V119a) などで既に報告した。今回我々は、すでに確立されている、SIS 接合の準粒子電流特性を基礎にヘテロダイン混合を説明する量子論的混合理論 (Tucker, Feldman 1985) を周波数アップコンバージョン過程も表現できるように拡張し、この拡張モデルを基にした数値計算によって様々な条件下でのアップコンバージョン特性を求めた。本数値シミュレーションによって明らかになったアップコンバージョン特性の各パラメータに対する依存性は、将来における専用デバイス開発と評価実験に有益な指針を与えるものと期待している。

本講演では、数値解析によって得られた SIS ミキサの周波数アップコンバージョン利得・雑音特性と、そこから見積られる SIS ミキサの高周波増幅器への応用に関する考察について報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V135a The Next Generation Very Large Array - Spring 2023

百瀬宗武 (茨城大), Alvaro Gonzalez, 伊王野大介, 深川美里, 片岡章雅, 永井洋, 高橋智子, 長谷川哲夫 (NAOJ), 廿日出文洋, 河野孝太郎 (東京大), 大屋瑠子 (京都大), 立原研悟 (名古屋大), 佐野栄俊 (岐阜大), 泉拓磨 (都立大/NAOJ), 竹川俊也 (神奈川大), 新沼浩太郎 (山口大), 坂井南美 (理化学研究所)

We present an overview, status, and the future plan of the Next Generation Very Large Array (ngVLA), including the recent scientific and technical activities of the ngVLA study group, which is coordinated by NAOJ in close collaboration with members of the Japanese science community. A two-year extension, between fiscal years of 2022-2023, of the study group has been approved, and the group is planning to organize meetings and workshops for further promotion of ngVLA science in Japan. There are five science working groups (SWGs), but we will plan to focus more on examining the topics that span multiple SWGs in the coming years. Also, these activities will be proceeded in close coordination with the Science Working Group organized by the NRAO. Technical studies in the area of the antenna, front end, and time/frequency distribution have also seen some significant progress. Armed with the solid outcome for ngVLA in the Astro2020 decadal survey, the study group is actively investigating the possible future contributions toward offering a significant fraction of ngVLA observing time to the Japanese community. The ngVLA will be operated at frequencies from 1.2 to 116 GHz and consist of three arrays—the Main Array with 214 18-m antennas (baselines up to 1000 km), the Short Baseline Array with 19 antennas of 6-meter diameter and four single-dish antennas of 18-meter diameter, and the Long Baseline Array which will consist of 30 18-meter antennas with the longest baseline of 8860 km.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V136a SKA プロジェクトへの参加計画 7

赤堀卓也, 小林秀行, 町田真美, 河野裕介, 廣田朋也, 吉浦伸太郎, 小山友明, 寺家孝明, 砂田和良, 藏原昂平, 本間希樹 (国立天文台), 高橋慶太郎 (熊本大学)

Square Kilometre Array (SKA) 計画の国内外の進捗、特に計画全体と技術系の報告を行う。SKA 計画は、50–350 MHz の LOW をオーストラリアに、350 MHz–15.4 GHz の MID を南アフリカに建設する計画で、第 1 期 (SKA1) の建設が 2021 年 7 月から開始されている。現在、インフラの建設、アンテナ、受信機、相関器、ソフトウェアの開発が参加メンバー国の分担のもとに進められている。2024 年から開始される Array Assemble に向けて、各サブシステムの受け入れを行う ITF (Initial Test Facility) の整備を進めるなどの活動が進められている。また世界的なインフレや半導体不足に対応する対策などが講じられている。

我々は 2019 年から 3 年間、国立天文台水沢 VLBI 観測所下の SKA1 検討グループとして、コミュニティと共に日本の参加案の検討を進め、建設期 (2022–2028) の参加計画および初期運用期 (2029–2033) の初期科学成果の創出活動計画を含むプロジェクト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、参加計画を特に予算面において現実的なものに検討することを求められた。また並行して学術会議「未来の学術振興構想 2023」に向けて議論を進め、天文学・宇宙物理学分科会が最優先で推薦する計画の 1 つに SKA1 が選定された。AIV 活動では、MID では DISH の AIV に参加し、LOW では Array Assembling における試験計画の作成に参加している。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](#)

V137a SKA プロジェクトに向けた科学検討 6

町田真美, 赤堀卓也, 廣田朋也, 山下一芳, 吉浦伸太郎, 藏原昂平 (国立天文台), 高橋慶太郎 (熊本大学),
ほか国立天文台水沢 VLBI 観測所 SKA1 検討グループ

SKA プロジェクトに向けた科学検討の進捗を報告する。科学関連では、国際的には宇宙再電離 (EoR) をテーマとしたデータチャレンジ (SDC3) の企画が進んだ。まず前景の除去を課題とした SDC3a が本予稿提出時点でいよいよ実施の段階にある。日本からも EoR 科学検討班のメンバーを中心に構成される日本チームが参加を申し込んだ。チャレンジは 2023 年中盤まで続けられる予定である。結果の解釈を課題とした SDC3b は、2023 年中盤以降に実施予定である。およそ 1.5 年おきに実施される SKA の国際会議に関しては、2023 年 5 月に SKA-ngVLA 研究会としてカナダ・バンクーバーで開催の準備が進んでいる。国内では、SKA に関連する研究業績・資金獲得・学生輩出は引き続き維持ないし増加傾向にある。今年度は特に、査読誌特集号への論文投稿を目標に、各自の SKA 関連研究を大きく推し進めた。

SRC 関連では、今年度より SKA1 グループ内に SRC (SKA Regional Centre) 部門を新設し、日本の SRC ノード (JP-SRC) の開発を始動した。JP-SRC は国立天文台と国内大学研究機関のサーバーとを結合した新時代のクラウドシステムを目指す。システムの試作初号機が完成し、試作 2 号機の開発が進んでいる。国際的な SRC の試作活動チームにも本格的に参加し、国際 SRC 分散ファイル管理ネットワークの試作に参加を果たした。ソフト開発・ユーザー支援面では、ソフトの共同開発環境の提供に向けた初期調査を進めている。

[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](#)

V138a 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 2

井口聖 (自然科学研究機構国立天文台)、山田亨 (宇宙科学研究所)、山内大介 (神奈川大学)、大西利和、山崎康正 (大阪公立大学)、磯部直樹 (宇宙科学研究所)、高橋慶太郎 (熊本大学)、土屋史紀 (東北大学)、岩田隆浩、関本裕太郎、宮崎康行、佐伯孝尚、森治、吉光徹雄 (宇宙科学研究所)

我々は、月面における科学フィジビリティスタディの一環として、月面からの宇宙物理観測の可能性を追求する研究をすすめている。2022 年秋の年会では、月面での観測環境の利点を踏まえ、特に地球からの人工電波障害 (RFI) を考慮し月面の裏に設置する電波望遠鏡の概念設計検討 (アンテナ設計等) について紹介した。そこで本年会では、さらに検討を進めてきた概念設計の進捗状況と今後の展望について報告する。主要科学目標のひとつとなる、暗黒時代における中性水素 21cm 線観測におけるグローバルシグナル (空間的な平均の信号) の検出に向けての検討では、宇宙マイクロ波背景放射に対して約 40mK の吸収として現れることが予想されていることを考慮し、全システムでのバンド通過特性による観測精度 (誤検出を含む) への影響について考察した。特にバンド通過特性のスロープ (傾き)、リップル、帯域端傾斜、帯域外除去率について検討し、システム要求仕様の検討を行った。月面設置のアンテナは、ショート・ダイポールアンテナ設計を採用し、観測周波数帯域を 1-50MHz という比帯域幅約 200% の実現を目指していることから、各周波数でのアンテナビーム特性が変化する影響は避けられない。そこで、この特性を詳細に調べ周波数毎のアンテナ効率を求めるとともに、観測周波数帯に対応する全天マップを作成し、アンテナ雑音温度の期待値の算出の検討を行った。JAXA においては月面活動の嚆矢ともいべき月探査促進ミッション (LEAD) が 2020 年代後半に計画されており、月面天文台、月振計観測、そして月サンプルリターンの 3 分野について段階的な月面研究の実施が検討されている。これ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](#)

V201a 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、状況の改善に向けてハワイ現地での活動を進めている。これまで TMT に批判的だった人たちを含め 300 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行なっている。このプログラムは米国国立科学財団 (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。このようにハワイでの信頼関係の醸成が進んでいる。これまで先住民の声が反映されないと批判があったマウナケア管理については、ハワイ州新法によって新たな管理組織が設立され、9 月には先住民の長老を含む 11 名のメンバーが発表され、11 月に第 1 回の会合が開催された。TMT の建設・運用には、地元で信頼されるマウナケア管理が必須であるため、こうした動きは大きな一歩と言える。米国 Decadal Survey 2020 において、地上望遠鏡計画として TMT を含む US-ELT プログラムが最優先計画として位置づけられたことを受け、NSF は 11 月から基本設計審査 PDR を開始した。12 月と 1 月に審査会がパサデナで行なわれる。TIO および参加機関における活動は財政的に抑制している状況ではあるが、全体計画の工程上必須の作業が各国で進められている。国立天文台でも日本担当部分が全体計画の遅延を引き起こさないために、製造再開後に必須の準備作業や設計・開発作業を進めている。本講演では TMT 計画の現状と今後の展望について報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V202a Environmental Test of Silver-based Coatings for TMT Optics

Saeko S. Hayashi, Takuya Yamashita, Tomonori Usuda (NAOJ) and Optics Group (TMT International Observatory)

Thirty Meter Telescope (TMT) will have silver based coating for its primary (M1), secondary (M2), and tertiary mirrors(M3) to utilize good reflectivity from optical to IR wavelengths. The initial coating will be the protected silver which has been used at Gemini Telescopes mirrors. In order to make use of good transmission that extends to 300 nm ultraviolet (UV) wavelengths at the telescope site (Maunakea, Hawaii), it is imperative to have sufficient reflectivity from UV to IR. TIO has worked with Lick Observatory and other organizations to develop UV-enhanced silver based coating. Before applying such new coating recipe on the telescope optics, further tests are necessary such as the long term performance and the stripping process to enable recoating.

We acquired UV-enhanced coating candidate samples. From summer 2022, they are exposed at Keck Telescope on Maunakea along with Gemini recipe samples and silver samples from Subaru Telescope for comparison, and they will undergo regular CO2 cleaning. In this report, the initial measurement of the reflectivity from UV to near IR will be discussed. The UV-enhanced samples do have good reflectance in UV with caveat, that is, there are broad-band features. It is important to see if these features change significantly over time.

Samples will be retrieved after 1, 2, and 5 years, respectively, for reflectivity evaluation. TIO plans to recoat each M1 segment or M2 or M3 in 2-year cycle. If the degradation is small enough, the cycle can extend and will reduce the operation load.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V203a SuMIRe-PFS[34]: プロジェクト概要と装置開発進捗状況まとめ 2023 年春季

田村直之¹, 森谷友由希^{2,1}, 矢部清人¹, 村山齊¹, 高田昌広¹, 田中賢幸², Julien Rousselle², 越田進太郎², 石塚由紀², 鎌田有紀子², 他 PFS A project, PFS collaboration (¹ 東京大学カブリ IPMU, ² 国立天文台)

PFS(Prime Focus Spectrograph) プロジェクトでは 2021 年 9 月から 2022 年 11 月末までに 6 回の試験観測を完了した。途中主に PFI やソフトウェア周辺の問題による進捗の遅延はあったが、修正や改良の結果安定して観測ができるようになり、2022 年 9 月の観測では多数の星を同時観測することに成功した(エンジニアリングファーストライト)。装置の試験データだけでなく、より科学運用での想定に近い形での on-sky データ、キャリブレーションデータも取得できてきているので、装置制御ソフト、データ制約・解析パイプラインの開発にも注力している。10 月末にはマルセイユ天文物理研究所(LAM) から 2 台目の分光器がすばる山頂に届き、1 週間余りの作業の後運用が可能な状態になったため、11 月の試験観測では 2 台の分光器を同時運用(i.e. ~1200 本のファイバーを使用)した。残り 2 台の分光器は 2023 年前半の納入を目指し LAM で作業中である。近赤外カメラ 1 台目は 2022 年 7 月の輸送前レビューの後ジョンスホプキンス大学(JHU) から LAM へ輸送され、3 台目の分光器上での試験に移った。他 3 台の近赤外カメラの組み上げ試験も JHU で進行中で、特に 2 台目では良好な結像性能が確認されつつある。主焦点と分光器を結ぶファイバーケーブルは 4 本中 2 本が未敷設だが、ヒロには既に良好な状態で届いており、敷設作業のスケジュールを策定中である。今後は残りのハードウェアを順次敷設しつつ試験観測を重ねていくとともに、科学運用に必要な枠組みやルールを整備し、観測のスケジュールリングやデータ品質保証に必要な機構のテストもしていく。本発表ではこうした装置開発の現状と今後の展望を紹介する。

[スケジュール\(セッション毎\)に戻る](#)

[スケジュール\(全体\)に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V204a SuMIRe-PFS[35]: Second spectrograph module installation and test at Subaru telescope

Rousselle J., Koshida S., Moritani Y. (NAOJ), Barette R., Blanchard P., Crauchet T., Le Mignant D., Madec F. (Laboratoire d'Astrophysique de Marseille), Tamura N. (Kavli IPMU), for the PFS collaboration

PFS (Prime Focus Spectrograph) is an ultra-wide-field, multi-object spectrograph currently being commissioned at Subaru telescope. The focal plane is made of ~2400 science fibers and fiber positioners at the telescope prime focus, covering a field of view of 1.38 deg in diameter. The science fibers will be connected to 4 identical spectrograph modules, each receiving ~600 fibers. Every spectrograph module will host 3 cameras, covering the blue (380-650 nm), red (630-970 nm) and near-infrared (940-1260 nm) wavelengths.

In late 2022, the second spectrograph module was successfully installed and commissioned at Subaru, including the blue and red channel cameras, which brings the total number of usable science fibers to ~1200.

In this presentation we will focus on the spectrograph module installation and testing process at Subaru, its image quality and performance, and the prospect for the installation of the 2 remaining spectrograph modules and the near-infrared cameras.

[スケジュール\(セッション毎\)に戻る](#)

[スケジュール\(全体\)に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V205a SuMIRe-PFS[36]: PFS の共同利用観測に向けた科学運用の検討および開発状況について

小野寺仁人, 田中賢幸, 石垣美歩, Wanqiu He, 表泰秀, 高木悠平, Eric Jeschke, 越田進太郎, 新井彰, 森谷友由希 (国立天文台), 田村直之, 矢部清人 (東京大学), 他 PFS obsproc working group

すばる望遠鏡に搭載される Prime Focus Spectrograph (PFS) は約 2400 本のファイバーを持つ広視野多天体分光器である。PFS の高いサーベイ能力を活かすため、各露出で複数のプログラムから提供されるターゲット天体が混在する視野を考慮してファイバーを割り当てる ‘fiber sharing’ を、キュー観測を基本としておこなう予定である。これは現在のすばる望遠鏡の観測モードにはない新しい枠組みであるため、実現に向けて新規に科学運用の枠組みを策定し、関連するデータベースやソフトウェアの開発をおこなう必要がある。これまでに我々はコミュニティとの議論を含めた検討を重ね、装置コミッショニングを通して各種開発をおこなってきた。本講演では、科学運用ポリシーの検討状況について報告し、観測スケジューリングやファイバー配置の最適化プログラム、各種データベース、観測実行コマンドといった運用を実現するためのソフトウェア等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](#)

V206a SuMIRe-PFS[37]: 2次元 PSF モデリングに向けた解析

林康太, 矢部清人, 高田昌広, 田村直之 (東京大学カブリ IPMU), Neven Caplar (University of Washington), James Gunn, Robert Lupton (Princeton University)

すばる望遠鏡 PFS (Prime Focus Spectrograph) は、1.25 平方度の視野に約 2400 本のファイバーを持つ超広視野多天体分光器である。PFS の 2次元データ解析パイプラインでは、2次元画像上で sky subtraction を行う予定であるが、そのためには各ファイバーについて検出器上での PSF (point spread function) を正確に求める必要がある。望遠鏡焦点面において結像した各天体からの光は、長いファイバーケーブルを通して分光器へと運ばれ、最終的な PSF として観測される。その過程において影響する要因は、主焦点用補正レンズによる vignetting、ファイバーによる FRD (focal ratio degradation)、そして様々な光学収差などである。Zernike 係数 (Zernike 多項式) は光学収差を解析的に記述するのに用いることができるが、試験観測データを用い、各ファイバーについて数十個の Zernike 係数を求める予定である。最終的には、任意の望遠鏡の姿勢、環境条件などに応じて変わる FRD の効果を入れ、望遠鏡から分光器までを正確にモデル化することで、各ファイバーの PSF を定量化することに繋げる。

現在、vignetting の効果を調べるために、PFI (主焦点装置) に設置したファイバーからの光と、望遠鏡の光学系を通さず分光器に直接導入したファイバーからの光を比較する解析を行っている。また、検出器上での任意の位置について、PSF のモデルを実際のデータと比較することで、Zernike 係数をはじめとする種々のパラメータを決定する解析を進めている。本講演では以上のような解析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](#)

V207a すばる望遠鏡 IRCS による熱赤外線偏光撮像観測

工藤智幸(国立天文台ハワイ観測所), 本田充彦(岡山理科大学), 寺田宏(国立天文台)

国立天文台ハワイ観測所では、すばる望遠鏡に搭載されている近赤外線分光撮像装置「IRCS」の新たな機能として、3~5 μm の熱赤外線帯における偏光観測を追加すべく開発を進めてきた。8m クラスの望遠鏡において、この波長帯で偏光機能まで持っている装置は他に無く、新しいパラメータスペースとなっている。特に 3 μm 帯には H₂O ice の固体物質の吸収バンドが存在し、原始惑星系円盤などの散乱(偏光)スペクトルの空間分布を探るサイエンス(snow line の検出)等が期待できる。

これまで、偏光分光においては既に試験が成功(本田ほか: 2018 年秋期年会にて報告)していたが、撮像においては、一部の波長でウォラストンプリズムが分散素子となっている可能性があり、常光と異常光で星像が異なるため正しく差分できない問題が残っていた。しかし、現状の構成でも、条件によっては解析方法の変更で 0.15 秒角の空間分解能で偏光撮像観測が実現できることがわかった。本講演では、これまでの試験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](#)

V208a 東京大学アタカマ天文台 TAO 6.5m 望遠鏡計画 進捗報告 2023

宮田隆志(東京大学), 吉井讓(東京大学, アリゾナ大学), 土居守, 河野孝太郎, 峰崎岳夫, 酒向重行, 廿日出文洋, 江草英実, 小西真広, 上塚貴史, 高橋英則, 松林和也, 加藤夏子, 沼田瑞樹, 鮫島寛明, 山岸光義, 浅野健太郎, 小山舜平, 堀内貴史(東京大学), 本原颯太郎(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も本格化しており、2022 年 11 月までにエンクロージャー下部、ブリッジ、山頂運用棟の建設がおおむね完了、機械設備や電気設備の工事も開始している。

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 9 月に輸送を開始、船便にて 12 月にチリ到着予定である。望遠鏡架台や蒸着装置はすでにチリに到着しておりこれで大型部品はすべてチリに到着済みとなる。山頂施設が受け入れ可能になった段階で順次設置を進めていく。観測装置(MIMIZUKU, NICE, SWIMS)も最終調整・輸送準備を進行中である。これら装置をチリで調整するため、TAO 山麓施設に新実験棟の建設も行っている。鉄骨入手などの問題で建設は遅れているが、2023 年前半には運用開始の予定である。

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を含んだ科学諮問委員会を立ち上げ、これまで 2 回の会議で観測公募に関する議論を進めてきている。2023 年度内には観測を開始する計画である。

本講演ではこの間の TAO 計画の進捗状況と今後の見通しについて詳述する

[スケジュール\(セッション毎\)に戻る](#)

[スケジュール\(全体\)に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V209a TAO 6.5m 望遠鏡用近赤外線観測装置 SWIMS：すばる望遠鏡での共同利用運用報告

小西真広 (東京大学), 本原顕太郎 (国立天文台, 東京大学), 高橋英則, 小山舜平, 加藤夏子, 櫛引洸佑, 陳諾, 穂満星冴, 安田彩乃 (東京大学), 吉井讓 (東京大学, アリゾナ大学), 土居守, 河野孝太郎, 宮田隆志, 峰崎岳夫, 酒向重行, 廿日出文洋, 江草英実, 上塚貴史, 松林和也, 鮫島寛明, 山岸光義, 浅野健太郎, 堀内貴史, 沼田瑞樹 (東京大学), 大澤亮 (国立天文台)

近赤外線多天体分光カメラ SWIMS (Simultaneous-color Wide-field Infrared Multi-object Spectrograph) は東京大学がチリ・アタカマ高地のチャナントル山山頂 (標高 5640m) に建設中である東京大学アタカマ天文台 (TAO; プロジェクト代表 吉井 讓) 6.5m 赤外線望遠鏡に搭載される第一期観測装置の一つである。極度に乾燥した気候と高い標高によってもたらされる非常に優れた赤外線大気透過特性を活かした効率的な観測を実現するため、SWIMS は (i) 近赤外線 2 色同時撮像と (ii) 多天体スリットにより最大 20 天体の波長 0.9–2.5 μm のスペクトルを一挙に取得する、という特長を有している。

TAO 6.5m 望遠鏡の完成に先立って運用ノウハウの蓄積及び初期科学成果をあげることを目的に、我々は S21A 期から S22B 期の 2 年間に渡ってすばる望遠鏡での共同利用観測に PI 観測装置として供してきた。その結果、ハードウェア・ソフトウェアともに運用に耐えるレベルにほぼ仕上げることができた一方で、再現性の無い挙動もいくつか見つかった。本講演では、装置の性能評価結果に加えて、こうした注視すべき不具合について報告するとともに、今後の TAO での運用に向けた計画をまとめる。

[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](#)

V210a TARdYS の検出器システム性能評価

穂満星冴, 土居守 (東京大学), 本原顕太郎, 中屋秀彦 (国立天文台), Leonardo Vanzi (Pontificia Universidad Católica de Chile)

TARdYS (TAO AIUC high resolution (d) Y-band Spectrograph) は TAO 6.5m 望遠鏡の第二期近赤外線観測装置として開発中の装置であり、0.843–1.117 μm をカバーする、Y バンドに特化した $R = 66000$ のファイバーフィード型高分散赤外線分光器である。この装置には、1.3k \times 1.3k という大型フォーマットの国産 InGaAs フォトダイオードアレイ検出器が搭載されている。

今回、我々はエンジニアリンググレードの検出器について暗電流、コンバージョンファクター、線形性、パーシステンス、量子効率等についての評価を行い、以下のような結果を得た。

| | |
|---------------------|----------------------------------|
| 暗電流 (@120[K]) | $1.2 \times 10^{-2} [e^-/s/pix]$ |
| 読み出しノイズ (ダブルサンプリング) | 9.2 [e^-] |
| 非線形性 < 5% 範囲 | $< 1.48 \times 10^5 [ADU]$ |
| パーシステンス割合 | 0.7% |
| パーシステンス HWHM | $\sim 100 [s]$ |
| 量子効率 | 83% |

本講演では、特に検出器のパーシステンスの評価の手法と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](#)

V211a ULTIMATE-Subaru: 地表層補償光学の解析的な性能評価

大野 良人, 美濃和 陽典, 寺尾 航暉, 田中 陽子, 吉田 裕茂 (国立天文台), 秋山 正幸, 大金 原 (東北大学), Noelia Martinez Rey, Nicholas Herral, Celine D'Orgeville, Francois Rigaut, Israel Vaughn, David Chandler, Dionne Haynes, Warrick Schofield(ANU)

ULTIMATE-Subaru はすばる望遠鏡用に開発中の近赤外広視野観測装置であり、地表付近の大気揺らぎを補正することで広視野にわたってシーイングを改善する地表層補償光学装置 (GLAO) と近赤外広視野撮像装置 (WFI) を組み合わせることで、約 14×14 平方分角という広視野にわたって K-band で約 0.2 秒角の高解像度な観測を実現する。ULTIMATE は HSC と PFS に続く「すばる 2」計画の広視野戦略を担う主力装置として位置付けられている。GLAO については 2028 年のファーストライトを予定しており、主要サブシステムの予備設計レビューが 2022 年末に行われた。現在は各サブシステムの最終設計フェーズに向けての準備を進めている。

予備設計では、概念設計でのパラメータをベースとして解析的な手法による GLAO の性能評価を行い、科学目標で設定されている性能を達成するために各波面誤差 (フィッティング誤差、波面再構成誤差、時間遅れ誤差、波面センサーの測定誤差) に許される許容値を求めた。高次の波面誤差は、GLAO では補正できない高層揺らぎの影響が支配的であることがわかった。一方で低次のチップチルトの成分では高層揺らぎの影響だけでなく波面センサーの測定誤差の影響も大きく、自然ガイド星の明るさが要求性能を達成する上で重要なパラメータであることがわかった。主要なディープフィールドについて Pan-STARRS のカタログから使える自然ガイド星の明るさを見積もり、要求される GLAO の性能を 90% 以上の領域で達成できる見込みであることがわかった。本講演では、予備設計レビューからのアップデートも含め GLAO の性能とその振る舞いについて報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V212a 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-

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)

大気乱流プロファイル (乱流強度を高度の関数として表したもの) は、観測サイトの評価だけでなく、補償光学装置の設計・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大気乱流を高さ方向に分解して測定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。また、地表の大気乱流を補正して広い視野にわたって高い分解能を実現する地表層補償光学 (GLAO) では、望遠鏡のドームシーイングを含めた地表付近のプロファイルが性能のシミュレーション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。2022 年 4 月までに装置の設計、組み上げ、実験室での調整、すばる望遠鏡へのインストール試験を完了し、2022 年 6 月と 11 月に 2 度のオンスカイ試験の機会を得た。6 月の試験では望遠鏡のトラブルがあったものの、11 月の試験で初めてデータの取得に成功した。

得られたデータの解析には 2 種類の手法を採用しており、SLODAR 法では数分角離れた 2 つの星からの光波面の相関を取ることで、高度 300m 以下の低層乱流を 20m 程度の分解能で測定することができる。SH-MASS 法では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 600m 以上の高層乱流を数 km 程度の分解能で測定できる。本講演では、オンスカイ試験データの解析結果および今後の計画を報告する。

[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 Shack-Hartmann 型波面センサーを用いた大気擾乱モニターシステム MAMO の開発

小牧誠人, 毛利めぐみ, 坂部健太, 大坪翔悟 (京都産業大学), 池田優二 (京都産業大学、フォトコーディング), 別所泰輝 (株式会社フォトクロス), 大屋真 (国立天文台)

京都産業大学神山天文台では大気揺らぎの強度を高精度かつリアルタイムで推定できる「大気擾乱モニターシステム MAMO」の開発を行っている。MAMO は大気状態のモニター装置であると同時に、同天文台で開発中の小型補償光学装置 (CRAO) のフロントエンド器として想定されている。

MAMO は DIMM (Differential Image Motion Monitor) 法と MASS (Multi Aperture Scintillation Sensor) 法を測定原理として用いている。望遠鏡瞳上に多数 (>700 個) の開口を設け、任意の開口ペアを通過する微少波面の波数ベクトルの差と振幅の相関からフリード長 (r_0) と大気揺らぎ強度の高度分布 ($C_N^2(h)$) を得ることができる。開口間距離が異なる開口ペアの相関値を活用することで、従来の MASS-DIMM では得られなかった高い高度分解能での $C_N^2(h)$ の推定が可能である。実際の瞳面の分割には望遠鏡主鏡と光学的に共役な位置に Shack-Hartmann 型波面センサーを設置することで実現している (Ogane et al., 2021)。MAMO は 2019 年より開発を開始し、2021 年の秋にエンジニアリングファーストライトを迎えた。2022 年 4 月以降は、仮運用として 2 日/月のペースで観測を行っている。これまでに得られたデータを用いて DIMM によるシーイング測定の精度検証を行った結果、同時測定のイメージング画像から推定したシーイング値 (FWHM) と良い一致が見られた。一方で、同サイトにおいての想定シーイング値 (FWHM=3.2 秒角) は、季節によっては良く見積りすぎている可能性があることも分かってきた。本講演では、MAMO の開発経緯と共に、進行中の MASS による $C_N^2(h)$ の推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](#)

V214a 連星系における系外惑星探査のための波面測定技術の開発

米田 謙太 (国立天文台), 村上 尚史 (北海道大学)

これまでに主に間接的な手法によって、連星の周囲に 200 個を超える系外惑星が発見されている。一方で、連星周囲の惑星の直接観測は、複数の恒星光が観測を妨げてしまうため、非常に困難である。現在開発が進められている高コントラスト観測装置の多くは、単一星周囲の惑星の観測を目指している。連星周囲の惑星の直接観測が可能となれば、惑星の多様性の理解につながる知見が得られると期待される。

惑星の観測を妨げる恒星光のうち、光学素子の面粗さなどに起因する恒星散乱光は、高コントラスト観測装置のダークホール制御技術と呼ばれる波面制御技術によって抑制される。先行研究として、北海道大学に構築した高コントラスト観測テストベッド FACET において、連星系ダークホール制御の実証実験が行われている (米田他, 2022 年春季年会 V207a)。今回、我々は、Self-Coherent Camera (SCC) 法と呼ばれる波面測定技術 (Baudoz et al. 2006, Proc. IAU, 200 553) を、連星系に適用することを提案する。従来の SCC 法は、コロナグラフにおける Lyot ストップに 1 つのピンホールを設け、参照光を作り出すことで得られる干渉縞から波面を測定する手法である。我々が提案する手法では、ピンホールを 2 つに増やし、それぞれのピンホールで異なる恒星の参照光を作り出す。これにより、効率的に連星の波面を測定できると期待される。

提案手法の実証のために、数値シミュレーションと室内実験を行った。数値シミュレーションでは、得られた波面情報を用いたダークホール制御により、連星散乱光を抑制することに成功した。また室内実験では、テストベッド FACET に実験光学系を構築し、取得した波面情報から連星散乱光の強度復元に成功した。現在は、ダークホール制御の実験を進めている。

[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](#)

V215a 広視野近赤外線望遠鏡 PRIME の進捗状況

山響 (大阪大学), PRIME コラボレーション

我々は世界初の広視野で近赤外線を用いた銀河系中心方向の重力マイクロレンズサーベイを行うために、広視野近赤外線望遠鏡 PRIME (PRime-focus Infrared Microlensing Experiment) の建設を 2022 年 7 月から南アフリカ共和国にて実施した。PRIME 望遠鏡は近赤外線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.*, 2022) に増えると見積もられている。地球質量以下の惑星検出数も増え、より正確に惑星分布を求めることができる。また、銀河系中心付近の星の数密度が高い領域での惑星頻度を世界で初めて見積もり、従来の可視光観測の領域と比較することで、環境による惑星頻度の違いを検証できる。PRIME 望遠鏡は NASA が打ち上げを予定している Roman 宇宙望遠鏡の観測領域の最適化や、Roman との同時観測も行う予定である。

2022 年 10 月には広視野近赤外線観測装置 PRIME-Cam が PRIME 望遠鏡にインストールされ、ファーストライトを実施した。現在、PRIME 望遠鏡は 2023 年度からのサイエンス観測に向けてさまざまな準備を行う Commissioning phase の段階である。本講演では Commissioning phase における PRIME 望遠鏡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](#)

V216a 大型低温重力波望遠鏡 KAGRA の現状

陳たん on behalf of the KAGRA collaboration

大型低温重力波望遠鏡 KAGRA は、岐阜県飛騨市にある神岡鉱山の地下に建設された基線長 3 km のレーザー干渉計である。微弱な重力波を捉えるために重力波望遠鏡は、信号の増幅技術とともに、ノイズの影響を極限にまで抑える技術が多く取り入れられている。環境雑音が低い地下での建設と、熱雑音を抑えるための低温鏡使用という KAGRA の 2 つの大きな特徴は、現存する km 級望遠鏡としては初めての挑戦である。また、これらは Einstein Telescope や Cosmic Explorer といった将来の重力波望遠鏡で活用検討されている技術手法であり、その先駆者としての KAGRA に期待が集まっている。

KAGRA は、2020 年 4 月に初めての国際共同観測運転 (O3GK) を終えて以降、米国の LIGO、欧州の Virgo との次期国際共同観測運転 (O4) に向けてアップグレードを行ってきた。初めに O3GK において望遠鏡感度を制限していた多くのノイズ源を特定し、次に特定したノイズ源に対して各々に対策、改善を実施した。例えば、低周波領域においては鏡防振系の改善や新しい角度センサーの導入、中周波領域においては迷光雑音・環境雑音への対策、そして高周波領域においては高レーザーパワー化が挙げられる。さらに、今回の O4 では、KAGRA としても初めて全ての主鏡を冷却した状態で観測運転を行う予定であり、冷却鏡を含む状態での最終調整 (commissioning) が O4 開始の数ヶ月前から行われてきた。

本講演では、2023 年春に開始する観測運転 O4 における KAGRA の現状に加えて、O3GK 以来の改善点や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](#)

V217b すばる望遠鏡レーザーガイド星高出力化と性能評価

美濃和陽典, 大野良人, 土井由行, 田中陽子, 坂東貴政, 吉田裕茂, 寺尾 航暉, 沖田博文, Matt Wung, Lucio Ramos(国立天文台), 秋山正幸, 大金原 (東北大学)

国立天文台ハワイ観測所では2011年より補償光学システムで用いる人工参照光源としてレーザーガイド星を用いて観測を行っている。レーザーガイド星を用いる事で、大気揺らぎ波面を測定するための明るい星が周辺にな小天域においても、補償光学を用いた観測が可能になる。

従来のレーザーガイド星生成システム (LGSF) で用いていたレーザーは、伝送用の光ファイバーの劣化により、上空に伝搬するレーザー光の出力が大幅に低下していたため、2019年に運用を終了し、大口径望遠鏡用の補償光学の標準システムとなっている20WのTOPTICA SodiumStarを用いたLGSFの開発を行った。新しいLGSFでは、レーザー高出力化に伴い、光ファイバー内での非線形効果により、波長のシフト、及び波長幅の広がりが出てしまう。そのため、新しいLGSFでは、ファイバーを廃止し、鏡によりレーザー光を送信望遠鏡まで転送する事とし、それに伴いすばる望遠鏡の大幅な改修を行った。望遠鏡への搭載は2022年前半に完了し、2023年度からの運用に向けて試験観測を行っている。また、高出力レーザーを4分割し、レーザートモグラフィ補償光学用の4つのレーザーガイド星を生成するアップグレードも進めている。

本講演では、新しいレーザーガイド星の概要を紹介し、試験観測により得られたレーザーガイド星の性能、高出力化に伴う補償光学性能の向上について報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V218b 補償光学で用いる4ビームレーザーガイド星の伝搬モデルの開発

小鹿 哲雅 (関西学院大学), 美濃和 陽典, 大野 良人 (国立天文台), 秋山 正幸 (東北大学)

補償光学は、自然のガイド星 (NGS) あるいはレーザー光によって人工的に作られるレーザーガイド星 (LGS) の光を用いて、地球大気による光波面の乱れをリアルタイムに測定し、可変形鏡で補正を行う。LGSは有限距離にあるため、LGSの光路の外側の大气揺らぎを測定できず、LGS1つで天体の光路全てを補償することができない。すばる望遠鏡では、LGSを1つから4つへ増やして天体の光路上の全ての大气揺らぎを測定することにより、補償性能の向上を目指している。本研究では、4つのLGSの配置を自由自在に操作可能にすること、生成されるLGSのスポットサイズやJitterを評価することのために、LGS生成光学系の最適化、地上からナトリウム層へ大气揺らぎを通過するレーザー光の伝搬シミュレーション、ナトリウム層から波面センサーへ大气揺らぎを通過するレーザー光の伝搬シミュレーションを行った。

LGS生成光学系にある8枚のTip/Tiltミラーの角度を自作の光線追跡プログラムで制御した結果、レーザー送信望遠鏡の副鏡による遮蔽のため、設定可能なLGS打ち上げ角度範囲にギャップが存在することが分かった。また、得られた光学系のケラレをガウシアンビームに反映させたレーザー送信望遠鏡の射出瞳マップを作成し、地上からLGSの生成される高度90kmのナトリウム層までの伝搬を求めた。伝搬の結果、波面センサーのようにナトリウム層に生成されたLGSを短い露光時間で観測する場合、LGSが大气揺らぎによってふらつく影響により、回折限界+シーイング程だと経験的に得ていた従来のLGSの大きさの見積もりよりも小さくなることが分かった。本ポスターでは以上の内容を報告する。(本研究は2022年度国立天文台・総研大天文科学専攻サマーステューデントプログラムの課題として行った。)

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V219b ハワイ・ハレアカラ東北大 60cm 望遠鏡に搭載する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)

本講演では、東北大学ハワイ・ハレアカラ観測所の口径 60cm 望遠鏡 (T60) に搭載する補償光学 (AO) 装置の開発状況について報告する。我々は T60 を用いて、可視域で水星のアルカリ金属外圏大気や、木星衛星イオやエウロパ周辺の大気・プラズマ発光の連続観測などを非 AO で行っている。水星外圏大気と太陽風等との相互作用や、火山・噴出活動に伴う木星衛星の大気・プラズマ環境を探るため、数日から数ヶ月に渡り、5 等級の観測対象を 1 秒角を切る空間分解能で安定して連続観測する必要がある。ハレアカラ山頂は連続観測に適するが、シーイングは常に 1 秒角を切るわけではない。そこで、我々は可視域 (~近赤外) での AO の実現を目指し開発中である。我々も参加して鍵となる観測を行う日欧合同の BepiColombo による水星探査 (周回: 2025~2028) や欧木星探査機 JUICE (周回: 2031~2037) との連動も目指し、またゆくゆくは現在開発中の 1.8m 軸外し望遠鏡 PLANETS への応用も目標としている。本 AO システムは、140 素子の MEMS 可変型鏡 (Boston Micromachine 社) と Shack-Hartmann 波面センサ (TIS 社 DMK33UX287 と Thorlabs 社 MLA150-7AR) からなり、Windows PC (HP 社 AMD Ryzen 5PRO 4650G) を用いて最大 600 Hz にて閉ループ制御を行う。2022 年 3 月に光学系を T60 のカセグレン焦点に設置し、遠隔制御により AO 制御ソフトの開発と評価を行ってきた。波面補償計算には校正行列の特異値分解に適切な打ち切り精度を設定することで、3.5 等級までの観測対象で安定した閉ループ制御を実現した。2022 年 11 月に夜間 2.5 等級の恒星を対象に行った試験観測では、波長 590 nm においてシーイング半値全幅 (FWHM) 1.3" に対し AO 動作時 FWHM 0.24" を達成した。本講演では、これらの試験観測の結果、および Zernike モード展開による制御手法との比較検討等について報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V220b 高コントラスト観測法 Coherent Differential Imaging on Speckle Area Nulling (CDI-SAN) の開発 2

米田 謙太 (国立天文台), 西川 淳 (国立天文台/総研大/ABC), 早野 裕 (国立天文台/総研大), 入部 正継 (大阪電通大), 山本 広大, 津久井 遼 (京大), 村上 尚史, 浅野 瑞基 (北大), 村松 大海 (農工大/国立天文台), 田中 洋介 (農工大/ABC), 田村 元秀 (東大/ABC/国立天文台), 住 貴宏 (阪大), 山田 亨 (宇宙研), Olivier Guyon (国立天文台/ABC/アリゾナ大), Julien Lozi, Vincent Deo, Sebastien Vievard, Kyohoon Ahn (国立天文台)

地球型系外惑星を直接撮像し、バイオシグナチャーを検出することは、現代天文学の最も重要な目標のひとつとなっている。地球型系外惑星を直接撮像するためには、高コントラスト観測技術を用いて近傍の恒星光を 10^{-8} - 10^{-10} レベルに抑制する必要がある。観測を妨げる恒星光のうち波面収差に起因する散乱光 (スペックル) は、ダークホール制御技術と呼ばれる波面制御技術によって抑制される。しかし、地上望遠鏡では大気揺らぎ、宇宙望遠鏡では温度変化などの影響で、ダークホール制御よりも速く変動するスペックルは抑制できない。高速に変動するスペックルを抑制するために、ダークホール制御技術の一種であるスペックル領域消光法に基づく干渉差分 (Coherent Differential Imaging on Speckle Area Nulling: CDI-SAN) 法が提案された (Nishikawa 2022, ApJ, 930, 163, 西川他, 2022 年秋季年会 V233a)。CDI-SAN 法は、スペックルの変動よりも速く 5 種類の変調と測定を行い、得られた観測積分値から後処理により変動するスペックルを抑制する手法である。

現在、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。FPGA を用いた高速制御に先駆け、PC を用いた制御により、スペックルを抑制することに成功した。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V221b 引き摺り 3 点計測法による 1.8m 軸外し望遠鏡 PLANETS 主鏡の研磨

鍵谷 将人 (東北大学), 高橋 啓介 (ロジストラボ), 平原 靖大 (名古屋大学), 栗田 光樹夫, 森本 悠介 (京都大学), 花村 悠祐 (名古屋大学), 永田 和也, 坂野井 健, 笠羽 康正 (東北大学)

口径 1.8 m の軸外し望遠鏡である PLANETS (Polarized Light from Atmospheres of Nearby Extra-Terrestrial Systems) は、東北大学がハワイ大学他との国際協力のもと開発を進めており、ハワイ・ハレアカラ観測所への設置を最終目標として 2023 年に国内でファーストライトを迎える予定である。掩蔽物のない低散乱光学系という特徴を生かして、太陽系内惑星や衛星近傍の大気・プラズマ発光といった、高輝度天体近傍の微弱発光の観測 (高ダイナミックレンジ観測) を重要な目標の一つに挙げている。本発表では名古屋大、京都大、ロジストラボ社と共同で開発を進めている軸外し放物面主鏡 (直径 1.85m、焦点距離 4330mm、重さ 510kg のクリアセラム) の形状計測と研磨の進捗について報告する。本研究ではロボットアームを用いた引き摺り 3 点法 (Kurita+2015, Kurita+2022) を形状計測の基盤技術として利用する。計測経路に沿った形状の 2 階微分に相当する局所曲率の変化を測定し、これを 2 階積分することで形状を導出する。単一の経路に沿った計測からは形状の 2 次成分は定まらないが、相互に交差する複数の直線パスや、閉じた円環パスの計測を組み合わせることで、実用的な精度での計測を実現する。計測後に同一のロボットアームを用いて修正研磨を行うことで、計測と研磨のサイクルを高頻度に安定して行うことができる。2021 年 10 月から開始した作業工程により、16 回の計測・研磨サイクル、延べ 1300 時間の修正研磨により、Zernike 第 6 項までを除いた形状誤差を 760nm から 85nm に減少させた。発表では同一状態の鏡を異なる計測経路で複数回測定した結果を示し、計測形状の再現性と最新の研磨状況について紹介する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V222b 京都大学飛騨天文台太陽磁場活動望遠鏡マグネトグラフの高精度化

永田伸一, 石井貴子, 一本潔, 上野悟, 木田祐希, 木村剛一, 黄于蔚, 仲谷善一, 西田圭佑 (京都大学)

京都大学飛騨天文台の太陽磁場活動望遠鏡 (Solar Magnetic Activity Research Telescope:SMART) は、口径 20cm の全面望遠鏡 2 台、口径 25cm の部分像望 2 台、さらにシンチレーションモニタ装置と分光計を同架する、太陽活動モニター装置群である。25cm 鏡筒の一つは、Fe I 6302.5Å の偏光スペクトルを観測する光球磁場マグネトグラフ (Tandem Etalon Magnetograph:TEM) であり、他装置で観測する太陽フレア、フィラメント噴出前後の光球磁場変動をモニタ観測することで、磁気エネルギー解放現象の研究を行っている。TEM は偏光ビームスプリッタを用いた直交 2 偏光成分を、30fps の CCD カメラ (Prosilical GE1650) を用いて同時観測し、時系列方向の image registration 処理することで、約 1 分の観測で偏光測定精度 $\sim 5 \times 10^{-4}$ を達成することができる (Nagata et al. 2014, Yamasaki et al. 2022)。しかしながら、30fps のフレームレートでは豊富な太陽の光量に対応できず、4ms の露光時間に対して ~ 30 ms のフレーム間隔にとどまり、約 90% の光子を有効に活用できていなかった。そこで、さらなる観測精度の向上を図るために、12bit モードで最大 486fps の読み出しが可能な CMOS カメラ (Baumer VLXT-17M.I) を用いるシステムへの改修を行っている。現在までの調整で full well の向上により適正露光時間は 10ms と従来に対して増加したが、オーバーラップ読み出し機能を用いることで、ほぼ無駄時間のない ~ 99 fps での動作が可能なが分かっている。さらに増大するデータ量に対応するため GPU を用いた image registration や、撮像周期に最適化した波長板の回転速度の調整も進めている。本ポスター講演では、システム概要と新規開発項目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](#)

V223c 放物柱面鏡を有するオフセット光学システム

浅利栄治 東京農業大学

この研究では、主鏡 M である放物柱面鏡と柱状凸レンズ L(または副鏡 L の放物柱面鏡) を組み合わせて画像を取得する新しいタイプの光学システムを提案します。このシステムは、必要最小限のサイズでの柱状凸レンズ L (または副鏡 L) 利用のため、あるいは主鏡に生じる副鏡 L 等の入射光の影を消失されるために導入されたオフセット光学システム (OOS) も含みます。ここでは放物柱面鏡 M、柱状凸レンズ L(または副鏡 L)、およびスクリーン S(または検出装置) を直列に配置することで構成される 2 つのタイプの光学望遠鏡を提示します。主鏡 M の放物柱面鏡は、光源からの入射光を反射し、線状に焦点を合わせることができます。柱状凸レンズ L(または副鏡 L の放物柱面鏡) は、主鏡 M と線状焦点の間に配置され、透過光 (または反射光) を一点に収束させます。望遠鏡のレンズ L(または副鏡 L) とスクリーン S の位置は、数値計算がおこなわれました。この光学システムではじめて天体が撮影されましたが、得られた像には縦横比の異なる歪みが生じます。接眼レンズ等を通して人間の目でリアルタイムで観察する場合には、今後においては光学補正システムを開発する必要もあるでしょう。ここで提案される光学システムは、一般の人々でも比較的簡単に主鏡 M と副鏡 L を 3D プリンターなどで製作できます。主鏡 M と副鏡 L の形状が放物柱面であるので、一度型枠を整形されるとある程度の精度で樹脂等で主鏡と副鏡の大量生産することも可能になってきます。さらに大きな 3D プリンターを用いることで比較的大きな集光力の望遠鏡を製作することも可能かもしれません。

(国内特許第 6602942 & 7037846 号 米国特許申請中)

[スケジュール\(セッション毎\)に戻る](#)

[スケジュール\(全体\)に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V224c 可視光用大フォーマット CMOS 検出器の開発

鎌田有紀子、川野元聡、宮崎聡(国立天文台)、小宮山裕(法政大学)

近年、時間変動をする天体現象に注目が集まっており、高速読み出しが可能な撮像素子への期待が高い。従来の CCD では出力アンプを増やし並列読み出しを行う等の対応で、読み出し時間の短縮を図ることも行われているが、より高速な読み出しを実現するためには、従来の CCD と比べて電荷転送が不要な CMOS への転換が必要となる。しかし CMOS は天体観測用には受光面積が狭いことや読み出しノイズが高いことが問題であった。これらを踏まえ、私達は 2018 年より浜松ホトニクス(株)社と共同で大型の CMOS 撮像素子の開発に取り組み、これを用いた広視野高速カメラの開発を進めている。感度の高い撮像素子を実現するため、表面照射型に対しフィルファクタが 10 倍程度向上し、ポリシリコンによる光子の吸収を避けることが出来る裏面入射型とした。フォーマットは 10,000×2,560 ピクセル、ラッキーイメージングへの応用を鑑み、ピクセルサイズはこれまでの半分の 7.5 μm とした。受光面は一素子当たり 7.5cm×1.9cm となり、30 分角(直径 13.5cm)の視野を持つ Suprime-Cam の焦点面を 12 素子で覆うことを考え、3 辺近接配置可能なパッケージを採用した。高速読み出しに対応するために、各列に ADC(アナログデジタル変換器)を配置する「列 ADC」方式を採用し、毎秒 10 フレーム読み出しを可能とした。これまでのテスト素子により、目標とする量子効率(波長 600nm)は最大で 80%、読み出しノイズは $3e^-$ を達成している。本公演では CMOS 開発の進捗および、量子効率、Full well、読み出しノイズなどの基本特性の評価結果を中心に報告する。また、本 CMOS の開発と並行して開発中の読み出し回路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](#)

V225a 可視3色高速撮像分光装置 TriCCS 用面分光ユニット開発 -光学設計-

松林 和也, 土居 守, 酒向 重行 (東京大学), 都築 俊宏, 池之上 文吾, 小原 直樹, 尾崎 忍夫, 本原 顕太郎 (国立天文台), 前田 啓一, 太田 耕司 (京都大学)

近年の可視光広視野サーベイや、重力波望遠鏡などによるマルチメッセンジャー天文学の広がりにより、超新星爆発を含む多種多様な変動天体が発見され、そのフォローアップ観測の重要性が増している。我々はせいめい望遠鏡用の可視3色撮像分光装置 (Tricolor CMOS Camera and Spectrograph: TriCCS) の開発を進めている。TriCCS は検出器に CMOS センサを採用し、秒間約 98 フレームでの高速撮像・分光観測と世界でも類を見ない特徴を持っており、高速変動現象の解明に威力を発揮する装置である。

TriCCS はスリット分光モードを備えており、試験観測により天体のスペクトルを取得できることが確認できている。しかし、地上望遠鏡でスリット分光観測を行うと、地球大気の影響 (シーイング) により天体像が広がってしまい、装置の検出器まで届く光量が減ってしまう。また、1 秒以下のタイムスケールで見ると、シーイングによってスリットに対して天体像位置が激しく動き、スリットを通る天体光量が大きく変動するため、天体由来の高速変動現象を見つけにくくなってしまう。

そこで我々は、TriCCS に搭載するコンパクトな面分光ユニットの開発を進めている。天体像サイズが広がった場合、または天体像位置が動いた場合でも、面分光であれば天体光の損失が小さくなり、観測効率の低下を抑えることができる。TriCCS 面分光ユニットは VLT/X-shooter の面分光モードを参考にしており、望遠鏡焦点面に 3 スライスのイメージスライサー型のユニットを置くタイプのものとなっている。本講演では、面分光ユニットの光学系設計と、光学素子の製作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](#)

V226a せいめい望遠鏡に搭載する系外惑星探索専用高分散分光器 GAOES-RV : 初期性能評価

佐藤文衛 (東工大), 橋本修 (ぐんま天文台), 大宮正士 (ABC), 泉浦秀行, 田實晃人, 神戸栄治, 原川紘季 (国立天文台), 松林和也 (東京大), 本田敏志 (兵庫県立大), 寶田拓也, 堀安範 (ABC), 成田憲保 (東大), 國友正信 (久留米大)

我々は、主に巨星を対象とした視線速度法による系外惑星探索を展開するため、京大 3.8m せいめい望遠鏡への系外惑星探索用高分散分光器 GAOES-RV の導入を進めている (日本天文学会 2022 年春季年会 V206a)。GAOES-RV は、ぐんま天文台 1.5m 望遠鏡の高分散分光器 GAOES に視線速度精密測定機能を追加してせいめい望遠鏡に移設したものである。2022 年 2 月にファーストライトを迎え、現在、2023 年後期から共同利用装置として公開することを目指して総合調整を進めている。本講演では、GAOES-RV の構成と初期性能について報告する。

GAOES-RV はせいめい望遠鏡ドームの 2 階に新たに設置された精密空調 ($\pm 0.2^\circ\text{C}$) 付き分光器室内に置かれ、恒星光はナスミス焦点から光ファイバーで伝送される。ナスミスユニットには専用のガイド系 (視野 ~ 1 分) と較正光源 (ThAr ランプ、フラットランプ)、視線速度精密測定用ヨードセルが含まれ、恒星光は約 2.4 秒角に相当するコア径 $130\mu\text{m}$ の光ファイバー (円形または八角形コア) に入射される。出射光はイメージスライサーで 5 分割され、最終的に波長分解能は $R \sim 60,000$ が達成されている。同時取得波長域は $5160 \sim 5930\text{\AA}$ に設定されている。分光標準星の観測からは暫定的な効率として 2% 弱という値が得られている。2022 年 10 月以降の毎月の試験観測では、視線速度標準 (不変) 星、惑星をもつ恒星、太陽型星等のスペクトルを取得し、基本的な科学観測のための評価を進めている。講演では、これらの結果も報告する予定である。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V227a 岡山 188cm 鏡/HIDES-F における高精度視線速度測定のための天文コムデータの解析

細井雄太郎, 佐藤文衛 (東京工業大学), 野津湧太 (東京工業大学/コロラド大学), 大宮正士 (ABC/NAOJ), 泉浦秀行, 神戸栄治 (NAOJ), 稲場肇, 大久保章, 柏木謙 (産業技術総合研究所)

近年の系外惑星観測では、第二の地球の検出などを目的として、cm/s オーダーの視線速度測定に対する要求が高まっている。この超高精度を達成するための波長較正用比較光源として、「天文コム」と呼ばれるものが導入され始めた。天文コムとは、ThAr ランプのような従来のラインの本数に限界がある比較光源とは異なり、人工的に密な輝線を出力することができるもので、波長決定精度を飛躍的に高めることができる。岡山 188cm 望遠鏡の高分散分光器 HIDES には 2016 年に天文コム一号機が導入され (2017 年秋季年会 V269a, 270a)、現在は 2019 年に導入された二号機が長期間運転を続けている。本研究では、HIDES 用天文コム二号機の特長や安定性、その解析手法、恒星の視線速度測定への応用について、得られたスペクトルデータをもとに調査・検討を行った。

コムの輝線スペクトルは、HIDES の観測波長域に対応した 4,500~5,500 Å と 6,500~7,500 Å に出力されている。オーダーあたりの輝線の本数は 200~300 本であり、ThAr (30~50 本/オーダー) の約 6 倍である。これらを全て用いると、現実的な光量のもとでスペクトル一枚あたりの速度決定誤差 (統計誤差) は理論的に 5 cm/s となる。一方、安定性に関しては、ThAr と同様に一晚で最大 1pixel (=1,500m/s=0.03 Å) 程度の輝線位置の変動が見られた。また、ThAr はスペクトル全体の強度変化に伴う、ライン毎の相対的な強度変化はほとんどないが、コムはスペクトル全体の強度変化の有無に関わらず、ライン毎の相対的な強度変化が確認された。講演では、これらの変動と分光器室内温度との関係や、ヨードセルを用いた波長較正との比較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](#)

V228a 近赤外線高分散分光器 WINERED : Magellan 望遠鏡ファーストライト

竹内智美, 大坪翔悟, 猿楽祐樹, 加藤晴貴 (京都産業大学), 池田優二 (京都産業大学, Photocoding), 松永典之, 谷口大輔, 近藤荘平 (東京大学), 濱野哲史 (国立天文台), 吉川智裕 (Edechs), Andrew McWilliam, Charlie Hull (Carnegie Observatories), WINERED グループ

WINERED は東京大学および京都産業大学赤外線高分散ラボ (LiH) 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 (0.91-1.35 μ m) の波長域を波長分解能 $\lambda/\Delta\lambda=28,000$ および 70,000 で観測可能で、最大の特徴として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) を持つ。WINERED は 2012 年に京都産業大学神山天文台の荒木望遠鏡 (口径 1.3m) でファーストライトを迎えた。2017 年にはチリ・La Silla 天文台の New Technology Telescope (口径 3.58m) に移設され、口径 8-10m 級の望遠鏡に搭載された名だたる近赤外線高分散分光器 (IRCS/Subaru, NIRSPEC/KeckII, CRIRES/VLT) を凌駕する感度 (8 時間積分、S/N=30) の限界等級 $m_J \sim 16.4$ を達成した。プロジェクトの最終段階として、2019 年に La Silla 天文台から約 20km 北に位置する Las Campanas 天文台の Magellan 望遠鏡 (口径 6.5m) への移設が決定した。ところが、装置の移送後間もなくして、新型コロナウイルスの感染拡大により同天文台への入場が強く制限されたため、インストール作業の中断を余儀なくされた。2022 年 5 月ようやく現地作業が許可され、装置の再組立/再調整を経て、同年 9 月にファーストライトを迎えることができた。本講演では、足掛け 4 年にも渡った移設の経緯、Magellan 望遠鏡搭載のために実装した改良とその結果、試験観測によって得られた Magellan 望遠鏡搭載時の装置性能 (限界等級など) について報告する。また、ファーストライトを通じて判明した Magellan 望遠鏡特有の課題についても議論するとともに、今後の開発や運用プラン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](#)

V229a OISTER 連携観測で明らかになった Starlink's Visorsat の反射光低減効果

堀内 貴史 (東京大学), 花山 秀和, 大石 雅寿 (国立天文台), 中岡 竜也 (広島大学), 高橋 隼 (兵庫県立大学), 山中 雅之 (鹿児島大学), 野上 大作 (京都大学), 大朝 由美子 (埼玉大学), 村田 勝寛 (東京工業大学), 高木 聖子 (北海道大学), 他 OISTER team collaborations

SpaceX 社 (アメリカ合衆国) は高速インターネットサービスを充実させるべく、2019 年 5 月に 60 機のスターリンク衛星を打ち上げた。同社によって 2020 年代中頃までに 42,000 機の運用が予定されているが、スターリンク衛星の多くは地球低軌道 (550 km など) を周回するため、衛星の太陽光反射によって観測研究等に影響が出る懸念されている。この懸念に対し国際天文学連合は 2020 年 2 月に声明を表した。この声明を受けて SpaceX 社は太陽光反射を低減させるための庇を取り付けた Visorsat (バイザーサット) を 2020 年 6 月に打ち上げた。

我々はバイザーサットの等級を測定し庇の効果を検証すべく、バイザーサット及び通常のスターリンク衛星、STARLINK-1113 に対して、光・赤外大学間連携 (OISTER) 観測による紫外/可視・近赤外同時撮像を行なった。

バイザーサット (及び STARLINK-1113) は紫外/可視では 6 - 7 等級 (5 - 6 等級), 近赤外では 4 - 5 等級 (3 - 4 等級) 程でありバイザーサットの方が系統的に 1 等級程度暗いことが分かった。また衛星の飛跡の AB フラックスに対し黒体放射モデルでフィッティングを行うことで、バイザーサットの反射率と庇が機体を覆う割合 (カバーリングファクター) を見積もった。反射率は観測波長が長くなるほど高くなり (0.06 から 0.4 程度), カバーリングファクターは 0.18 から 0.92 の範囲に収まった。さらに、カバーリングファクターが大きくなるほどバイザーサットの等級が大きくなる (暗くなる) 傾向があることがわかり、庇の効果を実証することができた。しかしながら、バイザーサットが観測に及ぼす影響は残存するため、更なる反射低減対策が必要である。

[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](#)

V230a 三波長同時撮像装置 MuSaSHI のぐんま天文台 150cm 望遠鏡搭載と観測 (2)

金井昂大, 大朝由美子 (埼玉大学), 高橋英則 (東京大学), 橋本修 (ぐんま天文台)

群馬県立ぐんま天文台 150cm 望遠鏡で効率的な多色同時撮像観測を実現すべく、埼玉大学 55cm SaCRA 望遠鏡カセグレン焦点 (F6.5) 用に開発された可視 r,i,z バンド三波長同時偏光撮像装置 “MuSaSHI” をぐんま天文台 150cm 望遠鏡に搭載して運用する取り組みを 2019 年から行なっている。

2020 年 10 月には 150cm 望遠鏡ベントカセグレン焦点 (F12.2) に搭載し、観測視野 $2.6' \times 2.5' (0.15''/\text{pix})$ での科学観測が可能であることを確認した (金井ほか 2022 年春季年会)。一方で、空間的に過度なオーバーサンプリングで視野が狭い、装置の搭載に時間がかかる、MuSaSHI に適合した望遠鏡制御システムがない等の課題があった。そこで、適切なレデューサー開発を行ない、これを実装することで課題解決に取り組んだ。

レデューサー光学系には、(1) MuSaSHI のバックフォーカスに合うこと、(2) 合成 F 値を 6.5 に近づけること、(3) 波長 $0.5 - 1\mu\text{m}$ での透過率が十分であること、を条件としてレンズを選定し、F12.2 から F6.7 へ変換する光学系を設計した。レデューサー筐体は軽量かつ撓みの影響を考慮した設計を行なった。さらに、筐体と MuSaSHI の接続に位置決めピンを採用するなど、取り付け/取り外しの再現性・安定性・利便性を確保する工夫を行なった。加えて、望遠鏡制御系との通信など環境の充実やコマンドの整備等を行なった。

2022 年 5 月にレデューサーと MuSaSHI を用いてのファーストライトを迎え、当初の光学設計見込みである、観測視野 $4.7' \times 4.7', 0.27''/\text{pix}$ を確認した。以後、約 2 ヶ月に一度、3 夜程度の連続した MuSaSHI の持ち込み観測を行ない、定期的に観測データを取得するなど、安定した運用を実現している。

本講演では、MuSaSHI の 150cm 望遠鏡搭載の取り組みと得られた観測結果、及び今後の展望について述べる。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V231a 明野・岡山 50cm 可視光望遠鏡 MITSuME の 2022 年度運用実績

高橋一郎, 村田勝寛, 笹田真人, 河合誠之, 谷津陽一, 庭野聖史, 伊藤尚泰, 今井優理, 佐藤翔太, 樋口成和, 館田麻寛 (東京工業大学), 黒田大介 (日本スペースガード協会), 前原裕之, 柳澤顕史, 花山秀和 (国立天文台)

東京工業大学では東京大学宇宙線研究所明野観測所と国立天文台ハワイ観測所岡山分室に設置された 2 台の 50cm 可視光望遠鏡 MITSuME (Multi-color Imaging Telescopes for Surveys and Monstrous Explosions) を運用している。MITSuME は継続時間の短いガンマ線バースト (GRB) 残光の追観測を自律的に行っており、最短 1 分以内に g' , R_c , I_c バンドによる 3 色同時撮像が可能である。2018 年度からは新システムによる自動ロボット観測が開始され、GRB の追観測に加えて OISTER, J-GEM との連携観測や全天 X 線監視装置 MAXI で発見された天体の早期追観測が続けられている。2022 年度は 11 月までに 3 件の GRB 残光観測 (Murata et al. 2022, GCNC 32059; Imai et al. 2022, GCNC 32138; Sasada et al. 2022, GCNC 32730) を含めた 11 件の GRB の追観測結果を GCN circular に報告した。

最近では、2023 年に行われる LIGO/Virgo/KAGRA による重力波観測 (O4 Run) において効率的な重力波対応天体の発見を行うため、深層学習による突発天体識別器の開発が進んでおり (伊藤ら, 2022 年秋季年会 V208a)、近傍銀河の周囲に擬似的な突発天体を埋め込んだ画像に対して約 94% の正答率で検出が可能となった。さらには MITSuME で観測された実際の GRB 観測画像に対してこの識別器を適用することで、より重力波追観測に近い状況での性能評価を行った。

本講演では、2022 年度の MITSuME の運用実績と深層学習による突発天体検知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](#)

V232a 天体画像における深層学習を用いたラインノイズ除去手法

江良 真結子, 井上 中順, 篠田 浩一 (東工大情報理工), 村田 勝寛, 笹田 真人, 庭野 聖史, 谷津 陽一, 河合 誠之 (東工大理)

天文学における撮像観測では、観測の過程で様々なノイズが天体画像に重畳される。東工大が突発天体検知を目的とした観測を行っている MITSuME 岡山 50cm 望遠鏡でも、近年 CCD カメラの劣化に伴ってライン状のノイズが撮像画像にのり、検出限界や測光精度に影響がでていた。

観測データの系統的なノイズ成分を低ランク行列、星像成分をスパースな行列とみなしたロバスト主成分分析は、BM3D や自然画像での学習済みモデルと比較してよりノイズを除去できるが、厳密にはラインノイズ成分の低ランク性が十分ではないため、ノイズの除去具合が不十分であるという問題点がある。また、近年ノイズ除去タスクにおいても高い精度を出している深層学習手法の適用には、ノイズあり・なし画像のペアが必要であり、天体画像のような同一環境での観測データを得ることが難しいケースでは素直に適用することは不可能である。

そこで本研究では、ロバスト主成分分析によって抽出したノイズ成分から生成した擬似劣化天体画像を用いたノイズ除去ネットワークの学習を提案する。実験として提案手法の他、ロバスト主成分分析や自然画像の学習済みモデルによってノイズ除去を行った。また、画像の復元度合いの評価尺度として、PSNR や SSIM などの既存の指標の他、測光精度を重視する目的で、Pan-STARRS1 のカタログ等級と機械等級の線形性を考慮した指標を用いた。結果、提案手法が画像を最もよく復元できている、ということが分かった。

[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](#)

V233a Tomo-e Gozen 広域サーベイの動的最適化システムの開発

津々木里咲, 酒向重行, 瀧田怜, 紅山仁, 高橋英則, 近藤荘平, 森由貴 (東京大学), 大澤亮 (国立天文台), 諸隈智貴 (千葉工業大学), 池田思朗 (統計数理研究所), João Pedro Pedrosa (ポルト大学)

東京大学木曾観測所 1.05 m シュミット望遠鏡に搭載された広視野 CMOS カメラ Tomo-e Gozen は, 2 fps 動画サーベイ観測により高速移動天体や短時間突発現象の監視およびアラートに対する迅速な広域追観測を行っている。確率的に発生するイベントを捉えるには観測効率を上げることが重要である。現在は日没後にまず 9 秒積分の全天サーベイを実施し, その後, 特定領域において 6 秒積分の高頻度突発天体サーベイを行っている。どちらも広域なサーベイ領域内で望遠鏡の移動による損失時間を最小にする経路選択のアルゴリズムを要する。サーベイ経路の最適化は巡回セールスマン問題と類似しているが, 天球の日周運動によりさらに複雑性が増すため Tomo-e Gozen では一般的な最近傍法を改善したアルゴリズムで近似解を求めている。

自動サーベイ観測では望遠鏡の指向位置を指定する指示書を実行順に作成しておくことで経路を指定する。既存システムでは事前に計算した経路で一晩分の指示書を作成していたが, 2022 年度より観測を実施しながら動的に 10 分に 1 回程度の頻度で経路を再計算し修正していくシステムを開発した。本システムは最適化をかける度に避けたい領域を指定できるため観測時の天候状態を反映することができる。試験運用では直近 10 分の指示書を作成しそれらの実行を確認してから経路の再計算と次の指示書の作成を実施し, 円滑に最適化し続けることに成功した。天候条件と実行待ちの指示書を常時監視することで, 悪天候や他の観測イベントによりサーベイが一時中断しても待機・再開が自動で実施されシステムが破綻しないことも確認した。本講演では詳細な実装内容と, 赤外線全天雲モニタとの連携による晴れ間を狙ったサーベイ経路の最適化の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](#)

V234a 紫外線宇宙望遠鏡のフォーカス調整システムの開発

渋川 雅人, 原 拓輝, 中村 倫敦, 尾形 舜, 能登 亮太郎, 大平 明日香, 福田美実, 村田 勝寛, 谷津 陽一, 河合 誠之 (東工大 理), 渡邊 奎, 小林 寛之, 小澤 俊貴, 天木 祐希, 安田 萌恵, 大坪 恵人 (東工大 工), 江野口 章人, 武山 芸英, 白旗 麻衣 (ジェネシア), 中野 徹, 小林 宏章 (アイネット)

中性子星連星合体や超新星爆発などの突発天体を、如何に早く発見し観測を行うかが、物理的理解の最前線となっている。爆発天体を早く検知するためには、爆発初期の放射を検出することが重要である。うみつばめ衛星は 250~300 nm の紫外線域で世界初の広域サーベイを行うため、口径 80 mm の紫外線望遠鏡 (UVT) を搭載する。紫外線を透過可能な硝材しか利用できないという設計制約から、焦点距離の温度補償が事実上、困難となり、UVT の焦点は望遠鏡の温度に強く依存することになった。したがって、UVT で安定した撮像観測を実現するためには、鏡筒全体を $\pm 1^{\circ}\text{C}$ 以内に収める必要があった。本来であれば、宇宙機の設計では、モーターのような可動部は故障のリスクが大きいため忌避されるものだが、本衛星では UVT からの温度要求が衛星のシステム設計で実現困難なレベルとなったため、限られた開発期間で実現できる解決策としてメカニカルなフォーカス調整システムの実装に踏み切った。本研究ではこのフォーカス調整システムの研究開発について報告する。開発の本質は、ミクロン単位で位置決めできる精密ステージとモーター、そしてこれらを撮像装置と連動させながら制御する制御ソフトウェアを、宇宙環境で確実に動かすための品質保証と言ってよい。このため、すべての電子部品に対して放射線環境試験を実施し、エンジニアリングモデルを用いた入念な動作試験のうえ、真空環境試験、熱真空試験といったすべての環境試験を実施した。また、軌道上での円滑な天体観測ミッションを最小限のコマンド運用で実現するため、フォーカス調整のための自動シーケンスを考案した。

[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](#)

V235a 紫外線突発天体探査衛星うみつばめの突発天体検知手法開発

能登 亮太郎, 尾形 舜, 中村 倫敦, 原 拓輝, 大平 明日香, 福田 美実, 村田 勝寛, 谷津 陽一, 河合 誠之 (東工大理学院), 渡邊 奎, 小林 寛之, 天木 祐希, 大坪 恵人, 小林 大輝, 安田 萌恵 (東工大工学院), 小澤 俊貴 (東工大工学院・株式会社ジェネシア), 江野口章人, 白旗 麻衣, 武山 芸英 (株式会社ジェネシア)

我々は、JAXA の革新的衛星技術実証 3 号機、及び ISAS の小規模プロジェクトのテーマに採択された超小型衛星うみつばめを開発している。本衛星のミッションは、紫外線突発天体サーベイを行い、発見した天体の位置情報をリアルタイムで地上に送信することである。これを達成するために、観測装置として 50 平方度の視野を持つ望遠鏡と、250-300nm の近紫外領域に感度を持つ CMOS センサを搭載し、連続測光観測と衛星上でのリアルタイム突発天体検知を行う計画である。

本研究では、衛星上での突発天体検知手法の開発を行った。我々は、時間変動する天体を識別するために、複数枚の観測画像から天体を検出し、測光値を比較することで有意な変動を検知する方針を検討している。衛星上に実装されたソフトウェアは打ち上げ後に大幅な変更ができないため、事前に検知手法を確立する必要がある。しかし、地上では紫外線観測は困難なため、検知手法の開発に実機での観測画像を利用することはできない。そこで、センサノイズ等の影響を含むリアルスティックなシミュレーション画像を作成し、これを開発に用いることにした。この画像は、波長帯の近い GALEX 衛星の画像をうみつばめの光学系の PSF、ピクセルスケールに合うように加工したもので、ターゲット天体の変動を模擬した光源が埋め込まれている。今回は、ターゲットとして「重力崩壊型超新星ショックブレイクアウト」を想定し、シミュレーション画像を用いた変動判定基準の最適化・検知性能の評価を行った。本講演ではこの結果及び、期待される検知可能なイベントレートについて述べる。

[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](#)

V236a 宇宙望遠鏡のための紫外線カタログ開発

大平 明日香, 原 拓輝, 尾形 舜, 中村 倫敦, 能登 亮太郎, 福田 美実, 村田 勝寛, 谷津 陽一, 河合 誠之 (東工大理学院), 渡邊 奎, 小林 寛之, 天木 祐希, 安田 萌恵, 大坪 恵人 (東工大工学院), 小澤 俊貴 (東工大工学院・株式会社ジェネシア)

本講演では、2023 年度に打ち上げ予定である超小型衛星「うみつばめ」のための、姿勢方向決定に用いる紫外線恒星カタログの研究開発について報告する。

超新星ショックブレイクアウトや中性子星連星合体の様な爆発的天体現象は、急激な増光の後すぐに暗くなってしまふ様な突発的放射を伴う。これらは、爆発直後に非常に高温であり、紫外線で明るく輝くことが期待される。したがって、突発天体発生直後の紫外線観測が爆心における極限環境の物理を理解する鍵となると考えられる。これらの振る舞いを詳細に調べるために、他波長での観測との連携が要求される。その為、うみつばめは紫外線での測光のみならず、精密な位置速報を配信しなければならない。しかしながら、本衛星の観測する波長帯はオリジナルであり、この波長に適合する恒星でのカタログは存在しない。そこで、本衛星用の恒星カタログを作成することにした。

本研究では、Gaia 衛星による恒星カタログをベースとして、恒星物理に則って、スペクトルモデルを推定する Castelli Kurucz model でスペクトルを推定し、本衛星の波長帯での AB 等級を求めた。本講演では、これらカタログ間のシステム変換の方法について報告するとともに、紫外線衛星 GALEX と比較しての等級精度の検証結果について述べる。また、作成したカタログを用いて、うみつばめ衛星の姿勢方向決定システムの動作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](#)

V237a 超小型衛星による宇宙可視光背景放射観測ミッション VERTECS

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, Necmi Cihan Örgen, Jose Rodrigo Cordova-Alarcon, Victor Hugo Schulz, Joseph Ofori(九州工業大), 中川貴雄, 松原英雄, 磯部直樹, 和田武彦, 宮崎康行, 船瀬龍 (ISAS/JAXA), 松浦周二 (関西学院大), 津村耕司 (東京都市大), 高橋葵 (ABC), 五十里哲 (東京大), 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。等方的な放射である宇宙背景放射の検出感度は、望遠鏡口径と視野角の積によって決定されるため、小型でも広視野の望遠鏡光学系によって観測を実現可能である。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計画 VERTECS(Visible Extragalactic background Radiation Exploration by CubeSat) を立案した。本ミッションでは、九州工業大学等が開発した地球観測用 6U 衛星 KITSUNE の 2U サイズのメインバスに基づき、JAXA 「技術のフロントローディング」で開発された 1U サイズの高精度姿勢制御系を組み合わせたバスシステムに、3U サイズの可視光望遠鏡を搭載した 6U サイズの衛星を開発し、宇宙背景放射の観測を実施する。また、約 2 年間で衛星を開発し、迅速に科学成果を創出するとともに、衛星バス部を汎用化することで、超小型衛星を利用した宇宙科学研究の促進を目指す。

[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](#)

V238a 宇宙可視光背景放射観測 6U 衛星 VERTECS : ミッション概要

瀧本幸司, 佐野圭 (九州工業大), 松浦周二 (関西学院大), 津村耕司 (東京都市大), 中川貴雄, 松原英雄, 磯部直樹, 和田武彦 (ISAS/JAXA), 高橋葵 (ABC), 布施哲人, 趙孟佑, 北村健太郎, 増井博一, 寺本万里子, Örgen Necmi, Cordova-Alarcon Jose Rodrigo, Schulz Victor, Ofori Joseph(九州工業大), 宮崎康行, 船瀬龍 (JAXA/ISAS), 五十里哲 (東京大), 青柳賢英 (福井大), 谷津陽一 (東京工業大), 軸屋一郎 (金沢大), VERTECS collaboration

宇宙可視光背景放射は、銀河系外からの全ての可視光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。近赤外の宇宙背景放射には、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星や銀河ハロー浮遊星が提案されている。これらの天体は可視光波長で異なる放射スペクトル形状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。そこで我々は、全視野角 $6^\circ \times 6^\circ$ の広視野望遠鏡を搭載した 6U サイズの超小型衛星 VERTECS(Visible Extragalactic background Radiation Exploration by CubeSat) によって、波長 400-700 nm での宇宙可視光背景放射を 1 年に渡り継続的に撮像観測するプロジェクトを進めている。観測装置は、2U サイズの望遠鏡・レンズ光学系と 1U サイズのカメラモジュールから構成され、検出器前面に異なるバンドパスフィルタを配置して 4 波長帯でそれぞれ $3^\circ \times 3^\circ$ の撮像観測を行う。CMOS センサは暗電流の寄与を低減するため -5°C に冷却し、 $10 \text{ nW m}^{-2} \text{ sr}^{-1}$ レベルの表面輝度を高 SNR (> 10) で検出することを目指す。本講演では、VERTECS ミッションの学術的背景や科学目的、要求仕様、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](#)

V239a CIB 観測ロケット実験 CIBER-2：第 2 回打上げ実験の準備状況

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 (JAXA/ISAS), Michael Zemcov (RIT), James Bock (Caltech/JPL), ほか CIBER-2 チーム

宇宙赤外線背景放射 (CIB - Cosmic Infrared Background) は個別に分解できない高赤方偏移天体や銀河間物質の放射を視線積分した拡散放射であり、大域的な星形成史を研究する上で重要な観測量である。我々は NASA の観測ロケットを用いて波長 $0.5\text{--}2.0\ \mu\text{m}$ 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、液体窒素冷却の口径 $28.5\ \text{cm}$ 反射望遠鏡および 3 個の $2\text{k}\times 2\text{k}$ の HgCdTe アレイ赤外線検出器 (HAWAII-2RG) を用いた 6 波長カメラに分光フィルタを装備することで撮像 (視野 $2.3\times 2.3\ \text{deg}^2$) と分光 ($\lambda/\delta\lambda\sim 15$) を同時に行い、これまでになく高い精度で CIB の非等方性とスペクトルを観測する。

2021 年 6 月に実施した第 1 回実験では、ロケット筐体からの熱放射の混入やアルミ合金製望遠鏡ミラーの銀コートに著しい劣化が生じるなどの技術的な問題が認められた (2022 年秋季年会 松浦ほか)。これらを改修するため、赤外線カットフィルタの改良や望遠鏡ミラーの再切削および耐食性の高い銀合金コートへの変更を行った。改修した望遠鏡を観測装置全系に組み込み低温での光学試験を行なった結果、第 1 回実験と比べ熱放射の混入が著しく低減され、測光精度の大幅な向上が見込まれることがわかった。本講演では、2023 年 4 月に実施予定の第 2 回実験の打上げ前に行う環境試験や光学試験の結果、および打上げへの準備状況について述べる。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V240a 准共通光路波面分割型位相シフト干渉法による 2D FT-IR 分光器の性能評価

趙彪, 古賀亮一, 平原靖大, 根岸昌平, 李源 (名古屋大学), 伊藤文之 (産総研), 笠羽康正 (東北大学), 和田武彦, 松原英雄 (ISAS/JAXA)

我々は現在、准共通光路波面分割型位相シフト干渉法 (Qi et al., 2015) による中間赤外線 2D FT-IR 分光器を用いて、低温 SO_2 霜の生成と赤外スペクトル (SO_2 分子の基準振動モード: $\nu_3: 7.3\ \mu\text{m}$, $\nu_1: 8.7\ \mu\text{m}$) の in-situ 測定を行っている (古賀他 本年会)。この分光器で用いられているコリメート及びリフォーカス用 Ge レンズの透過率と非冷却マイクロボロメータアレイ検出器の感度範囲の制限により、測定可能な波長範囲は $7.4 < \lambda < 12\ \mu\text{m}$ に制限される。変角振動モード $\nu_2: 19.1\ \mu\text{m}$ に起因する SO_2 固体凝縮微粒子の振動スペクトル線形状は結晶系、粒径、光・熱変性によって最も顕著に変化する (Nash & Betts 1995)。今後のイオ表面の赤外線分光観測結果の解釈を進める上で、実験室での低温固体微粒子の赤外分光研究を遠赤外線領域に拡張することが重要である。

そこで、本研究では波長範囲 $4 < \lambda < 20\ \mu\text{m}$ の新たな 2D FT-IR 分光器を作製した。この分光器は幅 $160\ \text{mm}$ 、奥行き $150\ \text{mm}$ 高さ $50\ \text{mm}$ 、 $\lambda > 13\ \mu\text{m}$ での大気吸収の影響を排除するための真空筐体に格納される。真空窓を介して導入されたコリメート光は色収差のない 90° 軸外し放物面鏡 (OAP: $25.4\ \text{mm}\phi$, RFL = $25.4\ \text{mm}$) により一次元多重スリット上に結像し、その透過光は OAP によって再びコリメートされて、真空対応ピエゾアクチュエータ上の可動鏡 ($30\ \text{mm}\times 15\ \text{mm}$ 、上方) と固定鏡 (同寸法、下方) に入射角 45° で波面分割され、位相差 ($\Delta\sim\pm 1\ \text{mm}$) を生じさせる。この出射光は 3 つ目の OAP によって広帯域中間赤外線 2 次元アレイセンサー (pixel size: $17\ \mu\text{m}$, 素子数: 640×480) 上に結像される。講演においては、広帯域 2D FT-IR 分光器の詳細な光学調整と性能評価の結果について報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V241a LAPYUTA 計画の検討状況

土屋史紀(東北大学), 村上豪 (ISAS), 山崎敦 (ISAS), 木村智樹 (東京理科大), 吉岡和夫 (東京大学), 鎌谷将人 (東北大学), 古賀亮一 (名古屋大学), 木村淳 (大阪大学), 成田憲保 (東京大学), 亀田真吾 (立教大学), 生駒大洋 (NAOJ), 大内正己 (NAOJ/東京大学), 田中雅臣 (東北大学), 益永圭 (ISAS), 堺正太郎 (東北大学), 埴千尋 (NICT), 桑原正輝 (立教大学), 鳥海森 (ISAS), LAPYUTA WG 検討チーム

LAPYUTA(Life-environmentology, Astronomy, and Planetary Ultraviolet Telescope Assembly) は、宇宙の生命生存可能環境と宇宙の構造と物質の起源の理解を目標とし、4つの課題に取り組む紫外線宇宙望遠鏡である。巨大惑星の氷衛星には地下海があり、第二の生命生存可能環境を持ち得る。火星と金星では、過去に存在した水や温室効果ガスが大気散逸により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形成の理解に欠かせない(課題1)。系外惑星の今後の課題は大気の特徴づけである。惑星大気に影響を与える恒星活動の探査も欠かせない(課題2)。宇宙の構造形成に残る問題に銀河形成があり、その根本である星形成に関わるバリオンの物理過程は宇宙史の中で最も大きな課題の1つである(課題3)。宇宙の物質進化においては、鉄より重い重元素の起源が基本的な課題として残されている(課題4)。氷衛星から噴き出す水や惑星大気から散逸するガスにより、外圏大気・電離大気が形成される。課題1と2では、太陽系天体・系外惑星の外圏・電離大気を観測し、生命生存可能環境の多様性・普遍性の理解を進める。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では中性子星合体や超新星爆発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。2021年よりISAS公募型小型計画WGにて検討を進めている。科学検討に加え、0.1秒角の高解像度と高感度を達成する望遠鏡の検討状況についても述べる。

[スケジュール\(セッション毎\)に戻る](#)

[スケジュール\(全体\)に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V242a 高感度太陽紫外線分光観測衛星 SOLAR-C: プロジェクト最新状況(2023年春)

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

SOLAR-C は、宇宙に如何に高温プラズマが作られ、太陽が如何にして地球や惑星に影響を及ぼしているのか、という命題を探索する公募型小型ミッションである。「ひので」等の成果を踏まえ、エネルギー注入と解放の間でエネルギーや物質がどのように大気中で輸送され、また解放の現場を捉えて何が起きているのかを診断することで、その振舞いが起きる仕組みやその背景にある基礎物理過程の理解を目指す。その目的のもと、太陽大気・太陽風の形成およびフレア・プラズマ噴出の物理過程を解明する目標を定め、ミッションを遂行する。この達成のために、太陽大気の色層からコロナにわたる温度領域(3桁以上)を隙間なく、かつ10-30倍の感度向上により観測する現象に高空間・高時間分解能で追従できる能力を持った世界初の極紫外線(EUV)分光望遠鏡(EUVST)を実現させる。ミッション定義フェーズ活動が進み、ミッション定義審査(MDR)が7/29に結審し、そしてプロジェクト準備審査が9/13に終了した。急激な物価高が進むなかでのコスト精査のためにMDRは約半年を要したが、ミッションの高い意義価値と次のフェーズに進むための妥当性が確認された。国際ミッションとして立ち上げを図ってきた計画は、米国NASA、欧州各国宇宙機関(ASI, CNES, DLR, SSO)に加え欧州ESAの参加が正式に決定し、国際協力体制が確立した。日本が開発する望遠鏡などの概念検討も進捗し、BBM品試作による評価検証が進められている(原他による講演)。11/1付けでSOLAR-Cプリプロジェクトチームが発足し、12月にシステム要求審査(SRR)を予定し、また衛星システム企業選定も終了した。このミッションは今までSolar-C(EUVST)と呼称していたが、JAXA機構レベルのプロジェクトとして始動するこの期に正式名称を「高感度太陽紫外線分光観測衛星」、英語略称を伝統ある科学衛星シリーズの名称を継承して「SOLAR-C」と名乗ることにした。

[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](#)

V243a SOLAR-C 計画: 観測装置 EUVST 設計検討の進捗報告

原 弘久, 石川遼子, 浦口史寛, 大場崇義, 岡本文典, 勝川行雄, 川畑佑典, 久保雅仁, 小原直樹, 篠田一也, 都築俊宏, 成影典之, 納富良文 (国立天文台), 清水敏文, 内山瑞穂, 加藤秀樹, 末松芳法, 鄭 祥子, 鳥海 森備後博生, 松崎恵一, 木本雄吾 (JAXA), 川手朋子 (核融合研), 今田晋亮 (東大), 渡邊恭子 (防衛大) 一本 潔, 永田伸一 横山央明 (京大) ほか, Solar-C(EUVST) チーム

SOLAR-C 計画は、これまでになく高い空間分解能 (0.4 秒角) と時間分解能をも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。高感度要求の実現のため、EUV 域で高反射率をもつコーティングを施した軸外し放物面主鏡と凹面回折格子の二要素のみで光学系を構成する。この装置による観測と他観測との同時観測の際に、互いの位置関係を正確に把握するため、EUVST はスリットジョー撮像装置も内蔵する。また、高解像観測を実現するため、2 軸ジンバル構造に乗った主鏡の傾角を駆動調整して、望遠鏡部の焦点位置にあるスリット面の太陽像の微小揺れを安定化させる。

本講演では、観測装置 EUVST の設計検討の進捗状況を報告する。主鏡製造リスク低減、コーティング応力に対する主鏡面変形の抑制、直接太陽光に晒される主鏡の冷却、また光学調整時の主鏡駆動機構の使用などの観点から主鏡部設計を見直している。CFRP 表皮・アルミハニカムコアのパネルで構成する主構造は、衛星搭載重量の見直しから軽量化設計を進めている。国内・海外分担間のインターフェース設計や国内・海外で実施する観測装置の組立・調整・試験計画の検討進捗についても報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V244a SUNRISE-3 大気球太陽観測実験: 2022 年のフライト結果

勝川行雄, 久保雅仁, 川畑佑典, 大場崇義, 石川遼太郎, 原弘久 (国立天文台), 松本琢磨 (名古屋大学), 清水敏文 (ISAS/JAXA), 浦口史寛, 都築俊宏, 納富良文, 篠田一也, 田村友範, 末松芳法 (国立天文台), J. C. del Toro Iniesta, D. Orozco Suárez, M. Balaguer Jiménez (IAA-CSIC), C. Quintero Noda (IAC), S. Solanki, A. Korpi-Lagg (MPS)

SUNRISE-3 は口径 1 m の光学望遠鏡で大西洋上空 35–37km から太陽観測を行う気球実験であり、紫外線～近赤外線の広い波長範囲で高解像度・高精度偏光分光観測を行う。日本のグループは SUNRISE-3 に搭載する近赤外線偏光分光装置 SCIP (スキップ、Sunrise Chromospheric Infrared spectroPolarimeter) の開発を主導した。シーイングと大気吸収の影響を受けない高高度気球観測を活かし、0.2 秒角の解像度 (波長 850 nm の回折限界)・高分散 (2×10^5)・高偏光精度 0.03% (1σ) の実現を目指している。2022 年 4 月から射場のキルナ ESRANGE において、アライメントと結像性能確認、偏光較正試験、太陽指向試験などの最終試験を実施した。飛翔中に科学観測と較正観測を効率よく行うため、複数の観測機器と望遠鏡を協調動作させるタイムラインの作成とその試験に多くの時間を費やした。タイムラインは多様な観測モードにおいて装置を決められた時刻にどう動作させるかを定義するもので、これを地上試験で検証することで飛翔準備を整えた。当初計画より遅れ大西洋を越えられるギリギリのタイミングである 2022 年 7 月 10 日に放球機会を得た。しかし放球時に発生した衝撃によって望遠鏡が太陽を指向できない状態となったため、装置を安全に回収することを優先し、放球からおおよそ 5 時間後に運用を停止し、スウェーデン域内に降下させ回収した。飛翔中は、日本担当の SCIP を含む観測装置は問題なく動作していたことはテレメトリデータで確認できている。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。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V245a 銀河進化・惑星系形成観測ミッションの概要

井上昭雄 (早稲田大学), 山村一誠, 鈴木仁研 (宇宙科学研究所), 金田英宏 (名古屋大学), 大藪進喜 (徳島大学), 本原顕太郎, 野村英子, 守屋亮 (国立天文台), 播金優一 (東京大学), 山田亨, 和田武彦 (宇宙科学研究所), 児玉忠恭 (東北大学), 大内正己 (国立天文台), 小宮山裕 (法政大学), 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の立案方法が見直され、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中型ミッションを作り上げるようになった。本講演では、Galaxy Reionization Explorer and Planetary Universe Spectrometer (GREX-PLUS) の中型 Working Group (WG) 提案をもとに、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検討を進めている「銀河進化・惑星系形成観測ミッション」の概要を報告する。このミッションの二大科学目標は、初代銀河の探査と惑星系形成領域のスノーライン探査である。これを実現するために、温度 50K, 口径 1.2m の望遠鏡に、波長 2-8 μm 帯を 5 バンドでカバーする広視野カメラと波長 10-18 μm 帯を波長分解能 30,000 で観測する高分散分光器を搭載する。これら二つの装置は、二大目標以外にも、銀河進化、星惑星系形成、星間化学に関する非常に広範な科学課題に極めてユニークな観測データを提供する (詳しくは GREX-PLUS Science Book v1 発行準備中を参照)。技術的には SPICA で培った冷却系や高分散分光器などのヘリテージと、WISH で検討された広視野光学系などのヘリテージを活用する計画である。宇宙物理学 GDI の強力な支援の下、冷却系の再構成、姿勢制御系の概念検討、望遠鏡光学系の見直しと望遠鏡構造の概念検討などを進めたのち時限 WG が設立され、2024 年春の中型計画ミッション提案を目指すこととなった。

[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](#)

V246a HCW を用いた Immersion Grating 材料の極低温赤外線透過率測定装置の開発

李源, 古賀亮一, 平原靖大 (名古屋大学), 榎木谷海, 松原英雄 (総合研究大学院大学/宇宙科学研究所), 中川貴雄, 和田武彦 (宇宙科学研究所)

我々は、中間赤外線高分散分光観測 ($9.6\sim 18\mu\text{m}$, $R = \lambda/\Delta\lambda \sim 30,000$) の実現のため、次世代赤外線天文衛星 GREX-PLUS への搭載を目指した Immersion grating (IG) の開発を進めている。IG は回折面を高屈折率 n の材料で満たした回折格子であり、同じ波長分解能の回折格子に比べ $1/n$ サイズに小型化可能である。IG 材料は吸収係数が小さい必要があり ($< 0.01\text{cm}^{-1}$)、CdZnTe が中間赤外線用 IG の材料候補である。これまでの測定結果によれば、低電気抵抗 CdZnTe ($\sim 10^2 \Omega\text{cm}$) の吸収係数は低温域 ($T \leq 50\text{K}$) でむしろ上昇し、IG 材料として不適である (Maeshima et al. J. of Electronic Materials, 2021)。現時点では高電気抵抗 CdZnTe 結晶 ($\sim 10^{10} \Omega\text{cm}$) が極低温領域での吸収係数の有意な変化は確認されておらず、IG の材料として有力である。

本研究においては、同一ロットから切り出した、大きさ 7mm 角の様々な厚さの高電気抵抗 CdZnTe 試料の $T \geq 4\text{K}$ での透過率の精密な測定に向けた、下記の開発項目による高精度のコモンパス・ダブルビーム光学系 (光束径 $\sim 3\text{mm}$) の開発をおこなった。(1) 10mmL \times 4mm ϕ , 14 W カンタルフィラメント光源、(2) 中間赤外線 Hollow Core Waveguide (HCW) による、距離 $\sim 7\text{mm}$ の参照光及び吸収測定光の CdZnTe 試料支持機構への照射機構、(3) 2 段式 4K GM 冷凍機による試料の冷却と、コールドフィルターを備えた輻射断熱シールド機構、など。連続冷却下での CdZnTe の吸収係数の測定精度要求: $\sim 0.003\text{cm}^{-1}$ を満たすために、(1) と (2) は真空チャンバー内に配置するべく、設計・製作した。また、参照光と吸収測定光は真空チャンバーに配置した冷却窓を介して、共に単一の液体窒素冷却 HgCdTe 検出器 ($\lambda \leq 15\mu\text{m}$) に導かれる。講演では、これらの開発結果と測定の現状を報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V247a 極低温中間赤外線での Immersion Grating 材料の屈折率測定方法の開発

榎木谷海, 松原英雄 (総合研究大学院大学/宇宙科学研究所), 中川貴雄, 和田武彦 (宇宙科学研究所), 平原靖大, 古賀亮一, 李源 (名古屋大学), 山口遼大 (東京工業大学/宇宙科学研究所)

我々は、中間赤外線高分散分光観測 ($10\text{-}18\ \mu\text{m}$, $R = \lambda/\Delta\lambda \sim 30,000$) の実現のため、中間赤外線用 Immersion grating (IG) の開発を行っており、次世代赤外線天文衛星 GREX-PLUS への搭載を目指している。IG は高屈折率 n の媒質中に光を通すことで、通常のグレーティングに比べ、分光素子の大きさを $1/n$ (体積で $1/n^3$) 倍にできるため、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、中間赤外線用 IG の材料候補として CdZnTe が選出されている (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 の正確な屈折率は測定されておらず、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方法を開発し、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。本測定装置はサンプリング台以外の部分において、常温・可視光測定系と極低温・中間赤外線測定系を光ファイバーでアライメント調整することで、測定精度を保証したまま、ファイバー端を切り替えるだけで測定条件の切り替えができる仕様を目指す。現在の可視光測定系の精度は 10^{-3} である。中間赤外線測定系として、ファイバー光源・ $4\text{-}18\ \mu\text{m}$ 用赤外ファイバー・MCT 検出器を用いて構築した。中間赤外線測定系の詳細および常温における測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](#)

V248a JASMINE 計画の全体的な概要と進捗

郷田直輝, ほか JASMINE チーム一同

JASMINE (JAXA 宇宙科学研究所公募型小型計画 3 号機) は、我々が存在する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し、ブレークダウンした科学目標として主に次の 2 つを掲げる。(1) 星の距離と運動を測定することにより、天の川銀河形成の鍵を握る中心核構造を明らかにする。(2) 時間軸天文観測により、将来の生命探査に有望な恒星に対し、生命居住可能領域に存在し、大気観測を行うことのできる地球型惑星の有無を明らかにする。科学目標 (1) の達成を目指し、人工衛星に搭載した光学望遠鏡 (主鏡口径 36cm 級) と開発中の国産宇宙用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とそ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し、データカタログを作成し、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、なるべく早めに随時公開する予定である。さらに、JASMINE の測光能力を活かして中心核領域を観測できない夏期と冬期はトランジット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、地球型惑星の有無を明確にする。

JASMINE が提供するデータカタログの概要、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全体的概要を説明する。また、観測装置開発や国際協力を含むデータ解析システム開発、利用・運用準備、ヨーロッパの研究教育機関を中心とした国際的ネットワークによる位置天文学の教育プログラム (銀河系中心や赤外線位置天文観測の研究テーマも含まれる) のスタートなどに関する全体的な進捗概要を報告する。

[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](#)

V249a JASMINE 搭載検出器の性能評価試験：128x128 画素素子の量子効率測定

宮川 浩平, 鹿野 良平 (国立天文台), 多田 将太郎 (総研大), 片坐 宏一, 和田 武彦, 河原 創 (宇宙科学研究所), 小谷 隆行 (アストロバイオロジーセンター), ほか JASMINE チーム一同

2028 年に打ち上げを予定し、銀河中心位置天文観測・ハビタブル惑星探査の役割を担う赤外線観測衛星 JASMINE では、衛星ミッションでは世界初となる InGaAs 素材を用いたハイブリッド型の CMOS センサーが搭載される。従来の CCD センサーに比べて低コストな CMOS センサーの衛星化は、国内の宇宙探査ミッションを推進する上で鍵となる。一方で、極端な温度や真空や宇宙線など、様々な極限環境に曝される宇宙空間でのセンサーの振る舞いは不明であり、打ち上げ前に厳密な評価を行うことが不可欠である。またこれらの情報は、観測シミュレーションによる JASMINE の性能推定や解析アルゴリズムの開発などに直接役立てることが期待されている。

本講演では、まず 2022 年 4 月より宇宙科学研究所で立ち上げを開始した検出器試験系の現状を紹介する。さらに、昨年度、宇宙線による偽信号対策と高感度化を目指して試作した 128 × 128 画素センサーでの量子効率測定の最新結果にも触れ、現状の試験系における課題や今後の開発目標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](#)

V250a JASMINE での精密測光・位置天文に向けた検出器の新しい較正手法の開発

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

2028 年打ち上げを目指す赤外線位置天文観測衛星 JASMINE では、銀河系中心領域の位置天文観測と、M 型星ハビタブルゾーン内の地球型惑星の探査が行われる。これらの観測では、感度むらやピクセルの中心位置のずれなどの検出器特性の補正が重要になる。惑星探査ではトランジットによる小さな減光を検出するための高い測光精度が求められるが、衛星の姿勢変動によって天体像が検出器上で移動することで、検出器の感度むらが偽の明るさの変動として測定値に表れ、測光精度を低下させる。輝度分布の重心から 25 マイクロ秒角という精度で星の位置計測を行う位置天文観測においても検出器特性の補正は必須である。

異なるピクセル間の感度むら補正 (フラット補正) は最も影響が大きく、経年変化も含めて補正するために、軌道上フラット補正技術の開発を進めている。本研究では、シングルモードファイバーという、既知の極めて安定した光出射パターンを持つファイバーを用いて、ピクセル間感度むらを測定する。

ピクセルの中心位置のずれやサイズのばらつきなども測光・位置天文精度に影響するが、経年変化はほとんどないと考えられ、地上で事前に測定することで補正が可能だと考えている。これらは、2 本のシングルモードファイバーからの出射光が作る干渉縞を利用した測定の検討を進めている。

本講演ではこれらの手法と、現在準備を進めている実証実験の詳細について述べる。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V251a JASMINE のデータ解析

山田良透 (京都大学)、JASMINE E2E チーム

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

部分的な解析コードの開発は JASMINE 衛星の構想開始の少しあと、2003 年から進められているが、2020 年秋ごろから E2E(end to end simulation) グループが組織され、2022 年前半には総点検と名付けてシミュレーション結果を踏まえながら望遠鏡口径を 40cm から 36cm まで縮小可能であることを示した。また、業務系ソフトウェアの開発手法の専門家のアドバイスを得ながら、データリリースまでの 10 年間程度維持できるソフトウェアの開発を目指し、Open Source 品質の可読性が高い回生ソフトウェアの構築を目指している。また、Heidelberg 大学の Gaia の First Look チームとは共同研究を進めており、Gaia のデータ解析の知見を取り入れつつ、2 グループ独立の平行開発を行う体制をとっている。

本講演では、これらの活動の進捗状況として、シミュレーションと解析を組み合わせた JASMINE の実現可能性検討の状況とを紹介する。

[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](#)

V252b JASMINE 望遠鏡光学系の開発：バンドパスフィルタの影響解析

鹿島伸悟, ほか JASMINE チーム一同

JASMINE 望遠鏡光学系は、3 枚のコニック鏡と光路折り曲げ用の 2 枚の平面ミラーという合計 5 枚のミラーから構成されており、全て反射系であるため、原理的に色収差 (星のスペクトルに依存する星像位置の変化) が存在しない。

そのため、観測波長域を制限するバンドパスフィルタ (BPF) に関しても反射型を採用したかったが、設計上非常に難しいものとなり、その特性では採用できないことになった。その結果、通常の透過型の BPF を用いることになったが、透過型 BPF は反射型に比べて設計が比較的容易であり、非常に良い分光特性が得られる一方、屈折媒質を用いるため、どうしても色収差が発生してしまう。当初は、観測波長域全体を考慮した最悪シミュレーションでも、波面収差ストレール比が殆ど劣化しないため、色収差はゼロではないが大きな問題にはならないだろうと考えていたが、その後の詳細な E2E シミュレーションにより、ストレール比に現れるような通常の色収差としては問題無くても、観測対象の星のスペクトルによって僅かにずれる星像位置が問題となることが分かった。そこで、平行平面基板ベースの BPF ではなく、各画角の主光線が BPF に垂直入射するようなメニスカス形状基板ベースの BPF にすることにした。設計値では、観測星のスペクトルが変化しても、完全に無視出来る程度しか星像位置ずれは起こらないが、光学系、特に BPF の形状や位置が製造誤差で変化すると、許容出来ない星像位置ずれとなってしまうことが分かった。

本発表では、メニスカス基板形状の BPF の特性と、それが設計値からずれた場合の影響解析、及びそれを解決するための手段等に関して詳細に報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V253b 多数枚撮像による高精度星像位置決定の多角的な実証

矢野 太平, 三好 真 (国立天文台), ほか JASMINE チーム

天文学分野において位置天文学をはじめ高精度に星の位置を高精度に決定する事は非常に重要な技術となっている。赤外線位置天文観測衛星 JASMINE においても星の位置を 10μ 秒角という非常に高精度に星像位置を決定する必要があり、その原理実証が進められている。1 回の撮像により検出器上の 1 ピクセルの 100 分の 1 レベルの星像の位置決めが可能である事がすでに示されているが、こうした撮像を 100 万枚という多数回繰り返し行う事によって 10 万分の 1 ピクセルレベルの高精度星像位置測定を達成させる。そして、このような高精度な星像位置測定ができていているという事を多角的な方法で実証する計画をすすめている。具体的には高精度位置測定を行う際に補正した系統誤差が本当に物理的に正しく補正できている事を実証するため、コントロールされた熱環境で熱による装置の変形を撮像データから正しく測定できるかという事を示す。別の方法として、光学系レンズ位置を制御する事により焦点面上の星像サイズを制御し、その星像位置変動が正しく測定できるのかという事を示す。このように多角的な方法を用いて系統誤差が正しく補正されている事の実証を行う計画である。これまでの実験装置組上げの準備状況や実証の方法の説明を講演にておこなう予定である。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V254b 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, 佐久間 彩綾 (東京都市大), 米徳 大輔 (金沢大), 土居 明広, 松原 英雄 (ISAS/JAXA), 松浦 周二 (関西学院大), 川端 弘治 (広島大), 秋田谷 洋 (千葉工業大), 佐野 圭 (九州工業大), 篠崎 慶亮, 和田 武彦 (ISAS/JAXA)

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を理解すること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、 $0.5\text{-}2.5 \mu\text{m}$ の範囲で 4 バンド同時分光観測を行う光学設計となっている。しかし、十分な S/N 比を確保するためには、望遠鏡筐体温度を 200K 以下、および赤外線検出器を 150K 以下に冷やされなければならない。また、ドーナズク軌道を取るため、サンシールドを用いて太陽から赤外線望遠鏡への熱入力はある程度軽減できるが、GRB 追観測時の最悪条件における観測姿勢では地球からの赤外線による熱入力により望遠鏡筐体温度が上がってしまうという問題点がある。現在は本衛星計画は概念検討を行なっている段階であり、搭載機器の構成や配置などについても検討中であるが、さまざまな姿勢における周辺機器や地球からの熱入力量の十分な把握は衛星の熱設計において不可欠である。

本発表では、様々な姿勢に対して行われた望遠鏡の熱解析の結果について紹介し、その解析を基にした望遠鏡の熱設計の成立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](#)

V301a オーバーハング吸収体を用いた TES 型 X 線マイクロカロリメータの開発

宮川陸大 (東京大学, ISAS/JAXA), 林佑 (KEK), 八木雄大, 田中圭太, 太田瞭 (東京大学, ISAS/JAXA), 山崎典子 (ISAS/JAXA), 満田和久 (NAOJ), 伊豫本直子 (九州大学)

宇宙のバリオンのうち未検出であるダークバリオンの一部は、 10^5 – 10^7 K でフィラメント状に分布した希薄なガス (Warm-Hot Intergalactic Medium; WHIM) として存在することが示唆されている (Cen and Ostriker 1999)。広視野で酸素輝線を X 線精密分光することにより WHIM の空間分布を明らかにできると考えられており、その実現のための要求の一つに、高分光性能と高い撮像能力を持つ検出器がある。

我々は、極低温で数 eV@5.9 keV と高分光性能を誇る非分散型の X 線分光器である超伝導遷移端 (Transition Edge Sensor; TES) 型 X 線マイクロカロリメータ (TES カロリメータ) の開発を行っている。TES カロリメータでは入射した X 線光子一つ一つのエネルギーを熱として測定する。従来の TES カロリメータは、X 線光子を止める吸収体部分が TES に対して小さいため、TES の外側についている配線などによるデッドスペースが存在し、開口率が低い (~10%) という問題があった。そこで、吸収体を柱で $3\ \mu\text{m}$ 浮かせ、 $100\ \mu\text{m}$ 角の TES より 6 倍以上大きな面積で、デッドスペースを笠状に覆いかぶせる形状であるオーバーハング吸収体の開発を進めてきた。これにより、開口率を ~75% まで向上させることができる。また、X 線パルスの入射位置依存性を低減するために、吸収体には熱伝導率の高さが要求される。そこで素子製作には、熱伝導率が良い吸収体を成膜可能な電解析出法を用いており、マイクロマシニングで Au オーバーハング構造の形成を行った。そして、この吸収体を搭載した TES カロリメータを極低温 (~100 mK) に冷却し、超伝導特性を測定した。本講演では、Au オーバーハング吸収体を搭載した TES カロリメータのデザインと素子製作を含めた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](#)

V302a 精密 X 線分光分析に向けた大規模な TES 型 X 線マイクロカロリメータシステムの開発

林佑 (QUP/KEK), 八木雄大, 田中圭太, 宮川陸大, 太田瞭, 山崎典子 (ISAS/JAXA), 満田和久 (NAOJ), 原徹 (NIMS)

我々の研究グループでは、サブマイクロスケールでの地球外物質の分析を目指し、超伝導遷移端型 X 線マイクロカロリメータ (TES カロリメータ) を走査透過型電子顕微鏡 (STEM) のエネルギー分散分光器 (EDS) とする分析装置の開発を進めてきた。

TES カロリメータは、熱雑音の低い極低温 (50 mK) で動作し、入射光子による素子の温度上昇を超伝導遷移端の急峻な抵抗変化として捉える非分散型 X 線分光検出器であり、原理的な分光性能は 1 eV である。従来の半導体検出器と比べ 50 倍以上の分光性能を達成可能であり、2030 年代の X 線天文衛星の主要検出器である。我々の研究グループでは、64 素子の TES カロリメータを開発し、材料工学や地球外物質分析などの幅広い分野で使用されている STEM の X 線分光装置 (TES-EDS) として応用し分光性能の大幅な改善を行った。STEM は薄膜試料に電子線を照射することで透過電子からサブマイクロスケールの構造分析を可能とし、さらに TES カロリメータを用いることで電子線により放射される特性 X 線を捉え、精密な元素の定性・定量分析を可能とする。一方で、現在の TES-EDS システムの計数率は数 100 カウント/秒と隕石などの電子線に弱い材料分析には不十分であり、大幅な計数率の向上が求められている。そこで、我々は計数率の飛躍的な向上のために 200 素子のアレイ化と X 線吸収体の大幅な改善およびマイクロ波技術を用いた大規模アレイの読み出し環境の開発を行っている。本発表では、200 素子のデザインの詳細や大規模アレイ化および読み出し環境の開発状況について報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V303a X線分光撮像衛星 XRISM 搭載 Resolve の開発の現状 XII

Y. Uchida^A, Y. Ishisaki^{B,J}, R. L. Kelley^C, H. Akamatsu^D, H. Awaki^E, T. G. Bialas^C, R. Boissay-Malaquin^C, G. V. Brown^F, M. P. Chiao^C, E. Costantini^D, J.-W. den Herder^D, M. J. Dipirro^C, M. E. Eckart^F, Y. Ezoe^B, C. Ferrigno^G, R. Fujimoto^{H,J}, A. Furuzawa^I, S. M. Graham^C, M. Grim^D, R. Hayakawa^J, T. Hayashi^C, A. Hoshino^K, Y. Ichinohe^J, R. Iizuka^K, M. Ishida^K, K. Ishikawa^B, C. A. Kilbourne^C, S. Kitamoto^J, M. A. Leutenegger^C, Y. Maeda^K, D. McCammon^L, I. Mitsuishi^M, M. Mizumoto^N, T. Okajima^C, S. Paltani^G, F. S. Porter^C, K. Sato^Q, M. Sawada^O, H. Seta^B, P. J. Shirron^C, G. A. Sneiderman^C, Y. Soong^C, A. E. Szymkowiak^P, Y. Takei^K, T. Tamagawa^O, K. Tamura^C, M. Tsujimoto^K, C. P. de Vries^D, S. Yamada^J, N. Y. Yamasaki^K, S. Yasuda^K (東京理科大^A, 都立大^B, NASA^C, SRON^D, 愛媛大^E, LLNL^F, U-Geneva^G, 金沢大^H, 藤田保健衛生大^I, 立教大^J, JAXA^K, 名古屋大^L, U-Wisconsin^M, 京都大^N, 理研^O, Yale-U^P, 埼玉大^Q)

2023 年度打ち上げ予定の X 線分光撮像衛星 XRISM には X 線マイクロカロリメータと X 線反射望遠鏡 (XMA) からなる Resolve が搭載される。6 × 6 array からなる X 線マイクロカロリメータは 50 mK の極低温で動作し、0.3 keV から 12 keV の軟 X 線帯域を要求性能 7 eV での観測を目指す。

Resolve 機器は XMA を除いて 2022 年 4 月に衛星に搭載され、2022 年 7 月から衛星システム熱真空試験が行われた。衛星上での機能・性能の確認、衛星運用に向けた動作パラメータの確認を行い、実観測に向けた観測模擬を行なった。また、ユーザーが円滑に解析を行えるように科学データプロセスの整備も進めてきた。本講演ではこれまで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](#)

V304a マイクロカロリメータ精密分光器のあたらしい軌道上ゲインドリフト推定法

澤田真理 (理研), XRISM/Resolve instrument team

我々が XRISM 衛星に搭載する Resolve マイクロカロリメータ分光器は X 線分光観測を飛躍的に発展させる。50 mK で動作するセンサは断熱消磁冷凍機により $\leq 2.5 \mu\text{K}_{\text{rms}}$ という安定度で温度制御されるが、軌道上でのわずかな熱負荷の変化によりそのゲインは数 eV 変動しうる。このゲインドリフトは要求分解能 7 eV FWHM (at 6 keV) に対して大きすぎるため、校正線源をもちいてこれを常時モニタし、地上データ処理において補正する設計である。校正線源 MXS は、センサ全面に校正 X 線放射をパルス状に照射することで、時間的に校正 X 線と天体 X 線を分離できる利点を持つが、パルス間の残光などの理想的でない特性のため、ドリフト測定精度と引き換えに観測へのさまざまな悪影響を生じることが判明している。これらの代償を最小化するため、MXS の運用・駆動方法の最適化を進めてきた (澤田ほか, 2022 年秋季年会)。

このような校正線源の使用方法の最適化と並行し、我々は全く異なるアプローチも模索してきた。軌道上でゲインドリフトを生じる熱負荷の変動は、原理的には、分光器システムの各部に取り付けられた衛星 house keeping (HK) 用の温度計測で追えるはずである。すなわち、結果としてのドリフトを校正 X 線で測るのではなく、原因である温度変化からドリフト量を推定することが可能なはずである。ドリフトを生じる熱負荷は (1) センサへの放射熱、(2) センサ熱浴温度制御温度計への伝導熱に大別される。そこで我々は、Resolve と同型の Hitomi 衛星 SXS 分光器の地上・軌道上データを網羅的に解析し、これらの熱負荷を反映すると思しき HK 温度計測からドリフトを推定する現象論的モデルを作成した。その結果、ドリフト決定誤差許容値 1 eV FWHM に迫る精度を達成した。講演では、モデルの詳細を説明するとともに、XRISM/Resolve の地上試験データへの適用例も報告する。

[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](#)

V305a 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 (9)

信川久実子 (近大), 森浩二 (宮崎大, ISAS/JAXA), 富田洋 (ISAS/JAXA), 中嶋大 (関東学院大, ISAS/JAXA), 野田博文, 林田清 (阪大), 鈴木寛大 (甲南大), 小林翔悟 (東京理科大), 内田裕之 (京大), 萩野浩一 (関東学院大), 青木悠馬, 伊藤耶馬斗 (近大), 金丸善朗, 宮崎啓太郎, 楠康平, 大塚芳徳, 横須晴彦, 米丸若菜, 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), 角町駿, 土居俊輝, 青木大輝, 藤澤海斗, 清水康行 (東京理科大), 畠中大介 (関西学院大), 田中孝明 (甲南大), 村上弘志 (東北学院大), 信川正順 (奈良教育大), 内山秀樹 (静岡大), 吉田鉄生, 米山友景 (ISAS/JAXA), 幸村孝由 (東京理科大), 鶴剛 (京大), 松本浩典 (阪大), Takashi Okajima (NASA/GSFC), 石田学, 前田良知 (ISAS/JAXA), 山内誠, 廿日出勇 (宮崎大), 平賀純子 (関西学院大), 山岡和貴 (名大), 尾崎正伸, 堂谷忠靖 (ISAS/JAXA), 常深博 (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 には、X 線望遠鏡 (XMA) と X 線 CCD 検出器 (SXI) からなる軟 X 線撮像装置 Xtend が搭載される。Xtend は、XMA の焦点面に 4 枚の CCD を 2×2 で配置することで、0.4–13 keV で 38 分角四方の広視野分光撮像を実現する。SXI は 2022 年 4 月に衛星構体に搭載されたのち、衛星総合試験を開始し、8 月には衛星熱真空試験を終えた。前回報告に引き続き、フライト品と同等の構造を持つ非フライト品の CCD 素子や検出器構体を用いて、CCD 画像異常の原因調査も行なっている。本講演では、衛星試験のデータを用いた SXI の性能評価やキャリブレーション、軌道上での定常運用や異常発生時の対策の検証状況を中心に報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V306a X 線分光撮像衛星 XRISM の科学運用準備の現状 (2)

米山友景 (ISAS/JAXA), 田代信, 寺田幸功 (埼大, ISAS/JAXA), 高橋弘充 (広大), 信川正順 (奈良教育大), 水野恒史 (広大), 宇野伸一郎 (日本福祉大), 久保田あや (芝浦工大), 中澤知洋 (名大), 渡辺伸, 飯塚亮, 佐藤理江, 林克洋, 吉田鉄生 (ISAS/JAXA), Chris Baluta (NASA/GSFC), 海老沢研 (ISAS/JAXA), 江口智士 (福岡大), 深澤泰司 (広大), 橋口葵 (奈良女大), 勝田哲 (埼大), 北口貴雄 (理研), 小高裕和 (東大), 大野雅功 (JAXA), 太田直美 (奈良女大), 阪間美南 (埼大), 阪本菜月 (広大), 志達めぐみ (愛大), 塩入匠 (埼大), 丹波翼 (東大), 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 (静岡大), 山田智史 (理研), 山内茂雄 (奈良女大)

X 線分光撮像衛星 (XRISM) プロジェクトは、2023 年度の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チームや衛星運用チームとは独立に、軌道上での科学運用および観測によって得られる科学成果を最大限に引き出すための準備を行っている。現在の主な活動は、観測提案システム、観測スケジュールリングなどの観測計画プロセスの検証、観測情報などを収集するデータベースの構築、衛星テレメトリの高次データ処理とその即時解析やアーカイブのためのシステムの検証および運用試験、軌道上較正観測のソフトウェア開発や較正観測計画の補助、ユーザーサポート・ヘルプデスク活動計画の構築などである。直近では、衛星熱真空試験などで得られたテレメトリデータを用い、テレメトリ取得から観測データのパイプライン処理に至るまでの地上システム全体の end-to-end 試験を実施している。これらの活動は、検出器の開発チーム、NASA/GSFC や ESAC の地上ソフトウェアチームやユーザーサポートメンバーと連携して進めている。本講演では、打ち上げに向けて最終段階にある科学運用準備の現状と今後について報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V307a X線分光撮像衛星 XRISM の科学運用に向けての模擬試験

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, 米山友景, 吉田鉄生 (ISAS/JAXA), Chris Baluta (NASA/GSFC), 海老沢研 (ISAS/JAXA), 江口智士 (福岡大), 深澤泰司 (広大), 橋口葵 (奈良女大), 勝田哲 (埼玉大), 北口貴雄 (理研), 小高裕和 (東大), 大野雅功 (JAXA), 太田直美 (奈良女大), 阪間美南 (埼玉大), 阪本菜月 (広大), 志達めぐみ (愛大), 塩入匠 (埼玉大), 丹波翼 (東大), 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)

X線分光撮像衛星 XRISM プロジェクト科学運用準備チームは、2023 年度打ち上げ後の衛星運用に向けて、科学運用における周回準備を行なっている。その作業は、観測提案システムの構築、観測計画プロセスの樹立、観測後の衛星テレメトリデータの FITS 形式への変換やアーカイブ処理、それを用いた検出器の健全性確認のためのシステム構築、軌道上較正計画の策定など、非常に多岐に渡る。2022 年 11 月に、およそ 2 週間の日程で、運用業者と共に、これまで開発してきた地上運用システムと、公募観測前の初期科学観測期のターゲット天体や、衛星熱真空試験の取得データを用いて、運用模擬試験を行った。定常運用時に想定される時間制限のもと、複数のパターンの観測スケジュールを立て、実施する運用のコマンドの作成とそのチェックといった衛星運用に望むまでのプロセスを模擬し、観測データ取得後の作業についても、テレメトリデータのモニタや即時データ処理/高次データ処理を実施し、NASA/GSFC の Science Data Center との通信確認も行った。本講演では、実施した試験のうち、主に科学運用に関する内容について、結果の詳細と今後の課題を報告する。

[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](#)

V308b X線分光撮像衛星 XRISM の観測データ処理ツールの開発状況

山田智史 (理研), 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, 林克洋, 米山友景, 吉田鉄生 (ISAS/JAXA), Chris Baluta (NASA/GSFC), 海老沢研 (ISAS/JAXA), 江口智士 (福岡大), 深澤泰司 (広大), 橋口葵 (奈良女大), 勝田哲 (埼玉大), 北口貴雄 (理研), 小高裕和 (東大), 大野雅功 (JAXA), 太田直美 (奈良女大), 阪間美南 (埼玉大), 阪本菜月 (広大), 志達めぐみ (愛大), 塩入匠 (埼玉大), 丹波翼 (東大), 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), 山内茂雄 (奈良女大)

X線分光撮像衛星 (XRISM) の科学運用チームは、最大限の科学成果を出すことを目的として開発や運用準備を進めている。科学運用の工程には、観測計画の立案、地上での観測データ処理、ユーザーサポートなどがある。特に地上での観測データ処理では、各ミッション機器から出力されるテレメトリデータ、軌道や姿勢などの補助データのフォーマット変換や補正、および、テレメトリデータの時刻再計算の処理を行い (pre-pipeline と呼ぶ)、最後に pipeline を実行することで較正済のユーザー配布データが得られる。加えて、生成物を用いた検出器性能や観測成立の確認を行うことも健全な科学運用のために不可欠である。しかし、pre-pipeline 処理では SIRIUS へのデータ登録や軌道決定を用いた姿勢オフライン決定の結果が必要であり、実行開始までに数日以上時間を要する。そのため、プロジェクト分蓄装置から FFF 形式 (Quick-look FITS File; QLFF) を作成し、即時に健全性の確認も行う。8 月には熱真空試験を実施し、最近ではその QLFF を用いて検出器性能や観測成立の確認に必要なデータを生成するツールの開発を行った。本講演では、観測データ処理ツールの開発状況の詳細を報告する。

[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](#)

V309b X 線分光撮像衛星 XRISM 時刻システムの地上評価検証 (II)

志達めぐみ (愛媛大), 寺田幸功 (埼玉大, ISAS/JAXA), 阪間美南, 塩入匠 (埼玉大), 高橋弘充 (廣大), 飯塚亮 (ISAS/JAXA), 林克洋 (ISAS/JAXA), 他 XRISM Mission Operation Preparation Team, 小湊隆 (日本電気)

2023 年度打ち上げ予定の X 線分光撮像衛星 XRISM では、科学目標に基づいて、各 X 線光子の検出時刻に対する要求精度が 1σ で 1 ミリ秒と定められている。これは衛星時刻システム全体に対する要求であり、このうち衛星バス系および地上の高次データ処理系に対しては、350 マイクロ秒の精度を満たすことが要求されている (寺田幸功他 2022 年天文学会春季年会)。XRISM は、ひとみ衛星と同様に GPS 受信機を搭載しており、GPS 信号を捕捉して衛星本体の時計を常に同期する仕様になっている。一方、万が一 GPS 信号が捕捉できない場合、衛星の時計は自走状態となる。その際には温度によってクロックの周波数が変化するため、高次データ処理系においてその補正が必要となる。我々は、2022 年 8 月に行われた衛星熱真空試験中に、GPS と同期・非同期の各々の場合におけるデータを取得し、衛星バス系・地上の高次データ処理系の時刻精度の評価を行った。試験データを解析したところ、衛星が GPS と同期している時間帯においては要求が十分に満たされていることが確認できた。一方、GPS と非同期の際には、衛星バス系の時刻原振の温度変化が大きい場合に、精度の劣化が見られた。その補正に用いる周波数温度特性を取得する機能については、正常に動作することが確認できた。本講演では、上記の解析結果の詳細を説明し、GPS 非同期の場合の誤差の要因とその対処方法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](#)

V310b 原子層堆積法を用いた Co 成膜 Si 光学系の開発

辻雪音, 伊師大貴, 福島碧都, 江副祐一郎, 石川久美, 沼澤正樹, 稲垣綾太, 上田陽功, 森下拓海, 関口るな, 村川貴俊, 山口和馬, 石川怜, 森本大輝, 山田裕大 (東京都立大), 満田和久 (国立天文台)

我々は世界初の地球磁気圏 X 線撮像を目指す GEO-X (GEOspace X-ray imager) 計画に向けて超軽量 X 線望遠鏡の開発を進めている (Ezoe et al. 2022 SPIE)。MEMS (マイクロマシン) 技術を用いて Si 基板に製作した微細穴の側壁を反射鏡として用いる手法であり、穴を開けるドライエッチング、平滑化と平坦化のためのアニールと化学機械研磨、集光のための高温塑性変形、組み立てという複数のプロセスからなる。Si は加工しやすい反面、原子番号が小さく全反射の反射率が重金属に比べると劣るため、側壁をコーティングする必要がある。そこで我々は原子層堆積法に着目し、本手法で世界初となる Ir や Pt coating を行った光学系での X 線反射実証に成功してきた (Ogawa et al. 2013 Appl. Opt., Takeuchi, et al. 2018 Appl. Opt., Ishi et al. 2020 Appl. Phys. Express)。

GEO-X では地球磁気圏で生じる太陽風イオンと外圏中性物質の電荷交換反応による発光を捉える。そこで太陽風に多く含まれる酸素や窒素イオンからの ~ 1 keV 以下の K 耀線がメインターゲットとなる。この帯域では我々が開発してきた Pt に比べて高い反射率を持つ Co が好ましい。そこで試作品としてベア Si 基板に新たに原子層堆積法で成膜を行った。ガス雰囲気での成膜手法であり原子層一層ずつの平滑かつ被覆性の良い成膜が可能である。膜厚 50 nm での成膜を行ったところ、原子間力顕微鏡 (AFM) で測定した μm スケールでの表面粗さは 1 nm rms 程度と良好であった。そこで次に X 線反射率を測定した所、Al K_{α} で成膜前と比べて大角度での反射率の向上を確認できた。反射率カーブから見積もられる表面粗さも AFM での粗さ測定と一致していた。本講演では試作の現状と GEO-X に向けた見通しについて述べる。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V311b GEO-X 衛星に向けた迷光防止用コリメータの開発

村川貴俊, 石川久美, 沼澤正樹, 江副祐一郎, 伊師大貴, 福島碧都, 稲垣綾太, 上田陽功, 森下拓海, 辻雪音, 関口るな, 山口和馬, 石川怜, 森本大貴, 山田裕大 (東京都立大), 満田和久 (国立天文台)

我々は地球磁気圏 X 線撮像に向けた超小型衛星 GEO-X (GEOspace X-ray imager, Ezoe et al. 2022 SPIE) に向けて, MEMS (マイクロマシン) 技術を用いた超軽量な X 線望遠鏡の開発を進めている。300 μm 厚の Si ウェハに, 幅 20 μm の微細穴を同心円状に形成し, 側壁を反射面として利用する。さらに水素アニールと化学機械研磨で側壁を平滑化・平坦化し, 集光のため高温塑性変形により基板に曲率をもたせる。そして側壁に重金属で膜付けした上で, 曲率の異なる 2 枚の基板を重ねることで Wolter I 型望遠鏡として完成する。検出器と合わせて 5 deg 角という広い視野をカバーするが, ここで目的とする地球磁気圏の昼側構造は地球からの離角が 7-10 deg 程度と小さく迷光が問題となりうる。そこで我々は MEMS 技術を用いた Si 微細穴コリメータの開発を行った。ドライエッチングを用いて望遠鏡の反射鏡とぴったり一致した位置にコリメーション用の穴を掘り, 変形はせずそのまま正確に望遠鏡と位置合わせする。観測時の S/N 比の見積もりから, 厚み 300 μm 厚の Si ウェハに, 幅 30 μm の微細穴を同心円状に形成し, コリメート角 5.7 deg となるように設計製作した。そして疑似平行 X 線に対する応答を調べたところ予想通り 5.7 \pm 0.1 deg でコリメートされていることが分かった。こうしたコリメータは他の衛星計画においても応用可能である。本講演ではこれらのコリメータの設計製作について報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V312c HiZ-GUNDAM 搭載用 X 線検出器に関するデータ処理手法の検証

山口嵩史, 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)

HiZ-GUNDAM は, 低エネルギー X 線帯 (0.4-4.0keV) でのガンマ線バースト観測及びその後の可視光・近赤外線による追観測によって初期宇宙の探査を行うことを目的とした計画である。我々は搭載用焦点面 X 線検出器の開発を進めており, 本研究ではそのデータ処理手法に関する検証を行った。衛星による X 線の検出には, 主に CCD や CMOS といった半導体イメージセンサを使用する。しかしながら, ガンマ線バーストといった 1 秒以下のスケールの現象を観測するためには大量かつ高速のデータ処理と転送が必要となり, センサの取得する全ての情報を地上に送ることは難しい。そのため, 機上でのデータの処理と圧縮を行う。

HiZ-GUNDAM においては, 対象のフレームデータの直前の 1 枚を差し引くことによって X 線バックグラウンドレベルを推定し, その後イベント抽出による圧縮を行う。この方式によるデータを, 我々が取得データ全体を用いてバックグラウンドを推定した方式と比較したところ, X 線イベントの検出数が減少していることが判った。Mn-K α (5.9keV) を利用して実験室で取得したイベントデータでは, シングルピクセルイベントに約 8% の検出数減少が見られたため, 両手法によるイベント毎の波高値の検証を行った。結果として, 減少分のシングルピクセルイベントがマルチピクセルイベントとして検出されていることを突き止め, 検出数の差異にはバックグラウンド推定に使用するサンプリングフレーム枚数への依存性があることを明らかにした。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V313c 超小型衛星による、宇宙空間からの太陽中性子の観測 (VI)

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, 木内隆太 (名古屋大), 谷浩一, 新井正樹 (合同会社尽星), 宮澤拓也 (OIST), 島元弘樹 (ドクブラウン株式会社), 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)

太陽での爆発現象であるフレアやコロナ質量放出に伴い、規模に応じて人類の生活に影響が及ぶことが知られており、宇宙天気予報として日々重要性を増している。我々は太陽におけるイオン加速機構解明のため、これまで観測されてきた電磁波ではなく、中性子という観測手段に着目している。中性子は長年地上高地で観測されてきたが、大気の影響を強く受けるなど感度が悪く、10 例程度の観測例にすぎない。現在は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 2024 年頃の打ち上げを狙って、新規開発の中性子・ガンマ線観測装置 SONGS を開発中である。本装置は多層に並べた棒状のプラスチックシンチレータと底面におかれた GAGG シンチレータからなり、高速中性子と軟ガンマ線を検出できる。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 次的に宇宙線の飛跡を捉えることが可能である。我々当初は名古屋大学 3U キューブサットへの搭載を目指していたが、JAXA 革新的技術実証衛星 4 号機の公募があり、100 kg 級主衛星へのコンポーネントとしての搭載・軌道実証を目指すこととした。その際、宇宙天気予報への貢献を考慮して、長距離低消費電力無線機を搭載し、太陽フレアが起きたら地上へ通知し、端末を持っていれば誰もが情報を得られるように機能を強化した。将来的に複数機を打ち上げることで宇宙天気の監視および警報を行うことができる。本発表では現在開発中の SONGS のミッション、EM センサ開発状況について述べる。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V314a 超小型 X 線衛星 NinjaSat の開発進捗 (2)

武田 朋志 (東理大/理研), 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 (中央大), 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 (東理大/理研), 佐藤 宏樹 (芝浦工大/理研), Chin-Ping Hu (彰化師範大/理研), 高橋 弘充 (広島大), 小高 裕和, 丹波 翼 (東大), 谷口 絢太郎 (早大), 岸本 俊二 (高エネルギー加速器研究機構)

超小型 X 線衛星 NinjaSat は 2023 年 10 月に打ち上げ予定の 6U サイズ ($10 \times 20 \times 30 \text{ cm}^3$) キューブサットであり、2-50 keV に感度を持つ 1U の非撮像型ガス X 線検出器 (Gas Multiplier Counter; GMC) と、放射線環境を監視する Si-PIN 放射線帯モニターをそれぞれ 2 台搭載する。GMC はガス電子増幅器 (GEM) を内蔵したガスチェンバー、金属コリメーター、高電圧印加・アナログ信号処理ボード、およびデジタル信号処理ボードで構成され、6 keV において過去に超小型衛星に搭載された X 線検出器としては最大である約 32 cm^2 の有効面積をもつ。超小型衛星の運用上の高い柔軟性を活かし、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、全天 X 線監視装置 MAXI などが発見した突発天体の追観測を行う。

2022 年 9 月までに、衛星搭載品 4 台の地上較正試験ならびに熱真空試験、振動試験を実施し、リトアニアの衛星バス製作会社に輸送した後、現地にてその健全性を確認した (大田ほか、2022 年秋季年会)。その後、10 月には衛星の詳細設計審査を通過し、バス部の製作がスタートした。11 月には高エネルギー加速器研究機構 PF BL-14A において、地上待機品を用いた GMC のエネルギー較正試験を実施し、6.4-50 keV の範囲の合計 12 エネルギーの単色 X 線により、出力波高の線形性の確認や検出器応答作成に必要な較正データを取得した。本講演では、2023 年 1 月から 3 月にかけて実施予定の衛星組み立てを含む、NinjaSat 衛星全体の開発進捗について報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V315a 地球磁気圏 X 線撮像計画 GEO-X (GEOspace X-ray imager) 搭載検出器の開発

松本拓也, 中村彰太郎, 萩野浩一, 中嶋大 (関東学院大), 平賀純子 (関西学院大), 江副祐一郎, 沼澤正樹, 石川久美 (都立大) ほか GEO-X チーム

世界初の地球磁気圏の X 線撮像を目指す超小型衛星計画 GEO-X (GEOspace X-ray imager) に搭載される、焦点面検出器の開発状況を報告する。GEO-X は太陽活動が極大期を迎える 2023-2025 年の打ち上げを目指しており、現在我々は検出器のエンジニアリングモデルを開発している。GEO-X は月付近軌道に投入され、太陽風と地球外圏大気との電荷交換反応 (SWCX : Solar Wind Charge eXchange) による X 線を検出する。そこで検出器は SWCX 輝線の卓越する 0.3-2.0 keV において高感度撮像分光を行う。撮像サイクルは可視光バックグラウンドの寄与を低減するため 0.01 sec/frame 程度とし、エネルギー分解能は SWCX による輝線を分解するため 120 eV(FWHM) @ 0.6 keV を要求とする。

我々は、可視紫外向けに開発された Gpixel 社の CMOS イメージセンサ GSENSE400-BSI を採用し評価を進めている。これまで、X 線発生装置と二次ターゲットを用いた多色 X 線発生装置を製作し、 -20°C 未満に冷却した CMOS センサに対して O-K 輝線 (0.53 keV) や Si-K α (1.74 keV) など複数の軟 X 線を照射するシステムを構築した。しかし軟 X 線帯域のスペクトル中に複数の輝線が混在しており、エネルギー分解能の正確な評価を行うことが難しかった。そこで我々は二次ターゲットの位置を調整する、X 線がセンサに入射するまでのパスにおける蛍光 X 線発生を低減する、などによりシステムを最適化し、0.5-7.0 keV の帯域で応答関数を評価した。特に、広がった X 線イベントの電荷収集効率に優れたフライトモデル候補センサの評価を中心に報告する。

[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](#)

V316a X 線偏光観測衛星 IXPE の現状 (3)

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, 柏倉一斗, 田原譲 (名古屋大), 郡司修一, 渡邊瑛里, 寺島政伸, 菅 佑真, 上小林征 (山形大), 深沢泰司, 水野恒史, 高橋弘充, Zhang Sixuan (広島大), 岩切 涉 (千葉大), 林田 清, 朝倉一統 (大阪大), Martin Weisskopf, Brian Ramsey, Stephen O'Dell (NASA/MSFC), Paolo Soffitta (IAPS/Rome), Luca Baldini (INFN/Pisa) ほか IXPE 衛星チーム

X 線偏光観測は、高エネルギー天体の幾何構造や磁場、放射機構を探るすぐれた手段として期待されてきたが、可視光や電波に比べ高感度な偏光計を製作するのが技術的に難しいことや、十分な光子統計が必要なことから、これまでほとんど実施されてこなかった。NASA マーシャル宇宙飛行センターがイタリアと共同提案した IXPE (Imaging X-ray Polarimetry Explorer) は、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衛星である。2017 年 1 月に NASA 小型衛星計画として採択され、2021 年 12 月 9 日に NASA ケネディ宇宙センターから SpaceX Falcon 9 ロケットにより、高度 600 km の赤道軌道に打ち上げられた。約 1 ヶ月間のコミッション期間を経て、2022 年 1 月 12 日より科学運用が始まった。

IXPE 衛星には日本から、JAXA 小規模プロジェクトの枠組みで国際協力として参加しており、ハードウェア製作、観測計画策定、天体観測データ解析と論文執筆への貢献を行ってきた。IXPE 衛星は、打ち上げから 1 年間で様々なカテゴリーの天体を約 30 観測し、その多くで統計的に有意な X 線偏光を検出した。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 20 天体が論文化、もしくは投稿が完了した状態である。本講演では、IXPE 衛星の現状と最新の観測成果について報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V317a 硬 X 線集光偏光計 XL-Calibur 気球実験の 2022 年フライトと今後

高橋弘充, 阪本菜月, 今里郁弥, 今澤遼, 眞武寛人, 水野恒史, 深沢泰司 (広島大), 内田悠介 (東京理科大), 峯田大靖, 鴨川航, 倉本春希, 松本浩典, 服部兼吾, 井出峻太郎, 岡崎貴樹, 朝倉一統, 石倉彩美, 佐久間翔太郎, 花岡真帆, 澤上拳明, 松下友亮, 善本真梨那, 大出優一, 佐藤 淳矢, 袴田知宏, 佐藤淳矢, 青柳美緒, 石渡幸太, 萩原涼太, 野田博文, 林田清, 常深博 (大阪大), 前田良知, 石田学 (宇宙科学研究所), 宮澤拓也 (沖縄科学技術大学院大学), 石橋和紀 (名古屋大), 中庭望, 武尾舞, 鈴木瞳, 宮本明日香 (東京都立大), 今村竜太, 亀谷紀香, 栗木久光 (愛媛大), 古澤彰浩 (藤田医学大), 北口貴雄, 玉川徹, 榎戸輝揚 (理化学研究所), 郡司修一 (山形大学), 岡島崇, 田村啓輔 (NASA/GSFC), Henric Krawczynski (ワシントン大), Fabian Kislak (ニュー・ハンプシャー大) 他 XL-Calibur チーム

偏光観測は、撮像、測光、分光とは独立な物理量（磁場や幾何構造など）が得られる強力な観測手段である。しかし X 線やガンマ線の高エネルギー帯域では未開拓であり、2021 年 12 月に打ち上がった IXPE 衛星による 2-8 keV の軟 X 線の偏光観測が始まったばかりである。我々は広帯域での偏光観測が重要と考え、日米瑞の国際協力で XL-Calibur 気球実験を推進し (PI: Henric Krawczynski)、15-80 keV の硬 X 線について望遠鏡により天体信号を集光し、高感度な偏光観測を実現する。偏光計は、Be 散乱体と CZT 半導体で、コンプトン散乱の際に光子は偏光方向と垂直に散乱されやすい (クライン-仁科関係) ことを利用する。

XL-Calibur 気球の長期フライトは、2022 年 7 月にスウェーデンからカナダまで 6 日間かけて実施した。着陸後はゴンドラが無事に回収されている。本講演では、このフライト状況と IXPE 衛星との同時観測の試み、次回 2024 年に再度スウェーデンからの長期フライト計画やその後について報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V318a GRAMS 計画 7: 全体報告

小高裕和, 新井翔大, 市橋正裕, 高嶋聡, 丹波翼, 南木宙斗, 馬場彩 (東京大), 青山一天, 櫻井真由, 清水虎冴, 田中雅土, 谷口日奈子, 中島理幾, 中曽根太地, 寄田浩平 (早稲田大), 一戸悠人, Dmitry Khangulyan (立教大), 井上芳幸 (大阪大), 内田悠介 (東京理科大), 須田祐介, 高橋弘充, 深沢泰司 (広島大), 辻直美 (神奈川大), 廣島渚 (富山大), 八幡和志 (防衛医大), 米田浩基 (理研), 渡辺伸 (宇宙研), Tsuguo Aramaki (Northeastern U), Georgia Karagiorgi (Columbia U), Reshmi Mukherjee (Barnard College), GRAMS コラボレーション

GRAMS (Gamma-Ray and AntiMatter Survey) 実験は、大型の液体アルゴン放射線検出器を気球などの飛翔体に搭載し、ブラックホールや中性子星からのメガ電子ボルト (MeV) ガンマ線放射の観測および低エネルギー反粒子の検出による暗黒物質探索を同時に開拓することを目指す日米国際共同実験計画である。大きな検出器容積を実現できる液体アルゴン time projection chamber 放射線検出器 (liquid argon TPC, LArTPC) は、素粒子物理学実験の分野で実用化が始まっている先進的な実験装置であり、これを気球に搭載し、遠方天体からの微弱なガンマ線や暗黒物質由来の非常に希少な低エネルギーの反重陽子や反ヘリウム核を検出することが GRAMS の基本的なコンセプトである。検出器媒体に液体を用いることで、高密度かつ大容量の充填が可能となり、これまでになく有効面積の実現を目指す。現在、コンプトンイメージングの実証実験と性能評価のために、大きさ 10-30 cm 程度の小型プロトタイプ機の開発を進めている。本講演では、全体計画の進捗状況、プロトタイプ検出器およびそれに組み込むシンチレーション光・電離電子読み出し回路の開発状況、JAXA 国内気球搭載実験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](#)

V319a GRAMS 計画 8: 工学気球実験に向けた準備

新井翔大, 小高裕和, 高嶋聡, 馬場彩 (東京大学), 寄田浩平, 田中雅士, 青山一天, 内海和伸, 中島理幾 (早稲田大学), 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 ガンマ線検出器・反粒子検出器のプロジェクト Gamma-ray and Anti-Matter 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宇宙ガンマ線観測を行う計画である。コンプトン散乱で生じる電離電子と光子を検出することによるガンマ線観測と、反重陽子の検出によるダークマター間接探索を同一検出器で行えるようにすることを目標としており、将来的には 1 ヶ月以上の気球長期間フライトによる観測の実現を目指している。

現在、我々は検出器の基礎的な概念実証段階にある。上空の条件下での検出器の動作や、上空での高純度な液体アルゴンの維持や安全性の確保など、上空における検出器の運用方法を確立する必要がある。そのため、上空での検出器としての動作の確認や気球搭載にあたっての技術の確立、気球高度放射線環境データ取得を目的として、我々は小型の LArTPC を作製し、それを気球に乗せて観測を行う技術実証実験を計画している (小高、JAXA 大気球シンポジウム 2022)。本講演では、工学気球実験の概要と現在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](#)

V320a 軟 X 線から硬 X 線の広帯域を高感度で撮像分光する衛星計画 FORCE の現状 (15)

森浩二, 武田彩希 (宮崎大), 村上弘志 (東北学院大), 寺田幸功 (埼玉大), 久保田あや (芝浦工大), 山田智史 (理研), 馬場彩, 小高裕和 (東大), 谷津陽一 (東工大), 小林翔悟, 幸村孝由 (東京理科大), 内山泰伸, 佐藤寿紀 (立教大), 北山哲 (東邦大), 高橋忠幸 (東大/カブリ IPMU), 石田学, 渡辺伸, 山口弘悦 (ISAS/JAXA), 藤田裕 (都立大), 中嶋大, 萩野浩一 (関東学院大), 中澤知洋 (名大), 古澤彰浩 (藤田医科大), 鶴剛, 上田佳宏, 内田裕之, 榎戸輝揚, 水本岬希 (京大), 田中孝明, 鈴木寛大 (甲南大), 松本浩典, 野田博文, 常深博 (阪大), 伊藤真之 (神戸大), 信川正順 (奈良教育大), 信川久実子 (近大), 太田直美 (奈良女子大), 粟木久光, 寺島雄一, 志達めぐみ (愛媛大), 深沢泰司, 水野恒史, 高橋弘充 (広島大), 谷本敦 (鹿児島大), 赤松弘規 (SRON), Hornschemeier, Ann.E, Okajima, Takashi., Zhang, W. William., Venters, Tonia., Yukita, Mihoko. (NASA/GSFC), 他 FORCE WG

我々は 1–79 keV の広帯域 X 線を高感度で撮像分光する衛星計画 Focusing On Relativistic universe and Cosmic Evolution (FORCE) を提案している。FORCE の科学目的は、「ブラックホールがどのように成長し、母銀河とどのように共進化してきたか?」、「非熱的エネルギーがどのようにして生成され、どれだけ宇宙に存在しているか?」、および、「星がどのように終末を迎え、どのように爆発するか?」を理解することである。この目的にむけて、10 keV 以上の硬 X 線帯域にも感度を持つ衛星として初めて 15 秒角以下の高角度分解能を実現し、既存の衛星と比較して、1 桁以上高い硬 X 線点源感度を達成する。また、迷光を抑えた衛星・望遠鏡デザイン、超低バックグラウンドを実現する検出器により、拡がった硬 X 線天体にも高い感度を実現する。現在我々は、周辺分野の動向および同分野の世界情勢も踏まえた上で、科学目標の詳細化とミッションデザインの検討を進めている。本講演では、2022 年 5 月に発出された小型科学衛星の公募の結果と、それに伴うアップデートを報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V321a SOI 技術を用いた新型 X 線撮像分光器の開発 56:MeV ガンマ線観測への応用に向けた SOI ピクセル検出器の基礎特性評価 (2)

橋爪大樹, 須田祐介, 深澤泰司 (広島大学), 鶴剛 (京都大学), 武田彩希 (宮崎大学)

宇宙 MeV ガンマ線観測は、ガンマ線バーストなどの高エネルギー天体における物理の解明やマルチメッセンジャー天文学を進展させる上でも重要である。ところが、その観測は 1990 年代に運用された CGRO 衛星搭載 COMPTEL 検出器以降進展がないというのが現状であり、MeV ガンマ線観測用の衛星は必須であると言える。MeV ガンマ線の観測手段としてコンプトンカメラが挙げられる。コンプトンカメラは散乱体と吸収体からなり、それぞれのデポジットエネルギーと反応位置からガンマ線の到来方向を円環上に定める。この時散乱電子の飛跡を捉えることで、円環を円弧に制限することができる。本研究ではその散乱体として、イベント駆動型 SOI ピクセル検出器 XRPIX を利用することで散乱電子の飛跡を捉え、より正確なコンプトンイメージングを可能とすることを目標としている。XRPIX は京都大学、宮崎大学を中心に開発、研究が進められている X 線撮像用の検出器であり、そのピクセルサイズは $36 \mu\text{m}$ 角と細かいため数 100 keV のガンマ線の散乱に対する電子飛跡も捉えることが期待できる。2022 年秋季年会では、常温で完全空乏化できる XRPIX8.5 を用いて、バックバイアスに対するイベントレートの増加、180 keV までのダイナミックレンジの確認などの初期動作確認について報告した。本講演では新たな解析結果として、空乏層厚の評価と、散乱電子の方向推定方法について報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V322a SOI 技術を用いた新型 X 線撮像分光器の開発 57 : PDD 構造を持つ大面積 X 線 SOI-CMOS 検出器 XRPIX の性能評価

泉大輔, 森浩二, 武田彩希, 西岡祐介, 行元雅貴, 石田辰徳, 岩切卯月, 川島陸斗, 眞方恒陽 (宮崎大学), 鶴剛, 内田裕之, 上ノ町水紀, 天野雄輝, 佳山一帆, 松田真宗 (京都大学), 島添健次, 高橋浩之 (東京大学), 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, 土居俊輝, 角町駿, 武居悠貴, 清水真 (東京理科大学), 田中孝明, 鈴木寛大 (甲南大学), 萩野浩一 (関東学院大学)

我々は次世代の X 線天文衛星「FORCE」搭載に向けて、X 線 SOI-CMOS ピクセル検出器「XRPIX」の開発を行っている。XRPIX は Silicon-On-Insulator (SOI) 技術を用いることで、 SiO_2 からなる絶縁層を挟んでセンサ層と CMOS 回路層を一体化している。我々は、この XRPIX の開発において、まず小型素子を複数回試作し知見を蓄えた上で、次に大面積素子を製作するという手法をとってきた。その中で、これまでにセンサ構造の検討と、大面積化をした際 CMOS 回路層の問題点の抽出を行ってきた。センサ構造においては Pinned-Depleted-Diode (PDD) 構造の導入により、小型素子を用いた評価では過去最高の分光性能を実現している。また、過去の大面積素子では小型素子よりも分光性能が劣るという問題点があったが、これが回路・配線構成に起因することを突き止めた。これら 2 つの知見を踏まえ、今回新たに、PDD 構造を持つ、回路・配線構成の改善を施した新たな大面積素子を製作した。本講演では、その評価結果を報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V323a X線高分解能撮像に寄与する革新的な観測方位計測システム" TAMS" の提案

○塚野達樹 (早稲田大学大学院)、寺田怜央 (早稲田大学)、谷津陽一 (東京工業大学)

長大な伸展機構を有する X 線天文衛星 ASTRO-H の硬 X 線望遠鏡には、X 線ミラーと検出器の相対変位量を計測するシステム" CAMS (Canadian Astro-H Metrology System)" が採用された。その計測結果を X 線画像の再構成に利用し、軌道上における衛星構造の変形の影響を軽減した。一方で CAMS は、ミラーそのものの変形や衛星構造・衛星の指向制御に由来する絶対的な結像位置の変位を直接的に計測することは出来ず、あくまで衛星構造の変形をモニタすることで、間接的に結像位置を推算するまでに留まっていた。

天文ミッションから観測方位計測システムへの要求は、X 線光子が到来した時刻の視野方向を特定することである。そこで、本講演において我々は、天球座標と検出器座標を直接的に対応付けて観測視野方向を特定することが可能な、斬新なシステム" TAMS (Tsukano Terada - Astronomical Metrology System)" を提案する。

本提案は、X 線検出器周辺に可視光源を配置し、そこから放射される光線束を X 線ミラーに入射逆進させ、観測視野方向の天球面上に像を投影するものである。投影位置を精密に計測できれば、衛星の構造や制御等の不確定性を原理的に排除でき、ミッションの要求をより高度に満たすことが可能となる。具体的には、空間分解能の高い同一のスタートラッカ (STT) を用いて、恒星からの光線束と、検出器周囲に配置した可視光源から天球面に投影された光線束とを、同時に撮像する。これにより、恒星を撮像して望遠鏡の指向方向を決定すると同時に、その画像上に投影された可視光源の像から検出器の指向方向も決定することができる。

本講演では、TAMS の原理を紹介するとともに、大型 X 線望遠鏡や、展開構造を有する 50kg 級軟 X 線望遠鏡等への適用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](#)

V324a X線高分解能撮像に寄与する革新的な観測方位計測システム" TAMS" のクロスプリズムの研究報告

○寺田怜央 (早稲田大学)、塚野達樹 (早稲田大学大学院)、谷津陽一 (東京工業大学)

TAMS (Tsukano Terada - Astronomical Metrology System) のコンセプトは、天球座標と検出器座標を直接的に対応付けることによる、観測視野方向の特定にある。このコンセプトは、恒星からの光線束と、検出器周囲に配置した可視光源から放射され X 線ミラーに入射逆進して天球面に投影される光線束とを、共通の STT (スタートラッカ) に重ね合わせて撮像することにより実現される。そのためには対向 2 方向から入射する光線束を、STT に向けて統合して射出しなければならない。光線束の統合は 4 つの直角プリズムの斜面を半透膜として相互に接着したクロスプリズムを用いて行う。

これを採用する利点は、光路断面にケラレが生じることがなく、STT 像面上において星像の軸対称性を確保しやすいことであるが、一方で、プリズム面間の多重反射によるゴーストの発生が懸念される。ゴーストは STT による座標決定精度に影響を与えるため、抑止策を講じなければならない。

本研究では、計算機シミュレーションによりゴースト発生メカニズムを解析した上で、ゴースト光路の数やゴースト像強度を抑制するための新しいアイデアとして、光吸収性ガラスを組み込んだ新規のクロスプリズムを考案した。本講演では、それらの詳細を述べるとともに、クロスプリズム試作品の現実の光学特性について報告する。また、それらの結果を踏まえて、TAMS の光学要素としてのクロスプリズムの有効性について考察する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V325a 多重像 X 線干渉計 MIXIM の開発 –EM アルゴリズムを用いた復号解析–

朝倉一統, 林田清, 善本真梨那, 袴田知宏, 大出優一, 佐藤淳矢, 石渡幸太, 青柳美緒, 萩原涼太, 野田博文, 松本浩典 (大阪大), 米山友景 (ISAS/JAXA), 小高裕和 (東京大)

我々はこれまで、従来とは異なる原理で高角度分解能を実現する X 線撮像系、多重像 X 線干渉計 (MIXIM: Multi-Image X-ray Interferometer Module) の開発を進めてきた (e.g., Hayashida+2016)。MIXIM は周期的な開口部を有するマスクと微小ピクセル撮像素子から構成され、基本的にはピンホールカメラと同様の原理で撮像を行う。角度分解能向上のために開口部を縮小すると回折が結像を妨げるが、MIXIM では特定の波長を分光し、その波長における Talbot 干渉効果を利用することで、回折の影響を抑制してシャープな結像を実現している。2019 年度には周期的なピンホール配列を用いた約 9 m の撮像系で 0.1 秒角を切る角度分解能での X 線撮像に成功し (Asakura+2020)、2020 年度には開口率約 50% の周期的な符号化マスクでも Talbot 干渉効果による結像ができることを実証することで有効面積の大幅な向上を達成した (Asakura+2022)。

符号化マスクによる撮像の場合、得られる像はマスクパターンと光源分布の畳み込みとなるため、光源分布の情報を得るには復号を行う必要がある。撮像性能はこの復号にも依存しており、これまでの簡易的な復号解析では偽像の出現等の影響もあり期待される性能に届いていなかった。そこで、我々は新たに EM アルゴリズムを用いた復号解析 (Shepp & Vardi 1982) を MIXIM に適用した。その結果、撮像性能は大幅に向上し、符号化マスクを用いた約 1.5 m の撮像系で角度分解能 ~ 0.5 秒角を達成した。2022 年には更なる性能評価のため、X 線ビームの入射角を少しずつ変えながら取得したデータを複合することでより複雑な光源分布を模擬した復号解析や、光源の偏光情報も加味した復号解析にも着手した。本講演ではこれらの実験の詳細や解析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](#)

V326a 可視光による Lobster Eye Optics の焦点距離測定法の評価

後藤初音, 米徳大輔, 佐藤智也, 向井一眞, 荻野直樹, 有元誠, 澤野達哉 (金沢大学), 三原建弘 (理研), 坂本貴紀 (青山学院大学), 前田 良知 (宇宙研), 土居明広 (宇宙研)

HiZ-GUNDAM は、高感度の広視野 X 線モニターにより突発天体を発見し、可視光・近赤外線望遠鏡による自動追観測を行う計画である。これにより、第一世代星を起源とするガンマ線バーストの探査やそれを背景光とした初期宇宙の物理状態、重力波同期天体の観測などを行う。突発天体を監視する広視野 X 線モニターには、Lobster Eye Optics (LEO) と呼ばれるガラス光学系と 2 次元イメージセンサを用いたシステムが検討されている。この検出器は、0.4–4.0 keV の軟 X 線帯域において、約 0.5 ステラジアン視野を 10^{-10} erg/cm²/s (100 秒間露光) の感度で監視する。広視野 X 線モニターでは、9 枚の LEO で構成する 1 モジュールを最小単位とし、1 ユニット 4 モジュール、合計 4 ユニット/144 枚の LEO を球殻状に配置することで、約 0.5 ステラジアン視野を実現する。LEO には製造時に生じた焦点距離のばらつきが存在し、入射 X 線の到来方向を目標精度 < 3.0 arcmin で決定するためには、144 枚の LEO それぞれの焦点距離を < 3 mm の精度で測定し、焦点距離の近い素子で 1 モジュールを構成する。そこで本研究では、X 線による従来の焦点距離測定に替わる簡便な測定方法として、可視光による焦点距離の測定を検討した。はじめに、可視光のスポット照射と広範囲照射という 2 種類の方法を試験可能な実験システムを構築し、それぞれの照射に対する LEO の特性を調査した。そして、NNVT 社製と Photonis 社製の 2 種類の LEO を用い、スポット照射、広範囲照射による焦点距離の測定をおこなった。また、過去に測定された X 線での焦点距離との比較をおこない、可視光で測定された焦点距離の精度を評価した。本講演では、LEO の可視光特性について紹介し、可視光を用いた焦点距離測定について報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V327a 狭視野 Si/CdTe 半導体コンプトン望遠鏡による気球実験の試作機 miniSGD の開発

大熊佳吾 (名大理), 中澤知洋 (名大 KMI), 武田伸一郎 (東大 Kavli IPMU/iMAGINE-X), 安藤美唯, 大宮悠希, 大口真奈里, 田中敦也, 辻結菜 (名大理), 渡辺伸 (JAXA/ISAS), 高橋忠幸 (東大 Kavli IPMU), 小林昌彦 (名大 KMI), 石田直樹 (名大全技セ), 南喬博 (東大理), 大西光延, 新井利彦 (iMAGINE-X)

我々は、sub-MeV・MeV ガンマ線帯域の宇宙観測の感度向上を目指し、2016 年打上げの「ひとみ」衛星でも搭載された Si/CdTe 半導体コンプトン望遠鏡とアクティブシールドを組み合わせた狭視野コンプトン望遠鏡の性能実証実験機 miniSGD の開発を進めている。miniSGD は有効検出面積 $32 \times 32 \text{ mm}^2$ で 0.5 mm 厚の Si 両面ストリップ検出器 (DSSD) 2 枚と、同じく $32 \times 32 \text{ mm}^2$ で 2 mm 厚の CdTe 両面ストリップ検出器 (CdTe- DSD) 4 枚からなる半導体コンプトン望遠鏡をコンパクトに実装し、これと厚さ 20-30 mm の 9 個の BGO シンチレータからなるアクティブシールドで構成されている。これらは直径 314 mm、高さ 350 mm の円筒に収まるコンパクトな設計となっている。miniSGD は 2023 年 4 月にオーストラリアにて気球実験を予定していたがフライトはキャンセルされた。本講演では、miniSGD のフライトに向けた開発とコンプトンカメラの性能の現状について報告する。

これまでに -20 度、真空下で熱真空試験を実施して動作を確認し、宇宙研にて気球ゴンドラとの機械噛み合わせ、気球チームのテレコマ系との接続試験も無事終了し、フライト可能な状態である。並行して、MeV コンプトンカメラとしての撮像性能の向上、アクティブシールド込みでバックグラウンドの除去率を検証する総合性能試験を行ってきた。今後は角分解能向上を目指したコンプトン解析技法の改善、バックグラウンドをさらに下げることの検出器改良実験などを進め、第 2 の目的である FORCE 衛星の検出器技術の検証も推進してゆく。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V328a Cherenkov Telescope Array (CTA) 計画：全体報告 (23)

窪秀利, 齋藤隆之, 武石隆治, 手嶋政廣, 戸谷友則, 野田浩司, 吉越貴紀 (東京大学), 吉田龍生 (茨城大学), 井岡邦仁 (京都大学), 山本常夏 (甲南大学), 田島宏康 (名古屋大学), 他 CTA Consortium

超高エネルギーガンマ線による宇宙観測をさらに発展すべく、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。CTA 天文台は、スペイン・ラパルマ (北サイト) とチリ・パラナル (南サイト) に設置される、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) で全天を観測する。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および粒子加速機構、宇宙線起源の解明に加え、赤外可視背景放射による星形成史の研究、ダークマター探索、ローレンツ不変性の高精度検証など、宇宙論や基礎物理まで研究範囲は広がる。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、設計通りの観測性能を持つことが確認され、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](#)

V329a CTA-LST 初号基と MAGIC による TeV ガンマ線同時観測のための解析手法の開発

須田祐介, 今澤遼 (広島大学), 大谷恵生, 阿部正太郎, 稲田知大, 大石理子, 金森翔太郎, 窪秀利, 小林志鳳, 齋藤隆之, 櫻井駿介, Marcel Strzys, 武石隆治, 野田浩司, バクスター・ジョシュア・稜, 橋山和明, Daniela Hadasch, 深見哲志, Moritz Hütten, Ievgen Vovk, 吉越貴紀 (東京大学), 岡知彦, 寺内健太 (京都大学), 奥村暁, 高橋光成, 田島宏康 (名古屋大学), 折戸玲子 (徳島大学), 片桐秀明, 吉田龍生 (茨城大学), 櫛田淳子, 西嶋恭司 (東海大学), 郡司修一, 中森健之 (山形大学), 立石大, 寺田幸功 (埼玉大学), 千川道幸, 山本常夏 (甲南大学), 手嶋政廣, 野崎誠也, Daniel Mazin (東京大学, マックスプランク物理学研究所), 他 CTA LST project, MAGIC Collaboration

宇宙 TeV ガンマ線の観測は複数の地上大気チェレンコフ望遠鏡による同時観測を行うことで、単眼観測よりも高感度で実現できる。Cherenkov Telescope Array (CTA) は次世代の TeV ガンマ線天文台として期待されており、最初の望遠鏡として大口径望遠鏡の初号基 LST-1 をスペイン・ラパルマに建設し運用を行なっている。LST-1 は従来望遠鏡 MAGIC と同じサイトに存在するため、両望遠鏡による同時観測が可能である。我々はこの点に着目し、LST-1 と MAGIC による同時観測のためのモンテカルロシミュレーションや解析パイプラインを開発した。本講演では同時観測手法、シミュレーションやかに星雲の観測データを用いた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](#)

V330a CTA 大口径望遠鏡 2-4 号機における波形記録チップ DRS4 のサンプリング時間幅較正

服部勇大, 片桐秀明, 吉田龍生 (茨城大学), 猪目祐介, 大岡秀行, 窪秀利, 小林志鳳, 齋藤隆之, 櫻井駿介, 野田浩司, 橋山和明, Daniela Hadasch, Daniel Mazin (東京大学), 岩崎啓, 岡智彦, 寺内健太 (京都大学), 奥村暁, 高橋光成, 田島宏康 (名古屋大学), 折戸玲子 (徳島大学), 阿部和希, 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), 立石大, 寺田幸功 (埼玉大学), 田中真伸 (KEK), 溝手雅也, 山本常夏 (甲南大学), 手嶋政廣, 野崎誠也 (マックスプランク物理学研究所), 他 CTA-Japan Consortium

Cherenkov Telescope Array (CTA) 計画は大中小 3 種類の口径の望遠鏡を用いることで 20 GeV から 300 TeV のガンマ線を従来の約 10 倍の感度で観測する国際共同実験計画である。2018 年 10 月には大口径望遠鏡 (LST) 初号機がスペイン・ラパルマ島に建設が完了し、現在試験運用中である。また現在は LST2-4 号機の建設が進められており、2025 年に 4 台のフル LST アレイでの観測予定である。LST のカメラは 1855 本の光電子増倍管 (PMT) と 265 枚の波形読み出し回路で構成されており、PMT からの信号波形を波形読み出し回路上に搭載した Domino Ring Sampler version4 (DRS4) チップによって 1 GHz でサンプリングされる。この DRS4 チップにおけるサンプリング時間幅は不均一であることが知られている。この特性を較正することで電荷分解能の改善が期待できる。LST2-4 号機における波形読み出し回路ではサイン波生成回路が搭載されており、読み出しボードで生成したサイン波によるサンプリング時間幅の較正を行う。本講演では LST2-4 号機におけるサイン波を用いた DRS4 サンプリング時間幅の較正について報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V331a ALPACA 実験 4:ALPAQUITA 初期性能と今後の建設計画

M. Anzorena (東大宇宙線研), C. A. H. Condori (サン・アンドレス大), E. de la Fuente (グアダラハラ大), 林優希 (信州大理), 日比野欣也 (神奈川大工), 堀田直己 (宇都宮大), A. Jimenez-Meza (グアダラハラ大), 片寄祐作 (横浜国大工), 加藤千尋 (信州大理), 加藤勢 (東大宇宙線研), 川原一輝 (横浜国大工), 川島輝能 (東大宇宙線研), 川田和正 (東大宇宙線研), 小井辰巳 (中部大工), 小島浩司 (中部大天文台), R. Mayta (大阪公大理, 大阪公大南部研), P. Miranda (サン・アンドレス大), 宗像一起 (信州大理), 長屋開人 (横浜国大工), 中村佳昭 (東大宇宙線研), C. Nina (サン・アンドレス大), 西澤正己 (国立情報学研), 野口陸 (横浜国大工), 荻尾彰一 (東大宇宙線研), 大西宗博 (東大宇宙線研), 奥川創介 (横浜国大工), 大嶋晃敏 (中部大工), M. Rajевич (サン・アンドレス大), H. Rivera (サン・アンドレス大), 齋藤敏治 (都立産業技術高専), 榎原陽平 (横浜国大工), 塔隆志 (東大宇宙線研), 佐古崇志 (東大宇宙線研), 佐々木翼 (神奈川大工), 柴田祥一 (中部大天文台), 塩見昌司 (日本大生産工), M. Subieta (サン・アンドレス大), 田島典夫 (理研), 鷹野和紀子 (神奈川大工), 瀧田正人 (東大宇宙線研), 多米田裕一郎 (大阪電通大工), 田中公一 (広島市大情), R. Ticona (サン・アンドレス大), I. Toledano-Juarez (グアダラハラ大), 土屋晴文 (原子力機構), 常定芳基 (大阪公大理, 大阪公大南部研), 有働慈治 (神奈川大工), 山崎勝也 (中部大工), 横江諄衡 (東大宇宙線研), 他 The ALPACA Collaboration

ALPACA 実験は南米ボリビアのチャカルタヤ山中腹 (標高 4,740m) に大面積の空気シャワーアレイと水チェレンコフ型地下ミュオン観測装置を設置し、南半球において sub-PeV 領域ガンマ線と宇宙線を高感度で観測する新しい実験計画である。ALPACA によって宇宙線を PeV に加速する天体の同定が期待される。ALPACA 実験の約 1/4 スケール (約 2 万平米) の ALPAQUITA 空気シャワーアレイの検出器設置が完了し、2022 年 9 月よりデータ取得を開始した。本講演では ALPAQUITA の現状と取得された初期データの解析結果について報告する。また、ミュオン観測装置の設置と ALPACA への拡張の準備状況を報告する。

[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 日米共同・太陽フレア X 線集光撮像分光観測ロケット実験 FOXSI-4 に搭載するプレ・コリメータの開発

佐藤慶暉 (総研大), 成影典之 (国立天文台), 坂尾太郎 (宇宙研), 清水里香 (総研大), 加島颯太 (宇宙研/関西学院大学), Lindsay Glesener (ミネソタ大学), Juan Camilo Buitrago-Casas (カリフォルニア大学バークレイ校), 犬塚隼人, 吉村太志 (東レ・プレジジョン), FOXSI チーム

FOXSI (Focusing Optics X-ray Solar Imager) は、太陽コロナにおける高エネルギープラズマ現象の理解を目的とした、日米共同の太陽 X 線集光撮像分光観測ロケット実験である。4 度目の飛翔計画である FOXSI-4 は 2024 年春に打ち上げ予定であり、世界初となる太陽フレアに対しての X 線集光撮像分光観測を行うことで、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の解明という大目的に挑む。X 線を集光させるために FOXSI では Wolter-I 型の斜入射ミラーを用いるが、それにより迷光 (本来意図されている光路を外れて検出器に入ってくる光) が生じてしまう。FOXSI-3 ではこれを除去するため、穴径と穴の深さの比が 1:190 というアスペクト比の穴をハニカム状に連ねた構造を持つプレ・コリメータを、その機械加工の難しさから金属 3D プリンターで製作し搭載した (穴径:1mm)。FOXSI-4 では光学系をアップデートしたことにより、さらに高いアスペクト比の 1:270 のプレ・コリメータが必要となる。しかし搭載スペースは決まっているため、穴径を 0.7mm とすることで、FOXSI-3 と同じ長さでこのアスペクト比を達成させる。また、FOXSI-3 ではコリメータ構造に歪みが生じていたが、これを改善することで開口率 60 %を目指す。本講演では FOXSI-4 搭載予定のプレ・コリメータの開発状況と共に、SPRING-8 で行った試作品の評価実験結果について報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V333a 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光線追跡シミュレーションによる性能評価

作田皓基, 安福千貴, 藤井隆登, 岡田久美子, 吉平圭徳, 叶哲生, 石田直樹 (名古屋大学), 田村啓輔 (NASA/GSFC, メリーランド大学), 鈴木亮汰, 宮田喜久子 (名城大学), 成影典之 (国立天文台), 山口豪太 (SPRing-8), 伊藤旺成, 伊藤駿佑, 毛利柊太郎, 竹尾陽子 (東京大学), 久米健大, 松澤雄介, 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。そこで我々は、より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) を用いた宇宙 X 線望遠鏡開発を進めている。これまで我々は地上電鍍鏡開発技術を用いた高精度反射鏡の一桁以上の大口径・長焦点距離化、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を進めてきた (2022 年秋季年会 藤井他等)。

今回我々は、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を開発した。これを用い、迷光を除去するための構造のデザインパラメータの最適化や本望遠鏡の性能評価を行なった。結果、現在の設計パラメータを入力した場合、有効面積や視野はおおむね実験値を再現することを確認した。本講演では、本望遠鏡のシミュレーションによる評価の詳細に加え、望遠鏡開発の現状についても報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V334a 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 (1)

藤井隆登, 作田皓基, 安福千貴, 柏倉一斗, 伊藤駿, 岡田久美子, 吉平圭徳, 叶哲生, 石田直樹 (名古屋大学), 田村啓輔 (NASA/GSFC, メリーランド大学), 鈴木亮汰, 宮田喜久子 (名城大学), 成影典之 (国立天文台), 山口豪太 (SPRing-8), 伊藤旺成, 伊藤駿佑, 毛利柊太郎, 竹尾陽子 (東京大学), 久米健大, 松澤雄介, 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 は、太陽 X 線の撮像分光観測を目的とした日米共同のロケット実験である。2024 年には 4 号機が打ち上げられる予定であり、我々はこの FOXSI-4 搭載用高角度分解能 X 線望遠鏡の開発を進めてきた。我々は地上 X 線結像系開発で構築した独自の小口径超高精度電鍍技術 (Mimura et al., Rev. Sci. Instrum., 2018) を用い、これまで直径 60 mm、焦点距離 2 m、有効高さ 220 mm の Wolter-I 型反射鏡試作に成功し (Takigawa et al., JATIS, submitted)、X 線照射試験を実施してきた。結果、望遠鏡の半分程度の照射にて、点源感度を示す FWHM < 3 秒角、広がった天体に対する感度の指標である HPD ~20 秒角を達成した。また、FWHM の測定精度はピクセルサイズによって制限されており、見かけ上のピクセルサイズを小さくした測定により、小口径ではあるものの世界最高レベルの FWHM ~ 1 秒角を確認した (2022 年秋季年会 藤井他)。

今回詳細な解析をし、焦点距離は測定誤差範囲内で設計値通りの値、焦点深度は最大強度、積分強度、結像性能を調べ、特に重要である結像性能の観点から 3mm 以上であることを明らかにした。本講演では、X 線結像試験の詳細な解析に加え、FM 反射鏡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](#)

V335a 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 鏡 X 線望遠鏡の性能評価 (2)

安福千貴, 作田皓基, 藤井隆登, 岡田久美子, 吉平圭徳, 叶哲生, 石田直樹 (名古屋大学), 田村啓輔 (NASA/GSFC, メリーランド大学), 鈴木亮汰, 宮田喜久子 (名城大学), 成影典之 (国立天文台), 山口豪太 (SPRing-8), 伊藤旺成, 伊藤駿佑, 毛利柊太郎, 竹尾陽子 (東京大学), 久米健大, 松澤雄介, 今村洋一, 齋藤貴宏, 平栗健太郎, 橋爪寛和 (夏目光学株式会社), 三村秀和 (東京大学), 三石郁之 (名古屋大学)

我々は、世界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、望遠鏡には大きな集光力より高い結像性能が特に要求される。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ような大面積擬似平行光を再現することが難しかったため、数 mm 程度に絞ったビームを反射鏡の局所的な領域に照射し、検出器と望遠鏡両ステージを同期させ、それらのイメージを合成することで擬似的に全面照射イメージを取得し、その性能を評価してきた。しかしながら、特に結像中心付近の輝度分布が同期精度に大きく影響され、その正確な把握が困難であった (2022 年秋季年会 藤井他)。

今回我々は、NASA/MSFC の保有する Stray Light Facility にて初めて大面積擬似平行光を用いて反射鏡全面への X 線照射試験を行い、結像性能および有効面積を評価した。全面結像イメージは 2.3, 4.5, 6.4 keV にて取得し、全光量の半分が含まれる円の直径である HPD は 4.5 keV にておよそ 20 秒角程度であった。また有効面積については、シミュレーションで期待される値とおおよそ一致することを確認した。本講演では、結像性能や有効面積の off-axis 依存性を含め、性能評価試験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](#)

V336a 日米共同・太陽フレア X 線集光撮像分光観測ロケット実験 FOXSI-4 に用い る CMOS イメージセンサの X 線光子計測能力評価 その 2

清水里香 (総研大, ISAS/JAXA), 成影典之 (国立天文台), 坂尾太郎, 渡辺伸 (ISAS/JAXA), 佐藤慶暉 (総研大, 国立天文台), 加島颯太 (関学大, ISAS/JAXA), 高橋忠幸 (東大/Kavli IPMU), FOXSI チーム

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解明することを大目的とした、2024 年春に打ち上げ予定のロケット実験である。軟 X 線～硬 X 線帯域で、太陽フレアの構造を十分に空間・時間分解したエネルギースペクトルを得ることで、太陽フレアシステム全域にわたる超高温プラズマの物理情報を定量的に引き出すことを目指す。このような太陽フレア観測は FOXSI-4 が世界初の試みとなる。

0.5-10 keV 程度の軟 X 線の撮像分光観測では、完全空乏化したシリコン厚 25 μm のピクセル化された裏面照射型 CMOS センサを用い、毎秒 250 枚の高速連続露光で光子計測を行う。このセンサに対し放射光施設 UVSOR と SPRing-8 にて単色の軟 X 線を照射し、その応答を調べた。その結果、X 線光子によって生じた電荷の損失はほとんどなく、また高温プラズマの診断に必要な 200 eV 以下のエネルギー分解能をもつ、優れたセンサであることがわかった。加えて、シリコン層が厚いために X 線に対する感度と耐性が高いこともわかった。しかし、その厚さの影響と推測されるが、電荷が 5×5 ピクセルにまで広がることは唯一といえる欠点である。電荷の広がりが大きいほどパイルアップが生じやすくなるため、精度の良い光子計測を行うためには入射光量を落とさなければならず、結果として光子検出レートが低くなる。そこで光子検出レートを高くするために、 3×3 ピクセルの情報を用いて入射 X 線のエネルギーを推定する方法を検討している。本講演では、それらの結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](#)

V337a 太陽観測ロケット実験 FOXSI-4 に向けたワイドギャップ CdTe ストリップ検出器の開発と性能評価 III

長澤俊作, 南喬博, 高橋忠幸 (東大 Kavli IPMU), 渡辺伸 (JAXA 宇宙研), 新井翔大, 岩田季也, 小高裕和, 高嶋聡 (東大理), 加島颯太 (関学大), 佐藤慶暉, 清水里香 (総研大), 成影典之 (国立天文台)

FOXSI(Focusing Optics X-ray Solar Imager) は、太陽からの X 線放射を集光撮像分光する観測ロケット実験である。2024 年には 4 回目の打ち上げ FOXSI-4 が予定されており、我々は、5–30 keV の硬 X 線帯域を担う CdTe 半導体両面ストリップ型検出器 (CdTe-DSD) の開発を進めている。FOXSI-4 では、ストリップ間のギャップ幅を従来の 10 μm から 30 ~ 50 μm に広げ隣接する電極間での電荷共有を引き起こすことで、ピッチ幅以下の位置分解能 (< 20 μm) 実現を目指しており、2022 年春季年会では、両面にワイドギャップを持つ CdTe-DSD を新たに開発、基本的な性能評価の結果報告を行った。

本講演では、前回の試験結果を踏まえ、ASIC パラメータの最適化・冷却装置の見直しを行い、打ち上げに近い状況で、2022 年 11 月に兵庫県 SPring-8 にて 2 回目のスキヤニング試験を実施したので、その結果を報告する。7 keV, 14 keV, 22 keV のエネルギーで、 $\sim 10 \mu\text{m}$ 四方にスリットを使ってビームサイズを絞り、精密ステージにより照射位置を 10 μm 毎に変えながら測定を行った。以上の測定結果から、光子の入射位置と両面のエネルギー、隣接する電極間での電荷共有の関係を調べ上げることで、新たなエネルギー・ピッチ幅以下の X 線反応位置再構成方法の検討を行った。また、検出器全体に渡ったスキヤンも実施し、検出器応答の一様性の評価を行った。加えて、COMSOL による有限要素法での電場計算と Geant4 による光子・半導体相互作用、キャリア輸送計算を組み合わせた検出器応答モンテカルロシミュレーションを実施、実験結果との比較、検証を行った。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V338a *PhoENiX* 衛星計画に向けた高精度 Wolter ミラーの開発研究

加島颯太 (JAXA 宇宙研/関学大), 坂尾太郎 (JAXA 宇宙研), 松山智至, 井上陽登, 入山陽仁, 栗本晋之介 (名大), 山内和人 (阪大), 香村芳樹 (理研), 三宅明, 中森紘基, 松坂俊一郎, 谷口敏規, 中野俊男 (JTEC), 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)

2030 年代初頭の打ち上げを目指している *PhoENiX* 衛星計画は、太陽フレアを対象に、磁気リコネクションを通じて発生する粒子の加速およびプラズマの加熱過程の解明を目的としている。*PhoENiX* では光子計測型軟 X 線望遠鏡 (SXIS) を搭載し、リコネクションに伴って形成される様々な磁気流体力学的な構造の観測を行う。我々は SXIS に必要な高角分解能・低散乱特性を持った斜入射 X 線 Wolter ミラーの開発研究を進めている。

PhoENiX 搭載に向けて開発しているミラーは、Wolter 光学面の回転放物面と回転双曲面を研磨によってガラス基板上に一体成型したものである。これまでに小さな有効領域 (放物面・双曲面ともに約 10 mm 幅 \times 30 mm) に対して、8 keV で 0.2 秒角 FWHM を上回る良好な結像性能を達成した。一方で、衛星搭載に向けてミラー有効領域の拡大は重要な開発課題である。そのため、フライトで想定するミラーと同じ円環方向の幅 (約 40 mm) を持つミラーを試作し、Spring-8 放射光施設の平行 X 線ビーム (BL29XUL) で結像性能を評価した。

評価測定により、8 keV の平行 X 線に対して PSF (Point Spread Function) の FWHM 幅 \cdot HPD (Half Power Diameter) とも < 1 秒角の性能をほぼ達成していることが確認されたが、結像性能に関する課題も抽出されている。

講演では、これらの測定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](#)

W01a MAXI/GSC が検出した 2022 年度後半の突発現象

根來均, 中島基樹, 小林浩平, 副島良彦 (日大), 那波咲良 (中央大), 芹野素子 (青学), 三原建弘 (理研), 岩切渉 (千葉大), 河合誠之 (東工大), 松岡勝 (理研) 他 MAXI チーム

全天 X 線監視装置 MAXI が前回の秋季年会以降に発見検出した突発現象について報告する。10 月 21 日に MAXI/GSC では 5 回目の検出となるブラックホール X 線連星 4U 1543-47 からのミニアウトバーストを検出した (Negoro+ The Astronomer's Telegram (ATel) #15715)。また、RXTE/ASM と MAXI/GSC の 27 年に渡る光度曲線を用いて、高質量連星系 4U 1210-64 (IES 1210-646) に約 5,080 日の周期性を示唆する 2 つの状態があることを明らかにし、11 月 22 日に ATel に報告した (Nakajima+ ATel #15771)。2022 年の年初以来、再増光中であったブラックホール候補天体 AT 2019wey が 11 月下旬にハード状態のまま過去最大強度に達し、それまでの長期変動を含め 11 月 25 日に ATel に報告した (Negoro+ ATel #15776)。

また、これまでに 5 つガンマ線バースト (GRB) を検出している。221006A (Mihara+ GCN 52626) は Swift/XRT の追観測で検出され、 $z = 0.731$ の母銀河の候補が見つかっている (GCN 32731, 32742)。過去最大強度の GRB である 221009A/Swift 1913.1+1946 は、ISS からのデータ遅延により Swift より報告は遅れたものの、MAXI は 2 Crab を超える非常に明るいアフターグローを最も早く検出し、Swift に次いで報告した (Negoro+ ATel 15651; Kobayashi+ ATel 15677, GCN 32756; 詳細は小林他で報告)。残り 3 つの GRB は強度が 100 mCrab 台と暗く、221017A (Nawa+ GCN 32777) は 10 分以上続いた long GRB の一部とわかったが (cf. GCN 32872)、221008A (Soejima+ GCN 32630) と 221028B (Negoro+ GCN 32882) は MAXI のみの検出となった。講演では、年會までに発見検出された天体を含め、これらの突発現象について報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

W02a NuSTAR の SN1987A 観測中に認められた serendipitous source の調査

佐藤淳矢, 松本浩典, 野田博文, 朝倉一統, 善本真梨那, 大出優一, 鴨川航, 袴田知宏, 青柳美緒, 石渡幸太 (大阪大学)

NuSTAR 衛星は 2012 年に NASA が打ち上げた X 線天文衛星であり、3-79 keV の硬 X 線帯域に高い感度を持つ。NuSTAR 衛星は 2012 年 9 月から 2014 年 8 月にかけて 23 回、2020 年 5 月に 4 回、計 2 Ms に渡って SN1987A の観測を行っている。我々はこれらの観測データを解析していたところ、(RA, Dec)_{J2000} = (5 : 35 : 26.7, -69 : 13 : 38.8) に正体不明の天体が映っていることを発見した。該当する座標における他の衛星の観測を調べたところ、Chandra 衛星と XMM-Newton 衛星でそれぞれ 2CXO J053525.4-691347、4XMM J053525.8-691348 という天体の存在が確認されており、これは NuSTAR で観測された天体と同一天体であると考えられる。当該座標に位置する天体は Lopez+(2020) でもバックグラウンドソースとして言及されており、チャンドラソースカタログの 0.3-8keV でのフラックス 8.25×10^{-15} erg/s/cm² が報告されている。しかしスペクトルフィットは行われておらず、天体の種族も不明とされている。そこで我々は、この天体の正体を明らかにすべく、NuSTAR、Chandra、XMM-Newton などの観測データを解析した。その結果、3-20 keV において $(1.00 \pm 0.04) \times 10^{-13}$ erg/s/cm² というフラックスを持つことが明らかになった。また Chandra や XMM-Newton で得られた 3 keV 以下のデータから 0.3-8keV でのフラックスが $(2.3 \pm 0.2) \times 10^{-14}$ erg/s/cm² とわかった。一方でべき 2.0 のべき型スペクトルを仮定し NuSTAR の 3-20 keV のスペクトルを 0.3-8keV へ外挿するとフラックスは $(1.42 \pm 0.05) \times 10^{-13}$ erg/s/cm² となる。実際のフラックスはこれよりも 1 桁程度小さいので、この天体は軟 X 線バンドでは相対的に暗い天体であると言える。本講演では解析結果の報告と天体の種族や物理的性質についての議論を行う。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

W03a 短時間の可視光突発現象の検出を目指した広視野 CMOS カメラ Tomo-e Gozen の大規模動画データ解析パイプラインの開発

有馬宣明, 土居守, 酒向重行, 新納悠 (東京大学), 冨永望, 大澤亮 (国立天文台), 田中雅臣 (東北大学), Michael Richmond (Rochester Institute of Technology)

典型的に十秒以上を要する CCD に対して、その信号読み出し方式により読み出し時間が十分短い ($\ll 1$ s) CMOS センサを採用した東京大学木曾観測所 105-cm シュミット望遠鏡に搭載の Tomo-e Gozen (以下 Tomo-e) は、20 平方度の視野を毎秒最大 2 フレームの動画的な連続撮像が可能なカメラである。我々は Tomo-e が生成する動画データの中から従来の CCD カメラでは捉えることの出来なかった、主にコンパクト天体が発生源となりうる秒やそれ以下の短時間の可視光突発現象を発見するための Python ベースの解析パイプライン、TomoePipe を開発した。TomoePipe では、3次元 FITS をインプットデータとし、まず median stacking により複数枚のフレーム画像から 2次元スタック画像を作成する。そのスタック画像に写る星を使って Gaussian フィットによりモデル PSF を作成し、モデル PSF との畳み込み演算により検出感度を最適化した天体検出を各フレームに対して走らせる。各フレームで検出されたソースをスタック画像に写る天体と照らし合わせて、フレーム画像にのみ写る天体のリストをカタログとして出力させる。宇宙線や欠陥のあるピクセルの誤検出といった、輝度分布が Gaussian 的でないソースや流星などの伸びた形状の天体を弾いたのち、北天領域をカバーする可視光の Pan-STARRS (PS1) カタログとのマッチングを行い、PS1 に写る既知の天体を除いたソースリストを最終的に出力する。TomoePipe を実際の観測データに適用することで既知の小惑星などの検出が確かめられている。本講演では TomoePipe の概要と特長、そして画像の差分解析を組み込んだ今後の短時間の突発天体探査への応用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](#)

W04a ディープラーニングによるブラックホール連星系の X 線高速変動の解明

牧田佳大, 山田真也, 一戸悠人, 伊藤雅輝 (立教大学)

近年、宇宙の観測量は増え、データを個々に見ることが困難になりつつあるが、単純な変動パターンだけでなく、天体近傍の強い重力や、磁場や非定常な降着流の理解に繋がる重要な観測量が眠っている可能性もある。そのため、微弱な準周期的信号や非定常な増光/減光の検出や定量化という問題に対し、天体の典型的な強度変動を学習したニューラルネットワーク (NN) を応用するというアプローチで、埋もれた観測量の探索を試みた。

時系列データを NN で学習する場合、一手法として、再帰型ニューラルネットワーク (RNN) が挙げられる。RNN の中でも最もよく使われているのは長・短期記憶 (LSTM) だが、これには、過去の情報を逐次的に使用するため並列化処理が難しい、媒介変数が多く計算量が多い、中身がブラックボックスになるといった課題がある。これらを解決するために、畳み込みニューラルネットワーク (CNN) を LSTM に似せて改良する事で、準再帰的ニューラルネットワーク (QRNN) が提案された。QRNN は並列計算による高速化、長期依存性の学習、伝搬式がアダマール積と畳み込みのため中身がブラックボックスにならないといった利点を持つ。

本研究では、天文分野では初めて、QRNN を用いブラックホールフレアを検出する手法を考案した。モデルは、頻度分布が対数正規分布かつ周波数空間で冪函数を仮定して生成した擬似データを入力として、これを一度圧縮し、また元の長さに再構成するオートエンコーダ型のモデルを用いた。フレアの検知は、対数正規分布性のみを学習したモデルに、フレア有りのデータを適用する事で、再構成された時系列と入力との差からホテリング法によって検知した。本講演では、モデルの概要と学習結果や、ショット解析のような従来の時間空間での解析手法への応用可能性などを報告する。

[スケジュール\(セッション毎\)に戻る](#)

[スケジュール\(全体\)に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

W05a Magnetohydrodynamic simulations of outflows from white dwarf merger remnants

Yici Zhong (The University of Tokyo), Kazumi Kashiyama (Tohoku University), Shinsuke Taksasao (Osaka University), Kotaro Fujisawa and Toshikazu Shigeyama (The University of Tokyo)

As the most common outcome of star evolution, it is estimated to be $\sim 10^{10}$ white dwarfs (WDs) in our Milky Way Galaxy, among which around 2% of them reside in close binary system will eventually merge. Such double degenerate mergers are potentially the most plausible channel for forming massive white dwarf (\sim chandrasekhar mass) with fast spin and strong magnetic field. However, though some candidates have been recently discovered thanks to high-cadence photometric surveys, their post merger evolution is fairly uncertain mainly due to the lack of understanding of the outflow from the merger remnant. In this study, we numerically construct a series of axisymmetric rotating magnetic wind solutions for massive white dwarf merger products. Primarily focusing on the magnetospheric structure and the resultant spin down torque exerted to the merger remnant, we find: (i) quasi-periodic mass eruption triggered by magnetic reconnection along with the equatorial plane (ii) a novel scaling relation for the spin down torque with respect to the magnetic field strength, the spin frequency, and the mass loss rate. We apply our results to study the spin down evolution of known systems such as WD J005311 that resides in a mid-infra nebula WS35 (assoc. Cassiopeia).

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

W06a スペクトル・時間変動解析に基づく強磁場白色矮星 AE Aquarii の非熱的放射の性質の探査

南喬博 (東大), 寺田幸功 (埼玉大), 高橋忠幸 (東大), 馬場彩 (東大)

宇宙空間を飛び交う高エネルギー放射線である宇宙線は、未だに宇宙線加速源の同定には至っておらず、また、低エネルギー宇宙線は太陽磁場により総量の決定が困難である。これらの問題解決には、粒子加速により生じる非熱的放射を観測し、加速現場を直接捉える事が重要である。白色矮星の中でも強磁場白色矮星は、中性子星パルサーほど高くないものの粒子加速器としては十分な誘導起電力があり (Terada et al. 2008)、宇宙線加速源となり得る。現在まで白色矮星パルサーは AE Aqr (Terada et al. 2008)、AR Sco (Takata et al. 2020) の 2 天体のみから観測的な示唆が得られ、それぞれ加速電子からの非熱的 X 線放射が観測されている。これらは中性子星のミリ秒パルサーのような連星系をなすため、どのような条件でより非熱的放射が強くなるか、連星からの降着率と非熱的放射の相関を調べる必要がある。

そこで我々は、硬 X 線領域にまで感度を持つ Suzaku による AE Aquarii の観測データの解析を行った。結果、Terada et al 2008 で示唆された非熱的放射が再確認され、0.4 倍程度の X 線光度変動を検出した。それぞれの時間帯で熱的・非熱的 X 線成分の比較をしたところ、両者に正の相関がみられた。本講演では、検出された正の相関の物理的理由についても議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

W07a Z Cam 型矮新星におけるアウトバースト頻度の長期変動

大島誠人 (兵庫県立大学西はりま天文台)

Z Cam 型矮新星は standstill と呼ばれるアウトバースト時と静穏時の中間に相当する降着円盤の状態を示すことを特徴とする矮新星のサブグループである。このような状態を示すことは、伴星からの質量輸送率の変化を引き起こすメカニズムが存在することを示唆している。

当研究では、2021 年秋季年会 W20a で発表した Z Cam における長期的なアウトバースト頻度の変化、特に standstill を挟んでのアウトバースト変化が見られたことを踏まえ、Z Cam 型矮新星に属する 6 天体について、世界各国の観測者によって行われた約 20 年分のモニター観測を用いて、光度曲線におけるアウトバースト頻度の長期的な変動、およびそれと standstill の関係について研究を行った。その結果、standstill の終了から次の standstill までの間のあいだ一貫して見られる変化は見られなかったが、standstill が近づくにつれ平均光度が上昇し、アウトバーストの頻度が増加するという傾向が見られた。これは伴星からの質量輸送率の増加を示唆する変動と考えることができる。

また、O-C 図を用いた解析の結果、典型的な間隔の値を複数持つケースが存在することが明らかになった。これは各天体にほぼ固有の質量輸送率が存在するっぽうで、複数の定常状態が存在することが示唆される。さらに、一部の天体においては、大きな減光や明確なアウトバーストが見られない時期があり、質量輸送率が大きく低下する時期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](#)

W08a 矮新星 MASTER OT J030227.28+191754.5 における、アウトバースト中の X 線放射の起源

木邑真理子 (理化学研究所), 榎戸輝揚 (京都大学, 理化学研究所), 反保雄介 (京都大学), 茂山俊和 (東京大学), 榎山和己 (東北大学), 山田真也 (立教大学)

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を持つ。円盤の熱不安定により主星への質量降着率が変化し、突発的増光であるアウトバーストを繰り返す天体である。アウトバースト中、紫外線から近赤外線まででは増光が見られるのに対し、X 線光度は減少することが多い。これは、静穏時、主星近傍の X 線放射領域 (円盤と白色矮星表面の間の境界層) が光学的に薄く高温で硬 X 線を放出するのに対し、アウトバースト時には光学的に厚く低温になり、極紫外線・軟 X 線を放出するためである。

MASTER OT J030227.28+191754.5 (以下、MASTER J0302) は、2021 年 11 月末にアウトバーストを起こした矮新星である。私達は、この天体のアウトバーストを、X 線望遠鏡 NICER でモニターした。その結果、アウトバースト初期の X 線スペクトルの主成分は 0.03–0.04 keV の黒体放射であること、その他の成分として酸素とネオンの強い輝線・ ~ 10 keV の bremsstrahlung 放射があることが分かった。このスペクトルの特徴は、アウトバースト中の境界層は光学的に厚く低温であるという標準的な描像と一致しているが、黒体放射の温度が通常より数倍高く、酸素・ネオンの輝線フラックスが数倍 ~ 10 倍以上高い点で異質である。私達は、黒体放射の半径から見積もられる円盤内縁半径が $\sim 2 \times 10^8$ cm 以下になることから、MASTER J0302 の主星の質量が $1.3 M_{\odot}$ 程度以上と重く、ONeMg 白色矮星であり、そのために異質なスペクトルを示すのではないかと考えた。本講演では、可視光観測の結果も踏まえ、NICER データの解析結果を紹介する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

W09a 史上最大規模の矮新星アウトバースト：MASTER OT J030227.28+191754.5

反保雄介, 磯貝桂介, 小路口直冬, 加藤太一, 伊藤潤平, 野上大作 (京都大学), 木邑真理子 (理化学研究所), 大朝由美子 (埼玉大学), 村田勝寛 (東京工業大学), 堀内貴史 (国立天文台), 中岡竜也 (広島大学), 高橋隼 (兵庫県立大学), 松本桂 (大阪教育大学), 酒向重行 (東京大学), 他 VSNET team collaboration, OISTER team collaboration, Tomo-e team collaboration

矮新星は白色矮星を主星に持ち、白色矮星周囲に形成された降着円盤の不安定性によるアウトバーストを見せる天体である。このうち、最も質量比 (伴星質量/白色矮星質量) が小さく軌道周期の短い天体は WZ Sge 型矮新星と呼ばれる。WZ Sge 型矮新星のアウトバーストは、典型的に 7-9 等級程度の増光幅と 30 日程度の継続時間を示し、矮新星の中では最も規模が大きいが、増光頻度が低くアウトバースト時の挙動は未解明な部分が多い。

本講演では、MASTER OT J030227.28+191754.5 (以下 J0302) の可視・赤外での測光分光観測の解析結果を報告する。J0302 のアウトバーストの増光幅は 10.5 等級、継続時間は 60 日と、これまでに観測された矮新星アウトバーストではそれぞれ最大の値を示した。また、アウトバーストの最大光度付近では、水素やヘリウムの強いシングルピーク輝線から弱いダブルピーク輝線への遷移が観測され、これは円盤風由来の現象と考えられる。一方で、観測から求められたその軌道周期は 0.05986(1) 日、質量比は 0.063(1) と、WZ Sge 型矮新星としては典型的な値である。加えて、アウトバースト中のスーパーハンプの周期変化、連続測光観測から解析された降着円盤の構造、ピーク後の可視光スペクトルに見られる特徴とその時間進化など、多くの観測的性質は一般的な WZ Sge 型矮新星と一致するものであった。これらの特徴は、J0302 が他の矮新星と比較して非常に重い白色矮星をもつ系で発生した WZ Sge 型矮新星アウトバーストとして理解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](#)

W10a スーパーチャンドラセカール質量白色矮星の重力崩壊

森正光, 澤田涼, 諏訪雄大, 谷川衝 (東大), 村瀬孔大 (Penn. State U.), 檜山和己 (東北大)

近年、球状星団からの Fast Radio Burst (FRB) が報告された (Kirsten et al. 2022)。FRB を説明として、若い中性子星 (マグネター) が関係しているというモデルが提案されている。しかし、この FRB は星形成が終わった球状星団で起きたことが報告されている。つまり、この FRB は old stellar population において若いマグネターが形成された可能性を示唆している。この天体の説明として、白色矮星 (WD) 連星が合体によってチャンドラセカール限界質量を超えて、電子捕獲反応により縮退圧が減少し、Ia 型超新星爆発ではなく重力崩壊型超新星爆発を起こした可能性が提唱されている。そこで我々は、1.6 太陽質量の WD の一般相対論的ニュートリノ輻射流体計算を行い、爆発に成功した。本シミュレーションでは、静水圧平衡を仮定して重力崩壊直前のチャンドラセカール質量に達した WD を初期条件として作った。本研究では、1 D シミュレーションを採用して、一般相対論重力、原子核物理に基づく状態方程式、モーメント法を使ったニュートリノ輻射輸送を実装した計算を行った。まず、断熱環境下での安定性を確認したのち、ニュートリノ輻射輸送を解き電子捕獲反応でチャンドラセカール質量が減少することにより、重力崩壊に至る過程を計算した。ここまでの計算は数値誤差を小さくするためニュートン重力を使った。そして最終的に、重力崩壊に至ったモデルに関して一般相対論重力を考慮して爆発計算を行った。本研究で再現した爆発は爆発エネルギーにして 3×10^{48} erg、Ejecta mass は $5 \times 10^{-4} M_{\odot}$ という非常に小さいものであった。本講演では、その爆発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](#)

W11b Pa β 特殊狭帯域フィルターによる Norma Arm Region の白色矮星連星系探査

森鼻久美子 (国立天文台ハワイ観測所), 辻本匡弘, 海老沢研 (JAXA/ISAS), 永山貴宏 (鹿児島大学)

天の川銀河の場所による種族構成の違いの理解は、銀河の形成と進化の過程をたどる上で重要である。天の川銀河の構成 X 線種族の探査は、銀河中心 (e.g., Munro et al., 2009)、銀河バルジ (e.g., Hong et al., 2009)、オリオン領域 (e.g., Grosso et al., 2005) などで行われてきた。このような中で、Norma arm region ($336.5^\circ < l < 338.5^\circ$, $-0.4^\circ < b < 0.4^\circ$) は、視線方向の大質量星形成領域の存在 (Russeil et al., 2003)、Spitzer $8\mu\text{m}$ での温かいガスの検出から最近星形成が起こった可能性がある一方で (Georgelin et al., 1996)、超新星残骸の存在 (e.g., Green et al., 2004) から、オリオン領域より進化した星が存在する一方で、銀河中心やバルジの星よりも若い中間的な年齢の星がいると考えられている。このため、Chandra 衛星、NuSTAR 衛星による観測が行われ、構成天体の多くは銀河中心の CVs より低温の magnetic Cataclysmic Variables (CVs) と non-magnetic CVs と分かった (Fornasini et al., 2014)。しかし、X 線では星間吸収のため個々の天体種族を探ることは難しい。

そこで、本研究では星間吸収の影響の小さい近赤外線域で、CVs のスペクトルの特徴である Pa β 輝線 ($1.28\ \mu\text{m}$) に透過幅を持つ狭帯域 on-filter と輝線波長の両側に透過幅を持つことで連続光成分を精度よく差し引きくことができる特殊狭帯域 off-filter (Morihana et al., 2021) を用いて、CVs 候補天体を個々に調べるとともに CVs の検出を目指した。観測は、2019 年 6 月から 9 月に IRSF1.4 m 望遠鏡 SIRIUS に狭帯域フィルターを取り付けて行い、検出した天体の等級差プロットから輝線 feature のある天体を抽出した。X 線のハードさと合わせて、少なくとも 10 天体が CVs である可能性が高い結果となった。本講演では、これらの天体に加えて他の輝線 feature を持つ天体を含めて、Norma arm region の天体種族について議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

W12a 孤立ブラックホール磁気圏からの高エネルギーガンマ線放射とその検出可能性

金湜基 (東北大学)、木坂将大 (広島大学)、木村成生 (東北大学)、當真賢二 (東北大学)

銀河系内には、 $10^7 - 10^8$ 個にも及ぶ数の恒星質量ブラックホールが存在すると推定される。ところが、そのほとんどは未検出であり、特に単独で星間空間を漂う孤立ブラックホールは、候補天体が 1 例あるのみにとどまる。孤立ブラックホールを検出することができれば、発見数や質量分布などの情報から大質量星の後期段階の進化理論に示唆を与えうる。また、孤立ブラックホールジェットが PeVatron のひとつである可能性が指摘されているなど、興味深い天体であり、それを検出することは観測的に重要なテーマである。

孤立ブラックホールは周囲の星間ガスを降着させるが、これに伴いブラックホール近傍に磁束が輸送される。磁束の保存を考えると、星間磁場程度の磁場強度でも、ブラックホール近傍には強磁場降着流 (Magnetically Arrested Disk; MAD) が形成されると考えられる。すると、ブラックホールホライズン付近には、強電磁場がプラズマの運動を支配する領域、磁気圏が形成され、そこでは効率的な粒子加速により高エネルギーガンマ線が放射されることが期待される。本研究では、孤立ブラックホール磁気圏内の局所的領域について 1 次元・一般相対論的プラズマ粒子シミュレーションを行った。これにより、ホライズン付近で準周期的に振動する強電場領域 (ギャップ領域) が形成され、ガンマ線が放射されることがわかった。さらに、シミュレーションで見られたガンマ線光度や、粒子の加速エネルギーの最大値などを再現する準解析的モデルを構築した。その結果、GeV-TeV エネルギー帯にかけて放射されるガンマ線が、Fermi-LAT や CTA で $\sim\text{kpc}$ の距離からでも検出可能であることがわかった。検出数の予測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](#)

W13a 超臨界降着流から噴出するラインフォース駆動型円盤風

野村真理子 (呉高専)、大須賀健 (筑波大学)

超高光度 X 線源の起源や、超巨大ブラックホールの成長過程を解明するためには、エディントン限界を超えた降着率 (超臨界降着流) を持つブラックホール天体の理解が必要不可欠である。これまでの理論研究により、超臨界降着流のブラックホール近傍の領域 (例えば $\lesssim 10^2 R_S$, R_S はシュバルツシルト半径) からは、電子散乱による輻射力によって円盤風が発生することがわかってきた (Hashizume et al. 2014, Kitaki et al. 2021)。ブラックホールから離れた領域 ($\gtrsim 10^3 R_S$) には、標準円盤モデルで記述できる紫外光で明るい円盤が形成されると考えられるため、金属が紫外光を束縛-束縛遷移吸収することによる輻射力 (ラインフォース) によって駆動される円盤風が発生する可能性がある。超臨界降着状態での円盤および円盤風の全体像を解明するため、そして超臨界降着流をもつ天体の観測的性質を解き明かすため、この遠方領域での円盤風を調べる必要がある。

そこで本研究では、活動銀河核におけるラインフォース駆動型円盤風の輻射流体シミュレーション (Nomura et al. 2000, 2022) を、 $10M_\odot$ のブラックホール周囲の超臨界降着流の遠方領域に適用し、ラインフォースによって駆動される円盤風を調べた。その結果、質量降着率がエディントン限界の ~ 100 倍以上の場合、速度 $\sim 1000 \text{ km s}^{-1}$ のラインフォース駆動型円盤風が発生することがわかった。ただし、その質量放出率は降着率の $\sim 1\%$ であり、ブラックホール近傍への超臨界降着を妨げないこともわかった。講演では、観測への示唆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](#)

W14a 連星種ブラックホールの降着成長：力学的摩擦

鈴木智也, 杉村和幸, 細川隆史 (京都大学), 松本倫明 (法政大学)

銀河中心には普遍的に $10^6\text{--}10^8 M_\odot$ の超巨大 BH が存在する。観測により、 $z = 6$ 程度の初期宇宙にもその存在が確認されているが (Yang et al. 2021), その形成過程は未だに解明されていない。

超巨大 BH 形成の有力なシナリオの 1 つとして、 $10^2\text{--}5 M_\odot$ 程度の種 BH がガス降着によって成長するという説が提案されており、近年精力的に研究されている (Inayoshi et al. 2016, Sugimura et al. 2017, 2018, Toyouchi et al. 2020, 2021 等)。これらの研究はすべて単独の種 BH に着目したものであるが、種 BH の起源の 1 つとして考えられている初代星は連星で生まれることも多いことが示唆されており (Sugimura et al. 2020), 軌道運動する連星の文脈で種 BH の成長を議論することは重要であると考えられる。しかし、そのような研究は非常に限られているのが現状である。

本研究では、SFUMATO-RT (Matsumoto 2007, Sumigura et al. 2020) というコードを用いた流体シミュレーションを行うことで、円軌道に固定した連星種 BH へのガス降着率と力学的摩擦について調べた。2022 年秋季学会では、主に Bondi 半径と連星間距離の比をパラメータとしたときの降着率に関する結果を示し、球対称点源降着 (Bondi 降着) との比較について議論した。今回は、同様のパラメータのもとで種 BH にはたらく力学的摩擦について調べ、Bondi 半径が連星間距離と等しくなるときに力学的摩擦の大きさが最大になることがわかった。また、本研究のシミュレーションではシンク粒子を用いるが、力学的摩擦の大きさがシンク半径を小さくするにつれて大きくなることもわかった。本講演では主に、これらの結果とその物理的背景について議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

W15a 円盤コロナモデルの最適化と低周波 QPO の Lense-Thirring モデルによる理解

久保田あや (芝浦工大)、Chris Done (Durham Univ.)、鶴見一輝、水川竜希 (芝浦工大)

2022 年天文学会春季年会において、恒星質量の連星系ブラックホール (BHB) の降着流からの X 線放射を記述するスペクトルモデルの構築について講演を行った (W05a: 久保田, Done)。このモデルは agnsed (Kubota, Done 2018) を修正したもので、ブラックホール近傍の高温降着流領域、中間部の passive な円盤とコロナからなる領域 (Petrucci et al. 2018)、外側の diskbb 領域よりなり、円盤の全領域で一定の質量降着率で標準降着円盤 (Shakura, Sunyaev 1973) の放射効率を仮定する。このモデルで RXTE 衛星で観測された BHB 天体 XTE J1550 – 564 のアウトバーストの全スペクトルデータを評価したところ、モデルはデータをよく再現し、コロナのサイズ r_{cor} を推定できた。同じく 2022 年春季年会の鶴見の講演 (W06a) では、低周波 QPO の中心周波数 f_{QPO} とモデルから得られたコロナのサイズを比較し、 $f_{\text{QPO}} = A \cdot r_{\text{cor}}^{-1.5}$ の逆相関があることを確認した。 $f_{\text{QPO}} \propto r_{\text{cor}}^{-1.5}$ という関係は、低周波 QPO の起源がコロナの歳差運動によるという Lense-thirring precession モデル (Ingram, Done, Fragile 2009) の予想に矛盾がないものの、比例係数 A に数倍の差異があった。これに対し、前回のモデルでは円盤温度の色温度補正を考慮していなかったため、今回、正しく色温度補正を取り入れてモデルを再構築し、全てのデータを再評価した。結果、QPO 周波数と円盤コロナのサイズは相関の絶対値まで含めて、Lense-Thirring モデルから得られる予想とおどろくほど一致し、これは低周波 QPO の起源が高温コロナの歳差運動による、というシナリオに強い根拠を与えると考える。ただし、モデルでは種光子の供給源としてコロナ領域の passive な円盤を仮定しているが、Lense-Thirring モデルでは中心部に密度の高い円盤状の物質があると歳差運動が困難になるため、passive disc もしくは Lense-Thirring モデルになんらかの修正が必要な可能性が残る。

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

W16a LASSO によるブラックホール連星 XTE J1550 – 564 の低周波 QPO の解析

鶴見一輝、久保田あや (芝浦工大)、木邑真理子 (理化学研究所)

恒星質量のブラックホール連星 (BHB) ではしばしば準周期的な時間変動 (Quasi-periodic oscillation: QPO) が観測され、とくに 10 Hz 程度以下の QPO を低周波 QPO と呼ぶ。低周波 QPO は時間変動の PSD にける白色ノイズ、レッドノイズ、および QPO のピークの中心周波数と半値全幅の比 (Q 値) によって type A, B, C と分類されている (Remillard et al. 2002)。久保田の講演では QPO の type によらず、その周波数が円盤コロナのコロナ外縁部のサイズで決まるということが示された。では、QPO のタイプの違いの起源は何であろうか。これを調べるため、RXTE 衛星によって観測された BHB 天体 XTE 1550 – 564 の全データを解析し、Least Absolute Shrinkage and Selection Operator (LASSO) による周波数解析を行った。QPO が観測されたデータについて、QPO 周波数 f_c の 8 周期分 (短時間) ないしは 80 周期分 (長時間) のライトカーブを作成し、そのライトカーブに対して LASSO によってピーク周波数の検出を行った。type A の QPO は Q 値が小さく LASSO による有為な検出が困難だったが、type B と C は有意に検出された。その結果、soft intermediate 状態 (SIMS) でしばしば観測される type B QPO では、長時間の f_c とカウントレートに逆相関 (相関係数 $r \leq -0.3$, 有意度 $p < 0.005$) がみられた。一方、bright hard 状態もしくは hard intermediate 状態 (HIMS) で観測されることが多い type C の QPO では、HIMS でのみ長時間と一部の短時間に f_c とカウントレートに正の相関がみられ ($r \geq 0.3$, $p < 0.005$)、bright hard 状態では有意な相関は見られなかった。さらに、データを精査したところ、type C QPO については f_c と検出された周期の有為性 (LASSO の norm) がカウントレートに依存し、カウントレートが低い時には正の相関、高い時には負の相関があることが示唆された。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](#)

W17a Gaia で観測可能な恒星質量ブラックホール連星の空間分布に関する理論予想

鹿内みのり (東京大学、ブリティッシュコロンビア大学)、津名大地 (東京大学、カリフォルニア工科大学)、谷川衝 (東京大学)、川中宣太 (京都大学)

恒星質量ブラックホール (BH) は、大質量星が寿命を終えた時に形成する高密度天体である。位置天文観測では、明るい恒星 (luminous companion, LC) の運動や速度変化を精度良く観測することで、恒星質量 BH との連星系を検出しようと期待されている。特に、位置天文観測衛星 *Gaia* の観測期間が5年以上であることから、軌道周期が年単位の連星系も検出し、より短周期な BH 連星を観測する X 線や重力波観測とは異なる BH population を明らかにする可能性がある。2022 年 6 月には、*Gaia* collaboration が連星に関する情報を初めて公開し、そのデータを元に BH を含む連星の候補が報告され (Andrews+2022, Shahaf+2022, Tanikawa+2022)、El-Badry+(2022) では *Gaia* BH 1 が BH と G 型矮星からなる連星であることが確認された。BH 連星の空間分布には BH 形成時のキックの情報が含まれていると考えられるため、本研究では連星進化パラメータを動かしながら BSE を用いて BH-LC 連星のサンプルを得、銀河ポテンシャル中の運動の様子を追うことで空間分布を求めた。

シミュレーションの結果より、BH 形成時のキックがあるモデルでは、*Gaia* で観測可能な BH-LC 連星の BH 質量と銀河面からの垂直方向の高さ z には、弱い正の相関が見えることが分かった。このような相関は全連星や地球近傍の連星には見られず、観測バイアスによって相関が見えるようになっているということを明らかにした。また、得られた BH-LC 連星の population と、これまで報告されている BH 連星の候補及び *Gaia* BH 1 の連星パラメータを比較し、それらの起源についても迫る。

[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](#)

W18a 位置天文衛星 Gaia によるブラックホール連星探査とその候補天体

谷川衝 (東京大学)、服部公平 (統計数理研究所)、川中宣太 (京都大学)、衣川智弥 (東京大学)、鹿内みのり (東京大学/ブリティッシュコロンビア大学)、津名大地 (東京大学/カリフォルニア工科大学)

ブラックホール (Black hole: BH) 連星は BH と恒星からなる連星である。これまで X 線観測によって数 10 個の BH 連星が銀河系内で発見された。しかし、銀河系内の BH 数からするとほんの一部にすぎない。これは X 線観測によって発見可能な BH 連星が周期 10 日程度以下のものだからである。この状況を打破する試みの 1 つが分光観測による BH 連星探査である。分光観測は周期 10-100 日程度の BH 連星を発見するのに適しており、実際にそのような BH 連星が Giesers et al. (2018) や Shenar et al. (2022) によって報告されている。

位置天文衛星 *Gaia* は恒星の位置を精度良く測定できるため、連星の内部運動も観測可能である。このような連星の中には BH 連星が存在し、*Gaia* によって発見可能と指摘されてきた (e.g. Yamaguchi et al. 2018; Kinugawa, Yamaguchi 2018; Shikauchi et al. 2020; 2022)。*Gaia* が発見可能な BH 連星は周期が 100-1000 日程度のものであり、BH 連星の範囲がさらに広がることになる。連星のデータを含む *Gaia* Data Release 3 が 2022 年 6 月に公開され、すでに 1 つの BH 連星 (*Gaia* BH1) が発見された (El-Badry et al. 2022)。その周期は約 180 日であった。

我々は *Gaia* BH1 とは別の BH 連星候補を発見した。この BH 連星候補は赤色巨星と見えない天体で構成されている。この見えない天体の質量が $5.25M_{\odot}$ 以上であるため、BH 連星である可能性が高い。この BH 連星候補の周期は約 1300 日であり、BH 連星としては過去最大の周期である。本講演では、*Gaia* データを用いた我々の BH 探査方法を紹介したのち、この BH 連星候補の紹介、さらに BH 連星以外である可能性をどう排除するかの議論を行う。この研究は Tanikawa et al. (2022, arXiv:2209.05632) にまとめられている。

[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](#)

W19b コンプトン散乱を考慮した偏光 X 線の輻射輸送計算コードの開発 II

竹林晃大 (筑波大学)、大須賀健 (筑波大学)、川島朋尚 (東京大学)

ブラックホール降着円盤の構造や周囲に存在する円盤コロナの空間分布は、スペクトル解析やその時間変動をもとに議論されてきたが、まだよくわかっていない。こうした現状を打開できるとして期待されているものに、偏光撮像衛星 IXPE による X 線偏光観測がある。電子散乱による X 線の偏光方向の変化が、ブラックホールの周囲の物質分布を反映すると考えられるからである。実際、X 線連星である Cygnus X-1 からの X 線の偏光方向が、電波ジェットの向きとほぼ一致するという結果が得られたことで、高温プラズマが降着円盤に沿った方向に分布していることが示唆されている (Krawczynski et al. 2022)。より詳細にブラックホール周囲の物質分布を解明する為には、X 線の偏光を扱った輻射輸送計算を実施し (Schnittman et al. 2013)、理論と観測の直接比較を行う必要がある。

そこで我々は、コンプトン散乱を考慮した偏光 X 線の輻射輸送計算コードを開発し、トムソン散乱極限での平行平板のテスト計算で、先行研究と無矛盾な結果を得ることに成功した (2022 年秋季年会)。さらに、平行平板内の光子の偏光分布について詳細に調べたところ、散乱回数が多くなる程、偏光角が平板に垂直になる傾向があることがわかった。このため、平板の赤道面付近では、平板に垂直な偏光を持った光子が多く存在する。また、平板の表面付近での散乱回数別に光子の偏光角を調べると、散乱回数が少ない光子は平板に平行に偏光し、散乱回数が多い光子ほど平板に垂直に偏光する。この結果は、円盤表面に付随する高温コロナによる逆コンプトン散乱により、エネルギーの高い光子ほど円盤面に垂直な偏光角を示すことを示唆する。講演では、一般相対論的輻射輸送計算コード RAIKOU (Kawashima et al. 2021) との結合による今後の展望についても議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

W20b 突発的超臨界降着流の一般相対論的輻射磁気流体計算：降着構造と衝撃波について

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)

突発的超臨界降着とは急激に降着率が上昇してエディントン限界を超える現象であり、潮汐破壊現象や突発的 ULX で生じていると考えられる (Krolik et al. 2011)。角運動量の小さいガスがブラックホール (BH) に落下することによって引き起こされる可能性があるが、エネルギー解放メカニズムはまだよくわかっていない。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、比較的角運動量の大きなガスが落下する場合は超臨界降着円盤が形成されるが、角運動量の小さいガスは円盤が形成することなく BH に落下することを示した (2022 年秋季年会)。降着流の構造をより詳しく調べるため、本研究では重力半径の 230 倍の位置にある回転ガストラスの、初期角運動量とガス密度をパラメータとしてシミュレーションを実施した。

その結果、角運動量の小さいモデルでは、BH に向かって落下するガスが、BH 近傍で回転軸の周囲にファンネル型の高密度領域を形成することがわかった。この高密度構造は衝撃波によって形成されたものであり、ガスの温度が上昇する。そして、この衝撃波周囲で大量の輻射エネルギーが生成される。特に、BH への降着率がエディントン降着率の 10^5 倍以上となるような状況では、系の光度がエディントン光度を超えることが確認された。講演では、降着構造の初期角運動量依存性について議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

W21b カー・ブラックホール周りにおける Magnetically Arrested Supercritical Disk の一般相対論的輻射磁気流体シミュレーション

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

超臨界降着円盤は光度がエディントン光度を超える円盤であり、その光度の大きさから超高光度 X 線源 (ULXs) などの高光度天体のエネルギー源として重要視され、これまで盛んに研究が進められてきた。我々は、先行研究であまり扱われていないカー・ブラックホール (BH) 周囲の超臨界降着円盤について一般相対論的輻射磁気流体シミュレーションを実施し、 $|a^*|$ (a^* は BH のスピンパラメータ) が大きいほどエネルギー解放率が上昇することや、解放される輻射エネルギー、磁場エネルギー、運動エネルギーの割合が a^* に依存することを明らかにした (Utsumi et al. 2022)。上記の研究は磁場がさほど強くない状況について調べたものであるが、円盤が Magnetically Arrested Disk (MAD) と呼ばれる強磁場状態 (Narayan et al. 2003) では、ジェットの駆動やエネルギー解放が効率的になると示唆されている (Narayan et al. 2022)。ただし、MAD についてはほとんどの研究が質量降着率の極めて小さな RIAF 円盤を扱っており、MAD 状態にある超臨界円盤については十分に調べられていない。

そこで我々は、MAD 状態にある超臨界降着円盤の 2.5 次元一般相対論的輻射磁気流体計算を実施した。具体的には、 $a^* = 0.7, 0, -0.7$ の比較を行い、磁場を介した BH の回転エネルギーの抽出 (Blandford & Znajek 1977)、そして円盤の構造や輻射強度を調査した。その結果、 $a^* = 0.7$ の場合、輻射エネルギーのエネルギー変換効率も、磁場エネルギーのエネルギー変換効率も、MAD 状態の方が弱磁場状態の 4 倍程度大きくなることがわかった。本講演では、他のスピンパラメータの結果についても報告する。また、BH スピン依存性、初期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](#)

W22b 一般相対論的輻射磁気流体力学計算による亜臨界降着円盤の内縁構造とブラックホールスピンの研究

大野翔大 (筑波大学), 大須賀健 (筑波大学), 高橋博之 (駒澤大学), 朝比奈雄太 (筑波大学), 内海碧人 (筑波大学)

標準降着円盤理論 (Novikov&Thorne 1973 など) においては、ブラックホール (BH) 周囲の降着円盤の内縁半径は最内安定円軌道 (innermost stable orbit; ISCO) 半径と一致すると考えられている。そのため、ISCO より内側の領域からの放射は無視できるほど弱いと仮定してスピンを測定する研究が行われてきた。しかし、近年の一般相対論的磁気流体シミュレーションは、ISCO より内側の領域からの放射が無視できない可能性があることを示唆している (Beckwith et al. 2008 など)。これが事実であれば、ISCO 内部からの放射を無視して測定されたスピンは正しいものではなくってしまう。しかしながら、一般相対論的磁気流体シミュレーションによる研究では、輻射とガスの相互作用を考慮していないため、標準円盤やスリム円盤といった光学的に厚い円盤の円盤内縁構造を正確に求めたとは言えない。本研究では、2 次元軸対称を仮定した一般相対論的輻射磁気流体シミュレーションを実施し、亜臨界降着円盤の内縁付近の構造とスピンの関係を調査した。

その結果、ガス温度と輻射温度がおおよそ等しくなる最小半径は、質量降着率が大きいほど小さくなり、質量降着率が $0.3L_{\text{Edd}}/c^2$ (L_{Edd} はエディントン光度、 c は光速) 以上になると、ISCO 半径より小さくなることがわかった。また、BH スピンパラメータが大きくなるほど小さくなる傾向が現れた。講演では、上記の最小半径を ISCO 半径であると仮定することで、BH スピンパラメータの推定にどれほど誤差が生じるかについても議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

W23a 超高光度 X 線源 NGC 5408 X-1 からの CO 分子輝線の検出

水本岬希 (京都大学), 海老沢研 (ISAS/JAXA), 井口聖 (国立天文台), 川口俊宏 (尾道市立大学), 大西響子 (Chalmers Univ. of Technology), 寺島雄一 (愛媛大学), 磯部直樹 (ISAS/JAXA)

超高光度 X 線源 (UltraLuminous X-ray source; ULX) は、系外銀河の中心核以外のところに観測される、X 線光度が 10^{38} erg s⁻¹ を超える非常に明るい X 線源である。その正体として、100–1000 M_{\odot} (M_{\odot} は太陽質量) の中間質量ブラックホールがエディントン光度程度以下で光っているという説と、10 M_{\odot} 程度の恒星質量ブラックホール (あるいは中性子星) がエディントン限界を超えて光っているという説があり、その決着は未だついていない。この議論に終止符を打つ最も確実な方法の一つは、中心天体の周辺にあるガスのケプラー運動を測定して力学的質量を決めることである。

我々は ALMA の Band 6 を使って、NGC 5408 X-1 (距離 4.9 Mpc) に付随する CO(2–1) 輝線を検出した。ULX 天体からの分子輝線の検出は (我々の知る限り) 初めてである。放射領域はビームサイズより僅かに大きく、deconvolved image size は 14.7 ± 2.3 pc \times 5.6 ± 4.1 pc (北西から南東にかけてが長軸) であった。積分したフラックスは 50.5 ± 4.2 Jy m/s, ピークのフラックスは 34.5 ± 1.8 Jy/beam m/s であった。Moment 1 (支線速度) map を作成したところ、北西側が手前に南東側が奥に動く回転運動を示していた。Moment 2 (視線速度の分散) の値は放射領域内 (~ビームサイズ内) でほぼ一様で、 0.60 – 0.64 km s⁻¹ であった。これがガス雲の回転運動によるものだとするならば、ケプラー運動を仮定すると中心天体の質量は小さく、10 M_{\odot} 程度が好ましいことが明らかとなった。よって、NGC 5408 X-1 は恒星質量ブラックホールがエディントン限界を超えて光っているものであることが強く示唆される。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

W24a X-raying the Birth of Binary Neutron Stars and Neutron Star-Black Hole Binaries

檜山和己 (東北大学, Kavli IPMU)、澤田涼、諏訪雄大 (東京大学)

We consider fallback accretion after an ultra-stripped supernova (USSN) that accompanies formation of a binary neutron star (BNS) or a neutron star-black hole binary (NS-BH). The fallback matter initially accretes directly to the nascent NS, while it starts to accrete to the circumbinary disk, typically 0.1-1 day after the onset of the USSN explosion. The circumbinary disk mass further accretes, forming mini disks around each compact object, with a super-Eddington rate up to a few years. We show that such a system constitutes a binary ultraluminous X-ray source (ULX), and a fraction of the X rays can emerge through the USSN ejecta. We encourage follow-up observations of USSNe within $\lesssim 100$ Mpc and ~ 100 -1,000 day after the explosion using *Chandra*, *XMM Newton* and *NuSTAR*, which could detect the X-ray counterpart with time variations representing the properties of the nascent compact binary, e.g., the orbital motion of the binary, the spin of the NS, and/or the quasiperiodic oscillation of the mini disks.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

W25a SS433-W50 システムにおける物質流とその振舞い

井上 一 (JAXA 宇宙科学研究所)

SS433 - W50 システムの観測的な特徴を全体として説明するシナリオを提案する。SS433 のもっともユニークな特徴は、歳差運動をしている、中程度に相対論的なジェットが存在と、その活動中心部の掩蔽にあらう。それらは中心高密度天体への超臨界質量降着によるものであり、その降着流の最内縁部からジェットが放出されていると考えられている。ここでは、そのような超臨界降着流の外縁部に井上 (2021, PASJ, 73, 795) の降着リングの考えを導入し、その降着リングが歳差運動をしていることを想定した。降着リングからは、降着流とともに、2 層の外向き流 (幾何学的に薄い排出円盤と幾何学的に厚い排出流) が放出されることが期待される。幾何学的に薄い排出円盤は、結局は、高密度天体を取り巻くロッシュローブに沿った光学的に厚い排出ベルトを形成し、中心活動領域の掩蔽に寄与すると考えられる。一方、幾何学的に厚い排出流は、やがて、 10^8 cm/s 程度の終速度を持った超音速円盤風になり、最後はおおよそ 10^{18} cm の距離で SS433 を取り巻く超新星残骸物質と衝突すると期待される。そして、歳差運動の結果、ジェットと超音速円盤風の相互作用が起こり、その結果、 $10^{14} \sim 10^{15}$ cm で見られる光学輝線の増光、 $\sim 10^{17}$ cm で起こる X 線の増光が起こることが推論される。最後に、おおよそ 10 pc の距離で、ジェットは超新星残骸物質により減速を受け、その運動量は超新星残骸物質に渡されることが予想される。歳差運動のコーンの中に押し出された超新星残骸物質が、超新星残骸 (W50) の主要部から東西に突き出した伸展構造を形成すると考えられる。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

W26a 幾何学的に厚い降着円盤での磁束輸送に関する解析的・数値的研究

山本凌也, 高棹真介 (大阪大学)

ブラックホール周りの降着円盤に刺さる磁場は、ジェットや円盤風に代表されるアウトフローの駆動源の一つである。しかし円盤の磁場分布を決める磁束輸送の機構は未解決課題として残っている。活動銀河核やマイクロクエーサーの観測から放射不良降着流 (RIAF) や超臨界降着円盤といった幾何学的に厚い円盤の存在が示唆されており、これら厚い円盤ではしばしばアウトフローも観測される (Romero 2017)。そこで我々は厚い円盤における磁束輸送に注目した。従来の一次元磁束輸送モデル (e.g., Lubow et al. 1994、以下 1D モデル) では磁場の鉛直構造が無視されていた。そのため円盤が厚いことによる多次元効果が磁束輸送にどう影響するかは謎に包まれている。そこで、我々はまず磁場の鉛直構造を解析的に調べ、円盤の開き角が磁場分布を決めるうえで重要なパラメータであることを示した。その結果を踏まえ、我々は新たに二次元軸対称球座標系での磁束輸送コード (以下 2D モデル) を作成し、磁場の半径・鉛直分布を数値的に調べた。円盤モデルには RIAF (Narayan & Yi 1994) と超臨界降着円盤 (Watarai 2006) の解析解を採用した。その結果、厚い円盤では円盤高さ方向に磁場形状が変化しており、円盤内で一様だとする 1D モデルの近似が破綻していることを確認した。また 1D モデルと 2D モデルとを比較すると、2D モデルでは多次元効果により磁場がより拡散的にふるまい、中心への磁束の集積率や円盤表面の磁場の傾きが小さくなることがわかった。モデル間の結果の違いは多次元効果が磁場分布の決定に本質的に重要であることを意味する。そして磁場の傾きに関する結果は磁気遠心力風 (Blandford & Payne 1982) の駆動条件についての議論において特に重要になる。また我々は RIAF が Magnetically Arrested Disk (e.g. Narayan 2003) となるための外部磁場強度の条件についても議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

W27a ブラックホール近傍で起こる磁気リコネクションの磁気レイノルズ数依存性

小出美香 (崇城大学), 小出眞路 (熊本大学)

磁気リコネクションは太陽フレアを説明するために 1940 年代に考えられたアイデアであるが (Giovannelli 1946)、現在ではブラックホールから放出される高エネルギーフレアやジェット放射のメカニズムとしても注目されている。例えば、巨大楕円銀河 M87 の中心にあるブラックホール M87*からはガンマ線フレアが観測され (Blanch 2021)、銀河系中心にあるブラックホール SgrA*の地平面の近くでは、近赤外線と X 線が同じような短い時間 (数分) で変動する様子が観測されている (GRAVITY Collaboration 2020)。これらのフレアでは磁気リコネクションが起きていると考えられている (Yuan et al. 2004; Ball et al. 2021; Ripperda et al. 2021, 2022)。

我々はブラックホールのまわりに分割単磁極型の磁場を設定して、磁気リコネクションの数値計算を行ってきた (Inda-Koide et al. 2019)。計算には一様な抵抗を入れた一般相対論的電磁流体力学 (GRMHD) 方程式を使っている。これまで、天文学会において 2021 年秋の年会まで、ブラックホールの自転に関わらずその赤道面で磁気リコネクションが起きること、また磁気リコネクション率 R_{mr} の時間変化率は、時間 $4 \sim 5\tau_S$ ($\tau_S = r_S/c$, r_S はシュヴァルツシルト半径、 c は光速) 以降、ブラックホールの自転にかかわらずほぼ一定で変わらないことを示した。

前回までの発表では、時間 $4 \sim 5\tau_S$ 以降の R_{mr} の時間変化率が一定であることから、この磁気リコネクションはティアリング不安定性のラザフォード段階であると結論づけた。しかし今回、 R_{mr} の時間変化率の磁気レイノルズ数依存性に関して、数値計算の結果とラザフォード段階の理論が合っていないことが分かった。この結果はラザフォード段階よりも速い磁気リコネクションを示唆している。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](#)

W28a 相対論的流体力学を記述する Godunov SPH 法の開発

北島 寛大, 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。こういった超高速流では強い衝撃波が発生する。また、周辺はほぼ真空とも言える低密度の環境の中で、一部の領域だけが高密度になる現象である。このような相対論的かつ真空領域を大きな割合で含む現象を扱うのに有効な計算法の一つに相対論的 SPH (Smoothed Particle Hydrodynamics) 法がある。よく知られている SPH 法は非相対論的な流体力学を扱う手法で長い歴史があり、磁気流体力学や輻射流体力学への拡張など種々の発展がなされている。しかし、相対論的 SPH 法の研究の論文は極めて少なく、まだまだ不十分である。特に標準的な SPH 法には強い衝撃波を精度良く記述できないという問題点がある。これは、衝撃波を記述するため古い手法である人工粘性を使用していること、及び、物理量を粗く近似していることに起因する。そこで我々は、Chow & Monaghan (1997) や Monaghan & Price (2001), Rosswog (2010, 2015), Inutsuka (2002) 等をもとに、粘性を自動で導入することで強い衝撃波を高精度で扱うことのできる特殊相対論的 Godunov SPH 法を開発した。本講演では、相対論的力学の計算法において注意すべき問題点を示し、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するかを議論する。

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

W29a 相対論的アルフベン波中の電子の放射過程

後藤瞭太 宇宙線研究所, 浅野勝晃 宇宙線研究所

ガンマ線バーストやブレーザーといったコンパクト天体では相対論的乱流が存在する。相対論的乱流中には、磁場と同程度の電場が存在するため、電子からの放射スペクトルは、シンクロトロン放射と異なると期待される。本研究では、解析的な計算から、乱流の最大スケールの波長より小さいラーモア半径をもつ電子からの放射が、 $E \times B$ ドリフトの速度 cE/B に対応するローレンツ因子の 4 乗だけ同じ磁場強度のシンクロトロン放射と比べて放射効率が抑えられることを明らかにした。相対論的乱流中に存在する一次元相対論的円偏光アルフベン波中で電子の軌道と放射スペクトルの数値計算を行い、解析的に得られた、波長より短いラーモア半径をもつ電子の放射効率は抑制を確認した。電子のラーモア半径が波長よりも大きい場合の放射も計算し、この場合放射効率は抑制されないことが明らかになった。相対論的乱流中のラーモア半径が波長より小さい電子からの放射を天体からの放射スペクトルの解釈に応用する場合、同じ放射スペクトル強度を説明するためには、放射効率が抑制される分だけ強い磁場強度が要求されるという結果が得られた。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

W30a 相対論的 Alfvén 波の崩壊不安定性のパラメータ依存性

石崎渉, 井岡邦仁 (京都大学基礎物理学研究所)

高速電波バースト (FRB) や、マグネターのフレア現象のエネルギー源として、星震等によって中性子星磁気圏に励起された Alfvén 波の伝播が注目を集めている。中性子星磁気圏のような、磁場のエネルギーがプラズマのエネルギーをはるかに凌駕するような状況では、Alfvén 波の一部のエネルギーがプラズマに注入されるだけで、プラズマが相対論的なエネルギーまで加速されると期待されるため、波の崩壊過程は議論すべき重要な課題である。

本講演では、2022 年度の秋季年会で著者らが講演した「相対論的に磁化されたプラズマにおける Alfvén 波の崩壊不安定性」の続編として、崩壊不安定性におけるパラメータ依存性についての研究成果を紹介する。前回、我々は Force-free 近似を課さない相対論的な MHD 方程式に対して、Alfvén 波のパラメトリック崩壊不安定性を調べ、Alfvén 波が不安定であることを示した。本講演では、不安定性の成長率におけるパラメータ依存性として、磁化率のみならず、温度 (或いは音速) に対する依存性について調べ、得られた結果について報告したい。ac

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

W31b 歳差運動する超臨界降着円盤の光度変動

朝比奈雄太 (筑波大学), 大須賀健 (筑波大学)

ブラックホール (BH) に降着するガスによる重力エネルギーの開放によって、高降着率な天体は明るく輝き、高速なアウトフローを噴出すると考えられている。この場合輻射力による効果が無視できないため、BH 降着円盤は一般相対論的輻射磁気流体力学シミュレーションを用いて研究されてきた。しかし先行研究の多くは BH が無回転か、BH のスピン軸と降着円盤の回転軸が一致していることが仮定されている。Fragile et al. (2007) や Liska et al. (2021) らによって、回転軸が一致しない一般相対論的磁気流体力学シミュレーションが実施され、近年輻射を考慮した計算 (Liska et al., 2022) も実施された。これらの計算では時空の引きずりにより降着円盤が歳差運動し、この歳差運動が X 線星に見られる X 線強度の準周期的振動や宇宙ジェットの歳差運動の一因である可能性が示された。しかし、これらの計算ではエディントン光度を超えない状況を仮定しており、エディントン光度を超える増光中にジェットの向きが変化するという現象が見られた V404 Cygni など明るい天体には適用できない。

そこで我々は高光度な天体に適用するために、歳差運動する超臨界降着円盤の一般相対論的輻射磁気流体力学シミュレーションを実施した。初期条件として BH のスピン軸から回転軸が 30° 傾いているトーラスを仮定した。計算の結果、降着円盤の回転軸方向に光速の 30% 程度のアウトフローと輻射流束の高い領域が形成され、降着円盤の歳差運動とともに、これらの領域も歳差運動することがわかった。また、降着円盤の回転軸方向以外の領域でも準周期的な光度変動が得られた。本講演ではこの歳差運動による光度変動と降着円盤の回転軸方向以外の光度変動の詳細について報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

W32b SS433 ジェット先端フィラメントの広帯域スペクトル解析

酒見はる香 (鹿児島大学), 永井洋, 町田真美 (国立天文台), 赤堀卓也 (国立天文台/SKA 天文台), 大村匠 (東京大学), 赤松弘規 (SRON), 中西裕之 (鹿児島大学), 藏原昂平 (国立天文台)

X 線連星ジェットは 10^{15} eV 以上に宇宙線を加速する候補天体である。ジェット内部に形成される衝撃波が主な加速領域と考えられているため、衝撃波と関連のある構造の特定は、X 線連星ジェットによる粒子加速の物理特性を解明する上で重要である。マイクロクエーサー SS433 は系内で最も活発なジェット天体の 1 つであり、ジェット上からガンマ線が検出されるなど、宇宙線粒子加速源として注目されている天体である。SS433 の東側ジェットの先端には南北方向に伸びたフィラメント状構造が存在し、ジェットによって形成される衝撃波との関連の有無を明白にすることが求められている。これまでの研究から、フィラメント構造は 40% に近い非常に高い偏波率を持ち、ジェット軸に対して垂直な方向に沿う揃った磁場構造が存在していることが分かっている。

我々は SS433 東側ジェット先端のフィラメント構造について、LOFAR の 140 MHz、VLA の 1.0–8.0 GHz の広帯域電波連続波観測データを用いてスペクトル解析を行った。その結果、フィラメント構造ではスペクトルが単純な冪乗則に従わずに折れ曲がることが分かった。特にスペクトルが折れ曲がる周波数よりも高周波数側で冪がソフトになることから、最低でも 0.7 mG 程度の強い磁場が存在することによる電子の放射冷却が起こっている可能性が高いことを明らかにした。さらに放射強度ピーク領域では高周波数側と低周波数側のスペクトルの冪の差が 0.5 程度であることから、この領域では強い磁場による電子の放射冷却だけではなく定常的な電子の注入が起こっている可能性が高いことが分かった。以上のことから、フィラメント構造中の放射強度ピーク領域付近にジェット先端衝撃波が形成されていると考えられる。本講演ではこれらの結果について報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

W33b ブラックホールへの降着流最内縁領域からの定常的ジェット放出

井上 一 (JAXA 宇宙科学研究所)

low/hard 状態のブラックホール連星からと、SS433 (中心天体はブラックホールであると想定) からの二種類の定常的ジェット放出の機構について考察する。ジェット流が無限遠まで到達するには、放出ガスの質量当たりの全エネルギー (specific energy) が正であることが求められるが、降着流の specific energy は流入時には負であると考えるのが自然である。降着流の specific energy が、負から正へ転じる機構として、降着流が二層構造を持ち、そのうちの一層から他のもう一層へエネルギーが渡されて、エネルギーを受け取った層の specific energy が正となることを考える。low/hard 状態における定常的ジェットに対しては、降着流最外縁の降着リングから幾何学的に厚い移送優勢降着流 (ADAF) と幾何学的に薄い標準円盤の二層流が流れ込み (Inoue 2021, PASJ, 73, 795 参照)、標準円盤は内側でもう一つの ADAF に遷移している状況を想定する。その結果、降着流の内側では標準円盤から遷移して厚みを増していつている ADAF の背面に、降着リングからのもう一つの ADAF が乗り上げていくことが考えられ、その境界層で角運動量輸送に伴うエネルギー輸送が起こることが期待される。一方、SS433 においては、降着流は slim disk の状態にあり、放射圧優勢な slim disk では、放射拡散によって赤道面に近い底層部から上層部に向けてエネルギーが流れるが、降着流全体としては移送優勢な状態にあるためエネルギーは上層部に蓄積され、上層部が正の specific energy を持つことが期待される。これらの機構によって正の specific energy を持った上層流の運動エネルギーはブラックホール近傍で熱エネルギーに変換され、光速の 10% から 20% 程度の速度を持った外向きのジェット流となることが期待される。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

W34a 超広帯域電波観測で探る PSR J1107-5907 の bright 状態

喜久永智之介, 久野晋之介, 高橋慶太郎 (熊本大学), George Hobbs, Marcus Lower, Shi Dai, Andrew Zic, Robert Hollow, Simon Johnston (CSIRO Space & Astronomy)

PSR J1107-5907 は、複数の放射状態を持つ特異なパルサーである。放射状態には暗く狭いパルスを持つ weak 状態、Vela パルサーに匹敵する電波強度と広いパルスをもつ bright 状態、パルスが検出できない null 状態がある。これらの状態遷移のメカニズムは解明されていないが、bright 状態のパルス波形が観測周波数ごとに著しく変化していることが報告されている。オーストラリアの Parkes 64m 望遠鏡は 704 MHz - 4032 MHz を同時観測できる Ultra Wideband Low-frequency receiver (UWL) を搭載しているため、Parkes 64m 望遠鏡による超広帯域観測で PSR J1107-5907 の状態遷移・bright 状態の放射メカニズムについて理解を深められると期待できる。

我々は、bright 状態にある PSR J1107-5907 を Parkes 64m 望遠鏡で 3 回観測することができた。平均パルス波形の周波数進化はそこまで顕著ではないものの、スペクトル指数のパルス位相依存性が顕著に現れていた。また、我々はパルス位相ごとの Faraday 回転量度 (Rotation Measure, RM) を測定し、RM が位相ごとに変化していることを確認した。さらに、RM の変化が激しい位相では、円偏光強度が強くなっていた。RM の位相依存性には星間物質による散乱、直交した偏光モードの重ね合わせ、パルサー磁気圏内における一般化 Faraday 回転などが考えられる。後者のパルサー磁気圏内の一般化 Faraday 回転は、通常の Faraday 回転のような偏光角の回転だけではなく、直線偏光から円偏光への変換も伴うと予想されている。そのため、観測された RM の位相変化を説明できると期待できる。本講演では、PSR J1107-5907 の超広帯域観測結果に加え、一般化 Faraday 回転のモデルパラメータ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](#)

W35a 降着 X 線パルサーのパルスプロファイル解析を用いた降着円柱からの放射異方性の解明

丹波翼, 小高裕和 (東京大学), 谷本敦 (鹿児島大学), 鈴木寛大 (甲南大学), 高嶋聡, 馬場彩 (東京大学)

大質量主系列星からの質量降着により輝く X 線パルサーは、 10^{12} G を超える強磁場の影響により、降着流が特異な幾何構造をもつ。特に、光度が $\sim 10^{37}$ erg s $^{-1}$ を超える場合、中性子星の放射圧が磁極に降り注ぐ降着流をせき止め、磁極直上に高密度プラズマからなる降着円柱を形成する。高光度の X 線パルサーのスペクトルは降着円柱における逆コンプトン散乱により説明されるが (Becker & Wolff, 2007)、降着流の速度分布や強磁場によるコンプトン散乱断面積の異方性による X 線放射の異方性はほとんど解明されていない。特に、自転位相分解スペクトルやパルスプロファイルのエネルギー依存性といった観測事実の解釈はこれまでおこなわれてこなかった。

われわれは、 10^{37} erg s $^{-1}$ を超える光度をもつ X 線パルサー Cen X-3 と Her X-1 の NuSTAR 衛星による観測データを解析し、パルスプロファイル形状のエネルギー依存性を調査した。どちらの天体でも、低エネルギーバンドのパルスプロファイルは複数のなだらかなピークを持つのに対し、高エネルギーバンドでは 1 つの鋭いピークを持つという性質を持つことがわかった。さらにわれわれは、パルスプロファイル形状のエネルギー依存性が複数の放射領域と対応していると考え、モンテカルロシミュレーションコード MONACO (Odaka et al. 2011, 2014) を用いて降着円柱からの放射を再現し、観測結果との比較を行った。その結果、複雑なパルスプロファイルの形状とそのエネルギー依存性は、降着円柱からの直接放射と中性子星表面からの反射の 2 成分の足し合わせで再現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](#)

W36a 降着駆動型 X 線パルサーの軟 X 線超過放射と低電離鉄輝線の系統的な解析

永井悠太郎, 榎戸輝揚, 内田裕之, 鶴剛 (京都大学)

連星合体から重力波が観測され、連星進化の解明は再び重要度を増している。この解明には星風による質量輸送やコンパクト天体への質量降着を理解することが重要である。そこで、強磁場パルサーをもつ高質量 X 線連星で広く観測される ~ 6.4 keV の低電離の鉄輝線は強力な診断ツールとなる。この鉄輝線は、パルサーの降着円筒からの強い X 線放射が周辺環境を照らす際の再放射として発生すると考えられているが、実際にはパルサー近くのアルファベン球や降着流、パルサーから遠い星風など、発生場所には複数の候補があり、これまで降着駆動型パルサー全体の統一的描像は十分に得られていない。この鉄輝線に加えて、一部の天体では、パルサーからの再放射として温度 0.1 keV ほどの黒体放射で近似できる軟 X 線超過も連続成分を説明する際に必要になることが知られており (Hickox et al., ApJ, 2004)、鉄輝線と軟 X 線超過の関係はパルサー周辺環境の理解に新しい視点を与えると期待できる。

そこで、軟 X 線超過の検出に適した ~ 1.0 keV に過去最大の有効面積を持つ装置 NICER を用いて Vela X-1 や Cen X-3 など 19 個の降着駆動型パルサーについて 0.2 – 10 keV の広帯域スペクトルを系統的に解析した。連続成分を吸収を受けたカットオフ付きのべき関数で近似すると、星間吸収量が小さい ($N_{\text{H}} \lesssim 2 \times 10^{22}$ cm 2) 少なくとも 8 天体で軟 X 線超過成分が検出できた。一方、低電離の鉄輝線は 14 天体で検出できた。また、連続成分の光度に対して、低電離の鉄輝線と軟 X 線超過の光度はいずれも正の相関を示すが、前者の方が相関が顕著であった。そして、軟 X 線超過の黒体放射の半径は多くの天体でアルファベン半径よりもやや小さい傾向があり、これはアルファベン球の一部が光っているとも解釈できる。本講演では、これらパルサーからの再放射の機構を議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

W37a 四重極子磁場を有する中性子星への超臨界降着流の一般相対論的輻射磁気流体力学シミュレーション

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

超高光度 X 線パルサー (ULX パルサー) とは、光度が 10^{39} erg s⁻¹ を超える X 線パルサーである (Bachetti et al. 2014)。その正体として、磁化した中性子星への超臨界降着流 (エディントン降着率を超える降着流) が有力視されているが、詳細な物理機構については未解明な点が多い。我々は、双極子磁場を有する中性子星周囲の超臨界降着流について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、ULX パルサーの数値シミュレーションモデルを構築した。そして、アウトフローの発生条件から、系内 ULX パルサー Swift J0243.6+6124 における中性子星双極子磁場強度が、 10^{12} G 以下と推定されることを 2022 年秋季年会で報告済みである。しかしながら、この天体の輻射スペクトルでは、 10^{13} G の磁場強度に対応するサイクロトロン共鳴散乱構造が検出されている (Kong et al. 2022)。これは中性子星表面において、多重極子磁場が双極子磁場よりも卓越している可能性を示唆している。

そこで本研究では、多重極子磁場成分が降着流のダイナミクスに与える影響を調査するべく、四重極子磁場を有する中性子星への降着流のシミュレーションを実施した。双極子磁場強度が 4×10^{10} G、四重極子磁場強度が 10^{10} G、平均的な質量降着率がエディントン降着率の 50 倍程度の時、降着円盤のガスは中性子星の双極子磁場によって途切れ、磁極付近に柱状の降着流 (降着柱) が形成される。一方で、双極子磁場強度が 10^{10} G、四重極子磁場強度が 4×10^{10} G、平均的な質量降着率がエディントン降着率の 300 倍程度の時、降着円盤のガスの大部分は途切れることなく中性子星へ到達する。講演では、質量降着率の時間変動の磁場形状依存性についても述べる。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

W38a 中性子星 X 線連星 Aql X-1 の X 線及び可視光変動の研究 (2)

庭野聖史, 村田勝寛, 河合誠之, 細川稜平, 谷津陽一, 伊藤尚泰 (東京工業大学), 花山秀和 (国立天文台), 堀内貴史 (東京大学), 中岡竜也, 今澤遼, 川端弘治 (広島大学), MAXI チーム

我々は中性子星 X 線連星 Aql X-1 のアウトバーストにおける X 線・可視光変動を、全天 X 線監視装置 MAXI、可視光サーベイ観測プロジェクト ZTF、国際天文台ネットワーク LCO の 2016 年から 3.6 年間のデータを使用して解析した。その結果、この期間に可視光と X 線の双方で顕著な増光を伴う 5 回のアウトバーストがあったこと、うち 3 回では Low-Hard から High-Soft への X 線状態遷移があったが、2 回は Low-Hard 状態のままであったことを確認した。また、High-Soft 状態の可視光スペクトル、及び X 線・可視光変動が照射円盤モデルにおける X 線フラックスと円盤の厚さの変動で説明できることを明らかにした。これらを 2021 年秋季年會にて報告した。

その後、アウトバースト中の Hardness-Intensity diagram と X 線・可視光の Flux-Flux plot を更に解析した。その結果、これまで Low-Hard 状態と考えていたフェーズに状態遷移中の過渡的な状態 (Intermediate 状態) が含まれていること、状態遷移が起こらなかった 2 回のアウトバーストはその状態に至らなかったことが分かった。加えて、Low-Hard、Intermediate、High-Soft の 3 つの状態における X 線 Hardness と X 線・可視光フラックスの比から、状態遷移は円盤外側から発生し、内側へ伝播していたことが示唆された。また、我々は 2021 年 3 月以降に複数回発生した同天体の X 線での増光に際して石垣島天文台むりかぶし望遠鏡で可視光追観測を行い、3 月に発生したアウトバーストに限っては東広島天文台かなた望遠鏡での近赤外線観測も行った。そして、これらのアウトバーストと 2016-2020 年の 5 回のアウトバーストの比較し、考察を行った。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

W39a Be/X 線連星パルサー EXO 2030+375 のジャイアントアウトバースト後の活動

中島基樹 (日本大学), 三原建弘 (理研), 杉崎睦 (NAOC)

EXO 2030+375 は約 42 秒周期で X 線パルスを放つ中性子星と、B0Ve 星とで構成される Be/X 線連星である。主星である Be 星の周囲には星周円盤が形成されており、46 日の軌道周期でパルサーが近星点を通過する際に星周円盤から中性子星に質量降着が生じ、ノーマルアウトバースト (Normal OutBurst: NOB) と呼ばれる軌道周期に同期した X 線増光が観測されている。この NOB は、ピーク X 線光度が $\sim 10^{36-37}$ erg/s、duty cycle が $\sim 20\%$ と再現性の高いイベントとなっている。この NOB に加え、この天体からはピーク X 線光度が $\sim 10^{38}$ erg/s、継続時間が 2.5 軌道周回になるジャイアントアウトバースト (Giant OutBurst: GOB) と呼ばれる巨大 X 線増光が過去 3 回 (1985 年、2006 年、2021 年) 観測されている。2021 年 12 月の GOB 終了後、MAXI/GSC と Swift/BAT によるモニタ観測により、EXO 2030+375 は通常の NOB を繰り返す状態に戻らず、duty cycle が $\geq 90\%$ のアウトバーストを起こしたあと、次の周回は暗いままという特異な状態、つまり 2 軌道周回に 1 回のアウトバーストを起こす状態に変化していることが判明した。この予稿を準備している時点 (2022 年 12 月) でもこの振る舞いは継続している。このような振る舞いは RXTE/ASM から始まる 26 年に及ぶ X 線モニタ観測の中で初めて認められた現象であり、他の Be/X 線連星でも観測例がない。本講演では、この特異な現象について、星周円盤の形状変化の可能性、また 2006 年 GOB 後の NOB との比較を行い議論を行う。

[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](#)

W40a X 線トランジェント MAXI J0709–153 (Be 星 LY CMa) の可視光分光観測

志達めぐみ (愛媛大), 河合誠之 (東工大), 前原裕之 (NAOJ), 後藤絵美, 浦部蒼太, 坪井陽子 (中央大), 岩切渉 (千葉大), 杉崎睦 (NAOC), 中島基樹 (日大), 坂本 茉莉江, 松岡 良樹 (愛媛大)

MAXI J0709–153 は、2022 年 1 月に MAXI で発見された X 線トランジェントであり、その後の追観測から、可視光対応天体は Be 星 Ly CMa と同定された。また、X 線変動の特徴から、Supergiant Fast X-ray transient (超巨星と中性子星からなる X 線連星系) の特徴も併せ持つことが判明している (Sugizaki et al. 2022, PASJ, 74, 1131)。我々は、岡山 188 cm 望遠鏡 HIDES、京大せいめい望遠鏡 KOOLS-IFU、中央大望遠鏡 SCAT を用いて、X 線増光の検出後から約 1.5 か月間にわたり可視光分光観測を行った。その結果、いずれの観測日のスペクトルからも $H\alpha$ 輝線を検出した。その輝線構造を解析したところ、ピーク間隔が ~ 300 km s^{-1} のダブルピーク成分と、速度分散が ~ 1000 km s^{-1} の幅の広い成分で構成されていることがわかった。ダブルピーク成分については、他の Be 星に見られる $H\alpha$ 輝線の特徴と矛盾せず、主に B 型星の星周円盤から生じたと考えられる。一方、広がった成分については、B 型星からの星風あるいは中性子星の周囲に形成された降着円盤によるものと考えられる。また、 $H\alpha$ 輝線全体の等価幅は時間とともに減少し、X 線での検出から 1.5 か月後までに ~ 25 Å から ~ 17 Å に変化した。

本講演では、上記の観測結果の詳細を報告し、 $H\alpha$ 輝線の起源と X 線増光現象との関連性、連星系の星周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](#)

W41a 中性子星の冷却に伴う超流動状態の出現がスピンドアウンに及ぼす影響

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)

中性子星は星全体が一つの巨大な原子核と例えられる高密度天体であり、大質量星の超新星爆発の際に作られる。中性子星内部では、通常の原子核では出現しないエキゾチックな粒子や状態が出現すると考えられている。エキゾチックな粒子や状態の出現は、内部からのニュートリノ放射より星の表面温度に影響を与えるため、表面温度の観測との比較を通じて中性子星の高密度物質の探求可能である。しかし、依然として内部の状態については未確定な部分が多い。

本研究では、クォーク物質が出現するモデルを考慮し、さらに核子・クォークの超流動の効果を取り入れて、中性子星の冷却計算を行った。超流動状態への遷移は温度に依存するため、中性子星誕生からの熱的進化過程において超流動領域は拡大することとなる。超流動状態の領域は星全体の慣性モーメントを介し星の回転周期に影響を与えることから、回転しながら冷える中性子星が磁気双極子放射をすると仮定し、 $P - \dot{P}$ 関係を求めた。結果として、表面温度の観測のみならず回転周期の観測と比較でき、より多様な観測から星の内部状態への制限をかけることが可能となった。

[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](#)

W42a SN 1987A 内の中性子星からの熱放射検出の可能性

土肥明 (広大、理研), Emanuele Greco (アムステルダム大、パレルモ天文台), 長瀧重博 (理研), 小野勝臣 (中央研究院), Marco Miceli (パレルモ天文台), Salvatore Orlando (パレルモ天文台), Barbara Olmi (パレルモ天文台)

1987年に矮小銀河「大マゼラン雲」に出現した超新星 1987A (SN 1987A) では、カミオカンデによりニュートリノが検出されているが、これはその中心天体が中性子星であることを示唆している。また、近年の ALMA 望遠鏡により SN 1987A の中心近くに高温の塵の塊が見つかったが、その場所や明るさの情報から、熱源である中性子星が SN 1987A 内に隠れていることが予想されている (Cigan et al. 2019, Page et al. 2020)。しかし、SN 1987A の中心天体の直接的な観測はこれまでになく、中心天体が何かを解明するために X 線観測が必要である。

本研究では、2018年の SN 1987A の *Chandra* のデータに、2027年における *Chandra* のスペクトルと 2037年における *Lynx* のスペクトルをそれぞれ組み合わせ、その中心天体の光度の上限を求めた。その結果、中性子星のキック速度が高いほど、X 線吸収が強くなるために上限が高くなる事がわかった。また、2027年までは、その上限が若い中性子星の典型的な光度 ($10^{35} \text{ erg s}^{-1}$) より 1桁以上高い一方、2037年のみ両者がコンパラであった。これは、2037年に *Lynx* によって中性子星からの熱的放射成分が検出される可能性があることを示す。

中性子星の X 線光度自体は、標準的な中性子星の冷却理論 (e.g., Yakovlev et al. 2004, Page et al. 2006) により記述される。今回、公開コード NSCool (Page et al. 1989, 2016) を利用し、様々なパラメータにおける中性子星の冷却モデルを構築し、上記の観測データと比較した。本講演では、特に 2037年に SN 1987A 内の中性子星が検出される場合とされない場合の両方において、観測と冷却モデルとの整合性を調べたのでその結果を報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

W43a Evolution of fast neutrino flavor conversions with scattering effects in core-collapse supernovae

Milad Delfan Azari, Hirokazu Sasaki, Tomoya Takiwaki, Hirotada Okawa

As a result of supernova explosions, neutrinos are produced in copious quantities. Based on one of the most promising supernova theories, the neutrino-heating mechanism, neutrinos carry the majority of the energy released during the gravitational collapse of massive stars. If neutrino flavors are converted fast in the cores, by depositing energy, they can rejuvenate stalled bounce shocks and provide the energy for supernova explosions.

In this presentation, I will report our latest results on the investigations of the dynamics of fast neutrino flavor conversions with collisions under energy-dependent treatment in detail based on the realistic initial condition, which is taken from the results of the self-consistent, realistic Boltzmann simulations in two spatial dimensions under axisymmetry. Our finding suggest that the energy-dependent collision term significantly enhances neutrino flavor conversion. This 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](#)

W44b 中性子星内部のニュートリノ冷却が X 線バーストの元素合成に及ぼす影響

土肥明 (広大、理研), 西村信哉 (理研)

I 型 X 線バーストは、低質量 X 線連星系内の中性子星の表面付近で不安定核燃焼によって引き起こされる急激な X 線増光現象である。この間に、高速陽子捕獲 (rp) 過程と呼ばれる (p, γ) の連続反応によって最大で質量数が 100 程度の重い陽子過剰原子核が作られるが、 rp 過程によって実際にどれほどの重い元素が作られるかは、伴星からの質量降着率、降着物質の組成、核反応率、中性子星の構造、温度など多くのモデルパラメータに依存する。X 線バーストの元素合成に関するこれまでの研究は、前者 3 つの不定性に着目しており、中性子星の物理の不定性に関してはあまり調べられてこなかった。

本研究では、中性子星内部で発生したニュートリノが熱を外に持ち運ぶことによる温度低下に着目する。数多くあるニュートリノ放射過程の中で、核子直接ウルカ過程は最も中性子星の温度をさげる“速い”冷却過程の一つであり、重い中性子星ではその発生が期待される。また、核子直接ウルカ過程は超流動効果と呼ばれる核子同士のペア形成によってやや弱くなり、より中性子星温度の観測と整合する可能性が指摘されている。本研究では、88 核種を含む近似核反応ネットワークを組み込んだ中性子星の熱的進化コードを用いて、X 線バーストの最終生成物に与える核子直接ウルカ過程と超流動効果の影響を調べた。結果として、中性子星内部からのニュートリノ放射は、殆どの最終的な生成物質量に影響しないことがわかった。ただし、質量数が 100 を超える元素に関しては、ニュートリノ放射が弱いモデルのほうが強いモデルより 5–10% 生成されることもわかった。今後、より核種数を増やした大規模な核反応ネットワークを用いて今回の近似核反応ネットワーク結果を検証する予定である。

[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](#)

W45a 中性子星のクラストにおいて保持可能な弾性限界内の磁場の強度と形状

小嶋 康史, 木坂 将太 (広島大), 藤澤 幸太郎 (東京大)

マグネターには強い表面磁場 ($> 10^{14}$ G) が存在し、星内部に貯められたエネルギーが様々な変動現象に結び付くと考えられる。中心のコア (芯) 部分にどれだけ磁束が貫いているかは不明であるものの、少なくとも表面近くクラスト部分には存在し、そこでのより大きな電気抵抗によりジュール熱へと変換し、明るい光度につながると考えられる。一方、超新星残骸に存在する、若い単独星の CCO (Central Compact Object) は表面磁場の値は $\sim 10^{11}$ G 程度と典型的な値より弱いものの、超過の熱源を説明するために、クラスト部分に、マグネター級の強い磁場 ($\sim 10^{14}$ G) が存在すると考えられている。

最近の研究 (arXiv:2209.04136, ApJ(22)938, id.91) では、マグネターのクラスト部分の磁場が barotropic な MHD 平衡にあっても、永年の時間尺度の磁場進化に伴い、固相の弾性限界へと向かうことを具体的に示した。限界まで時間は典型的な磁場強度の 3 乗で短くなり、 $\sim 10^{15}$ G だと ~ 10 年となる。その間の蓄積エネルギーは $\sim 10^{41}$ erg となる。この値は、バースト現象のエネルギーと蓄積時間と同程度であり、興味ある結果である。一方の CCO にも内部に同程度の磁場が存在するので、磁場形状がクラスト部分の弾性限界にどのように影響するかを調べる必要がある。

そこで、強い磁場が星外部に貫いている場合と内部に局在している場合を比較検討した。barotropic な MHD 平衡にある初期状態から開始し、弾性エネルギー蓄積過程を異なる磁場配位に対して計算を行った。年会ではその結果と意義を報告する。

[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](#)

W46a クラストの弾性力によって支えられた比較的強いトロイダル磁場を持つ中性子星

藤澤 幸太郎 (東京大学), 小嶋 康史 (広島大学), 木坂 将太 (広島大学)

強磁場中性子星であるマグネターは、強力な磁場により活動している中性子星である。双極子磁場は弱いマグネターの特徴を持つ弱磁場マグネターや、マグネターからのパルス位相変調の観測などから、マグネターは星の内部に強い磁場、特に強いトロイダル成分の磁場を持っていると考えられている。

中性子星の内部磁場構造に関する理論的な研究は数多く行われているが、特別な境界条件を課した場合を除き、観測から示唆されるような強いトロイダル成分を持つような磁場構造の解は求まっていない。中性子星の内部構造はおおまかに、流体であるコアとその外側の固体であるクラストからなっていると考えられているが、これまでの多くの先行研究では星全体を流体として扱っており、固体であるクラストの弾性力を定式化に取り込めていなかった。

そこで本研究では、流体であるコアと弾性力が働く固体であるクラストを持つ、2層からなる中性子星の磁場構造の定式化と理論的な計算を行った。その結果、クラストの弾性力によって支えられた、比較的強いトロイダル成分を持つような磁場構造の新しい解が求まった。このトロイダル磁場はクラストの弾性力によって支えられているため、厚いクラストを持つ中性子星は、薄いクラストを持つ中性子星よりも強いトロイダル磁場を持ちうることも明らかになった。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

W47a 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

屈楚舒, 諏訪雄大 (東京大学), 榎戸輝揚 (京都大学)

マグネターは極端な強磁場 (10^{12} 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。新しいマグネターも年に約 1 個のペースで発見されており、観測データによるマグネターの研究は活性化している。

データ解析により一部マグネターの 10 keV 以下の定常 X 線放射のスペクトルには温度 $O(0.1)$ keV、半径 $O(1)$ km の低温成分と、温度 $O(1)$ keV、半径 $O(0.1)$ km の高温成分が存在することが明らかになっており、高温成分はマグネター表面磁場の活動によるホットスポットからの黒体放射だと考えられている。一方、中性子星表面からの放射は星自身の一般相対論効果により光線が回り込み裏側からの放射も観測できることが知られている (light bending)。本研究では、観測データから得られるマグネターのパルス波形とスペクトル解析、またその両方から得られるホットスポットパラメータを、light bending を取り入れたモデルに基づいて計算し、両者が無矛盾かを検証する。

本研究で用いている光線追跡モデルでは、観測方向とマグネターの自転軸の角度 i 、自転軸と星の中心からホットスポットの中心を通る線の角度 θ 、マグネターの半径 R などのフリーパラメーターが存在している。モデルのフリーパラメーターを適切に選ぶことで、SGR 1833-0832、PSR J1622-4950 などパルス波形が比較的単純なマグネターの説明ができ、4U 0142+61、SGR 0418+5729 などのマグネターは複数のホットスポットからの放射で説明できることが分かった。マグネターの表面に複数のホットスポットが存在する場合、必ずしもマグネターの磁軸に沿って分布してはならない事が今回の解析によって判明した。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

W48a ガンマ線連星 LS 5039 : 「あすか」 データによる ~9 秒パルスの確認

牧島一夫 (東大 IPMU), 内田和海 (JAXA 宇宙研), 榎戸輝揚 (京大理)

LS 5039 は全天で最も明るいガンマ線連星の一つで、大質量星とコンパクト天体が 3.9 日周期の連星をなし、強い MeV 放射を行う。米田ら [1] は「すざく」と *NuSTAR* の 10–30 keV データを用い、LS 5039 から ~9 秒のパルスの兆候を検出し、コンパクト星が中性子星であることを示し、エネルギー収支などの根拠から、それがマグネターである可能性を論じた [2]。しかしパルスの有意度 (特に *NuSTAR* のもの) を疑問視する報告もあった [3]。そこで今回、「あすか」 GIS で 1999 年 10 月に、約 0.7 日にわたり取得された LS 5039 のアーカイブデータを解析した。GIS の低バックグラウンド特性や時間応答を生かし、連星ドップラー補正を行なった結果、5.3–12 keV 帯域で 8.892(1) 秒のパルスの兆候が得られた。 < 10 keV ではパルス位相がエネルギーに依存するという未知の効果も見られ、その補正を行うことで、より広い 2.8–12 keV でパルスが検出された。得られた周期は、「すざく」による 2007 年の測定値 (8.9565 秒)、*NuSTAR* による 2016 年の測定値 (9.0538 秒) とともに、一定なスピンドown 率 $\dot{P} = 3.0 \times 10^{-10}$ s/s にほぼ乗っており、パルス波形も 3 衛星の観測で、互いに良く似る。これにより LS 5039 のコンパクト天体が約 9 秒のパルス周期をもつ中性子星 (おそらくマグネター) であること [1] がより確実となり、ブラックホール説は否定される。さらにマグネター (ないし類似天体) が連星系の中にも存在することが示唆され、マグネターの強い磁場と星風との相互作用で粒子加速が起きるとするシナリオ [2] も強化された。

[1] Yoneda H., Makishima K., Enoto T., Khangulyan D., *et al.* 2020, *Phys. Rev. Lett.* **125**, id 11103

[2] Yoneda H., Khangulyan D., Enoto T., Makishima K., Mine K., *et al.* 2021, *ApJ* **917**, id.90

[3] Volkov I., Kargaltsev O., Younes G., Hare J., and Pavlov G., 2021, *ApJ* **915**, id 61

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

W49a X線偏光観測衛星 IXPE によるマグネター 4U 0142+61 の偏光観測

内山慶祐 (東理大/理研), 玉川徹, 北口貴雄 (理研), 榎戸輝揚 (理研/京都大), 郡司修一 (山形大), 水野恒史 (広島大), 林田清 (大阪大), 三石郁之, 田原譲 (名古屋大), 岩切涉 (千葉大), Roberto Turolla, Roberto Taverna (University of Padova), ほか IXPE Magnetar working group

性子星の中にはマグネターと呼ばれる、 10^{14-15} G にもおよぶ超強磁場を持ち、その磁気エネルギーを解放することで輝いているとされる天体がある。マグネターの磁場強度はパルス周期とスピンドアウンから理論的に計算されるが、中性子星表面の磁場を直接観測することは難しく、マグネターが本当に超強磁場を持つのかは、更なる検証が必要である。X線偏光観測は超強磁場に対して、これまでの観測とは違う情報を得ることができるので、マグネターの磁場を探る優れた手段と考えられてきた。

我々は X線偏光観測衛星 IXPE を用いて、比較的明るいマグネター 4U 0142+61 を 2022 年 1 月 31 日から計 840 ksec 観測し、世界で初めてマグネターからの X線偏光を検出した。4U 0142+61 はスピン周期 8.7 秒、スピンドアウンから見積もられる磁場は 1.3×10^{14} G、特性年齢は 68,000 年である。観測された X線の偏光度は、2-4 keV で $15 \pm 1\%$ 、5 keV 付近で 0% 程度に低下した後、5.5-8 keV では $35 \pm 7\%$ であった。偏光角は 2-4 keV と 5.5-8 keV では 90 度方向が異なり、5 keV 付近で 90 度回転していることがわかった。5.5-8 keV の偏光度が 35% であることは、 10^{14} G の磁場を持つ中性子星の表面放射の一部が、磁気圏で加速された荷電粒子と散乱しエネルギーを受け取るという理論モデルの予測と一致している。また、2-4 keV の偏光度が 15% しかなかったことは、表面に大気が存在していないことを示唆しており、凝縮した地殻表面が直接見えている可能性が高いことがわかった。本講演では IXPE による観測結果の詳細と、その解釈について述べる。

[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](#)

W50a マグネターのバーストにおける Expanding fireball

和田知己 (東大宇宙線研), 井岡邦仁 (京大基研)

銀河系内マグネター, SGR 1935+2154, からの X線ショートバーストと高速電波バースト, FRB 20200428A, の同時観測は、未解明であった高速電波バーストの起源天体がマグネターであることを強く示唆している。起源天体はマグネターが有力となったが、そこでの物理過程には未解明の点が多い。具体的には、X線ショートバーストに付随して高速電波バーストを放射する機構や、高速電波バーストを伴う X線ショートバーストが、同時期に観測された他の X線ショートバーストよりも高いカットオフエネルギーを持っていた理由などが未解明である。

本研究では X線ショートバーストのモデルの 1 つとして提案されている膨張するファイアボールモデルを拡張し、観測された高いカットオフエネルギーと高速電波バーストの光度を同時に実現できるか調べた。磁力線に沿って膨張するファイアボールを解析的にモデル化し、X線の光度に対する相対論的なアウトフローの運動学的光度を評価した。特に、磁力線外への光子の拡散、強磁場による散乱断面積の抑制、シンクロトロン共鳴散乱による輻射加速の効果を初めて取り入れた。また、そのモデルを高速電波バースト, FRB 20200428A, を伴った系内マグネターの X線のショートバーストに適用し、アウトフローの運動エネルギーは、高速電波バーストを作るのに十分となりうることを示した。

[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](#)

W51a 分子ガス観測で明らかになった高速電波バースト母銀河の多様性

廿日出文洋, 新納悠 (東京大学), 橋本哲也 (國立中興大學), Tzu-Yin Hsu (國立清華大學)

高速電波バースト (Fast Radio Burst; FRB) は、マイクロ秒〜ミリ秒という短時間に強力な電波パルスを発する現象である。2007 年の発見以降、数千例が報告されているが、その起源天体や発生のメカニズムは解明されていない。起源天体の理解には、その発生環境や母銀河の性質を調べるのが重要である。本研究では、星形成の材料である分子ガスに着目し、FRB 母銀河の性質を探った。FRB 母銀河において分子ガス観測があるのは 3 天体で、そのうち検出があるのは天の川銀河と M81 と限られており、サンプルの拡張が必須である。

我々は、アルマ望遠鏡を使って 3 つの FRB 母銀河 (20180924B, 20190102C, 20190711A) における CO 輝線観測を行った。その結果、 $z = 0.3214$ の FRB20180924B 母銀河から CO 輝線を検出することに成功した。FRB 母銀河における分子ガスの検出例としては最遠方となる。既存のデータと合わせて合計 6 つの母銀河サンプルを用いて分子ガスの性質を調べた結果、FRB 母銀河は多様な分子ガスの性質 (分子ガス量、ガス消費時間、星質量との比など) を持つことが分かった。これは、FRB の起源天体が、多様な銀河環境に存在し得ることを示す。星質量比を一般的な星形成銀河サンプルと比較したところ、統計的に有為に分布が異なることが分かった。一方で、outlier である FRB20200120E 母銀河 (M81) を除くと、統計的な有為差が見られなくなることから、サンプル数を増やして解析を行うことが必要である。

本研究では、FRB 出現環境を分子ガスの観点で理解する新たな手法を開拓した。今後、分子ガスの観測が多数の母銀河において行われることによって、FRB の起源天体の理解が進むことが期待される。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

W52a The molecular gas kinematics in the host galaxy of non-repeating FRB 180924B

Tzu-Yin Hsu (NTHU), T. Hashimoto (NCHU), B. Hatsukade (Univ. of Tokyo) T. Goto (NTHU), P.-Y. Wang (NTHU), C.-T. Ling (NTHU), S. C.-C. Ho (ANU), and Y. Uno (NCHU)

Fast radio bursts (FRBs) are millisecond-duration transients with large dispersion measures. The origin of FRBs is still mysterious. One of the methods to comprehend FRB origin is to probe the physical environments of FRB host galaxies. Mapping molecular-gas kinematics in FRB host galaxies is critical because it results in star formation that is likely connected to the birth of FRB progenitors. However, most previous works of FRB host galaxies have focused on its stellar component. Therefore, we, for the first time, report the molecular gas kinematics in host galaxy of the non-repeating FRB 180924B at $z = 0.3216$. Two velocity components of the CO (3-2) emission line are detected in its host galaxy with the Atacama Large Millimeter/submillimeter Array (ALMA): the peak of one component ($-155.40 \text{ km s}^{-1}$) is near the centre of the host galaxy, and another (-7.76 km s^{-1}) is near the FRB position. The CO (3-2) spectrum shows asymmetric profiles with $A_{\text{peak}} = 2.03 \pm 0.39$, where A_{peak} is the peak flux density ratio between the two velocity components. The CO (3-2) velocity map also indicates an asymmetric velocity gradient from -180 km s^{-1} to 8 km s^{-1} . These results indicate a disturbed kinetic structure of molecular gas in the host galaxy. Such disturbed kinetic structures are reported for repeating FRB host galaxies using HI emission lines in previous works. Our finding indicates that non-repeating and repeating FRBs could commonly appear in disturbed kinetic environments, suggesting a possible link between the gas kinematics and FRB progenitors.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

W53a 高速電波バースト可視光放射への同時・追跡観測制限

平松大地, Edo Berger (CfA/IAIFI), Brian D. Metzger (Columbia/CCA), Sebastian Gomez (STScI), Allyson Bieryla (CfA), Iair Arcavi (Tel Aviv/CIFAR), D. Andrew Howell (LCO/UCSB), Ryan Mckinven (McGill), 富永望 (国立天文台)

高速電波バースト (Fast Radio Burst; FRB) は GHz 帯で観測される数ミリ秒の突発現象である。それらの高い分散量度 (Dispersion Measure; DM) は天の川銀河量 ($\sim 100 \text{ pc cm}^{-3}$) を超え、銀河系外の高輝度天体であることが分かっている。また、近年の観測サンプル数増加により、単発 (non-repeating) と多発 (repeating) FRB の存在が明らかになっている。しかし、それらの発生機構や多波長放射は未だ謎に包まれており、中性子星 (パルサー・マグネター) やブラックホールから超新星残骸までに至る幅広い母天体での高磁場現象が提案されている。

本講演において、我々は過去最大の可視光による FRB の同時・追跡観測のサンプル解析を発表する (Hiramatsu et al. 2022)。データセットは我々の同時・追跡観測と一般アクセス可能なサーベイ等から構成され、8 repeating & 7 non-repeating FRBs に対する可視光上限値である。その中でも、我々の FRB 20220912A ($DM = 220 \text{ pc cm}^{-3}$, $d_L = 340 \text{ Mpc}$) からの 13 バーストに対する同時可視光上限値は最も深く、光度で $\nu L_\nu \lesssim 10^{41} \text{ erg s}^{-1}$ 、ミリ秒スケールでの可視光・電波フラックス比で $f_{\text{opt}}/f_{\text{radio}} \lesssim 10^{-3}$ に及ぶ。これらの同時可視光上限値は銀河系外の FRB へのパルサーモデル等に対する制限は初めて可能にした。また、すべてのサンプル可視光上限値とシンクロトロンメーザーモデル予測の比較から、それぞれの FRB バーストエネルギーを $E_{\text{burst}} \lesssim 10^{43} - 10^{47} \text{ erg}$ 内に制限可能で、特に FRB 20220912A に対する上限値は電波の観測から推定されるパラメーター空間を厳しく制限するものである。最後に、今後の大型可視光望遠鏡による同時・追跡観測による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](#)

W54a Detection rate of fast radio bursts in the Milky Way with BURSTT

D. F.-J. Ling (NTU), T. Hashimoto (NCHU), S. Yamasaki (NCHU), T. Goto (NTHU), S. Kim (NTHU), S. C.-C. Ho (ANU), T. Y.-Y. Hsiao (JHU), and Y.-H. V. Wong (CU Boulder)

Fast radio bursts (FRBs) are intense bursts of radio emission with durations of milliseconds. Although researchers have found them frequently happening all over the sky, they are still in the dark to understand what causes the phenomena because the existing radio observatories have encountered certain challenges during the discovery of FRB progenitors. The construction of Bustling Universe Radio Survey Telescope in Taiwan (BURSTT) is being proposed to solve these challenges. We simulate mock Galactic FRB-like events by applying a range of spatial distributions, pulse widths, and luminosity functions (LFs). The effect of turbulent interstellar medium (ISM) on the detectability of FRB-like events within the Milky Way plane is considered to estimate the dispersion measure and pulse scattering of mock events. We evaluate the fraction of FRB-like events in the Milky Way that are detectable by BURSTT and compare the result with those by Survey for Transient Astronomical Radio Emission 2 (STARE2) and Galactic Radio Explorer (GREx). We find that BURSTT could increase the detection rate by more than two orders of magnitude compared with STARE2 and GREx, depending on the slope of LF of the events. We also investigate the influence of the specifications of BURSTT on its detection improvement. This leads to the fact that greatly higher sensitivity and improved coverage of the Milky Way plane have significant effects on the detection improvement of BURSTT. We find that BURSTT-2048 could further increase the detection rate of faint Galactic FRB-like events by a factor of 3.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

W55a 親星外層中を伝搬するガンマ線バーストジェットの3次元相対論的流体シミュレーション、解像度の影響

水田晃 (理化学研究所)、井岡邦仁 (京都大学)

ガンマ線バーストの中でもガンマ線の継続時間が2~3秒よりも長いバーストはロングガンマ線バーストに分類される。近傍でおきたロングガンマ線バーストの中には明るい超新星爆発を付随したものがあり、ロングガンマ線バーストの起源としてジェット状爆発を伴う特異な超新星爆発であるコラプサーモデルが提唱されている。親星中心が崩壊し、親星回転軸方向にジェットが形成され、ジェットに対して高密度となる親星外層中をジェットが伝搬し、やがて親星表面に達するとショックブレイクアウトを経て、ガンマ線放射フェーズに至る。

ガンマ線バーストジェットが親星外層伝搬する間、ジェットと親星外層との相互作用によって先端ではジェットの運動エネルギーが散逸され、熱化したガスは横方向に回り込み、高温高圧のコクーンとなってジェット全体を取り囲む。ジェットの収束はそのコクーン圧によって保たれるが、伝搬中、わずかに横方向に膨張、収縮を繰り返すため、ジェットとコクーンの接触不連続面に実行的加速度が生じ、レーリーテラー不安定性が成長することが指摘されている (松本ら (2013))。この不安定性は波長依存性が強いと考えられるため、これまでの計算よりも最大で4倍程度良い解像度計算まで行うことによって、親星外層中を伝搬するジェットの3次元相対論的流体シミュレーションにおける解像度の影響を調べた。解像度を上げていくと、より短波長モードの流体不安定性の成長が捕獲され、ジェットの一部は先端に達する前にコクーンとミキシングを起こす。高解像度計算になるほど、伝搬効率は落ちていくが、ジェット先端までミキシングせずに先端に達する成分も残り続け、典型的なガンマ線バーストジェットのパラメータでは親星外層を掘り進めることができる。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

W56a ロングガンマ線バーストに付随する熱的コクーン放射の光度曲線モデリング

鈴木昭宏 (東京大学)

宇宙最大の爆発天体現象であるガンマ線バースト (GRB) は、大質量星の重力崩壊や中性子星連星合体の際に天体中心部で駆動される相対論的ジェットによって発生することが知られているが、その詳細なメカニズムについては未だ不明な点が多い。大質量星の重力崩壊に伴う継続時間の長い GRB においては、ジェットが崩壊する星の中を突き抜ける結果、より等方に近い準相対論的エジェクタ成分 (コクーン) に無視できない割合のエネルギーがジェットから渡されることがシミュレーション等から確認されている。このようなエジェクタ成分からは様々な電磁波放射が期待でき、近傍で発見される低光度 GRB からの電磁波放射にも、準相対論的エジェクタ成分からの寄与がある可能性が指摘されている。

本研究では、GRB ジェットが星の外層あるいは星周物質と衝突することで作られる準相対論的エジェクタ成分からの熱的 UV 可視光放射を考え、GRB が付随する超新星において観測されている早期 UV 放射の説明を試みる。GRB ジェットと星周物質の衝突を計算した3次元流体シミュレーションの結果を元にした球対称の準相対論的エジェクタモデルを構築し、1次元放射流体力学シミュレーションを実行することで、準相対論的エジェクタが爆発1日程度でどのくらい UV で明るくなるかを計算した。その結果、SN 2006aj/GRB 060218 や SN 2017iuk/GRB 171205A といった、近傍の低光度 GRB に付随する早期 UV 放射は 10^{51} – 10^{52} erg 程度のエネルギーを持った準相対論的エジェクタからの熱的放射によってうまく説明できることが分かった。また、GRB を伴わなかったが準相対論的エジェクタからの熱的放射で早期 UV 放射が説明できるイベントとして、SN 2020bvc が挙げられる。本講演では、光度曲線モデリングの結果について述べ、準相対論的エジェクタのパラメータ依存性について議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

W57a Cocoon emission in neutron star mergers

Hamid Hamidani^{1,2}, and Kunihito Ioka² ¹ Astronomical Institute, Tohoku University, Aoba, Sendai 980-8578, Japan ² Yukawa Institute for Theoretical Physics, Kyoto University, Kyoto 606-8502, Japan

In the gravitational wave event GW170817, there was a ~ 10 hours gap before electromagnetic (EM) observations, without detection of the cocoon. The cocoon is heated by a short gamma-ray burst (*s*GRB) jet propagating through the ejecta of a Neutron Star (NS) merger, and a part of the cocoon escapes the ejecta with an opening angle of 20° – 30° . Here we model the cocoon and calculate its EM emission. Our 2D hydrodynamic simulations suggest that the density and energy distributions, after entering homologous expansion, are well-fitted with power-law functions, in each of the relativistic and non-relativistic parts of the escaped cocoon. Modeling these features, we calculate the cooling emission analytically. We find that the cocoon outshines the r-process kilonova/macronova at early times (10–1000 s), peaking at UV bands. The relativistic velocity of the cocoon's photosphere is measurable with instruments such as Swift, ULTRASAT and LSST. We also imply that energetic cocoons, including failed jets, might be detected as X-ray flashes. Our model clarifies the physics and parameter dependence, covering a wide variety of central engines and ejecta of NS mergers and *s*GRBs in the multi-messenger era.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

W58a ガンマ線バースト残光の流体スケール乱流磁場による偏光

桑田明日香, 当真賢二, 木村成生, 富田沙羅 (東北大), 霜田治朗 (名古屋大)

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ロン放射だと考えられている。この衝撃波では星間空間の磁場の増幅が起こっているが、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示唆されている。これほど強い磁場の増幅機構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。これまで考えられてきた磁場の増幅機構は、プラズマ不安定性と磁気流体不安定性の二つがあり、それぞれプラズマ慣性長程度のスケールと流体スケールの乱流磁場を生成する。前者のプラズマスケールの乱流磁場による偏光はよく調べられており (e.g. Sari 1999; Shimoda & Toma 2021)、一部の観測と非整合的である。また、このスケールの乱流磁場は衝撃波下流ですぐ減衰するという可能性も指摘されている。そのため本研究では、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、等方乱流磁場かつジェットの見込み角が 0 度の場合では、平均的には電波偏光度が可視偏光度と同程度であるが、電波偏光度のほうが高くなる時間帯もあるという特徴が見られた。これはプラズマスケール乱流磁場での振る舞いとは異なる。一方で、非等方乱流磁場かつ斜めからジェットを見た場合には、ジェットブレイク時刻の付近でプラズマスケール乱流磁場による偏光と同様な振る舞いを示すことがわかった。これらの結果は、流体スケール乱流磁場モデルはこれまでの残光偏光の観測結果と無矛盾であることを示す。本発表では、乱流磁場に一樣磁場を足した場合の結果についても議論する。近年 ALMA と VLT による電波と可視の偏光同時観測がなされ始めており、それによって磁場構造が制限できると期待される。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

W59a 相対論的衝撃波における下流乱流磁場生成効果による粒子加速

森川莞地, 大平豊 東京大学

ガンマ線バーストや活動銀河核における相対論的衝撃波での最高エネルギー宇宙線加速が期待されている。しかしながら、そのメカニズムは長年研究が続けられているものの、未だ明らかにはなっていない。

相対論的衝撃波において上流密度の非一様性が衝撃波面を通して衝撃波下流において乱流ダイナモを駆動することがわかっている。乱流ダイナモは時間発展とともに磁場増幅を導くので、粒子加速に大きく寄与すると考えられる。そこで、上流の非一様密度構造を取り入れた相対論的な MHD シミュレーションを行い、電磁場を計算した。また、そのような電磁場中で粒子加速が可能かどうかということもテスト粒子シミュレーションを行い、2022 年秋季年会で報告した。

本発表では、相対論的 MHD シミュレーションにおける、計算資源増加や更なる長時間発展、またテスト粒子シミュレーションにおける、粒子のエネルギースケールや空間構造などのパラメータサーベイなど、さまざまな状況下での粒子加速を計算し、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](#)W60a 観測史上最も明るいガンマ線バースト GRB 221009A の MAXI, *Swift*, NICER による観測小林浩平, 根来均 (日大), 杉田聡司, 芹野素子, 平松裕貴 (青学), 岩切渉 (千葉大), 三原建弘 (理研), 河合誠之 (東工大) 他 MAXI チーム, Brad Cenko (NASA/GSFC), Maia Williams, Jamie Kennea (PSU) 他 *Swift* チーム, NICER チーム

GRB 221009A は, *Swift*/BAT により 10 月 9 日 14:10 (UT) に発見された (Dichiara+ GCN 32632/ATel #15650). BAT による検出の約 81 分後の 15:31 に MAXI/GSC 突発天体発見システムにより自動検出されたが、その後、ISS から地上への通信の中断により遅れて配信されたデータから BAT 検出前の 13:58 にもそれまで最も明るい 4-10 keV で約 2.5 Crab の強度で検出されていることがわかり、ATel に速報した (Negoro+ ATel #15651). 同天体は、当初、X線新星 *Swift* J1913.1+1946 として報告されたが、*Fermi*/GBM により MAXI 検出前の 13:21 に同天体領域から 10-1000 keV で約 2385 photons/cm²/s に達するバーストが観測され、観測史上最も明るいガンマ線バースト (GRB) であることが分かった (Lesage+ GCN 32642).

GSC により得られたエネルギースペクトルは、星間吸収を受けた冪関数モデルで表せ、吸収量を XRT から得られた値 (Kennea+ GCN 32651) に固定すると、13:58, 15:31, 17:04 の 3 つのスキャンで冪か約 1.93, 2.1, 2.1 となり、吸収を含まない 2-10 keV の強度がそれぞれ約 (6.1, 1.1, 0.7) × 10⁻⁸ erg/cm²/s (1 Crab = 2.4 × 10⁻⁸ erg/cm²/s) と GRB の afterglow としては極めて大きな値が得られた (Kobayashi+ GCN 32756/ATel #15677).

現在、*Swift*, NICER チームと連携して、観測されたダストリングの影響を含め、同天体の特徴について詳細に調べている。本講演では、MAXI での観測結果を中心にそれらの結果についても報告する。

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

W61a スーパーカミオカンデ実験におけるガンマ線バースト GRB221009A 由来のニュートリノ探索

藤田紗希 (東京大学 Kavli IPMU), Xubin Wang (東京大学 ICRR), 中野 佑樹 (東京大学 ICRR), 奥村公宏 (東京大学 ICRR), Mark Vagins (東京大学 Kavli IPMU), 他 Super-Kamiokande Collaboration

ガンマ線バーストは宇宙で最も激しい爆発現象である。2022 年 10 月 9 日に観測史上最も強力なガンマ線バースト GRB 221009A が多数のガンマ線観測所 (Swift, Fermi-GBM, LHAASO など) で検出された。この GRB はバースト継続時間が数百秒と長く、ロングガンマ線バーストと分類され、それらは巨星の重力崩壊に伴う現象だとする解釈が有力だが、まだその起源や発生機構は謎に包まれている。また、岐阜県飛騨市の地下に設置された世界最大の水チェレンコフ素粒子観測装置スーパーカミオカンデでは、天体起源のニュートリノをとらえることによって電磁波観測とは異なる方法でその天体を「見る・研究する」ことができる。そこで、GRB 221009A の発生時刻周囲で 3 つの時間ウィンドウを想定し、スーパーカミオカンデで GRB 由来のニュートリノを探索した。最終的なデータは、どの時間ウィンドウ内でもバックグラウンド期待値を有意に超える信号は得られなかった。この結果から、GRB 由来のニュートリノのフルエンス上限値を計算し、GRB のニュートリノ放射に制限をかけた。

[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](#)

W62a 重力波に付随するニュートリノ信号の予言：GRB211211A を用いた検証

松井理輝, 木村成生 (東北大学)

短い種族のガンマ線バースト (sGRB) の X 線光度曲線に頻繁に見られる Extended Emission と呼ばれる成分は、中心エンジンの長期的活動を示唆している。ジェットの継続時間が長い場合、ジェットを取り囲むコクーンを満たす光子が、ジェットの散逸領域に侵入しうる。そこで我々は、ジェットで加速された宇宙線とジェットに侵入するコクーンの光子の相互作用で生成されるニュートリノの放射モデルを構築した。本発表では、このモデルを GRB211211A に適用した計算結果を紹介する。GRB211211A は、キロノバの付随が報告されたロングガンマ線バーストである (Rastinejad et. al 2022)。即時放射に続く成分では Extended Emission も確認されている。このことから、GRB211211A の前駆天体は中性子星連星合体であると考えられ、sGRB に用いたモデルを適用できる。本研究では、コクーンを考慮したモデルをもとに GRB211211A から検出できるニュートリノ数の期待値を計算した。このとき、散逸半径、ジェットのローレンツ因子としてさまざまな値を用いて計算を行った。得られた値は、GRB211211A によるニュートリノが IceCube で未検出であることに矛盾しないものであった。散逸半径が小さく、ローレンツ因子が大きい場合では、将来計画 IceCube-Gen2 であればニュートリノを検出する可能性があった。この結果を用いて、将来似たようなガンマ線バーストが発生したとき、物理量に制限を与えることができる。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

W63a ガンマ線バーストの可視・電波偏光同時観測から測る真の全エネルギー

當真賢二 (東北大), 浦田裕次 (NCU), S. Covino (INAF), K. Wiersema (Warwick 大), K. Huang (CYCU), 霜田治朗 (名古屋大), 桑田明日香 (東北大), 長尾颯太 (東北大), 浅田圭一 (ASIAA), 永井洋 (NAOJ), 高橋智子 (NAOJ), C.-E. Chung (NCU), 山岡和貴 (名古屋大), 田代信 (JAXA), 他 5 名

ガンマ線バースト (GRB) はガンマ線の空で最も明るい天体であり、初代星の探査、重力波放射源の同定、相対論的ジェットや衝撃波の研究などに関わって活発に研究されている。GRB の残光は星間媒質を伝播する相対論的衝撃波からのシンクロトロン放射であり、電波から高エネルギーガンマ線にわたる広い波長帯で観測される。これまで残光の偏光は主に可視光で測られており、電波の偏光が近年我々のグループなどが ALMA を使って初検出に成功している (Urata, Toma et al. 2019, ApJL)。観測と放射モデルの比較から衝撃波の全エネルギーを推定することは、GRB を起こす天体の質量や爆発機構を探る上で本質的に重要である。

今回、我々は VLT と ALMA を用いて、Long GRB 191221B の可視と電波の偏光の同時観測に成功した (Urata, Toma et al. 2022, Nature Astronomy)。観測したのはバーストから 2.5 日後で、偏光度が可視で $1.3\% \pm 0.2\%$ 、電波で上限値 0.6% (3σ) であった。そして偏光角が $16.6 \pm 9.6^\circ$ 異なっていた。電波・可視の偏光角の相違と可視偏光の時間発展から、シンクロトロン放射を作る磁場がプラズマ運動論スケールで乱れた磁場ではなく、流体スケールで乱れた磁場であることがわかった。さらに、低い電波偏光度は、陽子温度程度にまで加熱されていない電子によるファラデー消偏波効果で説明できる。加熱されていない電子の存在により、陽子の数も多いことになり、それを考慮しない従来の評価法に比べ、衝撃波の全エネルギーは ~ 3.5 倍以上大きくなることがわかった。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

W64a 超高エネルギーガンマ線バーストの二成分を持つジェットからの多波長残光放射

佐藤 優理, 大林 花織 (青学大), B. Theodre Zhang (京大基研), 田中 周太 (青学大), 村瀬 孔大 (ペンシルベニア州立大), 大平 豊 (東大), 山崎 了 (青学大)

ガンマ線バースト (GRB) とは、 $10^{-1} - 10^3$ 秒の間に、 $10 \text{ keV} - 1 \text{ MeV}$ のガンマ線が観測される現象である (即時放射)。即時放射の発生直後から、数日から数年にかけて、電波からガンマ線までの多波長残光が観測される。正体不明の中心エンジンから放出された相対論的ジェットを進行方向のほぼ真正面から見た場合に GRB として観測されると考えられている。GRB がジェットであるという理論予言の一つに、即時放射が伴わず、残光のみが検出される orphan afterglow が考えられているが、これまでに確定的な検出例は報告されていない。近年になり、5 つの GRB (GRBs 180720B, 190114C, 190829A, 201216C, 221009A) から超高エネルギーガンマ線 (TeV ガンマ線) 光子の検出が報告された。その中で、GRB 190829A については、即時放射のエネルギーが通常の GRB よりも一桁以上小さいという特徴を持つ。我々はこれまでに GRB 190829A の多波長残光を説明するために、開口角が異なる二つのジェットを持つ二成分ジェットモデルを考えた。開口角が小さいジェットを斜めから見込むことにより、GRB 190829A の即時放射のエネルギーが小さいことを説明可能であることがわかった。GRB 190829A 以外の TeV ガンマ線イベント (GRBs 180720B, 190114C, 201216C) は、典型的な即時放射のエネルギーを持っており、ジェットを真正面から見たと考えられている。本講演では、GRB 190829A で決まった二成分ジェットを真正面から見た場合に、GRBs 180720B, 190114C, 201216C の多波長残光を説明可能か紹介する。さらに、開口角が大きいジェットを斜めから見込んだ場合に、CTA によって、orphan afterglow を検出可能か述べる。

[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](#)

X01a The Formation of Pop III Star Clusters under UV radiation

Oerd Xhemollari, Hidenobu Yajima, Makito Abe (University of Tsukuba)

In the primordial mists of the simplest elements, gas is found to be falling into the gravitational potential wells of dark matter (DM) and accumulating. Eventually, at redshifts $z \sim 10 - 30$, in minihaloes of masses $M \sim 10^5 - 10^6 M_\odot$, the first stars (Pop III stars) are expected to form. This work aims to look into star formation, and related processes to galaxy formation, under a low-moderate external feedback. The Lyman-Werner(LW) radiation is responsible for destroying the hydrogen molecules, which are crucial for an efficient cooling in the early Universe, thus affecting directly star formation. To perform our simulations we use the smoothed particle hydrodynamic N-body/SPH code GADGET-3 and reach a spatial resolution of ~ 42 comoving pc, SPH particle mass $\sim 12 h^{-1} M_\odot$, and dark matter particle mass $\sim 67 h^{-1} M_\odot$, of halo masses of $\sim 10^8 h^{-1} M_\odot$. We resolve minihaloes and follow galaxy formation until redshift $z = 9$, in which different values of LW radiation are implemented. We perform two dark matter simulations with different initial conditions and select five haloes to import among them for the zoom-in simulations with resolution $(4096)^3$. The relation between star formation, collapsing halo mass and UV strength is investigated. Results reveal that star formation is more effectively suppressed when radiation is stronger, accumulating more mass while delaying the collapse, and leading to the formation of larger and more concentrated structures. The collapsing mass increases with the UV background. If the physical quantities are of values within the observability limitations of current and future missions, then these structures and scenarios might provide a fairly good interpretation of what will be witnessed.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

X02a The Age of Discovery with the James Webb Space Telescope: Excavating the Spectral Signatures of the First Massive Black Holes

稲吉恒平 (北京大学/KIAA)

The James Webb Space Telescope (JWST) will open a new window into the most distant universe and unveil the early growth of supermassive black holes (BHs) in the first galaxies. We model the spectral energy distribution (SED) of rapidly accreting BHs in metal-poor galaxies at $z > 8$, applying postprocess line transfer calculations to radiation hydrodynamical simulation results. Here, we focus on the phase where a nuclear seed BH with initial mass of $10^5 M_\odot$ is fed with a dense gaseous disk embedded in bulge stars with a total mass of $M_\star \gtrsim 100 M_\bullet$ and grows in mass nearly tenfold within ~ 2 Myr. We find that exposures of 10ks with the NIRCам and MIRI broad-band filters are sufficient to detect the radiation flux from the seed BHs with bolometric luminosities of $L_{\text{bol}} \simeq 10^{45} \text{ erg s}^{-1}$. While the continuum colors are similar to those of typical low- z quasars, strong H α line emission with a rest-frame equivalent width $\text{EW}_{\text{rest}} \simeq 1300 \text{ \AA}$ is so prominent that the line flux affects the broad-band colors significantly. The unique colors, for instance F356W–F560W $\gtrsim 1$ at $7 < z < 8$ and F444W–F770W $\gtrsim 1$ at $9 < z < 12$, provide robust criteria for photometric selection of the rapidly growing seed BHs. Moreover, NIRSspec observations of low-ionization emission lines can test whether the BH is fed via a dense accretion disk at super-Eddington rates. Finally, we discuss a candidate of a super-Eddington accreting BH with $\sim 10^6 M_\odot$, which was selected from the first near-infrared images of the JWST CEERS project based on the SED fitting analysis.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

X03a Morphologies of Galaxies at $z \simeq 9 - 16$ Uncovered by JWST/NIRCam Imaging

Y. Ono (UTokyo), Y. Harikane (UTokyo), M. Ouchi (NAOJ/UTokyo), H. Yajima (Tsukuba), M. Abe (Tsukuba), J. H. Wise (Georgia Tech), Y. Isobe (UTokyo), T. Shibuya (Kitami), Y. Zhang (UTokyo), K. Nakajima (UTokyo), H. Umeda (UTokyo)

We present morphologies of galaxies at $z \sim 9-16$ resolved by JWST/NIRCam 2–5 μm imaging. Our sample consists of 23 galaxy candidates identified by stringent dropout and photo- z criteria in GLASS, CEERS, SMACS J0723, and Stephan's Quintet flanking fields. We perform surface brightness (SB) profile fitting with GALFIT for 6 bright galaxies with S/N = 10–40 on an individual basis and for stacked faint galaxies with secure point-spread functions (PSFs) of the NIRCam real data, carefully evaluating systematics by Monte-Carlo simulations. We compare our results with previous JWST results, and confirm that the obtained effective radii r_e are consistent with the previous measurements at $z \sim 9$. We obtain $r_e \simeq 200-300$ pc with the exponential-like profiles, Sérsic indexes of $n \simeq 1-1.5$, for galaxies at $z \sim 12-16$, indicating that the relation of $r_e \propto (1+z)^s$ for $s = -1.19_{-0.15}^{+0.16}$ explains cosmic evolution over $z \sim 0-16$ for $\sim L_{z=3}^*$ galaxies. One bright ($M_{UV} = -21$ mag) galaxy at $z \sim 12$, GL-z12-1, has an extremely compact size with $r_e = 61 \pm 11$ pc that is surely extended over the PSF. Even in the case that the GL-z12-1 SB is fit by AGN+galaxy composite profiles, the best-fit galaxy component is compact, $r_e = 78_{-12}^{+30}$ pc that is significantly ($> 5\sigma$) smaller than the typical r_e value at $z \sim 12$. Comparing with numerical simulations, we find that such a compact galaxy naturally forms at $z \gtrsim 10$, and that frequent mergers at the early epoch produce more extended galaxies following the $r_e \propto (1+z)^s$ relation.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

X04a Mass-Metallicity Relation of Galaxies at $z = 5 - 9$ with Improved Reduction and Calibration of First Batch of JWST/NIRSpec Data

Kimihiko Nakajima (NAOJ), Masami Ouchi (NAOJ/Univ. Tokyo), Yuki Isobe, Yuichi Harikane, Yechi Zhang, Yoshiaki Ono, Hiroya Umeda (Univ. Tokyo)

The metallicity of the inter-stellar medium in galaxies is a key property for understanding the physical processes that regulate the galaxy growth, such as star formation/explosion, outflow of metal-enriched gas, and infall of metal-poor gas. Interestingly, there is a clear relationship between galaxy mass, metallicity, and star formation rate (SFR) that is claimed to be redshift-independent from $z = 0$ to 3, suggesting that galaxies have metallicity equilibrium conditions for the balance between star formation, gas outflow and infall, possibly in the same form over the past 12 billion years. The next important question is whether the same relation holds for galaxies at higher redshifts. Here we summarize mass-metallicity (MZ) relation studies on galaxies at $z = 5-9$ with the JWST/NIRSpec data, presenting new results of our carefully improved reduction and calibration. Using our fluxes and errors, we obtain the MZ relation notably for four Early Release Observations' galaxies at $z = 6.3-8.5$ with an electron temperature measurement, and find no significant evolution from $z = 2-3$. The same conclusion is reached by adding >10 objects from the other data releases of the first batch of the NIRSpec observations whose metallicities are empirically derived. Importantly, the MZ-SFR relation does not evolve from $z = 0$ to $z = 5-9$ within $\Delta \log(\text{O}/\text{H}) = 0.3$ dex, suggesting that chemical properties of the gas-phase inter-stellar medium of galaxies at $z = 5-9$ are very similar to those of lower-redshift counterparts.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

X05a Early Results on Early Galaxies from the GLASS JWST Early Release Science Program

T. Morishita (Caltech/IPAC), G. Roberts-Borsani (UCLA), T. Treu (UCLA), M. Bradac (University of Ljubljana), G. Brammer (DAWN), A. Fontana (INAF), A. Henry (STScI), C. Mason (DAWN), L. Pentericci (INAF), X. Wang (UCAS), and the GLASS JWST ERS team

The James Webb Space Telescope offers unprecedented sensitivities and spatial resolution in near- and mid-infrared wavelengths. Among nearly 300 science programs scheduled in Cycle 1, there are 13 programs that were pre-selected in a category called the Early Release Science (ERS). These programs are designed to advance the community's understanding and early use of data from this new observatory, and thus all data taken therein have been/will be released immediately without a proprietary period. The Grism Lens-Amplified Survey from Space (GLASS) is one of the ERS programs, targeting the Abell 2744 field, a massive cluster of galaxies at $z = 0.308$. In this presentation, we present the overview of our program and early results with the NIRSpec and NIRCам instruments. We will then highlight our spectroscopic confirmation and characterization of $z > 7$ galaxies, including the galaxy overdensity of six galaxies at $z = 7.88$. We will also introduce our efforts on making high-level science data products and inspection tools publicly available.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

X06a JWST observations of ALMA [O III] 88 μm emitters in the epoch of reionization

T. Hashimoto¹, J. Alvarez-Marquez², L. Colina², A. K. Inoue³, R. Marques-Chaves⁴, S. Arribas², T. Bakx⁵, D. Ceverino⁶, H. Matsuo⁷, K. Mawatari⁷, M. Pereira-Santaella², Y. Tamura⁵, N. Yoshida⁸, L. Costantin², A. Crespo², Y. Fudamoto^{3,7}, Y. Sugahara^{3,7}, M. Hagimoto⁵, T. Hashigaya⁹, Y. Nakazato⁸, Y. W. Ren³, M. Usui¹ (¹Tsukuba Univ., ²El Centro de Astrobiologia, ³Waseda Univ., ⁴Geneva Observatory, ⁵Nagoya Univ., ⁶Universidad Autonoma de Madrid, ⁷NAOJ, ⁸U. Tokyo, ⁹Kyoto Univ.)

Understanding properties of galaxies in the epoch of reionization (EoR) is a frontier of modern astronomy. With ALMA, it has become possible to detect far-infrared fine structure lines (e.g., [C II] 158 μm and [O III] 88 μm) and dust continuum emission in star-forming galaxies in the EoR. ALMA observations have revealed that i) some [O III] 88 μm emitters have matured stellar populations at $z > 6$, implying early star formation activity at $z > 10$, and that ii) high- z star-forming galaxies typically have very high [O III] 88 μm -to-[C II] 158 μm luminosity ratios ranging from 3 to 12 or higher, indicating interstellar media of high- z galaxies could be highly ionized. In this talk, we will discuss initial results of a medium-sized JWST GO1 program that targets a sample of 12 $z \sim 6-8$ ALMA [O III] 88 μm emitters with NIRCам and NIRSpec IFU modes (PIs: J. Alvarez-Marquez and T. Hashimoto). Our JWST GO1 program, in conjunction with ALMA data, will characterize the stellar, nebular, and dust properties of these [O III] 88 μm emitters and explore the contribution of this galaxy population to cosmic reionization.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

X07a EIGER 初期成果: 宇宙再電離における銀河の役割と銀河間ガスの進化および超大質量ブラックホールの形成

柏野大地 (名古屋大学), EIGER チーム

EIGER サーベイ (Emission-line galaxies and Intergalactic Gas in the Epoch of Reionization) の初期結果を発表する。これは 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査を行うプログラムである。我々は超高光度クェーサー J0100+2802 ($z = 6.327$) 領域の観測から、 $z = 5.3-7$ にかけて 110 個以上の [O III] $\lambda 5008\text{\AA}$ 輝線銀河が分光検出した。これらの銀河は、[O III] 輝線等価幅が大きく (静止系 $\sim 1000\text{\AA}$)、低金属量 ($\sim 0.1Z_{\odot}$) で、複雑な形態を示すことを見出した。またこれらの銀河サンプル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、異なる赤方偏移範囲における主要な電離放射源を特定した。特に $z \sim 5.9$ において、サンプル銀河の周囲で Ly α /Ly β 透過が超過していること、すなわち銀河による銀河間ガスの電離を示す直接的な証拠を発見した。さらに、我々はクェーサーの周囲 ($z = 6.33$)、前景 ($z = 6.19$) および背景 ($z = 6.78$) にそれぞれ強い銀河密度超過の発見し、この極めて明るい宇宙最古のクェーサーの一つが密度超過領域で形成されていることを明らかにした。また、静止系可視光の H β 輝線に基づく超大質量ブラックホールの質量を推定し、これが Mg II 二重輝線から推定されたものと整合することを確認し、PSF 限界において重力レンズを受けた証拠が見られないことを示し、クェーサーホスト銀河の広がった [O III] 輝線を直接検出した。また $4 < z < 6.3$ にわたって既知の金属吸収線系のホスト銀河候補を 17 個特定した。これに加え、2022 年 12 月から 23 年 1 月にかけて新たに実施される予定の 3 つのクェーサー領域での観測の結果も紹介する予定である。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

X08a 遠方銀河シミュレーションを用いた [O III] 輝線強度計算と輝線比診断

仲里佑利奈, 吉田直紀 (東京大学), Daniel Ceverino (the Universidad Autonoma de Madrid)

近年の ALMA 観測によって赤方偏移 $z \sim 6-10$ の遠方銀河からの [O III] $88\mu\text{m}$ が検出され (e.g. Hashimoto et al. 2018, Laporte et al. 2021)、最新の JWST の分光観測でも $z \sim 6-10$ の銀河から [O III] 5007\AA といった静止系可視光の輝線が検出された (e.g. Carnall et al. 2022, Williams et al. 2022)。これらの輝線は主に大質量星周辺の電離領域から放射され、遠方銀河の星形成領域の描像を明らかにするために不可欠である。

本研究では、高分解能のズームイン銀河形成シミュレーション FirstLight (Ceverino et al. 2017) と輻射輸送計算コード CLOUDY を用いて各星粒子の周りの電離領域をモデル化し、銀河サンプル 62 個の [O III] 輝線強度を計算した。 $z = 9$ から $z = 6$ にかけて $L_{[\text{O III}]}$ -SFR の関係を調べたところ、近傍で同じ星形成率の銀河よりも [O III] 輝線強度が ~ 10 倍大きいことが分かった。これは低金属量かつ大質量星による高い電離パラメータが遠方銀河で実現している為だといえる。さらに、星質量-金属量関係をみると近傍銀河の関係よりも傾きが急であり、大質量銀河ほど化学進化が早いことが分かった。この傾向は、最新の JWST 観測結果と整合する。

最後に、ALMA で観測可能な [O III] $88, 52\mu\text{m}$ と JWST で観測可能な [O III] 5007\AA を組み合わせることで、遠方銀河の星形成領域の金属量と電子密度を推定する輝線比診断を提案する。

[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](#)

X09b $4 \lesssim z \lesssim 7$ の星形成銀河における超大質量ブラックホールの成長率と母銀河との関係

松井思引, 嶋作一大, 伊藤慧, 安藤誠, 田中匠 (東京大学)

$z = 0$ において超大質量ブラックホール (SMBH) の質量 M_{BH} と母銀河の質量 M_{star} には正の相関があり、両者が共進化してきたことを示唆している。共進化の過程を明らかにするには遠方銀河について調べる必要があるが、遠方銀河ではクエーサーを除いて M_{BH} の測定は困難である (クエーサーには M_{star} を求めづらいという問題もある)。一方、 M_{BH} の時間微分 dM_{BH}/dt (ブラックホール降着率: BHAR) であれば、X 線での観測などから M_{BH} よりも容易に求められる。個別には X 線で受からない大多数の銀河についても、X 線画像のスタッキング解析によって平均的描像を得ることができる。こうした理由から BHAR と星形成率 (SFR) の関係は遠方の銀河でも調べられているが、 $z \gtrsim 4$ での研究はまだ少ない。

本研究では Chandra Legacy Survey の深い X 線画像がある COSMOS 領域において、すばる Hyper Suprime-Cam 戦略枠観測で得られている約 12000 個の $4 \lesssim z \lesssim 7$ のライマンブレイク銀河について、X 線で個別検出された天体を除いてから、X 線画像のスタッキング解析によりより UV 等級ごとの BHAR を評価し、母銀河の SFR、ダークマターハロー質量 M_h およびダークマターハロー降着率 HAR との関係調べた。その結果、BHAR/SFR も BHAR/HAR も、 $z = 0$ の銀河での対応する質量比 ($M_{\text{BH}}/M_{\text{star}}, M_{\text{BH}}/M_h$) より小さいことがわかった。講演では、これらの結果を報告するとともに、クエーサーの観測から得られている結果と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](#)

X10b 高赤方偏移に存在する Quenching 銀河の形成メカニズムの解明

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。

この疑問を解決するため、形成初期の星形成をやめている天体を探る研究が精力的になされている。しかしながら、このような大質量で星形成をしていない銀河は、 $z > 3$ の高赤方偏移ではまだまだ確認が進んでおらず、宇宙論的シミュレーションでも再現できない場合が多い。そこで本研究では、この星形成をやめている天体の最遠方天体の検出を目指し、keck/MOSFIRE による近赤外線での分光フォローアップ観測を行った。広い領域に渡って深い多色データのある COSMOS 領域に着目し、赤方偏移 4.5 にある銀河を分光的に確認した。非常に暗い天体ではあったものの、スペクトル解析において弱い $[\text{O II}]$ 輝線やバルマーブレイクを確認できた。このスペクトルと測光データを組み合わせ、種族合成モデルを用いた SED フィッティングを行い、銀河の物理量を推定した。本講演では SED フィットの結果やこの銀河の星形成史について議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

X11b Near-Infrared Characterization of Ultra-Diffuse Galaxies in Abell 2744 Cluster by JWST/NIRISS imaging

池田遼太 (総研大), 森下貴弘 (IPAC), 津久井崇史 (オーストラリア国立大学)

We present a search and characterization of ultra-diffuse galaxies (UDGs) in the Frontier Fields cluster Abell 2744 at $z = 0.308$. We use the JWST/NIRISS F200W filter, taken as part of the GLASS-JWST Early Release Science Program, aiming to characterize morphologies of cluster UDGs and their diffuse stellar components. A total number of 21 UDGs are identified by our selection criteria using morphological parameters, while we also find 10 diffuse galaxies with disturbed morphologies. These galaxies cannot be characterized by a single Sérsic component and are indicative of interacting systems. We find that the selected UDGs are systematically larger in F200W than in F814W, which implies that some of them will not necessarily be identified as UDGs when selected at rest-frame optical wavelengths, having a radius of $R_{e,cir} < 1.5$ kpc. About one third of the UDGs were not identified in previous study based on the F814W filter. Our selection based on the F200W imaging allows us to identify UDGs down to $M_* \sim 10^7 M_\odot$, in which they show a flat distribution in the stellar mass-size plane, similar to what is found for cluster quiescent galaxies at the comparable mass. Our pilot study using the new F200W filter of JWST showcases the efficiency of searching UDGs at cosmological distances, with 1/30 of the exposure time of the previous deep observing campaign with HST. Further studies with JWST focusing on spatially-resolved properties of individual sources will provide insight into their origin.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

X12b 重力レンズ天体を判別する機械学習モデルの作成

石田侑一郎 (九州大), Kenneth Wong (国立天文台)

強い重力レンズ天体とは遠方の天体からの光が、銀河の重力によって、経路を曲げられて観測される天体である。重力レンズ効果は銀河のダークマターを含めた総質量によって引き起こされるため、銀河のダークマターを含めた全質量を測定することができる数少ない手法である。しかし、強い重力レンズは非常に珍しく、数万から数十万の銀河の中から探し出す必要があり、人が目視で探し出すことは非常に難しい。そのため、機械学習を用いた強い重力レンズ天体の自動探査が効率的で (Canameras et al. 2021; Shu et al. 2022)、本研究では畳み込みニューラルネットワークを用いて重力レンズ天体かどうかを判別する機械学習モデルを議論する。機械学習モデルを訓練するためのデータセットとして、擬似重力レンズ天体の画像 (Jaelani et al. in prep.) と、重力レンズを受けていない銀河の画像の 2 種類を用意した。重力レンズを受けていない銀河の画像は、すばる望遠鏡 HSC-SSP の g , r , i バンドの画像を用いた。擬似重力レンズ天体の画像は、同じく HSC-SSP から得られた重力レンズを受けていない銀河の画像をもとにして、人工的に生成した画像である。作成した機械学習モデルは、実際に HSC-SSP から得られた重力レンズ天体の画像 (Sonnenfeld et al. 2018, 2020; Wong et al. 2018) と重力レンズを受けていない銀河の画像からなるテスト用データセットを利用して評価した。その結果、作成した機械学習モデルは精度良く重力レンズ天体を判別することができた。また、共通のテストデータを用いて評価を行うことで、別の訓練用データセットを用いた機械学習モデルとの比較を行った。ポスターではその詳細を議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

X13b 深層学習を用いた渦巻銀河の S 型・Z 型の分類

河田元氣, 吉田健二 (芝浦工業大学), 家正則 (国立天文台)

宇宙には数多くの銀河が存在し、それらが相互に作用しあうことで多種多様な銀河形態を形成する。銀河形態を詳細に分類することは銀河形成や進化の過程を理解することに繋がり、宇宙構造を解明するうえで重要である。近年、観測機器の高性能化から膨大な量の銀河画像データが提供されており、人間の目で銀河形態を一つずつ分類することは多大な労力と時間が求められる。そこで、機械学習や深層学習を用いた銀河形態の自動分類による効率化が有効である。特に、深層学習は画像分類分野において広く用いられており、人間の認識精度を上回る結果が報告され注目されている手法である。

渦巻銀河の点球面での渦の向きが S 型か Z 型かを分類することは、銀河のスピ角運動量の視線方向成分の符号判定の指標となり、銀河回転の分布の大規模な解析に利用することができる。我々が目視によって渦巻銀河を S 型・Z 型に分類した銀河形態カタログと Dark Energy Survey (DES) が公開する銀河画像データを用い、教師あり学習による S 型・Z 型の分類モデルを構築した。DES から入手した画像にはノイズの影響が強く銀河形態が分かりにくいものが存在する。そのため、本研究ではノイズ除去、マスク処理などの前処理を用いて対処し、畳み込みニューラルネットワークを活用して S 型・Z 型の分類、精度評価を行った。本発表では、銀河画像データに対する前処理による分類精度の向上について詳細な報告を行う。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

X14b 異常検知を用いた暗黒物質サブハロー探索システムの構築

坂本朋弥, 吉田健二 (芝浦工業大学)

暗黒物質は、近年の宇宙観測の結果より宇宙の構成要素の 27 パーセントを構成しているとされている。また現在、我々の銀河には多くのサブハローが存在しているとシミュレーションの中では考えられている。しかし、実際に観測してみるとその数は数えるほどしか観測できず、シミュレーションの数とは程遠くなっている。これは「サブハローの個数の問題」と呼ばれている。これを解決する一つの考察として、サブハローが暗黒物質によって構成されているというものがある。その結果、サブハローが光を放射しないため直接観測ができず、また間接観測においても AGN やパルサーのような特徴を持ったガンマ線の放射を行わないため、見逃されていると考えられる。そこで本研究ではマハラノビス距離を用いた異常検知の手法を用いて、暗黒物質サブハロー探索システムを構築した。

先ほど挙げた AGN やパルサーを正常と定義し、それらを用いて基準空間を作成する。そこで得られた基準空間を、未同定天体に適用することによって AGN やパルサーなどとは異なったガンマ線放射をするものを発見する。データは Fermi-LAT から得られる 4FGL カタログを使用した。また基準空間を作成する際に、非線形のカーネル法を適用するなど様々な変換を行った。本発表ではそれらの結果とともに異常天体の候補を報告する。

[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](#)

X15b HSC-SSP データを用いた天の川銀河トモグラフィー 2

鈴木善久, 千葉征司 (東北大学), 林航平 (一関高専), 小宮山裕 (法政大学), 田中賢幸 (国立天文台), Scott G. Carlsten (プリンストン大学), 高田昌広, 常盤晟, Tian Qiu (東京大学)

冷たい暗黒物質に基づく階層的構造形成論によると、天の川銀河 (MW) のような銀河は小銀河が重力相互作用による合体・降着を繰り返すことで形成されてきたと考えられている。この過程を通して、銀河全体を覆う希薄な球状の領域であるハローが形成されてきたとされる。私たちの属する MW は、ハローを恒星単位で観測的に調査可能な銀河として、これまでに多くの研究がなされてきた。大規模観測の進展により、現状 MW 中心から 20-30kpc 以内においては多数の星団が確認され化学動力的観点での理解が進みつつある一方で、MW 外縁部においては数個程度しか観測例が存在しない。

今回私たちはすばる戦略枠プログラム (HSC-SSP) の Wide 領域の全データを用いて、MW 外縁部に残る星団を探索した。効率的な検出のために、恒星進化論に基づく等時曲線を用いたフィルターを作成した。その結果、これまでに発見されていない星団の候補が検出された。本講演ではその物理的性質およびその起源について議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

X16a 高赤方偏移の銀河衝撃波による銀河間空間における構造形成

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うち半分程度しか確認できていない。残りのバリオンがどのような形態でどこに存在するのかを明らかにすることは、現代の構造形成の詳細を詳らかにするために必修の研究である。こういったミッシングバリオンの正体を明らかにするためには、高赤方偏移、特に宇宙再電離期における天体構造形成過程の詳細を明らかにする必要があるだろう。そこで我々は、この時期の観測に対する技術的制約を踏まえ、様々な天体形成過程を再考察する必要があると考えている。つまり、近傍銀河における星間物質や銀河間物質の研究及び観測結果を参考にし、今後の研究の発展に役立つ構造形成過程の作業モデルを構築していきたい。前回の研究では、宇宙再電離直前 ($z \sim 10$) における主要な銀河である極金属欠乏銀河 (EMPG) から噴出した銀河風に伴う衝撃波 (shock wave) による銀河間空間における構造形成の可能性を論じた。EMPG から噴出する銀河風速度は $10^5 \sim 10^6 (m/s)$ であり、銀河間物質 (IGM) を $10^0 \sim 10^2 (cm^{-3})$ 程度まで圧縮する。圧縮されたガスの冷却時間を考慮すると、銀河風速度に依り、銀河中心 $10^0 \sim 10^1 (pc)$ 以遠の場所であれば、星形成が可能となることを見出した。今回は、恒星や星間雲のような構造形成が可能な領域についての考察を講演する。また、銀河風による流出質量の銀河間物質質量への寄与も論ずる予定である。

[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](#)

X17a Dusty-gas内を漂う種ブラックホールの Bondi-Hoyle-Lyttleton 降着: 円盤 shadow 角依存性

尾形絵梨花, 大須賀健, 福島肇, 矢島秀伸 (筑波大学)

超大質量ブラックホール (BH) は銀河中心に普遍的に存在することが観測によって示唆されているものの、その形成過程はよく分かっていない。太陽質量の 10^4 倍程度の質量を持つ種 BH が、Bondi-Hoyle-Lyttleton 機構により成長することが有力な仮説の一つである。そこで我々は、BH 周囲に降着円盤が形成される状況を想定し、 \cos 関数に比例した非等方輻射場での輻射流体シミュレーションを実施した。そして、輻射場が等方である場合と比べ、降着率が約 2 倍大きくなることを報告した (2022 年秋季年会)。しかし、円盤風等による光子の吸収によって、輻射が Bondi-Hoyle-Lyttleton スケールまで到達しない領域 (shadow 領域) が円盤赤道面付近に広く現れることが予想される。その場合、shadow 領域の輻射フィードバックをほぼ受けないガスの降着によって、大きな降着率が実現する可能性がある (Sugimura et al. 2017)。ただし、shadow サイズの詳細は分かっていない。

そこで本研究では、shadow 領域のサイズをパラメータとした 3 次元輻射流体シミュレーションを実施し、種 BH への Bondi-Hoyle-Lyttleton 降着過程を調べた。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。その結果、shadow サイズが円盤赤道面から測って 45 度のケースでは、shadow 領域を考慮していない結果 (2022 年秋季年会) と比較して、時間平均した降着率が約 40 倍大きくなることが分かった。また、講演では、降着率の shadow 領域サイズ依存性について、流れの構造とともに報告する。

[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](#)

X18a Observation of the [O III] 52 micron emission from a $z=7.2$ galaxy

Yi W. Ren (Waseda U.), Akio K. Inoue (Waseda U.), Shengqi Yang (Carnegie Observatory), Yoichi Tamura (Nagoya U.), Yoshinobu Fudamoto (Waseda U.), Yuma Sugahara (Waseda U.), Hiroshi Matsuo (NAOJ), Takuya Hashimoto (Tsukuba U.), Dragan Salak (Hokkaido U.), Adam Lidz (UPenn), Geogö Popping (ESO), et al.

Investigating galaxies at $z > 6$ is crucial to understand the Epoch of Reionization. Even with the advent of JWST, the [O III] 52 μm emission is indispensable to better constrain the physical properties of the interstellar medium (ISM) of high redshift galaxies and has great potential for probing the most distant galaxies. Here, we report the observation of the [O III] 52 μm emission from a $z = 7.212$ galaxy, SXDF-NB1006-2. The [O III] 52 μm emission was observed by ALMA band 9 (Cycle 8: 2021.1.01323.S, PI: Yi Ren) for 787.5 minutes in June and August 2022. With a resultant angular resolution of $0.15'' \times 0.12''$, we have obtained a non-detection and 3σ upper limits of the luminosity. After applying the uv-taper procedure, we find the best constraint on the [O III] 52/88 luminosity ratio (L_{52}/L_{88}) of < 1.9 . Using the upper limit of L_{52}/L_{88} , the [O III] 88 μm luminosity (L_{88}) of our updated measurement (Ren et al. 2023), and the star formation rate (SFR) in the literature, we have constrained the ISM properties of SXDF-NB1006-2. We find the electron density of $< 350 \text{ cm}^{-3}$ and the gas-phase metallicity of $0.01 - 0.42 Z_{\odot}$ (95% CI), which are 1 dex and 0.4 dex tighter, respectively, compared with the measurement using L_{88} and SFR only. We also find that the new metallicity constraint agrees with the mass-metallicity relation from the FIRE suite of high redshift galaxy formation simulations near $z = 6$.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

X19a JWST Exploration of Early Growth History of Supermassive Black Holes and Host Galaxies at $z > 6$: First Results

Masafusa Onoue (KIAA/Kavli IPMU), Xuheng Ding (Kavli IPMU), John Silverman (Kavli IPMU), Yoshiki Matsuoka (Ehime Univ.), Takuma Izumi (Tokyo Metropolitan Univ./NAOJ), Michael Strauss (Princeton University) on behalf of JWST GO #1967

The HSC-SSP has marked a remarkable success in finding low-luminosity quasars at high redshift. However, the near-infrared sensitivity of ground-based telescopes is not sufficient to investigate the black hole (BH) properties of the quasars with bolometric luminosity less than $L_{\text{bol}} \sim 10^{46} \text{ erg s}^{-1}$. Also, the properties of quasar host galaxies have only been measured through the cold interstellar medium with ALMA. In this talk, we present first results from a JWST Cycle 1 GO program to observe 12 of the lowest-luminosity HSC quasars at $z = 6$ with NIRCcam imaging and NIRSpec spectroscopy. From observations of the first two targets, we detect extended emission surrounding the central quasars in NIRCcam images based on our 2D image-modeling technique. These are the first detections of starlight from quasar host galaxies within the first billion years of the universe. NIRSpec spectra of the same targets show a variety of broad emission lines in the rest-optical wavelengths, from which one can extract the properties of the central BHs. We discuss the host and BH properties in the context of the build-up of galaxy-BH co-evolution. Those early results demonstrate the power of the JWST in the study of representative quasar populations in the distant 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](#)

X20a ALMA 多天体観測で調べる高赤方偏移低光度クエーサーでの始原的共進化

泉拓磨, 今西昌俊, 鳥羽儀樹 (国立天文台), 尾上匡房, 稲吉恒平 (KIAA), 松岡良樹, 長尾透 (愛媛大), 藤本征史 (UT Austin), Michael A. Strauss (Princeton), 河野孝太郎, John. D. Silverman, 柏川伸成 (東京大), 梅畑豪紀 (名古屋大), 川口俊弘 (尾道市立大), 井上昭雄 (早稲田大), + SHELLQs team

赤方偏移 $z > 6$ の低光度クエーサー ($M_{1450} > -25 \text{ mag}$) 12 天体に対する、ALMA Cycle 7 での [CII] 輝線と静止形遠赤外線連続波の観測成果を報告する。これらのクエーサーは、すばる望遠鏡 Hyper Suprime-Cam (HSC) サーベイで発見された天体であり、SDSS 等で発見された高光度クエーサーに比べて 1 桁程度中心核が暗く、明るさによる選択バイアスを低減して当時の宇宙の巨大ブラックホールと銀河の進化に関するより平均的な描像を提供する。先行研究 (e.g., Izumi et al. 2018, 2019) と合わせて、これら HSC クエーサーの星形成活動は、爆発的星形成 (星形成率 $> \text{数百 } M_{\odot} \text{ yr}^{-1}$) から星形成 main sequence ($\lesssim 100 M_{\odot} \text{ yr}^{-1}$) やそれ以下のもの ($< 10 M_{\odot} \text{ yr}^{-1}$) まで、多岐にわたることが分かった。これは $z \sim 6$ でクエーサーから銀河の quiescent 種族への転換が進みつつあることを示唆する。さらに、これら HSC クエーサーの多くで、[CII] 輝線幅と放射の空間分布から推定した力学質量と別途推定したブラックホール質量は、近傍宇宙のブラックホール-銀河質量関係に整合することも分かった。そして、HSC クエーサー母銀河における合体現象の頻度も、12 天体中少なくとも 3 天体 (25%) と制限することができた。また、クエーサーが駆動している可能性のある (低温ガスの) 高速アウトフローも [CII] 輝線で確認され始めている。これらは全て、宇宙年齢 < 10 億歳時点で、銀河とブラックホールの「共進化」が急激に進行していることを支持する。本講演では、上記の内容に加えて、 $z > 6$ クエーサー母銀河の包括的かつ統計的な研究に向けて現在我々が計画中の ALMA Large Program の内容も紹介する。

[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](#)

X21a Molecular outflow in the reionization-epoch quasar J2054-0005 revealed by OH 119 μm observations

Dragan Salak¹, Takuya Hashimoto², Akio K. Inoue³, Darko Donevski⁴, Tom J. L. C. Bakx⁵, Yuma Sugahara³, Yoichi Tamura⁵, Nario Kuno², & Yusuke Miyamoto⁶ (1: Hokkaido Univ., 2: Tsukuba Univ., 3: Waseda Univ., 4: NCBJ (Poland), 5: Nagoya Univ., 6: Fukui Univ. of Technology)

Gas outflows are expected to play a pivotal role in regulating star formation and supermassive black hole growth in galaxies. However, there have been few detections of outflows, especially those of molecules, in galaxies at redshift $z > 6$, making it difficult to evaluate the impact on star formation and quasar activity in the epoch of reionization. To search for molecular outflows, we performed observations of the OH 119 μm line doublet toward J2054-0005, a quasar at $z = 6.04$, at $0.2''$ (1 kpc) resolution using the Atacama Large Millimeter/submillimeter Array. The quasar exhibits a relatively high total infrared luminosity ($L_{\text{IR}} \sim 1.3 \times 10^{13} L_{\odot}$) and [O III]88 μm /[C II]158 μm luminosity ratio (2.1 ± 0.4), making it a promising case-study source. We report the discovery of an OH outflow, the highest- z detection toward a quasar. The OH line exhibits blueshifted absorption that can be explained by outflowing gas, and systemic emission that traces the warm and/or dense gas in the host galaxy. We found that the mean line-of-sight outflow velocity is $\sim 700 \text{ km s}^{-1}$, and that the maximum velocity is $\sim 1500 \text{ km s}^{-1}$. Simple models yield a mass outflow rate of $\gtrsim 250 M_{\odot} \text{ yr}^{-1}$ (optically-thin limit), and possibly as high as $\sim 1400 M_{\odot} \text{ yr}^{-1}$, indicating a significant impact on star formation. The results suggest that OH 119 μm can serve as a robust tracer of molecular outflows in quasars at $z > 6$.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

X22a Massive molecular gas companions uncovered by VLA CO(1–0) observations of the $z = 5.2$ radio galaxy TN J0924–2201

Kianhong Lee, Kotaro Kohno, Bunyo Hatsukade, Fumi Egusa (University of Tokyo), Takuji Yamashita, Takuma Izumi, Masatoshi Imanishi, Yoshiki Toba (NAOJ), Malte Schramm (Saitama University), Kohei Ichikawa (Tohoku University), Tohru Nagao (Ehime University), Hideki Ume-hata (Nagoya University)

We present VLA K-band (19 GHz) observations of the redshifted CO(1–0) line emission toward the radio galaxy TN J0924–2201 at $z = 5.2$, which is one of the most distant CO-detected radio galaxies. With the angular resolution of $\sim 2''$, the CO(1–0) line emission is resolved into three clumps, within $\pm 500 \text{ km s}^{-1}$ relative to its redshift, where is determined by $\text{Ly}\alpha$. We find that they locate off-center and 12–33 kpc away from the center of the host galaxy, which has counterparts in *HST* *i*-band, *Spitzer*/IRAC and ALMA Band-6 (230 GHz; 1.3 mm). With the ALMA detection, we estimate L_{IR} and SFR of the host galaxy to be $(9.3 \pm 1.7) \times 10^{11} L_{\odot}$ and $110 \pm 20 M_{\odot} \text{ yr}^{-1}$, respectively. We also derive the 3σ upper limit of $M_{\text{H}_2} < 1.3 \times 10^{10} M_{\odot}$ at the host galaxy. The detected CO(1–0) line luminosities of three clumps, $L'_{\text{CO}(1-0)} = (3.2\text{--}4.7) \times 10^{11} \text{ K km s}^{-1} \text{ pc}^2$, indicate the presence of three massive molecular gas reservoirs with $M_{\text{H}_2} = (2.5\text{--}3.7) \times 10^{10} M_{\odot}$, by assuming the CO-to- H_2 conversion factor $\alpha_{\text{CO}} = 0.8 M_{\odot} (\text{K km s}^{-1} \text{ pc}^2)^{-1}$. From the host galaxy, the nearest molecular gas clump labeled as clump A, is apparently aligning with the radio jet axis, showing the radio-CO alignment. Interpretations of the origin and the fate of these three clumps around TN J0924–2201 will be discussed.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

X23a JWST/NIRSpec の線拡がり関数を用いて探る遠方銀河の動力学と星間物質

磯部優樹 (東京大学), 大内正己 (国立天文台/東京大学), 中島王彦 (国立天文台), 小野宜昭 (東京大学), 播金優一 (東京大学), Yechi Zhang (東京大学), 梅田滉也 (東京大学)

ジェイムズ・ウェッブ宇宙望遠鏡の近赤外分光器 NIRSpec により遠方矮小銀河が多数分光同定されてきたが、データ公開から日が浅いためデータの理解がまだ進んでいない。特に、輝線プロファイルを決める際に重要となる線拡がり関数 (LSF) に関してはほとんど調べられていない。そこで、我々は波長校正用の分光データを用いて LSF を求めた。その結果、LSF がガウス関数でよく近似でき、さらにその幅が波長に依存することを突き止めた。この LSF を用いて、LSF に依存する物理量である速度分散や電子密度を正確に測定した。SMACS 0723 領域の探査 (PI: K. Pontoppidan) で同定された $z > 5$ の銀河 5 天体の速度分散を求めたところ $\sigma = 26\text{--}123 \text{ km s}^{-1}$ となり、同じ星質量の近傍銀河より大きい値となった。一方で、これらの遠方銀河は近傍銀河に見られる速度分散-星形成率関係には従うことも分かり、星形成に関する同一の物理起源が近傍から遠方に渡って存在する可能性が示唆される。また、 $[\text{O II}]\lambda\lambda 3727, 3729$ の S/N が十分高い 1 天体に対して電子密度を調べたところ $n_e = 840^{+380}_{-250} \text{ cm}^{-3}$ と高い値であることがわかり、遠方宇宙にて高密度な星形成が起こっていることが示唆される。さらに、本講演では GLASS 探査 (PI: T. Treu) と CEERS 探査 (PI: S. Finkelstein) で分光された遠方銀河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 Ruby-Rush: $z \sim 5$ の原始銀河団で加速的に誕生する巨大銀河の探査

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, 利川潤 (東大), 但木謙一, 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たか、そしていつどのように星形成活動をやめたかを理解することは、銀河形成論にとって極めて重要である。初期宇宙における銀河形成の効率、引いては現在の標準的な階層的構造形成論にも大きな制限を与えうる。これまでの観測で $z \sim 4$ の宇宙にはすでに銀河系クラス ($10^{11} M_{\odot}$) 級の銀河が発見され確認されているが、我々はさらに時間を遡り、宇宙誕生後 10 億年 ($z \sim 5$) の宇宙の原始銀河団領域を系統的に探査し、同等の質量を持ち、かつ星形成活動がほぼ終了しているような成熟した大質量銀河を発見し、初期宇宙における初代の高密度領域と、そこで急成長する大質量銀河の形成プロセスを明らかにすることを目指す。

そのような銀河を探査するために、Gold-Rush プロジェクト (Toshikawa 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。すばる望遠鏡に搭載された近赤外観測装置 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) で挟み込むことにより、従来の撮像観測では成し得なかった $z \sim 5$ という遠方の静的な大質量銀河候補を発見することに成功した。強い輝線を持つ銀河や前景の赤い銀河の混入を取り除くため、HSC (可視光) や IRAC ($\sim 4 \mu\text{m}$) のデータも用いて SED フィットを行ない、より強固な候補天体を複数同定した。本講演では、それらの発見を初め、候補銀河の性質、空間分布、ライマン・ブレイク銀河との比較などの初期成果を報告し、年齢 10 億年の宇宙の高密度領域における加速的な大質量銀河形成の実態について議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

X25a Star Formation Rate Functions at $z \geq 4$ indicated from GSMFs and MS relations

浅田喜久, 太田耕司 (京都大学)

星形成率関数 (SFRF) および星形成率密度 (SFRD) の赤方偏移進化は、銀河の宇宙論的進化を知る上で最も基本的な物理量の一つである。特に高赤方偏移 ($z \geq 4$) においては、静止系紫外における光度関数 (LF) を用いた調査が進められてきた。一方で近年、遠赤外線における観測に基づく手法や (e.g., Rowan-Robinson et al. 2016)、静止系可視光まで用いた手法 (e.g., Asada et al. 2021) などの独立した手法による調査が進められると、従来の手法では高赤方偏移におけるダストに隠された星形成活動が過小評価されていた可能性が指摘されるなど、未だに一致した見解が得られていない。他方、星質量関数 (GSMF) および星形成銀河の main sequence (MS) relation は高赤方偏移においても様々な波長域、銀河種族に対して調査されてきており、従来の研究でも比較的一致した結果が得られている。そこで本研究では、GSMF と MS relation の両方を用いることで高赤方偏移における SFRF の推定を行い、SFRF の赤方偏移進化について調査を行った。その結果、従来の SFRF の調査のうち、静止系紫外から可視まで用いる手法による結果が本研究による推定と最も良く一致した。さらに得られた SFRF の赤方偏移進化からは、より数密度の低い、星形成率の高い銀河は $z \sim 6$ までの期間に急速に成長している一方、より数密度の高い、星形成率の低い銀河は $z \sim 8$ から $z \sim 4$ にかけて徐々に成長していることが示唆された。講演では、この結果に基づく SFRD の赤方偏移進化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](#)X26a 面分光観測によるライマン連続光放射銀河候補の Ly α 輝線ハローの分析

小森楓雅, 井上昭雄, 菅原悠馬 (早稲田大学), 馬渡健 (国立天文台), 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), Jorryt Matthee (ETH Zurich)

宇宙再電離は最初期に形成された星の光によって宇宙の中性水素が電離しはじめ、赤方偏移 $z=6$ ごろに完了したとされる。この現象は宇宙進化を議論する上で非常に重要であるが、詳しいメカニズムが解明されていない。宇宙再電離を起こした天体の候補にライマン連続光放射天体がある。ライマン連続光は水素原子のライマン端 912 Å 未満の波長を持つ放射であり、中性水素原子を電離させるのに十分なエネルギーを持っている。ライマン連続光放射天体を解析すれば、宇宙再電離の仕組みの解明に繋がる可能性がある。Keck/DEIMOS の分光データから、ライマン連続光を放出している可能性がある赤方偏移 $z = 3.6$ の Ly α 輝線銀河が見つかった。本研究では Keck/KCWI の面分光データを用いて同銀河を包むハロー (Ly α 輝線ハロー) の空間分布とスペクトルを分析し、ライマン連続光を出す Ly α 輝線銀河の特性を調べた。銀河の Ly α 輝線ハローの radial profile からスケール長を計測したところ約 7kpc になった。また Ly α の光度と等価幅を計測して Ly α 輝線ハローのスケール長との関係を先行研究と比較した。その結果、Ly α 光度と Ly α 輝線ハローのスケール長の関係は先行研究と整合的であった。Ly α 等価幅では Ly α 輝線ハローのスケール長に対して非常に小さい等価幅を持つことがわかった。さらに計測した Ly α の光度と等価幅の値を用いて、銀河が外部にライマン連続光のような中性水素原子を電離する電離光子を放出する割合 (電離光子脱出率) を考察できる。ライマン連続光銀河候補の電離光子脱出率と Ly α 輝線ハローのサイズの間関係を調べることで、ライマン連続光を出す銀河の特性を議論する。

[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](#)

X27a Discovery of a protocluster of massive quiescent galaxies at $z = 2.77$

伊藤慧 (東京大学), 田中賢幸 (総合研究大学院大学/国立天文台), Francesco Valentino, Sune Toft, Gabriel Brammer, Katriona M. L. Gould (DAWN), Olivier Ilbert (Aix Marseille Univ.), 柏川伸成 (東京大学), 久保真理子 (東北大学), Yongming Liang (東京大学), Henry J. McCracken (IAP), and John R. Weaver (University of Massachusetts, Amherst)

銀河団の祖先である原始銀河団はこれまで数多く発見されてきた。しかしながら、その多くは星形成銀河の分布を元に探査が行われており、星形成活動が穏やかな銀河と高密度領域の関係は明らかになっていない。本講演では大質量で星形成活動が穏やかな銀河の分布を元に発見された $z = 2.77$ の原始銀河団 QO-1000 を報告する。この構造は COSMOS 領域の多波長カタログである COSMOS2020 (Weaver et al. 2022) に基づく星形成活動が穏やかな銀河の 2 次元密度分布において、 4.2σ の密度超過を持つことから選択された。メンバー銀河候補に対して、Keck/MOSFIRE による近赤外分光フォローアップを行なったところ、4 天体において複数の Balmer 吸収線を確認した。その結果、これらの 4 天体全てが $z = 2.76 - 2.79$ という狭い赤方偏移範囲に存在することを分光的に確認し、QO-1000 は平均的な領域に比べ、星形成活動が穏やかな銀河で > 68 倍高密度な領域であることがわかった。QO-1000 のメンバー銀河は $J - K_s$ で red sequence を成しており、QO-1000 のハロー質量は複数の方法によって $\log(M_{\text{halo}}/M_{\odot}) > 13.2$ と制限された。加えて、QO-1000 に似た構造を Illustris TNG-300 で探査したところ 2 構造を発見し、これらの構造は $z = 0$ で $\log(M_{\text{halo}}/M_{\odot}) \sim 15$ の大質量銀河団になることを確認した。これらの結果は QO-1000 が星形成活動が穏やかな銀河の分布から発見された初めての原始銀河団であり、これまでに発見された原始銀河団に比べ進化が進んでい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](#)

X28a Characterizing CO Emitters in SSA22-AzTEC26 Field

Shuo Huang, Kotaro Kohno (UTokyo), Hideki Umehata, Yoichi Tamura (Nagoya University), Ryohei Kawabe (NAOJ)

We report physical characterization of four CO emitters detected near the submillimeter galaxy (SMG) SSA22-AzTEC26. We analyze the data from ~ 30 GHz bandwidth ALMA band 3 spectral scan observation of the SSA22-AzTEC26 field. In addition to the targeted SMG, we detect four line emitters with $\text{SNR} > 5.2$ in the cube smoothed with 300 km/s FWHM Gaussian filter. All the four sources have near-infrared (NIR) counterpart within 1 arcsec. We perform ultraviolet to far-infrared spectral energy distribution (SED) modelling to derive photometric redshift and physical properties. Based on photometric redshift, we identify two of them are CO(2-1) at redshift of 1.113 and 1.146, and one is CO(3-2) at $z = 2.124$. The three sources are massive galaxies with stellar mass $\gtrsim 10^{10.5} M_{\odot}$, but have different levels of star formation. Two of them lie within the scatter of star formation main sequence (MS), and the most massive galaxy lies significantly below the MS. However, all the three sources follow the MS gas fraction scaling relation. This shows that massive galaxies with low specific star formation rate can still host large gas reservoirs by direct detection of CO molecular emission, suggesting later gas acquisition and need for other mechanisms in addition to gas consumption to suppress the star formation.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

X29a JWST mid-infrared number counts and inferred cosmic star-formation history

Tomotsugu Goto, Jimmy Ling, Cossas Wu, Seong Jin Kim, Tetsuya Hashimoto, Ece Kilerci, Yu-Wei Lin, Po-Ya Wang, Yuri Uno, Simon C.-C. Ho, and Tiger Yu-Yang Hsiao (NTHU)

Source count — the number density of sources as a function of flux density — is one of the most fundamental statistics of imaging observations. One of the advantages is its simplicity, i.e., compared with more complicated and advanced analyses such as luminosity/mass functions, there is little room for analysis errors to distort results, yet the source counts still carry important information on galaxy evolution. We present these fundamental statistics for the newly advent James Webb Space Telescope (JWST) MIRI instrument in the six mid-infrared bands, i.e., 7.7, 10, 12.8, 15, 18 and 21 μm . The resulting IR populations of galaxy source counts are up to ~ 100 times deeper than previous works, reflecting the superb sensitivity of the JWST.

Furthermore, we physically interpret these JWST number counts to constrain cosmic star-formation history (CSFH), and black hole accretion history (BHAH). Following Gruppioni et al. (2011), we parameterize IR luminosity functions (LFs) and their evolutions for five different populations of galaxies (star-forming galaxies, starbursts, composite, Seyfert 1 and 2). By simultaneously fitting the model to the six mid-infrared number counts, together with the previous results, we determine the best-fit evolutions of MIR LFs for each of the five types of galaxies, and thereby, CSFH and BHAH. The obtained CSFH and BHAH are consistent with the previous estimates, but thanks to JWST, our estimates are based on tens to hundreds of times fainter MIR sources, whose existence was merely an extrapolation in previous studies.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

X30a IMF と銀河の形状を変化させたダスト進化モデルと遠方銀河への適用

河本慧理奈 (1), 竹内努 (1,2), 西田和樹 (1), 浅野良輔 (1)
(1) 名古屋大学; (2) 統数研

銀河には大きさ 1 ミクロン程度の固体微粒子であるダストが存在する。ダストは分子形成の触媒であり、星形成の要となる。またダストが星の紫外線や可視光を吸収し赤外線を再放射する性質 (減光) によって、スペクトルエネルギー分布 (SED) に影響を与える。したがって、ダストの量やサイズが時間変化することは、銀河進化に影響を及ぼす。本研究では化学進化を基礎としてダストの SED 進化をモデル化し、銀河、特に遠方のダスティ銀河の SED と比較、検証を行う。本研究の基礎となる先行研究 (Asano et al. 2013a,b,2014) は化学進化に基づいたダストモデルであり、銀河が進化すると共にダストの量、サイズ、そして減光曲線の時間進化を追うことを可能にした。これに基づき、Nishida et al. (2022) は SED の進化モデルを構築し、銀河系の SED を再現した。これらの先行研究は初期質量関数 (IMF) として、Salpeter IMF (Salpeter, 1955) あるいは Scalo IMF (Scalo, 1986) を採用しているが、遠方銀河に適用するにはよりトップヘビーな IMF への変更が有用であると考えられている。2022 年秋季の講演で、高赤方偏移に存在する大量のダストを持つ銀河を適用対象とするため、SED モデルに一般的なトップヘビー IMF を導入し、コンパクトでダスティな遠方銀河の観測と比較 (Tamura et al. 2019) を行ったが、観測結果の示すダスト放射より 2 桁ほど低いオーダーとなり、IMF を変更するのみではダスティな遠方銀河を再現することができなかった。そこで今回はトップヘビー IMF に加えて、先行研究でディスクを想定していた銀河の形状をコンパクトに変更した。その結果、観測により近い SED モデルとなった。本講演ではこれら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](#)

X31a HSC-SSP と CHORUS サーベイデータを基にした LAE カタログの作成

菊田智史 (国立天文台), 大内正己 (国立天文台/東京大学), 澁谷隆俊 (北見工業大学), 梅田滉也, Yongming Liang, 播金優一, 小野宜昭, 柏川伸成 (東京大学), Rieko Momose (Carnegie Observatories), 他 HSC project 84, CHORUS project members

ライマンアルファ輝線銀河 (LAE) は、狭帯域フィルター撮像により狭い赤方偏移範囲に効率よく検出できる若い星形成銀河であり、遠方宇宙探査に有用である。我々は HSC すばる戦略枠 (HSC-SSP) サーベイの Public Data Release 3 で公開されたデータのうち、観測が終了した deep/ultradeep 領域で撮られた約 30 平方度にわたる狭帯域フィルター撮像データ (NB0387, NB0816, NB0921, NB1010) を用いて赤方偏移 2.2 から 7.3 までの複数の赤方偏移で LAE の選出を行った。COSMOS 領域の NB0387 フィルター画像では CHORUS プロジェクトで撮られたデータを HSC-SSP データと合わせた再解析を行い、高品質な画像を選出に用いた。HSC-SSP データを基にこれまでに公開された LAE カタログと比べ、サーベイの広さ (30 平方度)・深さ (NB0816 の 2 秒アパーチャ、5 シグマ限界等級で 25–26 等) とともに今回のものが最大であり、LAE 選出においても限界等級の空間的非一様性などを考慮するなどして現状最大のカタログの作成を目指した。

本講演では、カタログの概説として観測フィールドおよび各領域のデータの深さ、選出方法を紹介したのち、選出された LAE のナンバーカウント等の統計的性質と信頼性のチェック等を報告する。また、赤方偏移 5.7 以上の遠方の LAE サンプルに対する Prime Focus Spectrograph を用いた追観測計画とそれにより進められる再電離研究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](#)

X32a The second data release (DR2) of the Uchuu simulations: 銀河カタログ

石山智明 (千葉大学), Francisco Prada (Instituto de Astrofísica de Andalucía), Anatoly A. Klypin (New Mexico State University), and the Uchuu collaboration

宇宙論的 N 体シミュレーションは、宇宙初期の微小な密度揺らぎからはじまるダークマター分布の重力的な進化を計算する手法のひとつであり、大規模構造やダークマターハローの研究に広く用いられている。また準解析的モデルや、abundance matching などの経験的モデルと組み合わせ、模擬銀河カタログを作成し観測と直接比較するなど、その適用事例は枚挙にいとまがない。

Uchuu collaboration は当代随一の宇宙論的 N 体シミュレーションをベースに、将来観測と直接比較できる大規模で高精度な銀河カタログの構築と公開を目指す国際プロジェクトである。現行で最大のシミュレーションは Uchuu と名づけられ、粒子数 12800^3 、ボックスサイズ $2\text{Gpc}/h$ 、粒子質量 $3.27 \times 10^8 M_{\odot}/h$ であり、他のグループによって行われた同程度のボックスサイズ、かつハローの合体形成史のデータを利用できるシミュレーションよりも 1 桁以上良い質量分解能である (Ishiyama et al., 2021)。2020 年 7 月の first data release では、ハローカタログやハロー合体形成史など合計 100 テラバイト以上のデータを公開した。

2022 年秋季の DR2 では、3 種類のモデルを用いて構築した銀河カタログを公開した (Uchuu-SDSS galaxy lightcones, Uchuu- ν^2 GC galaxy and AGN, Uchuu-UniverseMachine galaxy)。本講演ではカタログの詳細、サイエンス、および今後の計画を報告する。

[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](#)

X33a SMBH 質量ーバルジ質量関係の赤方偏移進化

清水達生 (北海道大学), 大木平 (愛媛大学), 岡本崇 (北海道大学), 長島雅裕 (文教大学), 榎基宏 (東京経済大学)

ほぼ全ての銀河の中心には超大質量ブラックホール (SMBH) が存在することが知られている。SMBH 質量にはホスト銀河のバルジの質量や速度分散と相関があるため、SMBH は銀河と共に進化していると考えられている。この共進化の描像を理論的に調べるために、今回、我々は準解析的銀河形成モデル $\nu^2\text{GC}$ を用いて、SMBH 質量ーバルジ質量関係の赤方偏移進化を調べた。その結果、我々のモデルでは、近傍のよく知られた関係は、高赤方偏移 ($z \gtrsim 3$) では近傍の関係の上下に位置する 2 つの系列に分かれることを予言することを発見した。このように 2 つの系列が現れる理由は、我々のモデルでは SMBH へのガス供給の主なトリガーとして、銀河同士の合体と円盤の不安定性 (DI) の 2 つを考えているためである。我々のモデルでは DI では円盤からバルジへと移動する星の質量に対して、円盤からバルジおよび銀河中心部へと供給されるガスの割合が非常に小さいことを仮定している。そのため、円盤からの星の移動によるバルジの質量増加に対してガス降着による SMBH の質量増加は小さい。一方、銀河合体では、合体してきた銀河のもつガスは全てバルジに持ち込まれて、爆発的星形成と SMBH へのガス供給に使われることを仮定しているため、特にガスの割合の高い高赤方偏移においてバルジ質量の増加に比例するように SMBH の質量は増加する。低赤方偏移になると、このようなガスリッチな合体は減り、銀河合体は SMBH 質量をあまり増やさずにバルジを優先的に太らせるようになる。これは、SMBH 質量ーバルジ質量の平面上で、上の系列の銀河を下の系列の方へと移動させる効果をもち、やがて 2 つの系列は近傍の 1 つの SMBH 質量ーバルジ質量関係へと収斂していくことが分かった。

[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](#)

X34a PFS 時代の galaxy-IGM study に向けた宇宙論的流体シミュレーション

奥 裕理, 長峯 健太郎 (大阪大学)

銀河形成の理解のためにはバリオンサイクル、すなわち銀河間物質 (intergalactic medium; IGM) から銀河へのインフローと超新星爆発や AGN フィードバックによるアウトフローの理解が重要である。Prime Focus Spectrograph (PFS) はすばる望遠鏡の主焦点に設置される予定の多天体分光器で、2024 年の観測開始に向けて準備が進められている。PFS の観測では、背景銀河を光源として IGM による吸収線を観測することで、 $z=2.2 - 2.6$ の IGM 分布を 3 Mpc の空間分解能 で 3 次元的に捉えることができるようになり、galaxy - HI/metal 3D cross-correlation を測定できる。これらの銀河と IGM の相関を理論的に予言し、観測と比較することはバリオンサイクルの理解に直結する。特に、galaxy - HI, galaxy - metal, HI - metal cross-correlation の違いから銀河アウトフローによる IGM の金属汚染の過程を見ることができ、シミュレーションと観測との比較を通してフィードバック物理に制限を与えることが出来る。

私たちは、宇宙論的流体シミュレーションを用いて galaxy-IGM cross-correlation を理論予言するための準備を進めており、GADGET4 コード (Springel et al. 2021) に独自の超新星フィードバックモデル (Oku et al. 2022)、ダストの形成破壊、metal diffusion モデル (Romano et al. 2022) を実装した GADGET4-Osaka コードの開発を行っている。本発表では、GADGET4-Osaka を用いた宇宙論的シミュレーションでの、星質量関数などの銀河の基本的な統計量と IGM の密度、温度、金属量分布について、フィードバックモデルへの依存性を議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

X35a Impact of magnetic field and thermal conduction onto cold streams accreting massive high redshift galaxies

Nicolas Ledos, Shinsuke Takasao, Kentaro Nagamine (Osaka University)

Cold streams of gas ($T \sim 10^4\text{K}$) are the dominant channels of gas accretion onto high-redshift galaxies and the main explanation of the cosmic star-formation history peak around redshift 2. Recent studies aim to theorize the survival conditions of cold streams surrounded by the hotter ($\sim 10^6\text{K}$) circum-galactic medium (CGM) gas. They provided evidence of the impact of Kelvin Helmholtz instabilities (KHI) on both stream dynamics and detectability in Ly α emission. KHI are not solved yet by the current resolution of cosmological simulation in the CGM, thus the need of idealized high-resolution simulation. Here we study the impact of magnetic field and anisotropic thermal conduction (TC) on radiatively cooling streams with a suite of magnetohydrodynamical two-dimensional simulations. We used the Athena++ code in which we implemented an anisotropic TC extension. Overall, the magnetic field and the TC reduce the stream mass growth and loss, respectively for strong and weak cooling regimes and can even prevent the disruption of the stream. The magnetic field angle and the TC reduce the cooling emission in most simulations up to 1 order of magnitude. While assuming an initially weak magnetic field with $\beta = 10^5$ (ratio of thermal pressure over magnetic pressure), we also find that the condensation of CGM gas onto the stream greatly enhances the magnetic field to the order of $\beta \sim 1$. Extrapolating our results to the cosmological context could imply that cold streams may fuel galaxies with cold turbulent magnetized gas, and they would less likely be disrupted by KHI.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

X36a Red Spiral Galaxies at Cosmic Noon Unveiled in the First JWST Image

札幌佳伸 (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)

本格的な運用が始まったジェームズウェブ宇宙望遠鏡 (JWST) により、これまででない感度と空間分解能で近赤外線波長 ($\sim 1\mu\text{m}$ から $\sim 4\mu\text{m}$) の観測が可能になった。これらの観測によって $\sim 1\mu\text{m}$ 以上の観測波長を複数用いた、高赤方偏移銀河の詳細な形態研究を行うことが初めて可能になり、銀河の形態研究に革命が起きつつある。本講演では、JWST によって観測・公開された重力レンズ領域 SMACS J0723.3-7327 のデータから、ハッブル宇宙望遠鏡 F814W と JWST F150W のフィルターを用いて観測された等級差において $M_{F814W} - M_{F150W} > 1$ という赤い色を持ち、かつ明らかなスパイラル構造を持つ「赤い渦巻銀河」を選定し、その研究結果についての報告を行う。特に本パイロット研究においては、赤い渦巻銀河の中で最も赤い 2 個の銀河「RS13」と「RS14」に着目し、SED 解析を行った。SED 解析や JWST NIRSpec による分光観測の結果、それらの赤い渦巻銀河は赤方偏移が 1 から 3 に存在し、現在知られている最高赤方偏移にある渦巻銀河の一つであることが分かった。また、RS14 は比較的大きいダスト減光 ($A_V \sim 1$) を持つパッシブな渦巻銀河であることが支持された。一方、RS13 はパッシブ銀河である解と、ダストによって大きく減光された ($A_V \sim 3$) 爆発的星形成銀河の両方の解が支持された。パッシブな渦巻銀河は近傍宇宙においては極めて珍しい (e.g., $\sim 2\%$; Shimakawa et al. 2022)。しかしながら今回、JWST による初期観測領域という、 $\sim 4\text{arcmin}^2$ の極めて狭い領域の探査から見つかったことから、高赤方偏移宇宙ではパッシブな渦巻銀河が数多く存在する可能性を示唆する。また、これらの赤い渦巻銀河は JWST によって初めて目にすることが可能になった銀河種族であり、今後さらなる研究を行うことでその性質についての詳細が明らかになることが期待される。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

X37a High-resolution ALMA study of structure and gas kinematics of cluster galaxies at $z = 1.46$

池田遼太, 但木謙一, 伊王野大介, 小山佑世 (総研大), 児玉忠恭 (東北大), 嶋川里澄, 田中晝 (国立天文台), 泉拓磨 (東京都立大), 河野孝太郎, 廿日出文洋, 鈴木智子 (東京大), 田村洋一 (名古屋大)

本講演では、XCS J2215 銀河団 ($z = 1.46$) に属する 17 個の星形成銀河を対象にした $870\mu\text{m}$ 連続光 ($0.2''$ 分解能) と CO $J=2-1$ 輝線 ($0.4''$ 分解能) の ALMA 観測の結果について報告する。はじめに、ビジビリティデータのフィッティング解析により各放射の有効半径 R_e を測定した。9 個の銀河について両サイズが良い精度で測定され、どの銀河についても CO $J=2-1$ 輝線の方が $870\mu\text{m}$ 連続光よりも広がっていることがわかった。空間分解した Kennicutt-Schmidt 関係においては、中心部でより短いガス消費時間 τ_{depl} を有していることがわかった。これは中心部で特に活発な星形成活動が行われていることを示唆し、楕円銀河のバルジ形成に対応すると解釈できる。次に、3 次元動力学のモデリングツールである $^3\text{D Barolo}$ を使った CO $J=2-1$ 輝線のガスの動力学のモデリングを行った。CO $J=2-1$ 輝線で明るい 10 天体について解析を行い、7 つの銀河において、半径 5 kpc での回転速度から推定される力学的質量が同半径内のバリオン質量と同等、或いはそれ以下であるという結果が得られた。この結果は IMF の仮定による星質量の不定性を含んでいるものの、CO 光度から分子ガス質量への変換係数 α_{CO} に銀河系の値 ($\alpha_{\text{CO}} = 4.36$) を用いたため、分子ガス質量を多く見積もっていることに起因すると我々は考えた。力学的質量から星質量とダークマター質量を差し引き変換係数を求めたところ、スターバースト ($\alpha_{\text{CO}} = 1.00$) と銀河系の値の中間に相当する変換係数 (平均値で $\langle\alpha_{\text{CO}}\rangle = 2.9$) が得られた。最後に、半数以上の銀河が半径 1–5 kpc において平坦な回転曲線を示すことがわかり、これは $\lesssim 1$ kpc でバルジ形成が進んでいることを示唆している。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

X38a 強輝線銀河における電離領域の物理状態と電離光子脱出率

藤谷愛美¹, 柏野大地¹, 竹内努^{1,2} (¹名古屋大学, ²統計数理研究所)

若い星形成銀河 JWST の分光探査により、宇宙再電離期 ($z \gtrsim 6$) の星形成銀河は非常に強い輝線 (特に [O III] $\lambda 5007$ など) を放射していることが直接示された。また $z \sim 6$ において、このような銀河の周囲で銀河間ガスが選択的に電離されている証拠も見つかりつつある。これらの銀河の再電離への寄与を定量化するには、電離光子生成率や脱出率 (f_{esc}) を推定する必要がある。しかし、再電離期の電離光子の直接観測は、高赤方偏移宇宙の高い中性水素割合により原理的に不可能である。一方で、輝線診断法からこれらの物理量を推定するには多数の輝線を精度良く測定する必要があり、高赤方偏移銀河では膨大な観測コストを要する。

そこで本研究では、宇宙再電離期の銀河の類似体と考えられる、低赤方偏移強輝線銀河を詳細に調査することで、宇宙再電離期銀河の性質に迫る。Subaru/HSC-SSP 探査から z バンドで極端に明るい $z \sim 0.8$ の天体を 6 個選び、VLT/X-shooter を用いて深い分光観測を行い、静止系紫外線から近赤外線までの多数の輝線フラックスを測定した。6 天体のうち、5 天体は星形成銀河であり 1 天体は AGN の兆候が見られた。我々は 5 つの星形成銀河に対して光電離モデル Cloudy を使い、観測された輝線強度比や等価幅の再現を行い、電離ガスの物理状態を調べた。Cloudy における一般的なパラメータ (ガス金属量、電離パラメータ、電子密度) に加えて、 f_{esc} や電離領域のジオメトリなどもパラメータとして計算を行った。特に、電離領域の内半径を有限 (3–10 pc) とした場合に $< 10\text{--}20\%$ 程度の f_{esc} が得られた。これらは、[O III] $\lambda 5007$ / [O II] $\lambda 3727$ 比と f_{esc} の間の経験則や、Mg II 二重輝線比から推定される f_{esc} と整合する。本講演ではこれらの結果を報告し、結果を元に [O III] 輝線銀河の宇宙再電離への制限を議論する。

[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](#)

X39a Statistical study of recently quenched galaxies in preparation for PFS

Zhiying Mao, Tadayuki Kodama, Jose Manuel Perez-Martinez (Tohoku University)

Quenching is the process where galaxies suppress their star formation activities. It is a critical stage in galaxy evolution, mainly affected by stellar mass and the environment of galaxies. In this work, we try to understand the environmental and mass effects of quenching.

Recently quenched galaxies (RQGs), as a transitional population between quiescent and star-forming galaxies, can efficiently deliver information on quenching processes. A statistical sample of RQGs is necessary for studying mass and environment dependence of quenching. However, the rarity of RQGs hampers statistical spectroscopic analysis. As a pilot work, we conduct a statistical photometric study of RQGs. Using the rest-frame UVJ diagram, we select about 250 RQGs from the centre to the outskirts of clusters at redshift 0.5-1.0 and divide them by the quenching timescale. This method is consistent with current DEIMOS and LEGA-C galaxy spectra. We found the quenching efficiency is enhanced by both higher stellar mass and denser environment. Massive galaxies and galaxies in dense environments tend to start quenching earlier. The quenching timescale shows dependence on redshift and stellar mass. However, the time a galaxy stays in the RQG regime on the UVJ diagram may degenerate with other quenching properties. We need to obtain galaxy spectra to disentangle this degeneracy.

The upcoming PFS' large FOV can significantly improve the efficiency of the RQG spectroscopic survey. With statistical RQG spectroscopic data, we will interpret the quenching scenario better.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

X40a 中間赤方偏移における極端に大きな星形成率を示す銀河種族の探査 (II)

佐久間昂太, 秋山正幸, 市川幸平, 大金原, 福地輝, 赤澤拓海 (東北大), Xiaoyang Chen, 鳥羽儀樹, 寺尾航暉 (NAOJ), 小久保充 (Princeton U.), Abdurro'uf (JHU), 山村一誠 (JAXA), 川口俊宏 (尾道市立大), 野田博文 (大阪大)

星形成率 (SFR) が $500 M_{\odot} \text{ yr}^{-1}$ を超える極端に大きな SFR を示す銀河は, サブミリ波などでの探査により高赤方偏移側 ($z > 1$) では多数見つかっているが, より小さい赤方偏移の宇宙ではほとんど見つかっていなかった。このような銀河は可視域で暗く, これまでの広域探査では見逃され, 統計的に過小評価されている可能性がある。

本研究では, 赤外線天文衛星「あかり」の全天探査で得られた遠赤外線カタログに SDSS および WISE のカタログを組み合わせ, 3592 個の遠赤外線天体のカタログを構築した。今回は, 前秋季年会で報告した観測結果に加え, せいめい望遠鏡/KOOLS-IFU で新たに観測された 7 天体における分光赤方偏移の情報を追加し, CIGALE による SED フィットting を再度行った。また SED フィットting の結果から, サンプルの SFR や星質量, AGN 光度などを推定し, それらの関係について調査した。本サンプルの $\Delta MS (= \log(SFR/SFR_{MS}))$ を調べると, 本研究のサンプルは, ほぼ全てがスターバースト銀河であり, その多くが同じ赤方偏移・星質量の銀河と比べて 10-100 倍ほどの SFR を示すことが分かった。また, 星質量でサンプルをビン分けし, 星質量とブラックホール (BH) 質量降着率 \dot{M}_{BH} の関係を調べると, サンプルの星質量範囲 $10^9 - 10^{13} M_{\odot}$ にわたってフラットな傾向を示すことが分かった。一方で, 星質量と \dot{M}_{BH}/SFR の関係もフラットな傾向を示した。これは, 銀河中心に位置する超大質量ブラックホール (SMBH) が, その母銀河とともに成長する一方, 同程度の星質量の母銀河でも SMBH の成長の仕方にはばらつきがあるという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](#)

X41a GALAXY CRUISE: summary of the 1st season

田中賢幸, 小池美知太郎, 内藤誠一郎, 柴田純子, 臼田-佐藤功美子, 山岡均, 嶋川里澄, 但木謙一, 土屋智恵, 梅本智文 (国立天文台), 安藤誠, 伊藤慧, 小藤由太郎, 桑田敦基, 竹林優 (東京大学)

国立天文台では国内初の市民天文学プロジェクト、GALAXY CRUISE を推進している。これは Hyper Suprime-Cam すばる戦略枠プログラムのデータを用いて、銀河の形態分類を市民天文学者が行っているもので、とりわけ衝突・合体をしている銀河に注目している。2019 年 11 月に始動した GALAXY CRUISE は 2022 年 4 月にその第 1 シーズンを終えた。本講演では第 1 シーズンのデータに基づいた、科学成果について報告する。200 万を超える分類を丁寧にスクリーニングしたところ、市民天文学者の分類精度は高いもので、十分に科学解析に耐えるものであることがわかった。とりわけ先行研究の Galaxy Zoo2 と比べて、渦巻銀河、衝突・合体銀河ともにはるかに高い精度分類できている。これは画像データの深さによるものであろう。さらに、衝突・合体の過程にある銀河では、AGN 活動が励起され、星形成活動も活発になることがわかった。これらの結果を受け、現在、第 1 シーズンより暗い銀河を含めた第 2 シーズンが走っている。講演では今後の展望を交えて議論したい。

[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](#)

X42a GALAXY CRUISE: Morphological classification with deep learning

Rhythm Shimakawa, Masayuki Tanaka, Kumiko Usuda-Sato (NAOJ), GALAXY CRUISE team

We report an initial result of GALAXY CRUISE morphological classification with deep learning for a million galaxies at $z=0.01-0.3$ in the Hyper Suprime-Cam Strategic Program (HSC-SSP PDR3) and Legacy Archive (HSC-LSA2016). We performed spiral classification for a million bright galaxies, followed by pure spiral and ring-ish classification, based on the 1st season catalog of GALAXY CRUISE. We found that most of the pure spiral galaxies are located on the star-forming main sequence, while ring-ish spirals (and ringed galaxies) are significantly scattered on the mass-SFR plane. We also detected a clear trend of morphological segregation of galaxies in cluster environments as reported in our previous study (Shimakawa et al. 2022 PASJ). Furthermore, we present a preliminary result of ongoing studies and discuss possible future applications with deep learning techniques by combining the use of the GALAXY CRUISE catalog and the HSC imaging data.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

X43a Quantitative investigation of the impact of mergers in AGN activity in HSC-SSP

Kiyooki Christopher Omori (Nagoya University), Tsutomu T. Takeuchi (Nagoya University, Institute of Statistical Mathematics), Connor Bottrell (Kavli IPMU), Andy Goulding (Princeton University), Mike Walmsley (The University of Manchester), Hassen Yusuf (Kavli IPMU), John Silverman (Kavli IPMU) Xuheng Ding (Kavli IPMU)

Galaxy interactions and mergers have shown to accelerate the accretion of gas onto supermassive black holes and the subsequent ignition of active galactic nuclei (AGN). However, the relative role of galaxy mergers in AGN activity is still unclear, therefore further investigations are required to improve our understanding of both mergers and AGNs. To create a merger sample, we use fine-tuning, which is a transfer learning-based approach. Transfer learning is an approach where the weights of a pre-trained model are re-used for a new problem, allowing for higher performances even with smaller training datasets. Fine-tuning uses the pre-trained model as a base, but with new output layers trained for the new problem. For our classification problem, we fine-tune using Zoobot (Walmsley et al. 2022), a pre-trained model trained on galaxy images, for merger classification of several million galaxies in the Subaru-HSC catalogue. Using these classification labels, we conduct quantitative investigations on the role that galaxy mergers play in AGN activity, such as comparing the AGN incidence between mergers and non-mergers. We also conduct further investigations, such as investigating the environmental dependence of AGN activity.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

X44a 銀河衝突後期段階における光電離アウトフロー速度の進化

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)

銀河衝突後期において、銀河中心への多量的气体やダストの供給されることで埋もれた活動銀河核 (AGN; Active Galactic Nucleus) が形成されると考えられている。埋もれた AGN には強力なアウトフローが付随することが知られており、周囲のガスやダストを吹き飛ばすことで、埋もれた AGN からクェーサーへ進化すると考えられている。実際、Toba et al. (2017) では、電離ガス ($[\text{OIII}]\lambda 5007$) に着目した *velocity and velocity dispersion diagram* (VVD) を用いて埋もれた AGN に伴う高階電離アウトフロー速度を調べ、埋もれた AGN は 2 型 AGN よりも強力な電離アウトフローを伴うことを示した。埋もれた AGN が銀河衝突後期段階によく見られることを踏まえると、銀河衝突後期段階において強力なアウトフローが観測されることが期待されるが、Matzko et al. (2022) は統計的な観測研究から銀河衝突段階と電離アウトフロー速度に関係性が無いことを示した。

我々は、N-body/SPH コード ASURA (Saitoh et al. 2008, 2009) を用いて熱的 AGN-feedback を考慮した銀河衝突計算を行い、銀河衝突後期における VVD の進化を調べた。VVD では、電離パラメータ (U) を用いて AGN からの放射によって光電離されるガス粒子の速度分布にのみ着目した。その結果、衝突中心コア ($\sim \text{kpc}$) 同士の衝突後は速度分散が有意に高くなり、1000 km/s を超える高速度な光電離アウトフローが見られる確率が高くなる結果を得た。本講演では、銀河衝突後期の高速度光電離アウトフローのタイムスケール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](#)

X45a HINOTORI: a Statistical Study of Rejuvenated Galaxies with the MaNGA Sample

田中匠, 嶋作一大, 安藤誠, 伊藤慧, 松井思引 (東京大学), Sandro Tacchella (KICCC/Cavendish Lab.), Hassen Yesuf (IPMU)

銀河は主に、比星形成率 (sSFR) の高い star-forming galaxy (SFG) と、低い quiescent galaxy (QG), およびその中間に位置する green valley (GV) に分けられる。十分成長した SFG が星形成を止めることで、GV を経て QG に進化すると広く考えられている。本講演で取り上げる若返り銀河 (rejuvenated galaxy: RG) は QG が星形成を再開し、GV や SFG に戻った (rejuvenation を経験した) 銀河のことである。先行研究における問題点として、RG のサンプル数がせいぜい数十天体程度であること、RG の定義が先行研究ごとに異なること、さらに QG のみを探索するなどバイアスを持つサンプルを用いていること等が挙げられる。これらの要因により RG の統計的な研究は進んでおらず、rejuvenation のメカニズムや銀河進化における役割なども、いまだに明らかになっていない。上記の問題点を解消し RG の特徴や rejuvenation のメカニズムを明らかにするため、HINOTORI (star formation History INvestigatiOn TO find RejuvenatIon) プロジェクトを立ち上げた。

本研究では、MaNGA survey で観測された、 $z \sim 0.03$ の活動銀河核を持たない $N \sim 9000$ の銀河に対し、フレキシブルな星形成史を扱うことが可能な Prospector に分光データと測光データを合わせて入力し、SED fitting を行った。再現した星形成史を用いて、 $N \sim 1000$ という過去最大の RG サンプルを構築した。選出された RG は QG と似た星質量分布を持つものの、QG よりも disk-like な形態を持つ銀河が多く含まれていた。また全銀河の $\sim 10\%$ が RG であったが、特に GV における RG の割合は高く、重い銀河を中心に $\sim 40\%$ であった。本講演では、このサンプルを用いた初期解析の結果を、MaNGA の面分光データを用いた解析と合わせて報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

X46a CO(2-1) ガス分布形態の定量的・統計的解析による銀河棒状構造と分子ガス中央集中度の関係について

山本卓 (筑波大学), 伊王野大介 (国立天文台), 斉藤俊貴 (国立天文台), 久野成夫 (筑波大学)

銀河の形態についての定量的解析による研究は可視光・赤外線データでは Conselice (2003) などの多くの研究成果がある。他方では銀河進化の研究にとって重要な意義を持つ、近傍銀河における分子ガス分布形態の CAS パラメータを用いた本格的な定量的・統計的解析は、昨年の春季年会で報告した本研究以外には現在のところ Davis et al. (2022) しかない。しかし Davis et al. (2022) では分子ガスの銀河中央部への集中度についての分析は行われていない。本研究では分子ガスの中央集中度 Concentration (C) を、過去の研究より大幅に高い 180 pc という空間分解能のデータを用いて、精度良く数値的に表すことが可能となった。その結果として、棒状構造を持つ渦巻銀河については分子ガスの高い中央集中度を持つものが多いことが示された。これはこれまでの研究成果とも矛盾のないものであった。しかし、 C 値は 3.0 から 7.7 までの幅があり、棒状構造のない渦巻銀河の C 値の平均値 3.9 より低い棒渦巻銀河も 25% あった。この分子ガス中央集中度の違いが何に因るものなのかについて詳しく調べた結果、棒状構造の強さ (Q_H) よりも、むしろ棒状構造の長さ (R_{bar}/R_{25}) と C 値の間に良い正の相関が見られることを新たに見出した。また Asymmetry (A) が高い値を示す、過去の銀河間の相互作用の影響が残っている 3 つの銀河については、棒状構造の長さに関わらず分子ガスが銀河中央部に集中していないことも判明した。今回の講演ではこの棒状構造と分子ガスの中央集中度に関する分析と考察について論じる。

[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](#)

X47a Mixing-Fallback 超新星爆発モデルで探る極金属欠乏銀河の豊富な鉄の起源

渡辺くりあ (総合研究大学院大学), 大内正己, 富永望, 中島王彦, 小野寺仁人, 石垣美歩 (国立天文台), 鈴木昭宏, 野本憲一, 磯部優樹, 小野宜昭, 播金優一 (東京大学)

金属量が低く、若い極金属欠乏銀河 (EMPG) の中で $[\text{Fe}/\text{O}]$ が高い銀河が観測されている。EMPG は若く、間欠的星形成の兆候も見られないため、Ia 型超新星では元素組成比を説明できず、対不安定型超新星 (PISN) や爆発エネルギーが大きい極超新星爆発 (HN) が豊富な鉄を生成した可能性が指摘されている (Isobe et al.2022)。

前回の講演 (2022 秋, X57a) では、PISN で豊富に作られる S と Ar の O に対する組成比を確認すると、観測された EMPG は Fe が多いにもかかわらず、S と Ar が非常に少なく、PISN だけでなく、どの超新星の yield を使った化学進化モデルでも元素組成比を説明できなかった。今回の講演では、EMPG の元素組成に見られる S と Ar が少なく Fe が多くなる原因として、超新星の爆発エネルギーと mixing - fallback (Umeda & Nomoto 2002) の効果を評価した結果を報告する。Tominaga et al.(2007) の重力崩壊型超新星 (CCSN) モデルについての yield 計算コードを用いて、EMPG の観測結果に合う yield を調べた。近傍の星形成銀河 (Izotov et al.2006) や通常の EMPG は、mixing - fallback が入った CCSN で元素組成比を再現できた。一方、Fe が太陽組成ほど多い EMPG は mixing - fallback の効果がない小質量星の CCSN で元素組成比を再現できたが、大質量星を多く含む EMPG にはそぐわない。そこで、爆発エネルギーを大きくすると、mixing - fallback の効果がない H で Fe が多い EMPG の元素組成比を再現できた。EMPG のような金属量が低い環境では、mixing - fallback の効果が少ない HN が支配的に起こっていることが示唆された。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

X48a すばる望遠鏡/Suprime-Cam, FOCAS によるかみのけ座銀河団の $\text{H}\alpha$ 光度関数

太田 隼, 小宮山 裕 (法政大学), 八木 雅文 (国立天文台), 田中 幹人 (法政大学)

近傍宇宙における観測的事実として、活発に星形成を行なっているのは低質量銀河が主であり、大質量銀河の大部分は昔に星形成を終えていて、現在はほとんど星形成を行っていないということが知られている。これはダウンサイジングシナリオと呼ばれる。ダウンサイジングシナリオに従うと、矮小銀河の数が典型的な銀河の数を上回っている銀河団環境において、星形成をしている矮小銀河が多数存在し、その矮小銀河が系全体の星形成率に大きく寄与することが期待される。これは星形成の指標となる $\text{H}\alpha$ 輝線の観測から $\text{H}\alpha$ 光度関数を作成し星形成率を求めることで検証できる。

本研究では、銀河数が多く、暗い矮小銀河の観測に最適な近傍に位置するかみのけ座銀河団 (Coma cluster) を観測対象とし、すばる望遠鏡/Suprime-Cam 狭帯域フィルター (NB671) を用いた撮像観測により Coma cluster の $\text{H}\alpha$ emitter 候補 817 個を検出した (観測面積は約 1150.7 min^2)。また、follow-up 観測としてすばる望遠鏡/FOCAS を用いて分光観測を行った。分光観測からは赤方偏移を求め、Coma cluster のメンバー銀河の特定及び背景銀河の除去を行った。その結果、赤方偏移が測定できた銀河は 56 個、Coma cluster のメンバー候補銀河は 49 個と分かった。また、FOCAS の観測データだけでは分光データが少なかつたため、SDSS をはじめとした過去の分光観測データを組み合わせた。以上より、撮像データと分光データを用いて、先行研究 Iglesias-Páramo et al. 2002 よりも約 100 倍暗い光度レベル ($L = 10^{37} \text{ erg/s}$) までの $\text{H}\alpha$ 光度関数を決定した。そして、矮小銀河の星形成率が Coma cluster 全体の星形成率にどれほど寄与するかを議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

X49a 電離光子放射天体 Mrk54 における [O III] 88 μm と [C II] 158 μm の検出とその意味-高赤方偏移 ALMA 研究への示唆 II

浦遼太, 橋本拓也, 久野成夫, 矢島秀伸 (筑波大学), 井上昭雄, 菅原悠馬, 札本佳伸 (早稲田大学), Dario Fadda (SOFIA Science Center), 田村陽一, 萩本将都, Tom Bakx (名古屋大学), 松尾宏, 馬渡健 (国立天文台), 山中郷史 (鳥羽商船高専), Matthew Hayes, Johannes Puschsig (Stockholm Univ.), Erick Zackrisson (Uppsala Univ.), 吉田直紀, 仲里佑利奈 (東京大学)

ALMA によって宇宙再電離期の銀河観測が盛んに行われ、再電離期の銀河は [O III] 88 μm と [C II] 158 μm の光度比が高い ([O III]/[C II] = 3-20) ことが明らかになった。しかし、遠方銀河で得られるデータは限られているため、光度比が高い理由は明らかにされていない。そこで本研究は、近傍宇宙に存在し、遠方銀河に似た [O III]/[C II] を持ち多波長データが揃う Herschel Dwarf Galaxy Survey の天体や低金属量だが [O III]/[C II] が低い LITTLE THINGS Survey の天体、我々が成層圏遠赤外線天文台を用いて新たにデータを取得した天体 Mrk54 を用いて、[O III]/[C II] と他の物理量の相関の確立を目指した。Mrk54 は再電離を理解するために必要な電離光子脱出率 (f_{esc}) を直接観測している希少天体であり、[O III]/[C II] を再電離の物理に紐付けるために重要である。

前回の講演 (浦ら 2022 年秋季年会 R08a) では、観測から明らかにした [O III]/[C II] が大きい天体の特徴や [O III]/[C II] から f_{esc} を推定する式を紹介した。本講演では、これらに対する新たな議論に加え、Mrk54 の [O III] と [C II] のそれぞれの輝線について、検出の尤もらしさや近傍及び遠方天体 (e.g., Herrera-Camus+2018) との比較結果を報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

X50a 近傍渦巻き銀河 M74 における巨大分子雲の Type 分類と進化

出町史夏¹, 立原研悟¹, 山田麟¹, 村岡和幸², 大西利和², 小西亜侑², 徳田一起^{3,6}, 藤田真司⁴, 柘植紀節⁵, 河村晶子⁶, 小林将人⁶, 福井康雄¹ (1: 名古屋大学, 2: 大阪公立大学, 3: 九州大学, 4: 東京大学, 5: フリードリッヒ=アレクサンダー大学, 6: 国立天文台)

銀河の星形成は巨大分子雲 (GMC) 内で進行するため、銀河進化の理解には GMC の進化への理解が重要である。我々は PHANGS-ALMA による銀河の GMC 観測 (Leroy+ 2021) を用いて渦巻銀河の GMC の解析を進めている。すでに 6 個の渦状銀河において付随 HII 領域を指標とした GMC の Type I-II-III 分類 (Fukui+ 1999) について報告し、Type 分類がこれらの銀河においても有用であることを確認した (出町他 2022 年度秋季年会)。今回はそのうちの M74 銀河について、新たに星団のカタログ (Adamo+ 2017) を用いた解析を行ったので報告する。M74 はほぼ face-on であり距離も 10 Mpc と近いので、確度の高い解析が期待される。また、星団カタログは波長 275-814 nm の 5 バンドの HST 観測データによって星団の質量・年齢を導いており、GMC との付随関係を調べることが可能である。主な結果は以下のようにまとめられる。「10 Myr よりも若い星団は、HII 領域と同様に GMC から 150 pc 以内に集中し、GMC と強い位置的相関を示す一方、10 Myr より古い星団は GMC に付随する傾向を示さない。また、星団に付随する GMC のほとんどは $L_{\text{H}\alpha} > 10^{37.5} \text{erg s}^{-1}$ の高光度 HII 領域の付随する Type III GMC である。つまり若い星団は高光度 HII 領域と共通した GMC への付随を示しており、この傾向は LMC・M33 (Kawamura+ 2009; Gratier+ 2012) で見出された性質と共通する。」以上の結果は、LMC に初めて適用された GMC の Type 分類が他の grand design spiral にも拡張できることを示し、GMC の進化の描像の一般性を支持する可能性がある。今後、さらに多くの銀河に拡張することで GMC 進化描像の普遍性を確立できるか注目される。

[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](#)

X51a Estimating the total mass and onset timing of galactic winds in dwarf galaxies using Galactic Archaeology

松井瀬奈 (名古屋大学), 竹内努 (名古屋大学, 統数研)

The Local Group is a group of galaxies including the Milky Way. Most of the members are dwarf galaxies. Dwarf galaxies are considered to have evolved through a number of internal mechanisms and external processes. For example, the former include star formation and galactic winds. The latter include tidal effects and the influence of star formation by nearby massive galaxies. Dwarf spheroidal galaxies (dSphs), which are the main target of this study, are a class of galaxies with the lowest luminosities completely devoid of interstellar gas. 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 are phenomena in which gas is partially or entirely blown away/out of a galaxy when a large number of supernova explosions occur in a short period of time. In previous studies (e.g., Ferrara et al. 2000), the onset conditions for galactic winds have been attributed to the halo mass. Therefore, we estimated the halo mass using the observed data in this study. In addition, we calculated the onset timing of the galactic wind by considering the SNe energy and the binding energy, then compared it with the star formation history (SFH). The results show that galactic winds have blown away/out in many dwarf galaxies, and that star formation has temporarily or almost completely stopped. However, there were some dwarf galaxies for which no galactic wind was supposed to have blown, depending on the assumed conditions. We plan to discuss those results and also how to estimate the SFH.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

X52a すばる望遠鏡/HSC で探るこぐま座矮小楕円体銀河の星形成史の空間依存性

佐藤恭輔 (法政大学), 小宮山裕 (法政大学), 岡本桜子 (NAOJ), 田中幹人 (法政大学)

近年の研究により矮小楕円体銀河 (dSph) の中には、星形成が複数回行われた、いて座矮小楕円体銀河、りゅうこつ座矮小楕円体銀河などの銀河系 dSphs が発見され、dSph の星形成史が多様であることが知られるようになった。これらの dSphs では、外側ほど早期に星形成が止まり、内側では長い間星形成が続いたため、中心から外側に向かい星の年齢が古くなるような勾配が存在する。これは、Supernovae-feedback や銀河系降着時の潮汐力の影響を受けたことが原因だと考えられている。一方で dSph の中には、初期の活動的な星形成しか行わない、こぐま座矮小楕円体銀河 (Ursa Minor dSph) のような単純な星形成史の dSph も存在する。Ursa Minor dSph で、これまでに見つかった年齢勾配は、複雑な星形成史の dSph とは異なり、中心から外側に向かって年齢がわずかに若くなる。しかし先行研究では、観測領域が 0.75 deg^2 と狭く、中心領域で 22 等までの浅い測光データしか得られていない。詳細な星形成史を探るためには、広視野かつ深い測光データが必要となる。

本研究では、すばる望遠鏡/HSC によって観測された、Ursa Minor dSph の 9 deg^2 の広視野撮像データを解析し、Ursa Minor dSph の潮汐半径を超えるような領域まで、26 等までの深い測光データを得た。色等級図と金属量一定の恒星進化の理論曲線を比較し、準巨星分枝 (SGB) の年齢ごとの等級の広がりを用いて星の年齢分布の空間依存性を調べた。金属量が一定の時、SGB は年齢と良い相関がある。解析の結果、10 Gyr から 13 Gyr に渡る星形成がどの半径でも確認できたが、半径に依存する有意な年齢分布の勾配は認められなかった。

[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](#)

X53a Galaxy Collisions and Dynamical Evolution of the Andromeda Galaxy

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きている。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 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。特に、AGSS の progenitor が M31 ディスクと相互作用する事によってできるディスクのリング構造との関係、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](#)

X54a すばる望遠鏡/HSC による深観測で探る NGC5466 広域分布

小上樹 (総合研究大学院大学), 石垣美歩 (国立天文台), 千葉征司 (東北大学), 小宮山裕 (法政大学), 富永望 (国立天文台), Mohammad Mardini (IPMU), Tilman Hartwig (東京大学), 桐原崇亘 (筑波大学), 岡田寛子 (甲南大学)

冷たい暗黒物質による銀河形成シナリオにおいて、銀河ハロー部には恒星系が降着した残骸である恒星ストリームが存在する。恒星ストリームは、その力学時間の長さから降着時の情報を何十億年にもわたって保持しており、銀河形成を解明する手がかりとなる。特に、球状星団に付随する恒星ストリームは速度分散が小さいため、銀河ポテンシャルの強力なトレーサーである。これまで、近傍 (< 10 kpc) にある球状星団の恒星ストリームは、その近きから研究が盛んに行われてきた。しかし、より遠方 (> 10 kpc) に位置する球状星団では見かけの明るさが暗くなったり、恒星ストリームを構成する星が前景にある銀河系円盤星に埋れてしまったりするため、あまり研究が行われてこなかった。

本研究では、すばる望遠鏡/Hyper Suprime-Cam 用狭帯域フィルター NB395 を用いて、16 kpc の距離にある球状星団 NGC5466 とその恒星ストリームの観測を行った。NB395 を用いることで、前景星と NGC5466 の星を分離することができ、真の NGC5466 の構造を捉えることができる。観測された個々の星の色等級情報と固有運動を用いることで、61 % の前景星を除去することができた。その結果、潮汐半径 (> $51_{-2.75}^{+3.35}$ pc) を超える領域に NGC5466 に付随する星が存在することが確認できた。このような領域の動径方向分布は $\gamma = -3.77_{-0.24}^{+0.21}$ の冪乗則に従っており、典型的な球状星団の値よりも比較的緩やかな冪乗則であることが確認できた。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

X55a Exploring Galaxy Spectra by Deep Learning

Daiki D. Iwasaki (1), Tsutomu T. Takeuchi (1,2) Suchetha Cooray (1)((1) Nagoya Univ., (2) ISM)

The spectral energy distribution (SED) - i.e. the distribution of radiation intensity over wavelengths - is a reflection of the overall flux of stars, gas, and dust, which are crucial markers of the composition of galaxies. Hence, it contains important information for understanding a galaxy. To better understand it, we propose a method that uses unsupervised neural networks, or 'autoencoders', to compress high dimensional data to extract only the important latent features without assumptions. Unlike the principal component analysis, it captures the relationship between SED and latent representation. By keeping only a small number of important features, we can reduce the dimensions of our data, and making it easier to analyze and give an interpretation. We anticipate more observational data from instruments of the next generation such as JWST, which will usher in the era of big data. The Big data with high dimensions make it challenging for physics inference. Therefore, dimension reduction is a powerful method for understanding the universe. This time, we introduce a special type of autoencoder to discovering the disentangled representation and the reconstructed spectra closer to observation data. We then check for correlations between these latent features and a galaxy's properties. Latent features can predict galaxy physical properties. We compared these predictions to ones measured with SED fitting.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

X56a Generative Model of Simulated Galaxies for Fitting Observed SEDs

Suchetha Cooray¹, Tsutomu T. Takeuchi^{1,2}, and Peter Behroozi^{3,4}

(1: Nagoya University, 2: Institute of Statistical Mathematics, 3: National Astronomical Observatory of Japan, 4: University of Arizona)

A galaxy's star formation history (SFH) is inferred from a galaxy's observed spectral energy distribution (SED). However, it is known that SFHs are challenging to constrain even with high-quality observations. SFHs are commonly approximated with parametric forms that impose strong priors on their shape. Consequently, it is known that these models can strongly bias galaxy property measurements such as the star formation rate. A solution to the above can be using piecewise-defined models. However, because of their flexibility, they cannot be fully constrained. Thus, physically-motivated SFH models from simulations may be favored. Instead of building an extensive library of simulated SFHs, we propose to use a generative model, which learns the intrinsic distribution of SFHs and can generate new simulation-like SFHs. In addition to SFHs, we also track a galaxy's chemical evolution history, allowing us to generate SEDs for simulation-like galaxies to be matched to observed ones. The advantages of such methods are bidirectional, to constrain galaxy property measurements from observed SEDs and to constrain galaxy formation models from observations.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

X57a Application of machine learning to the spatially resolved SFR–Mass relation

Wen E. SHI (1), Tsutomu T. TAKEUCHI (1,2), Suchetha COORAY (1), 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](#)

X58a 改良版 Balsara Switch を用いた、SPH 法の持つ空間ゼロ次誤差が誘発する偽 Kelvin-Helmholtz 不安定の抑制

湯浅拓宏, 森正夫 (筑波大学)

Smoothed Particle Hydrodynamics (SPH) 法は銀河形成や宇宙論シミュレーションで幅広く用いられているが、いくつかの問題が存在する。例えば、衝撃波を扱うために人工的な散逸項 (人工粘性項) が必要なこと、その散逸項がシア領域に粘性を与えてしまうこと、接触不連続面で非物理的な圧力勾配が表面張力の様に発生してしまうこと、離散化の際に粒子分布の非等方性からくる空間ゼロ次の誤差が発生することである。

Saitoh & Makino (2013) によって開発された Density-Independent SPH (DISPH) 法と、我々が開発した DISPH 法に Riemann solver を組み込んだ Godunov DISPH (GDISPH) 法では、接触不連続面で不連続な密度ではなく、連続な圧力をカーネル推定し、SPH 法の方程式が密度に陽に依存しないように書き表すことで接触不連続面での非物理的な圧力勾配の問題を解決した。実際に、DISPH 法、GDISPH 法によって静水圧平衡やケルビンヘルムホルツ不安定性といった流体の特徴的な現象を通常の SPH 法よりも正確に再現することに成功している。

Balsara (1995) によって考案された Balsara Switch (BS) は、シア領域で人工粘性が粘性を加えてしまうことを防ぐことができる。Kelvin-Helmholtz 不安定性や回転円盤のシミュレーションでは、Balsara Switch によってパフォーマンスが大きく向上することがわかっており、数多くの SPH 法を用いたプログラムで採用されている。

本発表では、BS を付けた SPH 法、DISPH 法において、空間ゼロ次の誤差が非物理的な摂動となり Kelvin-Helmholtz 不安定性の成長を誘発することを示し、改良版 BS を用いた偽不安定性の抑制方法についても述べる。更に、GDISPH 法や Godunov SPH 法において、未だに提案されていない BS を付ける手法についても述べる。

[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](#)

X59a Measuring the dark matter halo of a dwarf spheroidal galaxy through normalizing flows

Kohei Hayashi (Ichinoseki College), Sung Hak Lim (Rutgers University), Mihoko Nojiri (KEK)

The kinematics of stars in dwarf spheroidal galaxies have been studied to understand the structure of the dark matter halo. However, the kinematic information of those stars is often limited to celestial position and line-of-sight velocity, making full-phase space analysis challenging. Conventional methods rely on projected analytic phase space density models with several parameters and infer the dark matter halo structure by solving the spherical Jeans equation. In this paper, we introduce an unsupervised machine-learning method for solving the spherical Jeans equation in a model-independent way as a first step toward a model-independent analysis of a dwarf spheroidal galaxy. Using continuous normalizing flows, we present that spherically symmetric stellar phase space densities and velocity dispersions can be estimated without model assumptions. As a proof-of-concept, we apply our method to Gaia challenge datasets for spherical models and measure the dark matter mass densities given velocity anisotropy profiles. Our method can identify the halo structures precisely, even with a small number of tracer stars.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

X60a 高分解能矮小銀河形成シミュレーションで探るコアカスプ問題

金子克大, 藤井通子 (東京大学), 斎藤貴之 (神戸大学), 平居悠 (ノートルダム大学/東北大学)

コアカスプ問題は、 Λ CDM 理論の小スケール問題の内の 1 つである。この問題はバリオンを考慮することで解決するという説が有力であり、シミュレーションから矮小銀河ではコアからカスプまでの多様性も指摘されているが、バリオン関連のモデルによって結果が異なっており、未だ未確定である。また従来の銀河形成シミュレーションで用いられてきた、星団程度の質量 ($> 10^3 M_{\odot}$) を 1 つの星粒子とする SSP 近似 (Simple Stellar Population) では矮小銀河中心部を十分に分解できないため、従来手法に代わる手法が必要となっている。

そこで本研究では新たな手法として、個々の星を 1 つの粒子として直接扱う Star-by-Star 法 (Hirai et al. 2020) を基に、大質量星のみを Star-by-Star、フィードバック寄与のない低質量星を $1 M_{\odot}$ の星粒子とする手法を開発、実装した。これを用いて、 $M_{\text{halo}} \sim 10^9 M_{\odot}$ のハローで矮小銀河形成シミュレーション (質量分解能: $\sim 20 M_{\odot}$ (ガス粒子), $\sim 100 M_{\odot}$ (ダークマター粒子)) を行い、ダークマターのみの計算 (DMO) とバリオンを含んだ計算 (Hydro) で比較した。結果として、ダークマター密度分布では Hydro と DMO の両方で明確なコアは確認できず、分布に関しても大きな差は見られなかったが、DMO と比較して Hydro は中心で超過、中間で不足というバリオン質量分布と似た傾向を示していることがわかった。単純な power-law ($\rho \propto r^{\alpha}$) を用いてビリアル半径の 1–2% の範囲のみでフィット (Cintio et al. 2014 など) を行った結果、DMO では $\alpha \sim -1.5$ 、Hydro では $\alpha \sim -1.6$ と Hydro は DMO よりもカスプな傾向にあること、また $z=0$ での $M_{*}/M_{\text{halo}} - \alpha$ の関係図では、その他のシミュレーションモデルの結果とおおよそ一致していることがわかった。小さな矮小銀河 ($M_{\text{halo}} \sim 10^9 M_{\odot}$) でのダークマター密度分布はカスプである可能性が高い一方で、バリオンの存在によってその程度は変化し得る可能性がある。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

X61a ダークマターハローの scaling relation の起源とカスプ-コア遷移

金田 優香, 数野 優大, 大滝 恒輝, 森 正夫 (筑波大学)

銀河・矮小銀河スケールにおいてダークマターハローには universal に成り立つ scaling relation がいくつも発見されてきた。これらは銀河の形成過程をトレースしていると考えられるが、その起源は未だ明らかでない。加えて、Lambda-Cold Dark Matter (CDM) モデルは、大きいスケールで宇宙の構造形成の予言に成功している一方で、銀河・矮小銀河スケールではいくつかの問題が依然として存在している。その中でも最も議論の的となっているもののひとつが「カスプ-コア問題」である。本研究では、ダークマターハローの central surface density が矮小銀河から銀河スケールで一定となる理由をカスプ-コア問題と結びつけて考察する。Kormendy & Freeman (2016) では矮小銀河スケールでの central surface density を銀河スケールのスケージングと合わせるために人為的に変化させ、その物理的要因を定性的な説明にとどめていた。我々は、初めカスプ型で形成したダークマターハローの質量密度分布を、超新星フィードバックがコア型に変化させるという仮定に基づき、遷移前後のコアプロファイルのパラメータとカスププロファイルのパラメータの関係を一意に定めることのできる「カスプ-コア遷移モデル」を作成した。このモデルを用いることで、Kormendy & Freeman (2016) が行った人為的な操作はカスプ-コア遷移に相当する操作を行っていたことがわかった。加えて、コア型からカスプ型に戻した Kormendy-Freeman relation は CDM モデルに基づいて行われた宇宙論的 N 体シミュレーションによるダークマターハローの universality である concentration-mass relation によってよく再現されることを示す。これは、過去にカスプコア遷移が起こったことと、scaling relation が concentration-mass relation を起源とすること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](#)

X62a 銀河衝突によるダークマター欠乏銀河の形成：フィードバックモデル依存性について

大滝 恒輝, 森 正夫 (筑波大学)

現在の標準的な銀河形成モデルである CDM モデルに基づく、銀河には恒星質量の約 100 倍以上のダークマターが存在していると考えられている。しかし最近、ダークマター質量が恒星質量に比べて同程度以下である矮小銀河が観測されており、 Λ CDM モデルに対する新たな問題となっている (e.g. van Dokkum et al. 2018)。このようなダークマター欠乏銀河の多くは、大きな effective 半径 (> 1.5 kpc) で低い表面輝度 (> 24 mag arcsec⁻²) を特徴とする Ultra-Diffuse Galaxy (UDG) に分類されている (van Dokkum et al. 2015)。UDG のような広がった星分布を持つ銀河の形成過程には、フィードバック駆動のガスアウトフローによる重力ポテンシャルの変動が重要な役割を果たしていることが示唆されている (Di Cintio et al. 2017)。

我々はこれまでに、ホストハロー内を運動するダークマターサブハロー同士の衝突によってダークマター欠乏銀河を形成する可能性について研究し、その形成条件を見出した。本研究では、超新星フィードバックを受けるガスの熱力学進化モデルを変えることで、フィードバックの効果が最も強いモデルと弱いモデルのシミュレーションを実行し、その強さがサブハローの衝突進化過程に与える影響を調査する。衝突速度 100 km s⁻¹、質量 $10^9 M_{\odot}$ のサブハロー同士の衝突シミュレーションの場合、弱いモデルではフィードバックによって得たエネルギーのほとんどをガスの放射冷却によって失うため、ガスが衝突面に止まって星形成を起こす。一方で強いモデルでは大規模なガスアウトフローが発生し、形成した銀河はより広がった恒星分布となった。この結果は、サブハロー衝突によって形成するダークマター欠乏銀河の性質にフィードバックの強さが影響を与え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](#)

X63a 宇宙論的 N 体シミュレーションデータから探るダークマターサブハローの角運動量ベクトルの進化

長船大樹, 和田桂一 (鹿児島大学), 石山智明 (千葉大学)

Λ CDM モデルに基づく階層的構造形成モデルでは、大きなダークマターハロー (ホストハロー) の内部に小さなダークマターハロー (サブハロー) が存在することが知られている。これらは、母銀河に付随する衛星銀河として観測され、サブハローの進化を調べることは衛星銀河を理解することに繋がる。しかしながら、サブハローの分布や質量に関する研究に対して、角運動量ベクトルに注目した研究は殆ど行われていない。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。高分解能かつ大量のサンプルを得るために、質量分解能 $5 \times 10^3 h^{-1} M_{\odot}$ の高分解能の Phi-4096 (Ishiyama et al. 2021) と大量のハローを持つボックスサイズ $280 h^{-1} \text{Mpc}$ の ν^2 GC-S (Ishiyama et al. 2015) の 2 つの宇宙論的 N 体シミュレーションデータを用いた。サンプルには Bett & Frenk (2016) と同じ制限を満たす十分な解像度と角運動量を持つサブハローを対象を選んだ。解析の結果、 $z = 0$ でホストハローの中心でサブハローとホストハローの角運動量ベクトルの方向が一致する傾向が得られた。また、時間変化について調べると、角運動量ベクトルの方向は $\sim 2 \text{Gyr}$ 前から現在に至るまでホストハローは殆ど変化していないのに対し、サブハローは 45° 程の角度変化が見られた。また、比角運動量の大きさは、ホストハローでは時間と共に増加しているが、サブハローでは殆ど変化していないことがわかった。本講演では、これらの結果とホストハローがサブハローの角運動量ベクトル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](#)

Y01a 高校理科必修科目に関するカリキュラム研究 (I)

縣秀彦 (NAOJ), 山崎友紀 (法政大), 今井泉 (東邦大), 小森次郎 (帝京平成大), 上野宗孝 (ISAS), 海部健三 (中央大), 富田晃彦 (和歌山大), 長沼祥太郎 (九大) ほか

本研究グループでは、次期学習指導要領に実装可能な高校理科カリキュラムを多角的に検討している。高等学校理科4領域が、現在はほぼ独立して指導されている一方、その内実は相互に関連しながら現代社会の問題に密接に関連していることを重視し、科学教育の意義・目的と現代社会における役割を再考し、生徒の課題解決能力の育成を主眼とした総合的かつ基礎的な必修理科科目を構想し、実践・評価することを目的とする。2022-25年度の研究プロジェクトであるが、本発表では途中経過と課題整理内容等を提示する。

具体的には、STEAMなど海外の動向調査、日本の理科カリキュラムの歴史的経緯の調査、現職教員と教員養成大学等への聞き取り調査等の多角的な検討を今年度中に並行して行った後に、新カリキュラム案要素を親和図法等により構造化し、複数モデルを構築することを目指している。さらに、このモデルに沿って指導案、教科書、教材等を作成し、モデルごとに授業実践を協力校等にて行い、その統計分析等により評価分析を行う予定である。

研究グループ内で2022年7-9月に、アンケート調査を実施したところ、教科理科が対象とする現代社会の課題として、次の7項目が抽出された。地球温暖化など気候変動、生物多様性と生態系、エネルギー問題、感染症、水質汚染、科学技術と人間生活、宇宙・地球・生命・ヒトの理解。さらにこれらの課題解決能力の育成においては、物質とエネルギー、系統性・多様性・共通性等の理解が扱うべき上位コンテンツとして挙げられ、物化生地4分野がほぼ等しく関わっていることが分かった。扱うコンセプトやコンピテンシーに関しても議論を進めている。最終的には本研究結果を取りまとめ、比較分析することで、最終的な新カリキュラム案を近い将来に発表したい。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Y02a 東京学芸大学新40cm鏡による昼間の小学校の教室からの遠隔月面観測

土橋一仁、富田飛翔、大房優莉香、西浦慎悟 (東京学芸大学)、佐賀井菜於 (久原小学校)

本講演では、東京学芸大学の40cm望遠鏡(以後、40cm鏡)を利用した都内公立小学校での試行授業について報告する。40cm鏡は2020年3月に教育用の古い望遠鏡を更新する形で東京学芸大学に導入された。以来、我々は望遠鏡本体やカメラ等の周辺機器、及びドーム等の付帯設備の整備・開発に取り組んできた(e.g., 土橋他、富田他、大房他、2022年秋季年会)。40cm鏡導入の重要な目的の一つは、小学校から高等学校の理科教育での活用である。これについては、装置の状況が整い始めた2022年夏頃より、実践的な取り組みを始めている。

その一環として、2022年10月20日に大田区立久原小学校の第4学年を対象とした試行授業を行った。インターネットに接続した40cm鏡を利用して、「昼間の理科の授業中」に月をリアルタイムで観察するという点に、この試行授業の特徴がある。対象児童は、月の学習を終えつつある学習段階にあり、そのまとめにあたる時間に試行授業を設定してもらった。佐賀井を含む同学年の4人の担任教員らの全面的な協力を得て、4年生全員(4クラス合計百人超)に対して午前中の理科の時間に同時に授業を行った。1クラス分の授業を佐賀井・大房が担当し、それを隣室の他のクラスの大型スクリーンにも同時配信し、各クラスの担任教員が必要に応じてフォローする、という流れで40分間の授業を行った。授業の導入部分が終わり、東京学芸大学の天文ドームに待機していた富田が40cm鏡で月面を映し出すと、児童から大きな拍手と「おー!」という歓声上がり、4つの教室はどれも興奮に包まれた。授業の後半では、月の表面の組成や見え方の違いについて議論させ、さらにクレーターや海の形成史について解説した。本講演では、この試行授業について紹介し、昼間の時間帯に行う天体観測の教育効果について論じる。

[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](#)

Y03a ひので衛星といっしょに太陽を観測しよう！ 2010-2022

矢治健太郎 (核融合科学研究所), 下条圭美 (国立天文台), 時政典孝 (佐用町役場), 鈴木大輔 (川口市立科学館)

太陽観測衛星「ひので」の観測データは研究だけでなく、教育普及目的の活用にも奨励されている。「ひので衛星といっしょに太陽を観測しよう！」(以下、ひのでといっしょ)は、中高生や公開天文台・科学館との共同観測キャンペーンで、[HOP173] EPO campaign observation mainly for high school student として提案され、2010年以來、毎年実施してきた。

「ひのでといっしょ」は、2010年9月1日に始まり、昨年で13年目を迎えた。この間、観測提案16回、観測日数141日、参加校・施設37、発表数21(2022年まで)である。日頃太陽観測をしている中高生たちが、ひのでの観測データに関心を持ち、自分たちの太陽観測データと比較することを促進することを目的としている。参加した学校からは観測成果を都道府県の発表会や天文学会のジュニアセッションで発表している。2016年には太陽フレアの観測に成功した高校も現れた。「ひのでといっしょ」は、非常にユニークな取り組みとして、国内外から高く評価され、研究者からも活動をエンカレッジされている。2016年のひので10周年記念誌にもこの活動が報告された。ただし、2020年及び2021年はコロナウィルス過で、太陽の屋外観測が難しいことから、ひのを含めた太陽観測のアーカイブデータの活用を推奨したり、オンラインによる観測説明会を実施した。2022年は、「ひのでといっしょのヒント」という Tips を連絡用 ML で定期的に発信し、観測のアドバイスを行った。

本講演ではこれまでの「ひのでといっしょ」の実施状況の軌跡を振り返る。また、SOLAR-C などの太陽将来計画ミッションにおいて、このような参加型の教育普及活動は今後も重要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](#)

Y04a 岡山クーデ分光乾板デジタルアーカイブの予備調査 III

柳澤顕史 (国立天文台), 古荘玲子 (都留文科大学), 根本しおみ, 春日敏測, 渡部潤一 (国立天文台)

国立天文台・写真乾板ワーキンググループは、旧・岡山天体物理観測所の写真乾板のデジタルアーカイブ化を進めており、その一環としてクーデ分光乾板についての予備調査を続けている。これまでの調査で、1) クーデ分光乾板から復元したスペクトルと CCD で得た同一天体のスペクトルが 2-4% の高い精度で一致することを確認したほか、2) 観測野帳に記載された全乾板メタ情報の精査を通して岡山クーデ分光乾板ライブラリは 1 万枚の均質な学術資料であることを確認した。今のところ、岡山クーデ分光写真乾板を、再現不可能な研究資源として保全・活用することに対し不都合な事実は見出されていない。

本講演では、分光乾板のデジタル画像化に使用する商用スキャナー候補の実光学分解能を評価したので報告する。分光乾板のデジタル画像化に際し、要求される光学分解能の目安は 0.025 mm である。これは乾板に投影されたスリット像幅であり、この幅を分解できることが理想である。そこで我々は、現在も入手可能で透過原稿取り込み可能な 4 つの商用スキャナーについて、斜めエッジ法により実光学分解能を評価した。評価試料には USAF 1951 ターゲットを使用し、ImageJ SE.MTF プラグインによる解析を経て変調伝達関数と線像強度分布を得た。光学分解能の評価結果を MTF50 値で比較する。MTF50 は変調伝達関数のコントラストが半分となる空間周波数である。最も高い分解能を示したのは株式会社 Nikon の SUPER COOLSCAN 8000 ED で 37.6 LP/mm (0.013 mm)、ついでアイメジャー株式会社の RPS-4800 で 19.9 LP/mm (0.025 mm) であった。これらの 2 機種は本目的に適切なスキャナー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](#)

Y05a 東京電機大学天文学研究室の立ち上げとその運営

樋口あや (東京電機大学)

東京電機大学理工学部理学系物理学コースの天文学研究室は、2021 年 4 月に鳩山キャンパスに新設された研究室である。本学初の観測天文学 (電波天文学・光赤外線天文学) を推進する研究室であるため、研究・教育の方向性を模索しつつ研究室運営を行っている。本学の教育・研究理念は「技術は人なり」である。「よき技術者は人としても立派でなければいけない」とのことで、世界で活躍できる技術者を育成することが本学の目標でもある。本研究室も本学理念に則り、観測天文学を通じて優秀な技術者を育成していきたい。そのために、学内での勉強だけでなく観測所や研究所へ出向き、現場で観測や解析経験を積むことで学生の技術力を向上させ、優れた人材の育成を行うことを目標とする。

本研究室では、天文学教育として現場経験を重要視したいと考え、電波・光赤外線観測実習を導入した。そのために、東京大学木曽観測所と茨城大学理学部附属宇宙科学教育研究センターとは、観測実習の受け入れ体制を構築した。電波観測実習では、高萩 32m 電波望遠鏡を、光赤外線観測実習では、木曽観測所のシュミット望遠鏡と搭載された Tomo-e Gozen カメラを用いた観測を実施した。本講演では、電波・光赤外線観測実習の内容とその結果について報告し、本学における天文学教育の需要と影響、そして課題について議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Y06b 小中学校理科におけるプラネタリウム学習投影の現状と課題 II

二瓶美生, 濤崎智佳, 金子紘之 (上越教育大学)

2017 年告示の小中学校学習指導要領理科では、博学連携が推進されている。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、プラネタリウム学習投影に関する教員アンケートを行った。この結果、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、それを受けてプラネタリウム学習投影 360 度動画を作成した (2022 年秋季学会 Y10b)。

作成した 360 度動画を用いて、2022 年 9 月と 11 月に小学校 4 年生各 23 名、24 名を対象とした授業実践を行った。360 度動画は YouTube にアップロードし、限定公開とした。360 度動画を YouTube アプリで再生する場合、タブレット端末を動かすことで任意の方向を見ることが出来る。この機能を利用し、児童は太陽や月がどこからのぼってくるか探して実際の方位の方向に向きながら視聴することが可能になった。実践では、児童は 360 度動画を一人ひとりのタブレット端末で視聴し、太陽の動きについて復習した後、月の動きについて学習をした。

また、プラネタリウム学習投影の効果を検証するために、柏崎市立博物館の学習投影を利用した児童・生徒・引率教員対象のアンケートを実施した。学習投影実施回数は 56 回、児童・生徒と教員の回答数は 1132 名、50 名である (2022 年 12 月現在)。自由記述で「学習投影で勉強になったこと」を記入する欄を設けて出現した要素を分析したところ、小学校 4 年生では、夏の三角やさそり座など星座に関する内容だけでなく、星の色や温度に関する記述も見られ、これらも児童の印象に残ったと考えられる。

本講演では、これら 360 度動画を活用した授業実践と学習投影アンケートの結果について報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Y07b 高校生・大学生を対象としたプラネタリウム番組制作を通じた天文教育の実践報告 (2)

大朝由美子 (埼玉大学), 小田達功 (さいたま市宇宙劇場)

天文学は、他の学問分野と比べて、児童生徒・市民の研究活動や天文教育・アウトリーチ活動を通じて社会との関わりが大きいという特徴があり、さまざまな取り組みがなされている。たとえば、中学生・高校生が天文学会で天文学に関する研究発表を行なうジュニアセッションは、本年会で25回を迎え、天文学についての学習や研究活動を活性化させる役割を果たしている。天文学会のジュニアセッションは、先駆的な存在であり、近年では物理学会や気象学会等他分野の学会にも波及し、同様の企画が進められている。加えて、最先端の天文学に触れる機会として、天文教育・アウトリーチ活動が挙げられる。天文学における教育・アウトリーチ活動の取り組みは、IAUを含む世界各国で、他の自然科学分野より活発になされている。一方、中高生が参加できる取り組みがあまり実施されていない。そこで本実践では、天文アウトリーチという観点から、高校生・および教員養成系の大学生を対象とした、プラネタリウム番組制作を通じた天文教育を行なった。

本実践では、資質・能力の要素である「思考力・判断力・表現力等」に着目し、天文学を題材に、児童生徒や市民に科学を正しく伝え、説明する力を養成することが目的である。自然科学・人文科学と学際的な要素があるため、分野を横断した知見の修得にもつながることが期待される。これまで、教育学部自然科学専修理科分野の「地学実験」で自由選択課題として募り、2021、22年に8、5名が参加し、それぞれ3番組ずつを制作・発表した。小学生対象の番組から一般市民のもの、教育的な番組からエンターテインメント要素の強いまで多岐にわたった。

本講演では、これらの内容や、高校生・大学生の本実践を通じた理解度や意識の変化等を報告する。

[スケジュール\(セッション毎\)に戻る](#)

[スケジュール\(全体\)に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Y08b 高校生・大学生を対象としたプラネタリウム番組制作を通じた天文教育の実践報告 (1)

小田達功 (さいたま市宇宙劇場), 大朝由美子 (埼玉大)

高校生における天文学との関わり場の場としては、「ジュニアセッション」を始めとして天文学の研究など探究活動が大きな成果を上げている。一方で、理系的な関わり方となるため、その参加対象は限られている。また、観測設備等の要因から、研究テーマも天文学の全分野を網羅しているとは言えない。

本実践は、埼玉県内の高校から参加者を募り、参加者それぞれの興味・関心をもとに自らテーマを設定し、調査・制作・発表を行った。一般に公開した発表を終着点とし、企画から番組構成、演出までの全てを自ら制作することで、科学をわかりやすく・楽しく伝える表現力や天文学への興味・関心の向上を狙いとしている。

これまでに、2021年に5校(25名)、2022年に5校(41名)を対象に活動を行い、2021年は303名、2022年は380名の観覧があった。番組テーマは「神話」や「生活と星の関わり」のような文化的なものから「星形成」や「宇宙の構造」のように科学的なものまで多岐にわたる。本実践では、ブラックホールや銀河など、高校では観測的研究として扱えないテーマであっても、個々の興味・関心に応じて自由に選び、主体的に取り組む様子が見られた。また、演劇部や天文学の科学的研究を行っていない学校の参加もあり、高校生と天文学の関わり場の場として、より広い対象にむけた活動となった。アンケートでは、活動を通しプレゼンテーション能力の向上したかという項目に関しては8割、天文学への興味・関心については9割を超える生徒から肯定的な回答を得た。

本講演では、他のアンケート項目についても分析するとともに、活動内容と工夫点、大学生を対象とした実践との違い等の詳細を報告する。

[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](#)

Y09b 教育用簡易電波干渉計プロトコル ” j-VLBI” 構想 Vol.3.0

木村正樹 (株式会社リバナス)

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。前年会ではマイクロコンピュータをつかった信号処理のシステムや、イレクタパイプ、リニアアクチュエータ等を使った赤道儀等、本体仕様を決定した。そして3月の本学会においては、精度の高いクロックを用いた周波数変換器を製作し、精度の検証を行う。また実際に太陽電波による試験観測を行うことを目指し、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](#)

Y10b 授業教材としての受信実験専用超小型衛星を目指した放射線耐性試験の試行

内山秀樹, 奥之山翔大, 磯貝拓史, 杉村聖允 (静岡大学)

人工衛星 (特に超小型衛星) の一部は、アマチュア無線の帯域で主に無変調波でモールス信号等のビーコン電波を発信している。その電波はアマチュア無線の機材で受信可能であり、指向性のある (手持ちの) 八木宇田アンテナを使えば、低軌道の衛星ではその動きの速さを実感できる。この衛星電波受信実験は、高校物理の様々な内容 (第 1 宇宙速度、ドップラー効果等) を定量的に学ぶことができ、かつ、宇宙との関連を実感することで子ども達が自身の学ぶ理科への有用感を高められる教材と報告されている (小林ら 2020)。この受信実験では、現在は既存の (超小型) 衛星の電波を利用している。そのため、実験の実施は主ミッションの運用状況にも依存し、また、衛星からの電波は受信実験のために最適化されていない。そこで我々は、小中高生の授業教材としての受信実験を行うことを想定し、そのために最適化した専用の超小型衛星 (CubeSat) を構想している。430 MHz の日本語 FM 音声で、GPS で取得した衛星自身の位置情報 (経緯度) を発信することを主ミッションに考えている。

将来の本衛星の実現を目指し、ミッションに必要な小型コンピュータと音声合成 LSI の Total Ionization Doze 放射線耐性試験を行った。いずれも入手容易で安価な民生品を供試体とした。静岡大学理学部放射科学実験棟の、 ^{60}Co ガンマ線源 (実験実施 2021 年 12 月当時 16 TBq) で照射を行った。音声発話を行う系を供試体で作り動作させ、小型コンピュータ・音声合成 LSI それぞれの電源電流と音声合成 LSI の出力音声信号を監視しつつ、2 時間の照射を行った。その結果、約 4.4×10^2 Gy の照射で小型コンピュータは故障した。この照射量は国際宇宙ステーションと同じ軌道で、厚さ 0.5 mm のアルミ球殻中心に置かれた場合の約 5 年分の放射線量に相当する。

本講演では、受信実験専用超小型衛星の構想と放射線耐性試験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](#)

Y11b 中高における科学史を踏まえた天文教育 — 年周視差と地球の公転の学習 —

林隆之 (麻布中学校・高等学校, 国立天文台)

中学校理科における天文分野の学習では、恒星の年周運動を地球の公転と結びつけて理解すること、金星の満ち欠けを太陽系の描像から俯瞰的に把握することが求められている。これらの学習からは、近代以来の天文学の知識に加え、十分なモデルによって現象を合理的に説明する科学的態度を学ぶことができる。一方、モデルの必要性、つまり、地球を含む各惑星が太陽を中心として公転する必然性まではこの内容からは学べない。恒星の年周運動は、古来、地球の公転に頼らず説明された。また、金星が太陽を周ることを示唆する金星の満ち欠けは、歴史的には、ガリレオがプトレマイオスによる惑星系モデルを否定する材料とされたに過ぎない。現状の中学校理科の学習内容は、同時代にティコが主張した、恒星が年周運動しつつ、金星の満ち欠けが実現する地球中心モデルを棄却できず、近代以降の太陽系モデルの必要十分さの理解にまで至っていないのが現状である。

地球の公転の証拠は、高等学校「地学基礎」でも扱われず、4単位「地学」中の年周視差や年周光行差の学習でようやく触れられる。宇宙観の進展において、地球の公転の証明は重要な転換点であるにも関わらず、履修率が1%にも満たない発展科目でようやく扱われるのだ。多くの学習者にとって、地球の公転は「天下り」でしか与えられておらず、これは、科学的な思考を踏まえて宇宙の構造理解を目指すにあたっての課題といえよう。

本講演では、視差の学習を通じた地球の公転の指導実践を紹介する。数学Iにおける三角比の単元で、視差を利用した測量が練習問題として取り上げられる機会も多く、年周視差の原理は、「地学基礎」の時間内でも短時間で指導可能だ。また、ティコが視差の非検出をもって地球中心説に固執した歴史背景を知ること、観測結果を尊重する科学的態度の重要性や、闇雲な地球中心説への批判の危険性も教訓として学ぶことができるだろう。

[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](#)

Y12b 国際天文学オリンピックへ日本チーム初参加

中道晶香 (京産大共通教育), 長谷川隆 (県立ぐんま天文台), 高橋英則 (東大木曾), 井上毅 (明石市立天文科学館), 塚田健 (平塚市博物館), 青沼恵人, 伊藤寛子, 大野智洋, 大野浩輝, 岡本沙紀, 川口音晴, 北川陽斗, 妹尾梨子, 田中匠, 千葉遼太郎, 中尾俊介, 山田耀 (東大), 安藤唯花 (北海道教育大), 大平達也 (京大), 岡崎小春 (東京藝大), 小野祐 (Harvard Univ.), 桑江優希 (広島大), 清水美結 (東京理科大), 牧田遥翔 (埼玉大)

国際天文学オリンピック (IAO) は、選手同士が知的競争を通じて創造性、想像力、および宇宙科学への関心を深めることを目標に、1996年から毎年開催されてきた。出場を希望する中高生は多かったが、これまで日本代表選手の派遣は行われていなかったため、このたび大学生有志による学生団体が中心となって日本チームを派遣した。

予選は203件の応募があり、うち中学3年生から高校3年生までの5名の代表選手が2022年イタリア大会へ出場し、3名が銅メダルを受賞した。なお、コロナ禍によるリモート開催となり、試験時間が夜間となること等を考慮して東京大学木曾観測所の会場から参加した。4時間に及ぶ理論試験では、さまざまな設定の問題を通じて思考力が試されたが、中高生には難問であり、記述式の答案の書き方指導も今後の課題である。ビジュアル (地図・画像) 試験は、現地で望遠鏡を操作して天体を導入する観測試験の代替として行われた。3時間の実技試験は、実際の観測データをもとに方眼紙にグラフを描きつつ解答する実践的な内容だが、苦戦する生徒が多かった。

問題文のリモート・プリントや多数のWEBカメラとスキャナー等の機材の準備、事前通信試験など、リモート開催ならではの困難もあった。本講演ではイタリア・リモート大会について報告し、代表選手のアンケートから見えてくる教育効果、およびIAOに関する将来への展望と課題について議論する。

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

Y13b 東京学芸大学新 40cm 鏡の広帯域フィルター及び冷却 CCD カメラの性能評価

西浦慎悟, 鈴木海哉, 富田飛翔, 大井彩香, 土橋一仁, ほか 東京学芸大学天文学グループ (東京学芸大学)

2020 年 3 月, 東京学芸大学に教育・研究を目的とした, 新しい光学観測システムが導入された。本講演では, この新観測システムの広帯域フィルターと冷却 CCD カメラに関する性能評価を報告する。

新観測システムの構成は, 鏡筒が ODK16 (Orion Optics UK 製, カセグレン式, 口径 40cm, F6.8), 架台が MI-500 (Mathis Instruments 製, フォーク式赤道儀), 冷却 CCD カメラが ML8300-GPS (Finger Lakes Instrumentation 製), フィルターが Johnson-Cousins システムに準拠した広帯域 B , V , R_c , I_c フィルター (Astrodon 製) となっている。ML8300-GPS は CCD チップ KAF-8300 (ON Semiconductor 製, $3,326 \times 2,504$ pix) を搭載しており, 新観測システムにおいて, ピクセル分解能 0.409 秒角/pix, 視野 22.7 分角 \times 17.0 分角, を実現している (土橋ほか, 2022, 東京学芸大学紀要 自然科学系, 第 74 集, 77-84; 富田ほか, 2022, 東京学芸大学紀要 自然科学系, 第 74 集, 85-93)。

この新観測システムに対して, 以下の事項を確認できた。1) 広帯域フィルターの透過曲線について, 日本分光製の可視分光光度計 V-650 を用いて測定したところ, I_c フィルターでやや長波長側まで感度が高いことを除くと, Johnson-Cousins システム (Bessell, 1990, PASP, 102, 1181-1199) とほぼ同等である。2) ML8300-GPS の暗電流成分について, 冷却設定温度 -10°C \sim -30°C において, 露光時間 0s \sim 1800s の間で直線的に増加しているが, 露光時間 60s までは暗電流成分が数 ADU 程度である。3) ML8300-GPS の線形応答性をドーム・フラット画像を用いて調査したところ, 50,000 ADU 程度まで良い線形性を示す (鈴木ほか, 2022, 東京学芸大学紀要 自然科学系, 第 74 集, 67-75)。広帯域フィルターと冷却 CCD カメラの性能評価の作業については, 現在も進行中であり, ポスターでは詳細を報告する。

[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](#)

Y14b 光学赤外線天文学観測データアーカイブシステムにおける検索高速化の研究

小澤武揚, 小野里宏樹, 中島康 (国立天文台)

高速撮像観測装置の登場により, 近年, 光赤外線天文学観測データアーカイブシステムが公開する観測データの数は著しく増加している。観測データ数の巨大化は, データベーステーブルの巨大化, 検索ヒット数の増加とディスクアクセス量の増大, メモリ容量の圧迫等, データベースの検索速度を劣化させるであろう様々な問題を招くと考えられる。観測データ数の巨大化が検索時間に与える影響を定量的に調べることは, データアーカイブシステムの開発と運用にとって重要な課題である。

観測データ数の巨大化が検索速度に与える影響, そしてデータベースの設定改善による検索速度の高速化について調査するため, 我々は SMOKA/Tomo-e Gozen データ公開システムのデータベースを使って各種実験をおこなった。SMOKA/Tomo-e Gozen システムは 2021 年 11 月より運用を開始した, 木曾観測所シュミット望遠鏡の広視野可視光撮像装置 Tomo-e Gozen で得られた動画データを時間軸方向に積分したスタック済みデータを公開するためのデータアーカイブシステムである。実験には同システムのデータベースと未公開分を含む約 2800 万フレームのスタック済みデータ, 並びに同システムの検索機能であるピンポイント検索, ラフ検索, カレンダー検索の SQL クエリを使った。本講演ではこれらの実験結果について報告し, 観測データ数が巨大なデータアーカイブシステムにとって最適なデータベースの設定等について論じる。

[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](#)

Y15b 天文衛星による観測データを用いたプログラミング教材の作成

村上弘志 (東北学院大), 海老沢研, 田村隆幸 (ISAS/JAXA)

本研究は、過去に作成された「天文衛星による観測データを用いた宇宙科学教育教材」を用いてプログラミング教材を開発したものである。

近年、プログラミング教育の重要性が増しており、さらに AI 戦略 2019 では「全ての大学生が、初級レベルの数理・データサイエンス・AI を習得」という目標が掲げられている。実際のデータを解析する上で、宇宙科学のデータは広く一般に公開されており入手しやすいという利点があり、また、社会科学のデータと違ってそのデータの意味するところも比較的明解である場合が多い。

そこで、我々は宇宙科学のデータを用いた Python のプログラミング演習の教材を作成した。これにより、プログラミングの基礎が学べるとともに宇宙科学の学習にもつながる。題材は、「衛星観測データを用いた宇宙科学 (<https://www.isas.jaxa.jp/home/ttamura/classroom/>)」で公開されている教材のうち、「超高速で回転する中性子星—カニパルサーの 1 日は 33 ミリ秒」を用いた。元の教材は GUI で fits を解析するものであったが、これを astropy などを用いて Python で解析するものとした。実際に大学 3 年次の演習で用いており、Python の習得にも適したものとなっている。この教材の概要について報告する。

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

Y16b 釜山 IAU 総会における外国語固有名詞の発音調査

佐藤 勲 (宇宙用語研究会)

2022 年 8 月に韓国の釜山で開催された国際天文学連合総会において、彗星、小惑星、人名、地名などの宇宙関係の外国語の固有名詞の発音をネイティブの外国人に対して聞き取り調査を行い、新たに多くの従来の日本語表記が間違っていることが判明または確認された。以下に例を挙げる。

| | | | | |
|----------------|---------|------------|-----------|-------|
| Halley | イギリス | ◎ ハリー | × ハレー | 彗星 |
| Hartley | オーストラリア | ◎ ハートリー | × ハートレー | 彗星発見 |
| Levy | カナダ | ◎ リビー | × レビー | 彗星発見 |
| Peltier | アメリカ | ◎ ペルティエ | × ペルチャー | 彗星発見 |
| Schaldach | アメリカ | ◎ シャルダク | × シャルダハ | 彗星発見 |
| Pajdušáková | チェコ | ◎ パイドウシャコバ | × バジュサコバ | 彗星発見 |
| Šárnecky | ハンガリー | ◎ シャールネツキ | × サーネッキ | 彗星発見 |
| Cassegrain | フランス | ◎ カスグラン | × カセグレン | 望遠鏡光学 |
| Nasmyth | イギリス | ◎ ネイスミス | × ナスミス | 望遠鏡光学 |
| Aaronson | アメリカ | ◎ エアロンソン | × アーロンソン | 銀河 |
| de Vaucouelour | フランス | ◎ ドボークレア | × ドボークルール | 銀河 |
| Perlmutter | アメリカ | ◎ パールマター | × パールムッター | 宇宙論 |
| de Sitter | オランダ | ◎ デシッテル | × ドジッター | 宇宙論 |
| Lyytinen | フィンランド | ◎ ルーティネン | × ライチネン | 流星 |
| Kublic | アメリカ | ◎ クーブリック | × キューブリック | 映画監督 |

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

Y17c 紀伊半島周辺の小中学生を対象とした天体望遠鏡の組み立て講座実施報告

池田浩之 (和歌山工業高等専門学校)

和歌山工業高等専門学校では、和歌山県紀伊半島周辺の小中学生たちに、科学技術との触れ合いや、さらに高度な研究課題への取り組みの機会を提供するため、2020年11月より、「きのくにジュニアドクター育成塾」を毎年開講している。私は、この育成塾が開始された年度より講師として参加し、二つの講座を担当している。そのうちのひとつとして、天文学に興味を持ってもらうために、「天体望遠鏡の組み立て」の講座を開講している。天体望遠鏡の組み立て及び天体観測には、国立天文台天体望遠鏡キットと市販の三脚を使用している。新型コロナウイルス感染拡大防止や一人あたりの指導時間をできるだけ長くするために、1回の講座での参加人数は5人から10人に制限して行った。2020年11月から2022年11月までに9回開催し、合計65名の塾生が参加した。

天体望遠鏡を組み立てる過程は、特に問題なく作業を進めていたが、望遠鏡のピント合わせに苦労している塾生が複数名いた。講座の終わりには、さらに天文学に興味を持ってもらうために、日本天文学会のウェブサイトから閲覧できる天文学辞典、国立天文台が推進する市民天文学プロジェクト、「ギャラクシークルーズ」の紹介についても行った。本講演では講座内容の詳細や塾生の感想、講座の改善点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](#)

Y18a 国立天文台「市民天文学」プロジェクト GALAXY CRUISE への参加理由調査

白田-佐藤功美子, 柴田純子, 田中賢幸, 小池美知太郎, 内藤誠一郎, 山岡均, 亀谷和久, 梅本智文 (国立天文台)

すばる望遠鏡ハイパー・シュプリーム・カム (HSC) を使った大規模戦略枠サーベイ (HSC-SSP) の第2期公開データを用いて、衝突・合体銀河の分類に市民が参加する「市民天文学」プロジェクト GALAXY CRUISE (<https://galaxycruise.mtk.nao.ac.jp>) は、2万天体以上に対し266万以上の総分類数を集め、2022年4月に第1シーズンを完了した。現在は、より暗い銀河を含めた第2シーズンを進めている。

2021年7月1日~25日にユーザーズアンケートを実施し、速報を2021年秋季年会で報告した。今回は、回答者をA1(定期的活用者)80名、A2(不定期的活用者)89名、B(不活用者)76名の3つのグループにわけ、それぞれのグループの参加理由と天文学への関わり方(属性)の時間変化を調べた。参加理由は、ユーザー登録時とアンケート回答時に、同じ選択肢を用意したところ、最も積極的に参加しているA1グループでは、「研究に貢献したい」「市民天文学に興味がある」が他グループに比べて登録時から高い割合を示していた。アンケート回答時にはその割合が上昇しているだけでなく、参加理由として選ぶ項目が増えていることがわかった。属性では、1.宇宙・天文との関わり方(「より娯楽的」から「より学術的」を4段階で)、2.宇宙・天文にかかる時間(「より短い」から「より長い」を4段階で)を登録時とアンケート回答時に選んでもらったところ、A2、Bグループでは属性に大きな変化が見られなかったのに対し、A1グループでは、より学術的な志向かつ、より長時間関わっている人の割合が増えた。活発なユーザーの間で本格天文ファンが増えたと言えるだろう。

本講演では、アンケート結果を示しながら、参加者のモチベーションと今度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](#)

Y19a ダジック・アースを用いた天文教育の調査

萩野正興(国立天文台), 大島優, 宮田ゆき乃, 山口慎太郎(明星大), 米村優輝(中央大), 平野誠, 田島丈年(中央大学附属中学校・高等学校), 齊藤昭則(ダジック・アース・プロジェクト/京都大), 明星大学天文愛好会, 中央大学附属中学校・高等学校地学研究部, ダジック・アース・プロジェクト

理科教育において「深い学び」を得るためには「何に対する興味をどのように育むか」を明らかにする必要がある。先行研究において興味の深さは「時間的継続」「内容本質性」「価値的志向」の3つのファクターに依存している。本研究では「天文学への興味」についてこのうち「時間的継続」にフォーカスして調査を行った。

我々はこれまでプロジェクターを使って大型の球体スクリーンに天体を投影し立体視させるダジック・アースを用いて全国各地で出前授業を行ってきた。このダジック・アースは教育現場はもちろんのこと、一般のコミュニティや家庭への浸透を目指している。その応用として身近なもの(スマートフォン、虫眼鏡、スチロール球など)を使って家庭でもダジック・アースが再現できる「おうちでダジック」という教材を開発し、天文啓発活動を行ってきた。

今回、中央大学附属中学校・高等学校の地学研究部と明星大学天文愛好会の2カ所で行われた学園祭においてダジック・アースの球形スクリーンを設置し、天文学の啓発活動を行った。この活動が天文学を含む理科教育の「深い学び」への効果をはかるため、400人弱の様々な年齢層に対してアンケート調査を行った。このアンケートではダジック・アースによる興味の時間的継続をはかる仮説を説明する4つの因子を仮定し、統計的分析を行った。本稿ではこの解析結果を報告し、天文教育の現場への応用を議論する。

[スケジュール\(セッション毎\)に戻る](#)

[スケジュール\(全体\)に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Y20a 大妻女子大学での宇宙に関する企画展の開催

下井倉ともみ, 木村羽菜, 永田千穂里, 松尾英里子, 宮川栞, 友山愛沙, 浜野璃桜(大妻女子大学)

2020年に、「はやぶさ2」が二度のタッチダウンを経て小惑星リュウグウから地球へサンプルを持ち帰ったことは、大きな話題となった。我々はJAXA宇宙科学研究所はやぶさ2プロジェクトの実施したキャンペーンに応募し、サンプルのレプリカを貰い受けることができた。そこで、このレプリカをメインの展示とした企画展を大妻女子大学にて開催した。科学(宇宙)をテーマとした企画展の開催は本学では初めてであった。

企画展は、本学図書館1階の受付横に展示スペースをもうけて開催した。レプリカ以外に太陽系やはやぶさ2の軌道などについて模型を制作し、立体的な展示物を多く配置した。企画展の立案・計画・実施には本学の宇宙ゼミに属する学生が参加した。また、展示期間中は、これらの学生が学生・教職員を対象に解説しながら展示案内を行った。企画展は3週間開催し、合計で300人以上の見学があった。見学者に対して展示に関するアンケート調査を企画展の見学前後で実施し、各100程度の回答を得た。見学前には、「小惑星は太陽系のどこに位置するか？」等の小惑星や太陽系に関する知識を尋ね、その結果はどの質問についても半数以上が「分からない」であった。見学後に実施した同じ質問項目については7割以上が正解となった。このことから、企画展開催により一定の教育効果が得られたと考えられる。本学には理工系学部は設置されていない。また、理系科目へ苦手意識を持つ学生が多い。本講演では、そのような学生を対象に実施した本企画展の成果を報告する。

[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](#)

Y21a 夜空の明るさ測定へのスマートフォン搭載カメラの適用可能性評価

小野間 史樹, 竹植 希 (星空公団)

「夜空の明るさ」とは人間活動に伴う照明の上方漏れ光により、夜空のバックグラウンドが自然光以上に明るくなることである。この夜空の明るさの測定手法としてデジタル一眼カメラを用いる方法がよく知られている。この方法は星空公団が行っている「デジカメ星空診断」や環境省の星空観察等でも用いられており、10年以上の実績があるが、一般市民の参加を想定するとハードルが高く普及への課題となっている。

近年、スマートフォンに搭載されているカメラの性能が向上しており、星空を撮影するモードを備えたものも登場している。またスマートフォンは位置測定機能や通信機能も備えており、手軽な測定デバイスとしても有望である。そこでRAW出力が可能なカメラを搭載したスマートフォンを用い、夜空の明るさ測定への適用可能性を評価した。

評価の結果、カメラ出力には良好な直線性が見られ、測光に用いることが可能であることが確認された。また、デジタル一眼カメラと同時に実際の夜空の明るさを測定した結果、約0.2等級/□”の範囲で測定値が一致した。一方でスマートフォンを用いた結果は撮影画像内の測定ばらつきが最大で約±0.5等級/□”と比較的大きく、ばらつき低減に課題があることが明らかになった。また本測定ではあらかじめダークフレームを撮影して減算を行っており、一般市民への普及を想定すると課題であることも明らかになった。

講演ではこれらの評価結果を報告するとともに、スマートフォン搭載カメラを用いた夜空の明るさ測定の実用化に向け、課題を整理して報告する。

[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](#)

Y22a 市民科学で読み解く「光害」と「光害研究」の動向

大西浩次 (国立長野高専), 大西昂 (東北大情報科学)

「市民科学」=“Citizen Science”の源流を探ると、一つは、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であろう。もう一つに、1960~70年代にかけて、欧米に於いて、プロが積極的に社会問題に参加する「市民科学運動」（日本では「市民の手による科学」運動）がある。これは環境運動から反核運動などが展開された。日本では、自然保護運動と共に、「日本星空を守る会」による光害反対運動などが起きている。一方、欧米の行政側は、このような運動に対して、1980年代には、科学と技術に関する審議への市民参加を促すコンセンサス会議やサイエンスショップが行われ、この流れの中で、1990年代、科学政策のための市民参加への支援策として、今日の「市民科学」のスタイルが誕生したのである。

いま、「長野県は宇宙県」では、天文文化を市民の手で解明を目指す市民科学プロジェクトを進めている。この研究対象の一つとして、光害防止運動や星空環境保護運動などの運動を「市民科学」の文脈から読み解きたいと考えている。この事前調査として、国内外の「光害」防止活動や「光害の科学研究」の動向をデータベースに基づいて調べることにした。本研究では、「光害」"light pollution"のメカニズムを中心とした「光害の科学研究」を、NASA/ADS, および, CiNii Reseach から、「光害」の市民運動やその報道を国立国会図書館サーチ, ジャパンサーチ, 主要新聞のデータベース (朝日, 毎日, 読売) などを使い、「光害」や"light pollution"の用語の出現の頻度やその内容の変遷の様子など調べてみた。「光害の科学研究」では、国内外の「市民科学運動」と研究論文の優位な関連は見る事が出来なかった。一方、報道では光害反対運動から始まり、90年代にピークを迎えていることなどが見て取れる。これらの詳細を「市民科学」の観点から報告したい。

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

Y23a 高齢者のウェルビーイングに貢献する天文学

鴈野重之, 小田部貴子, 香川治美 (九州産業大学)

近年、特に先進国では高齢化が急速に進んでおり、高齢者の生涯学習の機会が増えている。しかし、天文学などの自然科学に着目した高齢者学習に関する研究はほぼ皆無である。従来の高齢者学習研究においては、退職した高齢者は社会福祉の対象であり、高齢者教育では健康の維持や余生の精神的充実などに主眼がおかれていた。そのため、天文学などの自然科学は主要な学習内容と考えられてこなかった。しかし、健康寿命が伸びた近年、退職後も健康を維持した人生の一時期が存在している。元気な高齢者にとって、学習活動はもはや衰えへの準備ではなく、知的好奇心の充足や人生を楽しむためのもの、ウェルビーイング実現のためのものへと変貌しているのである。このような環境のもと、天文学は高齢者学習の対象として大きな魅力を持ち得るだろう。

本研究では、これまで顧みられることのなかった、天文学に対する高齢者の学習ニーズを調べるとともに、高齢者教育の現場に適合した天文教育の方法論を検討する。その第一段階として、高齢者の学習ニーズ調査を行った。結果、現代の高齢者の学習ニーズは、従来想定されてきた学習ニーズ（衰えへの準備、他者とのつながり、ライフレビューなど）とは相容れず、むしろ学習を楽しみ、学習を通して視野を広げることが志向されていることがわかった。また、高齢者が学びの場でどのような学習方法を好むのかについても調査した。一方で、元気といえども視力や短期記憶などの面で、高齢者は若年層と同等とはいえない。逆に、豊富な知識を統合し、ものごとを鑑賞し評価する能力は年齢とともに伸び続けると言われている。そこで、高齢者の安全に配慮し、高齢者の特性にあった教育方法についても検討を行う。天文教育を通じて高齢者の知的活動をサポートし、高齢者の充実した「第三の人生」の実現に貢献することが、今後の天文学コミュニティの社会貢献の一つとして考えられる。

[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](#)

Y24a 低頻度大規模災害としての宇宙由来イベントの学際的研究への予備的調査

玉澤春史 (京都大学/京都市立芸術大学)

宇宙天気現象やプラネタリーディフェンスは、天文現象であると同時に、「低頻度大規模災害 (Low Probability High Consequences (LPHC) disaster)」としての側面も持つ。LPHC に対する防災の観点からのアプローチは、特に 2021 年以降、地震や津波、関連して火山などの分野で積極的に議論されるようになったが、宇宙由来のものに対しては防災の側面での議論は 2022 年の総務省による宇宙天気報告書などこれからという状況である。一方、上記に挙げた二点は欧州や米国などではスペースデブリ問題と一緒に宇宙状況把握 (SSA) という防衛問題として位置づけられる場合もある。また、人類の生存にかかわるということでこのような宇宙由来イベントはしばしば環境教育などの観点から教材のモチーフとして取り込まれることもある。低頻度ゆえの実感のなさが実際の問題として議論しようとする際に判断が難しくなっていたり、十分な学際的事前検討が行われていない可能性がある。2022 年に選択の困難な様々な問題について社会調査を行う例の一つとして惑星防衛を取り上げ、学歴による判断の変化の傾向が見受けられたが、回答者がどの程度実際の問題として取り組んだかをより明らかにするためには周辺状況を把握したうえでの調査分析が必要である。本発表では先行調査結果にも触れながら防災として宇宙災害研究を扱うための状況整理を試みる。

[スケジュール\(セッション毎\)に戻る](#)

[スケジュール\(全体\)に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Y25a 元素楽章 × 元素合成：元素擬人化で表現する宇宙の元素合成

西村 信哉（理化学研究所）、佐藤 日織栞（近畿大学）

自然界に存在する多様な元素は、さまざまな化学的・物理的な性質を持っており、それぞれの元素ごとに個性がある。元素の性質やまた宇宙における起源の解明は、自然科学の研究でも重要なテーマである。元素に関する研究は、人類の身のまわりの物質の構成要素を探索することでもあり、元素の周期表は義務教育でも習う内容である。人によって差はあるが、元素は「誰でも知っている」理科の知識として、よく「擬人化」イラストレーションの対象となる。元素の個性や歴史的背景は、キャラクター化や物語に結びつけやすく、これらは芸術活動であると共に科学の知見を分かりやすく魅力的に表現し伝える手段となる可能性を持つ。共同発表者の佐藤（<https://agedoridori.jimdofree.com>）は、元素の擬人化イラストレーション作成と擬人化元素の物語「元素楽章」を展開している。特に若年層の一般の人にも親しみやすい造形で、人工元素である超重元素も対象に含むため、元素の化学的な内容だけではなく、加速器実験などでの元素合成の物理も反映されているのが特徴である。

我々は、「元素楽章 × 元素合成」（<https://nnobuya.github.io/genso/>）として、元素楽章の世界観や擬人化キャラクターに基づいて、宇宙の元素合成を解説するイラストを作成した。本発表では、元素合成研究の専門家とイラストレーターとの共同作業での制作過程を紹介し、完成した作品の一部をコンセプトと共に紹介する。特に、宇宙の元素合成である中性子捕獲過程に着目し、「s プロセス」と「r プロセス」両者の物理過程について、なるべく分かりやすく物理的に正確な表現を行なったケースを例に紹介する。イラストは、宇宙の元素合成に関する一般向けのアウトリーチ活動や授業などにおいて有益な素材となることを目指して作成した。制作物は、プロジェクトのウェブサイトにて公開しており、教育目的の非商業利用であれば自由に利用可能である。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Y26a 女性計算係の英米日比較

馬場幸栄（国立科学博物館）

イギリスのグリニッジ天文台では 18 世紀後半から、米国のハーバード大学天文台では 19 世紀後半から、日本の緯度観測所では 20 世紀前半から、女性たちが計算係として活躍していたことが知られている。これらの天文台では、いつ何をきっかけとして女性計算係が誕生したのか、また、彼女たちの業務内容はどのようなものだったのか。グリニッジ天文台では『航海年鑑』（1767 年創刊）の出版にあたって大勢の男性が暦計算を担当する計算係として雇用された。ところが、そのひとりが事故で急死すると、実際に計算をしていたのは彼の妻メアリ・エドワーズであったことが発覚した。ネヴィル・マスケリン台長は彼女を正式に計算係として採用し、グリニッジ天文台に初の女性計算係が誕生した。ハーバード大学天文台では 1877 年に台長となったエドワード・ピッカリングが、天体のスペクトル分類という当時最先端の研究を限られた予算で実施するため、女性たちを賃金の安い「計算係」として雇用し、天体の分光学的な分析・分類を行わせた。そのうちのひとりであるウィリアミナ・フレミングはのちに米国人女性初の英国王立天文学会名誉会員となった。また、彼女らの研究成果の一部は『ヘンリー・ドレーパー星表』として発表された。日本の緯度観測所では 1923 年に初めて女性が雇用されているが、その契機となったのは前年に水沢の緯度観測所が国際緯度観測事業の中央局になったことだった。世界各地の膨大な観測データを計算・分析・刊行する必要に迫られた木村栄所長は、業務の分業化・専門化を進め、女性所員たちに計算作業をまかせ始めた。ただし、その女性計算係のなかには、計算作業の傍ら報告書の編集やガラス乾板の分析を行う者もいたことがわかっている。このように女性計算係誕生の背景には各天文台における新規大型事業の導入があった。また、「計算係」という職名が女性天文学者の賃金を低く抑えるために使われることもあった。

[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](#)

Y27c 元素楽章 × 元素合成

佐藤 日織栞 (近畿大学), 西村 信哉 (理化学研究所)

我々は、「元素楽章 × 元素合成」(<https://nnobuya.github.io/genso/>) として、元素の擬人化イラスト制作プロジェクト「元素楽章」の世界観や擬人化キャラクターに基づいて、宇宙の元素合成を解説するイラストを作成(本年会の西村による別講演)している。本発表では、我々が宇宙の元素合成をテーマとして作成したイラストを紹介する。星の進化や超新星爆発、コンパクト星の合体现象など幅広い天体现象を舞台に、元素擬人化キャラクターが楽しく動き回るイラストになっている。星の進化で起こる元素合成過程や s プロセス、爆発現象で起こる r プロセスなどについて、元素合成の物理過程を考慮しつつ、視覚的に分かりやすい解説ができるように目指した。宇宙の元素合成や宇宙核物理に関係する一般向けのアウトリーチ活動や授業などにおいて活用可能である。完成したイラストは、プロジェクトのウェブサイトにて公開中であり、教育目的の非商業利用であれば自由に利用可能である。

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

【2022年秋季年会講演取消一覧】

- M14b Sun-as-a-star Analysis of $H\alpha$ Spectra of a Solar Flare Observed by SMART/SDDI: Time Evolution of Red Asymmetry and Line Broadening
行方宏介(国立天文台)

講演者索引
(50音順)

【A】 – 【Z】

| | |
|------------------------------------|-------|
| Arzoumanian, Doris | P119a |
| Batmunkh, Jargalmaa | M27a |
| Cabezas, Denis Pavel | M13a |
| Cooray, Suchetha | X56a |
| Delfan Azari, Milad | W43a |
| Fariyanto, Erika Prameswari | S27a |
| Gonzalez, Alvaro | V131a |
| Goto, Tomotsugu | X29a |
| HAMIDANI, HAMID | W57a |
| Hashimoto, Tetsuya | W54a |
| Hayashi, Saeko S. | V202a |
| Hsu, Tzu-Yin | W52a |
| Huang, Shuo | X28a |
| Iwasaki, Daiki | X55a |
| Jian, Mingjie | N25a |
| Keszthelyi, Zsolt | N29a |
| Ledos, Nicolas | X35a |
| Lee, Kianhong | X22a |
| Liao, Jinkun | N15c |
| Lim, Sung Hak | X59a |
| Ma, Hai-Xia | T08b |
| MAO, Zhiying | X39a |
| MIAO, WENYAO | R15a |
| Morishita, Takahiro | X05a |
| Moritani, Yuki | V204a |
| Ohashi, Nagayoshi | Z101r |
| Omori, Kiyooki | X43a |
| Paillasa, Maxime | U14a |
| Ren, Yi W. | X18a |
| Salak, Dragan | X21a |
| Shan, Wenlei | V133a |
| SHI, Wen E. | X57a |
| Teng, Huan-Yu | P313a |
| Uchida, Yuusuke | V303a |
| Vijarnwannaluk, Bovornpratch | S05a |
| Xhemollari, Oerd | X01a |
| Yamasaki, Yasumasa | V127b |
| YOON, Seongwhan | U11a |

| | |
|---------------------------|-------|
| ZAPART, CHRISTOPHER | V129a |
| Zhang, Rui Lan | U12a |
| Zhang, Ziwei E. | Z111a |
| Zhong, Yici | W05a |
| Zhong, Yuxing | S28a |

【あ】

| | |
|-----------------------|-------|
| 相川祐理 (あいかわ ゆり)..... | Z119r |
| 青島正和 (あおしま まさかず)..... | U24a |
| 明石一希 (あかし かずき)..... | Q30b |
| 縣秀彦 (あがた ひでひこ)..... | Y01a |
| 赤堀卓也 (あかほり たくや)..... | V136a |
| 朝倉一統 (あさくら かずのり)..... | V325a |
| 浅田喜久 (あさだ よしひさ)..... | X25a |
| 朝比奈雄太 (あさひな ゆうた)..... | W31b |
| 浅利栄治 (あさり えいじ)..... | V223c |
| 麻生有佑 (あそう ゆうすけ)..... | Z103a |
| 安部大晟 (あべ だいせい)..... | P109a |
| 安部大晟 (あべ だいせい)..... | P110b |
| 新居舜 (あらい しゆん)..... | U08a |
| 新井翔大 (あらい しょうた)..... | V319a |
| 荒川創太 (あらかわ そうた)..... | P206a |
| 有馬宣明 (ありま のりあき)..... | W03a |
| 有賀麻貴 (あるが まき)..... | Q17a |
| 安藤和子 (あんどう かずこ)..... | N14c |
| 安福千貴 (あんぷく かずき)..... | N13c |
| 安福千貴 (あんぷく かずき)..... | V335a |
| 安樂由実子 (あんらく ゆみこ)..... | Q29a |

【い】

| | |
|----------------------|-------|
| 飯野孝浩 (いいの たかひろ)..... | Z125a |
| 幾田佳 (いくた かい)..... | N35a |
| 井口聖 (いぐち さとる)..... | V138a |
| 池田浩之 (いけだ ひろゆき)..... | Y17c |
| 池田裕 (いけだ ゆう)..... | S02a |
| 池田遼太 (いけだ りょうた)..... | X11b |
| 池田遼太 (いけだ りょうた)..... | X37a |
| 伊師大貴 (いし だいき)..... | Q21a |

石井彩子(いしい あやこ).....N05a
 石神瞬(いしがみ しゅん).....M39a
 石川慶太郎(いしかわ けいたろう).....U15a
 石川裕之(いしかわ ひろゆき).....N37a
 石川遼太郎(いしかわ りょうたろう).....M28a
 石崎悠治(いしざき ゆうじ).....V124b
 石崎渉(いしざき わたる).....W30a
 石田侑一郎(いしだ ゆういちろう).....X12b
 石原昂将(いしはら こうすけ).....P114a
 石山智明(いしやま ともあき).....X32a
 泉大輔(いずみ だいすけ).....V322a
 泉拓磨(いずみ たくま).....X20a
 磯部優樹(いそべ ゆうき).....X23a
 市川椋大(いちかわ りょうた).....M11b
 一本潔(いちもと きよし).....M34a
 伊藤慧(いとう けい).....X27a
 伊藤大将(いとう だいすけ).....Q04a
 伊藤駿(いとう たかし).....N36a
 伊藤洋一(いとう よういち).....P135b
 稲葉昂希(いなば こうき).....S29a
 稻吉恒平(いなよし こうへい).....X02a
 井上昭雄(いのうえ あきお).....V245a
 井上壮大(いのうえ あきひろ).....W37a
 井上開輝(いのうえ かいき).....U09a
 井上峻(いのうえ しゅん).....M21a
 井上進(いのうえ すすむ).....Q38a
 井上進(いのうえ すすむ).....U16b
 井上一(いのうえ はじめ).....W25a
 井上一(いのうえ はじめ).....W33b
 今澤遼(いまざわ りょう).....S21a
 今田大皓(いまだ ひろあき).....V132a
 岩井一正(いわい かずまさ).....M22a
 岩田和也(いわた かずや).....N06a

【う】

植田高啓(うえだ たかひろ).....P214a
 植野雅々(うへの なな).....P320b
 氏原秀樹(うじはら ひでき).....V106a
 臼田知史(うすだ ともり).....V201a

臼田 - 佐藤功美子(うすだ-さとう くみこ).....Y18a
 内山慶祐(うちやま けいすけ).....W49a
 内山秀樹(うちやま ひでき).....N12b
 内山秀樹(うちやま ひでき).....Y10b
 内海碧人(うつみ あおと).....W21b
 宇野友理(うの ゆり).....P310a
 梅澤智幸(うめざわ ともゆき).....R03a
 浦遼太(うら りょうた).....X49a

【え】

榎木谷海(えのきだに うみ).....V247a
 蛭谷かおる(えびたに かおる).....V130a
 江良真結子(えら まゆこ).....V232a

【お】

王蘊玉(おう うんぎよく).....P132b
 大朝由美子(おおあさ ゆみこ).....Y07b
 大金原(おおがね はじめ).....V212a
 大金要次郎(おおがね ようじろう).....N27a
 大木愛花(おおき あいか).....T07a
 大熊佳吾(おおくま けいご).....V327a
 大小田結貴(おおこだ ゆき).....Z110a
 大島修(おおしま おさむ).....N26a
 大島誠人(おおしま ともひと).....W07a
 太田隼(おおた はやと).....X48a
 大滝恒輝(おおたき こうき).....X62a
 大津天斗(おおつ たかと).....M18a
 大坪貴文(おおつぼ たかふみ).....P316a
 大坪貴文(おおつぼ たかふみ).....P321b
 大西浩次(おおにし こうじ).....Y22a
 大野翔大(おおの しょうだい).....W22b
 大野良人(おおの よしと).....V211a
 大場滉介(おおば こうすけ).....Q03a
 大橋聡史(おおはし さとし).....Z113a
 大平明日香(おおひら あすか).....V236a
 大平豊(おおひら ゆたか).....Q39a
 大前陸人(おおまえ りくと).....R17a
 大宮悠希(おおみや ゆうき).....T05a

大村匠(おおむら たくみ).....T04a
 大村充輝(おおむら みつき).....P126a
 大屋瑠子(おおや ようこ).....Z109r
 尾形絵梨花(おがた えりか).....X17a
 小上樹(おがみ いつき).....X54a
 小川翔司(おがわ しょうじ).....S16a
 萩原正博(おぎはら まさひろ).....P302a
 奥裕理(おく ゆうり).....X34a
 尾近洸行(おこん ひろみち).....R16a
 長船大樹(おさふね だいき).....X63a
 小澤武揚(おざわ たけあき).....Y14b
 小鹿哲雅(おじか あきまさ).....V218b
 小田達功(おだ たつのり).....Y08b
 小高裕和(おだか ひろかず).....V318a
 尾中敬(おなか たかし).....Q35a
 小野宜昭(おの よしあき).....X03a
 尾上匡房(おのうえ まさふさ).....X19a
 小野寺仁人(おのでら まさと).....V205a
 小野間史樹(おのま ふみき).....Y21a
 小山友明(おやま ともあき).....V128c
 折原龍太(おりはら りゅうた).....Z124a

【か】

鍵谷将人(かぎたに まさと).....V221b
 柿元拓実(かきもと たくみ).....X10b
 笠木結(かさぎ ゆい).....P314a
 柏野大地(かしの だいち).....X07a
 鹿島伸悟(かしま しんご).....V252b
 加島颯太(かしま そうた).....V338a
 檜山和己(かしやま かずみ).....W24a
 梶山侑里名(かじやま ゆりな).....M08a
 片山友貴(かたやま ともき).....U13a
 勝川行雄(かつかわ ゆきお).....V244a
 勝田哲(かつだ さとる).....Q11a
 金井昂大(かない たかひろ).....V230a
 金子克大(かねこ かつひろ).....X60a
 金田優香(かねだ ゆうか).....X61a
 鎌田有紀子(かまた ゆきこ).....V224c
 亀田真吾(かめだ しんご).....P307a

茅野太一(かやの たいち).....V113b
 榎木大修(かやのき たいしゅう).....S33b
 鴈野重之(かりの しげゆき).....Y23a
 河合優悟(かわい ゆうご).....P312a
 川島朋尚(かわしま ともひさ).....S15a
 川下大響(かわしも ひろき).....N03a
 河田元氣(かわだ げんき).....X13b
 川中宣太(かわなか のりた).....S32a
 川畑佑典(かわばた ゆうすけ).....M31a
 河原昌平(かわはら しょうへい).....P205a
 河原創(かわはら はじめ).....P315a
 河本慧理奈(かわもと えりな).....X30a

【き】

菊田智史(きくた さとし).....X31a
 喜久永智之介(きくなが とものすけ).....W34a
 木田祐希(きだ ゆうき).....M14a
 北島歎大(きたじま かんた).....W28a
 北島慎之典(きたじま しんのすけ).....M16a
 城戸未宇(きど みゆう).....Z105a
 木下真一(きのした しんいち).....P117a
 木村和貴(きむら かずたか).....P102a
 木村正樹(きむら まさき).....Y09b
 木邑真理子(きむら まりこ).....W08a
 桐原崇亘(きりはら たかのぶ).....P103a
 金滉基(きん こうき).....W12a

【く】

草深陽(くさふか よう).....S19a
 久世陸(くぜ りく).....S20a
 屈楚舒(くつ そじょ).....W47a
 工藤智幸(くどう ともゆき).....V207a
 工藤祐己(くどう ゆうき).....S18a
 國年悠里(くにとし ゆり).....P122a
 国吉秀鷹(くによし ひでたか).....M40a
 窪秀利(くぼ ひでとし).....V328a
 久保雅仁(くぼ まさひと).....M23a
 久保田あや(くぼた あや).....W15a

藏原昂平(くらはら こうへい).....T03a
 黒澤里沙(くろさわ りさ).....R02a
 桑田明日香(くわた あすか).....W58a
 桑原歩(くわはら あゆむ).....P203a

【こ】

小出眞路(こいで しんじ).....S14a
 小出美香(こいで みか).....W27a
 黄天鋭(こう たかとし).....N08a
 郷田直輝(ごうだ なおてる).....V248a
 上月雄人(こうづき ゆうと).....V134a
 高妻真次郎(こうづま しんじろう).....N24a
 河野樹人(こうの みきと).....Q26a
 甲原潤也(こうはら じゅんや).....M12c
 古賀亮一(こが りょういち).....P318a
 小久保充(こくぼ みつる).....S10b
 越坂紫織(こしさか しおり).....P211a
 小鳶康史(こじま やすふみ).....W45a
 小関知宏(こせき とむひろ).....V115a
 小玉貴則(こだま たかのり).....P306a
 後藤初音(ごとう はつね).....V326a
 後藤瞭太(ごとう りょうた).....W29a
 小西真広(こにし まさひろ).....V209a
 小西諒太郎(こにし りょうたろう).....R14a
 小橋亮介(こばし りょうすけ).....Q02a
 小林浩平(こばやし こうへい).....W60a
 小林浩(こばやし ひろし).....P301a
 小林雄大(こばやし ゆうだい).....P201a
 小堀しづ(こぼり しづ).....U25a
 小堀しづ(こぼり しづ).....U26b
 駒木彩乃(こまき あやの).....P202a
 小牧誠人(こまき まこと).....V213a
 小湊菜央(こみなと なお).....Q08a
 小麦真也(こむぎ しんや).....R19c
 小森楓雅(こもり ふうが).....X26a

【さ】

崔仁士(さい じんし).....Z104a

西合一矢(さいごう かずや).....Z114a
 坂井南美(さかい なみ).....Z115a
 酒井優輔(さかい ゆうすけ).....Q09a
 坂本朋弥(さかもと ともや).....X14b
 作田皓基(さくた こうき).....V333a
 佐久間昂太(さくま こうた).....X40a
 桜井雄基(さくらい ゆうき).....V117a
 酒見はる香(さけみ はるか).....W32b
 埴隆志(さこ たかし).....V331a
 佐々木明良(ささき あきら).....M37a
 佐々木俊輔(ささき しゅんすけ).....N10b
 定成健児エリック(さだなり けんじえりっく).....P105a
 佐藤勲(さとう いさお).....Y16b
 佐藤和樹(さとう かずき).....Q33a
 佐藤恭輔(さとう きょうすけ).....X52a
 佐藤淳矢(さとう じゅんや).....W02a
 佐藤寿紀(さとう としき).....N17a
 佐藤文衛(さとう ぶんえい).....V226a
 佐藤匡(さとう まさし).....M03a
 佐藤大仁(さとう まさと).....N02a
 佐藤優理(さとう ゆり).....W64a
 佐藤慶暉(さとう よしあき).....V332a
 佐野圭(さの けい).....V237a
 佐野栄俊(さの ひでとし).....Q24a
 澤田真理(さわだ まこと).....V304a
 澤田涼(さわだ りょう).....N04a

【し】

塩村信人(しおむら のぶひと).....P131b
 鹿内みのり(しかうち みのり).....W17a
 志達めぐみ(しだつ めぐみ).....V309b
 志達めぐみ(しだつ めぐみ).....W40a
 柴崎清登(しばさき きよと).....M42a
 柴田和樹(しばた かずき).....R08a
 渋川雅人(しぶかわ まさと).....V234a
 嶋川里澄(しまかわ りずむ).....X42a
 島田悠愛(しまだ ゆうま).....W20b
 清水一揮(しみず かずき).....R07a
 清水達生(しみず たつき).....X33a

| | |
|------------------------|-------|
| 清水敏文(しみず としふみ)..... | V242a |
| 清水里香(しみず りこ)..... | V336a |
| 下井倉ともみ(しもいくら ともみ)..... | Y20a |
| 下条圭美(しもじょう ますみ)..... | M20a |
| 霜田治朗(しもだ じろう)..... | Q37a |
| 下西隆(しもにし たかし)..... | Z117a |
| 所司歩夢(しよし あゆむ)..... | Z122a |
| 白戸春日(しらと はるひ)..... | M30a |
| 神野天里(じんの てんり)..... | P217a |

【す】

| | |
|----------------------|-------|
| 末松芳法(すえまつ よしのり)..... | M02a |
| 杉山素直(すぎやま すなお)..... | U20a |
| 須佐元(すさ はじめ)..... | P104a |
| 鈴木昭宏(すずき あきひろ)..... | W56a |
| 鈴木那梨(すずき なり)..... | Q06a |
| 鈴木寛大(すずき ひろまさ)..... | Q10a |
| 鈴木文二(すずき ぶんじ)..... | P317a |
| 鈴木善久(すずき よしひさ)..... | X15b |
| 鈴木智也(すずぐち ともや)..... | W14a |
| 須田祐介(すだ ゆうすけ)..... | V329a |

【せ】

| | |
|----------------------|-------|
| 瀬戸口健太(せとぐち けんた)..... | S11b |
| 瀬野泉美(せの いずみ)..... | P303a |

【た】

| | |
|----------------------|-------|
| 高石大輔(たかいし だいすけ)..... | P134b |
| 高木悠平(たかぎ ゆうへい)..... | P136c |
| 高桑繁久(たかくわ しげひさ)..... | Z102a |
| 高棹真介(たかさお しんすけ)..... | P128a |
| 高田剣(たかた つるぎ)..... | N11b |
| 高橋一郎(たかはし いちろう)..... | V231a |
| 高橋亘(たかはし こう)..... | N30a |
| 高橋宏典(たかはし こうすけ)..... | X24a |
| 高橋実道(たかはし さねみち)..... | P218b |
| 高橋弘充(たかはし ひろみつ)..... | V317a |

| | |
|-----------------------|-------|
| 高橋幹弥(たかはし みきや)..... | S24b |
| 高橋龍一(たかはし りゅういち)..... | M05a |
| 高見道弘(たかみ みちひろ)..... | P127a |
| 高村美恵子(たかむら みえこ)..... | S26a |
| 瀧本幸司(たきもと こうじ)..... | V238a |
| 武井勇樹(たけい ゆうき)..... | N09a |
| 竹内智美(たけうち ともみ)..... | V228a |
| 武田朋志(たけだ ともし)..... | V314a |
| 竹葉理史(たけば のりみ)..... | Q25a |
| 竹林晃大(たけばやし こうだい)..... | W19b |
| 竹原大智(たけはら だいち)..... | V114b |
| 田崎亮(たざき りょう)..... | P212a |
| 田嶋裕太(たしま ゆうた)..... | R09b |
| 多田将太郎(ただ しょうたろう)..... | V250a |
| 辰馬未沙子(たつうま みさこ)..... | P207a |
| 立松健一(たてまつ けんいち)..... | P108a |
| 立松健一(たてまつ けんいち)..... | V109b |
| 田中圭(たなか けい)..... | Z116a |
| 田中匠(たなか たくみ)..... | X45a |
| 田中智永(たなか ともなが)..... | V119a |
| 田中賢幸(たなか まさゆき)..... | X41a |
| 田中優貴子(たなか ゆきこ)..... | N19a |
| 谷川衝(たにかわ あたる)..... | W18a |
| 谷口琴美(たにぐち ことみ)..... | P124a |
| 谷口貴紀(たにぐち たかのり)..... | U17a |
| 谷田幸貴(たにだ こうき)..... | U22a |
| 谷村英樹(たにむら ひでき)..... | U06a |
| 谷本敦(たにもと あつし)..... | S17a |
| 玉川徹(たまがわ とおる)..... | V316a |
| 玉澤春史(たまざわ はるふみ)..... | Y24a |
| 田村直之(たむら なおゆき)..... | V203a |
| 丹波翼(たんば つばさ)..... | W35a |
| 反保雄介(たんぼ ゆうすけ)..... | W09a |

【ち】

| | |
|--------------------|-------|
| 知念翼(ちねん つばさ)..... | V105a |
| 茅根裕司(ちのね ゆうじ)..... | U04a |
| 趙彪(ちよう ひょう)..... | V240a |
| 陳たん(ちん たん)..... | V216a |

【つ】

| | |
|----------------------|-------|
| 塚野達樹(つかの たつき)..... | V323a |
| 津久井崇史(つくい たかふみ)..... | R10a |
| 柘植紀節(つげ きせつ)..... | P123a |
| 辻直美(つじ なおみ)..... | Q20a |
| 辻雪音(つじ ゆきね)..... | V310b |
| 辻井未来(つじい みく)..... | V120a |
| 土屋史紀(つちや ふみのり)..... | V241a |
| 津々木里咲(つつき りさ)..... | V233a |
| 津名大地(つな だいち)..... | N07a |
| 坪井昌人(つばい まさと)..... | Q34a |
| 鶴見一輝(つるみ かずき)..... | W16a |

【て】

| | |
|---------------------|-------|
| 出町史夏(でまち ふみか)..... | X50a |
| 寺澤凌(てらさわ りょう)..... | U10a |
| 寺田由佳(てらだ ゆか)..... | Z123a |
| 寺田怜央(てらだ れお)..... | V324a |
| 寺本寛生(てらもと ひろき)..... | Q16a |
| 照井勇登(てるい ゆうと)..... | X16a |

【と】

| | |
|-----------------------|-------|
| 土井聖明(どい きよあき)..... | P213a |
| 土井靖生(どい やすお)..... | Q32a |
| 堂谷忠靖(どうたに ただやす)..... | V118a |
| 当真賢二(とうま けんじ)..... | W63a |
| 當村一朗(とうむら いちろう)..... | M29a |
| 徳田一起(とくだ かずき)..... | P133b |
| 徳田一起(とくだ かずき)..... | Z106a |
| 濤崎智佳(とさき ともか)..... | R04a |
| 鳥羽儀樹(とば よしき)..... | S06a |
| 土橋一仁(とばし かずひと)..... | Y02a |
| 土肥明(どひ あきら)..... | W42a |
| 土肥明(どひ あきら)..... | W44b |
| 富田賢吾(とみだ けんご)..... | Z108r |
| 富永遼佑(とみなが りょうすけ)..... | P204a |
| 富永遼佑(とみなが りょうすけ)..... | Z126b |

| | |
|--------------------|-------|
| 鳥居尚也(とりい なおや)..... | P319a |
| 鳥海森(とりうみ しん)..... | M25a |

【な】

| | |
|-------------------------|-------|
| 内藤由浩(ないとう よしひろ)..... | M36a |
| 直川史寛(なおかわ ふみひろ)..... | U02a |
| 永井誠(ながい まこと)..... | V122a |
| 永井悠太郎(ながい ゆうたろう)..... | W36a |
| 仲里佑利奈(なかざと ゆりな)..... | X08a |
| 長澤俊作(ながさわ しゅんさく)..... | V337a |
| 中沢准昭(なかさわ のりあき)..... | U21a |
| 中島王彦(なかじま きみひこ)..... | X04a |
| 中島光一朗(なかしま こういちろう)..... | U18a |
| 中島拓(なかじま たく)..... | R12a |
| 中島拓(なかじま たく)..... | V112b |
| 中島基樹(なかじま もとき)..... | W39a |
| 永田伸一(ながた しんいち)..... | V222b |
| 永田竜(ながた りょう)..... | U07c |
| 中谷友哉(なかたに ゆうや)..... | S30a |
| 中道晶香(なかみち あきか)..... | M04a |
| 中道晶香(なかみち あきか)..... | Y12b |
| 中村航(なかむら こう)..... | N16c |
| 中村文隆(なかむら ふみたか)..... | P115a |
| 中屋和樹(なかや かずき)..... | S22b |
| 行方宏介(なめかた こうすけ)..... | M19a |
| 成田佳奈香(なりた かなこ)..... | Q23a |
| 成田拓仁(なりた たくと)..... | N18a |
| 成田憲保(なりた のりお)..... | P311a |
| 成影典之(なるかげ のりゆき)..... | M01a |
| 成瀬元希(なるせ げんき)..... | U05a |

【に】

| | |
|----------------------|-------|
| 西亮一(にし りょういち)..... | P129a |
| 西浦慎悟(にしうら しんご)..... | Y13b |
| 西川智隆(にしかわ ともたか)..... | Q19a |
| 西澤諒(にしざわ りょう)..... | P210b |
| 西村信哉(にしむら のぶや)..... | Y25a |
| 西村信哉(にしむら のぶや)..... | Y27c |

| | |
|----------------------|-------|
| 西本晋平(にしもと しんぺい)..... | V108a |
| 西脇公祐(にしわき こうすけ)..... | T02a |
| 二瓶美生(にへい みお)..... | Y06b |
| 庭野聖史(にわの まさふみ)..... | W38a |

【ね】

| | |
|-------------------|------|
| 根来均(ねごろ ひとし)..... | W01a |
|-------------------|------|

【の】

| | |
|-----------------------|-------|
| 野崎信吾(のざき しんご)..... | P118a |
| 野田常雄(のだ つねお)..... | W41a |
| 野田博文(のだ ひろふみ)..... | S31a |
| 野津翔太(のつ しょうた)..... | Z120a |
| 野津湧太(のつ ゆうた)..... | N33a |
| 能登亮太郎(のと りょうたろう)..... | V235a |
| 信川久実子(のぶかわ くみこ)..... | V305a |
| 野村真理子(のむら まりこ)..... | W13a |

【は】

| | |
|-----------------------|-------|
| 萩野正興(はぎの まさおき)..... | Y19a |
| 橋爪大樹(はしづめ まさき)..... | V321a |
| 橋本拓也(はしもと たくや)..... | X06a |
| 橋本裕希(はしもと ゆうき)..... | M33a |
| 長谷川智也(はせがわ ともや)..... | N20a |
| 長谷川均(はせがわ ひとし)..... | P323c |
| 長谷川幸彦(はせがわ ゆきひこ)..... | P209b |
| 長谷部孝(はせべ たかし)..... | V116a |
| 秦和弘(はだ かずひろ)..... | V126b |
| 廿日出文洋(はつかで ぶんよう)..... | W51a |
| 八田良樹(はった よしき)..... | M07a |
| 服部勇大(はっとり ゆうだい)..... | V330a |
| 花見卓也(はなみ たくや)..... | N32a |
| 馬場俊介(ばば しゅんすけ)..... | R11a |
| 馬場幸栄(ばば ゆきえ)..... | Y26a |
| 浜名崇(はまな たかし)..... | T01a |
| 早川貴敬(はやかわ たかひろ)..... | Q28a |
| 早川亮大(はやかわ りょうた)..... | Q22a |

| | |
|---------------------|-------|
| 林克洋(はやし かつひろ)..... | V307a |
| 林康太(はやし こうた)..... | V206a |
| 林隆之(はやし たかゆき)..... | S01a |
| 林隆之(はやし たかゆき)..... | Y11b |
| 林佑(はやし たすく)..... | V302a |
| 林利憲(はやし としのり)..... | P305a |
| 原弘久(はら ひろひさ)..... | V243a |
| 原田知広(はらだ ともひろ)..... | S13a |
| 原田直人(はらだ なおと)..... | Z107a |
| 原田ななせ(はらだ ななせ)..... | R13a |
| 馬場彩(ばんば あや)..... | Q14a |

【ひ】

| | |
|----------------------|-------|
| 樋口あや(ひぐち あや)..... | Y05a |
| 日暮凌太(ひぐらし りょうた)..... | Q15a |
| 樋山舜崇(ひやま きよたか)..... | P130a |
| 平澤凌(ひらさわ りょう)..... | S03a |
| 平野信吾(ひらの しんご)..... | P101a |
| 平松大地(ひらまつ だいち)..... | W53a |
| 廣田朋也(ひろた ともや)..... | P125a |

【ふ】

| | |
|------------------------|-------|
| 深谷直史(ふかや なおふみ)..... | P113a |
| 福井陽喜(ふくい はるき)..... | V254b |
| 福井康雄(ふくい やすお)..... | Q18a |
| 福島光太郎(ふくしま こうたろう)..... | T06a |
| 福島肇(ふくしま はじめ)..... | P120a |
| 福満翔(ふくみつ かける)..... | M26a |
| 藤井隆登(ふじい りゅうと)..... | V334a |
| 藤澤幸太郎(ふじさわ こうたろう)..... | W46a |
| 藤重朝妃(ふじしげ あさひ)..... | Q07a |
| 藤田紗希(ふじた さき)..... | W61a |
| 藤田真司(ふじた しんじ)..... | Q31b |
| 藤田裕(ふじた ゆたか)..... | Q36a |
| 藤谷愛美(ふじたに えみ)..... | X38a |
| 藤森柗人(ふじもり しゅうと)..... | V111b |
| 藤原ケイ(ふじわら けい)..... | U23a |

札幌佳伸(ふだもと よしのぶ).....X36a
 船渡陽子(ふなと ようこ).....R01a
 古瀬愛実(ふるせ まなみ).....Q05a
 古家健次(ふるや けんじ).....Z118r
 古屋玲(ふるや れい).....P112a

【ほ】

星篤志(ほし あつし).....S08a
 星篤志(ほし あつし).....S09b
 細井雄大郎(ほそい ゆうたろう).....V227a
 細川隆史(ほそかわ たかし).....P121a
 堀田英之(ほった ひでゆき).....M24a
 穂満星冴(ほまん しょうご).....V210a
 堀裕一(ほり ゆういち).....V102a
 堀内貴史(ほりうち たかし).....V229a
 本多俊介(ほんだ しゅんすけ).....V121a

【ま】

前澤裕之(まえざわ ひろゆき).....P208a
 前澤裕之(まえざわ ひろゆき).....P322b
 前田郁弥(まえだ ふみや).....R05a
 前田護(まえだ まもる).....M38a
 牧島一夫(まきしま かずお).....W48a
 牧田佳大(まきた よしひろ).....W04a
 増田智(ますだ さとし).....M10b
 町田真美(まちだ まみ).....V137a
 松井思引(まつい すいん).....X09b
 松井瀬奈(まつい せな).....X51a
 松井理輝(まつい りき).....W62a
 松浦周二(まつうら しゅうじ).....V239a
 松木場亮喜(まつこば りょうき).....P216a
 松坂怜(まつさか れん).....R06a
 松永海(まつなが かい).....Q01a
 松林和也(まつばやし かずや).....V225a
 松本圭太郎(まつもと けいたろう).....M15a
 松本琢磨(まつもと たくま).....M32a
 松本拓也(まつもと たくや).....V315a
 松本尚輝(まつもと なおき).....S12b

【み】

三杉佳明(みすぎ よしあき).....P107a
 水田晃(みずた あきら).....W55a
 水野恒史(みずの つねふみ).....Q13a
 水本岬希(みずもと みさき).....W23a
 三谷啓人(みたに ひろと).....P308a
 道山知成(みちやま ともなり).....R18b
 南喬博(みなみ たかひろ).....W06a
 南雄人(みなみ ゆうと).....U01a
 美濃和陽典(みのわ ようすけ).....V217b
 宮川浩平(みやかわ こうへい).....V249a
 宮川陸大(みやがわ りくた).....V301a
 宮田隆志(みやた たかし).....V208a
 宮武広直(みやたけ ひろなお).....U19a
 宮山隆志(みややま りゅうし).....P304a
 三好真(みよし まこと).....S25a

【む】

村上弘志(むらかみ ひろし).....Y15b
 村川貴俊(むらかわ たかとし).....V311b
 室越琳生(むろこし たまき).....U03a

【も】

百瀬宗武(ももせ むねたけ).....V135a
 森寛治(もり かんじ).....N01a
 森敬都(もり けいと).....M06a
 森浩二(もり こうじ).....V320a
 森正夫(もり まさお).....X53a
 森正光(もり まさみつ).....W10a
 森万由子(もり まゆこ).....N34a
 森井嘉穂(もりい かほ).....P111a
 森井幹雄(もりい みきお).....Q12a
 森川莞地(もりかわ かんじ).....W59a
 森川雅博(もりかわ まさひろ).....N22a
 森鼻久美子(もりはな くみこ).....W11b

【や】

| | |
|----------------------|-------|
| 矢倉昌也(やくら まさや)..... | M17a |
| 矢治健太郎(やじ けんたろう)..... | Y03a |
| 保田悠紀(やすだ ゆうき)..... | N28a |
| 柳澤顕史(やなぎさわ けんし)..... | Y04a |
| 矢野太平(やの たいへい)..... | V253b |
| 矢野雄大(やの ゆうた)..... | P116a |
| 山響(やま ひびき)..... | V215a |
| 山岡和貴(やまおか かずたか)..... | V313c |
| 山岡尊(やまおか たける)..... | P219b |
| 山口嵩史(やまぐち たかし)..... | V312c |
| 山崎大輝(やまさき だいき)..... | M35a |
| 山崎康正(やまさき やすまさ)..... | V101a |
| 山敷庸亮(やましき ようすけ)..... | P309a |
| 山下真依(やました まい)..... | N31a |
| 山田智史(やまだ さとし)..... | S07a |
| 山田智史(やまだ さとし)..... | V308b |
| 山田志真子(やまだ しまこ)..... | N23a |
| 山田良透(やまだ よしゆき)..... | V251a |
| 山田麟(やまだ りん)..... | P106a |
| 大和義英(やまと よしひで)..... | Z121a |
| 山村一誠(やまむら いっせい)..... | N21a |
| 山本卓(やまもと たかし)..... | X46a |
| 山本凌也(やまもと りょうや)..... | W26a |

【ゆ】

| | |
|---------------------|-------|
| 湯浅拓宏(ゆあさ たくひろ)..... | X58a |
| 油谷直道(ゆたに なおみち)..... | X44a |
| 湯山義崇(ゆやま よしたか)..... | V104a |

【よ】

| | |
|----------------------|-------|
| 横山将汰(よこやま しょうた)..... | Q40a |
| 芳岡尚悟(よしおか しょうご)..... | S23b |
| 吉田篤洋(よしだ あつひろ)..... | S04a |
| 吉田有宏(よしだ ともひろ)..... | P215a |
| 吉田南(よしだ みなみ)..... | M09a |
| 吉野富士香(よしの ふじか)..... | V219b |

| | |
|----------------------|-------|
| 吉久健朗(よしひさ たけろう)..... | M41a |
| 米倉覚則(よねくら よしのり)..... | V125b |
| 米田謙太(よねた けんた)..... | V214a |
| 米田謙太(よねた けんた)..... | V220b |
| 米田龍生(よねだ りゅうき)..... | Q27a |
| 米山翔(よねやま しょう)..... | V107a |
| 米山友景(よねやま ともかげ)..... | V306a |

【ら】

| | |
|-------------------|-------|
| 良知颯太(らち そうた)..... | V103a |
|-------------------|-------|

【り】

| | |
|-----------------|-------|
| 李源(り げん)..... | V246a |
| 李豪純(り ほすん)..... | V123b |

【わ】

| | |
|----------------------|-------|
| 和田知己(わだ ともき)..... | W50a |
| 渡辺くりあ(わたなべ くりあ)..... | X47a |
| 渡辺隆行(わたなべ たかゆき)..... | V110b |
| 渡邊祥正(わたなべ よしまさ)..... | Z112a |

2023年2月20日発行

年会実行委員会

| | | | |
|-------|---------|------------------|-------|
| 委員長 | 古澤久徳 | (国立天文台) | |
| 委員 | 和泉 究 | (宇宙航空研究開発機構) | |
| | 岩切 涉 | (千葉大学) | |
| | 大澤 亮 | (国立天文台) | |
| | 大宮 正士 | (アストロバイオロジーセンター) | |
| | 大屋 瑤子 | (京都大学) | |
| | 鈴木 知治 | (中部大学) | |
| | 甘日出 文洋 | (東京大学) | |
| | 堀田 英之 | (千葉大学) | |
| | 松岡 良樹 | (愛媛大学) | |
| | 浅井 歩 | (京都大学) | 保育室担当 |
| 市来 淨與 | (名古屋大学) | 保育室担当 | |

年会開催地理事

北本俊二 (立教大学)