

2020年 春季年会

講演予稿集

電子版

於 筑波大学

2020年3月16日(月)～3月19日(木)

日本天文学会

日本天文学会 2020年 春季年会プログラム

期 日 2020年3月16日(月)～3月19日(木)
 場 所 筑波大学筑波キャンパス(茨城県つくば市天王台)
 電 話 090-4387-6893 <使用期間 2020年3月15日(日)～3月19日(木)>

月日	会場	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	
3月15日 (日)							公開講演会						
							記者会見						
3月16日 (月)	A	受 付				Y. 教育・広報・他				天文教育 フォーラム		理事会	
	B					Z4. 大学望遠鏡							
	C					V1. 観測機器(電波)							
	D					V2. 観測機器(光赤・重)							
	E					S. 活動銀河核							
	F					P2. 原始惑星系円盤							
	G					Q. 星間現象							
	H					T. 銀河団							
	I					X. 銀河形成							
3月17日 (火)	A	受付	Z1. ALMA+すばる	昼 休 み (代議員総会)	Z1. ALMA+すばる	ポスター		会員全体集会 (授賞式)	受賞記念講演				
	B		Z4. 大学望遠鏡										
	C		V1. 観測機器(電波)										
	D		V2. 観測機器(光赤・重)										
	E		S. 活動銀河核										
	F		P2. 原始惑星系円盤										
	G		Q. 星間現象										
	H		W. コンパクト天体										
	I		X. 銀河形成										
3月18日 (水)	A	受付	Z3. 天文学史	昼 休 み	Z3. 天文学史	ポスター		特別セッション (X線分光撮像衛星 -XRISM-)	懇親会				
	B		Z2. SPICA										
	C		V3. 観測機器(X線・γ線)										
	D		N. 恒星進化										
	E		M. 太陽										
	F		P1. 星形成										
	G		Q. 星間現象/R. 銀河										
	H		W. コンパクト天体										
	I		X. 銀河形成										
3月19日 (木)	A	受付	U. 宇宙論	ポスター	昼 休 み								
	B												
	C		V3. 観測機器(X線・γ線)										
	D		N. 恒星進化										
	E		M. 太陽										
	F		P1. 星形成										
	G		R. 銀河										
	H		W. コンパクト天体										
	I		P3. 惑星系										
ジュニアセッション(詳細は http://www.asj.or.jp/jsession/ にて)													
		9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	

A会場 : 中地区 第一エリア 1D 棟 2階 (201)
 B会場 : 中地区 第一エリア 1D 棟 2階 (204)
 C会場 : 中地区 第一エリア 1C 棟 2階 (210)
 D会場 : 中地区 第一エリア 1C 棟 3階 (306)
 E会場 : 中地区 第一エリア 1C 棟 3階 (310)
 F会場 : 中地区 第一エリア 1C 棟 4階 (403)
 G会場 : 中地区 第一エリア 1C 棟 4階 (406)
 H会場 : 中地区 第一エリア 1H 棟 1階 (101)
 I会場 : 中地区 第一エリア 1H 棟 2階 (201)

受 付 : 中地区 第一エリア 1E 棟 1階 (102)
 ポスター会場 : 中地区 第一エリア 1E 棟 2～4階
 展示コーナー : 中地区 第一エリア 1E 棟 1階 (104)
 会員全体集会 : 南地区 大学会館エリア 大学会館講堂
 受賞記念講演 : 南地区 大学会館エリア 大学会館講堂
 懇 親 会 : 南地区 大学会館エリア 大学会館レストラン

◎講演数

講演数：合計 625

(口頭講演 (a)：453、ポスター講演 (b)：131、ポスター講演 (c)：41)

◎参加登録について (参加者は、当日必ず参加登録をしてください。)

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

○参加費用

	会 員	非会員
参 加 費	3,000 円 (不課税)	5,000 円 (消費税込み)
	(但し講演ありの場合、参加費は無料)	
講 演 登 録 費	3,000 円 (不課税) (1 講演につき)	10,000 円 (1 講演につき)
	(但し事前支払がない場合は、会員 4,000 円 / 非会員 11,000 円)	
年 会 予 稿 集	2,000 円 (消費税込み)	2,000円 (消費税込み) (購入希望者のみ)

○参加登録受付場所：受付

○参加登録受付時間：3月16日 11:00～16:00

3月17日 09:00～16:00

3月18日 09:00～16:00

3月19日 09:00～13:00

※参加費は、会期中に受付にて忘れずにご納付ください。

※参加費用支払い時に渡される領収書は、再発行はできませんので、大切に保管してください。

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

※懇親会に参加される方は、隣の懇親会専用の受付にて懇親会の参加費をお支払いください。

◎講演に関する注意

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

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

2. ポスター発表(添字 b)、(添字 c)は、年会プログラムで指定された時間帯にポスター会場の指定された場所に掲示できます。ポスターセッションを活性化するために、ポスターセッションの時間にはポスター講演者は会場に居てください。終了後は速やかに撤去してください。

ポスターサイズは縦 180 cm×横 90 cm です。

3. 講演には液晶プロジェクターをご使用ください。PC はご自身でご用意され、必要に応じて休憩中や開始前にプロジェクターと PC の接続を確認してください。また、講演時間は、直前の講演者が降壇した時点から計り始めます。ディスプレイ切替器(接続ケーブル：ミニ D-Sub15pin)がありますので、迅速に講演が始められるよう、次の講演者は前の講演中に PC を接続しておいてください。

◎会期中の行事

月 日	時 間	会 場	行 事 名
3月15日 (日)	13:00～15:30	つくば国際会議場 中ホール 200	公開講演会
	13:30～15:30	つくば国際会議場	記者会見
3月16日 (月)	15:45～17:15	A会場	天文教育フォーラム
3月17日 (火)	16:15～17:45	大学会館講堂	会員全体集会
	17:45～19:15	大学会館講堂	受賞記念講演
3月18日 (水)	16:15～17:45	I会場	特別セッション 「X線分光撮像衛星-XRISM-」
	18:30～20:30	大学会館レストラン (Tsukuba Demi)	懇親会

◎会合一覧表

月 日	時 間	会 場	会 合 名	参加可否*
3月16日 (月)	17:30～18:30	会議室	理事会	D
3月17日 (火)	11:30～12:30	A会場	あなたのキャリアとライフイベント、どう乗り越えるか?	A
	11:30～12:30	C会場	宇宙電波懇談会総会	C
	11:30～12:30	D会場	代議員総会	D
	11:30～12:30	E会場	太陽研究者連絡会・運営委員会	D
	11:30～12:30	F会場	宇宙用語研究会	C
3月18日 (水)	11:30～12:30	A会場	天文・天体物理若手の会総会	C
	11:30～12:30	C会場	インターネット天文学辞典を使ってみよう	A
	11:30～12:30	D会場	光学赤外線天文連絡会	C
	11:30～12:30	E会場	太陽研究者連絡会・報告会	C
	11:30～12:30	F会場	光赤外線大学間連携協議会・観測運営委員会合同会議	B
3月19日 (木)	12:30～13:30	C会場	高エネルギー宇宙物理連絡会報告会	B
	12:30～13:30	E会場	理論天文学宇宙物理学懇談会報告会	C
	12:30～13:30	F会場	女性天文研究者の会 10周年企画	A
	12:30～13:30	G会場	SKA-Japan 定期会合	B

※年会参加者の参加可否の説明（オープン化の程度）

A: 年会参加者なら誰でも大歓迎で是非来てほしい

B: 年会参加者で興味を持った人には広く門戸を開いている

C: 関係グループ向けの会合だが年会参加者なら特に拒みはしない

D: 関係者のみにクローズした会合で非公開である

◎天文教育フォーラム：「宇宙の魅せ方」

日 時：2020年3月16日（月）15：45～17：15

場 所：A会場

概 要：一般に、市民に対して天文学研究の魅力を伝える機会は、多くの天文学研究者にとって自身の研究を社会的に認知してもらう上で重要な機会です。また、とくに大学に勤務する天文学研究者にとって、天文学の最新の知見や宇宙の魅力を授業を通して学生に伝えていくことは重要な業務の一つです。

しかし、日々研究に没頭する研究者にとって、宇宙での出来事が自身の頭の中では理解できても、それをわかりやすく、そして何より魅力的に伝えることは得意ではないこともしばしばあり得るでしょう。むしろ宇宙の魅力を伝える上では、天文を主として扱う学芸員やプラネタリウム解説員など、宇宙の魅力を伝えることを専門業務としている方々の方がはるかに上手であるかもしれません。

そこで今回のフォーラムでは、「宇宙のおもしろさを伝える」ことを仕事にされている方々から、宇宙や天文学の魅力を伝える術を学ぶ機会を設けたいと思います。本フォーラムを、授業や講演会などで宇宙の魅力を伝えていく上での参考としてもらえれば幸いです。

話題提供（敬称略）：

「大学における授業～教養科目での例～」

金光理（福岡教育大学）

「プラネタリウムの現場から」

塚田健（平塚市博物館）

「科学ライブショー『ユニバース』24年間の実践から」

亀谷和久（国立天文台）

費 用：天文教育フォーラムのみの参加費は不要です。天文学会年会受付で、その旨お伝えください。

実行委員：鴈野重之、中串孝志、亀谷和久、石井貴子、磯部洋明、松本佳也

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

◎特別セッション：「X線分光撮像衛星－XRISM－」

日 時：2020年3月18日（水）16：15～17：45

場 所：I会場

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

本特別セッションでは、まずはプロジェクトの進行状況について天文学会の皆様に報告します。次に搭載装置の性能とともに、XRISM衛星によって初めて可能となるサイエンスケースについて、ブラックホールや活動銀河核、ガンマ線バーストなどの突発天体、超新星残骸、銀河団などを例に紹介します。

最後に Performance Verification(PV) 観測からデータ公開までのスケジュールと、PV期間中のゲストサイエンティスト制度、その後の公募観測の詳細を説明します。ゲストサイエンティストは本ミッションで初めて導入される制度であり、PV期間に観測される天体のうち原則として1天体へのデータアクセス権があります。他波長の観測者や理論研究者など様々な視点を持った皆様の参加を期待しています。

世 話 人：田代信（ISAS/JAXA、埼玉大学）、松下恭子（東京理科大学）、山口弘悦（ISAS/JAXA）

正会員展示

◎ 宇宙科学データアーカイブ DARTS

日 時：天文学会期間内

場 所：1E 棟 1 階

概 要：宇宙航空研究開発機構では宇宙科学データのアーカイブサイト DARTS を運営しています。DARTS は天文学、太陽物理学のみならず、月惑星科学、太陽地球物理学や微小重力科学などの多岐にわたる分野の宇宙科学データを公開しています。宇宙線物理学・ γ 線天文では「CALET」、X線天文では「てんま」、「ぎんが」、「あすか」、「すざく」、「MAXI」、「ひとみ」、赤外線天文では「BICE」、「IRTS」、「あかり」、電波天文では「はるか」、太陽物理学では「ひのとり」、「ようこう」、「ひので」の観測データがあります。それぞれのデータについて、長期保管とその有効利用を目的として、データのみならずドキュメント・解析プログラムなどの整備も進めており、時代が経過しても過去のデータの解析ができるように配慮しています。

また、目的のデータを見つけやすくする検索システムやクイックルック(早見)アプリケーションを公開しています。これらのアプリケーションは、研究利用を念頭としていますが、大学学部レベルの教育や高校教育、初等教育へも応用されています。

本展示では、DARTS の紹介、ウェブサイトやアプリケーションのデモンストレーションを行い、最新の DARTS を見ていただくとともに、皆様のご意見やご要望など、今後の改善のためのフィードバックを伺いたいと考えております。DARTS をご存知の方も知らなかった方も、以前使っていた方も今使っている方も、ぜひ本ブースへいらしてください。

世 話 人：海老沢研 (JAXA/ISAS) ebisawa.ken@jaxa.jp

中平聡志 (JAXA/ISAS) nakahira.satoshi@jaxa.jp

菅原泰晴 (JAXA/ISAS) sugawara.yasuharu@jaxa.jp

正会員展示

◎ いよいよ建設！ SKA 計画

日 時：天文学会期間内

場 所：1E 棟 1 階

概 要：SKA : Square Kilometre Array とは、現在進行中の世界最大の電波望遠鏡建設計画です。現在、世界 13ヶ国が参加しており、まもなくオーストラリア西部と南アフリカ共和国とで建設が始まります。日本では馴染みが薄い周波数帯が主たる観測域となっていますが、宇宙論以外にも星間磁場を含む星間現象や星形成、銀河の構造と進化、重力波観測さらには宇宙生命学まで幅広い science が画期的に進むと期待されています。そこで、SKA の実態と現状をお伝えする展示を日本 SKA コンソーシアムが年会会場に設置します。「SKA って何？」という人はもちろん、これまでの特別セッションにご参加いただいたことがある皆さんも、特に他の電波天文学計画に関心がある皆さんには SKA に関する正しい認識を持ってもらうためにぜひ訪れていただきたいと考えています。「運用形態は？」「観測データへのアクセス権は？」「建設の進行予定は？」「どんな観測ができるの？」「自分たちができることは？」などどんな質問も歓迎です。日本の、そして世界の電波天文学を正しく発展させるための判断材料として、ぜひ展示会場で疑問を解いてください！

世 話 人：半田利弘 (鹿児島大学)、高橋慶太郎 (熊本大学)、市來淨與 (名古屋大学)

◎日本天文学会公開講演会

日 時：2020年3月15日（日）13：00～15：30（開場 12:30）

場 所：つくば国際会議場 中ホール200

対 象：中学生以上・一般向け

テ ー マ：「誰も見たことのない宇宙を覗く」

20世紀から21世紀にかけて天文学では全く新しい革新的な観測手法を用いることによって、系外惑星の発見や重力波によるブラックホールや中性子星の合体の検出のように誰も見たことのない宇宙の姿を垣間見ることが可能にした研究が数多くなされてきました。本講演会では、そのような常識を覆す天文学の研究成果として、日本の研究者が深く関わっている「はやぶさ2」による小惑星リュウグウのサンプルリターンミッションとイベント・ホライズン・テレスコープによるブラックホールシャドウの直接撮像について、研究の最前線で活躍中の研究者が紹介します。

講師・タイトル：下記をご参照ください。

参加費：無料（事前申し込み不要）

定 員：200名（先着順）

<講演内容の紹介>

講演1：「小惑星探査機「はやぶさ2」の挑戦とその成果」

講師：吉川 真（JAXA 宇宙科学研究所 准教授）

「はやぶさ2」は、小惑星サンプルリターンミッション「はやぶさ」の後継機として、2014年12月3日に打ち上げられました。約3年半の宇宙の航海を経て、2018年6月27日に目的地である小惑星リュウグウに到着しました。初めて見るリュウグウの姿は、“そろばんの珠”の形という全く想定外のものでした。まずはリュウグウを徹底的に観測し、その後、「はやぶさ」では失敗してしまった小型ローバによる探査やタッチダウンを行い成功しました。さらに世界初となる小惑星表面に人工的なクレーターを作るという実験、そしてその人工クレーター付近からのサンプルの採取にも成功しました。これで、小惑星で行うべき作業はすべて終了しました。あとは2020年末に地球に帰還するだけとなります。ここでは、「はやぶさ2」が挑戦したこととその結果についてご説明します。

講演2：「地球規模の巨大望遠鏡が明らかにした巨大ブラックホールの姿」

講師：本間 希樹（国立天文台 水沢 VLBI 観測所 教授）

国際共同プロジェクトであるイベント・ホライズン・テレスコープが、史上初のブラックホールの影の撮影に成功したと2019年春に発表しました。その写真には、楕円銀河M87の中心に位置するドーナツ状の構造が捉えられていました。そのドーナツの中心部こそが、「ブラックホールが光すら脱出できない天体である」ことを視覚的に示したものです。本講演では、同プロジェクトで日本チームの代表を務める講師が、その撮影の意義や観測方法などについてわかりやすく解説します。

ウェブサイト：<https://www2.ccs.tsukuba.ac.jp/Astro/nenkai-2020/ja/kokai-koen>

主 催：公益社団法人 日本天文学会

共 催：筑波大学

後 援：つくば市教育委員会

交通案内

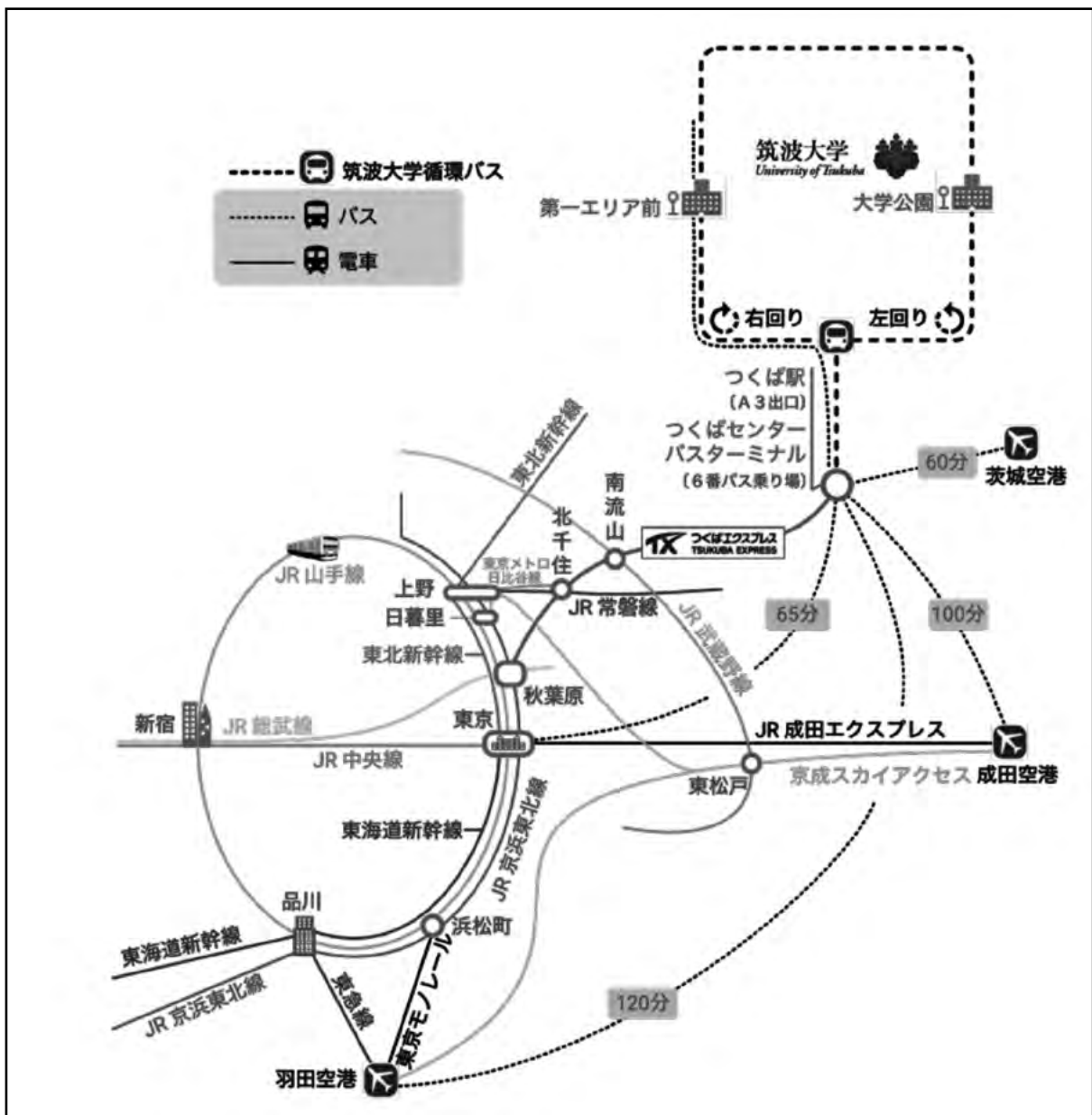
会場は、筑波大学 筑波キャンパス 第一エリア です。

各種交通機関にて『つくば駅・つくばセンターバスターミナル』までお越し後、
6番バス乗り場で筑波大学行き（筑波大学循環・筑波大学中央）のバスをご利用下さい。
最寄りのバス停は、行き先によって2つです。

筑波大学循環（右回り）・筑波大学中央 ➡ 第一エリア前

筑波大学循環（左回り） ➡ 大学公園

公共交通機関アクセスマップ



つくば駅までのおすすめルート

	成田空港から	羽田空港から	東海道新幹線	東北新幹線
バスの場合	成田空港 関東鉄道バス ：〔~100分〕 つくばセンター	羽田空港 関東鉄道バス ：〔~120分〕 つくばセンター	： 東海道新幹線 東京駅 (八重洲南口2番バス乗り場) ： 関東鉄道バス, JRバス (「筑波大学」行または 「つくばセンター」行) ： 〔~70分〕 つくばセンター (「筑波大学」行の場合は, 「大学会館前」または終点 で下車)	： 東北新幹線 東京駅 (八重洲南口2番バス乗り場) ： 関東鉄道バス, JRバス (「筑波大学」行または 「つくばセンター」行) ： 〔~70分〕 つくばセンター (「筑波大学」行の場合は, 「大学会館前」または終点 で下車)
電車の場合	成田空港 ： 京成成田スカイアクセス 東松戸駅 ： JR 武蔵野線 南流山駅 ： つくばエクスプレス つくば駅 〔計 80分~100分〕	羽田空港 ： 東京モノレール 浜松町駅 ： JR 山手線 または ： JR 京浜東北線 秋葉原駅 ： つくばエクスプレス つくば駅 〔計 90分~100分〕	： 東海道新幹線 東京駅 ： JR 山手線 または ： JR 京浜東北線 秋葉原駅 ： つくばエクスプレス つくば駅 〔東京駅から60分~70分〕	： 東北新幹線 上野駅 ： JR 常磐線 または ： 東京メトロ日比谷線 北千住駅 ： つくばエクスプレス つくば駅 〔上野駅から55分~65分〕

会場案内

各会場は下記の通りです。

受付：1E 棟 (1 階) ※「第一エリア前」及び「大学公園」バス停から、案内板で誘導致します。

講演会場：1C 棟、1D 棟、1H 棟

ポスター会場：1E 棟 2～4 階

展示コーナー：1E 棟 (1 階)

全体集会：大学会館講堂

受賞記念講演：大学会館講堂

懇親会：大学会館レストラン Tsukuba Demi

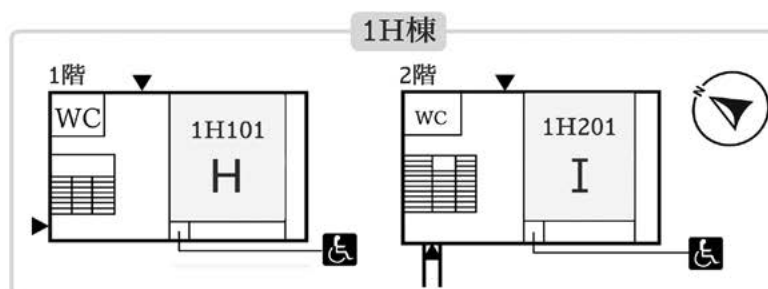
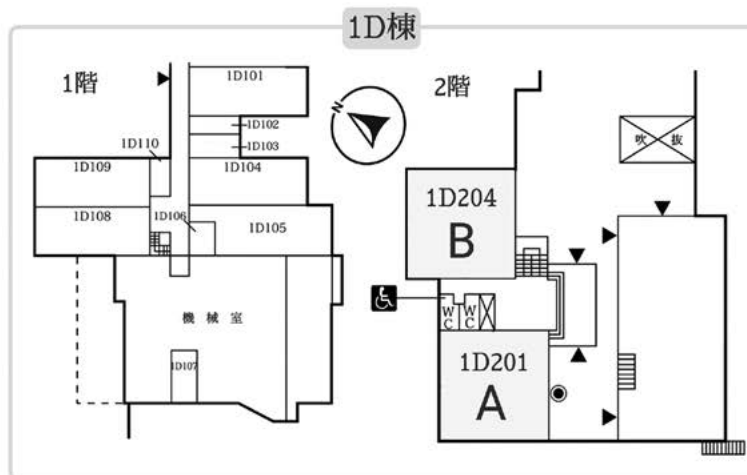
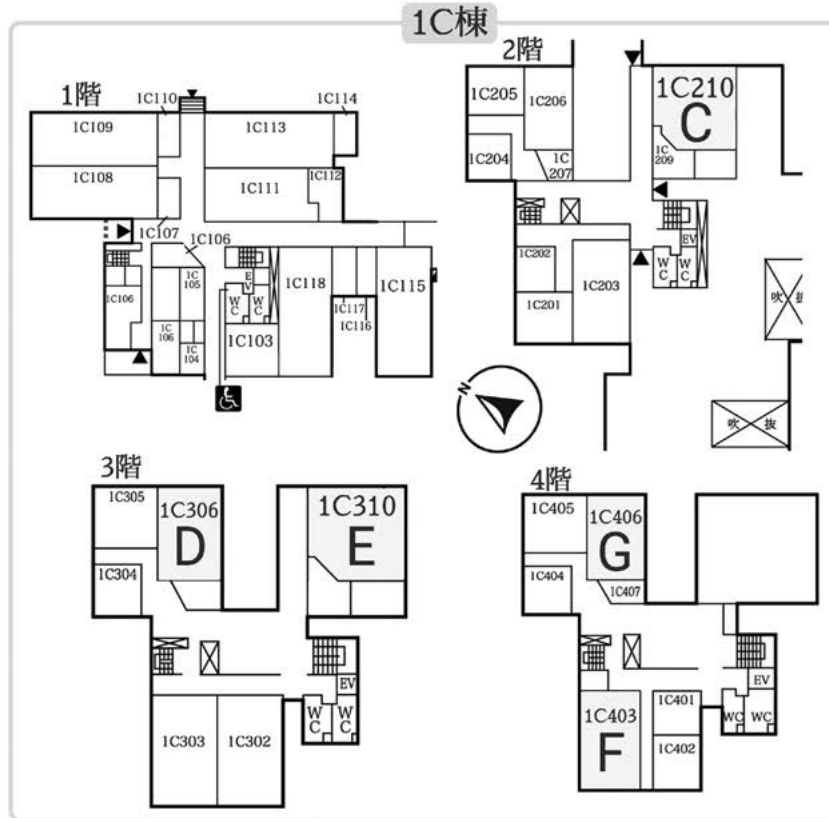
※ WiFi は eduroam をご利用できます。

キャンパスマップ



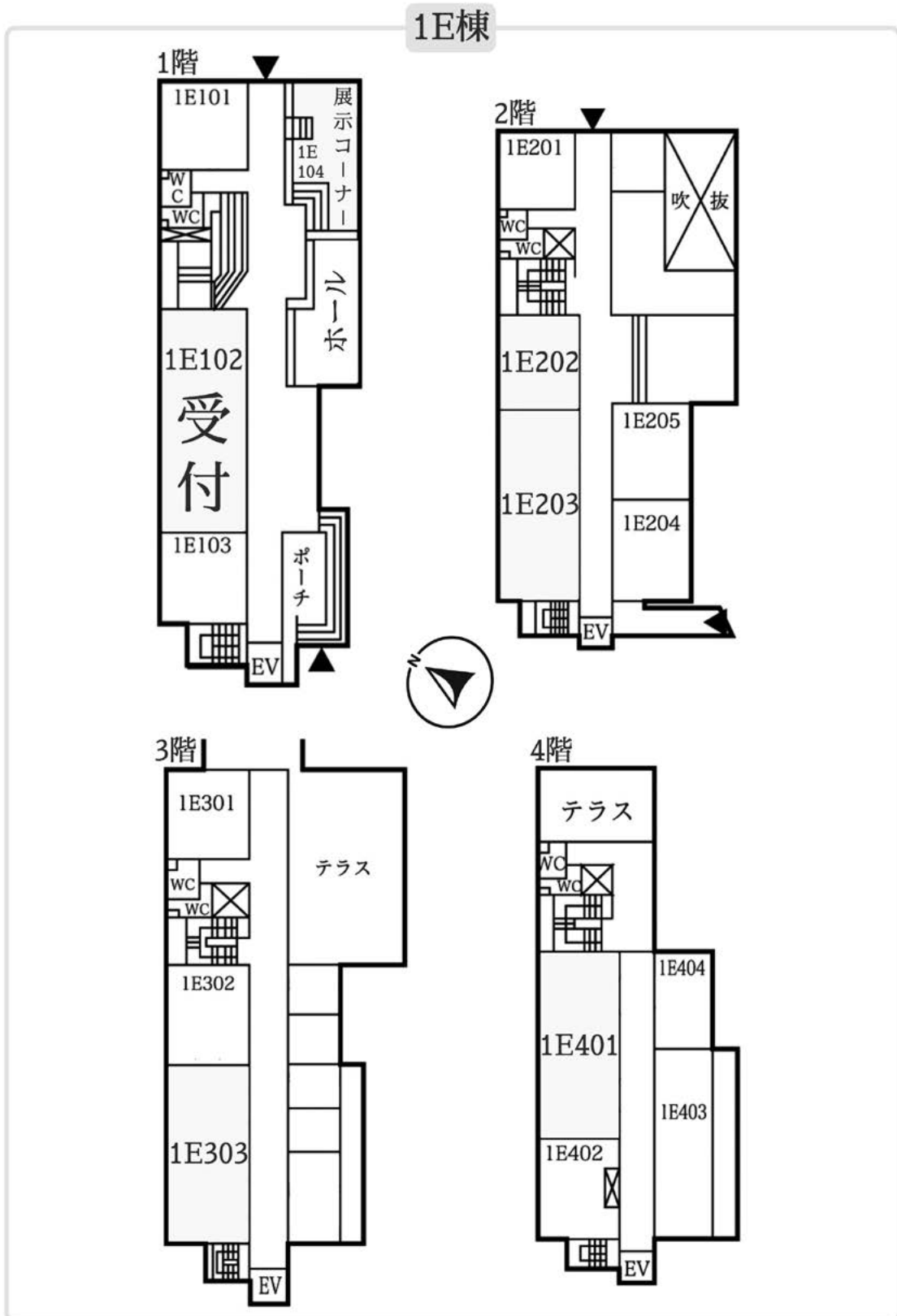
講演会場配置図

講演会場：1C棟(C・D・E・F・G会場)、1D棟(A・B会場)、1H棟(H・I会場)



受付・ポスター会場配置図

受付・ポスター会場：1E棟



口頭セッション 3月16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
開始時刻	教育・他	大学望遠鏡	観測機器 (電波)	観測機器 (光赤・重)	活動銀河核	原始惑星系 円盤	星間現象	銀河団	銀河形成
13:00	Y01a	Z401r	V101a	V201a	S01a	P201a	Q01a	T01a	X01a
13:12	Y02a		V102a	V202a	S02a	P202a	Q02a	T02a	X02a
13:24	Y03a	Z402r	V103a	V203a	S03a	P203a	Q03a	T03a	X03a
13:36	Y04a		V104a	V204a	S04a	P204a	Q04a	T04a	X04a
13:48	Y05a	Z403a	V105a	V205a	S05a	P205a	Q05a	T05a	X05a
14:00	Y06b Y07b Y08b	Z404a	V106a	V206a	S06a	P206a	Q06a	T06a	X06a
14:12	Y09a	Z405b Z406b Z407b	V107a	V207a	S07a	P207a	Q07a	T07a	X07b X08b X09b
14:24	Y10a	Z408b Z409b	V108b V109b V110b	V208a	S08a	P208a	Q08a	T08a	X10b X11b X12b
14:36	Y11a	Z410a	V112a	V209a	S09a	P209a	Q09a	T09b	X13a
14:48	Y12a		全体討論	V113b V114b V115b	V210b V211b V212b	S10a	P210a	Q10b Q11b Q12b	-
15:00	Y13b Y14b Y15b	-	V117a	V213b V214b	S11b S12b S13b	-	-	-	X15b
15:12	Y16b Y17b Y18b	-	-	-	S14b S15b S16b	-	-	-	-
15:24	Y19b	-	-	-	-	-	-	-	-
15:45	天文教育フォーラム (A会場)								
17:30	理事会								

口頭セッション 3月17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
開始時刻	ALMA+ すばる	大学望遠鏡	観測機器 (電波)	観測機器 (光赤・重)	活動銀河核	原始惑星系 円盤	星間現象	コンパクト 天体	銀河形成
09:30	Intro.	Z411a	V118a	V216a	S20a	P211a	Q13a	W01a	X16a
09:42	Z101r	Z412a	V119a	V217a	S21a	P212a	Q14a	W02a	X17a
09:54		Z413a	V120a	V218a	S22a	P213a	Q15a	W03a	X18a
10:06	Z102a	Z414a	V121a	V219a	S23a	P214a	Q16a	W04a	X19a
10:18	Z103a	Z415a	V122a	V220a	S24a	P215a	Q17a	W05a	X20a
10:30	Z104a	Z416a	V123a	V221a	S25a	P216a	Q18a	W06a	X21a
10:42	Z105a	Z417a	V124a	V222b V223b V224b	S26a	P217a	Q19a	W07a	X22a
10:54	Z106a	Z418a	V125a	V227a	S27a	P218a	Q20a	W08a	X23a
11:06	Z107a	Z419a	V126a	V228a	S28a	P219a	Q21a	W09b W10b W11b	X24b X25b X26b
11:18	Z108a	Z420a	V127b V128b	V229b V230b V231b	S29a	P220a	Q22a	-	X27b X28b X29b
11:30	-	-	-	-	S30a	-	Q23b	-	-
11:30	昼休み(代議員総会)								
開始時刻	ALMA+ すばる	大学望遠鏡	観測機器 (電波)	観測機器 (光赤・重)	太 陽	原始惑星系 円盤/星形成	星間現象	コンパクト 天体	銀河形成
13:00	Z109a	Z421r	V129a	V232a	M01a	P221a	Q25a	W13a	X30a
13:12	Z110a		V130a	V233a	M02a	P222a	Q26a	W14a	X31a
13:24	Z111r	Z422r	V131a	V234a	M03a	P223b P224b P101b	Q27a	W15a	X32a
13:36			V132a	V235a	M04a	P102b P103b P104b	Q28a	W16a	X33a
13:48		Z423a	V133a	V236a	M05a	P107a	Q29a	W17a	X34a
14:00	Z112a	Z424a	V134a	V237a	M06a	P108a	Q30a	W18a	X36a
14:12	Z113a	Z425r	V135a	V238a	M07a	P109a	Q31a	W19a	X37a
14:24	Z114a		V136a	V239a	M08a	P110a	Q32a	W20a	X38a
14:36	Z115a	Z426r	V137b V138b V140b	V240a	M09a	P111a	Q33a	W21a	X39a
14:48	Summary		Z427a	V141b V142b V143b	V241b V242b	M10b M11b	P112a	Q34b	W22b W23b W24b
15:00	ポスター								
16:15	会員全体集会								
17:45	受賞記念講演								

口頭セッション 3月18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
開始時刻	天文学史	SPICA	観測機器 (X線・γ線)	恒星進化	太陽	星形成	星間現象/ 銀河	コンパクト 天体	銀河形成
09:30	Z301r	Z201r	V301a	N01a	M12a	P113a	Q35a	W25a	X41a
09:42			V302a	N02a	M13a	P114a	Q36a	W26a	X42a
09:54	Z302a	Z202r	V303a	N03a	M14a	P115a	Q37a	W27a	X43a
10:06	Z303a		Z203a	V304b V305b V306b	N04a	M15a	P116a	Q38a	W28a
10:18	Z304a	Z204a		V307a	N05a	M16a	P117a	Q39a	W29a
10:30	Z305a	Z205a	V308a	N06a	M17a	P118a	R01a	W30a	X46a
10:42	Z306a	Z206b Z207b Z208b	V309a	N07a	M18a	P119a	R02a	W31a	X47a
10:54	Z307a		Z209a	V310a	N08a	M19a	P120a	R03a	W32a
11:06	Z308a	Z210a	V311b V312b V313b	N09b N10b N11b	M20b M21b M22b	P121b P122b P123b	R04b R05b R06b	W33b W34b W35b	X49a
11:18	Z310a		Z211b Z212b	-	N12b	M23b M24b	P124b P125b P126b	R07b R08b	-
11:30	昼休み								
開始時刻	天文学史	SPICA	観測機器 (X線・γ線)	恒星進化	太陽	星形成	銀河	コンパクト 天体	惑星系
13:00	Z311r	Z215r	V314a	N15a	M26a	P128a	R13a	W38a	P301a
13:12			V315a	N16a	M27a	P129a	R14a	W39a	P302a
13:24	Z312a	Z216a	V316a	N17a	M28a	P130a	R15a	W40a	P303a
13:36	Z313a	Z218b Z219b Z221b	V317a	N18a	M29a	P131a	R16a	W41a	P304a
13:48	Z314a	Z222a	V318a	N19a	M30a	P132a	R17a	W42a	P305a
14:00	Z315a	Z223a	V319a	N20a	M31a	P133a	R18a	W43a	P306a
14:12	Z316r	Z224a	V320a	N21a	M32a	P134a	R19a	W44a	P307a
14:24		Z225b Z226b Z227b	V321a	N22a	M33a	P135a	R20a	W45a	P308a
14:36	Z317a	Z229a	V322a	N23a	M34a	P136a	R21a	W46a	P309b P310b P311b
14:48	Z318a	Z230a	V323a	N24a	M35a	-	R22a	W47a	P312b P313b P314b
15:00	-	Z231b Z232b	-	-	-	-	-	W48a	-
15:00	ポスター								
16:15	特別セッション「X線分光撮像衛星-XRISM-」(I会場)								
18:30	懇親会(大学会館レストラン Tsukuba Demi)								

口頭セッション 3月19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
開始時刻	宇宙論		観測機器 (X線・γ線)	恒星進化	太陽	星形成	銀河	コンパクト 天体	惑星系
09:30	U01a	-	V326a	N25a	M36a	P137a	R23a	W49a	P318a
09:42	U02a	-	V327a	N26a	M37a	P138a	R24a	W50a	P319a
09:54	U03a	-	V328a	N27a	M38a	P139a	R25a	W51a	P320a
10:06	U04a	-	V329a	N28a	M39a	P140a	R26a	W52a	P321a
10:18	U05a	-	V330a	N29a	M40a	P141a	R27a	-	P322a
10:30	U06a	-	V331a	N30a	M41a	P142a	R28a	-	P323a
10:42	U07a	-	V332a	N31a	-	P143a	R29a	-	P324a
10:54	U08a	-	-	N32a	-	P144a	R30a	-	P325a
11:06	U09b	-	-	N33a	-	P145a	-	-	P326a
11:18	-	-	-	N34a	-	P146a	-	-	-
11:30	-	-	-	N35a	-	-	-	-	-
11:30	ポスター								
12:30	昼休み								

ポスターセッション 3月16日(月) ~ 3月19日(木)

<p>【Z2. SPICA】(19)</p> <p>Z206b Z207b Z208b Z211b Z212b</p> <p>Z213c Z214c Z217b Z218b Z219b</p> <p>Z220c Z221b Z225b Z226b Z227b</p> <p>Z228c Z231b Z232b Z233c</p> <p>【Z3. 天文学史】(1)</p> <p>Z309c</p> <p>【Z4. 大学望遠鏡】(5)</p> <p>Z405b Z406b Z407b Z408b Z409b</p> <p>【M. 太陽】(8)</p> <p>M10b M11b M20b M21b M22b</p> <p>M23b M24b M25c</p> <p>【N. 恒星・恒星進化】(7)</p> <p>N09b N10b N11b N12b N13c</p> <p>N14c N36c</p> <p>【P1. 星・惑星形成(星形成)】(13)</p> <p>P101b P102b P103b P104b P105c</p> <p>P106c P121b P122b P123b P124b</p> <p>P125b P126b P127c</p> <p>【P2. 星・惑星形成(原始惑星系円盤)】(3)</p> <p>P223b P224b P225c</p>	<p>【P3. 星・惑星形成(惑星系)】(9)</p> <p>P309b P310b P311b P312b P313b</p> <p>P314b P315c P316c P317c</p> <p>【Q. 星間現象】(6)</p> <p>Q10b Q11b Q12b Q23b Q24c</p> <p>Q34b</p> <p>【R. 銀河】(9)</p> <p>R04b R05b R06b R07b R08b</p> <p>R09c R10c R11c R12c</p> <p>【S. 活動銀河核】(9)</p> <p>S11b S12b S13b S14b S15b</p> <p>S16b S17c S18c S19c</p> <p>【T. 銀河団】(1)</p> <p>T09b</p> <p>【U. 宇宙論】(2)</p> <p>U09b U10c</p> <p>【V1. 観測機器(電波)】(18)</p> <p>V108b V109b V110b V111c V113b</p> <p>V114b V115b V116c V127b V128b</p> <p>V137b V138b V139c V140b V141b</p> <p>V142b V143b V144c</p>
--	---

ポスターセッション 3月16日(月) ~ 3月19日(木)**【V2. 観測機器(光赤外・重力波・その他)】(17)****V210b V211b V212b V213b V214b****V215c V222b V223b V224b V225c****V226c V229b V230b V231b V241b****V242b V243c****【V3. 観測機器(X線・ γ 線)】(8)****V304b V305b V306b V311b V312b****V313b V324c V325c****【W. コンパクト天体】(12)****W09b W10b W11b W12c W22b****W23b W24b W33b W34b W35b****W36c W37c****【X. 銀河形成】(15)****X07b X08b X09b X10b X11b****X12b X15b X24b X25b X26b****X27b X28b X29b X35c X40c****【Y. 天文教育・広報普及・その他】(10)****Y06b Y07b Y08b Y13b Y14b****Y15b Y16b Y17b Y18b Y19b**

Z1. ALMAとすばるのシナジーによる銀河研究

3月17日(火) 午前・A会場		3月17日(火) 午後・A会場	
09:30	Introduction and Scope of this Session Daisuke Iono (NAOJ)	13:00	Z109a Detection of a CO emission line counterpart of a $z = 3.3$ damped Ly α system 井上昭雄(早稲田大学)
09:36	Z101r Galaxy formation and evolution seen by ALMA and Subaru UMEHATA, Hideki (RIKEN)	13:12	Z110a Rapid co-evolution into quiescence? Subaru + ALMA view on $z > 6$ low-luminosity quasars Takuma Izumi (NAOJ)
10:06	Z102a Numerical simulations of multi-wavelength radiative properties of galaxies in the epoch of reionization 荒田翔平(大阪大学)	13:24	Z111r The Evolving Landscape In and Around the Field of Nearby Galaxy Studies 幸田仁(Stony Brook University)
10:18	Z103a Molecular gas reservoirs of cluster galaxies at cosmic noon 林将央(国立天文台)	13:54	Z112a Connecting molecules with the others in cosmological simulations 井上茂樹(筑波大学/国立天文台)
10:30	Z104a New insights into the environmental dependence of massive galaxy formation from a panchromatic view of the first galaxy clusters WANG, Tao (The University of Tokyo/NAOJ)	14:06	Z113a Star-formation and molecular cloud properties in a low metallicity environment: Subaru/HSC-ALMA-ASTE observations of NGC 6822 TOSAKI, Tomoka (Joetsu University of Education)
10:42	Z105a ALMA lensing cluster survey (ALCS) and follow-up observations using SUBARU KOHNO, Kotaro (The University of Tokyo)	14:18	Z114a ALMA CO Observations of a Giant Molecular Cloud in M33: Evidence for High-Mass Star Formation Triggered by Cloud-Cloud Collisions Hidetoshi Sano (Nagoya University)
10:54	Z106a ALMA Reveals the Internal Structure in a $z \sim 3$ Submillimeter Galaxy 小山紗桜(新潟大学)	14:30	Z115a Multiphase properties of ISM in a nearby radio galaxy, NGC 1316 Kana Morokuma (The University of Tokyo)
11:06	Z107a The low dust content of massive, quiescent galaxies at $z \sim 2$ Masayuki Tanaka (NAOJ)	14:42	Summary Yuichi Matsuda (NAOJ)
11:18	Z108a Star-formation rates of two GRB host galaxies at $z \sim 2$ and a [C II] deficit observed with ALMA Tetsuya Hashimoto (National Tsing Hua University)		

Z2. SPICA が切り拓くサイエンス

3月18日(水) 午前・B会場			Z214c 宇宙初期の銀河星間環境を特徴付けるダストの性質の理解 左近樹(東京大学)
09:30	Z201r 超高感度赤外線衛星 SPICA による宇宙進化史の解明 金田英宏(名古屋大学)		
09:51	Z202r SPICA が革新する系外銀河サイエンス 泉拓磨(国立天文台)	3月18日(水) 午後・B会場	
10:12	Z203a Importance of Dust in the Evolution of Galaxies: Prospect for SPICA 竹内努(名古屋大学)	13:00	Z215r SPICA が切り拓くサイエンス: 星・惑星形成, 惑星系の観測ハイライト 平野照幸(東京工業大学)
10:24	Z204a WISE-Planck far-infrared detection of Hyper Suprime-Cam protoclusters at $z \sim 4$ 久保真理子(国立天文台)	13:21	Z216a SPICA を用いた太陽系小天体の科学 小林仁美(LLP 京都虹光房)
10:36	Z205a The Slit-Less Spectroscopic Survey of Galaxies (SPICY) with AKARI/IRC - perspective to SPICA 和田武彦(宇宙航空研究開発機構)	13:33	Z217b SPICA の中間赤外線分光観測で探る木星トロヤ群小惑星の科学 吉田二美(千葉工業大学)
10:48	Z206b Unveiling the nature of HST-dark galaxies by using SPICA KOHNO, Kotaro (The University of Tokyo)	13:33	Z218b SPICA による中間赤外線分光観測で迫る太陽系内惑星間塵の性質 高橋葵(アストロバイオロジーセンター)
10:48	Z207b 広領域 SMI-CAM サーベイで探る初期宇宙の塵に覆われた AGN 松原英雄(宇宙航空研究開発機構)	13:33	Z219b SPICA 中間遠赤外線分光観測による彗星の水氷・ケイ酸塩鉱物探査 大坪貴文(宇宙航空研究開発機構)
10:48	Z208b SMI 高分散分光を用いた $z \sim 2$ AGN トーラス領域の吸収線観測 馬場俊介(国立天文台)		Z220c SPICA による太陽系惑星・衛星大気の観測 佐川英夫(京都産業大学)
11:00	Z209a 「近傍銀河・銀河系」班の概要と“stellar feedback” についての検討 江草芙実(東京大学)	13:33	Z221b SPICA による系外惑星の熱輻射の検出・キャラクター化 藤井友香(東京工業大学)
11:12	Z210a 「近傍銀河・銀河系」班: 銀河円盤外のガスやダストについての検討 金子紘之(国立天文台)	13:48	Z222a SPICA を用いた解体惑星の分光観測から系外惑星組成に迫る 奥谷彩香(東京工業大学)
11:24	Z211b OH ⁺ , H ₂ O ⁺ , H ₃ O ⁺ で探る分子ガスの電離度 渡邊祥正(日本大学)	14:00	Z223a SPICA 望遠鏡による遠赤外線偏光観測で探る原始惑星系円盤のダスト特性 田崎亮(東北大学)
11:24	Z212b Statistical Quantification and Parametrization of Galaxies with SPICA 竹内努(名古屋大学)	14:12	Z224a SPICA の水輝線観測が明らかにする原始惑星系円盤の熱・力学構造 森昇志(東京大学)
	Z213c 近傍活動銀河の B-BOP/SPICA 遠赤外線連続光偏光観測 中西康一郎(国立天文台)	14:24	Z225b 様々な物理量を考慮した原始惑星系円盤モデル計算と、SPICA 高分散分光観測による H ₂ O スノーライン位置同定の可能性検討 野津翔太(Leiden University)

Z3. 天文学史の最新研究動向

14:24	Z226b H ₂ O スノーライン検出を目指す SPICA 高分散分光観測観測シミュレーション 中川貴雄(宇宙航空研究開発機構)	3月18日(水) 午前・A会場
14:24	Z227b SPICA で探るデブリ円盤の進化と太陽系の起源 石原大助(宇宙航空研究開発機構)	09:30 Z301r 地震の歴史をまなぶー歴史地震研究の現在 加納靖之(東京大学)
	Z228c SPICA による原始惑星系円盤からの複雑な有機分子輝線の観測予測2 野村英子(国立天文台)	09:54 Z302a オープンサイエンス/シチズンサイエンスの前史としてのアマチュア天文学 玉澤春史(京都市立芸術大学/京都大学)
14:36	Z229a 宇宙赤外線望遠鏡 SPICA による分子雲磁場の観測と星形成機構 島尻芳人(国立天文台)	10:06 Z303a 長野県の天文学史料調査 陶山徹(長野市立博物館)
14:48	Z230a SPICA で探る超新星爆発でのダストの形成と破壊 野沢貴也(国立天文台)	10:18 Z304a 「長野県は宇宙県」と近代天文学史 大西浩次(長野工業高等専門学校)
15:00	Z231b SPICA で探る分子雲の多相構造 岩崎一成(国立天文台)	10:30 Z305a 水沢の歌にみる緯度観測所と木村栄馬場幸栄(一橋大学)
15:00	Z232b SPICA による分子性固体の遠赤外領域観測で展開するサイエンスの検討 日高宏(北海道大学)	10:42 Z306a 「時の記念日」と東京天文台 井上毅(明石市立天文科学館)
	Z233c SPICA で探る分子雲の磁場構造と星形成機構 井上剛志(名古屋大学)	10:54 Z307a 日本語の「小惑星」の起源 臼井文彦(神戸大学)
		11:06 Z308a 京都女子大学の望遠鏡を通して見た京都東山の天文 中尾真弓(京都女子大学)
		Z309c 木辺成磨和尚からみる仏の道と天文学 上田華穂(京都女子大学)
		11:18 Z310a ハンセン病療養所・長島愛生園における天文および気象観測 磯部洋明(京都市立芸術大学)

Z4. 突発現象天文学と大学教育における大学望遠鏡のシナジー

3月18日(水) 午後・A会場		3月16日(月) 午後・B会場	
13:00	Z311r 楔形文字史料から見るオーロラ現象 三津間康幸(筑波大学)	13:00	Z401r OISTERで実現したこと、いま目指すべき道 川端弘治(広島大学)
13:24	Z312a マウンダー極小期の太陽コロナ構造についての一試論 早川尚志(大阪大学)	13:21	Z402r OISTERと電波源突発現象とのシナジー 内山瑞穂(国立天文台)
13:36	Z313a 1788年10月の宇宙天気現象 服部健太郎	13:42	Z403a 山口干渉計YIによるX線連星 GRS1915+105のフラックスモニター観測 藤沢健太(山口大学)
13:48	Z314a ベトナム史書の日食記事 岡崎彰	13:54	Z404a 茨城32-m電波望遠鏡による6.7GHz メタノールメーザー源の単一鏡強度モニターを活用した突発現象天文学および大学教育 米倉覚則(茨城大学)
14:00	Z315a 天の力学から原子の力学へ:20世紀前半のハミルトン・ヤコビ理論の展開 中根美知代(成城大学)	14:06	Z405b 突発天体の即時分光を目指したIRSF近赤外線分光器の開発 國生拓摩(名古屋大学)
14:12	Z316r 近世日本の日記史料にみる天文認識—天文現象の記録化の意義と科学研究への活用に向けて— 岩橋清美(国文学研究資料館)	14:06	Z406b 埼玉大学望遠鏡・装置制御系“SaCRAシステム”および36cm望遠鏡の改良 金井昂大(埼玉大学)
14:36	Z317a 明和6年の彗星の記録について 藤原康徳(日本流星研究会)	14:06	Z407b 光赤外線大学間連携における観測企画運営委員会の活動と有機的連携の実現 山中雅之(京都大学)
14:48	Z318a 麻田剛明和二年乙酉見行艸 平井正則(福岡教育大学)	14:18	Z408b 光赤外線天文学大学間連携による短期滞在実習プログラムの実施(3) 大朝由美子(埼玉大学)
		14:18	Z409b 光赤外線大学間連携の望遠鏡によるX線連星の可視光・近赤外線観測 村田勝寛(東京工業大学)
		14:27	Z410a せいめい望遠鏡に搭載する可視光高速測光分光器の概要と狙い 野上大作(京都大学)
		14:39	全体討論

3月17日(火) 午前・B会場		3月17日(火) 午後・B会場	
09:30	Z411a 東京大学アタカマ天文台 TAO 6.5m 望遠鏡による突発天体観測 土居守(東京大学)	13:00	Z421r 超新星・恒星進化理論と OISTER のシナジー 前田啓一(京都大学)
09:42	Z412a 木曾シュミット望遠鏡 Tomo-e Gozen 高頻度突発天体サーベイ 諸隈智貴(東京大学)	13:21	Z422r OISTER と全天 X 線監視装置 MAXI のシナジー: 光赤外線・X 線モニタ観測によるブラックホール X 線連星の研究 志達めぐみ(愛媛大学)
09:54	Z413a Tomo-e Gozen サーベイにおける画像認識を用いた突発天体検出 浜崎凌(甲南大学)	13:42	Z423a BH X 線連星 MAXI J1820+070 の 2019 年の再増光時における多波長観測(2) 安達稜(東京工業大学)
10:06	Z414a 木曾広視野高速カメラ Tomo-e Gozen による微小地球接近小惑星の探索 紅山仁(東京大学)	13:54	Z424a 多波長モニター観測から探る WZ Sge 型矮新星の再増光の起源 磯貝桂介(京都大学)
10:18	Z415a Tomo-e Gozen サーベイを使った近傍重力マイクロレンズ探索 福井暁彦(東京大学)	14:06	Z425r せいめい望遠鏡の開発と運用状況 木野勝(京都大学)
10:30	Z416a MU レーダと Tomo-e Gozen による微光流星同時観測 大澤亮(東京大学)	14:27	Z426r 恒星フレアの多波長モニタ観測 ~ OISTER と TESS/NICER の連携 ~ 行方宏介(京都大学)
10:42	Z417a 重力波観測ラン O3 における J-GEM による電磁波対応天体探査 笹田真人(広島大学)	14:48	Z427a 中小口径望遠鏡と TESS の連携によるフレア星 EV Lac の測光分光同時観測 前原裕之(国立天文台)
10:54	Z418a GPU を用いた高速画像一次処理パイプライン 庭野聖史(東京工業大学)		
11:06	Z419a せいめい・かなたによる近傍銀河に現れた Ca-rich transient SN 2019ehk の観測 中岡竜也(広島大学)		
11:18	Z420a 近傍に現れた特異な Ia 型超新星 SN 2019muj の可視・近赤外線観測 川端美穂(京都大学)		

M. 太陽

3月17日(火) 午後・E会場		3月18日(水) 午前・E会場	
13:00	M01a 高感度 EUV/UV 分光望遠鏡衛星 (Solar-C EUVST): 全体進捗状況 今田晋亮(名古屋大学)	09:30	M12a 太陽光球でのジェット現象とその上層大気への影響 古谷侑士(京都大学)
13:12	M02a Solar-C EUVST: データ利用・運用と科学成果創出へ向けた体制構築 鳥海森(宇宙航空研究開発機構)	09:42	M13a Numerical simulation and identification of fast and slow MHD waves in heating magnetic chromosphere by realistic simulation Yikang Wang (The University of Tokyo)
13:24	M03a 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(2020年春) 成影典之(国立天文台)	09:54	M14a 部分電離プラズマ中で起きる磁気リコネクションの数値的研究 富野芳樹(京都大学)
13:36	M04a 国際コンソーシアムによる野辺山電波ヘリオグラフの運用(2015年4月-2020年3月) 増田智(名古屋大学)	10:06	M15a 太陽のCaK線観測による紫外線放射の推定 田中宏樹(京都大学)
13:48	M05a 強密度成層下の乱流起電力を考慮した球殻平均場太陽ダイナモモデル 政田洋平(愛知教育大学)	10:18	M16a Verification of CLASP2's Polarization Accuracy Donguk Song (NAOJ)
14:00	M06a 太陽表面における磁場要素の磁束と速度の関係 高畑憲(千葉大学)	10:30	M17a 磁気静水圧平衡非フォースフリー磁場モデルによる太陽浮上磁場の再構成 三好隆博(広島大学)
14:12	M07a 太陽黒点の磁場形状と観測量の関係 石倉秋人(千葉大学)	10:42	M18a 線形フォースフリー磁場を利用した太陽活動領域磁場のモデリング 中谷賢人(名古屋大学)
14:24	M08a 静穏領域水平磁場の太陽周期依存性 花岡庸一郎(国立天文台)	10:54	M19a 非線形フォースフリー磁場モデリングに基づいた活動領域 12673 におけるエネルギー蓄積過程とフレアの発生機構に関する研究 II 山崎大輝(京都大学)
14:36	M09a 南極ドームふじアイスコアからさぐる気温変動と太陽活動との相関 望月優子(理化学研究所)	11:06	M20b 飛騨天文台 SMART 望遠鏡マグネトグラフ偏光キャリブレーション実験 III 山崎大輝(京都大学)
14:48	M10b 機械学習を用いた太陽黒点の複雑さ分類機の開発及び太陽フレア予報への応用 木原孝輔(京都大学)	11:06	M21b H α 線 2 波長同時撮像観測によるプロミネンスの高解像度速度場観測 宮良碧(茨城大学)
14:48	M11b 太陽活動周期21期末から24期における、活動領域の磁場タイプ別の出現数の変動とフレア活動 滝澤寛(神奈川工科大学/早稲田大学高等学院)	11:06	M22b プラズマの電子密度診断に用いる Fe XIV 輝線強度比の衝突輻射モデル評価 神原永昌(総合研究大学院大学)

11:18	M23b	太陽風シミュレーションモデルの高解像度化によるコロナホールの再現と高速風予測について II 田光江 (情報通信研究機構)	14:36	M34a	白色光フレアと磁場の関係についての統計的研究 渡邊恭子 (防衛大学校)
11:18	M24b	惑星間空間における II 型電波バーストのスペクトルの特徴と太陽高エネルギー粒子の関係 岩井一正 (名古屋大学)	14:48	M35a	フレア統計の応用によるフレア活動史の過去への伸長 河村聡人 (京都大学)
	M25c	H α 線と MgI 457.1 nm 線を用いた 2 波長同時高速 2 次元分光観測によるダークフィラメントのダイナミクスの時間変動 當村一朗 (大阪府立大学工業高等専門学校)	3 月 19 日 (木) 午前・E 会場		
3 月 18 日 (水) 午後・E 会場			09:30	M36a	観測データによる太陽フレア EUV 放射スペクトルモデルの検証 西本将平 (防衛大学校)
13:00	M26a	彩層温度最低値の違いによるコロナへの影響 鷲ノ上遥香 (東京大学)	09:42	M37a	TESS と MAXI を用いた恒星フレアにおける白色光フレアエネルギーと X 線最大フラックスの関係 岡本豊 (中央大学)
13:12	M27a	X 線ループ構造パラメータとコロナ質量放出の統計解析 飯田佑輔 (新潟大学)	09:54	M38a	電子ビーム加熱による太陽フレア大気の輻射流体計算と Mg II 線放射 鄭祥子 (京都大学)
13:24	M28a	彩層・太陽風における Alfvén 波の非線形過程とその磁場強度依存性 坂上峻仁 (京都大学)	10:06	M39a	超小型衛星を用いた太陽フレアからの熱的・非熱的放射の時間発展の研究 長澤俊作 (Kavli IPMU)
13:36	M29a	EIS分光データの強度勾配の大きい領域に現れる偽速度場について 原弘久 (国立天文台)	10:18	M40a	磁力線と荷電粒子の運動 柴崎清登 (太陽物理学研究所)
13:48	M30a	表面磁束輸送モデル計算及び PFSS 外挿法を用いたコロナホール分布の時間発展計算 渡邊優作 (名古屋大学)	10:30	M41a	太陽黒点は (未確認の) "向太陽循環水流" がつくる現象? 藤原ケイ
14:00	M31a	コロナ加熱を想定した磁気リコネクションの Hall MHD 計算 村上享平 (名古屋大学)			
14:12	M32a	機械学習と流体シミュレーションを用いたナノフレア解析 河合敏輝 (名古屋大学)			
14:24	M33a	CME発生活動領域の同定および機械学習による発生予測 西塚直人 (情報通信研究機構)			

N. 恒星・恒星進化

3月18日(水) 午前・D会場		N13c	VERAによるミラ型変光星 BX Cam の位置天文観測 松野雅子(鹿児島大学)		
09:30	N01a	多波長モニタ観測で探るM型星フレアのバルマー線の輝線輪郭非対称性 野津湧太(京都大学)	N14c	VERAによる長周期変光星のVLBI位置天文観測およびGaiaとの比較 中川亜紀治(鹿児島大学)	
09:42	N02a	Kepler全データを使った太陽類似星スーパーフレアの統計解析 岡本壮師(京都大学)	3月18日(水) 午後・D会場		
09:54	N03a	RY Draからの星風の安定性 保田悠紀(北海道大学)	13:00	N15a	AKARI, WISEによるOH/IR星の中間赤外線長周期変光調査 橋健吾(東京大学)
10:06	N04a	アルベーン波加熱を含む磁気回転風モデル 庄田宗人(国立天文台)	13:12	N16a	星震学を利用した銀河系ハロー星種族の形成タイムスケールへの制限 松野允郁(総合研究大学院大学/国立天文台)
10:18	N05a	磁気回転星進化の新しい計算手法 高橋亘(Max Planck Institute for Gravitational Physics)	13:24	N17a	近赤外線YJバンドに現れる鉄吸収線ペアのライン強度比を用いた赤色超巨星の有効温度の決定 谷口大輔(東京大学)
10:30	N06a	2次元回転星の平衡形状と擬似的進化計算 小形美沙(早稲田大学)	13:36	N18a	Determining T_{eff} and [Fe/H] with line-depth ratios using infrared YJ-band spectra Mingjie Jian(The University of Tokyo)
10:42	N07a	LAMOST/すばる望遠鏡による金属欠乏星探査と炭素過剰星の組成解析 青木和光(国立天文台)	13:48	N19a	A Comprehensive Spectroscopic Analyses of the PN IC2165 with Seimei/KOOLS-IFU 大塚雅昭(京都大学)
10:54	N08a	初代星におけるカルシウムの合成と超金属欠乏星の起源 森寛治(東京大学)	14:00	N20a	前主系列星における彩層活動由来のHeI λ 10830吸収線の初検出:近赤外線高分散分光器WINEREDによるTaurus星生成領域中の中質量星の観測 安井千香子(国立天文台)
11:06	N09b	Gaia DR2と分光観測による高速度星の運動の解析 吉岡岳洋(東京大学)	14:12	N21a	外層の剥ぎ取りが赤色超巨星の振動に及ぼす影響 大内竜馬(京都大学)
11:06	N10b	長周期ミラ型変光星OZ Gem, AP Lyn, V837 Herの位置天文観測:周期光度関係に及ぼす銀河の金属量の影響 浦郷陸(鹿児島大学)	14:24	N22a	大質量星エータカーリーナからの非熱的X線放射の連星軌道に伴う時間変動 濱口健二(NASA's GSFC/UMBC)
11:06	N11b	二色図を用いたNova V5668 Sgrの電離雲の研究 速見由紀子(鹿児島大学)	14:36	N23a	共生星V694 Monの可視分光観測 安藤和子(岡山理科大学)
11:18	N12b	SN 1987A親星モデルを用いた重力崩壊シミュレーションからの重力波シグナル 中村拓未(福岡大学)			

14:48	N24a	近赤外線 YJバンドに存在する中性子捕獲元素の吸収線の同定 松永典之(東京大学)	11:30	N35a	超新星のボルツマン輻射流体計算で探る核物質状態方程式の影響 原田了(東京大学)
3月19日(木) 午前・D会場				N36c	大質量星の最終進化段階における非球対称構造が超新星爆発に与える影響 中村航(福岡大学)
09:30	N25a	すばる望遠鏡 COMICS を用いた WR125 の中間赤外低分散分光観測 遠藤いずみ(東京大学)			
09:42	N26a	大質量星とブラックホールからなる相互作用をしない連星の発見(2) 須田拓馬(放送大学)			
09:54	N27a	高速自転する大質量星の3次元重力崩壊シミュレーション:ダイナミクスとニュートリノの解析 柴垣翔太(福岡大学)			
10:06	N28a	一般相対論的ボルツマン方程式の直接解法コード開発 赤穂龍一郎(早稲田大学)			
10:18	N29a	ultra-stripped supernovae の電波放射から迫る連星中性子星形成シナリオへの制限 松岡知紀(京都大学)			
10:30	N30a	星周物質との相互作用で光る突発天体における最大光度と増光時間の関係 鈴木昭宏(国立天文台)			
10:42	N31a	大質量星進化後期における複数回繰り返す爆発的質量放出現象の輻射流体力学シミュレーション 栗山直人(東京大学)			
10:54	N32a	超新星 Cassiopeia A の不完全 Si 燃焼層での中性子過剰度の推定 佐藤寿紀(理化学研究所/NASA's GSFC/UMBC)			
11:06	N33a	vp プロセスによる軽い p 核の生成と太陽系元素組成の起源 西村信哉(京都大学)			
11:18	N34a	多次元計算で探る潮汐破壊された白色矮星の熱核爆発の開始と伝播と元素合成 谷川衝(東京大学)			

P1. 星・惑星形成(星形成)

3月17日(火) 午後・F会場		3月18日(水) 午前・F会場	
13:24	P101b 銀河面における前主系列星の可視分光探査観測 竹内媛香(埼玉大学)	09:30	P113a 低金属度大質量星の脈動不安定性について 仲内大翼(東北大学)
13:36	P102b へび座分子雲における若い超低質量天体の近赤外分光観測 大出康平(埼玉大学)	09:42	P114a 原始ガス雲内部から放出される Ly α 光子による水素分子形成抑制効果 阿左美進也(筑波大学)
13:36	P103b R CrA 領域における若い超低質量天体の近赤外測光探査 金井昂大(埼玉大学)	09:54	P115a ミニハロー内における乱流の増幅 東翔(甲南大学)
13:36	P104b Ca II 三重輝線と Mg I 輝線を用いた若い恒星の彩層活動の調査 山下真依(兵庫県立大学)	10:06	P116a 初代星形成時における周連星円盤について 織田篤嗣(甲南大学)
	P105c Herbig Be 型星 Z CMa の可視分光モニタリング 秋本妃奈子(兵庫県立大学)	10:18	P117a 3次元磁気流体計算による初代星形成過程 定成健児エリック(東北大学)
	P106c Tタウリ型星 V523 Oriの可視測光・分光観測 福田尚也(岡山理科大学)	10:30	P118a 初期宇宙における低金属量環境下での超大質量星形成 鄭昇明(東北大学)
13:48	P107a FU Ori型星 V960 Monの高分散分光観測 高木悠平(国立天文台)	10:42	P119a 銀河系ハロー星から読み解く宇宙初期における低質量星の形成過程とその変遷 藤本正行(北海道大学)
14:00	P108a Class 0 低質量原始星天体 IRAS 16293-2422 A の内部構造 大屋瑤子(東京大学)	10:54	P120a 初代星形成における原始星周りの円盤進化 木村和貴(京都大学)
14:12	P109a ALMA ACA サーベイで探る Taurus 領域分子雲コア進化の統計的研究 (2): 1mm 帯連続波で検出された分子雲コアの内部構造 徳田一起(大阪府立大学/国立天文台)	11:06	P121b The Pop III disk fragmentation: 数値計算による不定性と物理的な依存性 島和宏(京都大学)
14:24	P110a ALMA ACA サーベイで探る Taurus 領域分子雲コア進化の統計的研究 (3): ファーストコア候補天体 MC35/L1535NE 藤城翔(名古屋大学)	11:06	P122b 原始星アウトフローの解析モデルの構築と観測との比較 佐藤亜紗子(九州大学)
14:36	P111a An Origin of Misaligned Protoplanetary Disks and Planets 三杉佳明(名古屋大学)	11:06	P123b 磁場に貫かれたフィラメント状分子雲でのコア形成: 落下速度の非等方性 工藤哲洋(長崎大学)
14:48	P112a 連星形成過程におけるアウトフローとジェットの駆動メカニズムの解明 佐伯優(九州大学)	11:18	P124b 磁場に貫かれたフィラメント状分子雲の平衡解: ポリトロピック指数の効果 柏木頼我(総合研究大学院大学)
		11:18	P125b AFGL2591 system の空間分解中間赤外線分光観測 小木美奈子(岡山理科大学)

11:18	P126b VERA を用いた大質量星形成領域 IRAS23385+6053(Mol 160) の位置天文学 濱田翔太(鹿児島大学)	3月19日(木) 午前・F会場	
	P127c 銀河系中心 G-0.02-0.07 に付随する分子雲 50MC のホットコアの進化過程 宮脇亮介(桜美林大学)		
3月18日(水) 午後・F会場			
13:00	P128a ALMA Cycle 6 による重力不安定な円盤を伴う大質量原始星からの分子ガスアウトフロー観測 元木業人(山口大学)	09:30	P137a BISTRO Project Status (7) Tetsuo Hasegawa (NAOJ)
13:12	P129a Discovery of a Photoionized Outflow toward the Massive Protostar G45.47+0.05 Yichen Zhang (RIKEN)	09:42	P138a BISTRO : 850 μ m 偏波機能付き“SCUBA-3”カメラの製作 (1) 科学目標 古屋玲(徳島大学)
13:24	P130a OMC-2/FIR 6 領域における連続波源と新たなアウトフローの探査 松下祐子(九州大学)	09:54	P139a 分子雲コアの砂時計型磁場: 凍結磁場モデルとコア形成の初期条件について 神鳥亮(アストロバイオロジーセンター)
13:36	P131a OMC-3 領域における非常に若い中質量コアの進化段階の解析 森井嘉穂(九州大学)	10:06	P140a 分子雲形成シミュレーションにおける星間媒質の性質 小林将人(大阪大学)
13:48	P132a オリオン領域および Upper Scorpius OB association における若い星の分布 西亮一(新潟大学)	10:18	P141a 乱流による多相星間媒質のフィラメント構造の性質について Pierre Goux(東北大学)
14:00	P133a 星の最終質量はどのように決まるのか?: オリオン大星雲領域のコア質量関数からの制限 竹村英晃(総合研究大学院大学/国立天文台)	10:30	P142a 分子雲におけるフィラメント状構造の起源 安部大晟(名古屋大学)
14:12	P134a NRO 銀河面サーベイプロジェクト (FUGIN): 巨大分子雲複合体 W43 における高密度ガスと大質量星形成シナリオ III 河野樹人(名古屋大学)	10:42	P143a Massive Core/Star Formation Triggered by Cloud-Cloud Collision III: Effect of Magnetic Field Nirmit Deepak Sakre (Hokkaido University)
14:24	P135a Searching for hot cores in the Small Magellanic Cloud Sarolta Zahorecz (Osaka Prefecture University/NAOJ)	10:54	P144a 赤外線暗黒星雲 M17 SWex 領域における分子雲衝突の発見 木下真一(東京大学)
14:36	P136a 大型ミリ波望遠鏡 LMT 50m に搭載した新型 2mm 帯受信機 B4R による系内星形成領域の高感度分子輝線観測 吉村勇紀(東京大学)	11:06	P145a W40 と Serpens South の星形成 下井倉ともみ(大妻女子大学)
		11:18	P146a 星形成領域における円偏光波に関する輻射輸送シミュレーション 福島肇(筑波大学)

P2. 星・惑星形成(原始惑星系円盤)

3月16日(月)午後・F会場		3月17日(火)午前・F会場	
13:00	P201a TESS Full Frame Image による dipper サーベイ I. 南半球 田尻智之(東京大学)	09:30	P211a 散発的なガス降着による原始惑星系円盤の成長 花輪知幸(千葉大学)
13:12	P202a TESS Full Frame Image による dipper サーベイ II. 北半球とスペクトル解析 笠木結(総合研究大学院大学)	09:42	P212a 原始惑星系円盤内側領域のデッドゾーン境界近傍におけるガスダイナミクス 岩崎一成(国立天文台)
13:24	P203a ALMA を用いた原始惑星系円盤 HD142527 の 2 波長偏光観測 片岡章雅(国立天文台)	09:54	P213a 永年重力不安定性による原始惑星系円盤の大局的な構造進化 富永遼佑(名古屋大学)
13:36	P204a 原始惑星系円盤の3ミクロン帯散乱光による偏光超過 村川幸史(大阪産業大学)	10:06	P214a 原始惑星系円盤光蒸発の輻射流体計算: 中心星スペクトル型依存性 駒木彩乃(東京大学)
13:48	P205a 非対称な原始惑星系円盤を持つ V1247 Ori におけるダスト成長 後藤光希(東京大学)	10:18	P215a 原始惑星系円盤の消失: 弱乱流円盤での磁気駆動円盤風と光蒸発の競合 國友正信(久留米大学)
14:00	P206a ALMA による遷移円盤内の傾いた内側ガス円盤の検出 眞山聡(総合研究大学院大学)	10:30	P216a ngVLA でスノーラインを観る 奥住聡(東京工業大学)
14:12	P207a ダスト整列と自己散乱の複合モデルによる HL Tau 円盤ミリ波偏光の再解釈 森智宏(東京大学)	10:42	P217a 微惑星の現実的な合体条件 柴田雄(国立天文台)
14:24	P208a Dust Substructure Formation in an Embedded Disk around a Protostar 仲谷峻平(理化学研究所)	10:54	P218a 超木星質量の巨大惑星による離心率を持つギャップの形成と質量降着率への影響 田中佑希(東北大学)
14:36	P209a Collisions of Dust Aggregates with Low to Very High Mass Ratios 長谷川幸彦(東京大学)	11:06	P219a 原始惑星近傍のガス流れ場と周惑星円盤の構造 波々伯部広隆(国立天文台)
14:48	P210a ダスト進化を考慮した原始惑星系円盤の化学構造進化 古家健次(筑波大学)	11:18	P220a 未同定赤外バンド放射から推定するジャコビニ・ツィナー彗星(21P/Giacobini-Zinner)の原始太陽系円盤中での形成領域と温度環境 大坪貴文(宇宙航空研究開発機構)

P3. 星・惑星形成(惑星系)

3月17日(火) 午後・F会場	3月18日(水) 午後・I会場
13:00 P221a 磁気圏降着を受ける原始星のスピンドアウンについて 高棹真介(国立天文台)	13:00 P301a 内穴外縁からの多様な惑星形成 森川雅博(お茶の水女子大学)
13:12 P222a 周連星円盤における磁場の効果: MRIと三つのアウトフロー 松本倫明(法政大学)	13:12 P302a 単一巨大衛星を持つガス惑星系の形成シナリオ 藤井悠里(名古屋大学)
13:24 P223b 原始惑星系円盤でのガス流が引き起こす高空隙ダストの回転による破壊 辰馬未沙子(東京大学/国立天文台)	13:24 P303a 太陽系辺縁部天体の軌道進化に対する銀河系からの影響 船渡陽子(東京大学)
13:24 P224b ダスト整列由来の熱的偏波放射のダスト空隙率依存性 田崎亮(東北大学)	13:36 P304a 土星リング進化が衛星軌道に与える影響 中嶋彩乃(東京工業大学)
P225c 輻射流体力学シミュレーションのためのオパシティ計算コードの開発 廣瀬重信(海洋研究開発機構)	13:48 P305a 太陽系地球型惑星の大気環境監視ミリ波望遠鏡 SPART が捉える金星大気の一酸化炭素の変動 前澤裕之(大阪府立大学)
	14:00 P306a On the 3-D tomographic analysis of Titan's atmospheric Cyanopolyne (HC ₃ N) with ALMA 飯野孝浩(東京大学)
	14:12 P307a HD189733b の X 線、紫外線によるトランジット観測 森岡夏未(奈良女子大学)
	14:24 P308a 軌道歳差を考慮した高温星周りのホットジュピターの存在頻度 渡辺紀治(総合研究大学院大学)
	14:36 P309b トランジット観測によるウォーム・ネプチューン GJ436b の大気調査 西海拓(京都産業大学)
	14:36 P310b 55cmSaCRA 望遠鏡 / MuSaSHI と 36cm 望遠鏡を用いた系外惑星の多波長トランジット測光観測 石岡千寛(埼玉大学)
	14:36 P311b 高解像度流体シミュレーションによる原始ガス惑星への降着流の考察 高棹真介(国立天文台)
	14:48 P312b 周巨大惑星における Liquid Water Belt 3: マグマ層厚の検討 鴨川弘幸(防衛大学校)

14:48	P313b 多地点流星電波観測による 10 月りゅう座流星群とふたご座流星群の比較 石村周平 (茨城大学)	10:42	P324a 巨大衝突によって形成される惑星系の軌道構造の中心星質量依存性 星野遥 (東京大学)
14:48	P314b 近赤外線分光観測による小惑星母天体の内部構造探査 臼井文彦 (神戸大学)	10:54	P325a 大気を持つ天体同士の巨大衝突がもたらす大気損失と角運動量変化 黒崎健二 (名古屋大学)
	P315c ALMA 12m-Array/ACA/TP 同時観測による金星中層大気の微量分子観測のミッシングフラックスの評価 富原彩加 (大阪府立大学)	11:06	P326a 巨大衝突起源の破片円盤との相互作用による地球型惑星の軌道進化 小林浩 (名古屋大学)
	P316c 彗星のガス輝線の空間構造の Abel 変換による解析: 46P/Wirtanen 彗星 長谷川隆 (群馬県立ぐんま天文台)		
	P317c 近赤外中分散エシエル分光器による金星大気物質循環へのアプローチ 前澤裕之 (大阪府立大学)		
3 月 19 日 (木) 午前・I 会場			
09:30	P318a 視線速度を用いた長周期連星ブラックホールの探査の提案と検証 II 林利憲 (東京大学)		
09:42	P319a Investigating stellar jitter with asteroseismic observations in searching for exoplanets around G/K-type evolved stars Huan-Yu Teng (Tokyo Institute of Technology)		
09:54	P320a IRD-SSP による M 型星周りの惑星サーベイ: 1 年目の観測ステータス 大宮正士 (アストロバイオロジーセンター)		
10:06	P321a すばる望遠鏡における高分散分光コロナグラフ REACH によるサイエンス 河原創 (東京大学)		
10:18	P322a 重カマイクロレンズ法を用いた Xallarap 効果による銀河系バルジの短周期惑星の検出実現性 宮崎翔太 (大阪大学)		
10:30	P323a ガス惑星の大気散逸過程における遠紫外線光電加熱の効果 三谷啓人 (東京大学)		

Q. 星間現象

3月16日(月) 午後・G会場		3月17日(火) 午前・G会場	
13:00	Q01a X線天文衛星Chandraによる超新星残骸 Puppis Aの衝撃波固有運動の測定 今井悠喜(埼玉大学)	09:30	Q13a ASTEによる800GHz帯のC ₁ -CO初期観測データの解析と考察 福井康雄(名古屋大学)
13:12	Q02a X線ガンマ線観測を用いた若い超新星残骸における粒子加速効率の研究 辻直美(立教大学)	09:42	Q14a ASTE望遠鏡によるCI(³ P ₁ - ³ P ₀), ¹³ CO(J=3-2)データを用いた、Quintuplet cluster 周辺環境の研究 関健太郎(名古屋大学)
13:24	Q03a 宇宙線変調衝撃波からの偏光H α 放射について 霜田治朗(名古屋大学)	09:54	Q15a いて座Aにおける20 km s ⁻¹ 雲と 50 km s ⁻¹ 雲の分子雲衝突 榎谷玲依(名古屋大学)
13:36	Q04a young から middle-aged の超新星残骸からの非熱的放射についての統一モデルの構築に向けて 小橋亮介(京都大学)	10:06	Q16a 銀河系中心部の $l = 1^{\circ}.3$ 分子雲複合体における分子雲衝突 II 松永健汰(名古屋大学)
13:48	Q05a 超新星残骸中で生成された二次宇宙線原子核の逃走とそのエネルギースペクトル 川中宣太(京都大学)	10:18	Q17a 電離領域 Sh2-231, Sh2-233 の星形成 藤田真司(名古屋大学)
14:00	Q06a 非一様媒質中を伝播する衝撃波による粒子加速 横山将汰(東京大学)	10:30	Q18a 高分解能 HI で探る, 小マゼラン雲の N84 領域における大質量星形成シナリオ 大野峻宏(名古屋大学)
14:12	Q07a スーパーバブルにおける宇宙線加速 安田晴皇(京都大学)	10:42	Q19a 中間速度 HI 雲 IV Arch の重元素量 早川貴敬(名古屋大学)
14:24	Q08a 初代宇宙線の加速と逃走 大平豊(東京大学)	10:54	Q20a ALMA 高分解能観測で見た分子雲の縁における CO/C ₁ の構造 立原研悟(名古屋大学)
14:36	Q09a 連星中性子星合体残骸の核ガンマ線探査 寺田幸功(埼玉大学)	11:06	Q21a NRO 銀河面サーベイプロジェクト (FUGIN):BDI を用いた天の川銀河における分子ガス構造の解析 大塚宏樹(筑波大学)
14:48	Q10b すざく衛星で観測した超新星残骸Kepler, Tycho, CasA のSi-K 吸収端付近のX線スペクトル構造 岡崎貴樹(大阪大学)	11:18	Q22a 銀河系円盤部で見えられた広速度分子ガス成分 CO 16.13-0.55 の起源 横塚弘樹(慶應義塾大学)
14:48	Q11b オリオン座A分子雲周辺に分布するダストの光学的特性 上原隼(桐朋中学校・高等学校/東京学芸大学)	11:30	Q23b 中性水素ガス衝突による大質量星団形成の理論的研究 前田龍之介(名古屋大学)
14:48	Q12b 銀河系中心におけるプロミネンス上昇の磁気流体シミュレーション 富吉拓馬(千葉大学)	Q24c 鹿島-日立 VLBI による核融合開始直後の大質量星に付随する極小 HII 領域の大規模探査 小倉達也(山口大学)	

3月17日(火) 午後・G会場		3月18日(水) 午前・G会場	
13:00	Q25a 「すざく」とXMM-Newton衛星で同時検出した地球周辺の電荷交換X線発光 伊師大貴(首都大学東京)	09:30	Q35a 大質量星形成領域Sagittarius B2(M)におけるCH ₃ NCOの検出 大野有紀(東京理科大学)
13:12	Q26a ALMAによる大マゼラン雲の超新星残骸N49の観測(II) 山根悠望子(名古屋大学)	09:42	Q36a すばる望遠鏡MOIRCSとGaia衛星による銀河面拡散X線放射の起源探査 森鼻久美子(名古屋大学)
13:24	Q27a 大マゼラン雲の重元素量分布と銀河間相互作用 柘植紀節(名古屋大学)	09:54	Q37a 銀河中心拡散X線放射の硬X線成分 信川正順(奈良教育大学)
13:36	Q28a 30 Doradus 複合領域における中性鉄輝線の調査(2) 信川久実子(奈良女子大学)	10:06	Q38a 豪州気球実験SMILE-2+のMeVガンマ線光度曲線からみる銀河中心領域 水村好貴(宇宙航空研究開発機構)
13:48	Q29a 超新星フィードバックの金属量依存性 奥裕理(大阪大学)	10:18	Q39a 豪州気球実験SMILE-2+のMeVガンマ線空間分布からみる銀河中心領域 吉川慶(京都大学)
14:00	Q30a 可視光減光量による銀河スケールの厚いダストディスクの発見 土橋一仁(東京学芸大学)		
14:12	Q31a 天の河銀河高温ガスハローによる高速電波バーストの分散指標への寄与 山崎翔太郎(東京大学)		
14:24	Q32a Diffuse X-ray Background Spatial-Fluctuation Anisotropy in Suzaku Observations Yu Zhou (JAXA/ISAS)		
14:36	Q33a Cosmic Amorphous Dust: 地上に存在しない特異な物性を持つ新種のアモルファス物質が星間空間に存在する可能性 梨本真志(東北大学)		
14:48	Q34b X線天文衛星「すざく」で観測した彗星における電荷交換反応モデルの検証 鈴木光(首都大学東京)		

R. 銀河

3月18日(水) 午前・G会場		3月18日(水) 午後・G会場	
10:30	R01a 統計平衡計算による NGC 3627 の bar-end における星形成活動性の起源の探求 柴田和樹(筑波大学)	13:00	R13a NRO レガシープロジェクト COMING (28): 空間分解した星質量-星形成率関係から見る銀河内部での星形成活動と分子ガスの割合 梶川明祐実(北海道大学)
10:42	R02a Simulating NGC4303 and NGC3627: Barred Spiral Galaxies – Interacting and Isolated Elizabeth J. Iles (Hokkaido University)	13:12	R14a ALMA による渦巻銀河 M33 の巨大分子雲の高分解能観測 (4): 星形成が不活発な巨大分子雲の性質 近藤滉(大阪府立大学)
10:54	R03a Should we be asking molecular clouds how spiral arms are made? Alexander Robert Pettitt (Hokkaido University)	13:24	R15a スターバースト銀河 NGC1808 における分子ガス, 巨大分子雲の性質 矢島義之(北海道大学)
11:06	R04b Gaseous Disc in a Triaxial Dark Matter Halo Ying Zhang (Hokkaido University)	13:36	R16a NGC253 中心におけるループ状分子ガスの観測的研究 小西諒太郎(大阪府立大学)
11:06	R05b 銀河シミュレーションによる、分子雲の衝突速度と乱流状態 堀江秀(北海道大学)	13:48	R17a NGC1068 の off-nuclear メーザー分布領域における高密度分子ガスの物理状態 萩原喜昭(東洋大学)
11:06	R06b 輻射輸送計算による銀河円盤の電波帯疑似観測 田嶋裕太(九州大学)	14:00	R18a ASTE による近傍棒渦巻銀河 M83 の sub-kpc スケール [C I]($^3P_1-^3P_0$)輝線観測 保田敦司(筑波大学)
11:18	R07b 棒渦巻銀河 M83 の渦状腕と棒状構造での分子ガスの密度構造の違い 八嶋裕(北海道大学)	14:12	R19a Spatially-resolved [C I] study in Arp 220 Junko Ueda (NAOJ)
11:18	R08b NRO レガシープロジェクト COMING(29): 近傍銀河における星間ガス中の分子ガス率の動径分布 小松崎龍聖(筑波大学)	14:24	R20a ALCHEMI survey: a comprehensive extragalactic spectra scan in an archetypal starburst galaxy NGC 253 原田ななせ(台湾中央研究院)
	R09c High angular resolution imaging of millimeter recombination line toward the NGC 253 nuclear starburst 中西康一郎(国立天文台)	14:36	R21a スターバースト銀河 M82 の銀河風領域における重元素の輝度分布 八木雄大(東京大学)
	R10c Recovering extended structures in merger remnants Junko Ueda (NAOJ)	14:48	R22a SuGOHI: Search for strong gravitational lenses from the HSC Survey Anton Timur Jaelani (Kindai University)
	R11c 新たな GeV ガンマ線源 スターバースト銀河 Arp299 の検出 古田智也(東海大学)		
	R12c 近傍の早期型銀河の球状星団系と親銀河の性質の関係 隈井泰樹(熊本学園大学)		

S. 活動銀河核

3月19日(木) 午前・G会場		3月16日(月) 午後・E会場	
09:30	R23a 渦状腕形成機構: スイング増幅によるエピサイクル位相の同期 道越秀吾(京都女子大学)	13:00	S01a The jet and resolved features of the central supermassive black hole of M87 observed with EHT 三好真(国立天文台)
09:42	R24a 渦状腕形成の素過程のシミュレーション 吉田雄城(東京大学/国立天文台)	13:12	S02a 多波長の一般相対論的輻射輸送計算: ブラックホール・シャドウと電波からX線・ガンマ線までの輻射スペクトル 川島朋尚(国立天文台)
09:54	R25a N体シミュレーションによって示唆される高次のバー共鳴由来の Hercules stream 朝野哲郎(東京大学)	13:24	S03a 活動銀河核ジェット的一般相対論的理想MHD 近似解の構築 荻原大樹(東北大学)
10:06	R26a CfA・FUGINによるCO観測データと銀河系3次元理論計算の比較による銀河系内部構造の研究 渡邊祐也(筑波大学)	13:36	S04a 電子イオン2温度磁気流体計算による3次元AGNジェット伝搬数値実験: FRIIジェットにおけるローブ圧/外圧に対するイオンの寄与 大村匠(九州大学)
10:18	R27a すばる望遠鏡 Hyper Suprime-Camを用いた銀河系中心方向のダスト減光の研究 鈴木大介(宇宙航空研究開発機構)	13:48	S05a 活動銀河ジェット根元から終端にいたる磁場強度の系統解析と示唆 伊藤颯一郎(早稲田大学)
10:30	R28a S0-2近点通過時のすばる望遠鏡による分光観測データを用いた銀河系中心ブラックホール周囲の暗黒質量の総量への制限 孝森洋介(和歌山工業高等専門学校)	14:00	S06a Coronal Magnetic Activity in nearby Active Supermassive Black Holes 井上芳幸(理化学研究所)
10:42	R29a 銀河系中心巨大ブラックホール近傍の赤色巨星の金属量測定 西山正吾(宮城教育大学)	14:12	S07a サブ秒角からマイクロ秒角の角度分解能のX線撮像を目指す MIXIM: 近傍活動銀河核の観測に向けて 林田清(大阪大学)
10:54	R30a Sub-millimeter Detection of a Galactic Center Cool Star IRS 7 by ALMA Masato Tsuboi (JAXA/ISAS)	14:24	S08a 回転天体の重力レンズ方程式の導出とその活動銀河核マイクロスコプとしての応用可能性 服部誠(東北大学)
		14:36	S09a 那須電波干渉計が捉えた2019年のCyg X-3 巨大フレア 大師堂経明((一社)電波天文学研究会)
		14:48	S10a ALMAによる銀河系中心核 Sgr A* の230 GHz 帯光度変動解析 岩田悠平(慶應義塾大学)
		15:00	S11b How far is the real distance between Sgr A* and IRS 13E3? Masato Tsuboi (JAXA/ISAS)

15:00	S12b	M87 ジェット根元の局所的な電子陽電子対プラズマ注入領域からの放射は EHT で観測されたリング・イメージを再現するのか？ 川島朋尚（国立天文台）	10:06	S23a	ALMA による近傍活動銀河核 NGC 7469 中心領域の熱源診断 中野すずか（総合研究大学院大学/国立天文台）
15:00	S13b	High resolution imaging of the molecular torus in NGC 1052 with VLBI Satoko Sawada-Satoh (Yamaguchi University)	10:18	S24a	Spitzer/IRS による埋もれた AGN のシリケートダストの系統的研究 土川拓朗（名古屋大学）
15:12	S14b	A survey of new Changing-Look Quasar 名越俊平（京都大学）	10:30	S25a	CO 振動回転遷移吸収線の速度変動解析に基づく超高光度赤外線銀河 IRAS 08572+3915 における活動銀河核分子トラス内部構造の考察 大西崇介（東京大学/宇宙航空研究開発機構）
15:12	S15b	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 小久保充（東北大学）	10:42	S26a	AGN と SN フィードバックを考慮した活動銀河核の遮蔽構造 川勝望（呉工業高等専門学校）
15:12	S16b	Stripe 82X 多波長カタログを用いた遠方電波銀河の探査 瀬戸口健太（京都大学）	10:54	S27a	Reverberation Measurements of the Inner Radii of the Dust Tori in Quasars 峰崎岳夫（東京大学）
	S17c	クランピートラスからの X 線スペクトルモデルによる Compton-thick AGN の広帯域 X 線スペクトル系統解析 谷本敦（京都大学）	11:06	S28a	MaNGA survey データで探る NLR 形成に与える AGN 活動の影響 城知磨（愛媛大学）
	S18c	NuSTAR Discovery of a Compton-thick Dust-obscured Galaxy WISEJ0825+3002 鳥羽儀樹（京都大学）	11:18	S29a	MUSE/Narrow-Field-Mode を用いた I Zw 1 の高速ガス噴出領域の大きさへの制限 川口俊宏（尾道市立大学）
	S19c	BAL の変動率とクエーサーの物理量との相関関係 堀内貴史（国立天文台）	11:30	S30a	クエーサー広輝線領域の [Mg/Fe] 組成比診断: Baldwin effect の評価 鮫島寛明（東京大学）
3 月 17 日（火）午前・E 会場					
09:30	S20a	時間変動解析を用いた電波銀河 3C120 の X 線スペクトル成分分解 服部兼吾（大阪大学）			
09:42	S21a	超/高光度赤外線銀河が持つ活動銀河核の広帯域 X 線スペクトル解析 山田智史（京都大学）			
09:54	S22a	すばる望遠鏡赤外線多色撮像観測による合体銀河中の複数 AGN の探査 今西昌俊（国立天文台）			

T. 銀河団

U. 宇宙論

3月16日(月) 午後・H会場		3月19日(木) 午前・A会場	
13:00	T01a 乱流と AGN による銀河団コアの非定常加熱 藤田裕(大阪大学)	09:30	U01a 銀河スピン分布: SDSS 銀河サンプルの双極子異方性 家正則(国立天文台)
13:12	T02a フェニックス銀河団の冷却コア(1) ATCA による AGN ジェットの初解像 赤堀卓也(国立天文台)	09:42	U02a 銀河系矮小銀河を用いた ultra-light axion dark matter への制限 林航平(東京大学)
13:24	T03a フェニックス銀河団の冷却コア(2) ALMA による SZ 効果の高解像度測定 北山哲(東邦大学)	09:54	U03a 摂動論的手法の検証と HSC 初年度データからの宇宙論パラメタの制限 杉山素直(Kavli IPMU)
13:36	T04a 銀河団外縁部の観測に対する前景放射の影響の評価 III 杉山剣人(東京理科大学)	10:06	U04a 宇宙大規模構造のアンチエイジング: 密度場再構築後の赤方偏移空間での質量パワースペクトルの摂動論 日影千秋(Kavli IPMU)
13:48	T05a A2199 銀河団の外縁部に存在するガス塊の探査 上田将暉(東京理科大学)	10:18	U05a 21cm 線強度マッピングの前景放射除去に関する研究 西澤淳(名古屋大学)
14:00	T06a HSC-SSP 領域内の可視光で選択された衝突銀河団の X 線フォローアップ計画 田中桂悟(金沢大学)	10:30	U06a POLARBEAR 実験による数度スケールの CMB 偏光ゆらぎ観測結果 高倉理(Kavli IPMU)
14:12	T07a BARYON BUDGET IN THE XXL CLUSTERS 秋野大知(広島大学)	10:42	U07a CMB レンズング解析における観測誤差の伝搬 永田竜(高エネルギー加速器研究機構)
14:24	T08a 銀河団からの電磁波・ニュートリノ放射の1次元モデリング 西脇公祐(東京大学)	10:54	U08a 陽子はどのようになっているか。電子はどのようになっているか。その事を検証するために、「高エネルギー加速器で、陽子と陽子を衝突させたときどのようになるか」を用いる。 小堀しづ
14:36	T09b へびつかい座超銀河団における銀河の形態分類 平沼愛美(日本女子大学)	11:06	U09b 原子核はどのようであるか。それを調べる検証方法 小堀しづ
			U10c 宇宙を作動するものは何か。 小堀しづ

V1. 観測機器 (電波)

3月16日(月)午後・C会場		14:48	V114b 大阪府大 1.85 m 望遠鏡 230, 345 GHz 帯 CO 同位体 6 輝線の同時観測に向けた広帯域受信機システムの開発 増井翔(大阪府立大学)
13:00	V101a Update on ALMA Operations and Development Program – Spring 2020 Alvaro Gonzalez (NAOJ)	14:48	V115b 多輝線同時観測のための 200 GHz 帯導波管型マルチプレクサの開発2 中島拓(名古屋大学)
13:12	V102a ALMA: frineg phase calibration (4): high frequency long baseline capability 朝木義晴(NAOJ/JAO)		V116c 野辺山 45 m 電波望遠鏡における 3 帯域同時観測に向けた TZ 受信機の改修 甘利涼湖(山口大学)
13:24	V103a ALMA 受信機用広帯域光学系コンポーネントの開発 (III) 金子慶子(国立天文台)	15:00	V117a 高感度ミリ波受信機の開発に向けた LO 信号由来の受信機雑音の低減 入山奨基(名古屋大学)
13:36	V104a A Compact 4-beam Dual-polarization Balanced SIS Receiver Frontend at ALMA Band 4 Wenlei Shan (NAOJ)	3月17日(火)午前・C会場	
13:48	V105a ASTE Band 10 受信機(787 – 950 GHz) システム評価および科学評価試験結果 浅山信一郎(国立天文台)	09:30	V118a CMB 偏光観測衛星 LiteBIRD ミッション定義フェーズ IV 堂谷忠靖(宇宙航空研究開発機構)
14:00	V106a LMT 50 m 鏡用 2 ミリ受信機システムの開発と爆発的星形成銀河、巨大ブラックホールの研究 V: 科学評価試験 川邊良平(国立天文台)	09:42	V119a LiteBIRD 低周波望遠鏡スケールモデルのコンパクトレンジ測定 高倉隼人(東京大学/宇宙航空研究開発機構)
14:12	V107a NASCO 計画の開発進捗: 全体の報告 山本宏昭(名古屋大学)	09:54	V120a CMB 偏光観測実験 GroundBIRD – 天体を用いた観測地での性能評価 – 沓間弘樹(東北大学/理化学研究所)
14:24	V108b NASCO 計画の開発進捗: 搭載作業とファーストライト 藤城翔(名古屋大学)	10:06	V121a POLARBEAR-2/Simons Array 実験 – 本観測に向けた観測機器コミショニング状況 長谷川雅也(高エネルギー加速器研究機構)
14:24	V109b NASCO 受信機の開発進捗: ビーム性能評価 阪本茉莉子(名古屋大学)	10:18	V122a POLARBEAR-2a の高温黒体放射光源を利用した検出器データの検証と較正 金子大輔(東京大学)
14:24	V110b ニューラルネットワークによる風データを用いた ASTE の指向誤差の推定 植村誠(広島大学)	10:30	V123a POLARBEAR-2a の検出器アレイ特性評価のための偏光ミリ波回転発振装置の開発 廣瀬開陽(横浜国立大学)
	V111c ASTE の運用 (4) 阪本成一(国立天文台)	10:42	V124a 次世代マイクロ波背景放射偏光観測実験 Simons Observatory の開発状況 桜井雄基(Kavli IPMU)
14:36	V112a 1.85 m 電波望遠鏡 / 受信機制御のためのシステム開発進捗 上田翔汰(大阪府立大学)		
14:48	V113b 210 – 375 GHz 帯 広帯域コルゲートホーンの開発 山崎康正(大阪府立大学)		

10:54	V125a AI-NbTiN ハイブリッドMKIDを用いた野辺山45 m電波望遠鏡用 100-GHz 帯カメラの光学特性評価 樋川遼太郎(筑波大学)	14:36	V137b MWA によるバイスタテックレーダによるスペースデブリ探査 小林秀行(国立天文台)
11:06	V126a 野辺山 45 m 電波望遠鏡搭載用 100-GHz 帯電波カメラの多素子同時読み出しシステムを用いた感度評価 鈴木隆司(筑波大学)	14:36	V138b JAXA 深宇宙探査用 54m アンテナ開発の現状(その3) 村田泰宏(宇宙航空研究開発機構)
11:18	V127b 月の観測による POLARBEAR-2a の sidelobe の評価 高倉理(Kavli IPMU)	V139c VERA-upgrade for EAVN and GVLBI 計画の進捗 V 小山友明(国立天文台)	
11:18	V128b 単一鏡観測装置開発のための共通データ解析ソフトウェアの開発 谷口暁星(名古屋大学)	14:36	V140b 電波点回折干渉計のための超伝導回路を用いた相関型偏波計の設計 永井誠(国立天文台)
3月17日(火) 午後・C会場		14:48	V141b テラヘルツ強度干渉計を実現する極低温回路技術の開発 松尾宏(国立天文台)
13:00	V129a ミリ波補償光学の開発 III. 開口面干渉型波面センサの概要 田村陽一(名古屋大学)	14:48	V142b テラヘルツ光子計数システムの実現に向けた SIS 検出器の開発-II 江澤元(国立天文台)
13:12	V130a ミリ波補償光学の開発 IV. 波面センサ用送信機サブシステムの開発と評価 深作悠平(筑波大学)	14:48	V143b 火星探査 MAGO 計画におけるテラヘルツヘテロダイン分光器と放射輸送シミュレーションによる検討 前澤裕之(大阪府立大学)
13:24	V131a SKA プロジェクトへの参加計画 小林秀行(国立天文台)	V144c 分子分光装置 SUMIRE の開発: 光学系の改良と 200 GHz 帯 SIS 受信機を用いた測定結果 佐藤龍彦(電気通信大学)	
13:36	V132a SKA プロジェクトに向けた技術検討状況 河野裕介(国立天文台)		
13:48	V133a SKA プロジェクトに向けた科学検討 3 廣田朋也(国立天文台)		
14:00	V134a 広帯域フィードの開発(XVII) 氏原秀樹(情報通信研究機構)		
14:12	V135a 低周波電波天文観測への誘い - 東北大の取組: 現在~近未来 - 三澤浩昭(東北大学)		
14:24	V136a 327MHz 帯域における惑星間空間シンチレーション観測のための次世代装置の開発検討 岩井一正(名古屋大学)		

V2. 観測機器(光赤外・重力波・その他)

3月16日(月) 午後・D会場		15:00	V213b 西はりま天文台「なゆた望遠鏡」の運用 伊藤洋一(兵庫県立大学)
13:00	V201a すばる望遠鏡・観測提案書管理システム ProMS の変遷と今後の展望 山野井瞳(国立天文台)	15:00	V214b なゆた望遠鏡の可視光分光器に搭載する 新 CCD カメラの性能評価 井上和也(兵庫県立大学)
13:12	V202a SuMIRe-PFS[19]: プロジェクト概要と装置 開発進捗状況まとめ 2020 年春季 田村直之(Kavli IPMU)	V215c 純圧電材可変形鏡の開発 大屋真(国立天文台)	
13:24	V203a すばる望遠鏡・超広視野主焦点カメラ (HSC) のデータを用いた時間変動天体 の系統的探索 青山尚平(国立天文台)	3月17日(火) 午前・D会場	
13:36	V204a REACH プロジェクト: 超高コントラストと 高分散分光を組み合わせたすばる望遠 鏡での系外惑星直接撮像分光について 小谷隆行(アストロバイオロジーセンター /国立天文台/総合研究大学院大学)	09:30	V216a 1.8m 軸外し望遠鏡 PLANETS による高 コントラスト観測: 現状と展望 坂野井健(東北大学)
13:48	V205a 低ノイズ・大面積・バタブル・国産 InGaAs 近赤外線イメージセンサーの開発 中屋秀彦(国立天文台)	09:42	V217a 1.8m 軸外し望遠鏡 PLANETS の主鏡支持 構造の開発状況 鈴木駿久(東北大学)
14:00	V206a 補償光学系波面センサーによる大気ゆらぎ の高さ分布のリアルタイム推定 大金原(東北大学)	09:54	V218a 中間赤外線冷却中空ファイバーの開発 I 平原靖大(名古屋大学)
14:12	V207a TMT 計画 - 進捗報告 臼田知史(国立天文台)	10:06	V219a MuSCAT を用いたトランジット観測用ディ フューザー性能試験観測 西海拓(京都産業大学)
14:24	V208a TMT/NFIRAOS/IRIS の周波数空間に おける振動解析 鈴木竜二(国立天文台)	10:18	V220a 深層学習を用いた MITSuME 望遠鏡画像 からの突発天体検知(2) 飯田康太(東京工業大学)
14:36	V209a TMT 可視広視野多天体分光装置 WFOS 用面分光ユニットの概念検討 尾崎忍夫(国立天文台)	10:30	V221a ファイバー型面分光装置 KOOLS-IFU せいめい望遠鏡への接続 松林和也(京都大学)
14:48	V210b サイエンスブック「すばる望遠鏡と TMT で結ぶ新たな宇宙像」の制作 青木和光(国立天文台)	10:42	V222b 点回折干渉計方式を用いた補償光学用 波面センサの開発 津久井遼(京都大学)
14:48	V211b HSC カタログデータ検索高速化に向けた データベースの応用 古澤順子(国立天文台)	10:42	V223b 1.8m 軸外し望遠鏡 PLANETS による高 ダイナミックレンジ観測 鍵谷将人(東北大学)
14:48	V212b 焦点面像を用いた補償光学装置の非共 通光路収差の推定法の評価 大本薫(東北大学)	10:42	V224b 茨城大学における太陽観測システムの 開発と SHABAR 観測 野澤恵(茨城大学)
			V225c Thermal Modeling of the Focus Position of the NAOJ 188-cm Telescope (II) 浮田信治(国立天文台)

	V226c 放物面柱反射鏡と柱状レンズとを有する光学システム 浅利栄治(東京農業大学)	14:12	V238a 気球望遠鏡を用いた高解像度・高波長分解 [CII] マッピング観測のための Blocked-Impurity-Band 型遠赤外線アレイ検出器の開発 齋藤太志(名古屋大学)
10:54	V227a 小型JASMINE計画の全般的進捗状況 郷田直輝(国立天文台)	14:24	V239a 超小型衛星用紫外線CMOSイメージセンサの特性評価 小川風太(東京工業大学)
11:06	V228a 小型JASMINEの解析パイプラインの開発 山田良透(京都大学)	14:36	V240a SUNRISE-3 大気球太陽観測実験:高精度近赤外線偏光分光装置 SCIP に搭載する偏光変調ユニットの開発 久保雅仁(国立天文台)
11:18	V229b 小型JASMINE衛星の要素技術検証 V 上田暁俊(国立天文台)	14:48	V241b Solar-C_EUVST望遠鏡構造熱設計進捗報告 末松芳法(国立天文台)
11:18	V230b 小型JASMINE非球面ミラー用DOE干渉計の開発1 鹿島伸悟(国立天文台)	14:48	V242b 超高精度太陽センサー「UFSS」研究開発状況 長谷川隆祥(東京大学/宇宙航空研究開発機構)
11:18	V231b JASMINEの星像高精度位置決定のための実証実験 矢野太平(国立天文台)		V243c 宇宙赤外線背景放射観測ロケット実験 CIBER-2: 1st フライトに向けた光学試験および較正試験 瀧本幸司(関西学院大学)
3月17日(火) 午後・D会場			
13:00	V232a SPICA(次世代赤外線天文衛星): 日欧共同推進による Phase A 検討の現状 芝井広(大阪大学)		
13:12	V233a 日欧技術検討チームによる SPICA フェーズ A 概念検討の現状 松原英雄(宇宙航空研究開発機構)		
13:24	V234a SPICA 搭載中間赤外線観測装置 SMI のフェーズ A の技術開発の進捗 磯部直樹(宇宙航空研究開発機構)		
13:36	V235a SPICA/SMI 搭載中間赤外線 Immersion grating: 材料選定のための極低温での CdZnTe の透過率測定 前嶋宏志(東京大学/宇宙航空研究開発機構)		
13:48	V236a SPICA 搭載ジュール・トムソン冷凍機用「直線型熱交換器」の性能評価 福岡遥佳(東京大学)		
14:00	V237a 軸外しセグメント望遠鏡による太陽系外惑星の高コントラスト撮像のための4次コロナグラフ 伊藤哲司(大阪大学)		

V3. 観測機器 (X線・ γ 線)

3月18日(水) 午前・C会場		11:06	V313b 探査機搭載を目指した超小型 X 線蛍光分析 3D 撮像システムの開発 石倉彩美(大阪大学)
09:30	V301a X 線分光撮像衛星 XRISM 搭載 X 線望遠鏡 (XMA) 開発の現状 (3) 林多佳由 (NASA's GSFC/UMBC)	3月18日(水) 午後・C会場	
09:42	V302a X 線分光撮像衛星 (XRISM) 搭載軟 X 線撮像装置の開発の現状 (3) 内田裕之(京都大学)	13:00	V314a ダークバリオン探査ミッション Super DIOS の開発へ向けた検討 V 佐藤浩介(埼玉大学)
09:54	V303a XRISM 搭載軟 X 線撮像装置 Xtend のフライト用 CCD 素子の性能評価 金丸善朗(宮崎大学)	13:12	V315a 電鍍技術を用いた飛翔体搭載用高角度分解能多重薄板型 X 線望遠鏡の開発 (2) 竹原佑亮(名古屋大学)
10:06	V304b XRISM 搭載 Xtend の新しい CTI 補正方法の検討 齋藤真梨子(奈良女子大学)	13:24	V316a X線偏光観測衛星 IXPE への参加現状 (5) 玉川徹(理化学研究所)
10:06	V305b XRISM 搭載 Xtend の Grade-dependent offset 補正の調査 迫聖(奈良教育大学)	13:36	V317a X 線偏光観測衛星 IXPE 搭載 X 線望遠鏡用受動型熱制御素子サーマルシールドの開発 (6) 山口友洋(名古屋大学)
10:06	V306b XRISM 搭載 Xtend の応答関数の調査 花岡真帆(大阪大学)	13:48	V318a シミュレーションを用いた IXPE 衛星による広がった天体の X 線偏光解析手法の研究 山本龍哉(広島大学)
10:18	V307a X 線分光撮像衛星 XRISM 搭載 CCD 検出器のためのパイルアップの分析と補正アルゴリズムの開発 丹波翼(東京大学)	14:00	V319a CMOS イメージセンサを用いた硬 X 線撮像偏光計の開発 II 畠内康輔(東京大学)
10:30	V308a X 線分光撮像衛星 XRISM 搭載 Resolve の開発の現状 V 石崎欣尚(首都大学東京)	14:12	V320a 湾曲 Si 結晶を用いたブラッグ反射型偏光計の偏光性能評価 芳野史弥(中央大学)
10:42	V309a X 線撮像分光衛星 XRISM 搭載 Resolve 用ゲートバルブの X 線透過率測定 御堂岡拓哉(東京大学/宇宙航空研究開発機構)	14:24	V321a 炭素繊維強化プラスチック (CFRP) への X 線反射面形成法の開発 IV 栗木久光(愛媛大学)
10:54	V310a X 線衛星 Chandra 搭載半導体検出器 ACIS の粒子バックグラウンドスペクトルの時間・空間変動のモデリング 鈴木寛大(東京大学)	14:36	V322a 超薄膜グラフェンを用いた飛翔体搭載用軟 X 線光学素子の開発 (2) 三石郁之(名古屋大学)
11:06	V311b 飛翔体搭載用高性能電鍍 X 線反射鏡支持機構の開発 瀧川歩(名古屋大学)	14:48	V323a 多重像 X 線干渉計 MIXIM の開発 - サブサブ秒角 X 線撮像の達成 - 朝倉一統(大阪大学)
11:06	V312b 微小ピクセル CMOS センサー動作ボードと X 線イベント検出・バックグラウンド除去のアルゴリズム開発 佐久間翔太郎(大阪大学)	V324c 硬 X 線偏光観測実験 XL-Calibur 気球の 2021 年フライトへ向けた準備状況 高橋弘充(広島大学)	

W. コンパクト天体

	V325c MAXI/GSC 突発天体発見システムの詳細天体画像表示機能の開発 丸山和貴子(日本大学)	3月17日(火) 午前・H会場		
		09:30	W01a	高金属量散開星団起源の連星ブラックホールによる重力波検出率への寄与 熊本淳(東京大学)
3月19日(木) 午前・C会場		09:42	W02a	Gravitational wave mergers from von Zeipel-Lidov-Kozai oscillations of binary black holes in galactic nuclei Alessandro A.Trani (The University of Tokyo)
09:30	V326a 地球磁気圏 X線撮像計画 GEO-X (GEOspace X-ray imager) の現状 II 江副祐一郎(首都大学東京)			
09:42	V327a 軟X線から硬X線の広帯域を高感度で撮像分光する小型衛星計画 FORCE の現状(10) 森浩二(宮崎大学)	09:54	W03a	P ³ T法を用いた球状星団起源の連星形成シミュレーション 吉成直都(東京大学)
09:54	V328a SOI 技術を用いた新型 X線撮像分光器の開発 41: 現在の到達点と今後の開発 鶴剛(京都大学)	10:06	W04a	Gaia による恒星質量ブラックホールの観測可能性 鹿内みのり(東京大学)
10:06	V329a ガンマ線バーストを用いた初期宇宙・極限時空探査計画 HiZ-GUNDAM の進捗 米徳大輔(金沢大学)	10:18	W05a	MAXI/GSCによる銀河系ハローのBH連星 MAXI J0637-430の発見と、2019年度後半の突発現象 三原建弘(理化学研究所)
10:18	V330a 重力波源 X線対応天体探査計画 Kanazawa-SAT ³ フライトモデルの分光性能評価 澤野達哉(金沢大学)	10:30	W06a	多重コンプトン散乱込みの一般相対論的6次元輻射輸送計算コードの開発 小川拓未(東北大学)
10:30	V331a Cherenkov Telescope Array (CTA) 計画: 全体報告(17) 野田浩司(東京大学)	10:42	W07a	ポルツマン方程式を解く超臨界降着流の一般相対論的 MHD シミュレーション 朝比奈雄太(筑波大学)
10:42	V332a CTA 大口径望遠鏡初号機における波形サンプリング時間幅較正および 2-4 号機用カメラの組立・品質管理 野上優人(茨城大学)	10:54	W08a	恒星質量ブラックホール降着流における明るいハードステートの輻射磁気流体シミュレーション 五十嵐太一(千葉大学)
		11:06	W09b	Influence of the magnetic field for relativistic radiative shocks 大海ほのか(大阪教育大学)
		11:06	W10b	超高光度 X線源 Holmberg IX X-1の広帯域 X線同時観測スペクトル解析 吉武知紘(京都大学)
		11:06	W11b	ARTIST コードを元にした空間3次元一般相対論的輻射輸送コードの開発 高橋幹弥(筑波大学)
			W12c	「すざく」アーカイブを用いたブラックホール候補 GRS 1758-258 の X線解析 伊藤穂乃花(東京工業大学)

3月17日(火) 午後・H会場		3月18日(水) 午前・H会場	
13:00	W13a 順回転、逆回転ブラックホールをもつ超臨界降着円盤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)	09:30	W25a Numerical Modeling of Clocked Burster GS1826-24 with the physics inside neutron stars 土肥明(九州大学)
13:12	W14a 自転するブラックホール近傍での自発的磁気リコネクション 小出眞路(熊本大学)	09:42	W26a 中性子星との低質量 X 線連星の長期変動について II 浅井和美(理化学研究所)
13:24	W15a 3次元磁気流体数値計算に基づく降着円盤渦状腕衝撃波の形成 町田真美(九州大学)	09:54	W27a 2017年11月に Crab pulsar で生じた glitch 前後の MAXIガススリットカメラによる X 線パルス観測 大枝幹(東京工業大学)
13:36	W16a Wakefield Acceleration in the M87 Jet Yoshiaki Kato (RIKEN)	10:06	W28a 「すざく」のデータを用いた低質量 X 線連星 XB1916-053 の dip の解析 渡辺佑馬(宇宙航空研究開発機構)
13:48	W17a 相対論的状态方程式を用いた相対論的輻射性衝撃波の構造 福江純(大阪教育大学)	10:18	W29a X 線連星系における中性子星の磁場 = スピン共進化 鷹野重之(九州産業大学)
14:00	W18a X 線連星における熱 - 放射駆動型円盤風からの輝線吸収線構造と観測との比較 都丸亮太(東京大学/Kavli IPMU)	10:30	W30a 磁場の強い中性子星の磁極領域からの X 線放射 井上一(宇宙航空研究開発機構)
14:12	W19a Particle Acceleration in the Jets of the Microquasar SS433 須藤貴弘(東京大学)	10:42	W31a 「すざく」衛星による降着中性子星 SMC X-1 の広がった鉄輝線の解析とその軌道・超軌道位相依存性 高嶋聡(東京大学)
14:24	W20a JVLVA を用いた星雲 W50 の電波連続波観測 酒見はる香(九州大学)	10:54	W32a ULX パルサーの超臨界降着柱モデル ; パルスの形状と振幅について 井上壮大(筑波大学)
14:36	W21a W50/SS 433 の構造形成に関する磁気流体計算 III 小野宏次朗(九州大学)	11:06	W33b 大質量 X 線連星 : IGR J00370+6122 の中性子星 X 線スペクトルおよび周期解析 内田和海(広島大学)
14:48	W22b W50 東端のターミナルショックによる SS433 ジェットの制限 大前陸人(九州大学)	11:06	W34b 連星中性子星合体初期の電磁波放射のスペクトル計算 石井彩子(マックスプランク重力物理学研究所)
14:48	W23b 多波長光度曲線におけるスパーズモデリングを用いたラグ推定手法の開発 大間々知輝(広島大学)	11:06	W35b 超短周期矮新星 OV Boo の 2017 年アウトバースト以降の測光観測 田邊健茲(岡山理科大学)
14:48	W24b Dusty-gasの輻射重力源へのHoyle-Lyttleton 降着 ; 輻射場の非球対称性と減光の効果 細谷亮太郎(筑波大学)		W36c 非一様媒質中を伝搬する相対論的衝撃波の Particle-in-Cell シミュレーション 富田沙羅(青山学院大学)

	W37c 超強磁場中性子星「マグネター」のバーストの時間的な性質(2) 中川友進(国立研究開発法人海洋研究開発機構)	15:00	W48a 重力崩壊型超新星のポルツマン方程式によるニュートリノ輻射流体計算 岩上わかな(京都大学/早稲田大学)
3月18日(水) 午後・H会場		3月19日(木) 午前・H会場	
13:00	W38a 高赤方偏移 Fast Blue Optical Transients の検出可能性 寺崎友規(東京大学)	09:30	W49a デンヘルツ重力波天文学におけるIa型超新星起源の探査 武田紘樹(東京大学)
13:12	W39a r-process 元素の崩壊熱の影響を考慮した中性子星連星合体における Fall-back accretion 石崎渉(京都大学)	09:42	W50a 質量の近いブラックホールと中性子星の連星の合体に対する数値相対論的研究 林航大(京都大学)
13:24	W40a 連星中性子星合体残骸からの r-process 元素崩壊計算による核ガンマ線推定 三輪祐也(埼玉大学)	09:54	W51a 重力波観測ラン O3 におけるすばる/HSC での観測 大神隆幸(甲南大学)
13:36	W41a コクーン光子を用いた短いガンマ線バーストにおける高エネルギー粒子放射 木村成生(東北大学)	10:06	W52a MAXI による重力波源 X 線対応天体の探査(2019-2020年) 芹野素子(青山学院大学)
13:48	W42a off-axis GRB の残光から GRB ジェットの構造を解く逆問題の研究 高橋和也(京都大学)		
14:00	W43a MAGIC 望遠鏡による GRB 190114C からの逆コンプトン散乱放射の観測 浅野勝晃(東京大学)		
14:12	W44a 全変動最小化を用いた矮新星アウトバースト時における円盤構造の時間発展の再構成 大島誠人(兵庫県立大学)		
14:24	W45a TCP J21040470+4631129: 特異な再増光を見せる WZ Sge 型矮新星 反保雄介(京都大学)		
14:36	W46a 連星の公転軌道面から傾いた円盤で働く熱不安定: IW And 型矮新星の光度変動への応用 木邑真理子(京都大学)		
14:48	W47a 超新星ニュートリノで探る中性子星の質量と半径 中里健一郎(九州大学)		

X. 銀河形成

3月16日(月) 午後・I会場		14:36	X13a	極長波長電波放射を用いた銀河星形成率の推定 吉田俊太郎(名古屋大学)	
13:00	X01a	ALMA CO Observations of the Host Galaxies of Long-duration Gamma-ray Bursts. I: Molecular Gas Scaling Relations 廿日出文洋(東京大学)	14:48	X14a	トポロジカルデータ解析の銀河分布への応用 河野海(名古屋大学)
13:12	X02a	Atacama Compact Array Band 8 受信機を用いた、近傍超高光度赤外線銀河の [C I] $^3P_1-^3P_0$, CO(J=4-3), $600\mu\text{m}$ ダスト連続光サーベイ観測 道山知成(KIAA/PKU)	15:00	X15b	スパースモデリングを用いた「あかり」遠赤外線画像の高解像度化 村田一心(法政大学)
13:24	X03a	サブミリ波銀河の輝線から探る大規模構造 三橋一輝(東京大学)	3月17日(火) 午前・I会場		
13:36	X04a	遠赤外線輝線銀河のブラインド探査による星形成史の研究 Natsuki H. Hayatsu (The University of Tokyo)	09:30	X16a	CHORUS Data Release 1 のデータ検証および天体個数密度の測定 山中郷史(早稲田大学)
13:48	X05a	Discovery of a new group consisting of four submillimeter galaxies at $z = 3.2$ Soh Ikarashi (Durham University)	09:42	X17a	HSC-SSP 深撮像データと可視分光観測で探る $z \leq 0.03$ 極金属欠乏銀河 II 小島崇史(東京大学)
14:00	X06a	ALMA uncovers the [CII] emission and warm dust continuum in a $z = 8.31$ LBG Tom Johannes Lucinde Cyrillus Bakx (Nagoya University)	09:54	X18a	すばる望遠鏡 Hyper Suprime-Cam で発見された “blue-excess dust-obscured galaxies (BluDOGs)” の可視光線スペクトル 登口暁(愛媛大学)
14:12	X07b	[OIII] $88\mu\text{m}$, [CII] $158\mu\text{m}$, 遠赤外線の光度を用いた赤方偏移 $z = 8.312$ の銀河に対する星間物質 “porosity” の推定 萩本将都(名古屋大学)	10:06	X19a	HSC 広視野撮像観測による $z \sim 4$ における原始銀河団銀河の光度関数 伊藤慧(総合研究大学院大学/国立天文台)
14:12	X08b	赤方偏移 $z=9.11$ [O III] 輝線銀河の ALMA サイクル6追観測 徳岡剛史(早稲田大学)	10:18	X20a	近赤外線データによる HSC wide layer の測光的赤方偏移の改善 近藤寛人(名古屋大学)
14:12	X09b	極めて等価幅の大きな輝線銀河の検出と初代銀河の可能性について 浅田喜久(京都大学)	10:30	X21a	機械学習を用いた銀河の衝突と合体が活動銀河核に及ぼす影響の評価 小林宇海(総合研究大学院大学)
14:24	X10b	ALMAで探る遠方原始銀河団の環境効果 青山皓平(東北大学)	10:42	X22a	機械学習を用いた輝線強度マップの分離 森脇可奈(東京大学)
14:24	X11b	The lensing nature of Herschel Bright Sources Tom Johannes Lucinde Cyrillus Bakx (Nagoya University)	10:54	X23a	Understanding Galaxy Evolution through Machine Learning Suchetha Cooray (Nagoya University)
14:24	X12b	電波-X線2変数光度関数進化 河野海(名古屋大学)	11:06	X24b	高赤方偏移における低光度クエーサーの種族推定 高橋歩美(愛媛大学)

11:06	X25b	すばるで探る近傍極金属欠乏銀河の形態と環境 磯部優樹 (東京大学)	14:00	X36a	大規模シミュレーションを用いたフィラメント降着がハロー構造へ及ぼす影響 森永優 (千葉大学)
11:06	X26b	Ly α Luminosity Function at $z = 1.9-3.5$ and the HETDEX Survey Yechi Zhang (The University of Tokyo)	14:12	X37a	宇宙論的シミュレーションで探る $z=3$ の銀河間物質における初代星起源重元素 桐原崇亘 (千葉大学)
11:18	X27b	ディスクとバルジの2成分を考慮した化学進化モデルから推測されるダストのサイズ分布および減光曲線 長崎早也香 (名古屋大学)	14:24	X38a	超矮小銀河での r 過程元素生成 垂水勇太 (東京大学)
11:18	X28b	ダストガス間の速度差を考慮したブラックホールへの質量降着:ダストの空間分布と熱放射 一色翔平 (北海道大学)	14:36	X39a	個々の星を分解した銀河スケールシミュレーションに向けた星形成モデル構築 平居悠 (理化学研究所)
11:18	X29b	銀河衝突によるダークマター欠乏銀河の形成 大滝恒輝 (筑波大学)		X40c	MP 法におけるSemi-Lagrangian 法の実装 田中賢 (筑波大学)
3月17日(火) 午後・I会場			3月18日(水) 午前・I会場		
13:00	X30a	3次元輻射流体シミュレーションを用いた銀河中心ブラックホール超臨界成長の研究 豊内大輔 (京都大学)	09:30	X41a	$z < 1$ における銀河の3次元形状の比星形成率および星質量依存性とその進化 鍛冶澤賢 (愛媛大学)
13:12	X31a	銀河と銀河中心ブラックホールの進化におけるAGNフィードバックの役割 岡本崇 (北海道大学)	09:42	X42a	WERGS: Lyman break radio galaxies found by Subaru HSC 山下拓時 (国立天文台)
13:24	X32a	AGN Feedback Model in GADGET3-Osaka: Isolated Galaxy Abednego Wiliardy (Osaka University)	09:54	X43a	Wide and Deep Exploration of RGs with Subaru HSC (WERGS): The Environment of High- z Radio Galaxies at $z \sim 4$ 内山久和 (国立天文台)
13:36	X33a	ダークハローの内部構造による stellar mass-halo mass relation の分散 福島啓太 (大阪大学)	10:06	X44a	HSC サーベイで探るAGNと明るい銀河の強い相関関係のメカニズム 白崎裕治 (国立天文台)
13:48	X34a	M31 恒星ストリームと暗黒物質サブハローの相互作用:すばるPFSへの期待 三木洋平 (東京大学)	10:18	X45a	大規模可視光面分光サーベイHETDEXデータを用いて探る $z \sim 2-3$ Type1 AGN 光度関数 鹿熊亮太 (東京大学)
	X35c	Milky Way サイズの dark matter halo に付随する subhalo の軌道運動と衝突過程 森正夫 (筑波大学)	10:30	X46a	A NuSTAR and XMM-Newton Study of the Two Most Actively Star-forming Green Pea Galaxies (SDSS J0749+3337 and SDSS J0822+2241) 川室太希 (NAOJ)

Y. 天文教育・広報普及・その他

10:42	X47a	Identification and Investigation of Interacting Galaxies Using Spatially Resolved Data Kiyooki Christopher Omori (Nagoya University)	3月16日(月)午後・A会場
10:54	X48a	可視面分光観測で探る銀河の棒状構造に起因する星形成とクエンチング 村田一心(法政大学)	13:00 Y01a 太陽系外惑星命名キャンペーン 2019 山岡均(国立天文台)
11:06	X49a	MaNGA データで探る銀河形態と銀河内部の星形成活動分布の関係 小山舜平(愛媛大学)	13:12 Y02a インターネット天文学辞典の運用・利用状況の報告 縣秀彦(国立天文台)
11:18	X50a	ALFALFA スペクトルから探る近傍銀河の HI ガス質量の形態依存性 並木茂朗(総合研究大学院大学)	13:24 Y03a 天文学を税金を使うことに賛成なのはどんな人? 生田ちさと(宇宙航空研究開発機構)
			13:36 Y04a 天文学講演におけるアンケート自由記述欄に関するテキスト分析 青木成一郎(京都情報大学院大学)
			13:48 Y05a 国立天文台「市民天文学」プロジェクト GALAXY CRUISE サイトの公開 臼田-佐藤功美子(国立天文台)
			14:00 Y06b 非欧米言語科学辞書における天文学用語の記載状況の調査例 玉澤春史(京都市立芸術大学/京都大学)
			14:00 Y07b 科学ライブショー「ユニバース」におけるライブ天体観測 亀谷和久(国立天文台)
			14:00 Y08b 夜空の明るさの測定における天候の自動判断に向けた検討結果 小野間史樹(星空公団)
			14:12 Y09a プラネタリウムを用いたデータサイエンスへの適用とその教育利用 忠地涼汰(長野工業高等専門学校)
			14:24 Y10a 明治20年の皆既日食を撮影したと思われる写真の発見その後 大越治(国立天文台)
			14:36 Y11a 長浜城歴史博物館の国友一貫斎の主鏡面精度測定 萩野正興(国立天文台)
			14:48 Y12a 福岡県八女市星野村における地方創生プロジェクト I 田中幹人(法政大学)
			15:00 Y13b 天体学習用教材「VR 望遠鏡」の開発 梶孝治(日本大学)

15:00	Y14b	人工衛星電波受信実験の高校物理教材化：正課授業での実践 内山秀樹（静岡大学）	
15:00	Y15b	Pythonによる天体画像解析の教材作成 -GROWTH Astronomy Schoolを参考に- 戸間紗也香（東京工業大学）	
15:12	Y16b	「長野県は宇宙県」の活動について 衣笠健三（国立天文台）	
15:12	Y17b	木曾観測所における地域連携事業の一例 （木曾星の里づくり推進協議会） 青木勉（東京大学）	
15:12	Y18b	国立天文台黒点データを用いた太陽長 周期活動 松岡哲史（武蔵野大学）	
15:24	Y19b	JVO portal の機能更新：VO クローリング データベースを利用した多波長データ検索 システム 白崎裕治（国立天文台）	

予稿ページ

Z101r Galaxy formation and evolution seen by ALMA and Subaru

Umehata, Hideki (RIKEN)

In order to improve our understanding of galaxy formation and evolution across cosmic time, the Subaru telescope has been a flagship instrument in the optical to near-infrared regime for the last 20 years. Recently we have been also allowed to utilize a novel tool, the Atacama Large Millimeter/submillimeter Array (ALMA), to open a new window at (sub)millimeter wavelengths. In this talk, we overview what we have learned using both cutting edge telescopes. While Subaru uncovers tons of various galaxies in the early universe, ALMA shows that our knowledge is still highly incomplete, adding cold dust/gas information and unveiling missed populations. Significant amount of time of both telescopes has been invested to proto-clusters, which is uncovering the interaction between galaxies and cosmic web on various scales. ALMA is often used to characterize rare populations in the very early universe, so-called the Epoch of Reionization, which are originally sampled by Subaru. In the near future, the synergy between ALMA and Subaru would be more expected, considering installation of new instruments such as PFS, FOCAS-IFU, and ULTIMATE, onboard Subaru.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Z102a Numerical simulations of multi-wavelength radiative properties of galaxies in the epoch of reionization

Shohei Arata (Osaka), Hidenobu Yajima (Tsukuba), Kentaro Nagamine (Osaka)

Recent observations have successfully detected UV, dust continuum, and metal emission lines from galaxies at the epoch of reionization. The multi-wavelength observations showed the wide varieties in the radiative properties of *first galaxies*, but the origin of the variety has not been understood yet. Combining cosmological hydrodynamic simulations and radiative transfer calculations, we study galaxy evolution and radiative properties at $z = 6 - 15$. We find following things: (1) Star formation of the first galaxies occurs intermittently due to supernovae feedback. Escape fraction of UV photons fluctuates between $\sim 0.2 - 0.8$ with the intermittent star formation. (2) In star-burst phases, galaxies are dust-obscured and becomes bright in sub-millimetre wavelength. (3) The luminosity ratio of [O III] to [C II] decreases as galaxies evolve and metallicity increases. The O/C abundance ratio is initially dominated by oxygen enrichment of Type-II SNe, and decreases due to carbon-rich winds from AGB stars, resulting in the decline of $L_{[\text{O III}]} / L_{[\text{C II}]}$ ratio. Thus, we suggest that synergy with ALMA and Subaru observations will allow us to reveal star formation and feedback processes in first 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](#)

Z103a Molecular gas reservoirs of cluster galaxies at cosmic noon

Masao Hayashi (NAOJ), Tadayuki Kodama (Tohoku Univ.), Ken-ichi Tadaki (NAOJ), Kotaro Kohno, Bunyo Hatsukade (Univ. of Tokyo), Yusei Koyama, Rhythm Shimakawa (NAOJ), Yoichi Tamura (Nagoya Univ.), Tomoko Suzuki (Tohoku Univ.) and GRACIAS-ALMA project members

Galaxy clusters in the local Universe are occupied by massive quiescent galaxies. The environment is one of the critical factors to govern galaxy evolution, however, the specific quenching processes remain unclear. Our Subaru observations have revealed that many galaxies located in the core regions of galaxy (proto-)clusters at $z \sim 1.5$ – 2.5 still keep star formation activity. These cluster galaxies must enter a quenching phase soon, given that galaxy clusters at $z \sim 1$ are already dominated by quiescent galaxies. In this talk, we would like to discuss the gas content of cluster galaxies which is closely linked to star formation. We conduct ALMA observations for four galaxy (proto-)clusters at $z \sim 1.5$ – 2.5 to know molecular gas reservoirs of the member galaxies. The cluster galaxies with $\log(M_*/M_\odot)=10$ – 11 tend to have the fraction of molecular gas mass and the depletion time scale larger than field star-forming galaxies at similar redshifts. The environment of galaxy cluster may help feed the gas through inflow to the member galaxies and also reduce the efficiency of star formation. On the other hand, more massive galaxies at $z > 2$ have molecular gas comparable to or smaller than expected from the scaling relation of field galaxies. The gas fraction of quiescent galaxies in the very center of the cluster at $z \sim 1.5$ is $< 10\%$. The environmental effects on gas properties are likely mass-dependent and also the massive galaxies in the cluster center must quench the star formation activity while consuming most of the gas reservoirs.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Z104a New insights into the environmental dependence of massive galaxy formation from a panchromatic view of the first galaxy clusters

Tao Wang (University of Tokyo/NAOJ)

The role of local environment in massive galaxy formation remains debated. While it has been known that massive ellipticals are preferentially located in dense environments, the early assembly of these galaxies makes it difficult to explore what is the role of environment during their formation/quenching. Here we combine multiwavelength observations with Subaru, VLT, HST, Keck, VLA, and ALMA towards the most distant known X-ray cluster at $z = 2.51$, to reveal a key formation phase of massive clusters, in which clear evidence of environmental dependence on galaxy star formation and gas properties has been observed. These studies also show the power of combining multiwavelength observations in revealing the true 3-D structures of galaxy clusters in the early universe.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Z105a ALMA lensing cluster survey (ALCS) and follow-up observations using SUBARU

Kohno, K. (IoA/U.Tokyo), Fujimoto, S., (Waseda U.), Ouchi, M. (ICRR/U.Tokyo, NAOJ), Oguri, M. (IPMU/U.Tokyo), Bauer, F. (Pontificia Universidad Católica de Chile), Postman, M., Coe, D. (STScI), Egami, E. (U. Arizona), Richard, J. (Observatoire de Lyon), Umetsu, K. (ASIAA), Hatsukade, B., Wang, T., Yoshimura, Y. (IoA/U.Tokyo), and ALCS collaboration

The ALMA lensing cluster survey (ALCS) is an on-going cycle-6 large program to observe high magnification regions of 33 lensing clusters. The ALCS covers 88 arcmin² in total, to a depth of 80 μ Jy (1.2 mm, 1 σ), achieved by using a 15-GHz-wide spectral scan, to enlarge the survey volume of line-emitting galaxies. The sample comes from the best-studied massive clusters also imaged in HST programs, i.e., CLASH, HFF, and RELICS. In this presentation, we will describe the survey design, the current status of the survey, highlights of some selected initial outcomes, and roles of SUBARU to unveil the nature of ALCS sources. Emphasis will be placed on magnified ALMA sources without HST counterparts, i.e., intrinsically-faint, HST-dark ALMA sources. These sources have faint IRAC counterparts, and the measured 1.2-mm to IRAC flux ratios suggest these are very distant ($z > 4 - 6$) galaxies and/or forming massive galaxies at $z \sim 4$, which are often completely invisible even in the deepest WFC3/HST images. Deep K-band imaging using MOIRCS and SWIMS will be crucial for unveiling the nature of these sources, because the 4000 Å break is shifted toward of K-band, making that band crucial for age measurements of HST-dark galaxies. Deep K-band images will also improve the accuracy in the SED analysis to estimate stellar mass.

[スケジュール \(セッション毎\) 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 Reveals the Internal Structure in a $z \sim 3$ Submillimeter Galaxy

S. Koyama (Niigata University), D. Iono, K. Tadaki, and 18 more

Submillimeter Galaxies (SMGs) are extremely active star-forming galaxies that are predominantly found in the early universe. The star formation rate (SFR) of the brightest SMGs can exceed 1000 $M_{\odot}\text{yr}^{-1}$, and it is an order of magnitude larger than the SFR of star-forming galaxies in the nearby universe. Understanding the nature of SMGs is important for revealing the formation and evolution of galaxies (e.g., mass acquisitions by galaxy collisions or accretion along large-scale structure). The detailed star formation process and spatial distribution within SMGs are beginning to be resolved by ALMA in recent years. As a pilot study using ALMA, we have been observing three of the brightest unlensed SMGs at high-resolution to investigate in detail where and how the stars form in the galaxy.

In this talk, we report recent 0.''05 (370 pc) dust continuum observation of AzTEC-8 at $z = 3.2$ obtained using the ALMA/Band6 (211-275 GHz) and Band7 (275- 370 GHz). Our analysis reveals that AzTEC-8 has a strong central concentration with an average SFR surface density of $\Sigma_{\text{SFR}} = 2643 M_{\odot}\text{yr}^{-1}\text{kpc}^{-2}$. We also identify an isolated clump (size $\sim 0.05 \text{kpc}^2$) located at about 1 kpc from the center in AzTEC-8 which shows a very high value of $\Sigma_{\text{SFR}} = 316 M_{\odot}\text{yr}^{-1}\text{kpc}^{-2}$. In addition, we compare the effective radius (1284 pc) obtained from modeling by GALFIT and other bright star-forming galaxies. Finally, synergetic Subaru/HSC observations will allow us to uncover the relationship between the large scale cosmic structure, the feeding process, and the formation of SMGs. Such a detailed comparison across different wavelengths is envisioned in the future.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Z107a The low dust content of massive, quiescent galaxies at $z \sim 2$

Masayuki Tanaka (NAOJ), Allison Man (Tronoto), Sune Toft (DAWN)

There has been tremendous progress in our understanding of how massive quiescent galaxies form and evolve over the last decade. However, there is a key unresolved issue, which is, how massive galaxies quench their star formation. Is it due to the lack of gas? Or, they retain large gas reservoirs but their star formation is just very inefficient? In order to address this issue, we have carried out an ALMA survey of dust continuum emission of a spectroscopically confirmed, robust sample of 14 massive, quiescent galaxies located at $z \sim 2$. Our findings suggest that quiescent galaxies have very low dust content compared to similarly massive star-forming galaxies. This supports the scenario in which the lack of gas is the driving mechanism for quenching. Our results also imply that galaxy mergers likely play a role in triggering starburst before depleting the gas and dust in 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](#)

Z108a Star-formation rates of two GRB host galaxies at $z \sim 2$ and a [C II] deficit observed with ALMA

T. Hashimoto (NTHU), B. Hatsukade (NAOJ), T. Goto, S. J. Kim (NTHU), K. Ohta (Kyoto U.), T. Nagao (Ehime U.), A. K. H. Kong (NTHU), K. Nakanishi (NAOJ), and J. Mao (Yunnan Obs.)

Event rate of long Gamma-Ray Bursts (GRBs) is expected to be an useful tracer of the cosmic star-formation history. For this purpose, it is necessary to understand what kind of galaxies are traced by GRBs. Here we report rest-frame far-infrared (FIR) continuum detections of GRB 070521 and 080207 host galaxies at $z \sim 2$ with ALMA band 8 and 9. The FIR photometries provide the reliable star-formation rates (SFRs), because FIR emission is free from dust extinction and possible radio contamination from long-lived afterglows of GRBs. The spectral energy distribution fittings indicate $49.85_{-2.86}^{+72.33}$ and $123.4_{-21.78}^{+25.19} M_{\odot} \text{ yr}^{-1}$ for the 070521 and 080207 hosts, respectively. The derived SFRs place them on the “main sequence” of normal star-forming galaxies at $z \sim 2$. The derived SFRs are significantly lower than that of radio observations. It is inferred that the observed radio fluxes in a previous study are contaminated by the afterglows. ALMA marginally detected [C II] $158 \mu\text{m}$ emission line from the GRB 080207 host galaxy with $S/N \sim 4$. This is the first detection of [C II] $158 \mu\text{m}$ of a GRB host at $z > 2$, and the second detection among known GRBs. The luminosity ratio of [C II] $158 \mu\text{m}$ to FIR is 7.5×10^{-4} , which is one of the smallest values among galaxies at $z \sim 1 - 2$ with the same FIR luminosity. The “[C II] deficit” could be a new physical property to characterise GRB hosts at $z \sim 1 - 2$. Possible parameters controlling the deficit include the metallicity, initial mass function, and gas density.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Z109a Detection of a CO emission line counterpart of a $z = 3.3$ damped Ly α system

Inoue, A. K. (Waseda U.), Mawatari, K. (U. Tokyo), Hashimoto, T., Yamanaka, S., Fujimoto, S. (Waseda U.)

The origin of high H I column density systems in the intergalactic medium called damped Ly α systems (DLAs) is a longstanding issue in extragalactic astronomy. Searching for the optical counterparts of DLAs is difficult due to the brightness of QSOs to which the DLAs are found on the sight-line (Krogager et al. 2017). Recently, the advent of ALMA is revolutionizing the field. Neeleman et al. (2017, 2019) have reported detections of [C II] emission as well as dust continuum of the counterparts of $z \sim 4$ DLAs. CO emission from $z \sim 2$ DLA counterparts has also been detected (Neeleman et al. 2018).

Here we report the results of ALMA Band 3 observations for CO(4-3) emission from a DLA at $z = 3.335$. The target DLA was found on the sight-line to a Lyman break galaxy (LBG) at $z = 3.6$ in the SSA22 field in our spectroscopic campaign for LBGs selected by deep imaging data of Subaru/Suprime-Cam (Mawatari et al. 2016). We detected two significant emission lines in the ALMA data cube with a peak S/N > 6. One (6.3σ) is identified on a foreground galaxy with a photometric redshift of $z = 1.1$ and the emission is likely to be CO(2-1). The other (9.6σ) does not have any continuum counterpart both in S-Cam and ALMA data. The velocity difference from the Ly α at $z = 3.335$ is very small ($+100 \text{ km s}^{-1}$) if the emission line is CO(4-3). The spatial separation from the DLA sight-line is $8''.7$ corresponding to 65 physical kpc if the emission is located at $z = 3.3$. We will discuss the origin of the emission line and a Subaru/FOCAS IFU follow-up plan.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Z110a Rapid co-evolution into quiescence? Subaru + ALMA view on $z > 6$ low-luminosity quasars

Takuma Izumi (NAOJ), and SHELLQs collaboration

I will report our ALMA observations toward $z > 6$ optically low-luminosity quasars ($M_{1450} > -25$). These quasars were discovered by our on-going deep optical survey with the Hyper Suprime-Cam (HSC) on the Subaru telescope. We found with [CII] and rest-FIR continuum emissions that these HSC quasar-host galaxies typically show LIRG-class star-forming properties (e.g., star formation rate $\text{SFR} \sim \text{several} \times 10 M_{\text{sun}} \text{ yr}^{-1}$). These values are smaller than those of SDSS-class quasars by 10 times or more. Thus we have started to explore a totally different parameter-space when compared to previous studies. Using the [CII] line profiles and spatial extents measured with ALMA, as well as our NIR spectroscopic data (Onoue et al. 2019), we found that the ratios of their SMBH masses and dynamical masses are consistent with the local co-evolution relationship (e.g., Kormendy & Ho 2013). This implies that the previously inferred *overmassive* nature of high redshift black holes (in quasars) relative to the local co-evolution relation is due to a selection bias preferring brighter or more massive objects. Furthermore, these HSC quasar-host galaxies would be on or even below the star-forming main sequence at $z \sim 6$, i.e., they appear to be transforming into quiescent galaxies after major evolutionary phases of starburst and quasar. Our ALMA works suggest that a quite rapid mechanism of galaxy evolution has worked well even at $z > 6$, which also encourages us (1) to directly measure stellar mass content in such galaxies and (2) to hunt for their descendants at $z \sim 5 - 6$, in the coming *JWST* 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](#)

Z111r The Evolving Landscape In and Around the Field of Nearby Galaxy Studies

Jin Koda (Stony Brook University)

One of the ultimate goals in research into galaxies in the local universe is to understand the interplay among gas, star formation, and galactic structure, and their roles in galaxy evolution. Large-scale galactic dynamics drive gas motions, perturb molecular clouds, and accelerate the growth of dense clumps in the clouds, which then leads to star formation. Feedback from those new stars is also a major player in the energetics of the gas in galaxies. It often triggers next-generation star formation, and when it is excessive, could even expel the gas from galaxies and halt star formation as a whole. These feedback processes are known to play a major role in galaxy formation and evolution. We need multi-wavelength observations to understand these complex interplay. I will attempt to summarize recent progress in observational studies of nearby galaxies. In my view, it is important now, more than ever, to take advantage of the synergy between multi-wavelength observations, to bridge the gaps between studies of nearby galaxies, the Milky Way, and distant galaxies, and to enhance collaborations with a variety of researchers across the world.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Z112a Connecting molecules with the others in cosmological simulations

Shigeki Inoue (Tsukuba University/NAOJ), Naoki Yoshida (the University of Tokyo), Hidenobu Yajima (Tsukuba University)

Cosmological simulations are often used to study the formation and evolution of galaxies, of which advantage is that all information is accessible. Namely, one can easily obtain three-dimensional distribution and kinematics of stars, gas and even invisible components such as dark matter. It is still, however, challenging to simulate molecular gas such as H_2 and CO since their formation and dissociation are closely related to various physics such as dust grains and radiation fields in interstellar space where the gas densities are generally higher than those resolved in the simulations. We therefore develop a novel post-processing method to compute abundances and emissions from molecular gas. Our approach is based on (i) utilising data of cosmological simulations, (ii) modelling physical properties of gas clouds and (iii) adopting a chemical radiative transfer code to the clouds. As a result, we find that our method can reproduce observations of the mass-luminosity relation and the luminosity function for CO(1-0) light at redshift $z = 0$ using the IllustrisTNG simulation.

The synergy of ALMA/Subaru corresponds to combining different components in a galaxy, such as molecular gas from ALMA and stars from Subaru. It is often, however, difficult to physically interpret the combined results. This study aims to provide data sets that can be used to understand the connection of molecules with the other components in galaxies. Also, the mock observations based on our model are expected to be used for a wide variety of future observations such as feasibility estimations and tagging molecules to 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](#)

Z113a Star-formation and molecular cloud properties in a low metallicity environment: Subaru/HSC-ALMA-ASTE observations of NGC 6822

Tosaki, T. (Joetsu Univ. of Education), Fujita, S. (Nagoya Univ.), Komiyama, Y., Torii, K., Miyamoto, Y., Kaneko, H. (NAOJ), Kuno, N. (Tsukuba Univ.), Takekoshi, T. (Univ. of Tokyo), Tokuda, K. (Osaka pref. Univ./NAOJ)

Recent ALMA observations start to capture spectral lines from the interstellar medium (ISM) in the epoch of re-ionization, where galaxies are deficient in metals (e.g., Hashimoto et al. 2018), motivating us to understand physical properties of molecular clouds, the direct birthplace of massive stars, in low-mass, low-metallicity galaxies.

Here we present the ALMA results of $0''.56$ (or 1.3 pc at $D = 474$ kpc) resolution ^{12}CO , ^{13}CO , and $\text{C}^{18}\text{O}(J = 2-1)$ observations toward Hubble V, one of the prominent H II regions in the nearby, low-metal ($\sim 1/5Z_{\odot}$) dwarf irregular galaxy NGC 6822. Although C^{18}O emission can not be detected in the observed region, these CO images have been compared with the i -band (stars) and $\text{H}\alpha$ (massive star-forming regions) images taken with the Subaru/HSC. In the ^{12}CO and $^{13}\text{CO}(J = 2-1)$ maps, we can find clumpy structures and we identified ≥ 20 clumps in the ^{12}CO map with a typical size of a few pc, which is similar to those of Galactic clumps or massive cores. Interestingly, we find that most of them mainly surround a bright $\text{H}\alpha$ nebula. We also identified starless clumps without $\text{H}\alpha$ and/or i -band counterpart. The detailed physical properties of these clumps and future prospects using ALMA and ASTE will be presented.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Z114a ALMA CO Observations of a Giant Molecular Cloud in M33: Evidence for High-Mass Star Formation Triggered by Cloud-Cloud Collisions

Hidetoshi Sano, Kisetsu Tsuge, Yumiko Yamane, Mikito Kohno, Shinji Fujita, Rei Enokiya, Kengo Tachihara, Yasuo Fukui (Nagoya University), Kazuki Tokuda (NAOJ/Osaka Prefecture University), Kazuyuki Muraoka, Toshikazu Onishi (Osaka Prefecture University), Gavin Rowell (The University of Adelaide), Nigel Maxted (ADFA), Miroslav D. Filipović (Western Sydney University), Jonathan Knies, Manami Sasaki (FAU), Paul P. Plucinsky (CfA)

It is a long-standing question how high-mass stars are formed in galaxies. Recently, cloud-cloud collision has received much attention as a mechanism of high-mass stars. We report the first evidence for high-mass star formation triggered by collisions of molecular clouds in M33. Using ALMA, we spatially resolved filamentary structures of giant molecular cloud 37 in M33 using $\text{CO}(J = 2-1)$ line emission at a spatial resolution of ~ 2 pc. There are two individual clouds with a systematic velocity difference of $\sim 6 \text{ km s}^{-1}$. Three continuum sources representing up to ~ 10 high-mass stars are embedded within the densest parts of molecular clouds bright in the $\text{C}^{18}\text{O}(J = 2-1)$ line emission. The two molecular clouds show a complementary spatial distribution with a spatial displacement of ~ 3.5 pc, and show a V-shaped structure in the position-velocity diagram. These observational features traced by CO and its isotopes are consistent with those in high-mass star-forming regions created by cloud-cloud collisions in the Galactic and Magellanic Clouds. Further Subaru observations will allow us to study detailed physical properties of high-mass stars formed by the cloud-cloud collision in M33.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Z115a Multiphase properties of ISM in a nearby radio galaxy, NGC 1316

Kana Morokuma^{1,2}, Paolo Serra³, Filippo Maccagni³, Bi-Qing For⁴, Jing Wang⁵, Kenji Bekki⁶, Tomoki Morokuma¹, Fumi Egusa¹, Daniel Espada⁷, Rie E. Miura⁷, Kouichiro Nakanishi⁷, Baerbel Koribalski⁸, Tsutomu Takeuchi⁹ (1: Univ. of Tokyo, 2: JSPS fellow, 3: INAF, 4: UWA, 5: KIAA-PKU, 6: ICRAR, 7: NAOJ, 8: CSIRO, 9: Nagoya Univ.)

NGC 1316 (a.k.a. Fornax A) is one of the nearest (~ 20 Mpc) and most prominent radio galaxies in the local Universe, and located at the center of a subgroup of the Fornax cluster. Its proximity makes this galaxy one of the most ideal targets to study the effect of radio jet on the interstellar medium (ISM) properties. We have observed NGC 1316 with ALMA/ACA and Keck/Low Resolution Imaging Spectrometer (LRIS) to investigate its molecular-gas and ionized-gas properties, respectively. We could successfully detect CO($J=1-0$), [OII] $\lambda 3727$, [OIII] $\lambda 5007$, H α ($\lambda 6563$), and [NII] $\lambda\lambda 6548, 6583$ emission and found some observational evidences indicating a (nuclear) jet-ISM interaction (KMM+2019a) such as: (1) jet-bending at the vicinity of peaks of molecular gas distribution possibly due to buoyant effect and/or ram-pressure from ISM, and (2) spatially extended LINER-type excited ionized gas (high [OII] $\lambda 3727$ /[OIII] $\lambda 5007$ and [NII] $\lambda 6583$ /H α ratios). In this contribution, we compare our ALMA data with archival imaging data of atomic gas and radio continuum obtained with MeerKAT and optical IFU data taken with VLT/MUSE, and discuss a spatial correspondence of the jet and multiphase ISM in NGC 1316. Based on this multi-wavelength study of NGC1316, we also discuss possible follow-up Subaru observations of other our ALMA targets in the Fornax cluster (64 in total).

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Z201r 超高感度赤外線衛星 SPICA による宇宙進化史の解明

金田 英宏 (名古屋大), 芝井 広 (大阪大), 山村 一誠, 小川 博之, 中川 貴雄, 松原 英雄, 山田 亨 (ISAS/JAXA), 尾中 敬 (明星大), 河野 孝太郎 (東京大), 他 SPICA チームメンバー

SPICA は日欧協力を軸とする次世代赤外線天文衛星計画である。口径 2.5 m の望遠鏡を温度 8 K 以下に冷却することで、比類なき超高感度の赤外線分光・偏光観測を実現し、銀河・巨大ブラックホール進化の物理的解明や、星・惑星系形成の本質的理解を目指す。液体ヘリウムなどの冷媒を用いず、冷凍機と宇宙放射冷却のみで望遠鏡を極低温に冷やす構造は日本発のコンセプトであり、国際的に日本が誇る冷凍機・冷却系技術が駆使された設計である。2030 年頃の打ち上げ、目標 5 年間の運用が計画されており、ALMA、TMT、SKA、Athena などの他波長の大型望遠鏡との強力なシナジーが期待される。

2018 年 5 月に ESA 中型クラス 5 号機の候補として選抜された SPICA は、いよいよ 2021 年 3-4 月に最終選抜審査を受ける予定である。それに向けて、SPICA の科学ミッション価値が審査資料「Yellow Book」にまとめられる。国際的には、ESA Science Study Team (計 11 名で構成、日本から 5 名が所属) のもとに 5 つの science WG が組織され、検討が行われている。一方、日本においても、SPICA 研究推進委員会のもとにサイエンス検討会が組織され、国内コミュニティの意見を Yellow Book へインプットすべく議論が進められている。

本講演では、SPICA に搭載される 3 つの観測装置 (中間赤外線分光・撮像: SMI、遠赤外線分光: SAFARI、遠赤外線偏光撮像: B-BOP) の最新仕様をレビューしたうえで、これまでのプロジェクト側および欧州側の検討内容を紹介し、(1) 銀河進化、(2) 近傍銀河、(3) 星間物質・星形成、(4) 惑星系円盤、(5) 太陽系・系外惑星の分野ごとに、SPICA ならではの science capabilities 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](#)

Z202r SPICA が革新する系外銀河サイエンス

泉拓磨 (国立天文台), 江草美実 (東京大), 他 SPICA サイエンス検討会メンバー

SPICA は「宇宙が重元素と星間塵により多様で豊かな世界になり、生命居住可能な惑星世界をもたらした過程を解明する」ことを科学目標として日欧協力で推進している口径 2.5m の大型冷却赤外線天文衛星計画である。従来の赤外線衛星を凌駕する高感度を達成することで、数多の分野にわたり革新的な成果をもたらすことが期待される。この SPICA 計画を実現するには、欧州宇宙機関 (ESA) の宇宙科学プログラムである Cosmic Vision の中型ミッション 5 号機 (M5) への採択が必須であり、そのためにも SPICA で可能となるサイエンスを具体的に洗い出し、それがもたらすインパクトをまとめて訴求力の向上に努めることが重要である。そこで、日本では SPICA 研究推進委員会のもと、2019 年春に「サイエンス検討会」が設置され、多くの国内研究者 (赤外線天文学との接点が必要しも多くなかった研究者も多数含む) の参加を得て重要科学課題の検討を進めてきた。これは欧州側の同様の検討とは独立した活動で、日本コミュニティならではの成果を創出することも念頭においている。

本講演ではサイエンス検討会の 5 つの班のうち、「銀河ブラックホール進化班 (班長: 泉)」と「近傍銀河班 (班長: 江草)」の検討結果をオーバービュー的に報告する。我々は「星間塵に隠れた銀河の活動性」や「星間塵そのものの性質や起源」を柱に据え、SPICA の高いサーベイ能力・広い観測波長範囲・多様な波長分解能、偏光観測機能、等の各性能を活かした科学課題を検討してきた。原始銀河団環境における爆発的星形成と活動銀河核の同定、各種アウトフローの定量評価、銀河核周辺環境の探査、星間塵の形成・破壊の理解、星間化学と金属量進化、等々、銀河進化の本質的理解において重要な項目が数多く並ぶ。これらの紹介と議論を通じて検討をさらに深化させ、SPICA のサイエンスを強化することで、ESA におけるミッション選抜の成功に貢献していきたい。

[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](#)

Z203a Importance of Dust in the Evolution of Galaxies: Prospect for SPICA

竹内 努 (名古屋大), SPICA サイエンス検討会銀河・BH 進化班 (泉 拓磨, 今西 昌俊, 久保 真理子, 播金 優一, 馬場 俊介, 山下 拓時 (NAOJ), 田村陽一 (名古屋大), 梅畑 豪紀 (理研), 鳥羽 儀樹 (京都大), 長峯 健太郎 (大阪大), 橋本 拓也 (早稲田大), 市川 幸平 (東北大), 和田 武彦 (ISAS))

Dust plays various important roles in galaxy evolution. First, dust grains are tiny particles of heavy elements, and they should directly reflect the evolution of galaxies. The dust grain surface works as a catalyst for molecular formation, leading to the first burst of star formation. The stellar emission is strongly attenuated by dust, and re-emitted at mid-far infrared (M-FIR). We constructed a framework of dust evolution based on the chemical evolution (Asano et al. 2013a, b; 2014; Nozawa et al. 2015). Then we extended it to include the infall of baryons (Nagasaki 2020). We also developed a radiative transfer model of galaxy spectrum based on Asano+ framework with a Mega-Grain approximation (Nishida 2020). This provides us with a convenient set of theoretical tools to explore the dust in galaxies at any redshift from various aspects. After the advent of SPICA, we will be able to tackle some fundamental and interesting problems on the dust evolution in galaxies. Since we have an evolutionary radiative transfer model, the astromineralogy of galaxies will be feasible. We will be able to decompose the dust species into several silicates and carbonaceous grains especially from the MIR spectra obtained by SPICA. We should also resolve the so-called “dust budget crisis”, a problem that very young galaxies at extremely high- z have too much dust. The recently proposed scenario of dust formation by AGNs will also be explored by SPICA. We will present the promise of SPICA from the theoretical side.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Z204a WISE-Planck far-infrared detection of Hyper Suprime-Cam protoclusters at $z \sim 4$

Mariko Kubo (NAOJ), Jun Toshikawa, Nobunari Kashikawa, Yoshiaki Ono (University of Tokyo), Yi-Kuan Chiang (JHU), Roderik Overzier (University of São Paulo), Hisakazu Uchiyama, Yuichi Matsuda, Kei Ito (NAOJ/SOKENDAI), David L. Clements, Tai-An Cheng (Imperial college of London), David M. Alexander (Durham University), Tadayuki Kodama (Tohoku University), Tomotsugu Goto (National Tsing Hua University), SPICA サイエンス検討会銀河・BH 進化班

We perform a stacking analysis of *Planck*, *AKARI*, Infrared Astronomical Satellite (*IRAS*), Wide-field Infrared Survey Explorer (*WISE*), and *Herschel* images of the largest number of (candidate) protoclusters at $z \sim 3.8$ selected from the Hyper Suprime-Cam Subaru Strategic Program (HSC-SSP). Stacking the images of the 179 candidate protoclusters, the combined infrared (IR) emission of the protocluster galaxies in the observed 12 – 850 μm wavelength range is successfully detected. This is the first time that the average total IR spectral energy distribution (SED) of protoclusters has been constrained at $z \sim 4$. The observed IR SEDs of the protoclusters exhibit significant excess emission in the mid-IR compared to that expected from typical star-forming galaxies (SFGs). They are reproduced well using SED models of intense starburst galaxies with warm/hot dust heated by young stars, or by a population of active galactic nuclei (AGN)/SFG composites. For the AGN/SFG composite model, a total IR (from 8 to 1000 μm) luminosity of $5.1_{-2.5}^{+2.5} \times 10^{13} L_{\odot}$ and a star formation rate (SFR) of $2.1_{-1.7}^{+6.3} \times 10^3 M_{\odot} \text{ yr}^{-1}$ are found. Our results demonstrate the importance to characterize the mid to Far-IR dust emission from SFGs/AGNs at high redshift with SPICA.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Z205a The Slit-Less Spectroscopic Survey of Galaxies (SPICY) with AKARI/IRC - perspective to SPICA

T. Wada (ISAS/JAXA), Y. Ohyama (ASIAA), H. Matsuhara (ISAS/JAXA), M. Malkan (UCLA), T. Goto (NTHU), E. Egami (Univ. of Arizona), J.H. Kim (Subaru), C. Pearson (RAL), H. Inami (Hiroshima Univ.), D. Burgarella (LAM), T. Miyaji (UNAM), T. Nakagawa (ISAS/JAXA)

Deep mid-infrared spectroscopy is a powerful tool to distinguish their dust obscured energy sources, the star-formation and the AGN activity, because of their prominent PAH emissions and bright hot dust continuum with deep silicate absorption. MIR spectroscopic surveys of selected samples were extensively done by Spitzer/IRS. Much deeper spectroscopic surveys in the MIR are proposed for SPICA. Here we report the result of the first unbiased spectroscopic survey in the mid-infrared wavelength, the slit-less Spectroscopic survey of galaxies (SPICY). We conducted a low-resolution ($R \sim 50$) slit-less spectroscopic survey at $513 \mu\text{m}$ of $9 \mu\text{m}$ flux-selected sources ($> 0.3 \text{ mJy}$) in 0.4 square degree area around the north ecliptic pole with the infrared camera (IRC) onboard AKARI. We identify 48 PAH-emitting galaxies with PAH 6.2, 7.7, and $8.6 \mu\text{m}$ features at $z < 0.5$. The rest-frame SEDs of all PAH galaxies have a universal shape with stellar continuum and $7.7 \mu\text{m}$ bumps, except that the PAH enhancement significantly varies as a function of the PAH luminosities. The PAH luminosities shows good correlation with FIR luminosities obtained by Herschel photometry. We will present the result of the SPICY and perspective to the SPICA MIR spectroscopic survey including the figure of merit of slit/slit-less spectroscopy.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Z206b Unveiling the nature of HST-dark galaxies by using SPICA

Kohno, K., Wang, T. (IoA/U.Tokyo)

Recent ALMA observations start to convincingly suggest the presence of mm/submm-selected galaxies without any significant counterpart seen in the optical and near-IR: HST-dark galaxies (e.g., Simpson et al. 2014; Fujimoto et al. 2016; González-López et al. 2017; Franco et al. 2018; Yamaguchi et al. 2016, 2019). What is the role of such an HST-dark but mm/submm-bright galaxy population? In fact, recent ALMA studies clearly point the importance of HST-dark but IRAC-detected (a.k.a. H-dropout) galaxies as a key tracer of the early phases of massive galaxy formation, which can not be captured by the Lyman break technique relying on the rest-frame UV light using the state-of-the-art near-IR deep surveys using HST/WFC3 (Caputi et al. 2012, 2014; Wang et al. 2016). Such HST-dark but IRAC-detected galaxies are systematically fainter than the classical SMGs and therefore much ubiquitous ($> 500 \text{ deg}^{-2}$, i.e., 2 orders of magnitude higher sky density than Herschel/SPIRE-selected SMGs; Wang et al. 2019) than the classical SMGs. However, the difficulties to obtain accurate (spectroscopic) redshifts of these HST-dark galaxies (either optical/near-IR spectroscopy or mm/submm line scans) hamper the efforts to advance our understanding of this newly recognized important population. Here, we argue that the mid-infrared spectroscopy using SPICA will play crucial roles to unveil the nature of these HST-dark ALMA galaxies, by providing spectroscopic redshifts via PAH features, and indication on the presence or absence of growing super-massive blackholes via high ionization fine structure lines and MIR continuum. Detailed feasibility analysis and implications will be presented.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Z207b 広領域 SMI-CAM サーベイで探る初期宇宙の塵に覆われた AGN

松原英雄, 和田武彦, 長勢晃一 (ISAS/JAXA), Huang, T-C. (総研大, ISAS/JAXA), 鳥羽儀樹 (京都大), 大藪進喜 (徳島大), 松岡良樹, 長尾 透 (愛媛大)

初期宇宙の超大質量ブラックホールの周りにダストトラスが出現したのはいつか、それはどんな性質なのか? $z \sim 6$ のダストフリークエーサー候補が Spitzer/IRAC で発見されて以来 (Jiang et al. 2010) この理解は進んでいないが、 $34 \mu\text{m}$ での SMI-CAM 測光サーベイによって高赤方偏移宇宙のダスト放射を探索することでブレークスルーをもたらすと期待する。観測波長の短い Euclid や WFIRST 単独ではこのようなダストに隠された AGN を検出することはできない。

我々はまず SDSS とすばる望遠鏡主焦点カメラ HSC によって構築された高赤方偏移クエーサーサンプル (Matsuoka et al. 2018) の $34 \mu\text{m}$ での検出可能性を探った。その結果、CAM で検出可能なクエーサーの表面密度の低さから、無バイアスサーベイよりも個別の中間・遠赤外分光フォローアップ観測が有効、と結論した。次に、無バイアス中間赤外サーベイで検出される天体から「宝物」を見つけ出す方法について検討した。中間赤外サーベイで検出される天体の内 $z \geq 6$ は 0.1 % 程度でしかない (Gruppioni et al. 2017) ので、深く広い可視光・近赤外多色撮像サーベイを行い、ライマンブレーク法で高赤方偏移天体を識別する方法を考えた。この場合すばる HSC および Euclid を使用した場合は $z \sim 2$ あるいは 4 程度までしか探索できないが、WFIRST であれば $z \geq 6$ の塵に覆われた AGN を同定できる可能性があることがわかった。

これら候補天体については ALMA・TMT・JWST のみならず SPICA の超高感度赤外分光能力により、物理・化学診断やダストの性質診断を行うことができ、初期宇宙のダストトラスの性質の解明に貢献するだろう。

[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](#)

Z208b SMI 高分散分光を用いた $z \sim 2$ AGN トーラス領域の吸収線観測

馬場俊介 (国立天文台), SPICA サイエンス検討会

活動銀河核 (AGN) が放出する高エネルギーアウトフローによる母銀河星形成へのフィードバックは、銀河進化を理解するうえで欠かせない要素である。そのアウトフローの質量の大部分は分子ガスの状態で存在しているため、分子ガスの運動状態を理解することが、現在から星形成が最も活発であった $z \sim 2$ にかけて特に重要である。

我々は、次世代赤外線天文衛星 SPICA の中間赤外線観測装置 SMI を用いてどのような分子アウトフロー研究が可能か検討した。SMI の最も高分散のチャンネルでは、波長 $12\text{--}18 \mu\text{m}$ を分解能 $R = 33,000$ ($\Delta v = 10 \text{ km/s}$) で分光できる。本講演では、CO の振動回転遷移 ($v = 1 \leftarrow 0$, $\Delta J = \pm 1$, $\lambda_{\text{rest}} \sim 4.67 \mu\text{m}$) に着目する。この遷移では、 $\sim 0.01 \mu\text{m}$ ずれて並ぶ数十の回転準位のラインを同時測定でき、ガスの物理状態を強く制限できる。またこれらのラインは、中心核に熱されたダストの熱放射を背景光とし基本的に吸収線として観測されるので、中心核近傍を実効的に高い空間分解能でプローブできる。各ラインの速度プロファイルは、アウトフローの開口角が小さければ吸収のみだが、大きい場合、吸収と放射から成る P-Cygni プロファイルとなる。トーラス領域に分子ガスアウトフローがある場合、各ラインの速度プロファイルを得ることで、ガスの分布と運動に制限を付けられると期待できる。今回は、ある質量放出率とアウトフロー形状のときに、CO のどのような速度プロファイルが予想されるか例示する。また、近傍の高光度赤外線銀河で得られた CO 吸収線の出現率に基づき、遠方でどの程度の数の検出例が期待できるかを議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Z209a 「近傍銀河・銀河系」班の概要と“stellar feedback”についての検討

江草実実, 左近樹, 本原顕太郎 (東京大学), 金子紘之, 中西康一郎, 馬場淳一 (国立天文台), 竹内努, 田村陽一 (名古屋大学), 稲見華恵 (広島大学), 渡邊祥正 (日本大学)

SPICA サイエンス検討会の「近傍銀河・銀河系」班では、現在上記 10 名のメンバーで、銀河系や近傍銀河において SPICA でできる (SPICA でしかできない) サイエンスの検討を行っている。SPICA には広い波長帯域 (中間遠赤外) と多彩な観測モード (測光、分光、偏光) があるため、検討項目は多岐にわたるが、我々はこれを 4 つのカテゴリー (i) 銀河円盤内の星間物質; (ii) 銀河円盤外のガスやダスト; (iii) 銀河統計; (iv) 低金属量銀河に分けて検討を進めてきた。本講演では、まず班全体での検討内容の概要を、他の班との関わりも含めて紹介する。また、(i) 銀河円盤内の星間物質については、特に“stellar feedback”に焦点をあてて詳細な検討結果を報告する。

“stellar feedback”はその名の通り、星から星間物質へのフィードバックのことで、主に II 型の超新星爆発と H II 領域が想定されている。両者はどちらも、星形成後に残ったガスを電離したり温度を上げたり吹き飛ばしたりすることにより、次世代の星形成を抑制する効果がある。銀河形成や円盤銀河の理論計算では、これらの効果により広がった円盤の形成や低い星形成効率が再現されている。その一方で、フィードバックを受けたガスの観測は、銀河系内やごく近傍の銀河の超新星残骸や H II 領域に限られていた。

そこで我々は、より多くの近傍銀河 (特に、腕との位置関係が進化段階に対応する渦巻銀河) において、SPICA を用いてフィードバックを受けたガスの物理状態を導出できないか、検討している。SPICA の波長帯域には多くの禁制線が存在し、その強度比から密度や電離度、金属量などが推定でき、これらの観測結果からフィードバックモデルへの制限を与えることを目標としている。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Z210a 「近傍銀河・銀河系」班：銀河円盤外のガスやダストについての検討

金子紘之 (国立天文台), 中西康一郎 (国立天文台, 総合研究大学院大学), 本原顕太郎, 江草実実, 左近樹 (東京大学), 稲見華恵 (広島大学), 竹内努, 田村陽一 (名古屋大学), 馬場淳一 (国立天文台), 渡邊祥正 (日本大学)

我々は SPICA サイエンス検討会「近傍銀河・銀河系」班として、SPICA で行うサイエンスの検討を行ってきた。本講演では、サブカテゴリーである「銀河円盤外のガスやダスト」の検討状況について報告する。

現段階において、大きく分けて 2 つの観測を検討している。遠赤外線偏光観測装置 B-BOP を用いた、活動銀河からのアウトフローに付随する磁場の観測、そして中間赤外線観測装置 SMI による、銀河団、コンパクト銀河群、相互作用銀河の温かい H_2 ガスの撮像観測である。前者に関する検討状況は中西他による発表を参照されたい。

H_2 回転輝線は、SPICA/SMI の波長帯 (波長帯域: 18–38 μm) である数–数十 μm 帯に集中しており、数 100K の温かなガスのトレーサーである。近年、衝突銀河やコンパクト銀河群では、銀河本体のみならず、銀河間領域においても温かい H_2 ガスが存在することが報告されている。こうした天体の中には低温ガスと共存しているものもあり、この物理状態を理解することは銀河進化研究においても重要だが、空間分布はほとんど理解できていない。 H_2 回転輝線を複数観測すると、質量だけでなく、その温度や衝撃波速度がわかるため、多数本の撮像分光観測が重要である。SMI では、 $z=0$ で $H_2(0-0)S(0)$ と $H_2(0-0)S(1)$ が、 $z>0.4$ で $H_2(0-0)S(2)$ 、 $z>0.8$ で $H_2(0-0)S(3)$ が観測可能になる。天体が広がっている場合では、面輝度は z にのみ依存するため、例えば $z=0.5$ でも SMI でこれら 4 輝線の検出が十分期待できる。これらの状況を踏まえ、比較的近傍の銀河団や銀河群のような高密度領域での、温かい銀河間ガスのイメージング観測を検討中である。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Z211b OH⁺, H₂O⁺, H₃O⁺ で探る分子ガスの電離度

渡邊祥正 (日本大学), 江草芙実, 左近樹, 本原顕太郎 (東京大学), 金子紘之, 中西康一郎, 馬場淳一 (国立天文台), 竹内努, 田村陽一 (名古屋大学), 稲見華恵 (広島大学)

分子雲内部は完全に中性状態ではなく微弱に電離しており、その結果イオン分子反応によって様々な星間分子が形成される。そのため、この分子雲における電離度は、分子ガスにおける化学反応を理解するうえで重要なパラメータである。分子雲内部には星間紫外光はほとんど入り込まないため、主な電離源は星間宇宙線によるものと考えられている。太陽近傍では宇宙線の強度から電離度を直接推定でき、おおよそ $\eta \sim 10^{-17} \text{ s}^{-1}$ である。宇宙線の強度意外からこの電離度を測定する方法としては、OH⁺、H₂O⁺、H₃O⁺ などの酸素を含むイオン分子の組成を利用したものがある。酸素原子はイオン化エネルギーが水素原子よりも高く通常は星間空間では紫外光により電離されることはないため、これらイオン分子は宇宙線により電離した H⁺ や H₃⁺ と中性酸素との反応で形成される。その結果、これらの分子の存在量は水素の電離度を直接反映するため、そこから分子雲の電離度を推定することができる。

そこで、SPICA の SAFARI による OH⁺、H₂O⁺、H₃O⁺ の分光観測から、近傍銀河における分子雲の電離度を調べることを検討している。SAFARI の観測波長帯にはこれらのイオン分子の回転遷移が数多くあり、多輝線観測による励起解析から正確に分子の存在量を推定することができる。観測ターゲットは主にスターバースト銀河や活動銀河核などを考え、対象天体や観測感度などについて検討している。さらに、銀河円盤領域の分子雲における観測の可能性についても検討する。もし分子雲の電離度の推定が可能だった場合、近傍銀河の円盤領域における宇宙線強度を知る手法となる。本講演ではこれらの検討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](#)

Z212b Statistical Quantification and Parametrization of Galaxies with SPICA

竹内 努 (名古屋大), SPICA サイエンス検討会近傍銀河・銀河系班 (金子 紘之, 馬場 淳一 (NAOJ), 中西 康一郎 (NAOJ, 総研大), 本原 顕太郎, 江草 芙実, 左近 樹 (東京大), 稲見 華恵 (広島大), 渡邊 祥正 (日本大))

Since the dimension of galaxy survey data is enormous nowadays, a classical approach would miss significant number of important features to represent the evolution of galaxies. In our previous work (X-0056-a), we have demonstrated a method to extract the evolutionary features of galaxies through unsupervised machine learning algorithm. We constructed a multidimensional space of twelve luminosities from FUV to *K* and redshift, based on the data of VIPERS project. We applied a Gaussian mixture model to these data and estimated parameters by the Fisher Expectation-Maximization algorithm. This method automatically reproduced important characteristics of galaxies such as the classical active/passive galaxy dichotomy, star-forming galaxy main sequence, etc. What we discovered was that the classified subgroups consist a one-dimensional continuous sequence in the multidimensional space, referred to as “the galaxy manifold”. It is then more reasonable to analyze this manifold as it is. This type of analysis is referred to as the nonlinear dimensionality reduction. We can expect to find a similar sequence when we add data from SPICA. The far-infrared (FIR) spectrum is known to trace more bursty star formation, and contains detailed information of the ISM. Then adding the FIR data will bring much more precise information to the structure of the galaxy manifold. This will be a new powerful tool to quantify and parametrize the evolution of galaxies and their 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](#)

Z213c 近傍活動銀河の B-BOP/SPICA 遠赤外線連続光偏光観測

中西康一郎 (国立天文台), SPICA サイエンス検討会近傍銀河・銀河系班 (江草美実, 左近樹, 本原顕太郎 (東京大), 金子紘之, 馬場淳一 (国立天文台), 稲見華恵 (広島大), 渡邊祥正 (日本大), 竹内努, 田村陽一 (名古屋大学))

SPICA 搭載予定の偏光観測装置 B-BOP (SPICA-POL) を用いた活動銀河とそのハロー部に対する遠赤外線連続光偏光観測の検討状況について報告する。

磁場は銀河における活動性 (星形成、中心核活動) に深い関わりを持つ。銀河の磁場構造は高温低密度のプラズマを放射源とするシンクロトロン放射の電波 (センチ波) 観測に基づく研究が主流であった。これに対して近年は遠赤外線観測によるダスト熱放射の偏光観測も行われている (例えば Jones et al. 2018)。遠赤外線観測結果は未だ十分に把握されていない低温・高密度の星間物質の磁場構造を反映すると期待される。

B-BOP/SPICA は現在稼働中の遠赤外線偏光観測装置 (例、HAWC+/SOFIA) と比較すると大幅な感度の向上 (10 倍以上) が見込まれる。その恩恵は銀河系内の研究にとどまらず、系外銀河の観測においても大きな進展をもたらすと期待される。活動銀河 (スターバースト、AGN) の観測研究においては、より空間的に広がった淡い放射 (例、アウトフローに付随するダスト) やより遠くの活動度の高い天体 (例、U/LIRGs) が現実的な観測対象になりうる。これらの偏光観測によって系外銀河の活動性に密接に関わる磁場の検出、活動性の発現や維持における磁場の役割の解明などが期待される。

本講演ではこれまでの検討内容、近傍活動銀河の B-BOP/SPICA 偏光観測の科学的意義や狙い、観測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](#)

Z214c 宇宙初期の銀河星間環境を特徴付けるダストの性質の理解

左近樹, 江草美実, 本原顕太郎 (東京大学), 田村陽一, 竹内努 (名古屋大学), 金子紘之, 中西康一郎, 馬場淳一 (国立天文台), 稲見華恵 (広島大学), 渡邊祥正 (日本大学)

低金属量で非常に活発な大質量星形成の兆候を示す Super Star Cluster (SSC) を有する blue compact dwarf (BCD) 銀河は、初期宇宙の低金属量の環境すなわち星形成のサイクルが歴史的に浅い系における星間ダストの特徴を探る上で、極めて重要な研究対象である。天の川銀河のように十分に星形成のサイクルが繰り返され年齢を経た系では、AGB 星などに起源を持つ星間ダストが星間物質を特徴付けることができるが、遠方の銀河の星間物質は主として大質量星を起源とする星間ダストによって特徴付けられると考えられる。しかしながら、終焉期の大質量星を起源とするダストの化学組成や物性の観測的な理解は依然として乏しい。このため、JWST を用いた超新星によるダストの形成および破壊の過程を探る観測や系内の Wolf-Rayet 星によるダスト形成過程を探る観測を通じた新たな知識の集積が期待される。一方で、SPICA の中間赤外線から遠赤外線波長域にかけてのより長い波長域の分光観測能力は、星周環境を離れ星間空間に到達する過程における幅広い温度帯域でのダストの放射の分光学的特徴を調べる上で有用であり、低金属量の BCD 銀河内の SSC における中間赤外線-遠赤外線放射、さらには、遠方の銀河の星間物質の赤外放射を、大質量星を起源とするダストが、如何に特徴付けるかを解釈する上で鍵となる。本講演では、SPICA サイエンス検討会の「近傍銀河・銀河系」班で検討しているサイエンスのうち、特に宇宙初期の銀河環境を特徴付けるダストの性質を探ることを目的とし、(1)「大質量星を起源とするダストの分光学的特徴を探る試み」と(2)「低金属量の BCD 内の SSC の赤外放射に大質量星を起源とするダストの痕跡を探る試み」の two-tiered で実施する観測の検討に焦点をあて報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Z215r SPICA が切り拓くサイエンス：星・惑星形成，惑星系の観測ハイライト

平野照幸 (東京工業大), 井上剛志 (名古屋大), 本田充彦 (岡山理科大), SPICA サイエンス検討会

次世代天文衛星 SPICA は、口径 2.5m の主鏡と 8K 以下にまで冷却した極低温光学系による中間赤外線での高感度を特徴とした赤外線宇宙望遠鏡である。SPICA は現在、欧州宇宙機関 (ESA) が推進する中型ミッション (コスミックビジョン M5) の最終候補に残っており、2021 年の最終選考の通過を目指して搭載される赤外線装置の開発や SPICA で実施するサイエンスの検討を進めている。国内でも 2019 年に独自のサイエンス検討会を立ち上げ、銀河系内・系外を問わず多くの研究者が参加して SPICA で実現可能な多様なサイエンスを検討している。

赤外線波長域では、星形成領域、原始惑星系円盤、惑星系 (太陽系惑星・系外惑星) 等の観測で多くの利点があり、ガス分子やダストの観測を通じて星、惑星系がどのように誕生しどのように進化して現在のような物質的に多様な姿となったのかを物理的、化学的側面から明らかにすることができる。SPICA による星形成領域の観測では、分子雲内のフィラメントや分子雲コアの分光・偏光観測を通じて分子雲全体の磁場構造を調べることで、分子雲のマクロな構造や星形成メカニズムを詳細に明らかにすることが期待されている。また惑星形成に関するサイエンスでは、SPICA の高い感度、波長分解能を生かして、原始惑星系円盤内の (水素) 分子同位体の定量、水輝線によるスノーラインの探査、シリケートなどの物質探査等を実施し、ガスとダストがキープレイヤーである惑星形成の現場をかつてないほど詳細に調査する計画である。さらに、太陽系・系外惑星についても太陽系天体や系外惑星大気の観測を通じて惑星形成後の軌道進化、物質進化を明らかにする。

本講演では、こうした SPICA によるサイエンスとして検討されている星・惑星形成や惑星系の観測計画を概観し、特にハイライトとなるキーサイエンスをいくつかを紹介する。

[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](#)

Z216a SPICA を用いた太陽系小天体の科学

小林仁美 (LLP 京都虹光房), 癸生川陽子 (横浜国立大学), 高橋葵 (ABC), 大坪貴文 (JAXA/ISAS), 藪田ひかる (広島大学), 小林浩 (名古屋大学), SPICA 太陽系・系外惑星サイエンス検討班

SPICA は $12\mu\text{m}$ から $350\mu\text{m}$ に至るまで幅広い波長領域を、これまでにない高感度でカバーする次世代宇宙望遠鏡である。特に中間赤外線領域では、JWST にも搭載されない $R \sim 30,000$ の高分散分光モードを搭載するため、同波長帯において初となる高感度のガス輝線/吸収線の観測が可能になる。SPICA サイエンス検討会の太陽系・系外惑星検討班では、こうした SPICA のユニーク性を活かした太陽系小天体 (太陽系外縁天体、小惑星、彗星およびそれらから放出された惑星間塵) のサイエンス検討を進めている。太陽系小天体の中でも木星以遠の小惑星と彗星核は、形成後に太陽輻射の影響をほとんど受けることがなく、形成時の情報を保持した始原天体であると考えられているため、同天体から得られる化学組成は、太陽系形成時から現在へと至るまでの複雑な進化プロセスを理解するためのプローブになりうる。

現在さまざまなサイエンスケースが検討されているが、本講演ではその中でも特に重要と考えられる (1) 彗星コマ中の揮発性ガス分子および同位体を用いた彗星核形成温度の推定、(2) 彗星核表面の氷の結晶/非結晶比の観測と内部構造の推定、(3) 彗星および惑星間塵の鉱物種から推定される原始太陽系円盤内でのダストの形成温度の推定、(4) 木星トロヤ群小惑星の鉱物種から推定される力学的起源の解明、といったテーマについて紹介する。

[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](#)

Z217b SPICA の中間赤外線分光観測で探る木星トロヤ群小惑星の科学

癸生川陽子 (横浜国立大学), 小林仁美 (LLP 京都虹光房), 高橋葵 (ABC), 大坪貴文 (JAXA/ISAS), 寺居剛 (国立天文台), 吉田二美 (千葉工大), 長谷川直 (JAXA/ISAS), 白井文彦 (神戸大), SPICA 太陽系・系外惑星サイエンス検討班

木星トロヤ群小惑星は、木星軌道上のラグランジュポイント (L4, L5) 上にある小惑星群である。スペクトル型は主に D 型および P 型であり、メインベルト小惑星よりも始原始的であると考えられている。トロヤ群小惑星は、木星軌道付近の微惑星が捕獲されたものと考えられてきたが、最近の理論によると、巨大惑星の動径方向の移動に伴い散乱された太陽系外縁天体が起源ではないかと言われている。一方で、物質科学的には C 型小惑星と彗星の中間的な天体とも考えられ、トロヤ群小惑星の物質を調べることで、スノーライン以遠の小天体の物質進化過程のシームレスな理解の鍵となることが期待される。しかし、地上で手に入る D/P 型由来の物質は非常に限られている。可視赤外領域のスペクトルからは、 $3.1 \mu\text{m}$ (OH) や $10 \mu\text{m}$ (シリケート) のフィーチャーが観測されているが、トロヤ群を構成する主な物質は未だ不明である。

SPICA は $12\text{--}230 \mu\text{m}$ の波長領域の高感度分光が可能であり、木星軌道付近の天体の場合、数 km サイズまで十分な精度での観測が見込まれる。このスペクトル領域には、水氷 ($44, 62 \mu\text{m}$), 炭酸塩 ($30\text{--}100 \mu\text{m}$), PAHs ($12.7, 13.5, 14.2, 15.9, 17, 18.9 \mu\text{m}$), グラファイト ($30 \mu\text{m}$), かんらん石 ($23, 33, 69 \mu\text{m}$), 輝石 ($28, 37, 43 \mu\text{m}$), 非晶質ケイ酸塩 ($18 \mu\text{m}$) などのフィーチャーが含まれ、細かくて空隙率の高いレゴリスに覆われていると考えられているトロヤ群の表層ではこれらのフィーチャーが検出しやすいと期待される。SPICA でトロヤ群や太陽系外縁天体の中間赤外線分光観測を行い、トロヤ群の起源や太陽系始原天体の物質進化を明らかにする。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Z218b SPICA による中間赤外線分光観測で迫る太陽系内惑星間塵の性質

高橋葵 (ABC), 小林仁美 (LLP 京都虹光房), 癸生川陽子 (横浜国立大), 大坪貴文, 石原大助 (JAXA/ISAS), 茅原弘毅 (大阪産業大), 左近樹 (東大), SPICA 太陽系・系外惑星サイエンス検討班

太陽系内の惑星間空間には、シリケートや炭素質物質を主成分とする塵が薄く広がって分布しており、これを惑星間塵 (Interplanetary dust; IPD) と呼ぶ。IPD は原始太陽系円盤内で微惑星に取り込まれた後、小惑星や彗星の内部で生き残り、現在の太陽系において小惑星の衝突や彗星の昇華によって惑星間空間に再放出されたものであると考えられている。したがってその性質は、母天体が形成された領域のダストの性質を反映しているという点において、原始太陽系円盤内の環境に関する情報を含む。

例えば、原始太陽系円盤内で塵の動径方向移動が起きていた場合、塵の鉱物組成が日心距離に依存すると考えられ、その結果比較的の内側領域でできた小惑星から放出される IPD と外側領域で形成された彗星から放出される IPD で鉱物組成に違いが見られることが予想される。また、IPD に含まれる結晶粒子の形状は、原始太陽系円盤内で塵がどのような凝縮生成過程を辿ったかの指標となりうる。

IPD のこれらの性質は、視線方向に含まれる IPD からの熱放射の足し合わせである黄道放射を分光観測し、そのスペクトルに見られる超過フィーチャーの形状を捉えることで調査できる。これまでに、赤外線天文衛星搭載装置 ISOCAM および AKARI/IRC を用いて $10 \mu\text{m}$ 周辺のシリケートフィーチャーの分光観測が行われてきたが、この波長帯では様々な鉱物由来のフィーチャーが混在し、明確な性質同定には至っていない。SPICA を用いた黄道放射分光観測により、 $20, 30 \mu\text{m}$ 帯を含む $230 \mu\text{m}$ までの波長に見られる各鉱物由来のフィーチャーを切り分けることができ、鉱物組成のみならず結晶粒子の形状といった詳細な性質を初めて議論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](#)

Z219b SPICA 中間遠赤外線分光観測による彗星の水氷・ケイ酸塩鉱物探査

大坪貴文 (JAXA 宇宙研), 小林仁美 (LLP 京都虹光房), 癸生川陽子 (横浜国立大), 高橋葵 (ABC), 河北秀世, 新中善晴 (京都産業大), SPICA 太陽系・系外惑星サイエンス検討班

彗星は、惑星形成時期の原始太陽系星雲中で形成された氷微惑星の残存物であり、惑星による重力散乱で太陽系外縁部に飛ばされた後、最近再び太陽系の内側へと落ちてきた太陽系小天体だと考えられている。形成以降は太陽系外縁部に存在し熱的変成を比較的受けておらず、形成時の情報を保持した始原天体であると考えられており、その氷と鉱物の情報は形成時から現在へと至る太陽系の進化プロセスを理解するプローブになりうる。

これまで多くの彗星の中間赤外線スペクトル中に、結晶質ケイ酸塩による特徴的なフィーチャ(例えば 11.2 μm) が検出されている。しかし、低温凝縮物の氷が主成分である彗星核に多くの結晶質鉱物が存在するには、原始太陽系円盤で高温の太陽近傍から雪線よりも遠い彗星核形成領域 (~5-30 au) まで物質が効率的に運ばれることが必要である。彗星のケイ酸塩鉱物における結晶質存在比は、この原始太陽系円盤での物質輸送効率のひとつの指標となると期待される。また、彗星はしばしばバーストを起こすが、その要因のひとつとしてアモルファス水氷の結晶化が考えられている。彗星コマ中には一酸化炭素やメタンなど水氷よりもさらに揮発性の高い分子が確認されており、こうした高揮発性分子が彗星核中にどのように長期間保持されるかについても、水氷の結晶構造は大きなヒントになる。しかし、アモルファス氷・結晶氷の存在比に関してもまだ明確なことは分かっていない。

SPICA は 12-230 μm の幅広い中間遠赤外線波長域において、高感度の分光観測が可能である。本講演では 10-30 μm 帯および 69 μm の結晶質ケイ酸塩フィーチャ、および 40, 60 μm 帯の水氷のフィーチャをどのように SPICA で検出し、彗星の起源と進化について探るのか、これまでの検討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](#)

Z220c SPICA による太陽系惑星・衛星大気の観測

佐川英夫 (京都産業大学), 笠羽康正 (東北大学), 前澤裕之 (大阪府立大学), 関根康人 (東京工業大学), 白井寛裕 (JAXA/ISAS), SPICA 太陽系・系外惑星サイエンス検討班

系外惑星系が多数発見されている現在、太陽系の惑星 (以下、衛星も含む) は「系内・系外を含めた惑星系研究のリファレンス」とも考えられ、その表層環境の精緻な観測は重要性を増している。惑星の表層環境を決定する大気の物理的・化学的性質、さらにはそこで生じている大気放射、大気循環、大気化学などの様々なプロセスを観測的に理解するために欠かせないのが、赤外波長域での観測である。赤外波長域を用いると大気自身の熱放射や惑星大気を構成する様々な気体分子による吸収線が観測され、それらの情報からは大気の温度構造および組成を推定することができる。こうした研究は古くは Voyager 探査機の時代から行なわれており、特に外惑星大気の観測的知見の獲得に大きな貢献を果たしてきた。

本講演では、次期赤外線宇宙天文台として計画されている SPICA で期待される太陽系の惑星・衛星大気研究を紹介する。SPICA では望遠鏡全体を極低温に冷却することで従来の同波長域の観測測器よりも 100 倍もの感度の改善が達成される。また、搭載測器の中で SMI および SAFARI はどちらも高い波長分解能 (SMI/HR: $\lambda/\Delta\lambda \sim 33000$, SAFARI/SW: $\lambda/\Delta\lambda \sim 9000$) を有している。この観測性能を利用することで、 H_2 の S(0), S(1), S(2) のスペクトルおよび連続吸収スペクトルから、外惑星大気の温度場を従来の観測よりも高精度で導出することが可能となる。さらに、SPICA の高感度性能を最大限に活かしたサイエンスの一つとして、各惑星大気における同位体比分別 (D/H , $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$, $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$ など) の包括的な観測が挙げられる。これらの同位体比は大気の進化や大気化学を制約する助けとなる。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Z221b SPICA による系外惑星の熱輻射の検出・キャラクタリゼーション

藤井友香 (東京工業大学 ELSI), 松尾太郎 (名古屋大学), 奥谷彩香, 平野照幸 (東京工業大学), 門野創一 (大阪大学), 空華智子 (国立天文台), SPICA サイエンス検討会太陽系・系外惑星班

本講演では、宇宙望遠鏡 SPICA による系外惑星の熱輻射観測の可能性について議論する。

系外惑星の熱輻射観測における SPICA の強みとして、以下の 3 つの側面が考えられる。一つは、波長 $20\mu\text{m}$ より長波長側で高感度観測ができることにより、比較的低温の (特に 300K 程度以下の) 惑星の熱輻射の検出・キャラクタリゼーションに有利となりうる点である。これは、系外惑星と主星のコントラストが系外惑星の熱輻射のレイリージーンズ側で改善するためである。二つ目は、波長 $12-17\mu\text{m}$ における高分散分光、あるいは波長 $18\mu\text{m}$ 以上の領域での中分散分光により、主星と惑星の合計の光の中から惑星大気由来の分子のラインを抽出することが可能になる点である。特に、高分散分光を用いると、惑星の自転や軌道についての制限も期待できる。三つ目は、SPICA の観測波長帯には、 H_2O , CO_2 , NH_3 などのライン、 C_2H_2 などの有機物を含む非平衡過程で生じる分子のライン、さらには $\text{H}_2\text{-H}_2$ の衝突誘起吸収や H_2 のラインなど多様な吸収帯が存在し、これらを用いた大気構造の推定が可能になるという点である。

これらの側面をふまえ、本研究では、理論スペクトルの観測シミュレーションによって、太陽系近傍の系外惑星の熱輻射の検出可能性を検討した。本講演では、SPICA による観測で鍵となるサイエンスと、シミュレーションによる観測ターゲットの見積もり、またその観測が実現するために必要なデータの安定性についてまとめて報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Z222a SPICA を用いた解体惑星の分光観測から系外惑星組成に迫る

奥谷彩香, 大野和正, 平野照幸, 奥住聡 (東京工業大学), SPICA サイエンス検討会 太陽系・系外惑星班

惑星の内部組成は形成・進化を反映しており、これを明らかにすることは惑星形成論を検証するうえで重要である。現在までの系外惑星の観測では、惑星の密度や大気組成から、間接的に内部組成の推定を行ってきた。一方、近年 Kepler 宇宙望遠鏡により、超短周期の岩石コアが解体しつつある惑星 (解体惑星) が数天体発見された (e.g., Sanchis-Ojeda et al. 2014)。これらの惑星は XUV を含む強い中心星放射により、岩石コアが蒸発していると推定され、岩石蒸気が宇宙空間で再凝縮したものが彗星のようなテイルを形成していると考えられている。分光観測からダストテイルの組成を推定できれば、惑星の岩石コアの組成に直接迫ることができる可能性がある (e.g., Bodman et al. 2018)。

本研究では、JWST や SPICA を用いた将来の赤外線透過分光観測によって、解体惑星のダストテイル組成を推定できるかどうかを調べた。まず、岩石惑星を構成する主要元素である Fe, Si, Mg, これに加え Al, Ca, O, C 等を含む様々な鉱物に対して、Mie 理論に基づいてダストの減光断面積を計算した。これを用いて、テイルの空間構造を考慮したうえで各波長におけるダストテイルの光度曲線を求め、透過光観測を行った際の理論スペクトルを計算した。その結果、数 μm - $10\mu\text{m}$ 以上の赤外波長域において、鉱物ごとに異なる透過光スペクトルを示すことが分かった。特に、JWST MIRI ($5-12\mu\text{m}$) と SPICA SMI ($17-36\mu\text{m}$) の将来観測を組み合わせることによって、ダスト組成の詳細な識別が可能となる。さらに、最近検出された地球から 129pc に位置する解体惑星候補について、SPICA による観測を想定してノイズを評価したところ、トランジットを数回観測することで鉱物由来の feature がノイズよりも優位に大きくなったため、ダスト組成の制約が可能であ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](#)

Z223a SPICA 望遠鏡による遠赤外線偏光観測で探る原始惑星系円盤のダスト特性

田崎亮 (東北大学), 百瀬宗武 (茨城大学), 武藤恭之 (工学院大学), 本田充彦 (岡山理科大学)

原始惑星系円盤のダスト特性(サイズや空隙率)を観測的に調べることは、ダストから微惑星に至る過程を理解する上で重要である。SPICA 望遠鏡に搭載される観測装置 B-POP により、原始惑星系円盤の遠赤外線偏光観測が可能となる。原始惑星系円盤の遠赤外線偏光の起源の一つとして、ダストによる自己散乱が期待されている。自己散乱はダストによって円盤の熱放射が散乱される現象であり、ダスト特性に強く依存する。そのため、自己散乱由来の偏光を観測することはダスト特性を解明する強力なツールとなる。

本研究では、ダスト特性が遠赤外線での自己散乱に及ぼす影響を明らかにするために、原始惑星系円盤の3次元輻射輸送計算を実行した。まず、空隙が無いダストの場合、観測波長の波数と最大ダスト半径の積が1程度のときに自己散乱による偏光度が最大となることを確認した。この結果は、ミリ波帯域で知られている自己散乱の性質と整合的である。次に、ダストの空隙率が自己散乱に与える影響を調べた。その結果、ダストの空隙は偏光度の波長依存性を弱める効果があることを示した。さらに、SPICA 望遠鏡から ALMA 望遠鏡にかけた広波長範囲での偏光観測から、円盤ダストの空隙の有無を検証できる可能性があることを明らかにした。最後に、SPICA/B-POP による自己散乱由来の遠赤外線偏光の検出可能性を検討した。SPICA 望遠鏡では円盤を空間分解することは困難であるため、円盤の軌道傾斜角が検出可能性を左右する。Face-on の円盤の場合、偏光パターンの対称性から偏光情報は空間的に相殺し、偏光の検出は困難である。しかし、例えば 60 度傾いた円盤であれば、偏光角は円盤の短軸方向に概ね平行となり、円盤を空間分解しなくとも 1-2% 程度の偏光度が期待できることがわかった。この偏光度は、Herbig Ae 星周りの円盤であれば十分に SPICA/B-POP による検出が期待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](#)

Z224a SPICA の水輝線観測が明らかにする原始惑星系円盤の熱・力学構造

森昇志 (東京大学), 奥住聡 (東京工業大学), Xuening Bai (清華大学), 相川祐理 (東京大学), 野津翔太 (Leiden University), 中川貴雄 (ISAS/JAXA), 野村英子 (国立天文台), 本田充彦 (岡山理科大学), SPICA サイエンス検討会惑星形成班

原始惑星系円盤は惑星が誕生する現場であり、円盤構造を知ることが惑星形成過程を理解する鍵である。次世代赤外線天文衛星 SPICA では、円盤から放射される水輝線を高分散分光観測することで H₂O スノーライン (以下、スノーライン) の位置を同定する。スノーラインは水の昇華凝縮温度に対応する円盤半径であり、形成後の惑星を特徴付ける重要な要素である。これまで数多くの惑星形成の理論研究でスノーラインの位置が計算されてきたが、依然として不定性が大きい。古典的には円盤モデルでは、円盤内の乱流が円盤降着を駆動し、降着時に発生したエネルギーを熱に変換する (降着加熱)。この加熱機構は光学的に厚い円盤内部に熱を放出するため、効率よく円盤を加熱する。一方で近年の磁気流体数値計算からは、乱流源として期待されていた不安定 (磁気回転不安定) は十分に発達せず、円盤は層流であることが示唆された。我々はそのような層流円盤の加熱過程を調べ、降着加熱が非効率であることを示した (Mori et al., 2019)。このようにスノーラインの位置は円盤の加熱機構や降着機構を反映している。SPICA によってスノーラインの位置が同定あるいは制約されることで、どのような加熱機構でスノーラインの位置が決まっているか、さらには何が円盤進化を駆動しているかを知る手がかりとなる。

本発表では、我々が行った非理想磁気流体計算に基づき新たな円盤温度モデルを構築し、スノーラインが古典的な乱流円盤に比べてどれほど変わりうるかを示す。また両モデルを見分ける上で適切な天体の特徴を示す。さらには SPICA のスノーライン同定精度に基づき、どれ程の精度で円盤モデルが制約され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](#)

Z225b 様々な物理量を考慮した原始惑星系円盤モデル計算と、SPICA 高分散分光観測による H₂O スノーライン位置同定の可能性検討

野津翔太 (Leiden University), 野村英子 (国立天文台), Stefano Antonellini (Queen's University Belfast), Inga Kamp (University of Groningen), 森昇志 (東京大学), 本田充彦 (岡山理科大学), 中川貴雄 (ISAS/JAXA), SPICA サイエンス検討会惑星形成班

原始惑星系円盤 (以下、'円盤') 内の H₂O スノーラインの位置を観測的に同定する事は、微惑星・惑星形成過程や、地球上の水の起源を考える上で極めて重要である。これまで我々は、円盤の化学反応計算と放射輸送計算の手法を用いて、水輝線プロファイルの観測から円盤内の H₂O スノーライン位置を同定する方法を調べてきた (Notsu et al. 2016, 2017, 2018, 2019)。その結果、アインシュタイン A 係数 (放射係数) が小さく ($\sim 10^{-6} - 10^{-3} \text{ s}^{-1}$) 励起エネルギーが比較的高い ($\sim 1000\text{K}$) 輝線のプロファイルを高分散分光観測で調べる事で、円盤赤道面の H₂O スノーラインの位置を同定できる可能性がある事、そしてこの様な特徴を持つ水輝線が中間赤外線からサブミリ波までの幅広い波長帯に多数存在する事が分かった。更にその強度は波長が短い程大きい為、Herbig Ae 星を中心に数天体程度の観測が期待される ALMA と比較し、SPICA では T Tauri 星も含めより小さな中心星質量・遠い距離の天体に対してもこの様な水輝線観測を実施し、H₂O スノーライン位置の進化について統計的な議論を行える可能性等が示された。最近では新たに物理量 (中心星光度、円盤質量、ガス・ダスト比、ダストサイズ分布等) を様々に変えた円盤モデル (Antonellini et al. 2015, 2016 を拡張) の元で、水輝線のフラックス値や放射領域の変化を調べる等、SPICA/SMI-HRS・SAFARI/HR 等での観測可能性に関して詳細な議論を実施している。本発表では水輝線を用いた H₂O スノーライン位置同定観測の概要を述べた上で、上記の計算・議論の内容を紹介する。

[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](#)

Z226b H₂O スノーライン検出を目指す SPICA 高分散分光観測観測シミュレーション

中川貴雄, 前嶋宏志, 松本光生, 和田武彦, 磯部直樹, 石原大助 (ISAS/JAXA), 野津翔太 (Leiden Univ.), 森昇志 (東京大学), 野村英子 (国立天文台), Inga Kamp (Univ. of Groningen), 本田充彦 (岡山理科大学), 平原靖大, 金田英宏 (名古屋大学), SPICA SMI チーム

惑星系の構成の構築には、水の凝縮境界領域に相当する H₂O スノーラインが重要な役割を荷っている。しかし、その位置の理論的予測にはまだ不定性が大きい (本年会における森らの講演)。したがって、スノーライン位置を観測的に決めることは、惑星系形成理解のための重要課題である。本講演では、原始惑星系円盤における H₂O スノーラインを、SPICA による中間赤外線高分散分光観測で観測するための要求とその実現性について議論する。

原始惑星系円盤においてスノーラインを検出するためには、中心星からの放射の影響を受ける円盤表面ではなく、H₂O の凝縮が起こる円盤赤道面付近における H₂O の分布を調べる必要がある。野津ら (本年会講演) は、アインシュタイン A 係数 (放射係数) が小さく ($\sim 10^{-6} - 10^{-3} \text{ s}^{-1}$)、励起エネルギーが比較的高い ($\sim 1000 \text{ K}$) H₂O 輝線を用いることにより、円盤赤道面付近での H₂O が観測できることを、理論計算により示した。

円盤赤道面付近でのガス運動の主要成分がケプラー回転であるとすると、ガス輝線の視線速度観測から、H₂O ガスの分布、そしてスノーラインの位置を同定できると期待される。その実現可能性を、観測シミュレーションにより検討した。スノーライン近傍でのガスの運動速度 (v_{gas}) は、中心星の質量を M とすると、 $v_{\text{gas}} \sim 15 \text{ km/s} (M/M_{\odot})^{-1/4}$ 程度になると予想される。この速度成分を同定するためには、 $R = \lambda/\Delta\lambda \geq 25,000$ の波長分解能、および波長方向にナイキスト・サンプリングの 1.5 倍以上のサンプリングを持つことが必要であることが分かった。これらの条件は、SPICA 搭載観測装置 SMI の高分散分光チャンネル (HR) で実現される見込みである。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Z227b SPICA で探るデブリ円盤の進化と太陽系の起源

石原大助 (ISAS/JAXA), 金田英宏, 小林浩, 犬塚修一郎, (名古屋大学), 尾中敬 (明星大学), 大坪貴文 (ISAS/JAXA), 藤原英明 (国立天文台), 永山貴宏 (鹿児島大学)

デブリ円盤は、主系列星が持つダスト円盤である。円盤のダストは、主に、惑星の始原天体が衝突を繰り返す過程で軌道に撒き散らされた物と考えられており、惑星系の成り立ちと惑星系を構成する物質に対して、重要な手掛かりを持つ。これまでに、IRAS や Spitzer 等の赤外線天文衛星により、数百のサンプルが得られ、「あかり」全天サーベイに基づく探査と、すばる望遠鏡による追観測によって、存在する鉱物の多様性や惑星系形成後期の過程が明らかになってきた。一方、我々の太陽系にも、黄道光雲と呼ばれる淡いダスト円盤が存在し、「あかり」観測から、ダストの組成や空間分布の理解が進んでいる。ただし黄道光雲は、既存のデブリ円盤のサンプルよりも 100 倍以上暗く、太陽系をデブリ円盤進化の枠組みで議論するには、このギャップを埋める淡い円盤のサンプルが必要である。

SPICA の中間赤外線観測装置 (SMI) は、波長 17-36 μm 帯の分光機能を有する。星にダスト円盤がある場合は赤外スペクトルの形状が光球からずれることを利用し、太陽系レベル相当の淡いダスト円盤までを探索する。また、炭酸塩・水氷・含水珪酸塩等、この波長域にフィーチャーを持つ、バイオマーカーとなり得る鉱物の研究も期待される。高いサーベイ効率によって、例えば系外銀河のサーベイの副産物として、 $\sim 20,000$ 天体の主系列星サンプルが得られ、環境の異なる星団のサーベイも行うことで、惑星系の進化過程・構成する物質の、環境依存性の議論も可能となる。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Z228c SPICA による原始惑星系円盤からの複雑な有機分子輝線の観測予測 2

野村英子 (NAOJ), Chen-En Wei (東工大), C. Walsh (リーズ大学), T.J. Millar (QUB)

原始惑星系円盤は惑星系形成の母胎であり、円盤内での物質進化を経て、太陽系や太陽系外の惑星系の物質が生成されたと考えられる。近年 ALMA 観測により、原始惑星系円盤より複雑な有機分子を含む、様々な分子輝線が観測されている。CH₃OH や CH₃CN といった複雑な有機分子は、円盤外縁部の低温領域で観測されており、ダスト表面における水素付加反応により生成された分子が非熱的な過程により気相に脱離したものを観測したと考えられている。

我々は、円盤物理構造モデルにもとづきダスト表面反応も含めた化学反応計算を行い、円盤中の複雑な有機分子生成過程を調べた。さらにその結果得られた円盤内の分子分布を用いて分子輝線の輻射輸送計算を行い、Herbig Ae 型星まわりの円盤から遠赤外線波長 ($\sim 100 - 200 \mu\text{m}$) で放射される CH₃OH 輝線が、SPICA/SAFARI により検出可能であることを示した (2019 年秋季年会 P219b)。これらの分子輝線は、ハーシェル宇宙天文台を用いて大質量星形成領域において検出されており、ハーシェルに比べて 2 桁ほど高い感度を持つ SPICA では、中質量星周囲の円盤からの放射の検出可能となると期待される。一方で ALMA では、CH₃OH 以外にも HC₃N, CH₃CN, HCOOH, H₂CS といった分子が原始惑星系円盤より観測されている。これらの分子は、SPICA/SMI や SAFARI で観測可能な中間赤外線、遠赤外線の波長帯にも遷移線を持っており、SPICA での検出可能性が期待される。中間・遠赤外線の波長帯では、励起エネルギーが高く、円盤内縁の高温領域をトレースする輝線が検出可能となる。本ポスターでは、ALMA で観測可能な低温領域と、SPICA により観測可能な高温領域の複雑な有機分子の組成分布を比較し、低温領域および暖かな領域におけるダスト表面反応の違いの検証法を議論する。

[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](#)

Z229a 宇宙赤外線望遠鏡 SPICA による分子雲磁場の観測と星形成機構

島尻芳人 (NAOJ)、SPICA サイエンス検討会 星形成・星間媒質班

SPICA は、日欧共同で開発が進められている、2027 年頃打ち上げ予定の口径 2.5m の宇宙赤外線望遠鏡であり、中間赤外線観測装置 SMI・遠赤外線観測装置 SAFARI・遠外線偏光観測装置 B-BOP の 3 台の高感度な観測装置が搭載される予定である。

我々、星形成・星間媒質班では、分子雲の大局的性質 (10–100 pc) から円盤やその周辺ガス (<0.1 pc) といった分子雲から星への各過程および星の最後から星間物質への過程といった星形成に関連する分野の SPICA によるサイエンスケースを検討してきた。これまでの偏波観測では、宇宙赤外線望遠鏡 PLANCK では、広域観測は可能であるが、空間分解能が ~10 分角と低く、SCUBA2-pol (850 μ m)/JCMT など地上望遠鏡に搭載された偏波カメラでは、空間分解能が ~8 秒角と高いが、数分角以上の広がった構造の emission を再現できないという問題点があった。しかし、SPICA に搭載される遠赤外線偏光装置 B-POP (Magnetic field explorer with Bolometric Polarimeter) を用いることで、9 秒角から 32 秒角の空間分解能で、高密度領域から低密度領域 ($A_V \sim 0.5$ mag) における広域の磁場構造を明らかにすることができる。他の観測装置にはない、この B-POP/SPICA の利点を生かすことで、より正確な分子雲コアの物理状態の解明やフィラメントの形成過程の解明が期待される。本講演では、SPICA に搭載される偏光装置 B-BOP を用いた観測によるサイエンスケース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](#)

Z230a SPICA で探る超新星爆発でのダストの形成と破壊

野沢貴也、守屋堯 (国立天文台)

重力崩壊型超新星は、宇宙初期から現在にかけての星間ダストの重要な供給源と考えられている。しかしながら、爆発時に放出されたガス中でのダストの形成過程およびそれらが星間空間へ放出されるまでの物理過程の詳細は、観測的に未解明な部分が多い。特に、爆発によって膨張・冷却するガス中で「いつダストが形成されるのか」、また「形成されたダストのどれほどの割合がリヴァースショックによって破壊されずに星間空間に放出されるのか」については、未だ論争中の大問題となっている。

本講演では、SPICA が切り拓く超新星でのダストの形成・破壊のサイエンスとして、上記二つの問題に焦点を当てて議論する。まず一つ目の「ダストの形成時期」の問題は、近傍銀河で起こった爆発後 20 年以内の超新星を SPICA の FIR 装置で観測し、形成された低温のダスト量を見積もることで解決できる。このような観測は、大マゼラン雲で起こった SN 1987A を除いて Herschel の感度では成し遂げられなかったものであり、それゆえ SPICA によって初めて超新星ダストの形成時期・形成量の統計的な議論が可能となる。一方二つ目の「ダストの破壊」の問題については、その不定性の主要な原因がダストの破壊効率にあることから、まずは高温ガス中でのダストの破壊効率を観測的に決定する必要がある。そこで、SPICA の MIR 装置によって爆発後 100 年以内の若い超新星残骸を観測し、今まさにフォワードショックで掃かれている星周ダストからの熱放射を捉え、その組成・サイズ・量や温度の解析からダストの破壊効率を決定する。またこの観測から、大質量星の質量放出史や星周ダストによる爆発前の星の減光量を推定できるため、爆発時の星の質量、特に超新星爆発を引き起こす赤色超巨星の質量の上限値や高光度青色変光星 (LBVs) の典型的質量について重要な示唆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](#)

Z231b SPICA で探る分子雲の多相構造

岩崎一成 (国立天文台)

星形成を明らかにするためには、その現場である分子雲がどのように形成され進化するのかを明らかにする必要があります。そこで我々は化学反応と輻射輸送 (光線追跡)・加熱冷却過程・自己重力といった粗過程を考慮した 3 次元磁気流体シミュレーションを用いて、原子ガスから分子雲への相転移過程を調べてきた (Inoue & Inutsuka 2012, Iwasaki et al. 2019)。その結果、分子雲は星形成理論でよく仮定されるような等温一相ガスではなく、その周囲に温かいガスが存在していることがわかった。さらに温かいガスがもつ運動エネルギーは、CO が形成される高密度ガスがもつ運動エネルギーよりも十分大きく、分子雲の動力学には温かいガスが重要な役割を果たしていることを明らかにした。このことは CO など高密度部しかトレースできない分子輝線での情報だけでは分子雲の動力学の全貌を明らかにできないことを示している。これまで温かいガスが存在する兆候を示す観測結果が報告されている (e.g., Gry et al. 2002, Goldsmith et al. 2010, Larson et al. 2015) が、温かいガスの空間分布と速度構造などの詳細な情報は得られていない。そこで、本研究では、温かいガスの中にも水素分子が多く存在していることに着目し、SPICA を用いた水素分子回転輝線の検出可能性を検討した結果について発表する。また HD 輝線の観測可能性についても議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Z232b SPICA による分子性固体の遠赤外領域観測で展開するサイエンスの検討

日高 宏 (北大 低温研)

分子雲や原始惑星系円盤内には、星間塵という微粒子が存在している。この微粒子はケイ酸塩鉱物等のみで構成されているわけではなく、特に低温領域では H_2O を主成分とした比較的蒸発温度の低い様々な分子によって構成される氷マントル層を持つ。この、水素結合やファンデルワースル結合等でできている柔らかい固体 (分子性固体) の層は、存在している低温領域において気相分子の吸着や塵表面での化学反応により生成される。よって、その成分は微粒子の存在する環境に強く依存する。また、この分子性固体は結晶化温度も低く、低温領域であっても、温度変化による相変化が顕著に表れるという特徴を持つ。そこで、上記のような特徴をもつ分子性固体を対象とした遠赤外領域観測により展開するサイエンスについて検討した。講演では検討結果について議論する。

1. 「氷 XI の検出」: 氷 Ih において水素原子位置も秩序化した、低温・常圧下における安定な相構造として氷 XI が知られている。この氷は、極性を持つ水分子が同じ配向を保っている結晶であるため強誘電性を示す。強誘電氷の存在は星間塵表面電位構造に影響を与えるため、塵の合体成長等に関わるサイエンスに重要な知見を与える。
2. 「氷星間塵の熱履歴の推定」: 星間塵氷マントル内には結晶化温度が異なる様々な分子種が存在するが、その中でも比較的存在量の多い水、アンモニアとメタノールの結晶性ピークを観測することにより、100K から 140K までの温度領域で星間塵の熱履歴推定を可能にする。
3. 「窒素固体の検出」: 分子雲内で窒素原子のリザーバーが何であるのか明らかではない。 N_2 がリザーバーとして期待されるが、気相 N_2 観測は困難である。固体 N_2 の遠赤外領域には非常に鋭い吸収ピークがあるため、 N_2 存在量の見積もりを実現するために検出を試みる。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Z233c SPICA で探る分子雲の磁場構造と星形成機構

井上剛志 (名古屋大学)

分子雲は星形成の現場であり、その構造の解明は星がどのように形成されるのかという天文学の中心課題と直接関係している。SPICA に搭載予定の偏光観測装置 B-BOP は、磁場に整列したダストによる熱放射の偏光方向を測定することによって、PLANCK の 10 倍以上の分解能で分子雲の磁場構造を観測することが可能である。本発表では、分子雲の磁場構造を観測することによって可能になる以下の 3 つの科学的な展望を紹介する。

(i) 分子雲の特に低密度領域における磁場構造を観測することによって分子雲の超音速乱流の正体を解明することが可能である。近年のシミュレーションと観測との比較によって、観測される分子雲の磁場強度は、シミュレーションの予想よりも大幅に強いことが知られている。SPICA によって高分解能で分子雲の低密度領域の磁場構造が明らかになれば、観測と理論の不一致を解消するアイデアの 1 つである、非等方乱流 (Inoue & Inutsuka 2012) を検証することができる。

(ii) 星形成と強く相関する分子雲の高密度領域はフィラメント形状であることが知られているが、その構造の起源については明らかになっていない。SPICA によってフィラメント内部の磁場の方向が測定できれば、Tomisaka (2014) で提唱されている統計的手法を応用することで分子雲フィラメントの起源に制限を加えることが可能である。

(iii) 近年、Inoue (2019) で予言されているように、RX J1713.7-3946 のような分子雲と相互作用する SNR では、Bell 不安定の成長によって分子雲表面の 0.1pc が磁気乱流状態になっていることが期待される。SPICA でこの磁場構造が観測されれば、宇宙線加速機構を担っているとも言える Bell 不安定が実証できることとなる。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Z301r 地震の歴史をまなぶー 歴史地震研究の現在

加納靖之 (東京大学)

過去に発生した地震のうち、歴史時代に発生したものを「歴史地震」とよび、これを対象としているのが「歴史地震学」となる。史料(歴史資料)を分析して地震に関する知見を得ることに着目して、「史料地震学」ということもある。考古学や地質学あるいは地形学などの知見から、歴史時代より前の地震について調べることもでき、それらも含め「古地震」と総称する。被害を生ずるような大地震の頻度は小さく、地震計などによる近代的観測の開始以前に発生した地震の様相を知ることは、地震そのものやその発生メカニズムを知り、将来の発生を予測するために重要である。地震が発生した際に過去の例を振り返ることは、近代以前から行われており、近代以降も地震学の一分野として研究が継続されている。歴史地震研究においては、地震動や津波、また、それらによる被害等の程度や分布を史料の記述から推定し、それを引き起こした地下での地震現象を明らかにする。その基盤として、地震に特化した史料集や、歴史地震のカタログが編集、刊行され、研究に供されてきた。そして、新たな史料の発見や、既知の史料の再分析、あるいは現代の地震学の知見の適用により、歴史地震についてより正確で詳細、精密な理解をすすめる段階となっており、歴史学をはじめとする関連する諸分野の研究者との連携がますます必要となってきた。

本発表では、関連するデータベースの電子化、オープン化、市民の参加を得て史料を解読する「みんなで翻刻」、地震学、天文学、気象学・気候学などと歴史学との協働を目指す「歴史学×地球惑星科学」などのプロジェクトや、「歴史ビッグデータ」や「タイムマシン」といったキーワードにも触れながら、歴史地震研究の現在について報告する。

[スケジュール\(セッション毎\)に戻る](#)

[スケジュール\(全体\)に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Z302a オープンサイエンス/シチズンサイエンスの前史としてのアマチュア天文学

玉澤春史 (京都市立芸術大学/京都大学)

研究プロセスの様々な段階をオープンにすることで新たな参加者を呼びこみ新たな価値を生もうとする運動である「オープンサイエンス」は科学技術政策でも重要視されるようになってきている。そのなかでも職業的研究者だけでなく一般市民も巻き込んだかたちで研究を進める「シチズンサイエンス」は研究のあらたな形式として注目されている。

世界的に見てもアマチュア観測家との連携や「Galaxy Zoo」による大規模調査など、以前よりオープンサイエンスにおける市民参加の優等生として天文学がしばしば登場している。2019年11月より国立天文台で新たなシチズンサイエンスのプロジェクトである「Galaxy Cruise」が開始するなど、日本の天文学コミュニティもその一翼を担っている。一方でオープンサイエンスにおけるシチズンサイエンスには様々な分野からの市民参加型研究が内包されており、その目的は各分野での市民参加がどのような役割を担ってきたかによってだいぶ違う。天文学におけるアマチュア天文学者との連携は Haklay(2013) の分類における「徹底した市民科学」により近いものであるが、その背景を探るには天文学研究の担い手としての職業専門家以外の天文学参加者がどのように育成されてきたかをシチズンサイエンスの歴史として他分野とも比較してとらえなおす必要がある。

[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](#)

Z303a 長野県のア天史料調査

陶山徹 (長野市立博物館)

長野県では、2019 年から「長野県は宇宙県」の活動として、長野県天文文化研究会を発足し、長野県の近世から現代にかけての天史の研究を進めている。

近世天史については、科研費「江戸のモノづくり」(平成 14~17 年度)で長野県内の科学史関連史料の調査が進められた。

しかし、個々の資料の内容については、いまだ不明な点が多く、詳細な調査が必要である。

近代天史で扱うべきテーマとして、長野県内のアマチュア天文家の活躍を考えている。

1920 年代に三澤勝衛と田中静人は、継続的な太陽観測を始めている。彼らの観測は、日本の太陽観測の嚆矢であり、近代天史において重要な位置を占めている。

本発表では、上で述べたような、長野県内の天史料調査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](#)

Z304a 「長野県は宇宙県」と近代天史

大西浩次(国立長野高専), 衣笠健三(国立天文台野辺山), 青木 勉(東大木曾観測所), 陶山 徹(長野市博物館), 「長野県は宇宙県」連絡協議会, 「長野県は宇宙県」天文文化研究会

いま、「長野県は宇宙県」を合言葉として、長野県がもつ星空の資産・魅力を広く伝えていく活動が行われている。この活動の1つとして、天文文化研究会(陶山徹, 本発表)を発足させ、長野県内外の天史に焦点を当てた調査研究が始まっている。このテーマの一つとして、近現代を中心とした天史をフィールドワークやインタビューなどを通して調査研究する計画について紹介する。ここでのキーポイントは、諏訪天文同好会である。諏訪天文同好会が1922年に設立されたきっかけは、山本一清による天文同好会(1920)の支部として、1921年に諏訪支部(三澤勝衛)が出来たことにある。このとき、会費を払うことができない子供たちを集めて、市民の天文同好会として誕生したのである。この諏訪天文同好会は、関西派(花山天文台, 山本一清)と関東派(東京天文台, 神田茂)との交流を深め、日本における近代天史の黎明期から発展期に至るまで強い相互作用を及ぼしてきた。

活動の内容も初期の観測的研究から、60年代後半の日本初の自然トラスト運動、天文普及活動に至るまで、常に近代日本の天史・天文教育史の現場にあった。いま、「長野県は宇宙県」として、諏訪天文同好会史を基軸に、多くの天文研究施設(東大木曾観測所, 国立天文台野辺山など)ができるに至った経緯や、市民への普及活動・トラスト運動が後世に与えた影響などの調査を行っている。この調査では、「長野県は宇宙県」に関わる多くの研究者やアマチュア天文家などの力を結集させる。こうして、近代天史をフィールドワークや関係者へのインタビューなどをもとに振り返り、市民が天文「学」の進展にどの様に関わったか、市民が天文「普及」にどの様に関わってきたのかを、これから約2年間で明らかにしてゆきたい。

[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](#)

Z305a 水沢の歌にみる緯度観測所と木村栄

馬場幸栄 (一橋大学)

岩手県水沢の緯度観測所 (明治 32 年 - 昭和 63 年、現・国立天文台水沢 VLBI 観測所) およびその初代所長・木村栄 (在職: 明治 32 年 - 昭和 16 年) は地域の人々から親しまれ敬愛されていた。そのことは彼の地で愛唱された幾つかの歌からもうかがえる。たとえば水沢高等女学校 (大正 15 - 昭和 23 年、現・水沢高等学校) の校歌『岩手県立水沢高等女学校校歌』は、第 1 番の歌詞が「旭日の国の東北 北緯三十九度八分 世界を通じてただ三つ 緯度観測のあるところ…」から始まり、第 2 番の歌詞も「経と緯とより世の位置の 定まる如く…」から始まる。また、水沢町長の肝いりで作られた郷土民謡『水沢小唄』第 6 番の歌詞にも「緯度を測るよ コリヤサ 世界に三所サ ソリヤサ 木村博士の功は高いナア Z 項…」とあり、緯度観測所の国際的な活動や「Z 項」を発見した木村栄の学術的功績が水沢の人々から郷土の誉れとして讃えられていたことがわかる。文献、絵画、写真、レコード、CD および水沢の人々の証言などから、『水沢高等女学校校歌』と『水沢小唄』の歌詞やその背景について報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Z306a 「時の記念日」と東京天文台

井上毅 (明石市立天文科学館)

6 月 10 日は「時の記念日」である。時の記念日は 1920 (大正 9) 年に東京教育博物館 (現国立科学博物館) で開催された「時」展覧会が契機となり誕生した。「時」展覧会では、東京天文台や通信博物館等の機関や個人などから出品された時に関する多くの資料を展示され、約 22 万人の来館者があった。会期中に時間励行の呼びかけを行うことになり、天智天皇による日本最初の報時の日 (671 年 6 月 10 日) を時の記念日と呼ぶことになった。当日には、正午に東京中の鐘が一斉に鳴らされたり、東京天文台の標準時計で東京各所の時計の時刻の正確さの調査が行われたりして、大きな話題になった。時の記念日や「時」展覧会の状況は天文月報 (1920 年第 13 巻 5 - 8 号) で詳しく紹介されている。「時」展覧会の出品物は関東大震災や戦災を経て大半の資料の所在は不明であるが、調査の結果、国立天文台天文情報センターには東京天文台からの出品物と考えられる暦資料 9 点の他、経緯儀など当時の出品物である可能性が高い観測機器を確認した。本発表では時の記念日の誕生に果たした東京天文台の役割と 2020 年「時の記念日 100 周年」企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](#)

Z307a 日本語の「小惑星」の起源

白井 文彦 (神戸大学)

小惑星は 1801 年に Giuseppe Piazzi によって発見され、200 年以上が経過した現在では 80 万個以上の存在が知られている。英語の “asteroid” という単語は、移動天体でありながら 19 世紀当時の最大級の望遠鏡を持ってしても惑星のように空間分解して見えない (恒星状の) 点源であるという見た目の特徴から名付けられている (Herschel 1802)。発見者の Piazzi 自身は “planetoid” を提唱しているが (Piazzi 1802)、これはあまり広く使われていない。小惑星を意味する単語としては他に “minor planet” があるが、これは 1830 年代にイギリスで出版されていた航海年鑑 (Nautical Almanac and Astronomical Ephemeris) が初出だと言われている。

日本における小惑星の最初の知識は、江戸時代の蘭学者・儒学者によってもたらされたものである。例えば帆足万里 (1836) 『窮理通』には「設列斯星」(Ceres) や「把兒列斯星」(Pallas) の紹介があり、川本幸民 訳述 (1851-56) 『氣海観瀾廣義』には、「セレス、バルラス、ユノ、ヘスタ」として 4 つの小惑星の軌道やその起源についての記述も見られる。しかしこれらの天体を示すものとして「小惑星 (小遊星、小游星とも)」という単語は明治時代まで使われていなかったようである。

太陽系小天体として大きな割合を占めるのは彗星と小惑星である。この両者を区別するのはその見た目、すなわちコマや尾のような活動性の有無である。一方、近年では活動性を見せる小惑星 (メインベルト彗星、活動的小惑星) が発見されるようになり、彗星と小惑星の本質的な違いが議論されている。そのような科学的背景において、日本語の「小惑星」の起源を考えることは、探査や観測、物質分析において世界をリードする日本の小惑星科学分野の位置付けを考察する一助になるものと思われる。

[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](#)

Z308a 京都女子大学の望遠鏡を通して見た京都東山の天文

中尾真弓, 上田華穂, 林里沙子 (京都女子大学), 河村聡人 (京都大学), 道越秀吾, 水野義之 (京都女子大学)

京都女子大学は京都市の東山に位置し、約 110 年の歴史を持つ仏教系の女子大学である。その学部構成は主に文系ではあるが、その中で天文教育が漸続的に行われてきた。特に最近の発見は京都女子大学附属小学校の 20cm 反射望遠鏡にまつわる事柄である。この望遠鏡は、1976 年の附属小学校校舎の建て替え時に建築されたドームに設置されているが、その経緯は不明であった。関係者から京都大学花山天文台から移設された望遠鏡かもしれないという証言があったが、それを裏付ける証拠はなかった。そこで、我々はこの望遠鏡の設置された経緯の解明のため、各所へのインタビューと鏡の調査を行った。まず、銘板から西村製作所の 1964 年製の望遠鏡であることが判明し、望遠鏡作成時に作られる「製作控え」を調査した。製作控えには、望遠鏡の発注者は「京都女子大学上田先生」と書かれていた。総合的に考えて、京都大学花山天文台天文台の 2 代目の台長であり、台長退官後に京都女子大学に赴任した上田穰教授である可能性が高い。また、鏡の分解調査より、鏡自体は製作者「S.N.」によって 472 枚目 (1964 年製) に製作されたものであることが判明した。この「S.N.」なる人物については今なお調査中である。当発表においては、以上の調査より明らかとなった同じ東山に位置する花山天文台と京都女子大学の天文分野での関わりを議論する。

[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](#)

Z309c 木辺成麿和尚からみる仏の道と天文学

上田華穂, 林里沙子, 中尾真弓 (京都女子大学), 河村聡人 (京都大学), 道越秀吾, 水野義之 (京都女子大学)

京都女子大学は京都市の東山に位置する仏教系の女子大学であり、天文教育が断続的に行われてきたことがわかっている。その天文教育の中心となる京都女子大学附属小学校の 20cm 反射望遠鏡の由来を調べるなかで、京都女子大学の創設者である九条武子と鏡磨きの名人として名高い木辺成麿和尚との興味深い関係性も見えてきた。木辺成麿和尚は錦織寺の門主の家に生まれ、中学生のうちから京都大学花山天文台の技官であった中村要氏から鏡磨きの薫陶を受けた。後に多くの鏡を制作し、鏡制作の第一人者となったことは良く知られた歴史である。しかし、その背景にいた人々についてはあまり考察されていない。今回、木辺和尚の執筆文章を中心に幼少から青年期の木辺成麿の周囲の人々について調べた。特に目立った 3 名について述べる。木辺和尚を中村要に紹介したのは姉の夫であり、花山天文台の初代台長である山本一清の個人助手であった藤谷為隆であった。また、木辺成麿和尚の叔母である九条武子の夫、良致 (よしむね) は、義兄 (九条武子の兄) である大谷光瑞に勧められケンブリッジ大学に天文学を学びに留学している。しかしながら、在学中に天文学から法制経済学へ転向している。さらに錦織寺の長老には天文に造詣が深い人物がおり、木辺少年が天文へと進む後押しを行っている。この様に仏門の家とは言え、当時のアカデミズムを身近に感じる、決して保守的な環境ではなかったと思える。当発表は鏡磨きの名人木辺成麿和尚と、その背景に見え隠れする天文学に関係する人々を見比べ、当時の仏教と天文との関係性に新たな視点をもたらそうと試みるものである。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Z310a ハンセン病療養所・長島愛生園における天文および気象観測

磯部洋明 (京都市立芸術大学)

本発表では、国立ハンセン病療養所・長島愛生園において入所者らが行っていた天文観測および気象観測について報告する。ハンセン病とは、かつては「らい病」と呼ばれた感染症の一種で、患者とその家族は激しい差別を受けてきた歴史がある。日本では明治後期以降患者を強制的に隔離する政策が進んだ。隔離政策は、戦後もなく特効薬が普及してハンセン病が治る病気となった後も続き、「らい予防法」が廃止されたのは 1996 年のことであった。全国に全国に 10 数カ所あるハンセン病療養所には、様々な要因から療養所を出て社会復帰することがかなわなかった回復者の方々が今も住んでいる。

国立療養所の一つ、長島愛生園には、昭和 10 年から昭和 52 年頃にかけて気象観測所が設置されており、患者である入所者が気象観測を行い、そのデータは岡山地方気象台の正式なデータとして使われていた。さらにこの気象観測所には昭和 24 年から 30 年代にかけて天文台が設置されており、所員が黒点観測や星の掩蔽観測を行っていた。天文台設立のきっかけは、昭和 16 年に京都大学花山天文台の初代台長である山本一清が同園にて慰問公演を行ったことである。山本が遺した資料の中から、園の気象観測に携わっていた入所者から「今後私はこの島に一生を終る運命にあり、生をかけてこのこと (天文観測) をやりたい念願です」と天文観測にかける想いを述べた手紙が残っている。その後の戦況の悪化と戦後の窮乏期を経て天文台が設立された後は、彗星観測で知られる本田実が観測指導などを行った記録がある。発表では黒点観測などの記録や当時を知る入所者への聞き取りなどの結果も紹介する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Z311r 楔形文字史料から見るオーロラ現象

三津間康幸 (筑波大学)

アッカド語楔形文字で粘土板に書かれたアッシリア占星術レポートや『バビロン天文日誌』(以下 ADB) に記録される自然科学現象、主としてオーロラについての研究の展開を概観する。アッシリア占星術レポートは主として西暦紀元前 7 世紀にイラク北部のアッシリアや南部のバビロニアで作成され、当時両地域を支配していたアッシリア王に対し、観測された自然科学現象の占星術的な意味を説明する役割を果たした。1992 年に 567 枚の粘土板が、研究者に利用できるかたちで公表されている。その中には前 680 年代-前 650 年代に位置づけられるオーロラ様現象の記録が 3 点含まれている。ADB はバビロニアの中心都市バビロンで前 7 世紀から前 1 世紀にかけて作成され、天文、天候、バビロンを流れるユーフラテス河の水位の増減、オオムギや羊毛などの農畜産物の価格、歴史的な事件などを詳細に記録する。ADB の粘土板は大英博物館に 1500 枚ほど現存するが、これまでに公表されたのは 400 枚程度である。その中にはオーロラ様現象の記録が 9 点含まれ、そのうち 5 点については実際にオーロラを記録した可能性が高いと考えられる。講演者は 2 年間ロンドンに滞在し、未発表の ADB 粘土板のほとんどに加え、既発表の ADB 粘土板のかかなりの部分も調査し、それらの写真を撮影している。このような資料を用いてオーロラをはじめとする古代の自然科学現象の記録を新たに発見していくことが、講演者の今後の課題となる。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Z312a マウンダー極小期の太陽コロナ構造についての一試論

早川尚志 (大阪大学/ラザフォード・アップルトン研究所), Mike Lockwood (レディング大学), Mathew Owens (レディング大学), 相馬充 (国立天文台), Bruno Besser (オーストリア科学アカデミー), Lidia van Driel (UCL)

1645 年から 1715 年にかけて続いたマウンダー極小期は太陽活動が極端に丁重になった時期であると考えられ、当時の太陽の黒点や磁場について観測と理論の両面から闊達な議論が行われてきた [1-2]。その議論の中でも特に興味深いのが、マウンダー極小期当時の太陽のコロナ構造である。これについては通常の太陽周期の極小程度のものとする説 [3] と通常の極小期以上に太陽の磁場が弱まっているとする説が分立し [4]、マウンダー極小期における太陽活動の復元にあたっての重要な論点になっている。そこで本報告では、マウンダー極小期当時とその後の日食についての画像史料を提示し、当時の K コロナ、F コロナの見え方を検討し、当時の太陽磁場復元の手がかりとする。

[1] Eddy 1976, *Science*, 192, 1189. [2] Usoskin et al. 2015, *A&A*, 581, A95. [3] Svalgaard & Cliver 2007, *ApJL*, 661, L203. [4] Riley et al. 2015, *ApJ*, 802, 105.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Z313a 1788 年 10 月の宇宙天気現象

服部健太郎, 早川尚志 (大阪大学), 海老原祐輔 (京都大学)

極端宇宙天気現象の発生頻度は非常に低いため, 近代的な観測の開始以前にまで遡った研究が求められる。近代観測以前にあつては, 中・低緯度地域におけるオーロラの同時観測記録が, このような極端宇宙天気現象の同定において, しばしば重要になる。

今回の報告では 1788 年 10 月の宇宙天気現象 [1] を検討する。本報告ではこの現象時のオーロラ記録を広くスペインから日本に至るまで報告し, その検討から低緯度側境界を復元し, この現象の規模を推定する。またこの現象を同時代の黒点記録と比較し, より長期の太陽活動中に位置付ける。

[1] Harrison, G., 2005, *Astron. Geophys.*, 46, 4.31.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Z314a ベトナム史書の日食記事

岡崎 彰

ベトナムはかつて漢字文化圏にあり、残された史書には天文現象の記事が含まれている。そのうち、『大越史記全書』（『大越史記續編』も含む）の月食記事については以前に本年会（2014a）で発表した。その後、同史書、『越史略』、『大南寔録』の 3 史書に収められた（紀元前 3 世紀から 19 世紀までの）153 件の日食記事について、当時使われていた暦法との関係などに着目しながら考察を進めたので、その報告をする。

主な結果は以下のとおりである。(1) 10 世紀のベトナム独立以降の（『大南寔録・前編』を除く）日食記事 100 件の的中率（実際に日食が起きた割合）は、日食シミュレーションによれば平均して 71% であった。一方、紀元前の日食記事は、Ho Peng-Yoke (1964) が指摘したように中国の史書から写された可能性が高い。(2) 協紀暦が導入された 19 世紀初め以降の記事 28 件（『大南寔録・正編』）の日食記載率（実際に起きた日食のうち、記事が存在する割合）は 78% であり、それ以前の 20% 未満と比べて極端に高く、首都フエの平均的な日照率（41%）と比べても著しく高い。(3) 『大南寔録・前編』の日食記事 29 件（うち 4 件は『大越史記全書』の記事と重複）の的中率は平均して 31% と非常に低い。これは 17 世紀後半～18 世紀初めの的中率の極端な低下によるため、この時期には当地で使用されていた暦（広南阮氏の萬全暦）が同時期の黎朝の欽授暦と大きく食い違っていた。

日食の予報は 15 世紀初めには既に行われていたとの記載がある。全体として日食記事は「日食」「日有食之」という簡単な表記が多く、それらが実際に観測された結果を記したものなのか、暦計算に基づく予報を記したものなのかの識別が難しい。しかし、上記の (2) と (3) は、少なくとも『大南寔録』（阮朝 [広南阮氏の時代を含む] の正史) の日食記事については予報を記したものが多くを示唆している。

[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](#)

Z315a 天の力学から原子の力学へ:20世紀前半のハミルトン・ヤコビ理論の展開

中根美知代 (成城大学)

1834-5年に W.R. Hamilton が提唱した力学の理論は、C.G.J. Jacobi により数学的に整備され、1842-43年のケーニヒスベルグ大学での講義録『力学講義』としてまとめられた。これがハミルトン・ヤコビ理論の原形である。以降、天体力学で使われていく過程で、Hamilton と Jacobi の成果には含まれない概念や手法がこの理論に導入されていった。Poincaré の『天体力学の新しい方法』全3巻 (1892-1899) や『天体力学講義』全3巻 (1905-1910)、Charlier が著した『天の力学』全2巻 (1902/1907) に、19世紀の到達点が見られる。

拡張されたハミルトン・ヤコビ理論は、20世紀初頭に誕生した量子論に有用な数学的手法を提供した。Schwarzschild が Charlier が着想した作用・角変数という正準変数を導入して、シュタルク効果を説明したのはその一例である。作用変数は、Sommerfeld の量子条件や断熱不変量との関係から重視された。この時期の量子物理学者たちが参照したのは、Charlier の教科書だった。1919年、Sommerfeld は、『原子構造とスペクトル線』でハミルトン・ヤコビ理論を物理学者に教えなくてはならないと宣言した。

一方で、Born は、1923年頃から、さまざま原子・分子が持つ電子の動きを考察するために、多体問題の手法を適用しようとした。そして、Poincaré の『新しい方法』を参照し、ヘリウム原子の状態を説明することができた。Born はこの成果を教科書にまとめ、『天の力学』に対する『原子力学』(1925年)と題した。そこでは、Poincaré と Charlier の成果を踏まえて、正準変換を定式化しており、今日のハミルトン・ヤコビ理論の原形が示されている。現在の理論は、天体力学と前期量子論を結びつける過程から生まれたといえよう。

[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](#)

Z316r 近世日本の日記史料にみる天文認識－天文現象の記録化の意義と科学研究への活用に向けて－

岩橋清美 (国文学研究資料館)

日本近世社会においては、いわゆる「天文家」と称される人々のほかにも多くの人々が天文現象を書き残している。こうした多様な社会階層が天文現象を記述した史料に日記がある。そもそも日記は、近世文書主義社会の影響をうけて、職務上の必要性や家意識の上昇と相俟って記されるようになった。つまり、自己と自家の子孫のために書き残されるものなのである。日記には、彗星やオーロラといった天文現象が珍しい天変として記されることが多い。しかし、その記述内容は同じ天変でもあっても記録者により様々である。ここでは、大名・公家・寺社・庶民が書き残した日記の記述を紹介し、当時の人々の天文認識を、その背景にある知識・学問および社会集団との関わりから分析する。さらに史料から読みとれる当事者の視点と、それをを用いて科学研究を行う科学者の視点をどのように止揚していくべきなのかを考えてみたい。

[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](#)

Z317a 明和6年の彗星の記録について

藤原康徳（日本流星研究会）、岩橋清美（國學院大學・国文学研究資料館）

1769年8月8日（グレゴリオ暦）にフランスのメシエ（Charles Messier）が小望遠鏡（焦点距離：2フィート）を使って発見した彗星は、太陽と地球に接近して8月中旬には肉眼で見えるようになった（Kronk 1999）。日本国内にも多くの記録が残っている（大崎正次 1994）。我々は、今回、これらの記録の中からこの彗星を図にして記録されている史料を調査した。主として次の3点を紹介する。秀尹「星解」（松阪市蔵）、三歳図説竝寛宝以来実測図説（東北大学狩野文庫）と明和六年己丑彗星図説（日本学士院）である。「星解」には、当時の陰陽頭であった土御門泰邦や暦博士の幸徳井保高の勘申とともに土御門考図と幸徳井家考図と称する彗星のスケッチ図がそれぞれ1枚掲載されている。三歳図説竝寛宝以来実測図説では、7月23日から8月15日までの11日分の宿度と去極度で表した彗星の位置の記録とともに背景となる星（星座）を記入した1枚の図にその位置と尾の様子（長さ）がまとめて記入されている。明和六年己丑彗星図説では、7月28日から8月14日までの6日分の彗星の位置と尾の形状が、それぞれの日ごとに二十八宿距星の宿度線と赤道線が記入されている1枚の一種の部分的な星図に記録されている。これらの図付きの記録の性格や精度、及び3者の比較した結果について報告する。

[スケジュール（セッション毎）に戻る](#)

[スケジュール（全体）に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Z318a 麻田剛明和二年乙酉見行艸

平井正則（福岡教育大学）、岩見輝彦（国東市三浦梅園資料館）

18世紀江戸中期の自然哲学者三浦梅園（1723-1784）の旧宅改修工事中、襖の下張りから天文学者麻田剛立（1734-1799）自筆の暦草稿「明和二乙酉見行艸」が出現した。我々はこの草稿の来歴、内容を精査し、特に、記述の1763年（明和二年）2回の皆既月食の予報（推歩）を解析、天文学的評価を試みた。この草稿は麻田剛立が杵築藩士時代の最後の数年に行った月食推歩とその観測結果を加えて近在の三浦梅園に送った「見行草」と結論する。廃棄され、襖の下貼りとして出現したこの古文書とは観測重視の麻田剛立が、晩年に、若い時代の自筆観測結果・予報について、特に、数値データへの不満から弟子である三浦梅園の長男三浦黄鶴に数値の訂正を望み、最後には“破棄”の指示に至ったのではないかと推量する。日本を代表する幕府天文方暦作の発展に貢献した民間天文学者麻田剛立の波乱の研究履歴を明らかにするうえで重要な発見と考える。

[スケジュール（セッション毎）に戻る](#)

[スケジュール（全体）に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Z401r OISTER で実現したこと、いま目指すべき道

川端弘治 (広島大学)、関口和寛 (国立天文台)、山中雅之 (京都大学)、高橋幸弘、高木聖子 (北海道大学)、大朝由美子、宝田拓也 (埼玉大学)、土居守、諸隈智貴 (東京大学)、河合誠之、村田勝寛 (東京工業大学)、金田英宏、森鼻久美子 (名古屋大学)、柴田一成、長田哲也、野上大作 (京都大学)、伊藤洋一、高橋隼 (兵庫県立大学)、中岡竜也 (広島大学)、面高俊博、永山貴宏 (鹿児島大学)、泉浦秀幸、花山秀和、堀内貴史 (国立天文台)、他 OISTER コンソーシアム

2011 年度から発足した「大学間連携による光・赤外線天文学研究教育拠点のネットワーク構築」事業 (通称、OISTER) は、日本の大学と国立天文台が国内外 (北天・南天) に持つ中小口径望遠鏡を有機的に結び付け、突発天体等の即時観測や地球規模の連続観測網を構築して、大望遠鏡のみでは達成困難な最先端の時間領域天文学を推進すると共に、大学での教育研究の基盤強化を目指す取り組みである。発足当初は様々な試行錯誤があったものの、徐々に観測ネットワークが機能しはじめ、全地球的な可視近赤外観測、偏光や分光等の多モード観測を活かした変動天体の研究成果がコンスタントに挙がっている。

2017 年からは、同観測網を活用した最先端天文学の追究を掲げた第 2 期事業が開始され、大学の枠を越えた日米欧の重力波望遠鏡やニュートリノ観測所との連携によるマルチメッセンジャー天文学の推進にも力を注いでいる。その矢先の重力波イベント GW 170817 や高エネルギーニュートリノ事象 IceCube-170922A とその電磁波対応天体の発見は、当該分野の本格化が待たなしであることを覚醒させ、各大学における若手人材の育成をはじめ、本事業全体の活性化にも役立っている。現在、世界中で様々な観測網が動き出している。その中で本事業が目指す方向性や果たすべき役割について、これまでの実績を踏まえて議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Z402r OISTER と電波源突発現象とのシナジー

内山瑞穂, 杉山孝一郎 (国立天文台), 米倉覚則 (茨城大学), 藤沢健太 (山口大学)

突発現象天文学において多波長での同時連携観測は、母天体の特性や突発現象の原因を調べる上で、波長ごとの光度曲線の相違や遅延現象の有無を調査し、現象を包括的に理解するための重要な手段である。

本講演ではまずは電波観測による検出を端緒とする突発現象天文学について、その中でも近年観測が盛んに行われている電波レーザー源の爆発的増光現象についてその概要を述べる。非熱的放射であるレーザーはその増光現象のみでは母天体の特性や突発現象の原因を詳細に調べることは難しく、レーザーの VLBI 観測、電波連続波フォローアップ観測に加えて、光赤外での撮像・分光フォローアップ観測は重要な観測手段である。

特に電波レーザーの増光検出を起点とした多波長連携観測の成功例として、単一電波望遠鏡によるレーザーモニタリング観測、VLBI によるレーザー観測と、大口径望遠鏡による近赤外線分光追観測、そして大学望遠鏡 (Kanata/HONIR) による近赤外線撮像モニタリング観測によって大質量原始星での数年スケールの降着バースト現象を初特定した S255-NIRS3 (Fujisawa et al. 2015; Caratti o Garatti et al 2017; Uchiyama et al. 2019) のケースについて詳細に述べる。

また、今後の電波観測による検出を端緒とする突発現象天文学と OISTER とのシナジーにおいて期待されることや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](#)

Z403a 山口干渉計 YI による X 線連星 GRS1915+105 のフラックスモニター観測

藤沢健太, 青木貴弘, 穂本正徳, 新沼浩太郎 (山口大学)

X 線連星 GRS1915+105 は激しい X 線強度変動を示す天体であり、可視光・赤外線および電波でも様々な観測が行われている。電波観測では銀河系内天体として初めて超光速現象が観測されたマイクロクエーサーとして知られている。我々は山口干渉計 (YI) を用いた 8GHz 観測によって GRS1915+105 の電波強度変動観測を行った。モニター期間は 2019 年 2 月から約 1 年間である (観測は現在も継続中)。

GRS1915+105 は 1 年以上にわたる X 線の静穏期を経て、2019 年 5 月 15 日 (MJD 58618) に X 線でフレアが発生した。このフレア前の MJD 58550 前後に我々は電波での検出に成功し、8GHz のフラックス密度は 5mJy であった。フレア直後の MJD 58618 には電波のフラックス密度も約 100mJy に達し、また観測を行った 8 時間のうちに 40% の強度変動を示した。また、MJD 58637 にはフラックス密度は 600mJy に達した。興味深いことに、X 線フレアがほぼ終了した MJD 58650 以降でも電波強度は 100mJy を超えており、短時間の変動を示している。

山口干渉計および茨城 2 素子干渉計によって日本国内でも数 mJy の電波フラックス密度測定・モニターが可能となった。既に X 線は MAXI と、可視赤外線はかなた望遠鏡との同時観測を行っており、今後は多波長連携観測によってブラックホールのディスク・ジェット関係を研究する予定である。本研究は学生が自身で相関処理を実施する点、複数の大学の学生間同士で他波長観測をコーディネートする点にも特徴がある。大学間の連携によってこのような経験の場を提供できていることは、教育にとっても重要な意義がある。

[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](#)

Z404a 茨城 32-m 電波望遠鏡による 6.7 GHz メタノールメーザー源の単一鏡強度モニターを活用した突発現象天文学および大学教育

米倉 覚則, 齋藤 悠, 百瀬 宗武 (茨城大), 杉山 孝一郎 (国立天文台)

6.7 GHz メタノールメーザーは、大質量原始星のみに付随すると考えられており、下記茨城モニター観測により新検出された天体を含めてこれまでに 50 を超える天体が周期的な強度変動を示す事が明らかになった。さらに突発的に強度が変動するものも複数見つかった (Fujisawa 他 2015 ATel 8286 など)。

茨城大学では、国立天文台水沢 VLBI 観測所茨城観測局の 2 台の電波望遠鏡 (日立 32-m 電波望遠鏡、高萩 32-m 電波望遠鏡) を用いて、茨城にて観測可能な 6.7 GHz メタノールメーザー源全て (450 天体程度) に対する単一鏡モニター観測を 2012 年末より毎日実施している (Yonekura 他 2016, Sugiyama 他 2017, など)。2019 年 1 月には、強度が 1 ヶ月で 100 倍程度に上昇する現象を検出し、Astronomer's Telegram (ATel) に速報を流し (Sugiyama 他 2019, ATel 12446)、世界中の望遠鏡でフォローアップ観測が実施された (既に Breen 他 2019 [MOPRA 22-m 電波望遠鏡, ATCA を用いた観測], Brogan 他 2019 [SMA, ALMA], MacLeod 他 2019 [南アフリカ 26m 電波望遠鏡] などとして観測成果が査読付き論文にまとめられている)。また、世界中のメーザー観測者による任意団体 M2O (Maser Monitoring Organization) 内で観測結果を共有し、突発現象に対応可能なシステムを構築中である。

茨城大学では、1 日あたり 14 時間程度の観測を研究室の研究員・大学院生・学部 4 年生が分担し、観測実行・解析・突発現象などの発生の有無を確認している。このような体制を組む事により突発現象の早期検出が可能となっている。学部 4 年生の時点で世界中の研究者の動向を左右するような観測運用に携わる事により、大学院進学や研究者志向などのモチベーションの向上に役立っていると自負している。

[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](#)

Z405b 突発天体の即時分光を目指した IRSF 近赤外線分光器の開発

國生拓摩、古田拓也、石鉢卓也、森鼻久美子、金田英宏 (名古屋大学)、永山貴宏、浦郷隆、須藤順平、川本莉奈、速見由紀子 (鹿児島大学)、石原大助 (ISAS/JAXA)

IRSF は名古屋大学が南アフリカ天文台にて運用している 1.4 m 望遠鏡で、近赤外 3 バンド同時撮像カメラ SIRIUS による観測を行っている。これまで数々の突発天体のフォローアップ観測も行っており、現在、我々は新たに分光観測の体制を整えるため、鹿児島大学の協力のもと IRSF 近赤外線分光器の開発を進めている。本装置にはスリット周辺の $3' \times 4'$ の視野を撮像する J バンドスリットビューワーが搭載され、スリット周辺の星の位置から観測天体をスリットに素早く導入することができ、突発天体の即時分光に適している。また、波長分解能は数 100 と低いものの、光学面数が少ないため高いスループット (70%) を有し、小口径望遠鏡ながら深い限界等級を達成できる (17.9 等@波長 $1.2 \mu\text{m}$ 、点源、 $S/N = 10$ 、600 秒積分)。

本装置はすでに完成しており、2019 年 11 月現在、鹿児島大学の 1 m 望遠鏡にて試験観測を行っている。この試験では分光・スリットビューワーモジュールともに InGaAs アレイ検出器を用いて、波長 $1.0\text{--}1.6 \mu\text{m}$ の観測を行っている。標準星やミラ型変光星、激変星など様々な天体の分光観測を行うとともに、本装置の性能評価を行い、期待通りの性能を達成していることが確認された。IRSF 望遠鏡での観測は 2020 年中に開始する予定である。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Z406b 埼玉大学望遠鏡・装置制御系 “SaCRA システム” および 36cm 望遠鏡の改良

金井昂大、鶴澤由規、石岡千寛、宝田拓也、大朝由美子 (埼玉大学)、柴田吉輝 (埼玉大学/鉄道情報システム)、秋田谷洋 (広島大学)

埼玉大学には 55cm “SaCRA” 望遠鏡/可視三波長同時偏光撮像装置 “MuSaSHI”, 可視中分散分光器 “SuSanoO” と 36cm 望遠鏡/フィルターターレットと CCD カメラを制御する埼玉大学望遠鏡・観測装置制御系 “SaCRA システム” が構築され (柴田ほか 2017)、OISTER や J-GEM プロジェクト観測に貢献している。“SaCRA” 望遠鏡では三波長同時での撮像/偏光撮像および分光観測を行うことができ、36cm 望遠鏡ではフィルターターレットと SBIG STXL で最大 $36.4' \times 24.2'$ の広視野撮像ができる。

“SaCRA” 望遠鏡/“MuSaSHI” および 36cm 望遠鏡/CCD を用いると、太陽系外惑星のトランジット現象の 4 波長同時撮像観測や、36cm 望遠鏡での前主系列星の変光モニター観測と連携した “SaCRA” 望遠鏡での追分光観測が可能となる。しかし、36cm 望遠鏡には “SaCRA” 望遠鏡で実装されていた連続撮像やフォーカス調節のコマンド制御などの一部機能が無く、安定した観測ができていなかった。そこで、これらの機能を整備することによって “SaCRA” 望遠鏡と同期した連続撮像観測を行うことが可能になった。本年度は太陽系外惑星 HAT-P-20b などのトランジット現象に対して “SaCRA” 望遠鏡/“MuSaSHI” との 4 波長 (g',r,i,z) 同時撮像観測を行い、十分な精度で観測できることを確認できた。さらに、“SaCRA システム” の全天候カメラ “SkyCam” の制御システムの刷新など気象モジュールや観測ツールの整備・増加を行い、より充実した観測環境を整えることに成功した。

今後は観測のスケジュール化を行い、全天候カメラなどの気象条件から天候 (特に曇天) の判断など自動観測へ向けたさらなる機能の強化を図り、効率的な前主系列星の変光モニター観測の実施を目指す。

[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](#)

Z407b 光赤外線大学間連携における観測企画運営委員会の活動と有機的連携の実現

山中雅之, 野上大作 (京都大学), 秋田谷洋, 中岡竜也 (広島大学), 高木聖子 (北海道大学), 高橋隼 (兵庫県立大学), 宝田拓也 (埼玉大学) 永山貴宏 (鹿児島大学), 花山秀和, 堀内貴史, 前原裕之, 関口和寛 (国立天文台), 村田勝寛 (東京工業大学), 森鼻久美子 (名古屋大学), 諸隈智貴 (東京大学)

観測企画運営委員会 (WG) は、光・赤外線大学間連携事業参画機関に所属する研究者で構成される。本事業の命題である、即応的な連携観測による突発現象の解明や、教育に関する支援を実現させるため活動している。各委員は、柔軟な観測のために望遠鏡や装置の維持・運用を行っている。本事業においては、参画機関内の研究者を対象として、予期せぬ突発現象のための TOO 観測や、ある程度イベント発生時期を予期できる変動現象のためのキャンペーン観測を年 2 回程度公募している。観測検討会を開催し、集まった提案の内容を PI と観測者でしっかりと共有している。PI により観測が発動されれば、WG は直ちに観測の可否を判断し、各機関での速やかな観測を促す。観測報告は Slack で行われ、各委員は必要に応じてデータ解析を行う。また、その後の研究が円滑に進むよう進捗報告会を開催している。これらの活動の結果、第二期 (2017 年 4 月以降) においては 22 件もの観測が行われ、多くの観測研究が円滑に進みつつあり、幾つかは論文化される見込みがあると期待される。これを受けて WG は PASJ 特集号出版の検討を開始した。また、第二期よりマルチメッセンジャー天文学を推進しており、IceCube が検出した高エネルギーニュートリノに付随する活動的なブレーザーをかなた望遠鏡が発見 (IceCube collaboration et al. 2018, Science) するなど貢献を果たしている。また、WG では教育事業の一環として初心者向け IRAF 講習会と短期滞在実習を開催している。IRAF 講習会では、zoom を通して一次処理と開口測光を丁寧に指導している。アンケートの結果、9 割もの参加者から意義があったと賛同を得ている。

[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](#)

Z408b 光・赤外線天文学大学間連携による短期滞在実習プログラムの実施 (3)

大朝由美子 (埼玉大学), 高橋隼 (兵庫県立大学), 光・赤外線天文学大学間連携観測チーム

光・赤外線大学間連携事業では、2013 年度から、参加機関に所属する大学院生や若手研究者を対象とした短期滞在実習プログラムを実施している。本プログラムでは、自身の所属する大学/機関以外の望遠鏡や観測装置を利用した観測/解析、もしくは、観測装置/システムの開発に関わり、発展的に学ぶ機会を設けている。参加者は、それぞれの研究活動の発展やスキルアップを目的として、光赤外大学間連携の中の機関 (北海道大学, 埼玉大学, 名古屋大学, 京都大学, 兵庫県立大学, 広島大学, 鹿児島大学, 及び群馬県立ぐんま天文台) から滞在先を選択し、1 週間前後滞り、各自が設定したテーマに関する実践的な実習を受けることができる。「分光データ解析による研究を進めているが、自ら分光観測を行なって学びを深めたい」、「装置開発について専門の研究者から学びたい」などの要望を持った学生等の参加を想定しており、本プログラムによって、参加者の研究や視野の幅が広がり、研究が発展することが期待される。

第 1 期大学間連携では、4 年間で 16 件の滞在実習 (分光観測 5, 装置/システム開発 5, 偏光 3, 近赤外測光 2) が実施された。全大学で測光観測は可能なため、分光観測や装置/システム開発の要望が高いことが分かった。

2018 年度から始まった第 2 期大学間連携では、まず、新たな形態での教育事業として zoom を用いた初心者向け IRAF 講習会が実施された。一方、多人数を対象にした講習会のみでは対応し難い、個別的で多様な学習の要望があることも明らかになったため、2019 年度から短期滞在実習プログラムが再開された。2019 年度に実施された短期滞在実習プログラムには 4 件の応募があった。本講演では 2019 年度の実施内容について報告するとともに、今後の本プログラムのあり方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](#)

Z409b 光赤外線大学間連携の望遠鏡による X 線連星の可視光・近赤外線観測

村田 勝寛, 安達 稜, 細川 稜平, 白石 一輝, 大枝 幹, 谷津 陽一, 河合 誠之 (東京工業大学), 永山 貴宏 (鹿児島大学), 森鼻 久美子 (名古屋大学), 伊藤 亮介 (美星天文台), 志達めぐみ (愛媛大学), 山岸光義 (ISAS/JAXA), 杉田 聡司 (青山学院大学), MITSuME チームメンバー、光赤外線大学間連携メンバー

我々は、光赤外線大学間連携の望遠鏡群を用いて、X 線連星の可視光・近赤外線観測をおこなってきた。ブラックホール X 線連星 MAXI J1535–571 では、近赤外線 JHK_s バンドでの三色同時観測をおこない、X 線での発見から 15 日後に、数十秒の早い変動と数十分の遅い変動の二種類の短時間変動を検出した。早い変動の色は $A_V \sim 8-10$ のダスト減光で赤化した乗乗則のスペクトル放射に整合的であり、ジェットからのシンクロトロン放射が起源と考えられる。一方で、遅い変動は、降着円盤からの多温度黒体放射、または照射円盤放射に起因する可能性がある。ブラックホール X 線連星 MAXI J1820+070 では、可視光と X 線で約 24 Hz の高時間分解の同時観測をおこない、1 秒以下のラグをもった可視光・X 線変動を検出した (安達稜らの講演)。マイクロクェーサー GRS 1915+105 では、近赤外線 3 バンドでフレアを検出した (Murata et al., Atel #12769)。フレア変動の色から $A_V \sim 18$ で赤化したジェットのシンクロトロン放射が起源と考えられる。X 線連星 MAXI J1348-630 では、X 線でハード・ソフト中間状態からソフト状態への遷移で近赤外線で青くなることがわかった。色の変化は、状態遷移前後でのジェットからの放射の変化に起因すると考えられる。軟 X 線新星 MAXI J0637–430 では、X 線での発見から 12 日後に、対応天体の近赤外線での明るさをはじめて報告した (Murata et al., Atel #13292)。本講演では、これまでの観測結果、特に明るい X 線連星の結果を中心に報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Z410a せいめい望遠鏡に搭載する可視光高速測光分光器の概要と狙い

野上大作 (京都大学), 松場祐樹, 高木健吾, 川端弘治 (広島大学)

本講演では、せいめい望遠鏡の第 2 期観測装置として 2020 年度の中?後期の公開を目指して現在開発中である、高速測光分光器の概要と科学的な狙いを紹介する。

短いタイムスケールで変動する現象の物理を解明するためには、そのタイムスケールよりも短い時間間隔でデータを取得し、変動の様子を明らかにすることが本質的に重要な役割を果たす。「分」?「秒」程度のタイムスケールの変動現象は様々な場面で観測されてきたが、これまで詳細な観測、特に分光観測は難しかった。そこで我々は広島大学東広島天文台のかなた望遠鏡 (口径 1.5m) 用に可視光高速測光分光器を開発し運用していたが、この光学素子を流用し、新たに京都大学岡山天文台のせいめい望遠鏡 (口径 3.8m) 用の装置に作り変える。フィルターと分散素子を切り替えることで測光観測と分光観測を切り替え、測光観測用には視野 5 分角を確保し、分光観測用には波長分解能 $R=20$ と $R=150$ のモードを備え、可視光全域 (400-800nm) をカバーする。カメラには CMOS センサーを使用し、毎秒最大 100 フレームの読み出しを可能にする。

狙いとしては、M 型星のフレアを高速分光観測することによって、連続光の変化分を測定して熱的放射か非熱的放射かを調べ放射機構の確定を行なうこと、 $H\alpha$ の輝線プロファイルの変化を検出することでフレアに伴う放出物質の質量と速度を測定することを第 1 とする。また、ブラックホール X 線連星や激変星のアウトバースト時に観測される短時間変動を示す質量降着の解明、恒星の掩蔽現象を利用した太陽系内小天体の特性の解明など、光赤外線大学間連携での様々な観測に役立つものと期待している。

[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](#)

Z411a 東京大学アタカマ天文台 TAO 6.5m 望遠鏡による突発天体観測

土居守 (東京大学), 吉井讓 (東京大学, アリゾナ大学), 河野孝太郎, 宮田隆志, 田中培生, 本原顕太郎, 峰崎岳夫, 田辺俊彦, 酒向重行, 諸隈智貴, 廿日出文洋, 小西真広, 高橋英則, 青木勉, 征矢野隆夫, 樽沢賢一, 加藤夏子, 上塚貴史, 鮫島寛明, 浅野健太郎 (東京大学), 田村陽一 (名古屋大学), 越田進太郎 (国立天文台), 半田利弘 (鹿児島大学) 他 TAO メンバー

東京大学アタカマ天文台 (TAO) 6.5m 望遠鏡計画は、南米チリ共和国・アタカマ高地のチャナンートル山山頂 (標高 5640m) に口径 6.5m の光赤外線望遠鏡を設置して宇宙論から太陽系天体観測まで様々なスケールで最先端の研究を実施する。TAO 望遠鏡はナスミス焦点とベントカセグレン焦点を 2 つずつ有し、第三鏡の回転により装置の迅速な切替が可能である。高い大気透過率や遠隔/キュー観測による運用等とあわせ、突発天体観測に最適な望遠鏡の一つである。現在各ハードウェア・ソフトウェアの製造・最終試験が佳境に入り、各部品の輸送とサイト工事が進行中である。エンジニアリングファーストライトは 2020 年度を予定している。

本講演では、TAO 計画での突発天体観測について観測装置を中心に紹介する。すでに完成し、すばる望遠鏡での試験観測も無事に終えた近赤外線装置 SWIMS・中間赤外線装置 MIMIZUKU は中性子連星合体キロノバの同定や超新星・新星爆発におけるダスト生成、恒星間天体の組成分析などのサイエンスの展開が期待される。またファーストライト装置の一つとして近赤外中分散エッセル分光器 NICE のアップデート・輸送準備も進めるとともに、新しい可視・近赤外線面分光装置の開発も計画中である。TAO サイトの高い標高では、波長 0.3–0.4 μ m の U バンド帯での透過率も高く、突発天体研究は同装置で行うサイエンスの大きな柱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](#)

Z412a 木曾シュミット望遠鏡 Tomo-e Gozen 高頻度突発天体サーベイ

諸隈智貴 (東京大学), 富永望 (甲南大学), 田中雅臣 (東北大学), 前田啓一 (京都大学), 酒向重行, 大澤亮 (東京大学), Tomo-e Gozen Science Working Group メンバー

我々は、口径 105cm 木曾シュミット望遠鏡超広視野 CMOS カメラ Tomo-e Gozen (視野 20 平方度, 2019 年 4 月完成) を用いた高頻度突発天体探査観測を開始した。一晩に 7,000 平方度程度にわたる広い領域において同一領域を 3 回程度観測し、限界等級は 17.0–18.4 等 (フィルターなし, 10 σ , 月の phase に依存) である。0.5 秒積分を 12 枚連続取得することで 6 秒相当積分のデータに対して突発天体の探査を行っており、特に、少ないフレーム数において時間スケールの短い突発現象を探る際に問題となる宇宙線による突発天体の偽検出の影響の小さいデータとなっている。Pan-STARRS データとの引き算を行なった画像において天体検出を行い、主に (近傍) 系外銀河に付随した突発現象、特に爆発直後と考えられる急増光を示す超新星爆発を主なサイエンスターゲットとしている。観測スケジュールは巡回セールスマン問題に準ずるものとして 3 回以上の観測を行う領域面積を最大化するように最適化されている。また、サーベイ領域は銀河面・黄道面を含んでおり、銀河系内変光星や太陽系内天体に関連する変動現象の情報も同時に得られる。

本講演では、これまでに Tomo-e Gozen 高頻度突発天体サーベイで発見した突発天体の成果を示すとともに、サーベイデータの各種統計量についても紹介する。また、現在、外部からアクセス可能な web サーバに測光データを含む発見天体の情報をリアルタイムにアップロードする計画を進めている。

[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](#)

Z413a Tomo-e Gozen サーベイにおける画像認識を用いた突発天体検出

浜崎凌, 富永望 (甲南大学), 田中雅臣 (東北大学), 諸隈智貴, 大澤亮, 酒向重行 (東京大学), Tomo-e Gozen Science Working Group メンバー

東京大学木曾観測所では、直径 9 度の視野を持つ 105cm シュミット望遠鏡に 84 枚の CMOS センサ (合計視野 20 平方度) を搭載した可視光の広視野サーベイのプロジェクト「Tomo-e Gozen」が進行している。そのプロジェクトの一環として、毎晩数時間おきに夜空を巡回し観測することで超新星爆発の瞬間を狙っている。新しく撮影された画像に対して以前撮影された同じ領域の画像との差分をとることで、その時刻間で発生した突発天体を素早く見つけ出す。しかし実際には、差分処理に失敗した天体などの Artifact 天体も写ってしまい、超新星を含めたこれらの天体の数は一夜あたり $\sim 10^4$ 天体も検出される。

検出された天体の中から人の目による超新星の迅速な発見をサポートするために、画像認識の一手法である畳み込みニューラルネットワークによって超新星の候補を選出するシステムを開発した。分類性能の高い画像認識を行うには、Model に学習させる超新星の画像データを数万天体用意する必要がある。そこで、観測された恒星の画像から得た統計的な光の拡がりを用いて、超新星の画像データを人工的に作成し学習データとした。また、Model の評価には、既に報告されている突発天体のうち Tomo-e の視野内に入っていた天体と Artifact 天体を用いた。その結果、突発天体を 80% の割合で拾う場合 Artifact 天体を 3% (~ 600 天体) まで削減することに成功した。また、Model の分類性能は天体の信号対雑音比 (SNR) に依存しており、 SNR が高いほど分類性能が高いことが分かった。本講演では、突発天体検出システムの性能と、高 SNR の突発天体候補の自動アラートシステムに関して紹介する。

[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](#)

Z414a 木曾広視野高速カメラ Tomo-e Gozen による微小地球接近小惑星の探索

紅山仁, 酒向重行, 大澤亮, 諸隈智貴, 小林尚人 (東京大学), 奥村真一郎, 浦川聖太郎 (日本スペースガード協会), 吉川真, 柳沢俊史 (宇宙航空研究開発機構), 佐藤英貴 (東京警察病院), Tomo-e Gozen Science Working Group メンバー

小惑星の組成のサイズ分布は形成期の衝突・破壊等の歴史を反映しているため惑星形成史を知るための手がかりとなる。100 m 以下の微小小惑星は一枚岩小惑星であり大型のラブルパイル小惑星とは本質的に構造・性質が異なると考えられているが、暗いため観測が困難であり組成分布は十分に研究されていない。そこでメインベルト小惑星が軌道発展した地球接近小惑星 (Near Earth Object; 以下 NEO) を用いればこのような微小小惑星の組成のサイズ分布を解明することができる。しかし微小な NEO は明るい地球接近時にしか観測できず、見かけの速度が大きいため観測が困難である。実際に直径 10m 級 NEO のうち組成が求まっている天体は 10 数件しかない。

我々は東京大学木曾観測所 105 cm シュミット望遠鏡に搭載された Tomo-e Gozen カメラを用い、毎晩約 7,000 平方度の 2 Hz 動画観測データから微小 NEO の探索を行なっている。Tomo-e Gozen を用いた動画サーベイ観測では見かけの速度が大きい天体も効率よく発見することができる。機械学習を用いた移動天体検出アルゴリズムを用いることで、これまでに 3 個の直径 10 m 級の NEO の発見に成功している。本講演では Tomo-e Gozen による膨大な観測データの中から小惑星を検出する方法と現状について報告する。また他の望遠鏡と連携して即時分光観測または多色観測をすることにより微小小惑星の組成分布を明らかにする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](#)

Z415a Tomo-e Gozen サーベイを使った近傍重力マイクロレンズ探索

福井曉彦, 河原創 (東京大学), 鈴木大介 (JAXA), 越本直季 (東京大学/NASA), 大澤亮, 酒向重行 (東京大学), Tomo-e Gozen Science Working Group, MuSCAT チーム

手前の星 (レンズ星) の重力レンズ効果により背景の星が増光する現象 (重力マイクロレンズ現象) の観測から、レンズ星のまわりに存在する惑星 (系外惑星) を見つけることができる。一方、この現象は星が密集した領域ほど発生確率が高く、また探索の効率も上がるため、この手法を使った系外惑星探索はこれまで専ら銀河中心方向で行われてきた。しかし、銀河中心方向で発見される惑星系は地球からの距離が遠く (~ 数 kpc)、主星が暗いものが多いため、それらを後から詳細に観測 (例えば主星の分光観測) することは困難である。

一方、より近傍 (距離約 1kpc 以内) の恒星を対象にして重力マイクロレンズ探索を行えば、詳細観測が可能な近傍の惑星系を発見することができる。実際、2017 年に距離約 500pc の惑星系をレンズ天体とする重力マイクロレンズ現象が銀河中心と反対方向で偶然発見された。我々はそのような近傍重力マイクロレンズ現象を、木曾シュミット望遠鏡と広視野 CMOS カメラ Tomo-e Gozen を使った全天サーベイで得られる銀河面観測データの中から探索する計画を進めている。まず同サーベイから重力マイクロレンズのイベント候補を検出し、それらを国内外の中口径望遠鏡を使って即座に分光・測光フォローアップを行い重力マイクロレンズかどうかの判定を行うとともに、惑星由来の変光パターンを探索する計画である。

本講演では、この近傍重力マイクロレンズ探索計画について紹介するとともに、国内の中口径望遠鏡とのシナジーの可能性について議論する予定である。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Z416a MU レーダと Tomo-e Gozen による微光流星同時観測

大澤亮 (東京大学), 森田晃平, 阿部新助 (日本大学), Daniel Kastinen, Johan Kero (Swedish Institute of Space Physics), 藤原康徳 (総合研究大学院大学), 中村卓司, 西村耕司 (国立極地研究所), 酒向重行 (東京大学), 渡部潤一 (国立天文台), Tomo-e Gozen Science Working Group メンバー

太陽系は彗星や小惑星などによって絶えず生成される惑星間空間ダストによって満たされている。地球近傍に存在する惑星間空間ダストのうち質量がおおよそ 1mg 程度のダスト粒子の性質を調べるためには、地球大気に突入してきたダストが生じる流星現象を観測することが有効である。特にレーダと可視光による同時観測は、流星の明るさと運動を高い精度で求めることができ、ダスト粒子の組成やサイズ分布を制限するために重要である。しかしながら、これまでの研究では可視光観測の感度が不足しており、同時流星の十分な検出数やダスト質量のダイナミックレンジを確保することが難しかった。

本研究では 2018 年 4 月 18-21 日に京都大学生存圏研究所 Middle and Upper Atmosphere レーダ (MU レーダ) と東京大学木曾観測所の Tomo-e Gozen を用いて微光流星の同時観測を実行した。Tomo-e Gozen の 2Hz 動画観測では 10 等級よりも暗い微光流星まで検出できる。4 日間の観測で合計 226 個の同時流星を検出することに成功し、レーダ反射断面積と可視光の明るさの相関が先行研究と矛盾がないことをより大きいサンプル数とより広いダイナミックレンジで確認した。また、同時観測の結果を 2009 年から 2015 年に MU レーダで検出された流星に適用することで、 $-1.5-9.5$ mag の範囲で光度関数が傾き $r = 3.38 \pm 0.08$ のべき関数でよく近似できることを示した。本研究によって MU レーダと Tomo-e Gozen の連携は微光流星の性質を調べるうえで極めて有効であることを確認した。発表では結果の詳細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](#)

Z417a 重力波観測ラン O3 における J-GEM による電磁波対応天体探査

笹田真人 (広島大学)、吉田道利 (国立天文台)、田中雅臣 (東北大学)、富永望 (甲南大学)、諸隈智貴 (東京大学)、内海洋輔 (スタンフォード大学)、伊藤亮介 (美星天文台)、森鼻久美子、亀井悠平 (名古屋大学)、村田勝寛 (東京工業大学)、柳澤顕史 (国立天文台)、松林和也 (京都大学)、宝田拓也 (埼玉大学)、小野里宏樹 (兵庫県立大学)、関口雄一郎 (東邦大学)、J-GEM Collaboration

重力波は中性子星やブラックホールのようなコンパクトな天体の合体時に多量に放射され、その重力波が LIGO/Virgo 重力波望遠鏡により検出されている。特に中性子星を含む連星系の合体時には重力波とともに電磁波も放射されており、実際に中性子星連星の合体による重力波の検出と同時に電磁波での対応天体が発見された (GW170817)。LIGO/Virgo によって 2019 年 4 月から重力波観測ラン (O3) が開始され、約 1 年間にわたる重力波観測が実施されており、さらなる電磁波対応天体の検出が期待されている。

重力波対応天体を電磁波で観測し詳細な情報を取得することで、天体物理の理解が飛躍的に進む。しかし、重力波検出時におけるその到来方向の精度は 100 平方度以上になることも多く、広大な領域から対応天体を見つけなければならない。日本の重力波電磁波対応天体探査ネットワーク (J-GEM) では、誤差領域内にある銀河をリストアップしてポインティング観測する方法とサーベイ観測する 2 つの方法により対応天体の発見を目指している。

O3 において、ブラックホール連星や中性子星連星、ブラックホール・中性子星連星合体などからによる重力波が多数検出されている。J-GEM では、せいめい望遠鏡、なゆた望遠鏡、かなた望遠鏡や南アフリカ天文台 IRSF などの中小口径望遠鏡を用いた銀河のターゲット観測や木曾/Tomo-e を用いたサーベイ観測を行うことで、重力波の電磁波対応天体の探査を行っている。本講演では J-GEM の観測戦略および O3 での活動内容を報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Z418a GPU を用いた高速画像一次処理パイプライン

庭野 聖史, 村田 勝寛, 谷津 陽一, 河合 誠之, (東京工業大学), 下川辺 隆史 (東京大学), 伊藤 亮介 (美星天文台)

超新星やガンマ線バースト等の時間スケールの短い天体現象を扱う「時間領域天文学」は天文学における未開拓領域の一つであり、その物理を解明するためには多波長かつ連続的な観測を発生直後から行うことが望ましい。特に重力波は検出時の位置決定精度が悪いため、可視光観測等によって得られる正確な位置情報を一刻も早く全世界へ共有することが重要であり、そのためには一次処理プロセスの高速化が不可欠である。

我々は、東工大河合研究室が運用するロボット望遠鏡 MITSuME 用に高速な画像一次処理パイプラインを開発し、2019 年春季年会にて報告した。これは GPU 計算用 Python ライブラリ CuPy を利用して処理を GPU 上で行う。加えて、従来利用されてきた IRAF を使用しないことでファイル I/O の低減を図っている。この結果、既存の一次処理パイプラインの機能を相対誤差 10^{-2} で再現しつつ、30 倍高速な処理を実現した。

その後、我々は IRAF と原理的に異なるアルゴリズムであった箇所を変更することで、昨年時点では IRAF の完全な再現ができていなかった箇所を、 10^{-5} 以下の微小な相対誤差で再現することに成功した。加えて、CuPy の機能を最大限活用できるようにコードの最適化を進めた結果、既存のパイプラインに比べて 30 倍であったのが 40 倍へと更なる高速化を成し遂げた。更に、パイプラインの主要機能を他の望遠鏡のデータに対しても使用できるよう改造し、Python パッケージとして整備して GitHub で公開した。本講演ではこれらの成果について発表する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Z419a せいめい・かなたによる近傍銀河に現れた Ca-rich transient SN 2019ehk の観測

中岡竜也, 川端弘治 (広島大), 前田啓一, 山中雅之, 川端美穂 (京都大), 田中雅臣 (東北大), 富永望 (甲南大), 守屋堯 (国立天文台), かなた観測チーム

近年は超新星サーベイ網が発達し、より時間的に密で、広範囲の探索が行われるようになった。これによって特異な超新星が数多く報告されるようになったが、そのような特異な超新星の 1 つに、Ca-rich transient が挙げられる。Ca-rich transient は、極大期のスペクトルにヘリウムを始めとする吸収線が数多く見られるが、極大光度を過ぎた頃から、Ca の輝線が観測されるようになる。また典型的な Ib 型超新星と比較して、増減光の時間スケールが速いことが知られている。このような特徴を持つ Ca-rich transient の爆発シナリオとして、白色矮星由来の熱核暴走反応や、大質量星由来の重力崩壊型超新星が提唱されているが、依然議論は収束していない。

我々は 2019 年 4 月 29.9 日 (UT) に銀河 M100 において発見された超新星 SN 2019ehk について、広島大学かなた望遠鏡及び京都大学せいめい望遠鏡を用いて、発見 2 日後より可視近赤外線測光分光観測を行った。極大光度を過ぎたところから、波長 7300Å, 8600Å 付近に明瞭な Ca 輝線が見られ、スペクトル全体のプロファイルは典型的な Ca-rich transient に類似している。また可視、近赤外線のライトカーブには、爆発直後から ~7 日後にかけて、一部の重力崩壊型超新星に見られるような bump が見られた。総放射光度から推定される ^{56}Ni 質量は 0.022–0.066 M_{\odot} と、典型的な Ca-rich transient ($\lesssim 0.02 M_{\odot}$) よりも大きい。初期のライトカーブ進化や ^{56}Ni 質量等から、SN 2019ehk と典型的な Ca-rich transient は、親星のシステムが違うことが示唆される。講演では、得られたライトカーブやスペクトルを他の Ca-rich transient と比較し、親星や爆発モデル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](#)

Z420a 近傍に現れた特異な Ia 型超新星 SN 2019muj の可視・近赤外線観測

川端美穂, 前田啓一, 山中雅之 (京都大), 中岡竜也, 川端弘治 (広島大), 他光赤外線大学間連携メンバー

Ia 型超新星は近接連星系を成す白色矮星がチャンドラセカール限界質量に達し、熱核暴走反応によって爆発現象を引き起こす。極大光度と減光速度には相関関係があることが知られており、宇宙論的な距離指標となっている。近年になり、減光速度は典型的な Ia 型超新星と違いないものにも拘らず、極大光度が 1 等以上暗いものが複数見つかった。この特異な Ia 型超新星は Iax 型超新星と呼ばれ (Foley et al. 2014)、低光度に加え、放出物質の速度が遅い、初期には高温のスペクトルを示すなどの特徴を示す。また、光度変化など初期と後期での特徴の違いがあることが報告されているものの、Iax 型超新星は増光期から長期に亘って観測された例は限られている。Iax 型超新星の中でも、Ia 型の 1% 程度の光度しかない暗い例が見つかっており、白色矮星由来の熱核暴走反応シナリオにインパクトを与えるサブクラスがあることが知られている。そのため、多様性、親星や爆発機構はよく判っておらず、精力的に研究が勧められている。

2019 年 8 月 7.4 日 (UT) に発見された Iax 型超新星 SN 2019muj を京都大学 3.8m せいめい望遠鏡、広島大学かなた望遠鏡を始め光赤外線大学間連携での追観測を実施した。初期は減光速度は速く、Iax 型超新星でも暗い SN 2010ae に似た光度変化を示す。中期になると光度変化は緩やかになり、明るめの Iax 型超新星に近い光度変化を示す。近赤外では、Iax 型超新星で特徴であるシングルピークの光度変化を示し、顕著な赤外超過は見られなかった。スペクトルで見られる吸収線は細く、極大頃では Si II $\lambda 6355$ は約 5000km/s と速度はやや遅い。Iax 型超新星の中でも増光期から長期に亘って測光・分光観測を行った例は数が少なく、暗い Iax 型超新星では SN 2019muj が初となる。本講演では他の Iax 型超新星との比較を行い、その多様性や爆発モデルについて議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Z421r 超新星・恒星進化理論と OISTER のシナジー

前田啓一 (京都大学)

恒星進化理論は広く天文学の基礎をなすものであるが、標準的な理論の枠組みには多くの未解明問題が存在する。重力崩壊型超新星に至る大質量星の終末期 (数年-千年程度) の進化、Ia 型超新星を含む様々なタイプの超新星に派生する鍵となる連星進化および共通外層進化の二点は特に大きな問題である。近年の超新星・突発天体の探査・追観測研究の急激な発展により様々な理論予測の観測的テストが可能になるとともに、そこで示された既存の理論の限界は新たな理論構築にフィードバックされている。大質量星終末期に関しては突発的な質量放出を伴うような動的進化が普遍的であることが示唆され、Ia 型超新星を引き起こす白色矮星の連星進化には様々な経路が存在することが明らかになりつつある。

この進展において、爆発直後からの超新星の密な観測が鍵となってきた。ZTF をはじめとする高頻度 (半) 全天サーベイが大きく発展し、Tomo-e 超新星サーベイ計画も稼働を始めたことで、爆発直後の超新星発見が可能になり、OISTER をはじめとする観測網による即時・長期追観測によりこれまでと質的に異なる観測データが得られつつある。また、電波からガンマ線に至る様々な波長における超新星追観測は、恒星進化の未解明問題の解決において今後ますますその重要性を増していく。本講演では、超新星に至る恒星進化の新描像の構築に至る、理論と観測のシナジーを俯瞰する。これを受けて進展しつつある新たな恒星進化理論・超新星爆発理論の一部を紹介し、今後の OISTER をはじめとする突発天体観測網の役割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](#)

Z422r OISTER と全天 X 線監視装置 MAXI のシナジー: 光赤外線・X 線モニタ観測によるブラックホール X 線連星の研究

志達めぐみ (愛媛大学), 上田佳宏, 吉武知紘, 野上大作, 木邑真理子 (京都大学), 村田勝寛, 安達稜, 河合誠之 (東京工業大学), 中平聡志 (宇宙科学研究所), 根来均 (日本大学), 三原建弘 (理化学研究所), 前原裕之, 磯貝桂介 (国立天文台)

ブラックホール X 線連星の多くは、突発的にアウトバーストを引き起こし、数日から数十日程度の間 X 線で数倍以上の増光を示す。その際、降着円盤の内縁部が、放射冷却が非効率な高温の降着流から黒体放射を出して冷える標準円盤に遷移し、観測される X 線スペクトルの形状が劇的に変化する。また、アウトバースト中には、光速近くまで加速されたジェットなどのアウトフローも観測される。X 線は降着円盤の内縁部から放射される一方、可視光・近赤外線には主に円盤外縁部やジェットからの放射が寄与する。したがって、アウトバースト中の降着流・噴出流の変化の全体像を理解するためには、X 線・光赤外線での同時モニタが不可欠である。

全天 X 線監視装置 MAXI は、これまでにブラックホール X 線連星の増光を数十例以上検出し、その常時観測性をいかして、アウトバースト中のほぼ全期間にわたる X 線データを提供してきた。我々は、MAXI で検出したブラックホール X 線連星に対して、アウトバースト中の X 線・光赤外線のモニタ観測を行ってきた。本講演では、これまでの OISTER と MAXI の連携による成果として、2018 年にアウトバーストを引き起こしたブラックホール X 線連星 MAXI J1820+070 の長期モニタ観測の結果を紹介する。さらに、これまでの観測結果を踏まえつつ、ブラックホール X 線連星の降着流・噴出流に関する未解決問題を明らかにし、せいめい望遠鏡による分光観測も含め、今後のさらなる光赤外線・X 線の連携観測から期待される成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](#)

Z423a BH X線連星 MAXI J1820+070 の 2019 年の再増光時における多波長観測 (2)

安達稜, 村田勝寛, 大枝幹, 谷津陽一, 河合誠之 (東京工業大学), 伊藤亮介 (美星天文台), 諸隈智貴, 大澤亮 (東京大学), 花山秀和, 堀内貴史 (国立天文台), 高木聖子 (北海道大学), 大朝由美子, 宝田拓也 (埼玉大学), 森鼻久美子 (名古屋大学), 野上大作, 山中雅之 (京都大学), 高橋隼 (兵庫県立大学), 中岡竜也 (広島大学), 永山貴宏 (鹿児島大学), 志達めぐみ (愛媛大学), MITSuME チーム, 光赤外線大学間連携メンバー

MAXI J1820+070 は 2018 年 3 月 11 日に全天 X 線監視装置 MAXI によって発見されたブラックホール X 線連星である。2018 年のアウトバースト時には可視光でも増光しており、ピーク時には $R_c \sim 12$ 等に達していた。2019 年の初頭には静穏期の明るさに近づきつつあった。しかし、2019 年 3 月 12 日に可視光で再増光が報告され (Atel #12567)、ピーク時には $R_c \sim 14$ 等にまで達した。

我々は、光赤外線大学間連携 (OISTER) の望遠鏡を 9 台用いて、可視光から近赤外線までの広い波長帯で、再増光してからの MAXI J1820+070 に対する集中的な観測を実施した。さらに、3 月 23 日、4 月 15 日、16 日の 3 日間について X 線観測装置 NICER との同時観測を行なった。2019 年秋季年会で 3 月 23 日の結果と変動の色に注目した解析を報告した (W-0458-a) が、本講演では 4 月 15, 16 日の結果について報告する。この二日間では、木曾シュミット望遠鏡/Tomo-e Gozen と NICER で約 24Hz の高時間分解能の同時観測を実施した。3 月 23 日に可視光と X 線で相関が見られた数十秒スケールの変動が同様に観測され、さらに数秒程度の変動も同時に存在していることがわかった。この変動を調べたところ、可視光が X 線に 1 秒以下で遅れていることがわかった。本講演ではこの変動の放射源について議論する。また、2019 年 8 月に検出された再々増光についても合わせて報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Z424a 多波長モニター観測から探る WZ Sge 型矮新星の再増光の起源

磯貝桂介, 加藤太一, 野上大作, 小路口直冬, 大西隆平, 若松恭行, 木邑真理子, 新島啓友 (京都大学), 谷津陽一, 伊藤亮介, 村田勝寛, 河合誠之 (東京工業大), 佐野康男 (北海道大), 松本桂, 杉浦裕紀, 伊東大輝, 二階健吾 (大阪教育大), 笠井潔, 伊藤弘, 清田誠一郎 (VSOLJ), 他 VSNET collaborations

矮新星とは主星に白色矮星を持つ近接連星系で、降着円盤の突発的な増光“アウトバースト”を示す。WZ Sge 型と呼ばれる矮新星や X 線連星では、メインアウトバースト終了後すぐに増光する“再増光”が観測されている。しかし、再増光の起源については未だ解明されていない。

複数回発生する再増光を再現するには、円盤内縁部への質量流入量を一時的に増加させる必要がある。そのため、主に 2 つのモデルが提案されている: (1) アウトバースト終了後、伴星からの質量輸送率が一時的に上昇する Enhanced Mass Transfer (EMT) モデル (Patterson et al. 1998, Hameury et al. 2000) と、(2) アウトバースト終了後に広がった低温の円盤が残っており、それが次第に円盤内縁部へ降着することで増光する Mass Reservoir モデル (Kato et al. 1998, Meyer & Meyer-Hofmeister 2015) である。論争に決着をつけるためには、再増光前後の円盤の状態を詳しく調べる必要がある。しかし、再増光を起こす矮新星の増光頻度は数年数十年に 1 度であり、また、新天体が再増光を起こすかどうかは予測が困難であるため、詳しい観測がされていなかった。

2018 年、ヘリウム激変星 SDSS J1411+4812 の大規模な増光が報告された。我々は国際ネットワークを通じて密な観測を行い、この増光が WZ Sge 型のアウトバーストであることを確認し、大学間連携による多色観測を行った。更に、swift 衛星, ZTF の public data も活用し、再増光前後での色変化を追った。その結果、EMT モデルでは説明のつかない色変化が見られた。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Z425r せいめい望遠鏡の開発と運用状況

木野勝 (京都大学), せいめい望遠鏡グループ

京都大学が中心となり開発してきた、光学望遠鏡としては国内最大となる口径 3.8m のせいめい望遠鏡が 2019 年 2 月より科学観測を開始した。この望遠鏡は任意の天体へ 1 分以内に指向可能な駆動性能に加え、突発現象の即応観測を想定した観測体制を構築しており、OISTER を構成する望遠鏡群において中核としての役割を期待されている。また開発にあたっては単なる中口径望遠鏡に留まらず、次世代望遠鏡の実現に向けて扇状の分割主鏡・研削による鏡加工・軽量架台という 3 つの要素技術について、科学観測の要求を満たすレベルで実現した。

現在は分割鏡間の位相を合わせない、いわゆる光バケツ状態での運用を行っている。望遠鏡光学系全体でのハルトマン定数は 0.56 秒角であり、岡山天文台での典型的なシーイングサイズ 1.4 秒角に対して遜色ない結像精度となっている。分割鏡制御は全天にわたり 2 秒角程度の星像を維持できており、光学センサによるアライメント作業は 1 晩で 23 回程度である。架台の指向精度は rms10 秒角であり、結像精度や分割鏡制御と合わせて更に性能の向上を進めている。稼働中の観測装置は可視光域の光ファイバ型面分光装置 KOOLS-IFU のみであるが、他に計 7 台の装置が開発・計画中であり、これら全てを搭載し切り換え可能な装置ローテータの設置も併せて進めている。

運用状況としては、2019 年前期 (26 月) は観測 59 夜 + エンジニアリング 49 夜であったが、後期 (712 月) には観測 129 夜 + エンジニアリング 20 夜となり、徐々に望遠鏡の立ち上げ時期から定常運用へと移りつつある。今後は望遠鏡自体の性能向上や観測装置の追加による観測モードの多様化に加え、リモート観測・キュー観測といった突発現象への効率的な対応が可能なシステムの構築を進めていく。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Z426r 恒星フレアの多波長モニタ観測 ~OISTER と TESS/NICER の連携~

行方宏介 (京大), 前原裕之 (NAOJ), 岡本壮師, 野上大作, 柴田一成 (京大), 本田敏志 (兵庫県立大), 野津湧太, A. Kowalski (コロラド大), 佐々木亮, 河合広樹, 岩切 渉, 坪井陽子 (中央大), 他 OISTER team

恒星フレアとは恒星表面での爆発現象で、黒点付近の磁気エネルギーが熱・運動エネルギーといった形に解放されることで生じる。特に低温度星などは磁気活動性が高く、最大級の太陽フレアの 10 倍以上の規模のスーパーフレア現象も観測されている。近年、恒星フレアが生命生存環境に与える影響という観点から、及び極端現象に対する興味から、恒星フレアの性質に対する関心が世界的に高まっている。太陽フレアは長年の多波長観測によって多角的理解が飛躍的に進んできたが、恒星フレア研究では、発生確率の低さや同時観測の困難さなどの理由で多波長観測があまり行われておらず、その詳細な性質の理解は進んでいない。そんな中、2018 年に、近傍の恒星を長期間測光モニタ観測する TESS 衛星が観測を開始し、地上望遠鏡や X 線衛星とのシナジーが期待されている。

我々は、京都大学 3.8m せいめい望遠鏡を中心とした大学間連携 (OISTER) に加え、TESS 衛星、X 線望遠鏡 NICER を用いて、近傍の M 型フレア星 YZ CMi, AD Leo, EV Lac のモニタ観測を行ってきた。結果、OISTER (主に H α 線) と TESS/NICER の連携により、約 30 個もの恒星フレアを多波長同時観測することができた (内、TESS は約 20 個、NICER は約 10 個)。ZZ=0 (YZCMi)+2 (ADLeo)+7 (EV Lac) 中には、H α 線や X 線では増光が観測されるものの、可視連続光では増光が非常に弱いフレアもあり、フレア毎にエネルギー分配が異なることが示唆された。また、可視連続光の増光に対応して、低分散分光した H α 線の輝幅幅が広がる現象が観測され、フレア大気における高密領域の形成・時間変化が示唆された。本講演では、上記等の観測成果、及び OISTER と衛星の連携による今後の恒星フレア研究の展望を紹介する。

[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](#)

Z427a 中小口径望遠鏡と TESS の連携によるフレア星 EV Lac の測光分光同時観測

前原裕之 (NAOJ), 行方宏介, 岡本壮師, 野上大作, 柴田一成 (京大), 野津湧太 (コロラド大), 本田敏志, 村瀬洸太郎 (兵庫県立大), 村田勝寛, 安達稜, 飯田康太, 大枝幹, 小川風太, 白石一輝, 戸間紗也香, 細川稜平 (東工大), 松村良太, 藤井大地, 松本桂 (大教大), 安藤和子, 山村春香, 田畑佳美, 福田尚也 (岡山理大), 赤澤秀彦 (船穂天文台), 伊藤弘, 清田誠一郎 (VSOLJ), 水谷正則, 白神憲一 (八塔寺星を観る会)

太陽/恒星フレアは共に黒点付近に蓄えられた磁場エネルギーが磁気リコネクションによって解放され、電波から X 線までの広い波長範囲での増光現象として観測される。フレアの放射メカニズムを理解する上で、どの波長でどのくらいの割合のエネルギーが放射されるかの比率を調べることは重要であるが、これが太陽のような G 型主系列星と他のスペクトルタイプの星で共通なのかどうか、およびフレアの規模やタイムスケールによる違いがあるのかなど、その詳細な性質にはまだ未解明の点も多い。我々は、活動性の高い M 型フレア星の 1 つである EV Lac に着目し、2019 年 9-10 月の TESS によるこの天体の観測に合わせて、せいめい望遠鏡による分光観測と大学や天文アマチュアの保有するの小口径望遠鏡による測光観測を行ったので、その結果を報告する。

TESS による合計 22.2 日間にわたる観測データからは、連続光の放射エネルギーが 10^{31} - 10^{33} erg のフレアが 125 個検出され、同期間中に地上観測による分光・測光観測からは 22 個のフレアが検出された。これらの中にはバルマー輝線強度には明瞭な増加が検出されているものの、TESS の光度曲線には顕著な増光がみられないフレアもあったが、このようなフレアの一部は、地上観測による B, V バンドの高時間分解能 (10-15 sec) 測光データから < 1-2 min のごく短時間の増光を示すことが分かった。講演では検出されたフレアの連続光とバルマー輝線における放射エネルギーの比率やエネルギーと継続時間の関係などの統計的性質について議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

M01a 高感度 EUV/UV 分光望遠鏡衛星 (Solar-C EUVST):全体進捗状況

今田晋亮 (名古屋大), 清水敏文, 川手朋子, 鳥海森 (宇宙科学研究所), 原弘久, 渡邊鉄哉, 末松芳法, 勝川行雄, 久保雅仁 (国立天文台), 渡邊恭子 (防衛大), 一本潔, 永田伸一, 浅井歩 (京都大), 阿南徹 (National Solar Observatory), 横山央明 (東京大), 草野完也 (名古屋大), David Long (MSSL/UCL), Harry P. Warren (米国海軍研究所), ほか Solar-C WG

高感度 EUV/UV 分光望遠鏡衛星 (Solar-C EUVST) は、日本が中心となって推進する、2020 年代中頃に最優先で実現を目指した国ミッションである。2019 年 1 月にプリプロジェクトに向けて審査が行われる予定である。本講演ではミッション概要及び全体進捗状況について報告する。また、国際協力のパートナーの進捗状況についてもあわせて報告する。

Solar-C EUVST は高空間分解能 (0.4 秒角)、高時間分解能 (1 秒程度)、広い温度範囲 ($10^4 - 10^7$ K) で観測する極端紫外・紫外域の分光撮像観測装置である。科学目的として、I) 彩層・コロナと太陽風の形成に必要なエネルギー・質量輸送機構および散逸機構の究明、II) 太陽面爆発現象の物理過程の解明、の 2 つがあげられる。太陽大気は、温度の異なる光球と彩層、彩層とコロナの間は磁力線につながり、物質であるプラズマとエネルギーがこれらの中でやり取りされる一つのシステムである。このシステムの中で発生する磁気活動を本質的に理解するには、それを構成する基本構造を理解することはもちろん、基本構造間でやりとりされるプラズマのエネルギー・質量の流れを定量的に観測してその物理過程を把握することが重要である。その理解に必要とされる物理量は、構造を把握する輝度分布のほかに、速度場、温度、密度などとその変動量であり、太陽大気を網羅して行うシステムティックな観測を通して、宇宙プラズマの理解につながる太陽物理の重要課題に Solar-C EUVST は挑む。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

M02a Solar-C EUVST : データ利用・運用と科学成果創出へ向けた体制構築

鳥海森, 清水敏文, 川手朋子, 松崎恵一 (宇宙航空研究開発機構), 今田晋亮 (名古屋大学), 一本潔, 浅井歩 (京都大学), 末松芳法, 原弘久, 勝川行雄, 久保雅仁, 渡邊鉄哉 (国立天文台), 横山央明 (東京大学), ほか Solar-C ワーキンググループ

本講演では、2020 年代中盤の打ち上げを目指して検討が進む次期太陽観測衛星「Solar-C EUVST」におけるデータ利用・運用案を概観し、科学成果創出へ向けた体制構築の試みを紹介する。Solar-C EUVST の科学目標は、(1) 太陽大気や太陽風を形成するメカニズムの理解と、(2) 大気が不安定化し太陽フレアを駆動する機構の理解である。EUVST 科学チームは、これらの科学目標を確実に達成するためコア観測プランを設定するとともに、世界の研究者から観測プロポーザルを受け付け、コア観測と提案観測のバランスを確保した運用を行う。サイエンスワーキンググループ (SWG) が運用と科学活動をレビューし、EUVST 科学チームへガイドラインとアドバイスを提供する。また、実際の科学運用は、EUVST 科学チーム内部の主任観測者 (Chief Observer) が実施する。衛星の取得データは、日本や各国の地上局を経由して宇宙科学研究所のテレメトリデータベース (SIRIUS) に集約され、データアーカイブシステム (DARTS) より配信される。名古屋大学宇宙地球環境研究所に設置される Solar-C サイエンスセンターは、観測データのキャリブレーションや解析ツールの配布を行い、他大学・研究機関の協力を得て地上観測データとの位置合わせや数値シミュレーションデータの提供も想定している。これらの観測データは原則として公開される予定である。科学目標 (1)(2) とも太陽表面磁場情報との精緻な比較が望まれる課題が含まれており、主要地上望遠鏡の担当者との密な協議を通じて、協調観測を実施する体制を築く。これらの科学運用の枠組みは、今後組織されるミッション運用・データ解析ワーキング (MO&DA WG) によって議論、構築される。

[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](#)

M03a 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 (2020 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)、深沢泰司 (広島大学)、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 (東京理科大学)、三石郁之 (名古屋大学)、水野恒史 (広島大学)、篠原育 (宇宙航空研究開発機構)、下条圭美 (国立天文台)、高棹真介 (名古屋大学)、田辺博士 (東京大学)、上野宗孝 (神戸大学)、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)、他 PhoENiX ワーキンググループ、FOXSI チーム

我々は、「磁気リコネクションに伴う粒子加速の理解」を科学意義 (Science Goal) とし、太陽フレアにおいて「どこで」、「いつ」、「どの様に」電子の加速が起きているかを明らかにすることを科学目的 (Science Objectives) とした衛星計画 PhoENiX を推進している。PhoENiX で実施する観測は、太陽フレアに対する「軟 X 線硬 X 線域における集光撮像分光観測」と「軟ガンマ線域の偏光分光観測」である。X 線域の集光撮像分光観測では、粒子加速場所の特定と加速の時間発展の調査を行うことで、加速に関連する現象を同定する。軟ガンマ線域の偏光分光観測では、加速のタイミング、加速電子が彩層突入で消費したエネルギー、加速電子の運動の非一様性を調査する。太陽フレアに対するこれらの観測は、PhoENiX が世界初の試みであり、これらにより科学目的の達成を目指す。現在、我々は、2020 年 2 月の ISAS 公募型小型計画の公募に応募すべく、科学検討、ミッション・システム検討、キー技術開発を進めている。また衛星計画の推進に並行して、観測ロケットなど用いた科学検討、技術実証も行っており、2019 年 11 月には、太陽フレアを観測するロケット実験 FOXSI-4 (2023 年頃の実施) を NASA に提案した。本講演では、PhoENiX 計画の紹介とともに、2019 年度後半に実施した検討の成果を報告する。

[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](#)

M04a 国際コンソーシアムによる野辺山電波ヘリオグラフの運用 (2015 年 4 月-2020 年 3 月)

増田智 (名古屋大学), the International Consortium for the Continued Operation of Nobeyama Radioheliograph

2015 年 4 月から名古屋大学を中心とした国際コンソーシアムによる野辺山電波ヘリオグラフの運用が開始された。5 年間継続したその運用も 2020 年 3 月末をもって終了する。電気代までを含む運用資金を国内外の研究機関から集めて装置を運用したのは、国内の太陽望遠鏡としては初めての例だったと思う。また、日々のデータ及び観測装置・運用計算機群のチェックは、国内外のユーザーで分担して行った。最終的には、5 年間で 9 カ国 (中国、ロシア、英国、米国、韓国、ドイツ、ベルギー、スイス、日本) の 33 名の研究者が運用当番を務めた。2018 年 1 月下旬から 4 月上旬にかけてと 2019 年 5 月上旬から 6 月上旬にかけての期間以外は、長期で連続して観測停止した期間は無く、ほぼ 5 年間継続してデータの取得を行うことができた。

当初の科学目標としては、太陽フレア粒子加速研究と太陽活動長期変動研究を二つの中心テーマに掲げていた。前者に関しては、2015 年 4 月以降、太陽活動度が低かったこともあり、検出したフレアは 38 個 (最大 GOES クラス M6.7) にとどまり、それ以前に観測されていた約 900 個のフレアに対して、大きな差分を加えることはできなかった。後者に関しては、3 回目の極小期のデータが取得できたことで、電波の太陽極域増光と極域磁場強度の相関を利用した次期太陽活動度の推定や極域増光と高速太陽風の速度との関係などの研究が進んだ。

この国際コンソーシアムを通じて、この分野での国際的な連携が発展したことは、大きな成果の一つである。これを元に、現在、中国の MUSER を中心とした東アジア域での太陽電波研究の新しい連携体制を検討している。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

M05a 強密度成層下の乱流起電力を考慮した球殻平均場太陽ダイナモモデル

政田洋平 (愛教大), 松本仁 (福岡大)

太陽ダイナモ機構は, Parker (1955) 以来, 大枠では α - Ω ダイナモにその基礎を置いて研究されてきた. この枠組みでは, Ω 効果は磁場増幅の役割を, α 効果は主として “symmetry breaker” としての役割を担う. 磁場の拡散を担うのは, 乱流磁気拡散である. 太陽の場合, Ω 効果を与える差動回転分布が日震学診断により精密に測定されているため, α 効果を与える物理機構の理解が, ダイナモ機構の解明の鍵を握ると言える.

標準的な “磁束輸送ダイナモモデル” では, 対流層の底で生成される強い磁束管とその磁気浮上の際に働くコリオリ力が α 効果の源である (e.g., Dikpati & Charbonneau 1999). 強い磁束管を対流層の底で作ることができれば, この機構は効率的に働き, 太陽型の磁気サイクルを与えると期待される. しかし, 強い磁束管の作り方に, このモデルの本質的な問題点があり, それは未だに解決には至っていない (e.g., Solanki 2010).

本研究では, α 効果の源として, 太陽の熱対流が本来持っているはずのヘリシティを考える. 強い密度成層下の MHD 熱対流計算の結果に基づき “乱流起電力” を評価し, 球殻平均場太陽ダイナモモデルに組み込んだ. Ω 効果の源として, 日震学診断と整合する差動回転分布もカップルさせた, 単純な α - Ω ダイナモのモデルである. 本研究の結果, (i) 強い密度成層下の熱対流が担う乱流起電力を考慮することで, 太陽型の磁場の蝶形進化パターンが得られること, (ii) 磁束輸送モデルとは異なり, 表面の近傍でも磁場のトロイダル成分が蝶形パターンを示すこと, (iii) 表面直下の速度勾配層が磁場の進化パターンに強い影響を及ぼすこと, を明らかにした. 本講演では, 開発したモデルの詳細とともに, 得られたダイナモの物理メカニズムや, その従来モデルとの違いについても説明する.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

M06a 太陽表面における磁場要素の磁束と速度の関係

高畑憲 (千葉大学), 飯田佑輔 (新潟大学), 堀田英之 (千葉大学)

太陽静穏領域の輻射磁気流体計算を行い, 差動回転を模した強制流のある場合, 太陽表面磁場の磁束と速度にどのような依存関係があるか調査した. これまでに Imada et al., 2018 によって, 太陽表面では平均磁場の強い磁気パッチほど, 速く経度方向に流されていることが発見されている. これは太陽内部の差動回転を反映していると考えられており, 平均磁場の強い磁気パッチほど太陽内部深くまで貫いていると仮定すると説明することができる. 本研究では, 磁気流体計算コード R2D2(Hotta et al., 2019) を用いて, 輻射磁気流体計算を行い, この仮定の妥当性を検証した. まず, 差動回転を模した流れとして, 最大 2 km/s で深さの 1 次関数となる水平流をおき, 約 27 Mm \times 27 Mm \times 5 Mm の範囲で光球の数値計算を行なって磁場を生成した. 次にクランピング法を用いた磁気要素追跡コードによって, 数十万個の表面磁場を検出・追跡し, 磁束量ごとの流れ場を見積もった. 結果として, 大きな磁束量をもつ磁気パッチほど速く流されることがわかり, Imada et al., 2018 などを用いられている仮定の妥当性を確認できた.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

M07a 太陽黒点の磁場形状と観測の関係

石倉秋人、堀田英之(千葉大学)

太陽黒点の輻射磁気流体計算をおこない、黒点磁場構造の形状が、太陽表面での物理量にどのような影響を及ぼすかを調査した。黒点は太陽表面に表れる強磁場領域である。黒点の数値計算はこれまでもおこなわれており、Rempel (2012) では、数値計算の解像度と磁場上部境界条件が黒点形状に与える影響について議論がされている。しかし、黒点モデルの磁場形状を変化させ、その観測量への影響を探るパラメータサーベイは未だおこなわれていなかった。本研究では、独自に開発した輻射輸送磁気流体計算コード、R2D2(Hota et al. 2019) を用い、黒点の数値計算をおこなった。太陽表面から 5 Mm ほど下での磁場強度を変化させ、それによる影響を議論し、さらに黒点を支える力のバランスについても調査した。太陽表面での磁場の傾きは、黒点深部の磁場強度による影響を受けないことがわかった。また、上部磁場境界条件の変化による影響も調査し、Rempel (2012) の結果と定性的に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](#)

M08a 静穏領域水平磁場の太陽周期依存性

花岡庸一郎、赤外マグネトグラフグループ(国立天文台)

太陽の静穏領域には、おそらく水平でランダムな方位角を持つ磁場が、あらゆるところに現れることが知られている。弱い磁場であるため一般には検出が容易ではなく、系統的な研究が行いにくい。例えば水平磁場の太陽周期活動による変化などはまだ十分な研究が行われていない。しかし、ゼーマン分離の大きな吸収線では、水平磁場による分離が線幅より小さくても、同じく静穏領域に広く存在するネットワーク磁場は線幅よりも分離し、両者を明らかに区別できる。

国立天文台三鷹で運用している太陽フレア望遠鏡の赤外マグネトグラフでは、2010 年以来太陽全面の偏光分光測光を行っているが、その中でゼーマン分離を顕著に示す Fe I 15648 Å 吸収線による観測も行っている。空間分解能は高くないが、太陽全面における水平磁場の様子を、その視線方向磁場成分をディスクセンターから離れたところで円偏光でとらえることができる。現在までの観測期間は、太陽活動の上昇・下降期に加え極小期までカバーしている。これをもとに、水平磁場の太陽周期活動依存性を調査した。

水平磁場は弱磁場近似の範囲の磁場強度であり、その強度は円偏光成分の偏光度として観測することができる。そこで我々は偏光度の太陽周期活動依存性を調べた。ほぼ 1 カ月あたり 1 回の、天候やフォーカス等がデータ取得中に大きく変化していないデータを選び、各画像から活動領域やネットワーク磁場を除いた静穏部分における偏光度の変動を調べた。途中で装置が変わったことによる見かけの違いはあるものの、水平磁場は周期活動によらず定常的な見え方を示すことが分かった。

[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](#)

M09a 南極ドームふじアイスコアからさぐる気温変動と太陽活動との相関

望月優子, 高橋和也, 中井陽一, 本山秀明, 小寺邦彦

理研を中心とした研究グループでは、南極大陸の「ドームふじ」基地及びその近傍で掘削された浅層アイスコア中の水の酸素同位体比をドームふじコアとしては初めての年スケールの時間分解能で分析している。ここで酸素同位体比は、千分率 (‰) 単位で

$$\delta^{18}O = [^{18}O/^{16}O]_{SAMPLE}/(^{18}O/^{16}O)_{STD.} - 1 \quad (1)$$

と定義され、水文学において気温のプロキシ (指標) として確立している。現代の測定機器で測られた気温、例えば、英国気象庁が発表している西暦 1850-2015 年の南半球の気温を解析すると、22 年周期や 10 年近傍の周期が現れることが知られている。

本講演では、2010 年にドームふじ基地南 10km 地点で掘削されたアイスコアについて、人為的影響を受けていないと考えられる、産業革命前の西暦 1750-1940 年に着目し、アイスコアから示唆される気温変動周期と太陽黒点数変動との相関を報告する。この期間には、ダルトン極小期 (1790-1830) が含まれる。これまでの解析から、ドームふじアイスコア中の酸素同位体比は、約 10 年及び約 20 年の周期性をもつことが明らかになっている。また、太陽活動が強かった西暦 1770-1800 年付近で、アイスコア中の酸素同位体比変動と太陽黒点数変動との間に非常に高い相関が示唆されている。気温指標と太陽黒点数変動との相関解析に加え、地球自身の持つ典型的な周期との比較として、「太平洋十年規模振動」と呼ばれる海洋が持つ振動変動との相関もあわせて報告する。

[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](#)

M10b 機械学習を用いた太陽黒点の複雑さ分類機の開発及び太陽フレア予報への応用

木原孝輔 (京都大学・理), 関大吉 (京都大学・総合生存学館), 根本茂 (京都大学, 株式会社ブロードバンドタワー), 浅井歩, 柴田一成 (京都大学・理・天文台)

太陽フレアとは、太陽大気において磁気エネルギーの解放を伴う爆発現象である。フレアはしばしばフラスマの放出や高エネルギー粒子の発生を引き起こし、停電や航空機乗務員の被曝などの原因となる。そのため、フレアを事前に予報しようとする研究が数多く行われている。特に近年、膨大な量の太陽観測データを生かし、機械学習の手法を用いてフレアの発生を予報する試みが多くなされている。ここで機械学習とは、大量のデータの特徴を機械に処理・学習させ、未知のデータに対する判断を得る手法の総称である。

我々はこれまで、太陽の全面画像を入力とする太陽フレア予報機を開発を行ってきた (Muranushi et al., 2015, 2014 年春季年会 M28b, 2018 年秋季年会 M04a)。しかし、これらの予報機が本当に太陽面上の黒点などの特徴を捉えているかが不明瞭であった。これを検証するため、大きく複雑な黒点が規模の大きなフレアを起こしやすい (Sammis et al., 2000) という経験則に着目した。機械学習を用いて、この大きさや複雑さのような黒点の特徴を検出できることがフレア予報の必要条件だと考えられる。そこで、黒点の複雑さとして一般的な指標であるマウンツウィルソン分類を使用し、機械学習が黒点の画像から複雑さを判別できるのかを検証した。

我々は新たに、太陽黒点の複雑さ分類機を開発し、機械学習による画像認識の手法で、複雑な黒点である δ 型黒点を分類できることを確認した。本発表では、この分類機の概要を報告し、太陽フレア予報機への応用の可能性について議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

M11b 太陽活動周期 21 期末から 24 期における、活動領域の磁場タイプ別の出現数の変動とフレア活動

滝澤 寛 (神奈川工科大学, 早稲田大学高等学院), 溝口 智貴, 渡邊 歩, 森内 翔太, 廣野 河世, 中田 篤志, 中村 俊介, 田中 暁, 木寅 沙也果, 森本一成, 小山 息吹, 中井 まりあ, 古家後 はるか, 井上 穂, 加藤 優治, 畠 廉真, 家治 涼聖, 奥仲 健司 (以上, 兵庫県立三田祥雲館高等学校卒業生), 谷川 智康 (兵庫県立洲本高等学校), 北井礼三郎 (立命館大学)

われわれは, USAF-NOAA および GOES データを用いて, 太陽活動周期 21 期末から 24 期にかけて (1981 年 12 月~2017 年 6 月) の, 活動領域とフレア・アクティビティに関する統計的研究を続けている。

ウォルフ数については, 単一の活動周期中に 2 つのピークがあることが古くから指摘されている。本研究ではウォルフ数ではなく, 活動領域の出現数そのものの変化に注目しているが, 磁場構造が単純な活動領域のグループ (α 型, β 型) と, 磁場構造が複雑なグループ ($\beta\gamma$ 型と $\beta\gamma\delta$ 型) とでは, ピークの出現の時期が一致しないことがわかった (22 期で顕著)。複雑な型のグループでは, 2 つめのピークがやや高い傾向が認められる。

また, 南北半球における活動領域の出現数については, 22 期と 24 期では北半球でのピークが先行し, 南半球のピークがその約 2 年後に現れることを確かめた。さらに, 活動領域ごとの面積の最大値の統計的分布に注目し, flare active な活動領域 (B クラス以上のフレア活動を示した領域) と flare quiet な活動領域との間で, はっきりとした分布のちがいがあってもわかった。現在, Flare active な領域と Flare quiet な領域のあいだの寿命の違いについても検討を進めており, その結果の詳細についても年会で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](#)

M12a 太陽光球でのジェット現象とその上層大気への影響

古谷 侑士, 柴田一成 (京都大学)

太陽コロナ・彩層では足元に光るループを伴う, 逆 Y 字型のジェット現象が観測されている。これらのジェットは, Yohkoh 衛星の X 線観測により $10^4 - 10^5$ km のものがコロナで発見され, そのおよそ 10 年後 Hinode 衛星により大きさ $10^3 - 10^4$ km のものが彩層で発見された。これらのジェットは大きさは異なるが同様の形状をしており, ジェットの速度は Alfvén 速度程度である。そのため, スケールに依らず磁気リコネクションにより統一的に説明できると考えられている。磁気流体力学 (MHD) のスケール普遍性より, 未だ観測されていないが, 光球にも ~ 100 km 程度のジェット現象が存在すると期待される。しかし, 光球はコロナ・彩層と異なり磁気エネルギーが優勢な環境ではないので, 彩層やコロナと同様のメカニズムでジェットが形成されるかは自明ではない。また, 光球ジェットから生じた MHD 波は, 上層へ伝搬し衝撃波に成長した結果, 彩層加熱やスピキュール形成に影響する可能性があるが, 定量的な議論は十分に行われていない。講演者らはこれらの問題を解決するため重力を取り入れた 3 次元 MHD 計算を行ってきた。その結果, 光球でも上層大気と同様に磁気リコネクションによりジェットが形成されることがわかった (2019 年春季年会 M14a)。また, 計算で得られた光球ジェットから $10^8 \text{ erg cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ 程度の MHD 波 (Alfvén 波, slow mode 波) が上層大気へ伝搬していくことがわかった。本講演では, 光球ジェットのメカニズム, 及びその上層大気への影響を議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

M13a Numerical simulation and identification of fast and slow MHD waves in heating magnetic chromosphere by realistic simulation

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

The problem of how to heat the chromosphere is still under debate, especially in the low beta magnetic chromosphere. MHD waves are considered as important energy transporter and make contribution to chromospheric heating. Previous researches on wave heating usually discuss propagation of MHD waves in the chromosphere in detail but the setting of flux tube and wave generation is artificial. There are also studies by realistic simulation but they are usually used for spectra synthesizing for comparison with observations, without discussing detail physical processes. In our study, we perform two-dimensional realistic MHD simulation. We catch shock fronts from the simulation data and separate fast and slow MHD waves by comparing physical parameters in upstream and downstream side. These parameters are also used for estimation of shock heating rate by slow and fast waves. We conclude that fast waves play a more dominant role in heating the magnetic chromosphere than slow 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](#)

M14a 部分電離プラズマ中で起きる磁気リコネクションの数値的研究

富野芳樹 (京都大学・理), 柴田一成 (京都大学・理・天文台)

太陽の彩層は約 1 万度の部分電離プラズマで、そこではジェット現象などの突発的なエネルギー解放現象が盛んに起こっている。これらの現象の起源は磁気リコネクションによって磁気エネルギーを解放することだと考えられている (Shibata & Magara 2011 ほか)。以前から磁気リコネクションにより生じる衝撃波の構造やジェット、磁場の形を理解するための数値シミュレーションは盛んに行われてきた (例えば Yokoyama & Shibata 1998)。これらの研究ではイオン、電子、中性粒子の混在する彩層を簡単のため 1 流体の電磁流体と近似して数値計算している。しかし、中性流体とプラズマ流体 (電離成分) が混在している彩層の大気を 1 流体として扱うことの妥当性は明らかになっていない。実際に特定の場合には 1 流体近似の計算結果と 2 流体 (中性流体とプラズマ流体) の方程式の計算結果には違いが生じることが示されている (折れ曲がった磁場を初期条件とする 1 次元衝撃波管問題で比較を行った Snow & Hillier (2019) などがある)。

そこで、部分電離プラズマ中で磁気リコネクションを解く際に生じる 1 流体近似 (部分電離の効果として両極性拡散を考慮) と 2 流体の方程式の計算結果の差異を 2 次元の数値計算を用いて我々は研究している。シミュレーションの設定はベチェック型のリコネクションについて調べた Zenitani & Miyoshi (2011) を参考にしたが、磁場配置に関してはフォースフリーとなるように中心付近に縦磁場を入れた。本講演では空間スケールの小さな現象で 1 流体近似と 2 流体の計算結果に違いが生じること、特に中間衝撃波と遅進衝撃波の様子の違いについて紹介しつつ、彩層で両極性拡散を考慮した 1 流体近似が部分電離プラズマの近似として成立する範囲について議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

M15a 太陽の CaK 線観測による紫外線放射の推定

田中宏樹, 岡本壮師 (京都大学・理), 浅井歩, 上野悟, 一本潔 (京都大学・理・天文台)

太陽活動が地球の気候に与える影響として、太陽紫外線が考えられている。太陽紫外線の 300-2000Å 領域は、11 年周期での変動幅は 2-100% と大きく、地球大気の上空で吸収されることで、特に地球の電離層に影響を与えていると考えられている。また、太陽全エネルギー放射の 11 年周期の変動のうち、60% は紫外線を含む 4000Å 以下の電磁波の変動であるとされている。しかし、太陽紫外線の分光データの定常観測は、40 年間しか行われていないため、100 年規模の紫外線放射強度の時間変化や、紫外線が地球の気候に与える影響は明らかにされていない。

そこで、紫外線と CaK 線は、どちらも太陽の彩層が起源であり、相関が強いことを利用する。CaK 線は、地上観測が可能のため、各地で観測結果が残されているが、観測波長幅と観測開始年が天文台ごとに異なる [Kyoto (0.74Å、1928 年)、NAOJ (0.5Å、1917 年)、Kodaikanal (0.5Å、1907 年)、Mt. Wilson (0.2Å、1915 年)]。

本研究では、CaK 線と紫外線の強度の関係を明らかにするために、京都大学飛騨天文台ドームレス太陽望遠鏡 (DST) の分光器による、2010 年 8 月 22 日、2012 年 8 月 1 日、2018 年 5 月 5 日の Ca K 線の撮像分光データと、人工衛星 SDO の紫外線観測装置 AIA による同日の紫外線 304Å、1600Å、1700Å の撮像画像を詳しく調べた。DST の波長分解能を生かして、CaK 線の積分する波長幅を変え、紫外線放射強度と相関がよい波長幅を調べた。

その結果、紫外線 304Å と相関がよい波長幅は 0.04-0.13Å、1600Å と相関がよい波長幅は 0.83-1.83Å、1700Å と相関がよい波長幅は 1.55-2.38Å と、紫外線の波長によって相関がよい波長幅が異なることが分かった。過去の CaK 線のデータを使うとき、輝線や短い波長の紫外線を再現するには、Mt. Wilson などの波長幅がせまいデータ、長い波長の紫外線を再現するには、Kyoto などの波長幅が広いデータの重要性が示唆される。

[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](#)

M16a Verification of CLASP2's Polarization Accuracy

Donguk Song, Ryohko Ishikawa, Ryouhei Kano (NAOJ), David McKenzie (NASA/MSFC), Javier Trujillo Bueno (IAC), Frederic Auchere (IAS), Laurel Rachmeler (NASA/MSFC), Takenori J. Okamoto, Masaki Yoshida, Hirohisa Hara, Kazuya Shinoda (NAOJ), Ken Kobayashi (NASA/MSFC), and CLASP2 team

A NASA sounding rocket experiment, Chromospheric LAYer Spectro-Polarimeter (CLASP2), was performed on April 11, 2019, and successfully detected full Stokes profiles of the Mg II h & k lines in a plage region and the quiet Sun near the limb. To obtain the magnetic information in the upper chromosphere, we require the accuracy of 0.1 % in the polarization measurements in these lines. To achieve this requirement, we had to determine the polarization response matrix of the CLASP2 instrument accurately: the matrix elements for scale factor or crosstalk within 1 % and those for spurious polarization within 0.017 %. Then, we carried out the polarization calibration of CLASP2 in two steps as follows. First, we evaluated the elements for scale factor and crosstalk by using an in-house polarization light source with a UV LED lamp. We found non-negligible uncertainties in some elements of scale factor and crosstalk, but the Stokes parameters calculated by them satisfy our required accuracy of 1 %. Next, we estimated the elements for spurious polarization by using the in-flight disk-center observation. We also confirmed that the level of spurious polarization is less than our required tolerance of 0.017 %. In this presentation, we provide the response matrix of CLASP2, and also discuss how accurately we can determine the polarization.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

M17a 磁気静水圧平衡非フォースフリー磁場モデルによる太陽浮上磁場の再構成

三好隆博 (広島大学), 鳥海森 (宇宙航空研究開発機構), 井上諭 (名古屋大学), 草野完也 (名古屋大学)

太陽フレアなど太陽大気中の活動現象は、太陽大気に蓄積された磁気エネルギーの解放過程であると考えられる。それ故、太陽大気活動現象の解明と予測には、太陽大気磁場に関する情報が必要不可欠である。しかし、太陽大気磁場の直接観測は極めて困難である。そこで、高精度測定が可能な光球面ベクトル磁場から太陽大気磁場を再構成する様々な手法が精力的に研究されている。

特に我々は、プラズマ圧力と重力の効果を含んだ磁気静水圧平衡における非フォースフリー磁場を外挿する磁気流体力学緩和法を新たに開発し、非フォースフリー磁場のみを境界値として与えて領域内部の磁場を外挿する数値実験に成功した [1]。しかし、光球面ベクトル磁場の実データは時間的に変動しており、太陽大気に対する磁気静水圧平衡近似の妥当性は明らかではない。そこで本研究では、太陽浮上磁場シミュレーション [2] の結果を検証用データとし、ある特定時刻の光球面ベクトル磁場から磁気流体力学緩和法を用いて太陽大気磁場を再構成した。本報告では、非線形フォースフリー磁場モデルとの差異にも注目し、本モデルの妥当性を検証する。

[1] T. Miyoshi, K. Kusano, S. Inoue, submitted to ApJS

[2] S. Toriumi, S. Takasao, ApJ, 850, 39 (2017)

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

M18a 線形フォースフリー磁場を利用した太陽活動領域磁場のモデリング

中谷賢人、草野完也、Sung-Hong Park、KD Leka (名古屋大学宇宙地球環境研究所)

太陽フレアの予測は宇宙天気予報にとって重要な問題である。太陽フレアは太陽活動領域内での MHD 不安定性によって引き起こされると考えられているが、太陽磁場の安定性を正確に評価する方法はまだ確立されていない。近年、Ishiguro & Kusano (2017) はダブルアーク不安定性 (DAI) と呼ばれる新しい不安定性が太陽フレアの初期駆動の役割を果たし、この不安定性の臨界パラメータである κ が活動領域の安定性を評価するために使用できることを提案した。パラメータ κ は、磁束関数である磁気ツイスト T_w の積分によって導き出すことができる。磁気ツイストを計算するためには、太陽コロナの 3 次元磁場が必要である。3 次元磁場を構築するモデルに光球ベクトル磁場データを用いた非線形フォースフリー磁場 (NLFFF) 外挿法がある。ただし NLFFF 外挿法には、大きな計算コストが必要であると共に、フォースフリー条件が光球面には適合しないため太陽コロナ磁場のモデルとしてうまく機能しない場合があるという問題がある。したがって、 κ を使用したフレア予測の効率と適用性を向上させるために、太陽活動領域、特にフレアトリガー領域の磁場の全体的な特徴を近似的かつ迅速に捉える方法を開発する必要がある。この観点から、本研究では複数の線形フォースフリー磁場 (LFFF) を使用して、太陽活動領域磁場の特徴を抽出する方法の開発を試みる。この目的のために、いくつかの太陽活動領域のデータを使用して、LFFF を太陽活動領域磁場モデルとして最適化する新たな方法を開発すると共に、従来の方法との比較を通してそ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](#)

M19a 非線形フォースフリー磁場モデリングに基づいた活動領域 12673 におけるエネルギー蓄積過程とフレアの発生機構に関する研究 II

山崎大輝 (京都大学), 井上諭 (名古屋大学宇宙地球環境研究所), 永田伸一 (京都大学), 一本潔 (京都大学)

2017 年 9 月に現れた活動領域 12673 は、9 月 6 日の X9.3 フレアをはじめとする大規模フレアを引き起こすなど、Solar Cycle 24 で最も活動的であった。本活動領域について、我々は非線形フォースフリー磁場外挿を施し、9 月 4 日から 9 月 6 日まで磁力線の捻れの時系列変化の定量的な解析を行ってきた。その結果、X9.3 フレア発生 2 日前の段階から大規模フレア発生の可能性が示唆された (2019 秋年会 M05A)。一方で、本活動領域では X9.3 フレア発生の 2 日前から連続的に M フレアが発生しており、9 月 6 日まで X9.3 フレアが発生しなかったことに関する物理的な解釈は未だ得られていない。そこで、本研究では外挿されたコロナ磁場と併せて Solar Dynamics Observatory / Atmospheric Imaging Assembly (AIA) による紫外線 1600Å での M フレアの観測データの解析を行い、以下のことを明らかにした。(1) 9 月 4 日の時点で 3 本の Magnetic Flux Rope(MFR) が形成されており、最も西側の MFR が X9.3 フレアを引き起こした。中央の MFR は他 2 本と捻れの方向が異なり、9 月 4 日 UT12:00 頃から急成長する様子が再現された。(2) M フレアが連続して発生している間、AIA1600Å は主に中央の MFR 周辺で顕著な増光を示した。これらの結果から、連続する M フレアは中央の MFR の急成長に起因すると考えられ、X9.3 フレアを引き起こした MFR が 9 月 6 日まで安定に存在できたのは M フレアの発生場所が異なったためであると示唆された。本講演では、上記内容に加えて連続する M フレアの中で最も大規模であった 9 月 4 日 UT20:30 頃に発生した M5.5 フレアの発生機構も議論する。

[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](#)

M20b 飛騨天文台 SMART 望遠鏡マグネトグラフ偏光キャリブレーション実験 III

山崎大輝, 永田伸一, 一本 潔 (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)/T4 では、波長中心 Fe I 6302.5Å に対して、 $\pm 160, \pm 80 \text{ m}\text{\AA}$ の 4 波長点で、時間間隔 30 秒 ~ 1 分で偏光精度 3×10^{-4} の Stokes parameter (I, Q, U, V) を取得している (2013 年春季年會 A17C)。T4 は Nagata et al. (2014) で確認されている測光精度 $\sim 5 \times 10^{-4}$ を達成するため、直線/円偏光度の最大値 (0.15/0.20) の仮定に対してクロストークを要求精度 $\sim 10^{-3}$ 以下に抑える必要がある (cf. Ichimoto et al. 2008)。そこで 2018 年 11 月に第一焦点より下流について、2019 年 5 月に望遠鏡を含む光学系全体について直線偏光板 (VLS-200-IR) および円偏光板 (HNCP37R, HNCP37L) を用いて偏光キャリブレーションを行った。その結果、いずれの測定においても T4 のポラリメータ応答行列は視野内で直線偏光から円偏光へのクロストークに要求精度を 1 桁上回る空間分布を示した。これは、ピクセル毎の偏光較正が必要であることを意味する (2019 年春季年會 M35A, 2019 年秋季年會 M35B)。本研究では、T4 の偏光ビームスプリッタ (PBS) の偏光特性を調べ、上述の空間分布が PBS 設置に伴い PBS の結晶内に生じる圧縮応力由来の遅延と膜の linear diattenuation が結果的に circular diattenuation のパターン (大きさ、透過率比 ~ 0.01) を生じることに起因すると示唆された。さらに、T4 に PBS の代わりに有意な空間特性を持たない直線偏光板を設置しての偏光キャリブレーションも行い、T4 の PBS 以外の光学素子が応答行列に上述の空間分布を生じさせないことを確認した。これらから、先行実験で確認された空間分布の原因を PBS の circular diattenuation であると結論付けた。本講演では実験概要および、T4 光路全体でのポラリメータ応答行列と PBS の circular diattenuation を含む T4 偏光モデルについて報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

M21b H α 線 2 波長同時撮像観測によるプロミネンスの高解像度速度場観測

宮良 碧, 野澤 恵 (茨城大学), 一本 潔, 大辻賢一, 上野 悟, 木村剛一 (京都大学), 萩野正興 (国立天文台)

我々は 2019 年 5 月 4 日に京都大学飛騨天文台ドームレス太陽望遠鏡を用い、太陽北東リムの活動領域 NOAA12740 にて発生した C1.0 クラスのフレア観測の結果についてポスター発表を行う。この観測では狭帯域チューナブル・フィルター (UTF-32) を用いて H α 線 (6562.8Å) と H α \pm 1Å、及び H α \pm 0.5Å のそれぞれについて同時撮像をおこなった。UTF-32 は、液晶可変リターダーによって高速チューニング (約 0.1 秒) を行い、広い波長範囲をカバーすることが可能である。フィルターの透過幅は H α 線近傍の波長域で 0.025nm である。観測の空間サンプリングは 0.123 秒角/pixel、露出時間は 8msec、時間分解能は 10 秒である。今回の観測では、0.4 秒間で 1 セット 50 枚の画像を取得し、スベックルマスクング像回復処理を施すことにより、口径 60cm の回折限界 (約 0.25 秒角) による H α 単色像とドップラークラムを取得した。観測ターゲットの NOAA12740 は比較的に近い単極黒点領域であり、プロミネンスやサージといった噴出現象を次々と発生させたのちに、C1.0 クラスのフレアを引き起こした。本観測結果からは、プロミネンスの噴出のダイナミックな運動や、フレア発生後の増光領域が伝搬していく様子の時間変化を捉えることができた。また、H α \pm 0.5Å ドップラークラムから、噴出したプロミネンスが回転運動を示している可能性があることが分かった。本発表では、このプロミネンス噴出の運動を速度場の時間変化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](#)

M22b プラズマの電子密度診断に用いる Fe XIV 輝線強度比の衝突輻射モデル評価

神原永昌^{1,2}, 村上泉^{3,1}, 坂上裕之³, 加藤太治^{3,4}, 原弘久^{1,2,5}, 中村信行⁶ (¹ 総合研究大学院大学, ² 国立天文台, ³ 核融合科学研究所, ⁴ 九州大学, ⁵ 東京大学, ⁶ 電気通信大学)

10^{6.1}~6.4 K の温度におけるプラズマの密度診断の手法の一つに Fe XIV の強度比から衝突輻射モデルを介して電子密度を求める方法があり、この方法によって得られる結果が太陽フレアをはじめとした物理現象の理解の際に重要な役割を果たす。これまで Hinode EIS の Fe XIV の 264.785 Å と 274.203 Å の輝線の強度比を用いた密度診断により、活動領域 (Lee et al. 2014, Kitagawa et al. 2015), ナノフレア (Patsourakos et al. 2014), フレア (Brosius et al. 2017) などが調べられている。信頼ある密度診断をすることは重要であり、そのためには実験室においてモデルを広い密度領域で精度高く評価する必要がある。電子密度が 10¹¹ cm⁻³ 付近では電子ビームイオントラップ EBIT (Arthanayaka et al. 2019) で高精度に評価されており、10¹⁰ cm⁻³ 付近ではこの小型装置の CoBIT (Nakamura et al. 2008) で評価されている。また、10¹³ cm⁻³ 付近の高密度の領域においてはトカマク型の NSTX-U (Weller et al. 2018) ほどしかない。しかしながら、Weller et al. (2018) では、Fe XIV の 264.785 Å と Fe XVI 265.003 Å との line blending を評価しておらず正確ではない。

まず、我々は過去の実験を検証するために CoBIT でこれまでと同様の実験を行い、先行研究と矛盾しない結果を得た。加えて、電子密度が 10¹³ cm⁻³ 付近に対応する大型ヘリカル装置 LHD のデータを用いて、Fe XIV の 264.785 Å と Fe XVI 265.003 Å との line blending を考慮に入れて解析を行なっている。本講演では、CoBIT の再実験および大型ヘリカル装置 LHD のデータを用いて衝突輻射モデルの評価を議論する。

[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](#)

M23b 太陽風シミュレーションモデルの高解像度化によるコロナホールの再現と高速風予測について II

田光江 (情報通信研究機構), 田中高史 (九州大学, 情報通信研究機構), 久保勇樹, 亘慎一 (情報通信研究機構)

コロナホール (以後 CH) による高速風は地球磁気圏に擾乱を起こす要因の一つであるが、太陽活動静穏期にも CH による擾乱は発生し地磁気嵐にいたることがある。またコロナ質量放出 (CME) は背景太陽風との相互作用により伝搬の速さや方向、広がりや影響され、その結果地球への到来予測も変り得ることから、正確な太陽風の再現は宇宙天気において重要な課題の一つである。低緯度に位置する CH は周期性があることから予測は比較的容易であるが、中緯度に位置する CH は過去の履歴や地球の位置情報のみでは予測が難しい。そこであらゆる位置の CH からの高速太陽風の到来を予測するため、太陽コロナ域から地球軌道を含む領域のグローバル太陽風シミュレーションモデルの開発を行って来ている。これまで 2016 年にモデルによる予報システムの運用を開始し、2018 年に運用の自動化を行って、前々回の年会までに報告した来た。

課題として、運用中のシミュレーションモデルの解像度が低く、面積の小さい CH や極から低緯度にいたる CH の先端部分の再現が不十分だったことがあげられる。前回の年会ではこの問題を改善すべく、格子点を約 16 倍 (解像度 $\sim \Delta 1 \text{度} \times \Delta 2 \text{度}$) にした高解像度版モデルを開発し、その途中経過について報告した。高解像度版では小さい CH や CH の境界もクリアに再現することが可能になったが、一方で地球軌道での太陽風の再現性に課題が残っている。

ここではこのシミュレーションモデルの結果と加熱モデルの最適化について報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

M24b 惑星間空間における II 型電波バーストのスペクトルの特徴と太陽高エネルギー粒子の関係

岩井一正 (名古屋大学), 八代誠司 (米国カトリック大学/NASA GSFC), 新田就亮 (LMSAL), 久保勇樹 (情報通信研究機構)

数 100kHz から数 MHz の周波数帯域にかけて発生する II 型電波バーストは、発生領域がコロナ外部から惑星間空間に対応し、コロナ質量放出 (CME) の発生とよく対応することから、CME によって励起された衝撃波と関係していると考えられている。そこで本研究では、惑星間空間で発生する II 型電波バーストのスペクトルの特徴と太陽高エネルギー粒子 (SEP) の関係を調査した。電波バーストと SEP の統計的関係性を無バイアスに抽出するため、両者の特徴に関係なく、SOHO 衛星に搭載された白色光コロナグラフ LASCO で観測された CME から、初期速度、広がり角、放出場所が近い 26 のイベントを抽出した。抽出された CME イベントに伴う電波バーストのスペクトルの特徴を WIND 衛星に搭載された WAVES から、SEP の地球近傍におけるフラックスを GOES 衛星から、それぞれ導出した。その結果、300kHz から 1MHz における II 型バーストのバンド幅と SEP のピークフラックスには相関係数 0.64 の正相関があった。この結果は、II 型バーストを引き起こす非熱的電子と非熱的イオンである SEP が同じ衝撃波で生成されていることを支持し、より幅広い、またはより強い衝撃波では、より多くの SEP が生成されることを示唆する。また本結果は、電波バーストのスペクトルの特徴を考慮することによって SEP のピークフラックスの予報精度が高まる可能性を示唆する。なお、本研究は 2017 年に行われたデータ解析ワークショップ (PSTEP-SEP-CDAW) から得られた結果をまとめたものである。

[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](#)

M25c $H\alpha$ 線と MgI 457.1 nm 線を用いた 2 波長同時高速 2 次元分光観測によるダークフィラメントのダイナミクスの時間変動

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

我々は京都大学飛騨天文台ドームレス太陽望遠鏡と高速 2 次元分光観測システムを用いて、太陽彩層～光球のダイナミクスの時間変動を調べている。これまでは主に $H\alpha$ 線による 1 波長観測を行ってきたが、形成される高さが異なる 2 本 (あるいはそれ以上) のスペクトル線を同時に観測すれば、太陽大気のダイナミクスを 3 次的に調べることができる。そこで、2019 年 7 月の共同利用観測において $H\alpha$ 線 (彩層) と MgI 457.1 nm 線 (temperature minimum 付近) による 2 波長同時観測を行った。その結果、太陽面北西部に位置する薄いダークフィラメントをターゲットとして最長約 10 分間の連続観測を計 3 回行うことができたので報告する。視野はスリット方向に約 120 秒角、スキャン方向に約 64 秒角、空間サンプリングはスリット方向に 0.2 秒角、スキャン方向に 0.32 秒角、ケーデンスは 1.3 秒、カメラのフレームレートは 200fps、スペクトルの次数は $H\alpha$ 線が 1 次、MgI 457.1 nm 線が 2 次である。得られた線輪郭から $H\alpha$ 線、MgI 457.1 nm 線の両方について積分強度 (ただし $H\alpha$ 線は線中心付近)、ドップラーシフト、ドップラー幅を求め、それらの時系列マップを 2 つの波長で比較したところ、ダークフィラメントの直下とみられる場所における MgI 457.1 nm 線ブルーシフトの消長や、ダークフィラメント近傍における MgI 457.1 nm 線レッドシフトなどが見られた。年会ではこれらの点について、彩層～光球の速度場の関係と時間変化に特に着目して詳しく報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

M26a 彩層温度最低値の違いによるコロナへの影響

鷲ノ上遥香, 鈴木建 (東京大学)

太陽外層には温度最低層と呼ばれる領域から上空数千キロにわたって彩層が広がり、さらにその上空には温度が 100 万度以上の高温のコロナが存在する。温度最低層は典型的に 4000 度程度と言われてきたが、観測的にも不定性は大きく誤差なく決定されている訳ではない。一方従来のコロナ加熱の研究では、このような彩層最低温度の違いはあまり考慮されておらず、太陽温度最低層と上空大気の性質との関係についてはよく理解されていない。

本研究では波動散逸によるコロナ加熱の 1 次元磁気流体数値計算により、温度最低層の違いによる太陽上空大気への影響について調査した。結果として温度最低値 (T_{\min}) が高いほど厚い彩層が形成されるが、上空コロナの性質は磁場の構造によって大きく異なることが示唆された。開いた磁場構造では T_{\min} が高いほどより高温のコロナが形成される。対して、短いループ構造では彩層の密度が高く輻射冷却によるエネルギー消費が大きいため上空での加熱が抑制され、 T_{\min} とコロナ温度との相関が逆転する。本講演では開いた磁場領域・閉じた磁場領域それぞれにおけるシミュレーション解析結果を紹介し、コロナの物理状態に対する温度最低層の重要性について議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

M27a X線ループ構造パラメータとコロナ質量放出の統計解析

飯田佑輔 (新潟大学), 川畑佑典 (NAOJ), 清水敏文 (JAXA/ISAS)

X線画像内のループ構造自動検出コードを開発し、それを用いたループ構造パラメータとコロナ質量放出の統計関係を調べた結果について報告する。

太陽活動領域 X線画像で見られるループ構造、特にシグモイドと呼ばれる S字構造の有無は、コロナ質量放出 (CME) の発生と相関があることが知られている。Kawabata et al. (2018) は、ひので X線望遠鏡が取得したフレアイベント 211 例について、ループ構造の自動抽出・目視での S字構造判断を行った。その結果、シグモイド構造の有無と CME 発生の際に、いくつかの優位な相関性を見出した。

しかし、CME 発生時の完全自動予測を行うためには、シグモイド構造やループ構造を自動検出する必要がある。Aschwanden 氏によって輝度画像におけるループ構造自動検出コード (OCCULT-2) が開発・公開されている。しかし OCCULT-2 では、接線方向変化が大きいシグモイド構造の検出には適していない。そこで、OCCULT-2 の構造追跡アルゴリズム部分を改良し、シグモイド構造までを含んだループ構造自動検出コードを開発した。

開発したコードを Kawabata et al. (2018) での解析データ (211 イベント, 5 万枚) に適用し、ループ長・ループ輝度などと CME 発生時の相関性を調べた。以下の 2 つの結果を得た。

1. シグモイド構造が検出されなかった場合は、CME は発生しない。
2. CME が発生した活動領域のループは、CME を起こさなかったものに比べて、X線輝度の最大値・平均値・中央値が有意に小さい。

講演では、これらの物理的解釈と、X線画像とループ自動検出を用いた CME 発生予測への展望を述べる。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

M28a 彩層・太陽風における Alfvén 波の非線形過程とその磁場強度依存性

坂上峻仁, 柴田一成 (京都大学)

太陽大気は、6000K の光球の上空に 10^4 K の彩層、 10^6 K のコロナが続き、コロナからは太陽風が定期的に吹き出している。こうした高温の外層大気の形成・維持や太陽風の駆動を担う物理機構を解明することは、詳細な観測に基づく検証が可能な太陽物理学の最重要課題の 1 つであり、その知見は太陽同様に低温な主系列星の恒星大気・恒星風の性質を体系的に理解することに役立つ。この高温大気・太陽風の形成維持機構を解明するためには、太陽大気中における Alfvén 波の非線形伝搬を理解することが重要である。Alfvén 波は大気中の磁気エネルギー輸送を担うとともに、非線形過程を通じて大気のダイナミクスを誘起することがわかっている (Kudoh & Shibata 1999)。しかし、こうした Alfvén 波の非線形過程が背景磁場に対してどのように依存するかは十分検証されていないため、特に太陽大気下層の磁場構造と上層大気のダイナミクス、太陽風の性質に関するかわかっていない。そこで本研究では、太陽大気・太陽風を 1 次元でモデル化した磁気流体数値計算により、太陽大気下層の磁場構造が彩層のダイナミクス (特にスピキュールと呼ばれるジェット現象) や太陽風の質量損失率に与える影響を定量的に評価する。計算の結果、太陽大気下層での磁束管の膨張が著しいとき、スピキュールの高さが低くなり、太陽風の質量損失率が極端に小さくなることを発見した。本講演ではこの現象を Alfvén 波の非線形過程に注目して詳細に議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

M29a EIS 分光データの強度勾配の大きい領域に現れる偽速度場について

原 弘久 (国立天文台)

ひので衛星に搭載されて 2006 年より観測を続けている極端紫外線撮像分光装置 EIS は、その高い感度、多数の輝線の同時観測、輝線幅の測定を可能とする波長分解能から、多くの科学成果を生み出してきた。現在においても、宇宙から実施している太陽コロナの分光観測は他では得られない稀有なものであり、観測者のアイディア次第では、観測可能な輝線の組み合わせにより、特徴的な新しい観測的な研究を実施できるポテンシャルがある。本講演では、この装置の分光データの速度場解析で現れる偽信号の特徴とその補正について議論する。

ここで取り上げるのは、強度勾配の大きい領域で見出される偽速度場信号についてである。ひので衛星が観測する太陽コロナの場合、短い空間スケールで大きく強度が変わるような領域がある。ここを EIS で観測すると、強度勾配の大きな部位で不自然に変化する速度場構造が現れる。これまでの理解は以下の通りである。EIS で得られる分光スペクトルデータは、スリット上の各点からくる光を分散光学系でスリットと直交する方向、つまり波長方向に分光されたスペクトルの集合体として得られる。この分散光学系に収差があり、単一波長の点光源の拡がり分散方向から傾いた方向にも拡がるため、その点のスペクトルは近接するスリット上の空間点のスペクトルに対して影響を及ぼす。EIS が観測する輝線スペクトルでは、強度の小さな空間点のスペクトルの裾野に対して、強度の大きな近接する空間点のスペクトルの影響度は無視できず、これを何も考慮せずに解析すると偽の速度場を得てしまうことになる。本講演では、具体的な例をあげた上で、EIS の分散光学系の特徴を観測データより推定する。そして、得られた結果を噴出型太陽フレアの上領域に形成される大きな強度勾配域に適用して、そこに潜む速度場構造について考察する。

[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](#)

M30a 表面磁束輸送モデル計算及び PFSS 外挿法を用いたコロナホール分布の時間発展計算

渡邊優作 (ISEE), 今田晋亮 (ISEE), 飯島陽久 (ISEE), 塩田大幸 (NICT), 三好由純 (ISEE)

太陽の周期活動を予測することは、太陽地球系の長期変動、すなわち宇宙気候の研究に大きく貢献する。この周期活動に関して、太陽極小期における極磁場と次のサイクルの極大期における太陽活動との関係性が知られている。そのひとつとして、Iijima et al. (2017) は、表面磁束輸送モデル (SFT) を用いて太陽の極小期における極磁場を計算し、次のサイクルの極磁場は現在よりも弱くなると結論づけている。我々は、この Iijima et al. の結果の妥当性を評価するために、SFT による太陽表面磁場の時間発展を計算し、計算による結果と Helioseismic and Magnetic Imager (HMI) で得られた観測値との間の相違を求め、計算により観測された磁場の分布を再現することができるか確かめた。さらに、この計算によって表面磁場を導出したのち、計算結果の表面磁場分布を境界条件とする Potential Field Source Surface (PFSS) 外挿法を用いて、3次元コロナ磁場を計算し、開いた磁力線をたどることでコロナホールの足元を特定した。このように、SFT による数値計算から得た磁場分布を境界条件とする PFSS を用いることで、人工衛星では観測することはできない裏側のコロナ磁場分布については、Synoptic map を利用する場合よりもより現実に近い分布を得られることが期待される。本発表では、2010 年から現在までのサイクル 24 に着目し、磁場の輸送およびそれに伴う極域コロナホールや開いた磁力線を数値計算によって導出し、それらの時間変化についての考察した結果を報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

M31a コロナ加熱を想定した磁気リコネクションのHall MHD 計算

村上享平 今田晋亮 飯島陽久 名古屋大学宇宙地球環境研究所

太陽コロナは太陽の表面より高温であり、その熱源は解明されていない。太陽表面の対流エネルギーの1%でも散逸すれば説明できるがそのメカニズムは未解明である。コロナ加熱を説明するモデルの一つにナノフレアによるエネルギーの散逸がある。ひので衛星の観測結果から浮上磁場の間にナノフレアによるものと考えられる発光現象が確認されている。しかし、ひので衛星の性能ではナノフレアのスケールの磁力線の構造を観測することが難しい。Imada & Zweibel 2012 において浮上磁場の磁気ループ内で大量のナノフレアが発生し、コロナが周期的に加熱されるモデルが提唱された。しかし、このモデルでは、1次元の流体計算のみで磁気リコネクションは再現されていない。電流層のスケールがイオン慣性長と同程度のとき、無衝突磁気リコネクションはHall効果によって加速されることがBirn et al. 2001 において議論されている。太陽内部で捻れた磁力線がコロナに浮上した場合、電流層の周りの密度が急減するため、イオン慣性長が大きくなりHallリコネクションが発生すると考えられる。本研究では、HallMHDを用いて浮上磁場でリコネクションするモデルの作成を目的とする。浮上磁場を再現するために、電流層に対して水平に重力を追加した。この重力は、磁場が浮上したときのループに沿った重力をあらわしている。ループに沿った方向の重力成層を模擬することで浮上磁場の密度がコロナ中で減少する状況を再現した。理想MHDではリコネクションは発生しないが、重力を加えた場合はリコネクションが発生した。これは、重力によって電流層の密度が減少し電流層が薄くなり数値的に散逸したためである。しかし、実際のコロナでは数値的な散逸ではなく、Hall効果によって散逸すると考えられる。従って、重力成層を考慮した計算にHall項を追加し、電流層厚さがイオン慣性長と同程度になったときにリコネクションが発生することを確認する。

[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](#)

M32a 機械学習と流体シミュレーションを用いたナノフレア解析

河合敏輝, 今田晋亮 (名古屋大学宇宙地球環境研究所)

太陽物理学における未解決問題の一つに、コロナ加熱問題がある。コロナを加熱するメカニズムとして有力な仮説が二つ存在し、それぞれ波動の散逸による加熱モデル、磁気再結合に伴う微小な爆発現象(ナノフレア)による加熱モデルである。後者の仮説に基づき、ナノフレアによってコロナがどれだけ加熱されているかを推定することは、コロナ加熱問題の解決にあたって重要な課題である。しかし、マイクロ/ナノフレア観測の統計解析研究(Shimizu 1995, Uemura & Masuda in prep.)では、(1)単一の観測装置のみを用いている(2)フレアのエネルギーを導出するため、加熱前後のコロナループの温度を一様に仮定している(3)1ピクセルに満たない微細構造を考慮していないという問題点がある。そこで、本研究では、多波長観測と流体シミュレーション、遺伝的アルゴリズムを用いることで、微細構造を加味しつつ、ナノフレアの解析をより高い精度で行う手法を開発した。まず、様々なエネルギーを持つフレアによって加熱されるコロナループの物理量を、一次元流体シミュレーションによって計算する。次に、シミュレーション結果をSDO/AIAの極端紫外線領域の6種類のフィルタの応答関数に通すことで、コロナループを擬似的に観測し、それぞれのライトカーブを取得する。このようなデータの組み合わせを多数(>1,000)作成し、遺伝的アルゴリズムを用いて、観測されたコロナループのライトカーブを最もよく再現する疑似観測結果の組み合わせを推定する。推定結果からシミュレーションへのフレアの入力を取得することで、観測領域に発生したフレアの加熱率および発生時間を算出する。今回、上記の手法を活動領域NOAA12673のコロナループ観測に適用した。結果として、今まで統計解析が行われていなかった 10^{25} erg程度の微小なフレアを解析可能になり、コロナループが微小フレアによって間欠的に加熱されていることがわかった。

[スケジュール\(セッション毎\)に戻る](#)

[スケジュール\(全体\)に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

M33a CME 発生活動領域の同定および機械学習による発生予測

西塚直人(情報通信研究機構), 長谷川隆祥(東京大学/宇宙航空研究開発機構), 杉浦孔明, 久保勇樹, 石井守(情報通信研究機構)

コロナ質量放出(CME)は宇宙天気現象に大きな影響を及ぼすが、太陽フレアに伴うものもあれば、静穏領域から不安定化によって飛び出す巨大フィラメント構造が源になることもあり、その発生予測は難しい課題である。CME発生は太陽面上でのグローバルな現象であるため、太陽フレアに比べて大局的な特徴量が予測に重要である可能性がある。西塚ら(日本天文学会2019年春季年会)は活動領域毎に磁気ヘリシティや自由磁気エネルギーといった大局的な特徴量を計算して、機械学習を用いたCME予測モデルのための合計107個の特徴量の入力データベースを作成した。

今回はさらにCME発生領域の同定を行って、教師あり学習を行うためのラベルを作成した。そして実際に機械学習を適用して、CME発生の予測と特徴量の重要度ランキングの計算とを行った。使用データは2010?2015年の観測データを用い、CMEイベントカタログからCME417例を選んで、SDO衛星動画(304 Å, 193 Å, 131 Å)から発生領域を目で同定した。その結果、195例が活動領域、35例が活動領域近隣の静穏領域、60例が静穏領域、127例がリムで発生していたことがわかった。さらにExtremely Randomized Treesという機械学習を適用してCME予測を行うと、スキルスコア(TSS)で0.5を超える精度を達成し、特徴量ランキングとしては、Cクラス、Mクラスのフレア発生履歴の他に、磁気中性線の長さやディップ角、シア角といった磁気中性線まわりの特徴量が予測に有効であることが示された。

[スケジュール\(セッション毎\)に戻る](#)

[スケジュール\(全体\)に戻る](#)

[講演者索引 TOPに戻る](#)

M34a 白色光フレアと磁場の関係についての統計的研究

渡邊恭子, 鶴田康介(防衛大学校), 増田智(名古屋大学), Säm Krucker (University of Applied Sciences Northwestern Switzerland, UC Berkeley)

太陽フレアにおける白色光増光現象である白色光フレアの起源は加速電子であることが、これまでの観測より強く示唆されている。本研究ではこの白色光フレアの成因を探るため、太陽フレアを白色光フレア(WLF)と非白色光フレア(NWL)に分類し、フレア発生領域の磁場に関して統計解析を行った。

太陽フレアのマイクロ波スペクトルには放射強度が最大になる折れ曲がり周波数(ν_{peak})が存在するが、 ν_{peak} は、放射領域の磁場強度に依存することが知られている(Dulk 1985)。この ν_{peak} を用いて加速域近傍の磁場強度を見積もるために、2011年以降に発生したM3クラス以上のフレアのうち、ループトップでマイクロ波源が確認されていた29例のイベントを用いて統計解析を行った。この結果、WLFとNWLの間で ν_{peak} の分布に違いは確認できなかった。 ν_{peak} は放射領域の磁場強度だけでなく、フレアループ内の電子密度によっても変化するため(Dulk 1985)、この手法で加速域近傍の磁場強度を確かめるのは難しいことが分かった。

次に、ひので可視光磁場望遠鏡で観測されたM1クラス以上のフレア35例を用いて、白色光放射領域における磁場強度及び放射温度についての解析を行った。この結果、磁場強度と放射温度は白色光強度と比例関係にあり、放射強度は放射温度の4乗に概ね比例していた。これより、光球面の磁場強度がループトップの磁場強度と比例していると仮定すると、強い磁場によって加速された大量の電子が光球面近くのフットポイントに降り込み、その領域が加熱された結果、白色光が放射されていると考えられる。これより、加速域の磁場強度はWLF発生のための重要な要素にな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](#)

M35a フレア統計の応用によるフレア活動史の過去への伸長

河村聡人, 柴田一成

太陽の黒点の観測史が約400年あることに対し、フレアの観測史はH α での観測で約65年、X線で約45年である。そのなかで100年に一度やそれ以上に稀な巨大フレア（スーパーフレア）の議論をしようすることは不可能である。一方、フレアに伴いコロナ質量放出が起こり、それが地球磁気圏に衝突し、磁気嵐が起こった場合、その観測記録は約140年遡ることができる。

我々は2019年春季大会において、黒点の面積とフレアのX線強度、コロナ質量放出の統計的分析を発表した。この分析により、大きな黒点ほど強いX線強度のフレアでなければコロナ質量放出を伴わないことがわかった。この統計を応用し、巨大な磁気嵐の発生時期に出ていた黒点の面積からフレアのX線強度を推測する手法を提案する。この手法によりフレア活動史が140年へと伸長でき、スーパーフレアなどの議論への基本的なデータを提供できるものと期待する。当発表ではこの統計的フレア推測手法の紹介と発展性を議論する。

[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](#)

M36a 観測データによる太陽フレア EUV 放射スペクトルモデルの検証

西本将平, 渡邊恭子(防衛大学校), 今田晋亮, 河合敏輝(名古屋大学), 川手朋子(宇宙航空研究開発機構), Kyoung-Sun Lee(The University of Alabama in Huntsville)

太陽フレア放射、特に極端紫外線(EUV)放射は、地球電離圏の電子密度変化に大きく寄与していることが知られている。しかし、EUV放射スペクトルを高い時間&波長分解能で観測している装置は現在運用されていないため、太陽フレアEUV放射スペクトルを再現する予測モデルが構築されている。現在、最も広く使用されているモデルはFlare Irradiance Spectral Model(FISM)(Chamberlin et al. 2006, 2007, 2008)であるが、FISMは経験則に基づいたモデルであるため、算出されたフレア放射の物理過程は分からない。

そこで我々は、フレアループ内の物理を明確にした太陽フレア放射スペクトルモデルの構築を行った(Imada et al., 2015; Kawai et al., in prep)。我々のモデルでは、CANS(Coordinated Astronomical Numerical Software)1Dのフレアパッケージを用いてフレアループ内のプラズマの動きを計算し、これにCHIANTI原子データベース(Del Zanna et al., 2015)を用いて、X線・EUV放射スペクトルの時間発展を導出している。本モデルへの入力値であるフレアループの長さについては観測されているフレアリボン間距離から導出し、加熱強度については観測値に合うように設定した。このモデルを使用して、SDO/EVE MECS-Aの観測データがある33イベント(M3クラス以上)についてフレア放射の再現計算を行ない、計算値と観測値の比較を行なった。この結果、全体的なEUV放射強度については再現できていないイベントがあるものの、EUV放射スペクトルのライン放射については明瞭に再現されていることが分かった。

本講演では、EUV放射スペクトル再現計算結果について報告し、用いたパラメータ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](#)

M37a TESS と MAXI を用いた恒星フレアにおける白色光フレアエネルギーと X 線最大フラックスの関係

岡本豊, 岩切渉, 佐々木亮, 河合広樹, 佐藤樹, 坪井陽子 (中央大学), 行方宏介 (京都大学), 野津湧太 (コロラド大学), 河合誠之 (東京工業大学), 他 MAXI チーム

巨大な磁気エネルギーの解放現象であるフレアは、太陽だけでなく、近傍の恒星からも観測されており、M 型星からのフレア放射エネルギーは $\sim 10^{35}$ erg にも及ぶ。このような巨大恒星フレアに対し、太陽フレアの放射メカニズムが適応できるかを知る上で、他波長による同時観測の結果を比較することが重要である。しかし、恒星フレアは同時観測の困難さから十分な観測データが得られていなかった。そこで我々は、2018 年 7 月に観測を開始し、6,000–10,000 Å の帯域で測光観測をしている系外惑星探索衛星 TESS、および 2–20 keV において全天を走査観測している MAXI に着目し、可視連続光の増光である白色光フレアの放射エネルギー (E_{WL}) と、X 線の最大光度 (F_{GOES} : 1–8Å の GOES flux) の関係を調査し、すでに Namekata et al. 2017 において、 $F_{GOES} = 10^{-5} - 10^{-4}$ W m⁻² の帯域における、太陽フレアでの $E_{WL} - F_{GOES}$ 関係との比較を行った。TESS と MAXI によって同時観測されているフレアの調査を行ったところ、2018 年 8 月 16 日に dMe 型星のけんびきょう座 AT 星で生じたフレアが同期していた。このフレアの X 線の最大光度は $F_{GOES} = 10$ W m⁻² という巨大なものであり、MAXI と TESS のデータから F_{GOES} と E_{WL} をそれぞれ求めた。さらに、X 線と可視光で恒星フレアを同時観測した先行研究 (Guarcello et al. 2019) のデータをもとに、 $F_{GOES} = 0.01 - 1$ W m⁻² の帯域における F_{GOES} と E_{WL} を求めた。その結果、太陽及び恒星フレアにおける $E_{WL} - F_{GOES}$ 関係は 6 桁にわたって $E_{WL} \propto F_{GOES}^{\sim 1.0}$ であることがわかった。このことは、恒星フレアにおいても太陽フレアと同様に Neupert 効果が概ね成り立つことを示唆する。

[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](#)

M38a 電子ビーム加熱による太陽フレア大気の輻射流体計算と Mg II 線放射

鄭祥子, 柴田一成 (京都大学)

太陽フレアは、太陽大気中に見られる広範囲な波長帯にわたる突発的増光現象であり、コロナに蓄えられた磁場のエネルギーが磁気リコネクションによってプラズマの熱・運動エネルギーに変換される現象として理解されている。フレアで観測される硬 X 線放射や電波バーストは、リコネクションに伴って加速された電子の一部が高密度彩層に突っ込むことでもたらされると理解される。また、コロナでは軟 X 線ループ放射が、その足元の彩層では彩層スペクトル線のレッドシフトと強い発光が観測されることが典型である。これは、局所的に高温となった彩層ガスが急膨張することで、上空には高温ループが形成する一方、彩層中にはその反作用となる低温な下降流が生じる、という描像として説明される。しかし、彩層スペクトル線がブルーシフトする観測例もあり、これも含めて説明できる描像は確立していない。近年、衛星 IRIS によって彩層の高時空間分解観測が可能となり、彩層で形成する Mg II 線によるフレア領域の観測では、レッドシフトの直前にブルーシフトが見られる観測例が報告されている。さらに、これを説明するために、高エネルギー電子が彩層の深部を加熱することで、彩層深部に形成した高温ガスが彩層表面の低温ガスを押し上げるという新たな描像が提示されている。我々は、次元輻射流体計算コード Flarix を用いてフレア大気の輻射流体計算を行い、この新たな描像が実現されるのかについて調べた。さらに、Mg II 線放射プロファイルの時間発展についても計算した。その結果、電子ビームを特徴付けるパラメタの値によっては、彩層の深部で加熱率が最大となり、高温なガスが上部に彩層プラズマを伴いながら膨張しうること、そして、それに伴って Mg II 線プロファイルの非対称性が引き起こされることが分かった。解析結果から電子ビーム注入に対する彩層プラズマの応答と、Mg II 線の形成について議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

M39a 超小型衛星を用いた太陽フレアからの熱的・非熱的放射の時間発展の研究

長澤俊作 (東大 Kavli IPMU), 川手朋子 (宇宙航空研究開発機構), 成影典之 (国立天文台), 高橋忠幸 (東大 Kavli IPMU), Amir Caspi (SwRI), Tom Woods (LASP/University of Colorado)

本研究では、超小型 CubeSat 衛星 MinXSS-1 の軟 X 線の観測データを用いて、1 keV 毎などの細かいエネルギーバンドでの太陽フレア発生時の放射の時間発展を調査した。

太陽フレアに伴う X 線の放射には主に高温プラズマからの熱的な放射と加速電子からの非熱的な放射の 2 種類存在すると考えられており、これらは時間発展の振る舞いが異なることが知られている (Neupert et al., 1968)。そのため、細かいエネルギーバンド毎に放射の時間発展を調査することによって、その振る舞いの違いから熱的・非熱的放射がそれぞれどの程度支配的かを識別することは、フレアに伴う加熱、冷却および粒子加速の過程を理解する上で重要である。しかし一方で、これまで行われた軟 X 線帯域での解析は GOES 衛星や RHESSI 衛星を用いた広いエネルギーバンド毎での時間発展を追うものが中心であり、加熱・冷却過程の詳細な追跡や、熱的・非熱的放射の境目となるエネルギーを明確に識別することが難しかった。

そこで我々は、2016 年から約 1 年間太陽全面からの 0.8-12 keV の軟 X 線観測を行なった超小型 CubeSat 衛星 MinXSS-1 のデータを用いて、フレアに伴う放射の時間発展を最短 10 秒毎に、1 keV 毎などの細かいエネルギーバンドで調査した。その結果、4 keV 程度を境に時間変動の振る舞いに明確な違いが確認された。さらに、野辺山強度偏波計及び RHESSI の観測データを用いて、加速電子からの非熱的なジャイロシンクロトロン放射である 17 GHz の電波放射や硬 X 線放射の時間変動との比較検討も行なった。

本講演では以上の結果を紹介し、熱的・非熱的放射の時間発展及びその物理について議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

M40a 磁力線と荷電粒子の運動

柴崎清登 (太陽物理学研究所)

電磁現象を理解するために Faraday は電磁力線とその運動を導入した。これを Maxwell はベクトル場の偏微分方程式群によって数学的に定式化した。これによって古典電磁気学においては力線やその運動について議論する必要がなくなった。一方、磁気流体力学 (MHD) においてはプラズマに凍結した磁力線とその運動が導入されている。磁力線の凍結は、オームの法則で電気伝導度無限大の仮定 (理想 MHD) をして $E + V \times B = 0$ の関係を得、これを電磁誘導の式に代入することによってプラズマと磁力線がいっしょに運動することが導かれる。しかし、電気伝導度が無限大の媒質 (完全導体) 中では磁場は変化できないため、磁力線は動くことができないことになるが、太陽大気中では磁力線は変化している。この問題を古典電磁気学と無矛盾に解決したい。

まず真空中での磁力線の運動について検討する。運動を議論するためには、磁力線に座標を定義する必要がある。そこで、電磁場を Lagrange 形式を用いて扱う場合に用いられる一般化座標を力線の位置座標とする。磁力線の場合はベクトルポテンシャル A が一般化座標である。速度はその時間微分であり、 A の時間微分は電場 E である。これらを用いると磁力線の運動を議論することができる。小さな空間領域内で磁場が一様 (z 方向) とし、ランダウゲージを用いると、 $A = B \times x$ となる。 x 方向に速度 u で運動する A を考えると、 A の時間変化は $B \times u$ となり、 $E = B \times u$ すなわち $E + u \times B = 0$ となる。これで磁力線の位置と速度が定義できた。このような電場と磁場がある場合、荷電粒子は $E \times B$ ドリフトを生ずる。ドリフト速度 V は磁場の速度 u と一致し、プラズマは磁力線と同じ動きをすることがわかる。しかし、電場がクーロンポテンシャルによる場合、磁力線は動かず、プラズマのみドリフト運動をすることになり、磁場の凍結が溶けることになる。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

M41a 太陽黒点は（未確認の）”向太陽循環水流”がつくる現象？

藤原ケイ

太陽黒点は 太陽内部起因の現象ではなく、外部起因である可能性をこれまで述べた。(2017 秋、2918 春)

[興味ある関係] ”木星と 133 P が外合のとき黒点発生は極大になり、内合のとき極小となる”

この関係を合理的に説明する場合 未確認ではあるが ”太陽系の外側から太陽に向かって H₂O (水) を主体とする流れが存在する”と考えるのが自然だろう。これを”向太陽循環水流”と呼ぶことにする。向太陽循環水流は 太陽風によって太陽から放出された原子群 (H, C, O, N等) が 太陽系外周部で H₂O、CO₂等に結合・分子化して 再び太陽に向かって還流するイメージのものである。

また 関連する現象として地球における強い竜巻、ENSO (エルニーニョ・南方振動)、台風発生等に 地球と 133 P、176 P の内合時期は密接な関係がある。(気象学会 2018 春、2019 春 筆者報告)

この関係は 太陽に向う水流が その途中で地球と衝突するときの現象と考えると良く理解できるだろう。

今回の報告は 地球の現象からの知見を加えて、黒点相対数の推移と木星/133 P、176 P の黄経・黄緯差等との関係を並べて読み直し、偶然の関係ではないことを示したい。

尚 133 P (エルストピサロ彗星)、176 P (Linear 彗星) はともに小惑星帯にあり、公転軌道面に近い位置を周回する周期彗星であり、互いの周期が近いので 約 380 年という長い相対周期で、接近したり離れたたりしている。(現在は 離れて周回している時期である。)

また 向太陽循環水流は定常流であり、133 P、176 P が作る乱流要素が太陽黒点や地球の台風を発生させていると考えている。

[スケジュール\(セッション毎\)に戻る](#)

[スケジュール\(全体\)に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

N01a 多波長モニタ観測で探る M 型星フレアのバルマー線の輝線輪郭非対称性

野津湧太, Adam Kowalski (コロラド大 LASP & NSO), 前原裕之 (国立天文台), 行方宏介 (京都大), 本田敏志 (兵庫県立大), 榎戸輝揚 (理研), 濱口健二 (NASA/GSFC & UMBC), 野津翔太 (ライデン大), 岡本壮師, 幾田佳, 野上大作, 柴田一成 (京都大), James Davenport, Suzanne Hawley (ワシントン大)

フレアは恒星表面での磁気エネルギー解放現象で、様々な波長域で増光が観測される。太陽フレアをバルマー線 ($H\alpha$ や $H\beta$ 線) で観測すると、多くの場合、彩層下降流に伴う赤方偏移が見られる。近年、低温でフレアを頻発する M 型星において、分光観測単独のアーカイブデータ等から、フレア中のバルマー線の輝線輪郭が青方偏移している例が複数報告されている (Vida et al. 2019 他)。これらは、恒星フレアに伴う質量放出を反映している可能性もあり、惑星への影響を推定する上でも重要である。しかし、青方偏移の生成過程や、本当に質量放出を反映する現象なのか、その理解は進んでおらず、可視連続光や X 線も含めた同時多波長モニタ観測が重要である。

そこで私達は、APO3.5m 望遠鏡と SMARTS1.5m 望遠鏡での高分散分光観測を軸に、TESS 衛星、APO0.5m 望遠鏡、LCO1m&0.4m 望遠鏡での測光観測と、NICER 及び XMM-Newton での X 線観測による、M 型フレア星の同時モニタ観測を進めている。その結果、対照的な 2 つのフレアが観測された。1 例目では、可視連続光での顕著な増光が見られない一方、3 時間以上にわたってバルマー線や X 線では増光が見られ、その間に 20 分ほどの継続時間の青方偏移 (-200km/s 程度) が 2 度生じていた。一方、2 例目では、可視連続光・バルマー線・X 線の全てで顕著な増光が見られ、連続光増光の時間変化に対応して、バルマー線の輝線幅が $\pm 400\text{km/s}$ 以上にわたって対称的に広がったが、青方偏移は見られなかった。これらに加え、フレア中ずっと青方偏移する例の報告 (Honda et al. 2018) もあり、可視連続光の有無や青方偏移の継続時間など、複数の要素に着目した議論が重要である。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

N02a Kepler 全データを使った太陽類似星スーパーフレアの統計解析

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

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

そこで本研究では、太陽型星と判定されていなかったが新しく太陽型星と判明した星をサンプルに加え、未解析の全期間の Kepler 望遠鏡のデータ (~ 1500 日分) について検出を行ったことにより、太陽類似星のサンプルサイズは先行研究の約 12 倍となった。解析した結果、太陽類似星のスーパーフレアは 3 天体 3 個から 16 天体 29 個に大幅に増加することができた。これにより精度の高い統計的研究を行うことが可能となり、先行研究 (Notsu et al. 2019) の結果 (1) 太陽類似星では数千年に一度の割合で、最大 $5 \times 10^{34}\text{erg}$ 程度のスーパーフレアが起こる、(2) 太陽型星の統計解析から、自転周期の増加とともにフレアエネルギー上限が減少する傾向がみられる、(3) 年齢 (自転周期) の増加とともにスーパーフレアの発生頻度が減少する、をより明確に示すことができた。(1) は太陽でもスーパーフレアが起こる可能性を強く示唆している。また (2-3) は巨大黒点の面積が自転周期の増加とともに減少することに対応している。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

N03a RY Dra からの星風の安定性

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)

炭素過多 AGB 星からの星風は磁気駆動機構に基づく MHD モデル (Yasuda et al. 2019) 及び (脈動も考慮した) ダスト駆動機構に基づく動力学モデル (e.g., Fleischer et al. 1992) の枠組みで研究されてきた。高い質量放出率 ($\dot{M} \geq 10^{-6} M_{\odot} \text{ yr}^{-1}$) を持つ星の星風の場合は両モデルにより再現可能である。一方で低い質量放出率 ($\sim 10^{-7} M_{\odot} \text{ yr}^{-1}$) を持つ星の星風の駆動機構及び安定性は明らかでない。炭素過多 AGB 星 RY Dra の星風は低速かつ低質量放出率 ($v_{\text{gas}} = 10 \text{ km s}^{-1}$, $\dot{M} = 1.8 \times 10^{-7} M_{\odot} \text{ yr}^{-1}$, Olofsson et al. 1987) であり、またこの星の表面磁場は 4.8G 未満であると見積られている (Duthu et al. 2017)。そこで今回我々は RY Dra に注目して、低速かつ低質量放出率の星風が磁気駆動機構またはダスト駆動機構で再現できるかを検証する。

検証にさいして、RY Dra の有効温度、光度、脈動周期、及び星表面での opacity は各々 3010 K (Ohnaka and Tsuji 1999)、4500 L_{\odot} 、173 日 (Ramstedt and Olofsson 2014)、及び $10^{-3} \text{ cm}^2 \text{ g}^{-1}$ と設定した。MHD モデル及び動力学モデル共に星の質量を小さく ($1 M_{\odot}$ 程度) 設定した場合でのみ再現できた。質量を $1.0 M_{\odot}$ とした場合の結果は以下の通りである。MHD モデルの場合、表面磁場の値を調整したところ 3 G にすると再現できた。なおこのモデルに炭素ダスト形成とダストに働く輻射圧を拡張しても星風特性はさほど影響しない。一方で動力学モデルにおいて脈動の速度振幅 Δu_P 及び表面での元素組成比 C/O を調整し計算させたところ $\Delta u_P = 7.2 \text{ km s}^{-1}$ 、C/O = 1.85 とすると再現できた。ただしガスとダストが一緒に移動すると近似する PC モデルではガス速度と質量放出率の値を同時には再現できない。ダストのドリフト運動を考慮したドリフトモデルを使用することが要求される。本講演では計算結果を示し、炭素過多 AGB 星の進化と星風の駆動機構及び安定性について議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

N04a アルベーン波加熱を含む磁気回転風モデル

庄田宗人, 鈴木建

表面に対流層を持つ小質量星は主系列段階において磁場と恒星風を介して角運動量を失い、自転周期を年齢とともに徐々に低下させる。この物理過程を (恒星風による) 磁気制動と呼ぶ。恒星の自転周期は恒星磁場の生成 (ダイナモ過程) において最も重要な要因であり、磁気制動は恒星の長い時間スケールに渡る磁気活動を規定する重要な物理過程である。恒星磁気活動はコロナからの XUV 放射、恒星風、フレア・コロナ質量放出を介して惑星環境にも影響を及ぼすため、磁気制動の強度とそれを決める物理を理解することは天文学における重要問題と言える。

私たちは主系列段階の中でも特に unsaturated regime と呼ばれる磁気活動が自転速度と相関を持つような段階に注目し、恒星風の質量損失率・角運動量損失率が恒星の自転速度に対しどのような依存性を持つかを調べた。これらは恒星コロナ温度に敏感なパラメータであるため、コロナ加熱をできるだけ正確に解く必要がある。そこで私たちはコロナ加熱を陽に解くことのできる太陽風モデルを恒星風モデルへ一般化し、この問題を解決した。数値計算の結果、角運動量損失率 τ_w は自転速度 Ω_* に対し $\tau_w \propto \Omega_*^{2.85}$ の依存性をもち、観測されるスピンドアウンと整合的な依存性が得られた。一方質量損失率は Ω_* への依存性が非常に弱く、これまでの理解とは異なる結果が得られた。この差異は恒星彩層の取り扱いに由来するものであり、彩層の現実的なモデル化が恒星風の理解には不可欠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](#)

N05a 磁気回転星進化の新しい計算手法

高橋 亘 (Max Planck Institute for Gravitational Physics)

放射外層をもつ主系列星の約 10% は 100 G を超える強い表面磁場を持つことが知られている。強い表面磁場は質量・角運動量放出率に影響しうるし、またこれらの磁気星には対流を阻害したり角運動量輸送に寄与する強い内部磁場が存在するかもしれない。磁気星の進化は磁場の弱い星のそれと異なる可能性がある。なにより、強い表面磁場を有する白色矮星や中性子星の起源を考慮する上で磁気星の進化を理解することは重要である。一方、これまでほとんどの星の進化計算では、磁場の強度・構造を局所的に仮定した現象論的モデルを用いることで磁場の効果を取り入れたことにされてきた。しかしこれでは表面と内部の磁場の関係性に制限がつけられないし、またそもそも扱う磁場が電磁気学方程式を満たしているかに疑問が残る。

今回我々は平均場 MHD ダイナモ方程式に立脚した二次元磁場進化方程式を導出し、また実際に恒星進化コード HOSHI に組み込むことで 1.5 太陽質量の磁気回転星進化を計算した。大局的磁場構造には回転軸対称およびシンプルな磁気双極子の構造を持つことを仮定し、トロイダル・ポロイダルの各成分を新たな独立変数にとっている。進化計算の主な結果は以下の通りである；1. 放射星の表面磁場は主系列初期に減衰する。2. 自転速度が表面磁場の減衰タイムスケールを決める主要パラメータである。3. 恒星内部では大局的ポロイダル磁場に沿って磁気-回転波が伝播する。4. 磁気-回転波は散逸しながら伝播することで高効率の角運動量輸送を行う。開発した手法は高い一般性を持つ。今後は未考慮の物理過程を導入していきながら、多方面での応用を行う予定である。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

N06a 2次元回転星の平衡形状と擬似的進化計算

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

大質量星進化の最終段階である超新星爆発では、親星の回転や対流による非球対称性が爆発に影響すると考えられている。また、星形成時や連星合体時に生まれるような高速回転星でも回転によって扁平に歪んだ形状をしていることが観測からもわかってきており、非球対称的な効果がこういった星の進化を追っていくのに必要であると考えられている。

恒星進化では進化のタイムスケールが力学的タイムスケールと比べて非常に長くなっているため、まずは力学平衡形状を精確に求めていくことが必要となる。これは非線形方程式である静水圧平衡の式を解くことで得られ、こうして得られた平衡解を繋ぎ合わせていくことで進化を追っていくことが可能となる。しかし、これまでは 1 次元球対称のモデルを中心としてこのような計算が行われてきた。前述の通り近年は多次元な効果が重要であると考えられているため、恒星進化を定量的に扱うには多次元なモデルを求めることが必要となる。更に星の進化を正しく追うためには、角運動量やエントロピーなどの保存量を正しく扱うことのできるラグランジュ的手法を用いる必要があるが、これまではオイラー的手法で考えられてきた。また、非線形で硬い方程式である静水圧平衡の式は数値不安定に陥りやすく、ニュートン法では解くことができないという問題を抱えていた。

そこで本研究では、軸対称 2 次元の回転星の力学平衡形状を数値的に求めることを行った。進化を追うためラグランジュ座標での定式化を用い、ニュートン法よりも広域な収束性を持つ W4 法を用いることで、従来の計算では困難であった計算を可能とした。この結果として得られた平衡形状を用いることで、自己重力や現実的な状態方程式の下での回転星の擬似的進化計算の結果を紹介する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

N07a LAMOST/すばる望遠鏡による金属欠乏星探査と炭素過剰星の組成解析

青木和光 (国立天文台), Shilin Zhang, Haining Li, Gang Zhao, 松野允都 (総研大)

20 年以上にわたる銀河系の金属欠乏星の探査の結果、低金属領域 (太陽の 100 分の一程度以下; $[\text{Fe}/\text{H}] < -2$) には炭素過剰星が多数存在することが明らかになり、金属量 (鉄組成) が低くなるほどその割合は高くなることがわかってきた。そのうち、金属量が太陽の 1000 分の一以上 ($-3 < [\text{Fe}/\text{H}] < -2$) においては炭素過剰星の多くが Ba などの s 過程の重元素にも過剰を示し、その起源は AGB 星の元素合成にあるとみられる。AGB 星の影響が強く表れるのは、連星系における質量移動によるもの (かつて主星であった AGB 星からの質量降着を受けたもの) と考えられ、こういった星の多くは実際に視線速度の変動を示す。我々が進めてきた LAMOST とすばる望遠鏡を用いた金属欠乏星探査でも炭素過剰天体が多数検出され、s 過程元素の過剰を示すものも見つかった。そのなかで特に一天体 (LAMOST J011939.222-012150.45, $[\text{Fe}/\text{H}] = -2.9$) はこれまで知られているなかで最も極端な Ba の過剰を示す星のひとつである (Zhang et al. 2019, PASJ 71, 89)。Ba/Eu 組成比は s 過程で典型的にみられる値であり、比較的軽い Sr から最も重い Pb に至るまでの組成パターンは、低金属量での s 過程のモデル計算からの予測とよく一致している。この星は主系列ターンオフ段階にあり、その表面は AGB 星から降着した物質でほぼ覆われているとみなせる。そのため、重元素のみならず、軽元素を含めた全体の組成パターンを AGB 星の元素合成モデルと直接比較することが可能である。それによれば起源となった AGB 星の質量は 1.4 太陽質量程度であると推定され、小質量星で s 過程が効率よく起こるというモデル計算の結果が支持される。

[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](#)

N08a 初代星におけるカルシウムの合成と超金属欠乏星の起源

森寛治 (東京大学), 野本憲一 (東京大学), 石垣美歩 (東北大学)

初代星 (種族 III 星) は、ビッグバンで生成された水素とヘリウム、および微量のリチウムのみによって形成された星である。初代星の性質はあまり理解されていないが、その超新星爆発によって放出された元素は現在の銀河においても超金属欠乏星の化学組成に保存されている可能性がある。現在のところ観測的に知られている最も低金属量の星 SMSS J031300.36-2670839.3 では、鉄の量が太陽組成のおよそ一千万分の 1 以下である。この星の化学組成を説明するシナリオはいくつか提案されており、その一つが、単一の大質量初代星の超新星爆発で放出された物質をもとに星形成が進んだというものである。このシナリオでは、初代星の内部深くで合成された重い元素が中心のブラックホールに落下し、観測で検出された軽い元素のみが星間空間に放出されるとされる。このシナリオに沿えば、SMSS J031300.36-2670839.3 で検出されたカルシウムは初代星の水素燃焼中に生成された微量のカルシウムに由来すると考えられるが、この元素合成過程は初代星に特有のものであり、系統的な計算が行われてこなかった。そこで我々は、恒星進化コード MESA を用いて、20 から 140 太陽質量の初代星に対してカルシウム生成の詳細な計算を初めて行った。その結果、この質量範囲のカルシウム生成量は、SMSS J031300.36-2670839.3 のカルシウム量と矛盾しないことが明らかになった。また、得られたカルシウム生成量を用いて、爆発に伴う物質混合に対して制限を付けた。

[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](#)

N09b Gaia DR2 と分光観測による高速度星の運動の解析

吉岡岳洋 (東京大学), 渥美直也, 宇野孔起, 柚津萌, 松田有輝 (京都大学), 齋藤駿也 (関西学院大学), 品川玲央 (琉球大学), 丹羽綾子 (筑波大学), 松井瀬奈 (岡山理科大学), 水越翔一郎 (東京大学), 松野允郁 (総研大), 今西昌俊, 川室太希, 美濃和陽典 (国立天文台)

銀河系には太陽に対する相対速度が大きな高速度星が存在する。なかには銀河系の脱出速度を上回る速度をもつものがあり、これらは銀河系から飛び出そうとしているものや銀河系の外から降着して来たものであると考えられている。それらの高速度星の運動をさかのぼり起源を特定することで、銀河系の進化の歴史を調べることができる。最近の Gaia DR2 によって太陽の近傍の恒星の位置と固有運動が測定されたことで高速度星を多く見つけられるようになった。今回我々は Gaia DR2 の位置と固有運動のデータから計算される運動速度の下限値に基づいて、3つの高速度星の候補を選択した。すばる観測研究体験企画によりすばる望遠鏡の高分散分光器 (HDS) を用いてこれらの星を観測し、吸収線の解析から視線速度を測定した。測定した視線速度と Gaia DR2 のデータを合わせることで銀河系内でどのような速度成分を持っているか求め、実際に銀河系の脱出速度に迫る速度をもつ星であることを確認した。解析の結果からいずれも銀河系の内側へと向かう速度成分を持つことがわかり、この結果はこれらの星が銀河ハローに分布している星、または銀河系の外から降着してきた天体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](#)

N10b 長周期ミラ型変光星 OZ Gem, AP Lyn, V837 Her の位置天文観測: 周期光度関係に及ぼす銀河の金属量の影響

浦郷陸, 面高俊宏, 永山貴宏 (鹿児島大学), James O. Chibueze (North-West University), 藤本 正行 (北海道大学), 永山匠 (国立天文台), 中岡竜也, 川端弘治 (広島大学), 川端美穂, 山中雅之 (京都大学)

ミラ型変光星は長い周期、大きな振幅、高い周期性をもった変光星であり、変光周期と光度に関係がある周期光度関係 (Period-Luminosity Relation, PLR) がある。ミラ型変光星は星表面の化学組成によって Carbon-rich 星 (C-rich) と Oxygen-rich 星 (O-rich) に分類可能である。近赤外線帯では大マゼラン銀河の長周期のミラ型変光星は化学組成によって PL 図上で明らかに違った傾向を示す。天の川でもこのような違いが見られるはずであるが、このような比較を行うためには各天体までの距離決定をしなければならないため、PL 図上にプロットできる天体数が大マゼラン銀河などに比べて少なく、特に長周期ではほとんどない。長周期のミラ型変光星の PLR 図上での位置を明らかにすることを目的として、OZ Gem、AP Lyn、V837 Her に対しては近赤外線モニタリング観測と VLBI 観測をおこない、変光周期、平均等級、そして距離を求めた。加えて OZ Gem は可視光分光観測を実施し、星表面の化学組成を決定した。3天体の観測結果を大マゼラン銀河の PLR と比較すると、PLR の外挿線から減光傾向を持った C-rich のミラ型変光星と一致することがわかった。一方で OZ Gem に関しては分光観測の結果から O-rich 星であり、他2天体も H₂O, SiO, OH メーカーが検出されていることから O-rich である可能性が高い。我々はこの結果から、高い金属量による AGB 星の進化の加速を主張する。天の川銀河の高い金属量を反映して星自身の金属量も高い。これにより大気の不透明度が高く、内部にエネルギーがたまり脈動を大きくする。天の川銀河のミラ型変光星は増大した脈動によって C-rich に変化する前に質量放出が誘発されたのである。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

N11b 二色図を用いた Nova V5668 Sgr の電離雲の研究

速見由紀子, 永山貴宏, 面高俊宏 (鹿児島大学), 新井彰 (京都産業大学)

古典新星 V5668 Sgr は、2015 年 3 月 15 日に John Search によって発見されたダストを形成する新星である。AAVSO によるとこの新星は発見当初は可視光で約 6 等であったがその後 4.3 等まで増光し、爆発後 80 日目ごろにダストが形成され可視光で大きく減光した。新星のダスト形成は非常に短期間で生じるという特徴があり、その形成過程は議論的となっている。鹿児島大学 1 m 光・赤外望遠鏡グループでは、2015 年 3 月 24 日から 2016 年 9 月 24 日までこの新星を J、H、K バンドでモニタリング観測してきた。このデータをもとに J-H、H-K 二色図を作成した。二色図を基礎とした解析を行うことで、ダスト形成以降の新星の放射成分とダストによる寄与を分け、ダスト生成期間および生成後の新星の放射領域の状態を調べた。任意の温度・密度・波長における水素・ヘリウム混合ガスが単位体積当たりに放射するスペクトラムを NEBULAR (Schirmer 2016) を用いて計算し、この二色図上にプロットした。NEBULAR で計算した放射モデルと、爆発後 370 日目を以降の V5668 Sgr の二色図上での位置の変化を比較することで、星周での減光量と放射領域の温度の時間変化を求めた。爆発後 370 日目から爆発後 502 日目 (2016 年 3 月 19 日～2016 年 7 月 29 日) まで K バンドでの減光量が時間に対してほぼ直線的に減少していることを明らかにした。星周減光は爆発後 502 日目までにほとんどなくなっている。この期間 (爆発後 370 日目～502 日目) では温度に大きな変化は見られなかったが、星周減光がほとんどなくなった爆発後 502 日目から爆発後 559 日目 (2016 年 7 月 29 日～2016 年 9 月 24 日) の期間で放射領域の温度は約 1000K 上昇している。

[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](#)

N12b SN 1987A 親星モデルを用いた重力崩壊シミュレーションからの重力波シグナル

中村拓未 (福岡大学), 中村航 (福岡大学), 固武慶 (福岡大学)

重力崩壊型超新星爆発 (以下単に超新星と呼ぶ) とは、太陽の約 8 倍以上の質量を持つ重い恒星が、その進化の最終段階に迎える大爆発現象である。超新星は宇宙・天文分野において最も注目される天体現象の一つであるが、その爆発のメカニズムは、最初の理論シミュレーション論文 (Colgate & White.1966) からおよそ 50 年以上経った今でも、未だに完全には理解されていない。

超新星の爆発メカニズムを解明する鍵となるのが、ニュートリノと重力波である。両者は超新星の外層を通過する際に物質とほとんど相互作用せず観測者に到達するので、超新星の中心の情報を直接運んでくる。この信号を解析することで、超新星中心における物質の状態や運動を知ることが可能となり、爆発メカニズムに迫ることができると期待されている。現在、世界中に多くのニュートリノ・重力波検出器が存在しており、日本国内でも Super-Kamiokande や KAGRA が稼働している。

今回、超新星 1987A 親星の重力崩壊を、IDSA 法を用いた 2 次元軸対称 (2 D) と 3 次元 (3 D) のニュートリノ放射流体コードでシミュレーションし、四重極公式を用いて重力波波形を評価した。2 D と 3 D における超新星重力波の波形やスペクトルの違いを定量的に調べ、3 D の重力波の振幅は 2 D に比べて弱くなることがわかった。2 D と 3 D の爆発ダイナミクスの違い、重力波シグナルの観測可能性について議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

N13c VERA によるミラ型変光星 BX Cam の位置天文観測

松野雅子 (鹿児島大学)、中川亜紀治、湯田晶斗、加世田大地、守田篤史、濱田翔太、橋下真雄 (鹿児島大学)、国立天文台 VERA プロジェクト

ミラ型変光星とはおよそ 200 日から 800 日の変光周期を持つ長周期変光星であり、Asymptotic giant branch (AGB) の代表的な 1 つである。特徴である質量放出により星の表層の物質を吹き払い、最終的に白色矮星へと進化する。質量放出率は $10^{-8} \sim 10^{-6} [M_{\odot}/\text{yr}]$ にまで到達し、そのため外層には厚いダストや分子ガスの領域が存在する。その領域の中には expanding dust shell の内側に SiO メーザー、外側に H₂O メーザーや OH メーザーが存在する天体もある (Wittkowski et al. 2005)。中でも H₂O メーザーは dust shell の外側のアウトフロー領域で発生し、かつ VLBI による位置天文観測の対象となるため、H₂O メーザーの観測はミラ型変光星の星周構造やアウトフロー、進化について議論する上でも重要である。今回研究の対象とした BX Cam はスペクトルタイプ M9.5 の O-Rich 星であり、脈動変光周期は AAVSO より 486 日と報告されている。我々は 2012 年から 2014 年にかけて 24 回行われた VERA (VLBI Exploration of Radio Astrometry) による VLBI 観測により、年周視差 $1.73 \pm 0.03 \text{ mas}$ 、距離にして $0.58 \pm 0.01 \text{ kpc}$ を得た。同天体は位置天文衛星 Gaia でも結果が報告されている ($4.14 \pm 0.25 \text{ mas}$)。両結果ともに誤差 10% 以下の高精度で決定しているにも関わらず、計測量に 2.4 倍の大きな差がある。我々は BX Cam の光度などを計算することにより Gaia と VLBI の比較を行った結果、この天体については VLBI 観測により求めた年周視差がより信頼できる値であると結論づけた。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

N14c VERA による長周期変光星の VLBI 位置天文観測および Gaia との比較

中川亜紀治 (鹿児島大学)、倉山智春 (帝京科学大学)、守田篤史、加世田大地、湯田晶斗、松野雅子、濱田翔太 (鹿児島大学)、国立天文台 VERA プロジェクト

我々鹿児島大学の研究グループは、国立天文台水沢 VLBI 観測所との長年の共同研究を通し、Mira 型変光星を中心とした多くの変光星の位置天文観測を 22GHz の H₂O メーザーを利用して進めてきた。これまで約 60 個の変光星の観測より 30 天体の年周視差や固有運動を検出したが、近年は観測対象を新たに OH/IR 星へと拡張し、43GHz の SiO メーザーの位置天文観測も進めている。OH/IR 星は Mira 型変光星からさらに進化が進んだ星と考えられており、星周ダストの発達により大きな質量放出率を示すことがある。星周ダストの吸収により可視光域で暗くなり、可視光の位置天文衛星 Gaia では観測が困難なことも多く、VLBI 位置天文観測によってのみ年周視差計測が可能な場合がある。我々は 41 個の変光星に関して VLBI と Gaia による年周視差と固有運動の計測結果比較を行った。距離計測の評価指標として次の比率、「年周視差の誤差/年周視差」を考え、比較可能な全ての変光星に対してこの指標を比較した。その結果、「年周視差の誤差/年周視差」の値は、約 190pc より遠い変光星においては VLBI 観測から得られる値の方が小さくなる傾向を示した。これはこの距離より遠くの変光星に対する VLBI 位置天文観測の優位性を示す結果と考えられる。また、固有運動の比較からも両者の差が検出された。その差は多くの星で角速度 5 mas yr^{-1} 程度に収まり、基本的には星周物質の運動に起因するものと考えている。

[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](#)

N15a AKARI, WISE による OH/IR 星の中間赤外線長周期変光調査

橘健吾、宮田隆志、上塚貴史、大澤亮 (東京大学)、中川亜紀治 (鹿児島大学)、瀧田怜 (国立天文台)

AGB 星は銀河に多くのダストを供給すると考えられる。しかし、AGB 星では星間空間に豊富に存在するダストを説明することができず、これはダスト収支問題と呼ばれている。ダスト収支の観測的研究は、星までの距離が既知で銀河全体を一望可能なマゼラン雲を対象に精力的に行われている。近年の観測で extreme-AGB(xAGB) 星と呼ばれる赤くて明るい星がダスト供給で支配的であることが示唆されている。しかし、xAGB 星は可視光では非常に暗いため、その素性はあまり明らかにされておらず、特に AGB 星を特徴づける際に重要な変光の様子はほとんど知られていない。xAGB 星と同じカラーと明るさを持つ天体としては OH/IR 星が挙げられる。OH/IR 星は中質量星進化末期の天体であり、銀河系内にも数多く見つかっている天体である。従って、近傍の OH/IR 星の変光を調べることで、xAGB 星の素性をより明らかにできると考えられる。本研究では、Our galaxy のダスト収支問題を明白にするため、これまで明らかでなかった OH/IR 星の中間赤外線における長期変光に注目した。OH/IR 星またはその候補天体について、AKARI および WISE のスキャンごとのデータを解析し、波長 ~20 ミクロンでの変光の様子を調べた。対象天体は総計 789 天体である。2つの衛星のデータを用いることで、2006 年から 2011 年の 5 年に渡る長期間の変光を抽出することに成功した。結果、1800 日前後の長周期天体が少なくとも 2 つ含まれていることを明らかにした。現在、このような長周期の AGB 星は銀河系で 19 個しか見つかっておらず、貴重なサンプルだといえる。本講演では、こうした結果を紹介する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

N16a 星震学を利用した銀河系ハロー星種族の形成タイムスケールへの制限

松野允郁、青木和光 (国立天文台、総合研究大学院大学)、石垣 美保 (東北大学)、高田将郎 (東京大学)、Luca Casagrande (ANU)、Jianrong Shi, Gang Zhao (NAOC)、Maosheng Xiang (MPIA)

恒星の年齢を測定し化学組成や力学的な情報と組み合わせることで、様々な恒星種族の形成時期に直接的な制限を与えることが出来る。星震学を利用し赤色巨星に対して年齢を測定することで、はじめて太陽近傍を超えて多数の恒星に対し年齢と化学組成を組み合わせる研究が可能となってきた。本研究では星震学をハロー星に対して適用し、太陽近傍の外でハロー星種族の形成タイムスケールに制限をつける。Kepler 領域は長期に渡る継続的な恒星の精密測光観測がなされた領域で、星震学を多数の恒星に対して適用する上で最も適した領域である。我々は LAMOST や APOGEE といった大規模分光観測サーベイで測定された恒星の金属量と視線速度に基づいて、Kepler 領域からハロー星を選択した。選択したハロー星のうち 26 星についてすばる望遠鏡 HDS を用いて高分散分光スペクトルを高 S/N で取得し、星震学から得られる恒星の表面重力への制限と差分組成解析を組み合わせ、恒星大気パラメータと化学組成を高精度で測定した。化学組成から今回観測した恒星のほとんどが、ハロー星のうち高い α 元素組成を示す種族であるという結果を得た。さらに、我々が測定した有効温度と、恒星進化理論に基づいて補正がなされた星震学のスケールリング則を利用しハロー星の質量を求めると、その平均はおおよそ 0.96 太陽質量、分散は 0.07 太陽質量となった。この分散は測定誤差に対し有意ではない。0.07 太陽質量の分散は年齢に換算するとおおよそ 26%, 20-30 億年の分散となり、高い α 元素組成を示すハロー星種族の形成はこれより短いタイムスケールで進んだことが示唆された。

[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](#)

N17a 近赤外線 YJ バンドに現れる鉄吸収線ペアのライン強度比を用いた赤色超巨星の有効温度の決定

谷口大輔, Mingjie Jian, 松永典之, 小林尚人, 近藤荘平, 鮫島寛明 (東京大学), 福江慧, 池田優二, 河北秀世 (京都産業大学), 濱野哲史, 安井千香子 (国立天文台)

赤色超巨星の正確な有効温度を観測的に決定することは、恒星進化モデルのテストや IIp 型超新星の初期質量の上限への制限等に重要である。ところが、2000 年代初頭までは、観測的に決めた有効温度が恒星進化モデルが予想するものと一致しない問題があった (Massey 2003)。この問題に対し、Levesque ら (2005) は赤色超巨星の可視中分散分光スペクトル中に見られる TiO 分子バンドを合成スペクトルと比較することで有効温度を決定し、それらは Genova 恒星進化モデル (Meynet & Maeder 2003) が予想する有効温度とよく一致した。しかしながら、TiO 分子バンドの強度は恒星の金属量や外層の構造の不定性等の影響を受けるため、スペクトル中の原子吸収線から有効温度を決定する手法が模索されてきた (Davies ら 2013, Dorda ら 2016 等)。

そこで我々は、高分散分光スペクトル中の原子吸収線の深さの比 (ライン強度比) が有効温度に敏感な指標である (Gray & Johnson 1991, Taniguchi ら 2018 等) 点に着目し、近赤外線 YJ バンド (9760–11100 Å, 11600–13200 Å) にある中性鉄吸収線のペアのライン強度比と有効温度の間の関係を、WINERED 分光器で観測した 9 つの赤色巨星の高分散分光スペクトル ($R \sim 28,000$) を用いて較正した。同じ元素の吸収線のペアのライン強度比は表面重力への依存性が弱い (Jian ら 2018 年秋季年会 N16a) ため、これらの関係は赤色超巨星にも適用できると考えられる。これらの赤色巨星で較正した関係を太陽近傍の赤色超巨星に適用して有効温度を決定したところ、Levesque ら (2005) が TiO 分子バンドから得た有効温度と 50–100 K の統計誤差の範囲内でよく一致することが判明した。

[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](#)

N18a Determining T_{eff} and $[\text{Fe}/\text{H}]$ with line-depth ratios using infrared YJ -band spectra

Mingjie Jian, Daisuke Taniguchi, Noriyuki Matsunaga, Naoto Kobayashi, Scarlet Saez Elgueta, Sohei Kondo (UTokyo), Satoshi Hamano, Chikako Yasui (NAOJ), Yuji Ikeda, Hiroaki Sameshima, Kei Fukue, Akira Arai, Shogo Otsubo, Hideyo Kawakita (Kyoto Sangyo Univ.)

The effective temperature (T_{eff}) and metallicity ($[\text{Fe}/\text{H}]$) are fundamental parameters of a star. Ratios of carefully selected line-depths (LDR) can be used to determine T_{eff} , but most previous works were done with optical spectra. Recently, 11 line pairs in the H -band (1.51–1.70 μm) and 81 line pairs in the YJ -band (0.97–1.32 μm) were found to give tight LDR– T_{eff} relations, as reported by Fukue et al. (2015) and Taniguchi et al. (2018) for solar-metal giants.

The metallicity and surface gravity of a star can also affect the line depths and LDRs, and thus the effects of these parameters need to be understood and taken into account. We detected the metallicity and gravity effects in YJ -band using the spectra of dwarfs, giants and supergiants taken by the high-resolution spectrograph WINERED. As reported in Jian et al. (2019), the metallicity effect presents when at least one of the line is saturated. The difference between the ionization potentials of the elements considered in each line pair and the corresponding difference in the depths can, at least partly, explain the dependency of the LDR on the gravity. Finally, to make full use of the information included in the LDRs, we have developed a Bayesian approach to determine T_{eff} and $[\text{Fe}/\text{H}]$ simultaneously. These two parameters can be estimated with high precision, 20 K and 0.05 dex, within $-0.6 < [\text{Fe}/\text{H}] < 0.4$ for early-G to mid-K dwarfs and K giants.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

N19a A Comprehensive Spectroscopic Analyses of the PN IC2165 with Seimei/KOOLS-IFU

大塚雅昭 (京大岡山天文台), 植田稔也 (デンバー大), Siek Hyung (Chungbuk National Univ.)

We performed detailed spectroscopic analyses of a C-rich planetary nebula (PN) IC2165 to characterize the properties of the central star and nebula.

In this study, we utilize the multiwavelength dataset from our own optical KOOLS-IFU 2-D emission-line maps and BOAO/BOES high-dispersion spectrum, the archived mid-IR *AKARI*/IRC and *Spitzer*/IRS spectra. We succeeded in determination of 17 elemental abundances. Of them, the first determination of very rare but important elements F, Rb, and Kr is done by our study. We investigate spatial distribution of ionic/elemental abundances, electron densities/temperatures, and gas mass using the KOOLS-IFU line maps.

In this talk, we present our recent results of this PN.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

N20a 前主系列星における彩層活動由来の HeI λ 10830 吸収線の初検出: 近赤外線高分散分光器 WINERED による Taurus 星生成領域中の中質量星の観測

安井千香子, 濱野哲史 (国立天文台), 近藤荘平, 鮫島寛明, 松永典之, 谷口大輔, 小林尚人 (東京大学), 福江慧, 竹中慶一, 池田優二, 河北秀世, 大坪翔悟, 渡瀬彩華 (京都産業大学), 水本岬希 (ダラム大学), 泉奈都子 (茨城大学), WINERED 開発チーム

われわれは、近赤外線高分散分光器「WINERED」($\lambda = 0.91\text{--}1.35\ \mu\text{m}$; $R = 28,000$) を用いて、Taurus 星生成領域における 13 個の中質量星 ($\sim 1.5\text{--}2.5$ 太陽質量) の分光観測を行った。いずれも年齢が $\sim 1\text{--}10$ Myr の非常に若い前主系列星であるが、このうち 9 天体は原始惑星系円盤を持つ天体で、得られたスペクトルには質量降着やアウトフローを起源とする He I λ 10830 の輝線と吸収線のフィーチャーが検出された。残りの 4 天体は既に原始惑星系円盤が失われていることが知られている天体であるが、それにもかかわらず全てで HeI の純粋な吸収のフィーチャーが検出された。このフィーチャーは一般に、恒星の彩層活動に由来することが知られているが、これまでの小質量星を主なターゲットとする前主系列星の観測では検出されてこなかった。本研究では観測された中質量星全てでこのラインが検出されたことは、若い段階における中質量星特有の進化現象を示唆するのかもしれない。このラインの励起メカニズムとして、紫外線や X 線放射による photoionization-recombination と基底状態からの電子衝突の主に 2 つが考えられている。前者が優勢に働く際に見られる X 線光度と HeI のライン等価幅との相関が観測天体に見られなかったことから、観測天体においては後者が優勢に働いていることが示唆された。また、彩層活動の兆候が見られた要因として、若い中質量星では回転速度が大きいことが考えられる。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

N21a 外層の剥ぎ取りが赤色超巨星の振動に及ぼす影響

大内竜馬 京都大学

近年の様々な観測事実から、一部の大量星は超新星爆発を起こす直前(数年数十年前)に非常に高い質量放出率($\dot{M} \gtrsim 10^{-4} M_{\odot} \text{yr}^{-1}$)を示すことが明らかになってきた(Smith 2014)。この現象の起源は分かっておらず、コア内部の対流域によって励起された重力波(gravity waves)のエネルギーが外層に伝搬され、それによって質量放出が駆動されるとする仮説(Quataert & Shiode 2012)や、赤色超巨星の振動などが起源として提唱されてきた(Yoon & Cantiello 2010)。これまでの赤色超巨星の振動に関する数値計算の多くは、外層の速度が音速を超えた時点で計算を止めており、外層の速度が脱出速度を超えるまで追った計算はほとんど存在しない。そのため、これらの振動が定量的にどの程度の質量放出率を引き起こしているかは分かっていない。

本研究では、赤色超巨星の振動が、超新星直前における高い質量放出率の起源となりうるかを検証することを目的とした。そのため、公開恒星進化コード MESA を用いて赤色超巨星の振動を計算し、質量放出が起きる場合は、外層が脱出速度を超えて質量放出に到るまで計算を行った。さらに、何らかのメカニズム(恒星風、連星間相互作用など)によって外層が剥ぎ取られた親星について、その剥ぎ取りの度合いが外層の振動の振る舞いや質量放出率にどのような影響を与えるかを計算した。その結果、水素外層の剥ぎ取りが大きい星ほど振動による質量放出率が高くなり、一部のモデルは高い質量放出率($\dot{M} \gtrsim 10^{-4} M_{\odot} \text{yr}^{-1}$)を再現することが分かった。本発表では得られた結果と、超新星直前の質量放出に関する示唆について議論する。

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

N22a 大量星エータカリーナからの非熱的 X 線放射の連星軌道に伴う時間変動

濱口健二(NASA/GSFC&UMBC), Michael F. Corcoran(NASA/GSFC&CUA), 高橋弘充(広島大), エータカリーナチーム

大量星の多くは他の大量星と連星系を成し、その両者からの星風は中間で衝突して強い衝撃波を形成し、数千万度まで加熱する。基本的な星風衝突理論によると、この加熱プラズマからの X 線の強度は連星系の距離に反比例するが、両星が大きく近づいている場合、星からの UV 放射などの影響で、強度が大幅に下がる現象が見られる。進化した大量星であるエータカリーナは、170 年前の大規模な質量放出で形成された双極雲に包まれて、星本体を見ることはできないが、X 線等の時間変動から、周期 5.5 年の長楕円軌道を廻る大量連星系が中心部に存在することがわかってきた。X 線プラズマの温度は五千万度に達し、加熱に必要な 3000 km s⁻¹ の星風を放出する大量伴星の存在が推測されている。星風衝突の衝撃波面ではガスの加熱だけでなく、粒子加速が起きていることが、10keV 以上の硬 X 線波長域で結像能力のある NuSTAR 衛星の観測によって確認された(Hamaguchi et al., 2018)。この非熱的放射は、エータカリーナ方向からの GeV や TeV γ 線波長域での放射と一致しており、加速が高いエネルギーまで到達していることが示唆される。我々はこの非熱的放射の連星軌道依存性を調べるため、2014 年夏の近星点通過以降、エータカリーナを NuSTAR 衛星で定期的に観測した。その結果、非熱的成分の放射強度はわずかであるが遠星点に向けて下がり、通過後に強度が増加した。この変化は熱的成分の連星軌道変動と定性的には似ているが、非熱的成分の強度は熱的成分のそれと比較して、近星点以降単調に減少していく傾向が見られた。本発表ではその機構に関して議論する。

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

N23a 共生星 V694 Mon の可視分光観測

安藤和子, 福田尚也 (岡山理科大学), 赤澤秀彦 (船穂天文台), 佐藤文衛, 長谷川椋 (東京工業大学), 泉浦秀行 (国立天文台), HIDES-F 運用グループ

V694 Mon (別名 MWC560) は M 型巨星と白色矮星の共生連星として考えられている。この星は Merrill & Burwell (1943) によって B 型輝線星として発見された。Sandluk & Stephenson (1973) はこの天体が共生星であるとした。1990 年に観測史上最初のアウトバーストが観測され、極大等級は $V=9.2$ となった。このとき輝線に青方偏移した吸収線を伴った P Cygni プロファイルが見られ、ピークの時には 6000 km/s のジェットであることが報告されている (Tomov et al. 1990 など)。2018 年 11 月に Goranskij, et al. (Atel # 12227) により、2018 年 11 月 16 日に水素の Balmer 線に P Cygni プロファイルの消失とイレギュラーな増光が報告された。連星周期は 1930 日であり、そこから予測される次の増光は 2021 年のはずであるが、今回の増光は過去最高である極大に達するなど、疑問点が多い。我々は、この天体に対し 2016 年 3 月 26 日から現在までに約 88 夜、岡山理科大学天文台で低分散での分光観測を行ってきた。2018 年 11 月 14 日に分光観測で得たスペクトルには水素の Balmer 線に P Cygni プロファイルがすでに見えなくなっていた。またこの天体の 2018 年増光時に、国立天文台すばる観測所岡山分室 188cm 望遠鏡 + HIDES-F により高分散分光を行った。その結果低分散分光観測で消失していたと思われた水素の Balmer 線に低速の P Cygni プロファイルを確認することが出来た。我々の取得した約 4 年間の観測データからその膨張速度が徐々に減速しており、現在は星風レベルの速度までに減速していることが分かった。本発表では、観測で得られたスペクトルデータから、2018 年の増光と増光中の視線速度の減速の原因について検討したので報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

N24a 近赤外線 YJ バンドに存在する中性子捕獲元素の吸収線の同定

松永典之, 谷口大輔, Mingjie Jian, 近藤荘平, 小林尚人, 鮫島寛明 (東京大学), 池田優二, 福江慧, 河北秀世, 大坪翔梧, 竹中慶一, 渡瀬彩華, 吉川智裕 (京都産業大学), 濱野哲史, 辻本拓司, 安井千香子 (国立天文台)

恒星スペクトルに現れる重元素の吸収線は、銀河系や近傍銀河の化学進化についての貴重な情報を与えてくれるが、正しく吸収線を同定することが不可欠である。特に、近赤外線に存在する吸収線のリストははまだ確立されていないため、様々な恒星のスペクトルでどのような吸収線が存在するかを確認する必要がある。我々は、近赤外線 YJ バンド ($9760\text{--}11100 \text{ \AA}$, $11600\text{--}13200 \text{ \AA}$) の波長帯に現れる Cu より重い元素の吸収線を同定するために、京都産業大学神山天文台の荒木望遠鏡に搭載した WINERED 分光器のスペクトルを調査した。そのために、Vienna Atomic Line Database (VALD)、Kurucz (ウェブサイト) および Meléndez & Barbuy (1999) による吸収線リストに記載されている吸収線のうち、2%以上の深さになると合成スペクトルによって期待される 108 本の吸収線を候補として選択した。そして、4000 K から 7200 K の有効温度をもつ FGK 型星 (巨星、超巨星) の 13 天体の観測スペクトルにそれらの吸収線が存在するかどうかを調べたところ、8 種の原子とイオン (Zn I, Sr II, Y II, Zr I, Ba II, Sm II, Eu II, Dy II) に対する合計 23 本の吸収線を同定することができた。これらの元素には、s 過程と r 過程、さらにそれらの中間的な起源をもつと知られているものが含まれていて、銀河の化学進化を調べるのに有用な吸収線になると期待される。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

N25a すばる望遠鏡 COMICS を用いた WR125 の中間赤外低分散分光観測

遠藤いずみ, 左近樹, 尾中敬, Mridusmita Buragohain (東京大学), Ryan Lau (ISAS/JAXA)

大質量星の終焉期の姿である WR 星のうち炭素に富む WC 型星と O 型星の連星系は、恒星風の衝突によりダスト形成を引き起こすことが知られている。これまで多環式芳香族炭化水素 (PAH) などの星間有機物の供給源は主に AGB 星だと考えられて来たが、近年の観測研究により、WR 連星系の赤外スペクトル中にも星間有機物由来の feature が検出されることがわかった。AGB 星などの中質量星は進化のタイムスケールが比較的長いため、初期の宇宙においては WR 連星系が星間有機物の重要な供給源となりうる。そのため、初期宇宙に供給されうる星間有機物の物性を調べるために、WR 連星系の中間赤外分光観測を行うことは極めて重要である。

我々は 2019 年 10 月に国立天文台すばる望遠鏡中間赤外装置 COMICS を用いて、WR125 の中間赤外低分散分光観測 (S19B-126, PI:Ryan Lau) を行った。WR125 は WC7 型星と O9 型星の連星系で、連星系の周期である約 28 年周期でダスト形成を引き起こすことが知られている。また、WR125 の赤外放射フラックスが前回最大に達したのは 1992-1993 年と報告されているため、2020 年に再び最大になることが予想されている。今回得られた WR125 の中間赤外スペクトルでは、 $8\mu\text{m}$ 付近に有機物由来と考えられる broad なバンド構造が確認できた。今後複数期に渡って継続的に連星系周囲に広がったダストの分光観測を行うことにより、組成のほか進化過程なども明らかにすることを目指す。本講演では、すばる望遠鏡 COMICS を用いて行った WR125 の中間赤外低分散分光観測結果に基づき、初期宇宙に供給されうる WR 星周囲の有機物の物性について議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

N26a 大質量星とブラックホールからなる相互作用をしない連星の発見 (2)

須田拓馬 (放送大学), 森谷友由希 (東京大学), 本田敏志 (兵庫県立大学), 斎藤貴之 (神戸大学), 茂山俊和 (東京大学)

連星は宇宙における基本的な天体であり、その進化は単独星と異なり多種多様な進化経路をたどる。特に大質量星では単独星よりも多重星の割合の方が大きく、その大部分が進化の途中で星同士が相互作用をすると考えられている。

我々は 2019 年秋季年会において、ブラックホールを伴星に持つ大質量星の連星について報告した。この研究の本来の目的は、大質量星と小質量星からなる連星について連星パラメータを決定することであった。6 万天体以上ある OB 型星のカタログから単線分光連星 62 天体を抽出し、その中から 8 等より明るく、かつ北半球にある 10 天体に着目して視線速度変動の検出と連星周期の見積もりを行った。その結果、連星周期が 70 日程度、伴星質量が 6 太陽質量以上である天体の存在が明らかになり、相互作用をしていないブラックホールであろうと結論づけられた。

本講演では、なゆた望遠鏡の継続観測プログラムを活用し、対象天体である HD 93521 の視線速度の導出結果について報告する。特に、連星周期を確定するうえで重要となる観測時期が 2020 年 1 月から 2 月に当たり、さらに信頼できる観測データが得られる見込みである。また、伴星のブラックホールによる X 線放射の可能性についても検討し、相互作用をしないブラックホール連星かどうかを見極める。

[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](#)

N27a 高速自転する大質量星の 3 次元重力崩壊シミュレーション：ダイナミクスとニュートリノの解析

柴垣翔太 (福岡大学), 黒田仰生 (TU Darmstadt), 固武慶 (福岡大学), 滝脇知也 (国立天文台)

大質量星の重力崩壊の際に放出されるニュートリノや重力波は、その放出源である原始中性子星の情報を含んでいることが期待される。これらの観測量から物理的な情報を引き出すためには、理論予測との比較が不可欠であり、数値シミュレーションによってこれまで多くの研究がなされてきた。

数値シミュレーションにより、高速自転する大質量星の重力崩壊では $\text{low } T/|W|$ 不安定と呼ばれる非軸対称流体不安定が起こることが予測されており、その際に放出される重力波は無回転の場合とは異なる振る舞いになると考えられている (Ott et al. 2005)。近年では、この流体不安定が超新星衝撃波の復活やニュートリノと重力波の相関に関わることが報告されている (Takiwaki et al. 2016, 2018)。しかし、この流体不安定は非軸対称不安定のため、軸対称を課した 2 次元計算では調べることができない。対称性を課さない 3 次元の計算は計算コスト高く、重力崩壊の文脈での $\text{low } T/|W|$ 不安定の研究はまだ多くはなされていない状況にある。

今回は、秋季年会に続き、我々は高速自転する 70 太陽質量の親星の 3 次元重力崩壊シミュレーションの結果について報告する。前回の講演では、重力波のピーク振動数が時間とともに増加することを報告した。本講演では、 $\text{low } T/|W|$ 不安定のダイナミクスに及ぼす影響とニュートリノと重力波の相関について議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

N28a 一般相対論的ボルツマン方程式の直接解法コード開発

赤穂龍一郎 (早稲田大学), 原田了 (東京大学), 長倉洋樹 (Princeton University), 住吉光介 (沼津工業高等専門学校), 山田章一 (早稲田大学)

大質量星は重力崩壊型超新星爆発 (以下、CCSN) を起こしてコンパクト天体を形成することが知られているが、そのメカニズムはあまり解明されていない。CCSN において非常に重要な役割を果たすのがニュートリノで、ニュートリノと物質との相互作用が爆発の可否などダイナミクスに大きく影響を及ぼすことが知られている。ニュートリノは熱平衡状態にないため、位相空間分布関数に関するボルツマン方程式を解く必要がある。しかし、ボルツマン方程式は $6(3+3)$ 次元の方程式であるほか、弱い相互作用のタイムスケールが短いことから、数値計算に非常に時間がかかることが知られている。そのため、運動量空間の情報を削減したモーメント法など様々な近似手法を用いた数値計算が多く実行されてきたが、場合によって不正確な結果を与えることも報告されている。近似法の正当性の評価や、CCSN メカニズムの定量的評価のためには、やはりボルツマン方程式を解く必要がある。ニュートリノの正確な取り扱いに加えて、高密度な CCSN では一般相対論的効果を考慮する必要があり、特にブラックホール形成を扱う場合には、一般相対論を近似なしで考慮する必要がある。

本研究では、一般相対論的ボルツマン方程式を直接解く数値計算コードを開発した。テスト計算として、曲がった時空における赤方偏移及び測地線湾曲が解析解あるいは準解析解をよく再現することが確認された。本研究のボルツマンソルバーは、最新の核物質状態方程式、標準的なニュートリノ反応テーブルを含んでいる既存のボルツマン-流体コードを一般相対論に拡張したものであるため、一般相対論的ニュートリノ輻射輸送を現実的な CCSN シミュレーションに適用することが可能である。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

N29a ultra-stripped supernovae の電波放射から迫る連星中性子星形成シナリオへの制限

松岡知紀, 前田啓一 (京都大学)

ultra-stripped supernovae (SNe) は連星中におけるヘリウム星が伴星の中性子星に多くのヘリウム層を剥ぎ取られた後に起こす超新星と考えられており、連星中性子星の形成シナリオにおいて必要不可欠な現象として理論的に提唱されている。近年の突発天体観測の発展によりその候補天体が報告され始め、親星や爆発の特徴について理解が進み始めている。連星の性質を決める物理量としてロッシュローブオーバーフローに伴う質量輸送率があるが、輸送されたガスの一部は親星のまわりに星周物質として分布すると考えられる。この物質は超新星衝撃波との衝突により発生する電波放射によりトレースが可能となる。我々は先行研究で開発された連星進化モデルに基づいて ultra-stripped SNe から期待される電波放射を解析的に計算した。これにより電波の最大光度から連星の質量輸送率、そして連星の公転半径やヘリウム星の初期の質量を推定できることを示した。これは観測量である電波放射が連星中性子星形成シナリオの検証に有用であることを意味する。本講演では、ultra-stripped SNe の電波観測に最適な観測時期・周波数を含め議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

N30a 星周物質との相互作用で光る突発天体における最大光度と増光時間の関係

鈴木昭宏 (国立天文台)

IIn 型超新星をはじめとするいくつかの可視光突発天体は、爆発する星からの噴出物 (エジェクタ) と星周物質との衝突によって散逸されるエネルギーを光源として輝いていると考えられる。近年の突発天体サーベイによって発見された光度進化のタイムスケールが極めて短い可視光突発天体 (Drout et al. 2014 など) を説明するシナリオとしても、エジェクタ-星周物質相互作用は有力な候補の一つである。今後、Large Synoptic Survey telescope (LSST) をはじめとする大規模変光天体サーベイによって、星周物質との相互作用で光る突発天体の検出数は飛躍的に増加していくと期待できる。しかしながら、LSST 時代には、検出が予想される大量の突発天体に対し、一つ一つの天体の詳細の分光フォローアップ観測を行うことは現実的ではなく、測光観測から得られる特徴的な量 (最大光度や増光・減光時間など) の相空間で、大量のサンプルがどのように振る舞うのかを議論することになることが予想される。

本研究では、1次元球対称の放射流体力学シミュレーションを行い、星周物質との相互作用で光る突発天体の光度曲線が、エジェクタの質量や爆発エネルギー、あるいは星周物質の質量といったモデルパラメータにどのように依存するかを調べた。発表では、光度曲線の最大光度と増光時間がモデルパラメータの関数としてどのように振る舞うのかを議論するとともに、現在までに得られている IIn 型超新星や進化の早い可視光突発天体のサンプルとの比較を行うことで、モデルパラメータがどのように制限されるかを議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

N31a 大質量星進化後期における複数回繰り返す爆発的質量放出現象の輻射流体力学シミュレーション

栗山直人, 茂山俊和 (東京大学)

大質量星の進化後期には、光度が短時間で大きく変化するなどの静水圧平衡モデルでは説明することができない現象が存在する。一時的な増光を伴う爆発的質量放出 (e.g. SN2010bt の親星, Elias-Rosa et al. 2018) もその一つであり、定常的な質量放出モデルでは説明できないような観測結果 (高い質量放出率等) を説明することができない。爆発的な質量放出が起きると恒星の周囲には密度の高い星周物質が形成される。そのために、超新星イジェクタと星周物質との相互作用を熱源として輝く II_n/Ib_n 型超新星 (Smith 2014) との関連も議論されている。

さらには、爆発的質量放出が複数回にわたって続発的に起きたことを示唆するような、光度の変動を複数回繰り返す現象 (Pastorello et al. 2013) や、放出されたイジェクタ同士の相互作用を示唆するイベント (Dessart et al. 2009) も観測されている。しかしながら、続発的な爆発的質量放出を引き起こすエネルギー源や、観測された光度や質量放出量を再現するために必要なエネルギーの大きさはわかっていない。

そこで我々は、1次元恒星シミュレーションコード MESA を用いて作成した複数の超新星の親星モデルの外層に炭素、ネオン燃焼由来と考えられる様々な大きさのエネルギーを複数回注入し、質量放出を起こすまでの過程を輻射流体力学計算することによって、エネルギー注入と質量放出および光度曲線の関係を調べた。計算の結果、爆発的質量放出が複数回発生すると、1度目の爆発によって恒星外層の構造が変わり、2回目の爆発時には1回目とは異なった性質を示すことがわかった。本講演では、複数回の爆発的質量放出が恒星外層の構造に与える影響を紹介するとともに、超新星親星のモデルに制約を付けるための議論を行う。

[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](#)

N32a 超新星 Cassiopeia A の不完全 Si 燃焼層での中性子過剰度の推定

佐藤寿紀 (理研, NASA/GSFC, UMBC)、吉田敬、梅田秀之 (東大)、小野勝臣、長瀧重博 (理研)、前田良知 (宇宙研)、前田啓一 (京大)、John P. Hughes (Rutgers Univ.)、Brian J. Williams (NASA/GSFC)

Cassiopeia A は、銀河系内に存在する重力崩壊型超新星の若い残骸であり、親星は $15\text{--}20 M_{\odot}$ 程度の質量であったと考えられている (Young+06, Orlando+16 など)。X 線帯域では、高温プラズマとして今も明るく輝いており、爆発的要素合成によって生成された様々な元素の分布や量を測定できるため (Hughes+00, Hwang+12 など)、超新星の爆発機構や要素合成を検証する上でとてもユニークな天体である (Wongwathanarat+17 など)。

本研究では、この残骸内の鉄族元素 (特に Cr, Mn) に着目する事で、超新星内部の中性子過剰度の推定を行う。超新星内部の中性子過剰度は、親星のコア付近での電子捕獲過程や金属量、崩壊時に大量に放出されるニュートリノと物質との反応などに依存するため、爆発時の星内部の情報を持つ重要な物理量となる。そして、鉄族元素は、超新星内部の高温・高密度環境で達成される Si 燃焼 (最高到達温度 $T_{\text{peak}} > 4.5 \times 10^9 \text{ K}$) で合成されるため、そのコア付近の中性子過剰度を調べるツールになる。今回は中でも、不完全 Si 燃焼層 ($T_{\text{peak}} < 5.5 \times 10^9 \text{ K}$) で合成される 2 つ鉄族元素 Cr (= ^{52}Fe) と Mn (= ^{55}Co) の存在比を測定し、この燃焼層での中性子過剰度を推定する。

我々は、チャンドラ衛星、すざく衛星を用いて、これらの元素の質量比は $M_{\text{Mn}}/M_{\text{Cr}} = 10\text{--}37\%$ (チャンドラ衛星)、 $12\text{--}65\%$ (すざく衛星) と見積もった。この値を要素合成モデルと比較する事で、不完全 Si 燃焼層での中性子過剰度 Y_e (電子数/バリオン数比) は $0.4990 \lesssim Y_e < 0.5$ と推定した。これは、太陽金属量 ($Z = 0.014$) を仮定した $15 M_{\odot}$ の親星 Y_e よりも大きい。結果として、観測による Mn/Cr 比を説明するためには、低めの金属量の親星が好ましい事が分かった。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

N33a νp プロセスによる軽い p 核の生成と太陽系元素組成の起源

西村信哉 (京都大学), T. Rauscher (U Basel), R. Hirschi (Keele U/U Hertfordshire), G. Cescutti (INAF Trieste), A. St. Murphy (U Edinburgh), C. Fröhlich (North Carolina State U)

p 核は鉄より重い元素のうち陽子過剰の同位体であり、中性子捕獲過程 (s プロセスや r プロセス) による元素合成とは異なる起源を持つ。p 核の太陽系の元素組成における存在度は希少であり、各元素の同位体比の数パーセントであるが、宇宙における元素合成と化学進化、太陽系の形成を考える上で重要な研究対象である。

p 核を生成する過程は単一ではなく複数存在し、それぞれ起こりうる天体現象も異なる。その中でも、 νp プロセスは、重力崩壊型超新星のコア付近の陽子過剰でニュートリノ放射の影響が強い環境で起こりうる元素合成過程である。このような環境では、「速い陽子捕獲」による重元素合成が達成され、鉄よりも重い元素を作りうる。特に、他の元素合成過程では生成が難しいと考えられている質量数 $A \sim 100$ 付近の p 核はこの νp プロセスが主要な起源ではないかと考えられている。

我々は、これまで、元素合成計算をモンテカルロの枠組み (PizBuin MC driver) に組み込んだ計算コードを開発し、核反応率の不定性が元素合成に及ぼす影響を調査してきた。その対象は、軽い星から大質量星の進化や超新星爆発で起こる様々な元素合成過程に渡る。本講演では、超新星における νp プロセスに着目し、軽い p 核の起源となりうるかを議論する。超新星のコア付近の物理環境は完全には解明されていないので、本研究では簡易的な (しかし、網羅的な) 爆発モデルを採用し、核反応の不定性に着目する。 νp プロセスに関するモンテカルロ解析の結果、特定の核反応の不定性が軽い p 核 ($^{92}\text{Mo}/^{94}\text{Mo}$ など) の同位体比を決めていることを発見した。また、不定性の範囲内で太陽系組成比を説明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](#)

N34a 多次元計算で探る潮汐破壊された白色矮星の熱核爆発の開始と伝播と元素合成

谷川衝, 川名好史朗 (東京大学)

恒星 (主に主系列星) が巨大ブラックホール (MBH) 近傍を通過すると潮汐破壊される。この現象を TDE (Tidal Disruption Event) と言う。TDE は恒星残骸の降着による明るいフレアを伴い、活動銀河核とは異なる種族の MBH の研究に役立つ。まだ確定したものはないが、白色矮星 (WD) の TDE も原理的に起こる。WD TDE にはユニークな点が 2 つある。(1) WD TDE は $10^5 M_{\odot}$ 以下の中間質量ブラックホール (IMBH) でしか起こらない。(2) WD TDE の最中に WD が熱核爆発を起こすため、WD 残骸の IMBH への降着だけでなく、熱核爆発で合成される ^{56}Ni の放射性崩壊でも光る。本研究では (2) の WD の熱核爆発に注目する。

WD TDE の熱核爆発は以下のように起こる。WD が IMBH に近付くと、軌道方向には引き伸ばされるが、その垂直 (z 軸) 方向には圧縮される。この圧縮が衝撃波とそれに続く爆轟波を生み出す。Tanikawa (2018) はこの爆轟波が WD 表面付近の薄い領域で発生することを、z 軸方向の流体のみを解く 1 次元計算によって、初めて明らかにした。1 次元計算なのは WD 表面付近を空間分解するために、超高解像度流体計算が必要だったからである。この計算により爆轟波が開始する領域では大量の ^{56}Ni が合成されることがわかった。しかし、1 次元計算では、爆轟波の z 軸方向の伝播を調べることができても、軌道方向への伝播を調べることができなかった。

本研究では z 軸方向と軌道方向を含む超高解像度の 2 次元流体計算を行い、爆轟波の開始、伝播、元素合成を調べた。その結果、軌道方向に爆轟波が伝播すること、その爆轟波は ^{56}Ni より軽い元素を大量に合成すること、が明らかになった。 ^{56}Ni より軽い元素を合成するのは、爆轟波の伝播速度が WD の軌道速度より遅く、爆轟波が燃焼させるのがすでに密度が薄くなった領域だからである。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](#)

N35a 超新星のボルツマン輻射流体計算で探る核物質状態方程式の影響

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

大質量星の最期の爆発現象である重力崩壊型超新星爆発は、そのメカニズムがまだ解明されていない。最有力仮説はニュートリノ加熱メカニズムであり、中心に形成される原始中性子星からのニュートリノ放射による加熱で爆発が起こるといわれる。ニュートリノ輸送が重要となる一方でこれまでは近似的な取扱いしかなかったため、我々は輸送のためにボルツマン方程式を直接解くボルツマン輻射流体コードを開発し、超新星シミュレーションをおこなっている。こうしたシミュレーションの成果として Nagakura et al. (2018) において高密度物質の状態方程式が爆発メカニズムに及ぼす影響を報告したが、ここでは速報的な発表だったため、十分な調査ができなかった。本講演では、その結果を詳しく調べた内容を報告する。

本研究では核力モデルと原子核組成モデルの違い二種類の核物質状態方程式モデルを用いたシミュレーションをおこなった。片方のモデルのみ爆発したが、これは降着物質の原子核組成の違いにより、衝撃波を通過した原子核が光分解される時に消費するエネルギーの違いに起因する可能性がある。また、ニュートリノ輸送を近似しないため、近似法の精度を評価することもできる。しばしば使われる M1-closure 近似法の精度を調べたところ、二次モーメントの評価において、流体速度の影響を過大評価することがある。本講演においては以上の点を詳説する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

N36c 大質量星の最終進化段階における非球対称構造が超新星爆発に与える影響

中村航 (福岡大学)、滝脇知也 (国立天文台)、固武慶 (福岡大学)

重力崩壊型超新星の爆発形状は球対称から外れていることが理論・観測の両面からわかっている。また超新星爆発を起こすような大質量星は、その進化の最終段階に核燃焼で駆動される強い対流によって非球対称な構造を持つことが、最近の空間 3 次元の星進化計算で明らかになってきた (Couch et al. 2015; Mueller et al. 2016, 2018)。このような超新星親星の非球対称構造は、最終的な構造として観測されているような歪んだものを作ると推測されるだけでなく、重力崩壊後に生じる停滞衝撃波の復活を助け、その結果大きな爆発エネルギーを生み出すことが示唆されている (Couch & Ott 2013; Burrows et al. 2018)。

そこで、大質量星の 3 次元進化計算結果 (Yoshida et al. 2019) に基づいて、非球対称な構造を持つ 25 太陽質量の親星モデルの重力崩壊計算を実行した。この親星モデルは半径 2,500–11,300km の Si/O 層に大きな対流構造を持ち、その最内層はコアバウンス後 300 ミリ秒で衝撃波に接触した。計算の結果得られた爆発を特徴付ける諸量を対応する球対称親星での結果と比較し、親星が持つ非球対称構造が爆発に与える影響を議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P101b 銀河面における前主系列星の可視分光探査観測

竹内媛香, 大朝由美子, 木内穂貴, 大出康平 (埼玉大学), 平塚雄一郎 (埼玉大学/埼玉県立寄居城北高校), 伊藤洋一, 本田敏志 (兵庫県立大学), 高木悠平 (国立天文台)

前主系列星 (PMS) は $H\alpha$ 輝線や赤外超過などの観測的特徴を示す。分子雲のガス・ダスト密度の低い領域においては、PMS の探査が不十分であり、星形成の理解は進んでいない。そこで我々は、ガス・ダスト密度の異なる環境における星形成の相違を探るため、NRO 銀河面サーベイプロジェクト (FUGIN) の CO 観測や、可視赤外サーベイ観測がなされている銀河面領域について、PMS の広域探査観測を行っている。

我々は、2MASS、WISE、可視 r' , i' , $H\alpha$ による銀河面測光探査観測 (IPHAS) のアーカイブデータを用いて PMS 候補天体を選別し、分光観測で同定している。まず、木内ら (2018)、大朝ら (2019) は、銀経 $25\sim 50^\circ$ 、 $198\sim 216^\circ$ 、銀緯 $-1\sim +1^\circ$ の領域を対象に、 $JHKL$ 、 $K[3.4][4.6]$ 、 $r' i' H\alpha$ の 3 種類の二色図で超過が見られる天体を ~ 250 個選定した。兵庫県立大学 2.0 m なゆた望遠鏡と MALLS を用いて可視低分散分光観測を行なった結果、約 6 割の天体から $H\alpha$ 輝線が検出され、PMS と同定された天体の平均年齢は約 4Myr、質量は $0.3\sim 6M_\odot$ に分布し、 $H\alpha$ 輝線強度が小さいものは年齢が大きい傾向があることが分かった。本研究では、より進化の進んだ PMS に焦点を当て、 $JHKL$ 、 $K[3.4][4.6]$ の二色図からどちらか 1 つで赤外超過を示し、 $r' i' H\alpha$ 二色図から $H\alpha$ 輝線が期待される晩期型星を進化の進んだ PMS 候補天体とし、銀経 $180\sim 216^\circ$ 、銀緯 $-1\sim +1^\circ$ の領域で、834 天体選別した。次にこれらの PMS 候補天体の一部について、同様の可視分光観測を行った。 $H\alpha$ 輝線が検出された天体について、スペクトル型から有効温度を求め、GAIA データを用いて距離補正し、HR 図と進化トラックから質量と年齢を導出した。本講演では、 $H\alpha$ 輝線強度と年齢の比較や、空間分布などについて議論を行う。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P102b へび座分子雲における若い超低質量天体の近赤外分光観測

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

褐色矮星/惑星質量天体 (超低質量天体) は、水素の核融合反応を安定して起こさないため非常に暗く、未解明な点が多い。我々は、環境による超低質量天体の形成について差異を探るべく、太陽近傍 ($< 1\text{kpc}$) で複数の星形成領域において可視近赤外測光分光観測を行なっている。本研究は、ガス・ダスト密度の異なる 3 つのクラスター (A, B, South) をもつ中質量星形成領域へび座分子雲 ($\sim 436\text{pc}$) について近赤外観測を行なった。まず、すばる望遠鏡と UKIRT を用いた近赤外測光探査観測より約 8000 天体の超低質量天体候補が同定された (佐藤ほか 2015, 小田ほか 2018)。しかし、質量の推定には YSO の年齢を 1Myr と仮定しているため、不定性が生じている。

若い天体であることを確認し、年齢の仮定に依存しない質量を導出するために、すばる望遠鏡/MOIRCS を用いてへび座分子雲における多天体近赤外分光観測 (362 天体:6mask) を行なった。現在、 $H < 20\text{mag}$ の解析を終え、その結果、低温度星に見られる H_2O の吸収やより若い原始星の段階と考えられるスペクトルのほか、 $Br\gamma$ の吸収が見られる背景星や予測よりも早期型のスペクトルなどが得られた。 H_2O の吸収量が有効温度と表面重力によって変化する (Itoh et al. 2002) ことから、減光量に依存しない H_2O の吸収量比 Q を定義 (Oasa 2011) し、YSO と確認された天体の有効温度を求めた。この有効温度と先行研究の光度を組み合わせ、HR 図と低質量星の理論進化モデルを用いて超低質量天体候補の質量と年齢を導出した結果、それらは約 0.1Myr から 100Myr の年齢の幅をもち、クラスター A の方がクラスター B に比べ若い傾向にあること、分光質量が測光質量の約 2 倍の質量をもつことなどが分かった。講演では、超低質量天体の質量や年齢ごとの空間分布についても議論を行なう。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P103b R CrA 領域における若い超低質量天体の近赤外測光探査

金井 昂大, 大朝 由美子 (埼玉大学)

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

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

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P104b Ca II 三重輝線と Mg I 輝線を用いた若い恒星の彩層活動の調査

山下 真依, 伊藤 洋一 (兵庫県立大学), 高木 悠平 (国立天文台)

一般的に、前主系列星は自転速度が速く、対流層は分厚い。したがって前主系列星ではダイナモ活動を起源とする彩層活動が活発であることが予想される。一方で Mohanty et al. (2005) では前主系列星の質量降着率と近赤外 Ca II 輝線のフラックスに正の相関があった。このことから原始惑星系円盤からの質量降着によって明るい彩層輝線が発生する可能性も考えられる。

山下ら (天文学会 2019 年秋季年会 P114b) は、近赤外 Ca II 三重輝線 ($\lambda 8498 \cdot 8542 \cdot 8662 \text{ \AA}$) の観測により、前主系列星の段階でダイナモ活動を起源とする彩層活動が優勢であることを報告した。調査した前主系列星数十天体のうち、原始惑星系円盤からの質量降着により強い彩層輝線が発生したと考えられる天体はわずか 3 天体のみである。そして前主系列星と零歳主系列星の両者において、表面のほとんどが光学的に厚い Ca II 輝線に覆われていることが判明した。ゆえに彩層の詳細な調査のためには Ca II より光学的に薄い原子の輝線の解析が必要である。

本研究では、前主系列星と散開星団に属する零歳主系列星の彩層輝線の強度を比較した。西はりま天文台 2 m なゆた望遠鏡/低中分散可視分光器 MALLS、すばる望遠鏡/高分散分光器 HDS を用いた観測のほか、Keck 望遠鏡、VLT のアーカイブを利用した。星間物質による吸収、散乱を避けるため、彩層輝線として近赤外 Ca II 三重輝線と Mg I 輝線 ($\lambda 8807 \text{ \AA}$) を解析した。光球による吸収成分を補正した結果、多くの前主系列星と零歳主系列星では Mg I が輝線を示した。一方で Inactive star のスペクトルからは Mg I の輝線が検出されなかった。本講演では Ca II 輝線と Mg I 輝線の強度をもとに前主系列星および零歳主系列星の彩層活動について議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P105c Herbig Be 型星 Z CMa の可視分光モニタリング

秋本 妃奈子, 伊藤 洋一 (兵庫県立大学)

Z CMa は $16M_{\odot}$ 程度の Herbig Be 型星と $3M_{\odot}$ 程度の FU Ori 型星からなる若い連星である。この星は 2014 年から 2019 年の間に 4 度の急激な増光が確認され、静穏時には V 等級で 10.5 等級であるのに対し増光時には 8 等級まで明るくなった。本研究では 2 度のアウトバーストを含む 2015 年 10 月から 2019 年 11 月にかけての分光モニター観測の結果を報告する。観測には西はりま天文台の 2m 反射望遠鏡「なゆた」に搭載される、可視光中低分散分光器 MALLS を使用した。波長分解能は $R \sim 10000$ 、波長範囲は 6280 \AA から 6720 \AA であり、計 21 夜のデータを得た。また解析には Keck 望遠鏡の高分散分光器 HIRES のアーカイブデータから取得した、2000 年から 2008 年までの 5 夜のデータも使用した。得られたスペクトルには $H\alpha$ 輝線や Fe II 輝線、He I 吸収線等が確認された。He I 吸収線は早期型星に見られる線であり、Herbig Be 型星に起因すると考えられる。観測期間中 He I 吸収線は増光と共に強くなったことから、Herbig Be 型星がアウトバーストを起こしたと判断した。6300 \AA の [O I] 禁制線はジェットをトレースすることが知られており、星の質量放出率を算出することができる。観測期間中 [O I] の等価幅は -0.7 \AA から -4.4 \AA まで変化し、V 等級が明るくなると等価幅は小さくなることが分かった。等価幅から質量放出率を見積もると、 $10^{-5.5} M_{\odot} \text{ yr}^{-1}$ でおおよそ一定であった。これは、等級が変化する間ジェットの噴出量に変化がなかったことを意味する。He I、[O I]、 $H\alpha$ 、Fe II 線の強度は、9.7 等級より暗い静穏期において強くなるものと変わらないものに分かれる。線が生じる場所を特定することで、増光期と静穏期のそれぞれの増光に寄与した星を考察した。その結果、9.7 等級より明るい増光期の変光は Herbig Be 型星に、静穏期の変光は FU Ori 型星に起因すると考えられる。

[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](#)

P106c T タウリ型星 V523 Ori の可視測光・分光観測

福田尚也, 山村春香 (岡山理科大学), 赤澤秀彦 (船穂天文台), 前原裕之 (国立天文台), 長谷川椋, 佐藤文衛 (東京工業大学), 泉浦秀行 (国立天文台), HIDES-F 運用グループ

V523 Ori は T タウリ型星のうち弱輝線 T タウリ型星に分類されている。若い天体の大きな増光は数年に一度見つかる現象で極めてまれであるが、2017 年 10 月にこの天体の増光が報告され、2013 年から 2017 年にかけて Ic で約 2 等の急な増光が見つかった。そこで我々は 2017 年 10 月から岡山理科大学天文台の 23.5cm の反射望遠鏡で測光観測を行った。増光中に取得された赤澤氏による船穂天文台での Rc、Ic、V、B フィルターの 37 夜の多色測光観測の解析結果からは、4 色のフィルターによる変動はどれも同じようだが、B フィルターでの変動が大きいことが分かった。また、2019 年 11 月には V523 Ori が増光前の明るさに戻っており、増光の継続時間はおおよそ 2 年半であった。そして増光中には見られなかった短時間の変動が確認されている。増光前の明るさに戻っていることや増光の継続時間がおおよそ 2 年半であること、増光と減光のライトカーブが対称であることから、増光のタイプは EX Lup 型であると考えられる。また、28cm 反射望遠鏡で 9 夜の分光観測を行っており、分光観測結果からは $H\alpha$ の輝線がどの観測日においても確認ができています。等価幅はすべて 10 \AA よりも大きく、 $H\alpha$ の等価幅を基準とすると、今回の結果からは古典的 T タウリ型星と分類できる。

[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](#)

P107a FU Ori 型星 V960 Mon の高分散分光観測

高木悠平 (国立天文台)、本田敏志、高橋隼、伊藤洋一 (兵庫県立大学)、新井彰 (京都産業大学)、大朝由美子 (埼玉大学)

前主系列段星は、原始惑星系円盤からの質量降着により成長する。典型的な質量降着率は 10^{-7} 太陽質量/年だが、稀に 10^{-4} 太陽質量/年まで突発的に上昇して増光する。このような増光を起こす天体を FU Ori 型星という。この増光が起こった際の光球や原始惑星系円盤の進化を理解することは、星と惑星の形成過程を理解する上で重要だが、FU Ori 型星として確認された天体はこれまでに数十天体しかなく、理解が乏しい。

V960 Mon は 2014 年 11 月に増光が確認された FU Ori 型星である。この天体に対し継続的な中分散 ($R \sim 10000$) 分光モニター観測を行った結果、Fe I や Ca I などの吸収線が徐々に深くなる一方で、Fe II の吸収線が次第に浅くなることが分かった。FU Ori 型星は原始惑星系円盤の大気スペクトルが支配的であると考えられるため、このような吸収線変動は原始惑星系円盤の有効温度や表面重力の変化を表している可能性がある (Takagi et al. 2018)。しかし、吸収線のプロファイルが変化している可能性もみられ、高分散分光観測による詳細な調査が必要であった。

そこで我々は、V960 Mon に対し 2018 年 1 月にすばる望遠鏡/可視高分散分光装置 HDS を用いて可視高分散スペクトルを取得した。さらに 2014–2017 年の Keck 望遠鏡/可視高分散分光器 HIRES のアーカイブデータも用いて吸収プロファイルの変動を調査した。その結果、2018 年 1 月に取得した V960 Mon のスペクトルは増光した円盤成分と中心星成分の和で説明でき、さらに増光前後で中心星の物理量が明らかに変化している様子はないことがわかった。本講演では円盤スペクトルの進化や中心星の物理量について詳細に議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P108a Class 0 低質量原始星天体 IRAS 16293–2422 A の内部構造

大屋瑠子, 山本智 (東京大学)

IRAS 16293–2422 はへびつかい座 ($d \sim 140$ pc) にある Class 0 低質量原始星である。この天体は Source A と B からなる連星系であり、このうち Source A では円盤/エンベロープガスの回転構造が報告されている。この速度構造は、回転しながら落下する弾道軌道のエンベロープモデルと、その内側でケプラー回転する円盤で説明される。さらに最近、ALMA Cycle 4 の観測を実施し、この天体の円盤/エンベロープ構造を高い分解能 ($0.1 \sim 14$ au) で捉えた (Band 6)。複数の H_2CS 分子輝線の観測結果を用いて、10 au スケールにおける回転温度の空間分布を明らかにした。この結果から、エンベロープガスの内側 (半径 50 au) で回転温度が急激に上昇する様子を報告した (2019 年秋季年会)。

同観測によって得られた連続波 (波長 1.3 mm) の分布には、5つの強度ピークが検出された。これらの強度ピークは、 H_2CS の回転温度が高い範囲 (半径 50 au) に位置する。これらの強度ピークのうち 2つ (A1, A2) の位置は、それぞれの固有運動を考慮すると、VLA を用いた先行研究によって報告されていた連続波 (波長 6 mm) のピーク位置と矛盾しなかった。これらの連続波の起源としては、不安定な円盤内で分裂したガス/ダストの塊や、非常に近接した連星系などが考えられる。一方、VLA の観測では、A2からのアウトフロー/ジェットと見られる 2つの連続波ピークが報告されているが、本観測では検出されなかった。また、 H_2CS 分子輝線の速度構造の詳細解析から、Source A で検出されていた回転円盤の構造は、連続波ピーク A1 に付随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](#)

P109a ALMA ACA サーベイで探る Taurus 領域分子雲コア進化の統計的研究 (2): 1 mm 帯連続波で検出された分子雲コアの内部構造

徳田一起, Zahorecz Sarolta (大阪府大/国立天文台), 藤城翔, 立原研悟, 福井康雄, 犬塚修一郎 (名古屋大), 西合一矢, 河村晶子 (国立天文台), 松本倫明 (法政大), 町田正博 (九州大), 富田賢吾 (大阪大), 高嶋辰幸, 大西利和 (大阪府大)

原始星が形成される直前/直後の分子雲コアの収縮/分裂/合体は、最終的な星の質量や連星/多重星の形成に大きく影響を及ぼすと考えられる。星形成前段階の高密度なコアの芯を捉えるためには、電波干渉計による高解像度探査が求められてきた。我々はおうし座分子雲コアのほぼ完全なカタログ (Onishi et al. 2002) から選び出した合計約 40 天体の観測を ACA stand-alone mode を用いて推進しており (藤城他 2019 秋季年会)、褐色矮星の前駆体候補の発見などを報告してきた (徳田他 2019 春季年会)。本発表では 32 個の星なしコアに対する、空間分解能 $\sim 6.''7$ (~ 940 au) の 1 mm 帯連続波観測の結果を主に紹介する。連続波の検出率は約 1/3 であり、典型的な強度は数 mJy beam^{-1} であった。連続波が未検出の天体は中心の密度分布が数 1000 au 以上に広がった比較的成長していない分子雲コアと思われるが、検出できたものは中心部が 10^6 cm^{-3} 程度まで密度が高まっていると考えられる。それらの中には複数のピークを持つものが散見されたが、実際は単一のピークが干渉計の効果によって擬似的に複数に見えている可能性もある。ただし、分子輝線のデータ (C^{18}O , N_2D^+) と比較することで、内部構造の存在が示唆される天体を少なくとも 1 つ確認した。これは原始星が形成される前段階で分子雲コアが分裂もしくは合体することによって数 1000 au スケールの下部構造が形成された可能性を提示する。つまり、分子雲コアは孤立した存在ではなく、その質量も分子雲の分裂/合体過程の中で時間発展していくもの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](#)

P110a ALMA ACA サーベイで探る Taurus 領域分子雲コア進化の統計的研究 (3) : ファーストコア候補天体 MC35/L1535NE

藤城翔, 立原研悟, 福井康雄, 犬塚修一郎 (名古屋大), 徳田一起, Zahorecz Sarolta (大阪府大/国立天文台), 西合一矢, 河村晶子 (国立天文台), 松本倫明 (法政大), 町田正博 (九州大), 富田賢吾 (大阪大), 高嶋辰幸, 大西利和 (大阪府大)

中/小質量星形成の極初期段階で必ず形成される最初の準静水圧平衡天体であるファーストコアは、最終的な星の性質を左右すると考えられている。ファーストコアを観測的に検出することは、星形成過程の我々の理解を検証するために必須であるが、その観測的同定の困難さから、未だにいくつかの候補天体が報告されているのみである。ファーストコアは強い赤外線放射がなく、典型的な質量の分子雲コアで形成されるものに関しては極めて短命であり、その候補天体を発見するためには多数の「星なし」コアの観測が必要となる。我々は、Taurus 領域に存在する、平均密度が 10^5 cm^{-3} 以上である *Spitzer/Herschel* 等で赤外線点源が確認されていない 32 個の星なしコア等に対し、ALMA-ACA stand-alone mode を用いた 1.3 mm ダスト連続波、CO 同位体輝線、 N_2D^+ による観測を推進している (徳田他 本年会)。これらのコアのうち、MC35/L1535NE は今回観測した天体の中でも N_2D^+ の強度が特に強い事や、IRAM+ACA 連続データから導出した柱密度分布が非常に中心集中している事から、 10^6 cm^{-3} を超える密度まで進化していると考えられる。さらに、1.3 mm 連続波ピーク方向において、 ^{12}CO のスペクトルに相対速度 $\sim 3\text{--}4 \text{ km s}^{-1}$ 程度のウィング成分を確認し、中心に埋もれた天体からの低速度アウトフローが存在する事が示唆される。それらの空間的なサイズは $\sim 2.0 \times 10^3$ au 程度であり、力学的時間は $\sim 10^3$ yr と見積もられた。これらの物理的特徴は、理論的に予想されるファーストコアの性質と現在のところ矛盾しない。

[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](#)

P111a An Origin of Misaligned Protoplanetary Disks and Planets

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

近年の系外惑星の観測により、星の自転と惑星の公転の向きの異なる系が複数報告されている。一方で、太陽系の惑星は太陽の自転面とほぼ同一面上を公転している。なぜこのような多様性が生まれるのかを理解することは星形成および惑星形成の理解にとって重要である。傾きをもつ惑星系の起源として、惑星の母体である原始惑星系円盤の回転そのものが原始星の自転に対し傾いている系が考えられる。実際の ALMA 望遠鏡などを用いた観測により、内側の円盤と外側の円盤の回転方向が傾いている円盤が報告されている。原始星と原始惑星系円盤は角運動量をもつ分子雲コアから形成されるため、これらの円盤の形成過程は分子雲コア内の角運動量プロファイルおよびその降着の時間進化に依存していると考えられる。

一方で、分子雲コアは分子雲内のフィラメント構造に沿って分布していることが近年の Herschel 宇宙望遠鏡を用いた観測により明らかになった。したがって、分子雲コアはフィラメントから形成されていると考えられる。これまでの研究によって、我々は観測されている分子雲コアの角運動量を再現できるフィラメント内の乱流速度場モデルを発見した (2018 年秋季年会)。今回我々は上記のフィラメント内の乱流速度場モデルを用いて、円盤内の回転の傾きの確率分布を見積もった。その結果、円盤内の回転の傾き角が 90 度以上になる確率は最大で 30% 程度であることがわかった。本講演ではこれらの結果について議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P112a 連星形成過程におけるアウトフローとジェットの駆動メカニズムの解明

佐伯優, 町田正博 (九州大学)

星の形成過程において、原始星近傍からアウトフローやジェットが駆動することがこれまでの理論研究および観測研究から明らかにされてきた (e.g., Tomisaka 2002, Machida et al. 2008, Matsushita et al. 2019)。連星の形成過程に関しても単独星と同じ機構が働くと考えられており、観測によって連星からのアウトフローやジェットが駆動している様子が捉えられ始めている (e.g., Kawabe et al. 2018)。しかし、その駆動時期や機構に関しては未だ完全には解明されていない。近傍宇宙の連星は重力収縮する分子雲コア内で形成されることが示唆されている (Boss & Bodenheimer 1979) が、分子雲コアが重力収縮する過程で原始星連星が誕生するためには、初期に分子雲コアが持っていた角運動量のほとんどを何らかの機構で系外へ輸送しなければならない。この機構のうち、最も有力なものがアウトフローやジェットによる角運動量の輸送である。

本研究では、近傍宇宙における連星の形成過程およびアウトフローとジェットの駆動メカニズムを解明するため、磁場を考慮した分子雲コア内における原始星連星形成の長時間計算を行った。その結果、周連星円盤や各々の原始星からアウトフローやジェットの駆動を確認することができた。本講演では、連星形成過程におけるアウトフローとジェットの駆動メカニズムについて議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P113a 低金属度大質量星の脈動不安定性について

仲内 大翼 (東北大学), 稲吉 恒平 (北京大学), 大向 一行 (東北大学)

様々な銀河の中心には、100 億太陽質量を超える超巨大ブラックホール (SMBH) が普遍的に存在する。最近では観測の進展により、近傍宇宙だけでなく、 $z > 6$ でも SMBH が数多く見つかった。SMBH の前身となる種 BH の起源を説明するシナリオとして、星の合体説がある。初期宇宙で微量に金属汚染された星形成雲の中では、金属のラインやダスト冷却による分裂が起き、高密度星団が形成される。このような星団内で星々の合体が起きて、いくつかの非常に重い星となれば、その寿命の後に重い種 BH の形成が可能である。先行研究によれば、このシナリオにより、400-1900 M_{\odot} をもつ大質量星の形成が可能である。しかしながら、大質量星は一般に脈動不安定であり、脈動が駆動する質量放出により最終的な質量が小さくなると、重い種 BH の形成が阻害されてしまう。低金属度大質量星の安定性は、これまでゼロメタルが主で、今回注目する質量や金属度ではあまり調べられていない。そこで我々は、星の合体説で期待される質量や金属度を持つ星の安定性を調べ、脈動不安定によりどれだけ質量が損失されるかを調べた。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P114a 原始ガス雲内部から放出される $\text{Ly}\alpha$ 光子による水素分子形成抑制効果

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

高赤方偏移の観測から、赤方偏移 $z > 7$ の時期に質量が $10^9 M_{\odot}$ を超える超大質量ブラックホールが存在することが知られており、その形成過程について盛んに議論が行われている。問題点として、宇宙誕生から約 8 億年という短い時間で超大質量ブラックホールを形成しなければならないことが挙げられる。現在、形成シナリオの 1 つとして、赤方偏移 $z = 20 \sim 30$ において質量が $10^5 M_{\odot}$ 程度の大質量星が同程度の質量を持ったブラックホールを形成するシナリオが提案されている。このシナリオでは、恒星質量ブラックホール ($\sim 10^2 M_{\odot}$) よりも超大質量ブラックホール形成に必要な質量降着を小さくすることができる。原始ガス雲から超大質量星を形成するためには、ガス雲中の水素分子形成を抑制しガス雲を高温に保つ必要がある。現在までの研究として、近傍の星形成が行われたガス雲からの外部紫外線輻射による、水素分子の破壊が考えられてきた。近年、水素分子形成抑制効果として、ガス雲内部から放出される Lyman α ($\text{Ly}\alpha$) 光子による水素マイナスイオン破壊効果が示唆された (Johnson & Dijkstra 2017)。水素マイナスイオンは水素分子形成反応の主な材料である。しかしながら、(Johnson & Dijkstra 2017) では $\text{Ly}\alpha$ 光子の輻射強度の扱いとして、パラメータを用いた見積もりを行っており、厳密ではない。そのため、本研究では $\text{Ly}\alpha$ 光子の輻射拡散方程式を数値的に解くことにより、ガス雲中での $\text{Ly}\alpha$ 光子の輻射強度分布を求めることで、ガス雲中での $\text{Ly}\alpha$ 光子による水素分子抑制効果を評価し、 $\text{Ly}\alpha$ 光子による超大質量星形成への影響を調べる。

[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](#)

P115a ミニハロー内における乱流の増幅

東翔, 須佐元 (甲南大学)

初期宇宙で形成されるミニハロー内のガスが乱流状態にある場合、星形成に影響を及ぼすことが先行研究により、知られている。宇宙論的流体シミュレーションにより、実際にミニハロー内のガスが超音速乱流状態となることが示されているが、その駆動源についてはいくつかの議論があるもののはっきりとはわかっていない。今回我々は乱流を駆動するメカニズムの候補の一つである自己重力による収縮に着目し、AMR シミュレーションコードを用いた高解像度の数値計算によってミニハロー内の乱流の増幅について調べた。まずミニハロー内のガスを模した Bonnor-Ebert 球に速度のゆらぎとして五種類の弱い乱流を与え、それぞれ数密度にして最大で $10^{20}/\text{cc}$ 程度までガスの収縮を計算した。また比較のために乱流を与えないモデルで同様の計算を行い結果を比較した。その結果、乱流は収縮のみで増幅され、乱流の速度は密度のべき乗で与えられることがわかり、冪の指数は Polytropic Index による依存性を持つこともわかった。さらに始めに乱流を与えていない場合でも最小サイズの計算セルにおいて微弱な擾乱が発生し、収縮によって乱流に成長することがわかった。このことから、乱流の種となる速度のゆらぎが存在すれば、収縮によって乱流が駆動出来ることが示唆された。これらの結果と先行研究により、乱流は星形成に影響を及ぼすため重要であり、また収縮によって駆動されるので、星形成のための収縮シミュレーションでは常に考慮されるべきであることが示唆された。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P116a 初代星形成時における周連星円盤について

織田篤嗣, 須佐元 (甲南大学)

近年の重力波観測により、我々の宇宙には 30 太陽質量のブラックホール連星が多数存在していることが明らかになった。これらの起源として、初期宇宙の低金属度星が候補として考えられている。ゆえに、初代星連星や初代星の多重度についても関心が集まっている。

初代星を形成する高密度コアは、重元素やダストを含まないため、輻射冷却が効きにくい。そのため、高密度コアの温度は高くなり、原始星への質量降着率も高くなる。この高降着率環境下では、原始星周りの降着円盤はすぐさま重くなり、自己重力不安定により分裂を繰り返す。そして、分裂片の一部が星として生き残る事で、初代星は多重星として誕生することが、シミュレーションによって知られている。

Susa 2019 は、降着期の初代星形成シミュレーションを行い、分裂は主に星周円盤で起き、周連星円盤などではあまり起きないことを見つけた。これは、分裂片の数が自身の数に比例して増大することを意味する。

そこで本研究では、その物理過程を調べるため、2次元流体コードを用いて、初代星連星シミュレーションを行った。シミュレーション中に、一定の質量降着率と一定の比角運動量の降着流を連星 (sink 粒子) に降着させて、シミュレーション中に分裂が起きる場所を調べた。その結果、降着流の比角運動量が、連星公転軌道より外側を円回転するのに必要な比角運動量より大きい時、分裂は周連星円盤で起きることが分かった。また、解析的に考えられる降着流の比角運動量と計算結果を比較すると、現実的な初代星降着の場合には、周連星円盤での分裂は起きないと考えられることが分かった。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P117a 3次元磁気流体計算による初代星形成過程

定成健児エリック (東北大学), 大向一行 (東北大学), 松本倫明 (法政大学), 杉村和幸 (メリーランド大学)

磁場に貫かれた星形成雲では磁気制動による角運動量の引き抜きやアウトフローによるガスの流出などの現象が見られる。これらの効果は星周円盤や連星の形成、星形成効率などに影響する。初代星形成に対する3次元MHDシミュレーションの先行研究としては、Machida et al.(2008)があり、磁場が初代星形成に大きな影響を与えることが確認されている。しかしながら彼らのシミュレーションはone-zone計算から得たバロトロピック関係を用いているという問題があった。そこで本研究では冷却過程と非平衡化学反応を考慮しつつエネルギー式を整合的に解いて3次元MHDシミュレーションを行い、始原ガス雲の高密度コアから原始星が形成されるまでの収縮期について調べた。本講演ではバロトロピック仮定を用いた従来の計算方法と比較しながら今回のシミュレーション結果について報告する。特に衝撃加熱や磁気圧による収縮の遅れが熱進化にあたる影響について調べ、それらの影響が初代星の性質にどのように影響を与えるかを議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P118a 初期宇宙における低金属量環境下での超大質量星形成

鄭昇明 (東北大学), 大向一行 (東北大学)

近年の遠方クエーサーサーベイにより $z > 6$ において、数多くの超大質量ブラックホール (SMBH) が見つまっている。これら SMBH の形成モデルの一つとして、宇宙初期に形成される超大質量星 (SMS) が残す BH を種とする Direct Collapse モデルがある。宇宙初期において強い輻射を受けるなどの特殊な環境下にあるガス雲では、水素分子冷却が阻害されることで SMS が形成されると考えられている。これまではガス雲が始原的であることが SMS 形成に至る条件の一つと考えられていた。低金属量環境下ではダストの冷却によって激しく分裂が起こることが示唆されるものの、星の最終質量についての定量的な議論は未だなされていない。

我々は低金属量環境下においてもこのような SMS が形成可能か否かを、数値計算を用いて調べた。具体的には Omukai et al. (2008) で得られた $Z < 10^{-4} Z_{\odot}$ の状態方程式を用いて、3次元流体計算を行う。結果として高密度でのダスト冷却はガス雲の分裂を促進するものの、SMS 形成を阻害しないことを示した。これはガス雲の冷却・分裂はガスの大局的な流れを変えないためである。結果として、依然として中心星への高い降着率 ($\sim 1 M_{\odot} \text{ yr}^{-1}$) が実現する。1万年の進化を計算したところ金属量にほぼ依らず、中心星の質量は $6-8 \times 10^3 M_{\odot}$ に至った。この結果は $Z < 10^{-4} Z_{\odot}$ という低金属量環境下でも、SMS 形成が可能であることを示唆する。本公演ではその結果を紹介する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P119a 銀河系ハロー一星から読み解く宇宙初期における低質量星の形成過程とその変遷

藤本正行, 山田志真子(北海道大), 須田拓馬, 小宮悠(東京大), 町田正博(九州大)

近年の銀河系ハローの大規模なサーバイ観測と大型望遠鏡による高分散分光観測によって、超金属欠乏 (EMP) 星の存在とその表面組成の詳細な特性が明らかになってきた。その数は鉄の存在量が $[Fe/H]=-2.5$ 以下のもので 1000 近くに上る。これらの恒星は宇宙初期に形成され現在まで殻燃焼段階に留まっている低質量星 (大量質量の 0.8 倍以下) で、その表面組成に形成当時の宇宙における核種合成の進行を留めていると考えられている。それとともに、これらの恒星は、炭素や中性子捕獲重元素組成の過剰を示す炭素過剰 (CEMP) 星の割合が、若い金属量の多い種族 I や種族 II 星のそれより桁違いに多く、EMP 星の 20-30 数十% あるいはそれ以上に上り、このことは、これらの星の形成過程、連星系の形成過程が、現在の宇宙とは異なることを物語っている。我々は、これまで、超金属欠乏下での中性子捕獲元素合成過程の解析を通して、連星系での質量輸送に伴う炭素形成過程の特性、連星系の形成過程の金属量依存性について明らかにしてきた。

本講演では、これまでの炭素星形成過程の解析結果から導かれる、宇宙初期における低質量星とその連星系形成過程の特性とその変遷について統一的な描像について報告する。加えて、EMP 星の表面組成に刻まれた元素合成過程の変遷の痕跡を踏まえて、初期宇宙における星・連星系形成過程の全体像、また、EMP 星から種族 II 星への低質量形成過程の変遷のシナリオとその機構、銀河形成過程との関連についても議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P120a 初代星形成における原始星周りの円盤進化

木村和貴, 細川隆史(京都大学), 杉村和幸(メリーランド大学)

近年は数値計算で宇宙論的初期条件から始原ガスの進化を追うことで、どのような初代星ができるのかが研究されている。その結果、原子星周りの円盤が分裂し、連星や多重星が形成される様子が数多く確認されている。円盤分裂は初期質量関を単独星の場合から大きく変える可能性があり、さらに分裂の結果大質量近接連星が形成されれば重力波源として我々に観測されることとなる。このように円盤分裂は初代星形成において非常に重要なプロセスとなっており、分裂への理解を深めるためには初代星周りの円盤構造を詳しく調べる必要がある。

初代星周りに形成される円盤の構造はこれまでに準解析的なモデルで調べられている (e.g. Tanaka & Omukai 2014, Matsukoba et al. 2019)。しかし、これらのモデルでは定常降着が仮定されており、また数値計算との詳しい比較も十分になされていない。そこで本研究ではエンベロープからの降着を考慮して円盤構造の時間発展を記述した Takahashi et al (2013) の非定常 1 次元円盤モデルを初代星形成に適用した。前回の年会では温度進化に Omukai et al. (2005) の one-zone モデルを用いたが、今回は化学反応や加熱・冷却過程も組み込み円盤の温度進化を解いた。このモデルでは 3 次元数値計算でしばしば sink particle や stiff equation など無視される中心星付近の円盤構造も調べることが可能である。我々のモデルでは、円盤内の重力的に最も不安定な領域が初代星形成の起こるコアの角運動量に依ること、円盤が中心星に対して重いこと、また α 粘性の取り方により円盤の内部構造が変化することなどがわかった。また、3 次元数値計算 (Clark et al. 2011) と比較して中心星や円盤の進化が異なるため、我々でも数値計算 (Sugimura et al. in prep.) を行いモデルと数値計算の違いについて調べる。

[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](#)

P121b The Pop III disk fragmentation: 数値計算法による不定性と物理的な依存性

島 和宏, 細川 隆史 (京都大学)

初期宇宙における連星、あるいは多重星系の形成過程のひとつとして始原ガス円盤の重力不安定による分裂が注目されている。しかし、これまでの数値計算では形成される連星の性質 (multiplicity, separation length など) が著者らによって異なっているのが現状である。これらが数値計算法の違いによる非物理的な効果によるものなのか、初期条件の違いを反映した物理的な効果によるものなのかを明らかにする必要がある。

そこで我々は AMR コードである ENZO を用いて、特に disk fragment による分裂片の個数に注目して計算を行った。初期条件としてミニハロー内の典型的なガス球を仮定し、原始星が形成されてからの長時間進化 ($t > 1000 \text{ yr}$) を追うためにシンク粒子を導入している。このシンク粒子の取扱を変えた場合と、ガス球の初期条件 (角運動量など) を変えた場合に形成されるシンク粒子の個数を比較する。

また Susa(2019) では SPH コードを使用した計算で、分裂片の個数が $t^{0.3}$ に比例して増加することが示されている。我々の AMR コードを使用した場合の結果と比較することでコードの違いによ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](#)

P122b 原始星アウトフローの解析モデルの構築と観測との比較

佐藤亜紗子 (九州大学)、町田正博 (九州大学)

星形成過程における重要な問題の一つとして角運動量問題が挙げられる。これは分子雲コアと原始星の角運動量が5桁以上も異なるという問題である。角運動量は保存量であるため、分子雲コアから原始星へと進化する過程で、何らかの機構によって角運動量を輸送する必要がある。星形成過程での角運動量輸送の有力な機構として磁気駆動アウトフローが考えられている。しかし、アウトフローの駆動メカニズムは完全には理解されておらず、その駆動シナリオについては研究者間で盛んに議論されている。

本研究では、Machida & Basu (2019) のシミュレーション結果を用いて、単独星の形成過程で発生する磁気駆動型アウトフローの性質について調べた。主に高速度成分と低速度成分における運動量の輸送率の違い、また、速度成分ごとの開口角の違いについて定量的な解析をおこなった。解析の結果、従来使用されているアウトフローの運動量輸送モデル (Matzner & McKee 2000) は、より現実的なシミュレーションとは異なることが分かった。特にアウトフローの $\cos \theta$ 依存性 ($0 \leq \cos \theta \leq 1$) は解析モデルとシミュレーションでは大きく異なる。シミュレーションで得られるアウトフローの運動量は、Matzner & McKee (2000) よりも回転軸に集中していた。さらに、ある時刻以降では、 $0.64 \lesssim \cos \theta \lesssim 0.9$ で線形的に運動量が増加し、その他の範囲では $\cos \theta$ とともに指数関数的に増加した。これは、従来使用されていた解析モデルが現実的でないことを意味する。本講演では、アウトフロー駆動の伝搬についての物理的解釈についての議論を行い、近年の ALMA 望遠鏡で得られた原始星アウトフローの観測と比較する。

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

P123b 磁場に貫かれたフィラメント状分子雲でのコア形成：落下速度の非等方性

工藤哲洋 (長崎大), 花輪知幸 (千葉大), 富阪幸治 (国立天文台)

フィラメントの軸に対して垂直に磁場が貫いている分子雲が、分裂して分子雲コアが形成される様子を、両極性拡散を含めた磁気流体力学の数値シミュレーションによって調べた。形成された暴走的収縮に繋がる分子雲コアにおいて、その中心部への落下速度が、フィラメントの軸に沿った方向と、軸と磁場の両方に垂直な方向とで非等方になっていないことを確認した。特に、初期の磁場が強く、両極性拡散がないと暴走的収縮が起こらないケースでは、軸に沿った落下速度 (\sim 音速) に比べて、垂直方向の落下速度 ($\sim 0.2 \times$ 音速) が非常に小さくなった。

これまでの研究において、私たちは、磁場に貫かれたフィラメント状分子雲の自己重力不安定性の線形解析から、磁場の強さに依らずに分子雲は分裂し分子雲コアが形成される可能性を示した (Hanawa, Kudoh, Tomisaka 2017)。また、数値シミュレーションにより、分裂で形成された分子雲コアにおいて、磁場がある程度強くなると暴走的な収縮が生じない「星なしコア」となることを示した (工藤, 花輪, 富阪 2017 秋季天文学会)。一方、磁場が強くても両極性拡散を含めると、暴走的収縮に繋がるコアが、平板状分子雲から生じるコアよりは短いタイムスケールで生じることを確認した (工藤, 花輪, 富阪 2019 秋季天文学会)。

今回は、暴走的収縮に繋がるコアの速度構造について調べた。磁場がない場合や弱い場合にも、コアへの落下速度は、軸に沿った方向と垂直方向とで速度が2倍程度異なる非等方な構造となる。初期の磁場が強いとそれがより顕著となり、特に、両極性拡散の結果として暴走的収縮が起こるケースでは、軸に垂直方向の落下速度が、上記に述べたように極端に小さくなった。その原因は、もともと磁場の強いフィラメントから自己重力でコアが形成される際には、軸に平行な方向のみが収縮し、垂直な方向には膨張する性質があるためと考えている。

[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](#)

P124b 磁場に貫かれたフィラメント状分子雲の平衡解:ポリトロピック指数の効果

柏木頼我 (国立天文台/総合研究大学院大学), 富阪幸治 (国立天文台/総合研究大学院大学)

Herschel 衛星の観測により、多くの分子雲がフィラメント状の細長い構造によって成り立っていることが明らかになった。また、近赤外偏光観測から、高密度のフィラメントに対しては星間磁場が垂直であることが明らかになった。更にダスト温度の観測から、フィラメントは中心に向かって温度が下がるポリトロープな関係式 ($P \propto \rho^{1+\frac{1}{N}}$, $N < 0$) で近似できる (Palmeirim et al. 2013)。本研究では、温度分布と星間磁場が星形成にあたる影響を調べるため、星間磁場に垂直に貫かれた負指数 ($N < 0$) ポリトロピックガスの静水圧平衡解を求めた。

温度勾配を考えない等温ガスの場合、自己重力に対して支えることのできる最大線質量 λ_{\max} は、単位長さあたりの磁束 ϕ に応じて増加する (Tomisaka 2014)。負指数ポリトロープの場合も等温ガスと同様に磁束の増加に応じて、最大線質量は増加した。また、表面で同じ温度を持つポリトロピックガス ($N < 0$) と等温ガス ($N = -\infty$) を比較すると、磁束が同じとき、ポリトロピック指数 N が等温から離れるほど、最大線質量の値は小さくなることがわかった。ポリトロピック・フィラメントの構造、最大線質量等について議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P125b AFGL2591 system の空間分解中間赤外線分光観測

○小木美奈子, 田中大葵, 本田充彦 (岡山理科大学)

大質量星形成領域である AFGL2591 は、近年の多波長観測により、複数の Compact HII 領域などからなる、クラスターであることがわかってきた。中間赤外線の観測からは、中心源と南西方向にある SW knot と呼ばれる CO outflow cavity と重なるソースが存在する (Marengo et al. 2000)。Johnston et al. 2013 による電波観測では、これらは独立した (Compact)HII region であることが提案されており、中心源 (VLA3) と SW knot (VLA1) のスペクトル型を cm 波連続波放射からそれぞれ O8-9、B0.5 と推測している。

今回、すばる望遠鏡搭載の中間赤外線装置 COMICS による、中心源と SW knot に対しての中間赤外分光観測スペクトルを導出した。それぞれのスペクトルで $10\mu\text{m}$ 付近に非晶質ケイ酸塩鉱物による吸収フィーチャーを確認できた。また、SW knot では、 $8.6\mu\text{m}$ 、 $11.3\mu\text{m}$ 、 $12.7\mu\text{m}$ に PAH による放射フィーチャーが検出されたが、中心源では検出されなかった。これは中心天体のスペクトル型の違いによる、紫外線の強さの違いによるものと考えられ、K.G. Johnston et al. 2013 での電波観測で推測されたスペクトル型とは大きく矛盾しない傾向が得られた。

また、中心星方向にのみ、 $11.3\mu\text{m}$ に付加的な吸収が見られることもわかった。これはこれまでの研究から結晶化シリケートと言われているが、この起源についても議論する。

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

P126b VERA を用いた大質量星形成領域 IRAS23385+6053 (Mol 160) の位置天文学

濱田翔太, 面高俊宏, 永山匠, 和田浩司

IRAS23385+6053 (別名: Mol 160) は、大質量な Class 0 の原始星として知られており、近年 NOEMA (the Northern Extended Millimeter Array) の観測により、ケプラー回転しているガス円盤が見つかっている。また、この領域で H_2O メーザーが検出されており、我々は VERA (VLBI exploration of Radio Astrometry) を用いて 2017 年 2 月 21 日から 2018 年 6 月 5 日まで計 12 回にわたって VLBI 観測をおこなった。 H_2O メーザーの年周視差を計測し、結果として 0.187 ± 0.032 mas と求めた。これは、距離にして 5.35 ± 0.78 Kpc に一致する。さらに、 H_2O メーザーの分布がガス円盤の中心から垂直に 60×60 mas、5.35 Kpc に対して 320×320 AU に双極的に広がりを持っていることがわかった。Wu et al. 2005 の CO 観測では、アウトフローのサイズは $2'$ 程度で、ガス円盤のサイズは、その $1/300$ となり、さらに我々の観測したサイズはその $1/7$ 程度になる。これは H_2O メーザーの分布が、ガス円盤中心からのアウトフローの根元を捉えていることを表している。現在、我々はこのアウトフローのシステムについて研究をしており、今回その途中経過を報告する。

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

P127c 銀河系中心 G-0.02-0.07 に付随する分子雲 50MC のホットコアの進化過程

宮脇亮介 (桜美林大学), 坪井昌人 (ISAS/JAXA), 北村良実 (ISAS/JAXA), 上原顕太 (元東京大学大学院), 宮崎敦史 (JSF)

銀河系中心 G-0.02- 0.07 に付随する分子雲 (50MC) のホットコア (Hot Molecular Core: HMC) からわかった HMC の進化について報告する。G-0.02-0.07 は、連続波源 A-D の比較的進化した HII 領域からコンパクト HII 領域が北から南に分布し、50MC がそれらのまわりに”馬蹄形”に分布する。

この領域は分子雲どおしの衝突 (CCC) 領域と考えられており、すでに Uehara et al. (2019) により低温の分子雲コアの質量分布などが報告されている。同領域には、高温 (≥ 100 K)、高密度領域の HMC 領域を示す分子線も検出されており、SO, CH₃OH の分子線を使い、50MC 領域の HMC 候補を clumpfind などにより同定した。また、HC¹⁵N 輝線のピークが比較的暖かいと思われる高密度のコアを示していることも考慮した。その結果、分布、速度から 6 領域に分類される計 28 個の HMC 候補が同定された。さらに、Class I CH₃OH メーザー源の分布などと合わせて HMC の特徴を考察すると、HMC に付随するようなウルトラあるいはハイパーコンパクト HII 領域の存在及び Class II CH₃OH メーザー源がないことから、この領域の HMC は、比較的若い段階で、今後大質量星に進化する可能性が高いことを示している。

HMC の LTE 質量と半径の関係は、冷たい分子雲コアの関係、 $M(M_{\odot}) \leq 870 (r/(pc))^{1.33}$ (Kauffmann et al. 2010) に対して、 $M_{LTE}(M_{\odot}) = 1.33 \times 10^5 (r/(pc))^{2.02}$ ($T_{ex} = 100$ K) と冷たい分子雲コアに比べて高いことを示しており、CCC による効率よい圧縮により高密度のコアが形成され、降着率の増大によりそれが成長して HMC になっているものと考えられる。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P128a ALMA Cycle 6 による重力不安定な円盤を伴う大質量原始星からの分子ガスアウトフロー観測

○元木業人 (山口大学)、廣田朋也 (国立天文台)、町田正博 (九州大学)、米倉覚則 (茨城大学)、本間希樹 (国立天文台)、高桑繁久 (鹿児島大学)、松下聡樹 (ASIAA)

G353.273+0.641(G353) は比較的近傍 (1.7 kpc) に位置する非常に若い大質量原始星 ($\sim 10 M_{\odot}$) であり、ほぼ Face-on の質量放出/降着系として観測される。ALMA Cycle 4 Long Baseline (~ 12 km) による 2mm 帯でのダスト/メタノール輝線の撮像観測によって、半径 700 au 程度の回転降着エンベロープと半径 250 au 程度の降着円盤が空間分解された (2019 年春季年会 P123a, 秋季年会 P103a, Motogi et al. 2019)。

今回は ALMA Cycle 6 において検出された CO ($J=2-1$) 輝線のアウトフローについて報告する。青方偏移成分については視線速度 $-120 \text{ km s}^{-1} - -80 \text{ km s}^{-1}$ で原始星 (システム速度 -5 km s^{-1}) から東へ伸びる高速のジェット成分が検出された。また $-80 - -20 \text{ km s}^{-1}$ の低速成分においては高速成分と相補的なシェル状の構造が見られ、分子ガスジェットと周辺物質との相互作用が示唆される。これらの構造は過去に行った SMA 観測の結果とよく一致しているが (2014 年春季年会, P112a)、一方で SMA では検出できなかったジェットの先端から降着円盤近傍へ伸びる微弱な成分 ($\sim -100 \text{ km s}^{-1}$) が検出された。同成分の根元には水メーザーの VLBI 観測で検出されたコンパクトジェット (Motogi et al. 2016) が接続しており、原始星近傍 100 au から噴き出したガスが東側 5000 au まで直線的に伸びていることがわかった。また SMA では殆ど検出されなかった高速の赤方偏移成分 ($+120 - +140 \text{ km s}^{-1}$) が円盤の位置から南西方向へ伸びていることが明らかになった。ジェットの力学時間は $1000 - 3000 \text{ yr}$ であり、Motogi et al. (2019) で推定された原始星の年齢 ($\sim 3000 \text{ yr}$) とよく一致している。

[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](#)

P129a Discovery of a Photoionized Outflow toward the Massive Protostar G45.47+0.05

Yichen Zhang (RIKEN), Kei Tanaka (Osaka/NAOJ), Viviana Rosero (NRAO), Jonathan Tan (Chalmers/Virginia), Joshua Marvil (NRAO), Yu Cheng (Virginia), Mengyao Liu (Virginia), Maria Beltrán (INAF), Guido Garay (Chile)

Massive protostars generate strong radiation feedback, which may help set the mass they achieve by the end of the accretion process. Studying such feedback is therefore crucial for understanding the formation of massive stars. We report the discovery of a photoionized bipolar outflow towards the massive protostar G45.47+0.05 using high-resolution observations at 1.3 mm with ALMA and at 7 mm with VLA. By modeling the free-free continuum, the ionized outflow is found to be a photoevaporation flow with an electron temperature of 10,000 K and an electron number density of $\sim 1.5 \times 10^7 \text{ cm}^{-3}$ at the center, launched from a disk of radius of 110 au. H30 α hydrogen recombination line emission shows strong maser amplification, with G45 being one of very few sources to show such millimeter recombination line masers. The mass of the driving source is estimated to be $30 - 50 M_{\odot}$ based on the derived ionizing photon rate, or $30 - 40 M_{\odot}$ based on the H30 α kinematics. The kinematics of the photoevaporated material is dominated by rotation close to the disk plane, while accelerated to outflowing motion above the disk plane. The mass loss rate of the photoevaporation outflow is estimated to be $\sim (2 - 3.5) \times 10^{-5} M_{\odot} \text{ yr}^{-1}$. We also found hints of a possible jet embedded inside the wide-angle ionized outflow with non-thermal emissions. The possible co-existence of a jet and a massive photoevaporation outflow suggests that, in spite of the strong photoionization feedback, accretion is still on-going.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P130a OMC-2/FIR 6 領域における連続波源と新たなアウトフローの探査

松下祐子 (九州大学), 高橋智子, 石井峻 (国立天文台), 町田正博 (九州大学)

Orion Molecular Cloud-2 (OMC-2)/FIR 6 領域 ($\sim 388 \text{ pc}$: Kounkel et al. 2017) の ALMA のモザイク観測の結果を報告する。前回の発表 (日本天文学会 2019 年秋季年会 (P107a)) の結果から、更に解析を進めたところ、合計で 21 天体の連続波源を同定した。そのうち、今回の観測で新たに発見した連続波源は 10 天体であり、いずれも、原始星の兆候を示す赤外線源 (NIR, MIR, FIR) は付随しておらず、星なしコアの可能性が高いことが分かった。21 個の連続波源のうち、赤外線源が付随しているのは半数以下 (48%) に留まり、OMC-2/FIR 6 領域は従来の推定よりも若い星形成領域と言える。21 個の同定した連続波源に関して、1,000 AU 以内の H_2 の個数密度を求めたところ、 $5 \times 10^6 \sim 9 \times 10^7 \text{ cm}^{-3}$ であり、ある程度高密度なコアであることも分かった。今回検出した連続波源すべてに対して、近接の連続波源間の距離を測ってみると、 $6 \sim 30 \text{ arcsec}$ (中央値は 12 arcsec : $\sim 0.024 \text{ pc}$) の間隔を持つことが分かった。この分裂のスケールは、Orion A の他の領域で計測された分裂の間隔 (Takahashi et al. 2013; Kainulainen et al. 2017) と一致している。また、OMC-2/FIR 6 では、大小様々な CO アウトフローが合計で 9 個確認され、Class 0 天体、Class II 天体に付随するアウトフローが発見されたのに加えて、星なしコアとして知られる 3 天体からも淡いアウトフローの検出が示唆された。アウトフローのサイズや活発さから、この領域でのコアの進化段階を考察しつつ、特に、OMC-2/FIR 6 の南側では、7 つほどコアが密集し、進化段階も starless core から Class II 天体と様々に存在することをふまえて、この領域での星形成活動を議論する。

[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](#)

P131a OMC-3 領域における非常に若い中質量コアの進化段階の解析

森井嘉穂 (九州大学), 高橋智子 (国立天文台/JAO), 町田正博 (九州大学)

星形成初期段階の物理的状態を理解することは、星形成過程を解明する上で重要である。本講演では Orion Molecular Cloud-3(OMC-3) 領域において、これまで分子流が見つかっておらず、かつコアの中心密度が他の天体と比較して一桁以上低い、非常に若い 2 天体 MMS 3 と MMS 4 の ALMA 望遠鏡での観測結果を報告する。原始星初期段階の物理的性質やガスの速度構造を探るため、1.3 mm 連続波、 $^{12}\text{CO}(J=2-1)$, $\text{N}_2\text{D}^+(J=3-2)$, $\text{C}^{18}\text{O}(J=2-1)$, $\text{SiO}(J=5-4)$ を用いて観測を行った。 C^{18}O と N_2D^+ とともに高密度ガスのトレーサーであるが、特に N_2D^+ は CO がダストに吸着される低温環境 ($T < \sim 20\text{K}$) で観測されるため、進化段階を判断する良い指標となる。

MMS 3 においては、1.3 mm の連続波放射から ~ 90 au 程度の非常にコンパクトな中心集中する高密度コアを検出した。位置は近赤外線源 (Spitzer 4.5 μm) と一致している。また、 $\sim 3 \text{ km s}^{-1}$ で赤方偏移する CO ガスがフィラメントに平行な方向に検出され、それと直交する方向に ~ 8000 au で広がる C^{18}O 分子輝線を確認した。SiO は CO と一部分布が重なる領域に検出された。一方、CO, SiO 共に明確な分子流構造を示唆する結果は得られなかった。以上のことから、MMS 3 には既に中心星が付随している可能性が高く、原始星誕生直後、もしくは比較的進化の進んだ低質量星であると考えられる。

MMS 4 においては、 C^{18}O が 1.3 mm 連続波と N_2D^+ に反相関の空間分布を持つことを確認した。また付随する赤外線源や分子流は存在しない。これらの特徴は典型的な星なしコアと一致する。この 2 天体を多波長連続波データおよび上述の分子輝線を用いることで、OMC-3 領域の Class 0 天体と比較しつつ、進化段階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](#)

P132a オリオン領域および Upper Scorpius OB association における若い星の分布

西亮一, 山田優太郎 (新潟大)

我々は、Gaia DR2 に基づいて、近傍の大質量星形成領域であるオリオン領域および Upper Scorpius OB association における若い星の分布の解析を行ってきた。銀河系において、大部分の星は集団的に形成され、その多くは星団として残ることはなく広がって分布する円盤を形成するフィールド星になると考えられている。そのため、これらの領域における若い星について、その形成過程と共に 3 次元空間および速度空間における分布とそれらの分布の進化を研究することは銀河スケールの星形成を理解し、銀河の形成・進化を調べるためにも非常に重要である。我々はこれまでの研究において、星形成領域において H-R 図を用いた分類に加えて、固有速度平面での集中を用いた若い星の分類が非常に有用であることを示してきた。

本講演では、上述の手法によって分類された若い星の分布を調べた結果について報告する。具体的には、天球面分布および年周視差から求めた距離を加えた 3 次元空間分布において 2 体相関関数を求め、フィールド星との比較を行った。また、若い星は固有運動平面での分布がより特徴的であることから、固有運動平面における分布の特徴も定量化するために、固有運動平面においても 2 体相関関数を求める。それらの結果について、オリオン領域と Upper Scorpius OB association で比較し、分布の広がりの進化についても検討を行う予定である。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P133a 星の最終質量はどのように決まるのか?: オリオン大星雲領域のコア質量関数からの制限

竹村英晃 (総合研究大学院大学 / 国立天文台), 中村文隆, 島尻芳人, 石井峻, Patricio Sanhueza, 川邊良平, 塚越崇 (国立天文台)

前回の年会で我々は、世界最高分解能 (8") のオリオン A 分子雲広域 C¹⁸O マップを用いて、2090 個の高密度コアの同定に成功したことを報告した。また同定したコアの質量関数 (Core Mass Function, または CMF) を導出し、先行観測よりも空間分解能が数倍以上よくなったため、低質量側のピーク質量が 0.1 M_☉ 程度、すなわち褐色矮星程度となることを新たに明らかにした (2019 年秋季年会、P146a)。

本研究では、オリオン大星雲を含むオリオン A 分子雲の中心領域 ($\geq 30' \times 30' \sim 3.6 \text{ pc} \times 3.6 \text{ pc}$) で、Da Rio et al. (2012) で同定された 1742 個の若い星の初期質量関数 (IMF) と C¹⁸O マップから同定した 674 個の星なしコアの CMF を比較した。全く同じ領域の CMF と IMF を十分な空間分解能で比較したのは初の試みである。

その結果、同定したすべての星なしコアに対する CMF と IMF のヒックが同程度となった。すべての星なしコアから星が生まれるとすると星のフィードバック (主に原始星アウトフロー) で吹き飛ばした質量を周囲のガスの降着や合体で再獲得しないと IMF は再現できない。一方、重力的に束縛された星なしコア (総数 93 個) のみの CMF からは、星のフィードバックで予言される 30% の星形成効率を仮定するとこの領域の IMF を再現できることがわかった。このことは、コアが重力的に束縛されることが星形成の必須条件であることを示唆している。言い換えると、重力的に束縛されていないコアの進化過程 (最終的に散逸してしまう一時的な高密度領域か、降着・合体によって重力的に束縛されたコアに進化するか) の理解が星形成過程の解明の鍵になることを示している。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P134a NRO 銀河面サーベイプロジェクト (FUGIN): 巨大分子雲複合体 W43 における高密度ガスと大質量星形成シナリオ III

河野樹人, 立原研悟, 藤田真司, 佐野栄俊, 花岡美咲, 大浜晶生, 福井康雄 (名古屋大), 鳥居和史, 梅本智文, 松尾光洋 (国立天文台野辺山), 久野成夫, 栗木美香 (筑波大), 徳田一起 (大阪府大/国立天文台), 切通僚介, 西村淳, 大西利和 (大阪府大), 津田裕也 (明星大), 南谷哲宏, 長谷川哲夫 (国立天文台), 祖父江義明 (東大天文センター), 羽部朝男 (北海道大), FUGIN チーム

W43 は $l = 30^\circ$ の銀河面に位置する $\sim 10^7 M_\odot$ もの質量を有する巨大分子雲複合体であり、ミニ・スターバーストと呼ばれる活発な星形成の現場である。我々は、FUGIN プロジェクトの一環として W43 に対して、¹²CO, ¹³CO, C¹⁸O $J=1-0$ 輝線による広域観測を行った。その結果、150 pc にわたる巨大分子雲の空間分布と、20-30 km s⁻¹ にわたる広い速度幅の存在が明らかとなった。特に C¹⁸O によってトレースされる高密度ガスは、巨大分子雲内部の 3 つの大質量星形成領域 W43 Main, G30.5, W43 South に局所的に存在し、柱密度 $\sim 10^{22}-10^{23} \text{ cm}^{-2}$ 、質量 $\sim 10^5 M_\odot$ 、速度差 10-20 km s⁻¹ の 2-4 つの視線速度の異なる分子雲で構成されることがわかった。各々の星形成領域で、分子雲と赤外線 8 μm 放射の分布が空間的に相関していることや、輝線強度比 (¹³CO $J=3-2/1-0$) の上昇が見られることから、複数の速度成分が W43 内部の大質量星に物理的に付随する可能性が高いことを示した。これらの結果から、我々は、巨大分子雲内部で分子雲同士が超音速で偶発的に衝突し、局所的な圧縮が起こることによって高密度ガスと大質量星形成を誘発するシナリオを提案する。W43 はバーエンドと呼ばれる、たて腕と棒状構造の接合部付近に位置するため、系外銀河の観測結果や数値シミュレーションが示すように、銀河規模の異なるガス流が取れんすることで、7 Myr 程度の高い頻度で分子雲同士の衝突が起こっ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](#)

P135a Searching for hot cores in the Small Magellanic Cloud

Sarolta Zahorecz, (Osaka Pref. Univ. / NAOJ), Toshikazu Onishi (Osaka Pref. Univ.), Kazuki Tokuda (Osaka Pref. Univ. / NAOJ), Akiko Kawamura (NAOJ), Takashi Shimonishi (Tohoku University)

The Magellanic Clouds are excellent targets to study the chemical properties of star-forming complexes at low metallicity. Sub-pc resolution observations, and therefore the detection of 0.1 pc size hot cores are became possible with the Atacama Large Millimeter/submillimeter Array (ALMA) at the distance of the Magellanic Clouds. Previous ALMA studies identified three hot cores and complex organic molecules in the Large Magellanic Cloud. In the lower metallicity Small Magellanic Cloud (SMC), only one embedded YSO was studied earlier with ALMA, and no hot core was detected around it, but its chemical properties was revealed. To extend the study, we observed six high-mass YSOs in the SMC with ALMA at a spatial resolution of 0.1 pc. Continuum and molecular line emission of the sources were targeted (e.g. SO_2 , HCO^+ , H_2CO , CH_3OH , HNCO , H_2CS , NO , etc.) to characterize their physical properties and to have a complementary dataset to the Galactic and LMC sources. These studies can help us to better understand the chemical processes in the low metallicity environment, which characterised the early Universe.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P136a 大型ミリ波望遠鏡 LMT 50 m に搭載した新型 2 mm 帯受信機 B4R による系内星形成領域の高感度分子輝線観測

吉村勇紀 (東大), 川邊良平 (NAOJ), 酒井剛 (電気通信大), 田中邦彦 (慶応大), 竹腰達哉, 廿日出文洋, 河野孝太郎 (東大), 谷口暁星, 田村陽一 (名古屋大), 大島泰 (NAOJ), David Hughes, David Sánchez, Arturo Gómez, Victor Rodriguez, Edgar Colin, Javier Zaragoza, Miguel Chavez (INAOE), Pete Schloerb, Kamal Souccar, Min Yun (UMass)

我々は 2018 年にメキシコ LMT 50 m 鏡に 2 mm 受信機システム (B4R) を搭載し、2019 年 11 月までに計 4 回の試験観測を行った (川邊他 2020 年春季年会)。B4R の観測可能周波数範囲は 125 GHz – 163 GHz であり、LMT 50 m 鏡と組み合わせることで、CS、 H_2CO 、 CH_3OH 、重水素化物などの重要な分子輝線を約 10 秒角の高空間分解能で観測可能である。また我々は分光計として 4 つの XFFTS ボードを用いて、同時に 5 GHz の帯域を 1 ch あたり 76 kHz で分光しており、線幅の細い低質量星形成領域や詳細な力学構造の解析にも対応している。これらは同様の観測周波数範囲を持つ IRAM 30 m 鏡の EMIR 受信機と比較しても、角度分解能・同時分光可能帯域ともに 1.5 倍程度良い性能である。直近 2 回の試験観測は本格的な科学観測を見据えたものであり、この中で系内星形成領域のマッピング観測を実施した。観測領域は OMC1 から、馬頭星雲、L1157、IRC10216 など多岐に渡る。特に OMC1 では、約 10 平方分におよぶマッピング観測を行い、 $dT_a^* \simeq 0.3 \text{ K}$ ($dv = 0.3 \text{ km/s}$) という高速度分解能・高感度のデータ取得に成功した。CS や H_2CO はフィラメントに沿って広がった分布をしている一方、SO などはコンパクトな構造をしており、分子ごとの分布の違いも見えている。L1157 では CH_3OH の広がったアウトフロー成分を検出した。本講演ではこれら系内天体の観測で得られた初期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](#)

P137a BISTRO Project Status (7)

Tetsuo Hasegawa¹, Ray Furuya², Doris Arzoumanian³, Yasuo Doi⁴, Saeko Hayashi¹, Charles Hull¹, Tsuyoshi Inoue³, Shu-ichiro Inutsuka³, Kazunari Iwasaki¹, Yoshihiro Kanamori⁴, Akimasa Kataoka¹, Koji Kawabata⁶, Gwanjeong Kim¹, Masato Kobayashi³, Takayoshi Kusune¹, Jungmi Kwon⁸, Masafumi Matsumura⁹, Tetsuya Nagata¹⁰, Fumitaka Nakamura¹, Hiroyuki Nakanishi¹¹, Nagayoshi Ohashi¹, Takashi Onaka⁴, Tae-Soo Pyo¹, Hiro Saito¹², Masumichi Seta¹³, Yoshito Shimajiri¹, Hiroko Shinnaga¹¹, Motohide Tamura^{4,14}, Kohji Tomisaka¹, Yusuke Tsukamoto¹¹, Tetsuya Zenko¹⁰, Derek Ward-Thompson¹⁵ and the BISTRO Consortium (¹NAOJ, ²Tokushima U., ³Nagoya U., ⁴U. Tokyo, ⁵Osaka U., ⁶Hiroshima U., ⁸ISAS, ⁹Kagawa U., ¹⁰Kyoto U., ¹¹Kagoshima U., ¹²U. Tsukuba, ¹³Kwansai Gakuin U., ¹⁴Astrobiology Center, ¹⁵U. of Central Lancashire)

BISTRO (B-field In STar forming Region Observations) is an international research project to make submillimeter linear polarization images of nearby star forming regions as one of the EAO/JCMT Large Programs, and it involves over 130 researchers in Canada, China, Japan, Korea, Taiwan, UK, Vietnam and the East Asian Observatory. This paper reports an update of the research program including; a) progress of the data taking (BISTRO-1 complete, BISTRO-2 ongoing), b) progress of publication (Oph C, Perseus B1, IC 5146), and c) an emerging picture of the evolution of magnetized ISM towards 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](#)

P138a BISTRO : 850 μm 偏波機能付き “SCUBA-3” カメラの製作 (1) 科学目標

古屋 玲 (徳島大学) ほか, BISTRO Consortium および東アジア天文台新カメラ製作チーム

In the next several years, we pursue our ongoing studies toward the better understanding of (i) structure-formation process in molecular clouds with a spatial scale between 10 pc and 0.1 pc, (ii) trigger of protostar formation in molecular cloud cores (0.1 pc), (iii) role of “stellar feedback” by jets/outflows emanated from YSOs, and (iv) alignment mechanism of interstellar dust grains. Considering the goals achievable by the existing SCUBA-2 plus POL-2 system, we commenced planning a major upgrade of 850 μm continuum instrument with a capability of linear-polarization imaging. The new camera, hereafter “SCUBA-3”, will have a full field-of-view diameter of 12', twice as large as SCUBA-2. The focal plane will be filled with 3636 pixels, each of which will comprise two Microwave Kinetic Induction Detectors (MKIDs), measuring orthogonal linear polarization. Thus, “SCUBA-3” will allow determination of linear-polarization state from a single scan observation, without a rotating half-wave plate and fixed wire-grid analyzer to modulate incident polarized signal. This native observation of polarized signal, along with the improved capabilities of MKIDs over the Transition Edge Sensor bolometers used by SCUBA-2, will result in almost an order of magnitude enhancement in polarized intensity. “SCUBA-3” would expect to result in an order of increase in mapping speed in polarized light over the current system with an aspirational a few times ten increase. Major scientific goals with “SCUBA-3” will be discussed in the talk. The newly released White Papers, including the magnetic-field one, are available at <https://www.eaobservatory.org//jcmt/wp-content/uploads/sites/2/2019/11/EA0SubmmFuturesWPs.pdf>

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P139a 分子雲コアの砂時計型磁場：凍結磁場モデルとコア形成の初期条件について

神鳥亮 (ABC), 富阪幸治, 齋藤正雄, 立松健一 (国立天文台), 田崎亮 (東北大学), 田村元秀, 日下部展彦 (ABC), 長田哲也 (京都大学), 中島康 (一橋大学), Jungmi Kwon (東京大学), 松本倫明 (法政大学), 永山貴宏 (鹿児島大学), IRSF/SIRPOL チーム

IRSF/SIRPOL を用いた近赤外偏光観測により、パイプ星雲の星なし分子雲コア FeSt 1-457 には砂時計型の磁場構造が付随することが発見された。また、偏光-減光関係のリニアリティから、測定された近赤外偏光は、冷たく濃いコア深部での磁場の向きをよくトレースしていることが示された。他のコア (B68, B335, CB81) でも同様な結果が得られ、我々は、砂時計型の磁場構造の存在の普遍性に確信を深めつつある。しかしながら、我々がこれまで用いてきたパラボリック関数は、近似的取り扱いであり理論からは直接導かれないという問題があった。

今回、解析的な砂時計型磁場構造モデル (Myers et al. 2018) を用いて、FeSt 1-457 の偏光データを 3 次元解析したので結果を報告する。このモデルは、凍結磁場と対称性を保った収縮を仮定しており、一様磁場・一様密度の初期状態から Bonnor-Ebert ライクな密度構造の最終状態にいたるまでの磁束管問題を解いている。まず、3 次元解析の結果は、凍結磁場モデルとパラボリックモデルとで無矛盾であることを確認した。コア中心と背景の密度比 = 75 の場合のモデルがもっとも観測をよく説明したことから、コア形成における初期密度 ρ_0 は、 $\rho_c/75 \approx 5 \times 10^3 \text{ cm}^{-3}$ と得られた。この値は、パイプ星雲全域や典型的な分子雲におけるインタークランプ物質密度 ($\sim 300 \text{ cm}^{-3}$) と比べて 1 桁高い。このことは、コア形成の初期条件として「濃密な初期密度」が重要であることの示唆であると思われる。初期半径 R_0 、初期磁場 B_0 は、それぞれ 0.15 pc (1.64R), 10.8-14.6 μG と求まった。講演では、コア形成の初期物理状態とコア形成メカニズムについての考察、ならびに将来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](#)

P140a 分子雲形成シミュレーションにおける星間媒質の性質

小林将人 (大阪大学), 井上剛志, 犬塚修一郎 (名古屋大学), 富田賢吾 (大阪大学), 岩崎一成 (国立天文台), 田中圭 (大阪大学/国立天文台)

銀河進化計算において空間分解能以下の星間媒質の進化・および星形成可能な分子雲の形成を銀河全体の進化と整合的にモデルすることは、従来の銀河観測・大規模構造観測の解釈だけでなく重力波天文学時代における重力波源の母天体 (大質量星連星) とその母銀河の関係解明にも重要な課題である。

衝撃波圧縮に起因する熱不安定性を介した分子雲形成過程がシミュレーションで精力的に研究されているが、銀河計算への粗視化できる物理量やその収束性 (初期条件や空間分解能依存性など) の系統的調査はまだ端緒にすぎたばかりである。そのようなモデル化を念頭に我々はこれまで衝突 HI 流シミュレーションを系統的に実行し、60 キロ毎秒を越える高速流による圧縮で 10 キロ毎秒程度の速い乱流が形成される可能性を指摘した (2019 年秋季年会 P149a)。

さらに、衝撃波上流の密度ゆらぎの大きさに応じて形成される星間媒質の構造がどのように変化するか調査したところ、小ゆらぎ領域では圧縮が長時間継続しても衝撃波面のたわみが小さく推移し速度分散が 1 キロ毎秒程度にとどまることがわかり、熱不安定性による冷却長を分解することが重要であると示唆された。一方で大ゆらぎ領域では衝撃波面のたわみが大きく 2 キロ毎秒以上の速度分散が生成されており、衝撃波面のたわみを十分に分解することが重要と示唆された。本発表ではこれらの結果の報告およびその起源を考察する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P141a 乱流による多相星間媒質のフィラメント構造の性質について

Pierre Goux (東北大学), 井上剛志 (名古屋大学), 大向一行 (東北大学)

近年の分子雲と星間媒質 (ISM) の観測により、天球面上の柱密度分布の中にパーセクスケールのフィラメント構造が存在することが確認されている。このフィラメント構造の領域が星形成の現場であることが示されている。従って星形成過程、特に星形成率を理解する為には、このフィラメント領域の起源や詳細な物理状態を解明する必要がある。

ISM のあるゆるスケールでの構造はその中の乱流構造を反映していると考えられているが、その詳細は未解明である。その上、「フィラメント」は乱流物理と関係なく便宜的に定義されている。これは実際の三次元的な形すらも分かっていないということである。その為、定量的な解析を行う際に不都合が生じる。そこで、フィラメント状、クランプ状等の構造を連続的に記述できるような解析手法を確立することが不可欠である。

我々は、現実的な星間媒質 (ISM) の 3D MHD シミュレーションを用い、フラクタル次元によって形状を解析した。各スケールに対応する構造を得た上で、フィラメント構造の線質量関数 (FLMF) と長さの分布関数 (FLF) を調べ、解析的な乱流モデルとの比較を行った。フィラメントパラダイムに従うと、この FLMF は以下の 2 つの効果の組み合わせで決まる。まず、低温 ISM の大規模な圧縮流は、初期線質量分布 $dN/d\log M_{line} \propto M_{line}^{-1}$ のフィラメント構造のネットワークを生成する。第二に、母体となる分子雲の降着でフィラメントの質量が増加し、超臨界フィラメントが形成する。この効果により、FLMF は観測で見られる傾向に向かう。上記の結果はコア質量関数の起源を理解するための有望な概念フレームワークを提供し、拡張により星の IMF の解明に繋がる。

の起源と結びついてははずであるため、星形成のトリガー機構を理解することにも繋がる。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P142a 分子雲におけるフィラメント状構造の起源

安部大晟, 井上剛志, 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、近年の観測によって、その高密度領域がフィラメント状であることや、星形成は自己重力的に不安定なフィラメント内で起こることが明らかになった (e.g., André et al. 2010)。よって、どのようなときにフィラメントが超臨界状態になり星形成を引き起こすのかを解明する必要がある。Inoue & Fukui (2013) では数値シミュレーションを用いて、分子雲が衝撃波に圧縮されるという現象からフィラメントが形成されることを発見した。実際、分子雲はその一生のうちに超新星爆発由来の衝撃波圧縮を数十回以上経験することが知られており、衝撃波と分子雲の衝突現象は普遍的である。さらに、Inoue et al. (2018) では長時間計算によってフィラメントから星形成までを再現することに成功している。しかし、Inoue et al. (2018) では 1 つのパラメータセットでの計算しかなされておらず、星形成が起こるフィラメントの形成条件は研究されていない。そこで本研究では、3次元磁気自己重力流体コード SFUMATO (Matsumoto 2007) を用いて、衝撃波と分子雲の相互作用を模擬するような、多様なパラメータでシミュレーションを実行することでこの問題の解明を試みた。本発表では、分子ガスの衝突速度が異なる 2 種類のシミュレーション結果と、初期に乱流速度場を導入した場合についての結果を紹介する。結果として、速い衝突速度では MHD 的なフィラメント形成 (Inoue & Fukui 2013) を確認し、遅い衝突速度では自己重力的なフィラメント形成が見られた。また遅い衝突速度の場合に初期乱流を入れると、乱流的なフィラメント形成 (Chen & Ostriker 2014) が見られた。これらの結果から、フィラメント形成モードが衝突速度と乱流の強さに依存して変化することがわかった。さらにフィラメントの線密度の解析により、衝突速度の大小で Line Mass Function に違いが出るということがわかったので、これについても議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P143a Massive Core/Star Formation Triggered by Cloud-Cloud Collision III: Effect of Magnetic Field

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

We study the effect of magnetic field on the massive core/star formation triggered by the cloud-cloud collision. We perform sub-parsec magnetohydrodynamic simulations of two unequal colliding, turbulent molecular clouds. We assume clouds in uniform magnetic fields of various strengths and directions with respect to collision axis. We generate turbulent magnetic fields by developing turbulent motion in initial uniform clouds before the collision. During the collision of the clouds, the shock wave forms at the interface of the clouds, and dense cores form in the shocked cloud medium. In the past meetings, we have reported the results for 10 km s^{-1} collision speed cases in which more massive dense bound cores are formed in the $4 \mu\text{G}$ initial magnetic field than the $0.1 \mu\text{G}$. This should be partly because strong magnetic fields suppress the nonlinear thin shell instability and support the low mass dense cores against self-gravity. We study effect of magnetic field on the massive core/star formation in higher collision speed case of 20 km s^{-1} since typically observed collision speeds are in range of $10\text{-}20 \text{ km s}^{-1}$. We found that the collision proceeds too quickly to form massive dense cores in the $4 \mu\text{G}$ initial magnetic field. In $10 \mu\text{G}$ initial magnetic field, we found the formation of massive but unbound cores. We simulate larger colliding clouds in this case. We will discuss massive core/star formation in high-speed colliding molecular clouds.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P144a 赤外線暗黒星雲 M17 SWex 領域における分子雲衝突の発見

木下真一 (東大), 中村文隆 (国立天文台), Nguyen-Luong (McMaster Univ.), 竹村英晃 (国立天文台), ほか 星形成レガシーチーム

近年、理論的にも観測的にも分子雲同士の衝突が大質量星形成を誘起する可能性が指摘されている (Tan 2000; Fukui et al. 2014; Wu et al. 2017). Sugitani et al. (2019) は 赤外線暗黒星雲 M17 SWex で巨大分子雲同士が大規模磁場に沿って衝突している可能性を指摘した。このシナリオに基づき、我々は前回の年会で M17 の暗黒星雲領域で分子雲が衝突している可能性について議論した (Z318b)。本講演では、分子雲衝突をさらに支持する結果が得られたのでそれらについて報告する。

この領域は銀河面付近に位置しているため、M17 が属する Sagittarius arm の成分と、別のアームに属す雲が混在しているため、各アームに属した分子雲の同定をする必要がある。そこで Dendrogram、SCIMES を用いてこの領域の分子雲を同定し、距離が同定されている ATLASGAL クランプと、同定した $^{13}\text{CO}(J=1-0)$ 雲の位置・速度を比較することで $^{13}\text{CO}(J=1-0)$ 雲の距離を推定した。同定された構造のうち、 20 km s^{-1} と 35 km s^{-1} との分子雲の間をつなぐようなブリッジ構造が P-V 図上で確認できた。このような P-V 図上でのブリッジ構造は分子雲衝突の初期段階に見られる特徴であり (Takahira et al. 2014)、この 2 つの雲同士が衝突している可能性が示唆される。さらに H バンドでの偏光ベクトルのマップ (Sugitani et al. 2019) と比較すると、衝突領域付近で磁場の方向が突然変わる箇所を発見した。分子雲衝突の結果、磁場の向きが曲げられた可能性がある。ブリッジ構造の存在と磁場分布から、M17 SWex 領域での分子雲衝突は確実であると期待される。この領域では、現在は不活発な大質量星形成が分子雲衝突により近い将来加速される可能性がある。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P145a W40 と Serpens South の星形成

下井倉ともみ(大妻女子大学), 土橋一仁, 秦野義子(東京学芸大学), 中村文隆(国立天文台), ほかに星形成レガシーチーム

W40 および Serpens South 周辺の約 1 平方度を、野辺山 45m 鏡を用いて 100GHz 帯の CO 輝線等で観測した結果について報告する。この観測は、野辺山星形成レガシープロジェクトの一環として遂行した。W40 は H II 領域であり、その 20' 程度離れて位置する Serpens South は若い星団 (~ 0.5 Myr) を伴う赤外線暗黒星雲である。C¹⁸O 分子輝線の解析結果から、2つの領域は空間・速度構造が連続的に分布しており、物理的につながっていることが明らかになった(日本天文学会 2018 年春季年会)。また、位置-速度図から 2つの楕円構造を発見した。これは、2つの膨張シェルとして説明できる。シェルの 1つは、H II 領域近傍のシェル(直径 0.5pc 程度)であり、もう 1つは、H II 領域の境界に対応する外側のシェル(直径 2.5pc 程度)である。Serpens South の若い星団に付随する高密度ガスは外側のシェルに位置する可能性が高く、シェルの膨張が星団の形成を誘発したことが示唆される。

次に、¹²CO 分子輝線の解析により、W40 と Serpens South を形作る $0 < V_{lsr} < 8 \text{ km s}^{-1}$ の速度成分(メイン成分と呼ぶ)の他に、観測領域全体に渡って分布する複数の独立した速度成分の存在を確認した。このうち、~ 40 km s^{-1} の速度成分(40 km s^{-1} 成分と呼ぶ)は、W40 内で形成されている B 型星 IRS 5 を中心とした星団付近に集中して分布している。また、Serpens South の若い星団付近にも 40 km s^{-1} 成分が存在する。さらに、メイン成分と 40 km s^{-1} 成分の天球上での分布には反相関がみられる。これらのことから、40 km s^{-1} 成分とメイン成分の衝突による星形成誘発が考えられる。本講演では、40 km s^{-1} 成分の起源が Scorpius-Centaurus Association の恒星風により掃き集められた星間ガスである可能性を議論する。

[スケジュール\(セッション毎\)に戻る](#)

[スケジュール\(全体\)に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P146a 星形成領域における円偏光波に関する輻射輸送シミュレーション

福島肇, 矢島秀伸, 梅村雅之(筑波大学)

宇宙において円偏光波は、大質量星が含まれる星形成領域において近赤外線観測により存在が確認されている(e.g., Fukue et al. 2010, Kwon et al. 2016)。これらは星間空間において整列した非球形ダスト粒子により、光子が散乱する際に生成されると考えられている(Gledhill & McCall 2000)。この円偏光波は円偏光二色性により鏡像異性体過剰を誘発することから、生物や隕石中に存在しているアミノ酸のホモキラリティーに関連して重要である(Bailey et al. 1998)。しかし、反応に適した紫外線波長では直接観測されていないため、アミノ酸生成などの化学反応に影響する円偏光波がどれくらい星形成領域に存在しているかは確かめられてこなかった。

本研究では、大質量星から放出された光子のダスト散乱過程の輻射輸送計算を行い、星形成領域における近赤外と紫外線波長における円偏光率を調べた。ここでは、大質量星周囲に整列した非球形ダストについて、ダストサイズおよび波長依存性を調べた。赤外線光については、単一ダストサイズの場合、ダストサイズがより大きくなる場合に、円偏光率が上昇する。例えば、ダストサイズが 0.1 μm では円偏光率が 1% 以下でなるのに対し、1 μm では 30% まで上昇した。また、円偏光率は後方散乱光において大きくなるため、観測者に対して光を散乱するダストが光源後方にある場合に円偏光率が上昇することがわかった。これらに加えて、紫外線波長やダスト粒子がサイズ分布を持つ場合の結果についても示し、星形成領域における近赤外線と紫外線波長における円偏光波の対応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](#)

P201a TESS Full Frame Image による dipper サーベイ I. 南半球

田尻智之(東京大学), 河原創(東京大学), 逢澤正嵩(東京大学), 藤井通子(東京大学), 服部公平(Carnegie Mellon 大学), 笠木結(総研大), 小谷隆行(アストロバイオロジーセンター/総研大), 増田賢人(プリンストン高等研究所), 百瀬宗武(茨城大学), 武藤恭之(工学院大学), 大澤亮(東京大学), 瀧田怜(国立天文台)

Young stellar object はしばしば準周期的もしくは非周期的な減光を見せることが知られており、これらは”dipper”と呼ばれている。減光の色依存性から、原始惑星系円盤中のダストによって dipper の減光が生じると考えられているが、それらのメカニズムは依然として議論され続けている。また、Gaidos et al. (2019) により dipper のような減光を示す星形成領域外の天体が報告された。今回我々は 1 年間の TESS Full Frame Image のデータを用いて、南半球での準周期的もしくは非周期的な減光を示す天体のサーベイを行った。畳み込みニューラルネットワークを使用して、私達は 35 個の dipper を発見した。これらの dipper は南半球中で広く分布しており、多くは先行研究と同様に若いクラスターに所属しているが、いくつかの dipper は星形成領域外に存在していることがわかった。これらの dipper は、生まれた場所から放出されたもしくは星形成領域外の場所で生まれた可能性が考えられる。また、今回発見した dipper のうち 3 つは、今までほとんど発見されていない年齢が原始惑星系円盤の典型的なタイムスケールである 10Myr を遙かに超す系であった。これらの系では二次的に生成されたダストによって減光が生じていると考えられ、debris disk 等の二次的に生成された円盤の構造を知る手がかりになる可能性がある。

[スケジュール\(セッション毎\)に戻る](#)

[スケジュール\(全体\)に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P202a TESS Full Frame Image による dipper サーベイ II. 北半球とスペクトル解析

笠木結(総研大), 田尻智之, 河原創, 逢澤正嵩, 藤井通子(東京大学), 小谷隆行(アストロバイオロジーセンター/総研大), 大澤亮(東京大学), 服部公平(Carnegie Mellon 大学), 増田賢人(プリンストン高等研究所), 百瀬宗武(茨城大学), 武藤恭之(工学院大学), 瀧田怜(国立天文台)

近年、TESS 衛星などによる宇宙空間での継続的な測光観測により、非周期的な減光を示す天体が見つかっている。これらは“dipper”と呼ばれる Young stellar object (YSO) であり、原始惑星系円盤中のダストによって減光が生じると考えられているが、それらのメカニズムは未だ解明されていない。

我々は既に、1 年間の TESS Full Frame Image (FFI) のデータから南半球に分布する 35 個の dipper を発見した。これらの天体に対する年齢等の性質は分光観測を通して推定することができ、減光の起源と原始惑星系円盤との関係を調べることができる。そこで、今回発見された天体のうち 8 天体に対してすばる望遠鏡の高分散分光器 (HDS) や Calar Alto Observatory の分光器 (CAFE) で観測を行ったところ、4 天体で YSO に特徴的な H α 輝線が確認できた。

また、今後北半球の TESS FFI データが公開され次第、同様の方法を用いてサーベイを行い新たな dipper の発見を目指す。北半球のサーベイから見つかる dipper はすばる望遠鏡など多くの望遠鏡から観測できる領域にあるため、より様々な天体に対して特徴づけを行うことができると期待される。本講演では、南半球の dipper に対する分光観測の結果についての議論および北半球のサーベイ結果を報告する。

[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](#)

P203a ALMA を用いた原始惑星系円盤 HD142527 の 2 波長偏光観測

片岡章雅 (国立天文台), 大橋聡史 (理化学研究所), 塚越崇 (国立天文台), 百瀬宗武 (茨城大学), 武藤恭之 (工学院大学), 森智宏 (東京大学), 植田高啓 (国立天文台)

原始惑星系円盤のミリ波偏光観測は、検出のために 1 秒角以下の角度分解能が必要な上、偏光強度が 1% 程度と非常に低く高感度観測が必要である。そのため、ALMA 望遠鏡によって初めて観測そのものが可能となったと言える。しかし、原始惑星系円盤のミリ波偏光はメカニズムが複数組み合わせられて放出されていると考えられており、物理過程の理解のためには観測的にメカニズムを切り分けることが必要である。特に、散乱に起因した偏光は強い波長依存性を持つことから、複数波長による観測が有用であると考えられている。

我々は、ALMA を用いて波長 2.1mm において原始惑星系円盤 HD142527 の偏光観測を行った。その結果、円盤の広い領域から偏光を検出することに成功した。偏光ベクトルは南側では動径方向に揃っているのに対し、北側は方位角方向に揃っていた。また、偏光度は南側領域で 13% 程度であるのに対し、北側は 2% 程度であった。本結果を過去の研究で観測された 0.87mm の観測結果と比較すると、連続は分布では大きな違いが見られないにもかかわらず、偏光観測においては、南側は偏光ベクトル・偏光度にほとんど波長依存性がない一方で、北側は偏光ベクトル・偏光度とも強い波長依存性を示した。この観測結果は、ダストサイズに依存した偏光メカニズムを考慮すると説明可能であることがわかった。観測された原始惑星系円盤は北側に明るい箇所が偏在しており、これは北側にミリメートルサイズのダストが濃集していることで説明される。本偏光観測は、南側は小さなダストが磁場に整列し偏光を出している一方で、北側では短波長側では散乱に起因した偏光、長波長側ではガス整列に起因した偏光を考慮するとよく説明されることがわかった。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P204a 原始惑星系円盤の 3 ミクロン帯散乱光による偏光超過

村川幸史 (大阪産業大学), 本田充彦 (岡山理科大学), 井上昭雄 (早稲田大学)

水氷は、原始惑星系円盤中において、豊富に存在する星間物質の一つであり、円盤中の化学進化や惑星形成を理解する上で注目されている。近年、高空間分解能撮像観測により、円盤中の氷の分布を調べる研究が行われるようになってきた。水氷には、 $3\mu\text{m}$ 帯に OH ストレッチングモードによる共鳴が起こることが知られており、この波長帯で、主にミクロンサイズの粒子により偏光超過が起こる。我々は、この点に着目し原始惑星系円盤モデルの輻射輸送計算を行い、 $3\mu\text{m}$ 帯における強度スペクトルの吸収深さ相当量と偏光超過について、水氷の存在量と粒子サイズの関係性を調べた。その結果、強度スペクトルのみからは、粒子サイズと水氷の存在量の関係性に縮退が生じることが分かった。粒子サイズが小さく水氷の存在量が小さいモデルと、粒子サイズが大きく水氷の存在量が多いモデルでは、強度スペクトルの吸収深さ相当量が等しくなる組み合わせが発生する。一方、偏光スペクトルを考慮すると、粒子サイズが大きいモデルでは、偏光超過が大きくなるので、両者の物理量の見積もりに対してより強い制限を与えることが分かった。本講演では、さらに、Herbig Fe 星 HD142527 の分光偏光観測の結果についても議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P205a 非対称な原始惑星系円盤を持つ V1247 Ori におけるダスト成長

後藤光希 (東京大学), 深川美里 (国立天文台), 武藤恭之 (工学院大学)

原始惑星系円盤での惑星形成においては、ダストが微惑星サイズに成長すると中心星に落下してしまうという問題が知られている。その解決策として、円盤中に局所的な高圧領域が生じ、圧力勾配によってダストが集められて (ダストトラップ) 中心星への落下が食い止められるという仮説が提唱されている。また、そのダストトラップではダストの付着成長が促進され、微惑星が形成されやすいと考えられている。しかし、ダストトラップが示唆される原始惑星系円盤で詳細な観測が行われた例は少なく、ダスト成長の確認や高圧領域の発生機構の議論が不足している。

Herbig Ae 型星 V1247 Ori では、ALMA を用いた波長 870 μm 帯の連続波観測により、半径約 54 au のリングと、中心星から約 120 au、方位角 40° から 80° に位置する三日月状構造 (クレセント) とで構成される非対称な原始惑星系円盤が確認されている。先行研究では、リングとクレセントの間のギャップに存在する仮想的な惑星を起因として、クレセント全体とリングの南東部にダストトラップが生じている可能性がある指摘されている。そこで我々は、ALMA で取得された V1247 Ori の波長 2.1 mm 帯と 870 μm 帯のアーカイブデータを用いて、空間分解能 0.09" (29 au) の連続波イメージを作成し、opacity index β を算出して円盤中のダストサイズ分布を評価した。波長 870 μm 帯では、観測の追加により先行研究に比べて約 2.7 倍高いシグナル・ノイズ比を達成した。解析の結果、先行研究の示唆とは異なり、クレセントの北側のみで β が他の領域よりも小さい ($\beta \sim 1$)、すなわちダスト成長が示唆されることが分かった。本講演では V1247 Ori の非対称円盤におけるダストトラップ候補の性質 (面密度等) や成因を議論する。

[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](#)

P206a ALMA による遷移円盤内の傾いた内側ガス円盤の検出

眞山聡 (総合研究大学院大学), 秋山永治 (北大), Olja Panic (Univ. of Leeds), James Miley (Univ. of Leeds), 塚越崇 (天文台), 武藤恭之 (工学院大), Ruobing Dong (Univ. of Victoria), Jerome de Leon (東大), 水木敏幸 (JAXA), Daehyeon Oh, 橋本淳 (ABC), 崔 仁士 (東大), Thayne Currie (NASA), 高見道弘 (ASIAA), Carol A. Grady, 林正彦 (JSPS), 田村元秀 (東大), 犬塚修一郎 (名大)

過去の遷移円盤の観測において、低質量天体の周囲で大きく傾きの異なる内側円盤は、これまでほとんど直接検出されていなかった。本研究のターゲットとなった若い低質量星 2MASS J16042165-2130284 は、過去の研究より、変光するいわゆる dipper star と呼ばれていた。

本研究では、ALMA を用い HCO^+ (4-3), CO(3-2), 0.87mm ダスト連続波で 0.2 秒角の高空間分解能を達成し、2MASS J16042165-2130284 に付随する遷移円盤を観測した。観測の結果、内側円盤を HCO^+ (4-3), CO(3-2) で検出し、 HCO^+ (4-3) rich な内側円盤の存在を実証した。一方、内側円盤の位置には、ダストは検出されず、ほぼ存在していなかった。また、外側円盤上には、 HCO^+ (4-3), CO(3-2), 0.87mm ダスト連続波の全てにおいて、dip が二つ検出された。この dip の位置と CO(3-2) の中心部が歪んだ moment 1 map から、内側円盤は外側円盤に比べて inclination が大きく傾いた円盤であることが明らかになった。また、近赤外観測との比較により、大きいダスト、小さいダスト、 HCO^+ (4-3), CO(3-2) という全てのトレーサーにおいて、外円盤の半径が異なることが示された。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P207a ダスト整列と自己散乱の複合モデルによる HL Tau 円盤ミリ波偏光の再解釈

森智宏 (東京大学), 片岡章雅 (国立天文台)

近年、ALMA による高空間分解能かつ高感度の偏光観測によって、原始惑星系円盤のミリ波領域における偏光度や偏光ベクトルの空間分布を調べることが可能になり、観測例が増加している。円盤のミリ波偏光は、円盤内の外力(磁場、輻射、またはガス流)に整列したダストの熱放射とダストの自己散乱という複数のメカニズムが組み合わさって放出されていると考えられている。どのメカニズムがどのくらい偏光に寄与するかは、ダストのサイズ、形状、さらに上記の外力場に対する応答に依存している。これらの情報は微惑星形成過程を理解する上で重要であるが、これらを観測から定量的に評価した研究例は少ない。

我々は、原始星 HL Tau の円盤で観測された波長 3 mm における偏光の特徴を調べることで、先行研究よりも詳しく偏光起源に迫った。この偏光は (1) 楕円の偏光パターン、及び (2) 方位角方向に一樣な偏光度、という特徴を持つ。先行研究では、この偏光は輻射勾配に整列したダストの熱放射が起源であるとされていた (Kataoka et al. 2017)。しかし、この整列モデルは円形の偏光パターンかつ、非軸対称な偏光度分布を予言し、観測事実 (1) と (2) のどちらとも矛盾することが新たに指摘された (Yang et al. 2019a)。これは観測された偏光の起源が単独の整列過程のみではないことを示唆する。我々は、RADMC-3D を用いて、ダスト整列と自己散乱を組み合わせたモデルを構築し、観測を再現できるか調べた。その結果、ガス流に対してダスト長軸が平行に並ぶ整列モデルと散乱モデルを組み合わせることで、(1) と (2) を再現可能であることがわかった。この整列過程は、理論的には、ダストに対するガス流の速度が超音速であるときに有効になり、円盤では起きないとされてきた。しかし、我々の結果はその理論と矛盾しており、従来のダスト整列理論が円盤で必ずしも成立しない可能性を示唆する。

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

P208a Dust Substructure Formation in an Embedded Disk around a Protostar

仲谷峻平 (理化学研究所), Haiyu Baobab Liu (ASIAA), 大橋聡史 (理化学研究所), Yichen Zhang (理化学研究所), 花輪智幸 (千葉大学), Claire Chandler (NRAO), 大屋遥子 (東京大学), 坂井南美 (理化学研究所)

星間空間物質をその起源とする原始惑星系円盤は、惑星誕生の現場である。円盤内では、円盤を構成するダストが合体することで惑星へと成長する。近年では、ミリ波観測により多くの原始惑星系円盤にギャップ、リング、渦状腕などの substructure があることが明らかとなり、このような substructure が原始惑星系円盤のほとんどに存在することが観測的に示唆されている。substructure の起源として、惑星からのトルク、secular gravitational instability, dust sintering など様々なものが提唱されているが、未だその根源的なメカニズムは明らかとなっていない。substructure は惑星形成に直接的な関わりを持つと考えられているため、その起源の探求は重要である。その上で、substructure が星・惑星形成のいずれの段階で形成するかを明らかにすることが必要不可欠となる。

本研究ではこれらを動機として、ALMA 望遠鏡による高解像度の多波長観測により、L1527 に存在する産まれて間もない edge-on 円盤におけるダストの詳細構造を明らかにした。得られた 7 mm のダスト連続波画像には、円盤内部には南北に並ぶ 3 つのダスト小塊 (blob) が存在する。南北の blob は中心の blob から約 15 au の位置にあり、またその質量は $\geq 0.02 M_J$ と見積もられる。これらの対称的な構造は、中心星を囲むダストリングと整合的である。本研究結果は substructure が形成初期の原始星周りで形成し得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](#)

P209a Collisions of Dust Aggregates with Low to Very High Mass Ratios

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)

原始惑星系円盤における微惑星形成過程において、ダストアグリゲイト同士の衝突合体による成長は重要であると考えられている。この過程における問題として、高速度でのダストアグリゲイト同士の衝突がダストアグリゲイトの破壊を引き起こしてダストアグリゲイトのさらなる成長を妨げてしまう衝突破壊問題がある。ダストアグリゲイトの成長と共にダストアグリゲイト同士の衝突速度の最大値も増加するが、一方で、成長によって起こる高質量比衝突は衝突エネルギーを大きなダストアグリゲイトが吸収できる余地があるため、この場合の衝突破壊の臨界速度は大きくなると考えられている。しかしながら、先行研究ではこの臨界衝突破壊速度は質量比が100よりも小さい場合までしか調べられていなかった。我々は、先行研究で用いられた物と同じ数値計算コードを用いて、様々な質量比でのダストアグリゲイト衝突の数値計算を行い、その衝突破壊の傾向について調べた。本発表では、先行研究では報告されていなかった質量比での衝突について我々が行った数値計算の結果について報告する。我々の計算結果は、高質量比衝突はダストアグリゲイトが大きいほど臨界衝突破壊速度も大きくなることを示唆している一方で、10程度以下の低質量比衝突の場合は質量比が1の場合と比較して臨界衝突破壊速度が半分程度にまで小さくなる可能性があることも示唆している。

[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](#)

P210a ダスト進化を考慮した原始惑星系円盤の化学構造進化

古家健次 (筑波大学)

惑星は原始惑星系円盤の中で形成され、その初期組成を獲得する。よって原始惑星系円盤の化学構造の理解は、どのような化学組成の惑星が形成されるかという理解に繋がる重要な課題である。近年の統計的観測により、原始惑星系円盤内でガスとダストの空間分布が異なることが明らかになった (e.g., Ansdell et al. 2018)。(サブ)ミリ波で観測される1 mm程度の大きさのダストは、ガスに比べ中心星付近に集中したコンパクトな分布を持つ。一方で、近赤外線観測される $1\mu\text{m}$ 程度のダストはガスと同様に広がった空間分布を持つ。これらの観測事実は、mmサイズ程度まで合体成長したダストがガス抵抗を受けて角運動量を失い、円盤外側領域から中心星方向に移動した、と解釈できる。このダストの中心星方向への移動は円盤内の元素組成分布を非一様化する。低温な円盤外側領域において、酸素や炭素等の揮発性元素は H_2O や CO などの形でダスト表面を覆う氷として主に存在し、氷はダストと共に円盤外側領域から中心星方向に輸送されると期待されるからである。実際、様々な分子輝線の観測から、円盤外側領域に存在する炭素と酸素の量が星間空間と比べ小さいことが示唆されており (e.g., Kama et al. 2016)、上記の描像と整合的である。

これまでの円盤化学構造の理論研究は、あらかじめ円盤ガス・ダスト空間分布を仮定し、その上で様々な化学反応の競合を解くことで進められてきた。そのため、ダストの合体成長や氷ダストの輸送はほとんど考慮されてこなかった。より現実的な円盤化学構造進化を明らかにするため、我々は円盤ガスの粘性拡散進化、ダスト進化(衝突合体と破壊、中心星方向への落下)、及び気相-固相化学反応を組み込んだ数値計算コードの開発を行った。本講演では特に近年の観測で明らかになってきた CO の円盤ガスからの枯渇に関連した結果を紹介する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P211a 散発的なガス降着による原始惑星系円盤の成長

花輪 知幸(千葉大), 坂井 南美(理研), 山本 智(東京大)

原始惑星系円盤に塵とガスを供給する infalling envelope は数 100 au スケールでどのような構造をしているのだろうか。これまでの多くの研究では、原始星を産んだ母体となる分子雲コアの比較的外層部が落下してきたものと想定されている。しかし、若い原始星に落下するガスは必ずしも対称性が良くない。例えば TMC1A の場合、CS 分子輝線により検出される落下するガスは円盤の東側で顕著で、西側には落下ガスが欠けて見えるところがある。一方、衝撃波により励起された跡する SO 分子輝線は CS 分子輝線と反相関を示している (Sakai *et al.* 2016, ApJ, 820, L34)。このような非対称性は、ガスが特定の方向からだけ降着していることを示唆している。しかしこれまでの議論はガスは質点と同様の運動をするとした弾道近似に基づくものであった。本発表では流体力学シミュレーションを行い、弾道近似の妥当性について検討した結果を報告する。

原始星の周囲のガス分布を考えると、常にある方向からだけガスが降着するのは不自然である。そこで、降着するガスは散発的な塊として原始星へ近づく状況を考えた。数値シミュレーションでは初期に特定の方向にだけ原始星へ落下するガスを塊としておいた。落下速度は遠方ではほぼ 0 とし、回転方向の速度は遠心力半径が初期のガス円盤付近で重力と拮抗するようにおいた。

落下してきたガスが円盤と衝突し強く圧縮されるが、その多くは原始星の周囲をさらに回転しながら遠ざかってゆく。この状況でチャンネルマップを作成すると、原始星からみて片側には青方遷移した成分だけが目立つ観測と似た傾向が再現できる。これは落下してきた成分である。赤方遷移で見える弱い成分は一度原始星に近づいたあと遠ざかってゆくガスである。前者が CS で明るい部分に、後者が SO で明るい部分に対応する。

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

P212a 原始惑星系円盤内側領域のデッドゾーン境界近傍におけるガスダイナミクス

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

原始惑星系円盤の構造決定にはガスの角運動量輸送過程が重要な役割を果たしている。円盤内側は電離度が十分高く、磁気回転不安定性 (MRI) が駆動する乱流が実効的粘性として働き角運動量を外側に輸送する (Balbus & Hawley 1991)。一方で、円盤の外側に向かうと電離度が下がり、MRI が不活性な領域 (デッドゾーン) が生じる。デッドゾーンではコヒーレントな大局磁場のトルクによる角運動量輸送が働くと考えられている (e.g., Bai & Stone 2013)。このように原始惑星系円盤では領域によって異なる角運動量輸送機構が働くため、先行研究ではアクティブゾーンとデッドゾーンのそれぞれに限定したシミュレーションが行われてきた。しかし円盤進化を決定づける大局的な質量・角運動量輸送過程や質量放出過程・磁束輸送過程を明らかにするためには、アクティブゾーンとデッドゾーンの両方を含む非理想磁気流体シミュレーションが不可欠である。

そこで我々は Athena++ (Stone & Tomida *et al.* submitted) を用いて、現実的なオーム散逸と両極性拡散の係数 (Okuzumi 2009) を考慮した大局的非理想磁気流体シミュレーションを実行している。円盤内側のアクティブゾーンと外側のデッドゾーンを計算領域に含む広いダイナミックレンジ ($0.1 \text{ au} \leq r \leq 10 \text{ au}$) をもち、かつアクティブゾーンを適切に分解した計算である。シミュレーションの結果、デッドゾーン境界付近にはリング構造ができ、その外側にはギャップ構造ができることがわかった。講演ではリング・ギャップ構造の形成メカニズムについて解説する。

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

P213a 永年重力不安定性による原始惑星系円盤の大局的な構造進化

富永遼佑 (名古屋大学), 高橋実道 (国立天文台), 犬塚修一郎 (名古屋大学)

惑星形成は原始惑星系円盤の中で起こると考えられているが、その形成過程に不可欠な微惑星形成過程は未解明である。微惑星形成を阻害する要因のひとつは、ガスとの摩擦相互作用の結果ダストが角運動量を失い、微惑星まで成長する前に円盤内側に向かって落下 (ドリフト) してしまうことである。一方、近年のアルマ望遠鏡による連続波観測によって多数の円盤でダストが多重のリング状に分布していることが明らかになった。このことはダストが単に落下するだけでなくリング状に濃集するという機構が働いていることを示唆している。このようなリング構造の形成機構を明らかにすることは、ダスト落下を回避した微惑星形成過程の解明の糸口になる可能性がある。本研究はリング形成機構の候補のひとつとして考えられている永年重力不安定性に注目している。先行研究ではダストが落下する環境で永年重力不安定性がどのように成長するかは調べられていなかったため、本研究では局所線形解析と数値シミュレーションに基づきそれを調べた。シミュレーションの結果、ダストがドリフトする環境でも永年重力不安定性は成長することができ、リング状にダストを濃集することがわかった。この結果は永年重力不安定性のモードの特性として理解できる事を線形解析に基づき確認した。また永年重力不安定性の非線形成長はガスに対してダストを優先的に集積しリング内のダスト-ガス比が初期の 10 倍以上高くなり得ることがシミュレーションから明らかになった。このことから、ダストはドリフトしながらリング状に濃集し、その後のリングの自己重力的な分裂もしくはリング内での速いダストサイズ成長を通して微惑星形成が起こることが期待できる。このような永年重力不安定性によるリング形成が微惑星形成に発展するためには、安定な円盤内側領域にダストが到達する前に不安定性の非線形成長が起こる必要があることがわかった。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P214a 原始惑星系円盤光蒸発の輻射流体計算：中心星スペクトル型依存性

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

太陽系近傍星形成領域の観測によって、原始惑星系円盤の寿命はおおよそ 3-6 百万年であると見積もられている。円盤消失の機構の一つとして光蒸発が挙げられている。光蒸発とは中心星または近傍にある星から放出された Extreme Ultraviolet (EUV; $13.6 \text{ eV} < h\nu < 100 \text{ eV}$), Far Ultraviolet (FUV; $6 \text{ eV} < h\nu < 13.6 \text{ eV}$), X-ray ($0.1 \text{ keV} < h\nu < 10 \text{ keV}$) によって円盤表面の物質が加熱され、円盤から流れ出ていく現象である。観測的に $2 M_{\odot}$ 以上の大質量星の円盤は低質量星に比べて円盤寿命が短いことが示唆されている (Ribas et al. 2015) ことから、円盤寿命が主星の質量に依存することが明らかになってきている。惑星系は円盤物質 (ガス・ダスト) を材料として形成されるため、円盤寿命は惑星形成に直接的な時間制限を与える。また、惑星軌道は惑星と円盤との力学的相互作用に影響を受けるので、円盤進化は惑星系構造の決定に寄与する。観測によって様々な型の中心星周りで惑星が発見されていることから、様々な主星周りで円盤進化を考える必要がある。

本研究では二次元輻射流体シミュレーションを $0.5 - 3 M_{\odot}$ の中心星を持つ系に対して遂行し、光蒸発率の主星質量依存性を明らかにした。中心星輻射の輸送、非平衡化学反応、流体 (連続の式、オイラー方程式、エネルギー方程式) を同時に解いた。EUV による水素原子の光電離に伴う加熱、FUV による光電加熱、X 線による各種元素の電離に伴う加熱を考慮して熱化学分布を自己整合的に計算した。surface mass-loss rate も導き、各中心星質量での円盤寿命を計算した。光蒸発率は中心星質量が $0.5 M_{\odot}$ の場合 $4.63 \times 10^{-10} M_{\odot}/\text{yr}$ 、中心星質量が $0.7 M_{\odot}$ の場合 $9.05 \times 10^{-10} M_{\odot}/\text{yr}$ 、中心星質量が $1.0 M_{\odot}$ の場合 $4.59 \times 10^{-9} M_{\odot}/\text{yr}$ 、中心星質量が $1.7 M_{\odot}$ の場合 $1.32 \times 10^{-8} M_{\odot}/\text{yr}$ 、となった。中心星質量の増加と共に光蒸発率も増加した。これ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](#)

P215a 原始惑星系円盤の消失：弱乱流円盤での磁気駆動円盤風と光蒸発の競合

國友正信 (久留米大学), 鈴木建 (東京大学), 犬塚修一郎 (名古屋大学)

原始惑星系円盤の進化は惑星形成過程の理解にも必須である。従来の円盤進化についての研究では、主に粘性降着と光蒸発が考慮され、観測されている数百万年での円盤散逸を再現出来ると考えられていた。しかし従来のモデルには2つの問題点がある。まず、近年、磁気駆動円盤風が円盤進化に及ぼす影響が注目を集めているが、これまで光蒸発と磁気駆動円盤風を同時に考慮した円盤進化計算はなかった。さらに、従来の研究では乱流状態にあり活発に粘性降着する円盤が考慮されてきたが、近年理論的にも観測的にも円盤の乱流は弱いことが示唆されている。そこで本研究では、光蒸発と磁気駆動円盤風の両方を考慮し、特に粘性が小さい円盤に注目し1次元シミュレーションを行った。光蒸発については、中心星からの極端紫外線およびX線の照射によるものを考慮した。磁気駆動円盤風の質量損失率については、Suzuki et al. (2016) の磁気流体力学シミュレーションに基づくモデルを採用し、磁気制動の効果も考慮した。初期円盤質量は0.1太陽質量、中心星質量は1太陽質量を仮定した。結果、磁気駆動円盤風と光蒸発は、それぞれ異なる場所、異なる時期に効果的に働くことがわかった。前者は円盤進化初期に円盤内側で支配的であるのに対し、後者は後期に円盤外側で支配的になる。また円盤寿命は磁気駆動円盤風、光蒸発、粘性降着のすべての物理過程に依存することがわかった。特に粘性が小さい円盤も、磁気駆動円盤風および光蒸発を考慮すれば数百万年で散逸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](#)

P216a ngVLA でスノーラインを観る

奥住聡 (東京工業大学), 百瀬宗武 (茨城大学), 片岡章雅 (国立天文台)

原始惑星系円盤において氷の昇華が起こる場所のことをスノーラインと呼ぶ。スノーラインは惑星系の組成分布を決定づけるだけでなく、惑星の素であるダストの成長進化にも大きな影響を与えると理論的に考えられている。スノーラインが円盤のどこに存在し、その付近でダストがどのように進化するかを具体的に明らかにすることは、惑星形成を理解する上で必須の課題である。

本講演では、次世代超大型干渉電波望遠鏡 ngVLA (the Next Generation Very Large Array) を利用して、スノーライン付近でのダスト進化を探る方法論を提案する。ngVLA は2030年代の本格稼働を目指して計画が進められている大型ミリ波・センチ波干渉計である。この干渉計が実現すると、スノーラインが存在しうる中心星から数 au 以内の円盤領域からのダスト熱放射分布を、ミリ波・センチ波帯で撮像することが可能になる。ミリ波・センチ波帯のダスト熱放射は比較的光学的に薄く、ダストの面密度分布やサイズ分布を探るのに適している。スノーラインの位置を推定するためには円盤の温度分布の情報が必要だが、これは比較的光学的に厚いサブミリ波帯でのダスト熱放射を ALMA で撮像すれば推定できる可能性がある。このように、ngVLA と ALMA によるダスト撮像観測を組み合わせることで、スノーラインがその付近のダストの進化にどのような影響を与えるか、そしてより根源的には、スノーラインがどこに存在するのかを観測的に探ることができるようになるはずである。

我々は、このアイデアの実現可能性を検証するため、ダスト進化理論から予想されるスノーライン付近のダスト面密度分布を仮定し、これが ngVLA を用いて撮像可能かを検証した。その結果、波長 3–10 mm での観測で、スノーライン付近のダスト面密度分布を捉えることが可能であることを明らかにした。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P217a 微惑星の現実的な合体条件

柴田雄 (国立天文台), 小久保英一郎 (国立天文台 / 東京大学), 細野七月 (海洋研究開発機構)

地球型惑星、氷惑星、ガス惑星のコアは微惑星の集積により形成されたと考えられている。微惑星衝突時の合体条件を正しく用いて微惑星の集積過程を調べた N 体計算による研究は存在せず、近年の研究でも原始惑星の合体条件を暫定的に用いていた。微惑星の集積過程を適切に知るためには、跳ね返りを考慮するために微惑星の現実的な合体条件を明らかにする必要がある。本研究では、Smoothed Particle Hydrodynamics (SPH) を用いて未分化岩石、未分化氷微惑星および分化氷微惑星を数値的に衝突させることで、合体と跳ね返りを分ける条件を求めた。衝突させる微惑星の総質量、質量比、衝突速度、衝突角度をパラメータとして変化させる。最大破片の質量が急激に変化する衝突速度を合体と跳ね返りの境目の臨界衝突速度と定義した。本研究では、合体条件として臨界衝突速度を探る。脱出速度で規格化されたされた臨界衝突速度は微惑星の質量比と衝突角度に依存する。ターゲット質量がインパクト質量に対して増加すると、臨界衝突速度は減少する傾向が見られた。また、正面衝突の衝突角度を 0° と定義した場合、臨界衝突速度は衝突角度の増加に対して減少する傾向となった。また、臨界衝突速度は微惑星の総質量に非依存である。今回求めた条件は微惑星の組成や内部構造にほぼ依存しない。以上の結果から、臨界衝突速度を微惑星の質量比と衝突角度の関数として定式化した。これにより、 N 体計算を用いた微惑星集積過程の研究で、より現実的な衝突を見ることが出来る。講演では合体条件に関する結果を俯瞰し、 N 体計算に適用した場合に於ける過去の研究からの集積過程の変化についても議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P218a 超木星質量の巨大惑星による離心率を持つギャップの形成と質量降着率への影響

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

原始惑星系円盤内に存在する巨大ガス惑星は、周囲の物質との相互作用によって軌道に沿った領域にギャップ構造を形成する。惑星によってどのような特性のギャップが形成されるかは、ギャップを介した惑星への質量降着率や惑星の軌道移動に影響を及ぼすため、惑星系の形成と進化を考える上で重要である。

これまでに数値流体計算を用いた惑星と円盤の相互作用は活発に行われており、ギャップの幅や深さ、惑星への質量降着率、軌道移動の速度などが詳細に調べられている。しかしそれらは木星質量程度やそれよりも軽い惑星に焦点を当てたものがほとんどである。また木星を超える質量を持つ惑星に注目した少数の先行研究では、質量降着率の予測が数桁食い違っているなど、理解が十分に進んでいない状態にある。

我々は数値流体計算コードの FARGO を用いて、1-10 木星質量の惑星によって形成されるギャップの特性とそのパラメータ依存性を調査した。その結果、惑星質量を大きくしていくと形成されるギャップは深くなっていくが、ある質量を超えるとギャップの外縁が顕著な離心率を持つようになることが分かった。この場合、非定常になることによってギャップが埋まりやすくなるため、ギャップは過去に得られている経験式で予測されるよりも浅くなることが分かった。またギャップに離心率が生じるようになる惑星質量は円盤の粘性に依存して変化し、粘性が小さいほど惑星質量が軽い場合でも離心ギャップが生じることが判明した。今回の計算によって得られたギャップ構造を元に惑星への質量降着率を推定し、ギャップに離心率が付く影響により、木星を超える質量を持つ惑星では円盤からの質量降着率が大きく上昇し得ることを見出した。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P219a 原始惑星近傍のガス流れ場と周惑星円盤の構造

波々伯部広隆 (国立天文台), 町田正博 (九州大学), 小久保英一郎 (国立天文台)

原始惑星系円盤中の惑星の周囲では、原始惑星系円盤から惑星重力圏に降着したガスが降着円盤を形成する。この円盤は周惑星円盤と呼ばれ、原始惑星系円盤からの質量降着を中継するとともに衛星形成の現場であると考えられている。惑星およびその衛星系の形成過程の理解には、周惑星円盤とその近傍の流れ場の描像を詳しく調べることは重要である。

原始惑星系円盤からのガス流は惑星のヒル圏近傍で衝撃波面を形成して方向を変え、円盤面に垂直な方向から惑星の周囲に降着する (e.g., Tanigawa et al. 2012) ため、周惑星円盤近傍の流れを理解するためにはヒル圏全体を十分に解像する必要がある。そこで衝撃波面近傍を木星半径程度のスケールで解像する三次元流体力学計算を行った。

惑星質量をパラメータとして 0.03 木星質量から 1 木星質量程度まで段階的に増加させたところ、周惑星円盤は安定したケプラー円盤として維持されるが、その外側では乱流的になり、周惑星円盤とその外部を区分できることがわかった。そこでこの位置を周惑星円盤の外縁とみなして周惑星円盤半径のスケージングを試みるとともに、円盤への質量降着について議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P220a 未同定赤外バンド放射から推定するジャコビニ・ツィナー彗星 (21P/Giacobini-Zinner) の原始太陽系円盤中での形成領域と温度環境

大坪貴文 (JAXA 宇宙科学研究所), 河北秀世, 新中善晴 (京都産業大学), 本田充彦 (岡山理科大学), 渡部潤一 (国立天文台)

公転周期 6.6 年の短周期彗星であるジャコビニ・ツィナー彗星 (21P/Giacobini-Zinner) は、10 月りゅう座流星群 (旧称ジャコビニ流星群) の母天体と考えられている。この彗星は、過去の観測から揮発性の高い分子が枯渇していることが分かっており、一方で、より複雑な有機分子が存在する可能性が指摘されていた。われわれは、すばる望遠鏡搭載の冷却中間赤外線分光撮像装置 (COMICS) を用いて 2005 年 7 月 5 日 (UT) に観測されたジャコビニ・ツィナー彗星の中間赤外線分光観測データを詳細に解析した。その結果、ケイ酸塩鉱物起源の放射フィーチャに加えて、彗星ではこれまで検出されたことのない 8.2, 8.5, 9.2 μm のフィーチャを、初めてそのスペクトル中に検出した (2019 年秋季年会, 大坪他参照)。これらはケイ酸塩鉱物では説明できない未同定赤外バンドであり、起源は多環芳香族および脂肪族炭化水素などの複雑な有機分子である可能性が高い。これら芳香族・脂肪族炭化水素が彗星中に存在するということは、水氷の凝結温度よりも高い ~ 数百 K 程度の温度環境を経験した有機分子が彗星の氷に取り込まれたことを示唆している。一方で、ケイ酸塩鉱物の結晶質比率 (~ 0.45) は他の多くの彗星に近い値を示しており、この彗星は、同じような太陽からの距離にも関わらず、他の彗星よりも暖かい領域で形成された可能性が高いことが示唆される。原始太陽系円盤中ではこのような領域の一例として「周惑星円盤」が考えられるが、本講演ではジャコビニ・ツィナー彗星のダストと有機分子の性質について紹介し、彗星核の形成領域について議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P221a 磁気圏降着を受ける原始星のスピンダウンについて

高棹真介 (国立天文台), 富田賢吾 (大阪大学), 岩崎一成 (国立天文台), 鈴木建 (東京大学)

原始星・前主系列星段階にある星は星周円盤と相互作用しながら成長する。特に星のスピン (自転) 進化は、磁場を介した星・円盤相互作用で生じる角運動量輸送によって決まると考えられている。観測的に原始星誕生からおよそ 1 Myr で星の自転速度はブレークアップ速度の約 10 % に減少しているということが知られているが、これを説明する理論は未だ確立していない。過去に理論やシミュレーションで磁気圏・円盤境界での角運動量交換が調べられているが、結果が人為的に決められた磁気拡散係数に依存しているなど確定的な結論は得られていない。また磁気圏の放出現象 (コロナ質量放出) が多くの角運動量を持ち去るという 2 次元シミュレーションもあるが (Zanni & Ferreira 2013)、この主張を検証するには 3 次元における星磁場構造の詳細な時間発展を追う必要がある。我々はこれまで Athena++ コードを用いて磁気圏を持たない中心星と円盤の相互作用 3 次元モデルを構築し、中心星周りの降着構造を調べてきている (Takasao et al. 2018, 2019)。今回の発表では、3 次元シミュレーションで見られたスピンダウン機構について報告する。シミュレーションでは降着ガスが磁気圏の南側に選択的に落下するようになり、磁気圏が北側に押されて上下非対称になった。この傾いた磁気圏磁場と円盤が赤道面付近で相互作用すると、効率的に角運動量が外向きに輸送され上下非対称な降着が維持されることがわかった。そして星の角運動量も磁気圏を通じて赤道から ± 45 度付近で引き抜かれており、スピンダウンが起きている様子が確認された。そのスピンダウン時間はおよそ 0.1–1 Myr となり、観測的制限とも整合的である。本発表では、我々のモデルで得られた角運動量輸送過程を詳細に議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P222a 周連星円盤における磁場の効果：MRI と三つのアウトフロー

松本倫明 (法政大学), James M. Stone (IAS)

ALMA をはじめとする高い空間分解能を持つ望遠用によって、若い単独星だけではなく若い連星のまわりの円盤も詳細に観測され、多様な星周構造が明らかになってきた。これまでに我々は流体シミュレーションを用いて原始連星の星周構造を調べ、L1551 NE をはじめとする原始連星の観測結果と比較してきた。その結果、L1551 NE の場合には (1) 周連星円盤の非対称性、(2) 渦状腕の存在、(3) 周連星円盤に特徴的な速度構造を物理的に説明した。しかしこれまでの我々のモデルには磁場の効果が含まれていなかった。

そこで本研究では、これまでの流体モデルに磁場の効果を取り入れて、連星のまわりの円盤の構造を MHD シミュレーションを用いて調べた。シミュレーションでは理想 MHD を仮定した。また、円盤を縦に貫く (連星の公転面に垂直な) 磁場を考え、現実的なモデルを構築した。

標準的なモデルの結果は次の通りである。(1) 周連星円盤に磁気回転不安定 (MRI) による乱流が発達して角運動量が輸送される。周連星円盤の外側のガスは角運動量を得るため、周連星円盤の半径は磁場を考慮しない場合と比べて大きくなる。(2) 各々の星周円盤から高速なアウトフローが放出され、それを取り囲むように周連星円盤から低速なアウトフローが放出される (合計 3 個のアウトフロー)。高速なアウトフローは連星の公転によって螺旋状の構造になり、低速なアウトフローは降着エンベロープに双極型のキャビティを形成する。(3) 標準的な流体モデルでは、質量降着率は主星よりも伴星のほうが大きく、MHD モデルにおいてもその傾向が継続する。強力な磁気制動によって伴星円盤が消失した場合には、伴星の質量降着率が低下する。(4) 現実の周連星円盤では磁気拡散が働くため、本シミュレーションで示された磁場の効果は緩和されると予想される。

[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](#)

P223b 原始惑星系円盤でのガス流が引き起こす高空隙ダストの回転による破壊

辰馬 未沙子 (東京大学/国立天文台), 片岡 章雅 (国立天文台)

惑星は原始惑星系円盤内でサブミクロンサイズのダストが集積し成長することで形成される。そのダスト成長の最中には、高速度衝突によるダストの破壊も起こりうる。このような破壊が作る破片は、これまで観測されてきた原始惑星系円盤内のダストサイズを説明できると考えられてきた。ここで我々は別のダスト破壊メカニズムとして回転による破壊を導入する。ダストの回転による破壊は、星間空間において研究されてきた (Hoang 2019, ApJ, 876, 13)。星間空間では、ダストは大質量星などからの強い輻射圧によるトルクで回転運動し、その遠心力により破壊される。原始惑星系円盤においても同様にダストは回転する可能性がある。実際、回転しているダストは整列することがわかっており、そのダスト整列は原始惑星系円盤のミリ波偏光観測により示唆されている。

そこで我々は、空隙を持つダスト集合体が回転運動により破壊されるかどうかを計算し、ダスト成長に影響を与えるかどうかを明らかにした。ダストの回転運動を引き起こすものとして、輻射圧と円盤ガスのラム圧によるトルクを考えた。さらに、ダスト集合体は定常状態の剛体回転をすると仮定し、回転遠心力による引張応力を求めた。それを付着 N 体計算で求めたダスト集合体の引張強度と比較し、回転により破壊されるかどうかを調べた。その結果、体積充填率が 0.01 以下で質量が 10^8 g 以上である、非常に高空隙なダスト集合体が、円盤ガスのラム圧によるトルクが引き起こす回転により破壊されることがわかった。ダストの成長と圧縮による内部密度進化を考慮すると、ストークス数が 0.1 まで成長したダスト集合体が回転により破壊されることが明らかとなった。本結果は、回転による破壊がダスト成長を妨げる可能性や、このような破壊を避けるための他の圧縮メカニズムが必要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](#)

P224b ダスト整列由来の熱的偏波放射のダスト空隙率依存性

田崎亮 (東北大学)

近年、ALMA 望遠鏡によって (サブ) ミリ波帯での原始惑星系円盤の偏波観測が飛躍的に進展している。円盤由来の偏波は、整列したダストが放射する熱的偏波と自己散乱の 2 種類によって生じていると考えられている。こうしたミリ波偏波は円盤におけるダスト進化を制約する新たな観測的情報として注目を集めている。近年、Kirchschlager et al. (2019) はダストの空隙率が熱的偏波の偏光度に与える影響を数値計算によって調べ、空隙率の大きなダストほど熱的偏波の偏光度が下がることを指摘した。しかし、空隙がダストの熱的偏波の偏光度を低下させる物理的理由はよくわかっていない。

本研究では、空隙がダストの熱的偏波の偏光度を低下させる物理的理由を解明するため、空隙を持つダストの光学特性計算を行った。空隙を持つダスト・モデルの生成方法は先行研究と同様の手法を採用した。つまり、空隙のないダストを双極子モーメントの集合体として近似し、その後、与えたい空隙率に応じて双極子モーメントをランダムに取り除くことで空隙を持つダストを表現するのである。ダストの光学特性計算は離散双極子近似を用いて実行した。その結果、まず初めに、空隙率が大きいほど熱的偏波の偏光度が下がることを確認した。これは先行研究の結果と整合的である。次に、この結果は空隙を持つダストを、実効的な誘電率を持つようなダスト粒子で近似することで再現可能であることを示した。すなわち、空隙率の増加に伴う偏光度の低下は、ダストが実効的に分極しにくくなることに起因する。ダスト内の空隙 (真空) 部分では誘電分極が起きないため、空隙がない場合と比べ空隙がある場合ではダスト内での誘電分極が阻害され、偏波放射の効率が低下するのである。本講演では今回得られた結果に基づき、ALMA 望遠鏡による偏波観測が示唆する円盤ダストの性質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](#)

P225c 輻射流体力学シミュレーションのためのオパシティ計算コードの開発

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

流体力学シミュレーションは、天体における非線形流体力学現象を理解するための強力な手段である。さらに、近年の計算機の発展に伴い、輻射輸送を組み込んだ輻射流体力学シミュレーションも一般的になりつつある。実際、輻射輸送は天体における主要な熱輸送過程であるとともに観測手段でもあるため、天体現象の正確な理解のためには輻射輸送を組み込むことが本質的である。ところが、輻射輸送の係数であるオパシティは一般に原子物理の詳細に依存するため解析的な取り扱いが難しく、かつ数値データとしての入手も困難なことが多い。そこで本研究では、主に天体の輻射流体力学シミュレーションで用いられることを念頭に、原子・分子データからオパシティの数値データ (周波数依存および周波数平均) を作成するための公開計算コードの開発を行っている。これにより研究者が自身の目的に合わせてオパシティの数値データを自在に作成することを可能とし、輻射流体力学シミュレーションを用いた研究の発展に寄与することを目的としている。今回の発表では、コード開発の方針と、開発の進捗状況について報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P301a 内穴外縁からの多様な惑星形成

森川雅博 お茶大物理, 天谷鈴華 お茶大物理

惑星は、重力を量子力学的圧力支える構造を持ち、宇宙で普遍的な構造であり、観測的にもたくさんの惑星がそれを裏付けている。しかし、惑星形成の標準理論は、ダストの落下やディスク寿命の困難など、多くの問題に直面している。私たちはそれらを個々に克服するのではなく、全体として積極的に分析し、問題が全体として一貫した効果的なモデルを示唆している可能性に着目する。そして、原始惑星系円盤の中心にガスの中心穴が急速に形成されるという仮定に基づいて、惑星形成の普遍的な動的モデルを提案する。中心穴形成の機構の詳細（MRI、光蒸発、共回転など）は問わない。基本的な過程は次の4つである。1. ダストの内穴外縁への落下：原始惑星系円盤のダスト集積はメーターサイズに達すると急速に落下する。しかしガスの摩擦がなくなる内穴外縁で停止し、集積する。2. 塊形成：速度がそろうってケプラー運動する高密度ダストは、相対速度が小さいので効率よく集積し短時間に大きな塊を作る。そのような高密度の塊は、最終的に少数の巨大な物体が支配するようになるまで近い軌道で合体を繰り返す。3. スリングショット：複数の塊が接近した軌道にあるため、容易に重力相互作用しスリングショットにより、内側及び外側の領域に向かって吹き飛ばされる。前者は、軌道の離心率に応じて、岩石惑星またはホットジュピターを形成する。4. ガス集積：後者、外側に飛ばされた塊はガス集積により質量増大とともに大きな角運動量を獲得していく。そして吹き飛ばされる距離や飛ばされた環境により、コールドガスジャイアントまたはアイスジャイアントを形成する。たとえタイプIの惑星移動が起こっても、内穴外縁まで落下すると再びスリングショットにより遠くに飛ばされる。私たちは、スリングショットと凝集方程式の数値計算を組み合わせて、惑星の種類や質量、離心率、軌道傾斜角などの分布関数を計算し、詳細に観測と比較していく。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P302a 単一巨大衛星を持つガス惑星系の形成シナリオ

藤井悠里 (名古屋大学), 荻原正博 (国立天文台)

衛星形成にはいくつかのメカニズムが提案されている。月形成のジャイアントインパクト説に代表される衝突による形成、微惑星の捕獲、捕獲された微惑星や既存の衛星が潮汐破壊されてできた固体円盤起源の衛星形成、エンベロープ集積期のガス惑星の周りに形成される周惑星ガス円盤における形成などが挙げられる。木星の周りのイオ、エウロパ、ガニメデ、カリスト（ガリレオ衛星）や土星の周りのタイタンのように大きな衛星は周惑星円盤の中で形成されたと考えられている。しかし、これまでのN体シミュレーションを用いた研究では、複数の衛星を持つ系や衛星をひとつも持たない系が形成されるため、土星-タイタン系のように大きな衛星が一つだけある系の形成がとりわけ困難であることが知られている。

周惑星円盤における衛星形成では、円盤ガス中の衛星の軌道移動が重要となる。実際、形成された衛星は円盤との相互作用で内側の軌道へ移動していき、それを止めるメカニズムがない場合には中心の惑星に落下してしまう。この時の衛星の移動の向きと速度は周惑星円盤の温度や面密度の半径依存性によって決まる。

最終的に円盤ガスが散逸した時点で衛星の軌道が決定することから、本研究では、円盤の進化後期での衛星の軌道進化に注目する。我々は、原始惑星系円盤からのガス流入がなくなり散逸していく周惑星円盤をモデル化した。そして、様々な周惑星円盤において衛星の軌道進化を計算し、単一巨大衛星をもつ系が形成可能かどうか調べた。その結果、一定の粘性係数の場合には、タイタンと同じ質量の衛星を一つだけ持った系が形成可能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](#)

P303a 太陽系辺縁部天体の軌道進化に対する銀河系からの影響

船渡陽子 (東京大学)

近年、太陽系辺縁部の観測が進み、発見される小天体 (TransNeptunianObjects, 以下 TNO) の数が爆発的に増えてきた。それにともない、TNO の軌道の統計的な性質も新たに発見されてきている。そのうちの一つに近日点がクラスタリングしているというのがある (Batygin and Brown 2016)。Batygin らはこれを第 9 番惑星の存在によるものと主張した。

今回、我々は太陽系辺縁部的小天体 (TransNeptunianObjects, 以下 TNO) の軌道の進化が、銀河ポテンシャルを考慮した場合にどうなるかを数値計算によって調べた。その結果、TNO の軌道は銀河ポテンシャルにより影響を受けることがわかった。もっとも大きな影響として次のようなことがわかった。

- (1) 離心率と軌道傾斜角は内側の惑星が無くとも銀河ポテンシャルの影響だけで大きく変動する。
- (2) 近日点の位置は銀河中心の運動に合わせて移動する。

特に (2) の結果は重要である。第 9 番惑星を仮定しなくとも軌道パラメータのクラスタリングを説明できる可能性があるからである。

また、影響は、外側で誕生した小天体ほど大きく、誕生箇所か内側にいくにつれ小さくなっていくが、太陽から 100AU 程度離れた場所でも影響が見られることがわかった。ただし、これは他の惑星からの重力を考えない限りであり、他の惑星からの重力も考慮にいった場合にどうなるかは今後の課題である。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P304a 土星リング進化が衛星軌道に与える影響

中嶋彩乃 (東京工業大学), 井田茂 (地球生命研究所)

土星中型衛星は、土星に近いものから順に、ミマス、エンケラドス、テティス、ディオオーネ、レアと並んでおり、ミマス-テティス、エンケラドス-ディオオーネがそれぞれ平均運動共鳴の関係にある。このようなコンパクトな軌道配置を再現するためには、軌道進化の過程で通過する平均運動共鳴への捕獲を回避する必要があり、その解決方法に関して長年議論がなされてきた。Nakajima et al. (2019) では、土星中型衛星が後天的に形成された重たい土星リングから形成された (Charnoz et al., 2010; Crida & Charnoz, 2012) という衛星形成シナリオに基づいて、現在の衛星軌道配置を再現可能な条件を調べた。その結果、土星リングからのトルクを考慮することで衛星の離心率が励起され、平均運動共鳴への捕獲を回避する可能性があることがわかった。しかし、惑星まわりの重たいリングがその外側に存在する衛星の及ぼす影響に関して、これまで詳細に調べられておらず、土星リングからの影響は不定性のある解析的な式が用いられていた。

そこで本研究では、GPLUM (Iwasawa et al., 2016; Ishigaki et al. in prep) を用いた N 体計算を行い、より詳細に惑星リングとその外側の軌道にある衛星との相互作用を評価した。その結果、Crida & Charnoz の衛星形成モデルでは考慮されていなかった、円盤の自己重力によるトルクが衛星の軌道進化において非常に重要となることがわかった。また、円盤の自己重力の効果を考慮することで、衛星の移動速度は従来のモデルよりさらに速くなり、軌道進化の描像が変化する可能性がある。

[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](#)

P305a 太陽系地球型惑星の大気環境監視ミリ波望遠鏡 SPART が捉える金星大気の一酸化炭素の変動

前澤裕之, 築山大輝, 富原彩加, 米津鉄平, 濱口優輝, 西村淳 (大阪府立大), 他 SPART グループ

惑星大気ダイナミクスに駆動される物質循環や、中心星の活動が周囲の地球型惑星の大気化学・物理・環境に与える影響を探るべく、我々は、口径 10m の電波望遠鏡 SPART(旧 NMA F 号機)を用いて、太陽系における地球型惑星の大気微量分子の 100/200GHz 帯スペクトル線の監視を推進している。特に火星や金星はすでに磁場を失っており、中心星の活動の影響をダイレクトに受ける貴重な実験場でもある。電波のヘテロダイン分光は周波数分解能が高く、金星であれば硫酸の雲より上層の微量分子の観測が可能である。2011 年から、2014 年頃の太陽活動期を経て現在の活動極小期に至る観測より、温度環境がある一定の仮定のもとで、金星の中層大気高度 80 km 付近の一酸化炭素 (CO) の混合比が太陽活動と反相関する様子が見えてきた。ただし、太陽活動では説明が難しい数日から数カ月に渡る短期・中期スケールのより大きな振幅の変動を伴うことも分かってきた。いずれも大気の輸送と酸化反応ネットワークが深く関わっていると考えられる。特に後者については Venus Express (ESA) などによって観測された速度場の変動の傾向とも酷似している。ALMA の解析からも、電波でトレースする高度の速度場は、金星の朝方や夕方領域では、単純な昼夜間対流では説明できない差異が見えてきていることから、高度 80 km 付近では、まだ雲高度/下層のスーパーローテーションと上層の昼夜間対流との相互作用や、低層からの物質輸送が複雑かつ強くリンクしている可能性がある。連携観測により ALMA で取得した微量分子のスペクトルや混合比について、SPART との整合性のバリデーションを実施した他、サイドバンド分離比の影響評価なども行った。本講演では、これら一連の観測/解析の進捗について報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P306a On the 3-D tomographic analysis of Titan's atmospheric Cyanopolyne (HC_3N) with ALMA

飯野孝浩 (東京大・情報基盤セ), 佐川英夫 (京都産業大・理), 塚越崇 (国立天文台・科学研究部)

土星衛星タイタンは多様な窒素化合物を含んでおり、その 3 次元分布が季節変化を示すことが過去のカッシーニやボイジャー探査機の観測によって明らかにされてきた。我々はアルマ干渉計の較正観測用データを科学研究用データに変換することで大規模なタイタン大気観測データセットを構築した。その中から窒素化合物を含むものを抽出し、分子間で異なる季節変化の抽出に取り組んでいる。バンド 4 以上 (>125 GHz) の周波数帯から、シアノポリイン (HC_3N) 分子輝線を含む 1103 個のデータを抽出し、輝線強度図を生成、南北半球での輝線強度比を計算した。さらに空間分解能 <1 秒および $\text{S/N} > 10$ を満たすデータのみを抽出し、その点数は 2012 年 4 月から 2017 年 4 月において 133 点であった。輝線強度比は遷移の種類に応じて異なる挙動を示し、低高度に感度を持つ振動励起遷移は純回転遷移に比べて早い季節変動を示した。振動励起遷移は純回転遷移に比べて光学的に薄く、より低高度に感度を持つため、シアノポリイン分子の生成・消滅は低高度から進むことを示唆している。本手法は、分子輝線の光学的厚みが遷移ごとに異なることを用いて大気内の分子分布の 3 次元分布を導出するものであり、大気断層撮像 (トモグラフィ) とも言うべきものである。本発表では他の窒素化合物について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](#)

P307a HD189733b の X 線、紫外線によるトランジット観測

森岡夏未, 山内茂雄 (奈良女子大学)

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

Poppenhaeger et al. (2013) は HD189733 系を X 線観測し、初めて X 線によるトランジット観測に成功した。X 線でのトランジットの深さは、可視光でのトランジットの深さより大きくなり、惑星の大気が可視光半径よりも大きく広がっていることが指摘された。この惑星は短軌道を周回するホットジュピターのため、主星からの X 線、紫外線照射や恒星風の影響を大きく受けて、大気の蒸発、質量損失が生じていると考えられている。

私たちは、XMM-Newton 衛星の X 線データを用いてライトカーブを作成し、X 線でのトランジットの深さが可視光でのトランジットの深さよりも大きいことを確認した (上塚奈々絵, 日本天文学会 2018 年春季年会)。続いて、Optical Monitor のデータの解析を行い、紫外線によるトランジットの深さを調査した。その結果、紫外線によるトランジットの深さは、可視光でのトランジットの深さと同程度であることが分かった。本講演では X 線と紫外線によるトランジットの結果の詳細に加えてスペクトル解析の結果についても報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P308a 軌道歳差を考慮した高温星周りのホットジュピターの存在頻度

渡辺紀治 (総合研究大学院大学), 成田憲保 (アストロバイオロジーセンター)

現在までに、約 4000 個の系外惑星が発見されている。発見された惑星のほとんどが太陽型星周りの惑星であるが、B/A 型主系列星といった熱い恒星周りを公転する惑星も少数 (約 20 個) 発見されており、高温星周りで発見されたほとんどの惑星がホットジュピターである。

熱い恒星周りのホットジュピターの存在頻度について、Zhou et al. (2019) は、宇宙望遠鏡 TESS を含むサンプルから $0.26 \pm 0.11\%$ (Zhou et al. 2019) と結論づけ、太陽型星周りのホットジュピターの存在頻度 (F 型星: $0.43 \pm 0.15\%$ 、G 型星: $0.71 \pm 0.31\%$) よりも低くなることを主張した。

一方で、熱い恒星周りのホットジュピターは、軌道が大きく傾く傾向にあり、さらに、A 型星周りの巨大惑星 Kepler-13Ab (Szabó et al. 2012) と WASP-33b (Johnson et al. 2015) では、軌道歳差が確認されている。特に、WASP-33b については、軌道歳差によって、トランジットを観測できる期間が歳差周期の約 20% しかないことを報告した (Watanabe et al. submitted)。

今までの先行研究で示された存在頻度は、軌道歳差でトランジットをしていない惑星の存在を考慮しておらず、過小評価されていた。そこで我々はまず、恒星と惑星の軌道パラメーターを固定した場合の、歳差周期に対するトランジット観測可能期間の割合の計算式を理論的に導出した。そして、実際に発見されている熱い恒星周りのホットジュピターのパラメーターを元に、代入する式のパラメーターをランダムに振り、トランジット観測可能期間の割合を求めた。その結果、軌道歳差の効果で見落とされている惑星が相当数存在することがわかり、熱い恒星周りのホットジュピターの実際の存在頻度は、先行研究で報告された頻度の数倍になることがわかった。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P309b トランジット観測によるウォーム・ネプチューン GJ436b の大気調査

西海拓 (京都産業大学), 成田憲保 (ABC, 国立天文台), 米原厚憲 (京都産業大学), 福井暁彦 (東京大学), 日下部展彦 (ABC), 川内紀代恵, John Livingston, Jerome de Leon, 寺田由佳 (東京大学), 渡辺紀治 (総研大), 森万由子 (東京大学), 磯貝桂介 (京都大学)

恒星の前を惑星が横切ると恒星からの光が暗く見える、トランジットと呼ばれる現象を多波長で観測し、それぞれの波長でトランジット深さを求め、モデルと比較することでウォーム・ネプチューンの系外惑星 GJ436b の大気に関する研究を行った。

我々は京都産業大学 1.3m 荒木望遠鏡のナスミスイメージャ(Ic,Rc)と国立天文台岡山 188cm 望遠鏡の多色(g',r',z')同時撮像カメラ MuSCAT、スペインのテイデ観測所 1.52m 望遠鏡の 4 色(g',r',i',z')同時撮像カメラ MuSCAT2 を用いて 2016 年から 2019 年まで、計 10 回の観測を行った。

これらの観測から、日によってトランジットの深さが変動(0.6-0.8%)している結果が得られた。この変動は黒点や白斑などによって引き起こされた可能性があると考えている。データの分散が大きいため、詳細な大気の特徴を捉えることはできなかったが、大気透過光スペクトルが概ねフラットであるという傾向を捉えることができ、先行研究と一致していることを確認した。また GJ436b の新たな公転周期も求めることができた。この惑星は将来 JWST での詳細な大気の観測が行われると考えられるため、この情報は今後のトランジット時刻の精度の良い予想に貢献すると考えられる。

[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](#)

P310b 55cm SaCRA 望遠鏡/MuSaSHI と 36cm 望遠鏡を用いた系外惑星の多波長トランジット測光観測

石岡千寛, 大朝由美子, 宝田拓也 (埼玉大学)

近年の系外惑星探査衛星の技術進歩により、トランジット法を用いて系外惑星が 3000 個以上発見されている。トランジット法では惑星が恒星の前を通過する際の減光から、惑星の半径や軌道長半径などの物理量を求めることができる。また惑星が大気を持っていた場合、恒星の光の一部は惑星大気を通過するため、惑星の大気成分や雲の有無などに応じた吸収・散乱が起きる。このとき観測される減光の深さに波長依存性がみられることから多波長トランジット測光観測によって系外惑星大気の推定が可能である。HAT-P-32b では、V,R,I バンドを含む可視 6 バンドの観測から求められた減光率には波長依存性が見られず、大気モデルとの比較から HAT-P-32b の大気に雲が存在する可能性が示唆されている (Tregloan-Reed et al. 2017)。

本研究では、埼玉大学 55cm 望遠鏡 SaCRA と三波長同時偏光撮像装置 MuSaSHI (潮田修論, 2016)、36cm 望遠鏡と CCD を用いて、2018 年 2 月から 2019 年 11 月までにトランジット現象を起こす 8 天体について計 14 晩 riz バンドでの測光観測を行ない、そのうち 2 天体について g'riz の 4 バンドで測光観測を行った。加えて、光度曲線フィッティングの方法や大気モデル計算について再検討し、観測を行った天体のうち 7 天体についてより詳細に調べた。その結果、①減光率の波長依存性が見られない天体、②r バンド(短波長側)の減光率が比較的小さい天体、③R バンドの減光率が比較的大きい天体の 3 つのグループに分類した。Planetary Spectrum Generator などで作成した惑星大気モデルとの比較から、①に分類した天体は雲を持つことが考えられる。本講演では、②,③に分類した天体について大気モデルとの比較や、4 バンドで観測を行った天体の波長依存性についても議論を行う。

[スケジュール\(セッション毎\)に戻る](#)

[スケジュール\(全体\)に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P311b 高解像度流体シミュレーションによる原始ガス惑星への降着流の考察

高棹真介 (国立天文台), 生駒大洋 (東京大学)

原始ガス惑星は原始惑星系円盤からガスを集めて成長するため、降着流に関する観測はガス惑星の形成過程を探る直接的な手段となっている。近年、PDS 70 と呼ばれる古典的 T タウリ型星のシステムにある原始ガス惑星候補天体 (PDS 70b) から、強い $H\alpha$ の放射が検出された (Haffert et al. 2019)。この放射は、降着ガスが超音速で惑星表面に降着したときに生じる衝撃波由来だと考えられている。ただし衝撃波由来の放射を理論的にモデルした結果、 $H\alpha$ の放射領域が原始ガス惑星表面のごく一部であることが示唆された (Aoyama & Ikoma 2019)。つまり降着ガスは細く収束しながら惑星表面に降着している可能性が高い。過去に Tanigawa et al. (2012) が流体シミュレーションによって原始ガス惑星周りの大域的なガスの流れを調べていたが、降着流は原始ガス惑星表面と周惑星系円盤の内側に広く落下しており小さい降着領域を説明できていない。そこで我々は原始ガス惑星への降着構造をより詳細に理解するために、惑星近傍だけの領域に注目し過去最高解像度で 2 次元軸対称流体シミュレーションを行った。惑星近傍だけを解くために、外側境界条件として Tanigawa et al. の結果を利用している。また過去の Tanigawa et al. の研究では等温ガスの状態方程式が使われていたが、今回は衝撃波加熱の影響を調べるために断熱ガスの状態方程式を用いている。その結果、我々は円盤上空に立つ降着衝撃波によって降着流の流れが惑星に向かって収束することを見出した。等温の状態方程式の場合、加熱が起きないために円盤表面にできる降着衝撃波は円盤表面に張り付いて動かない。しかし断熱の状態方程式の場合、衝撃波加熱によって衝撃波が円盤表面の上空に伝播することができ、降着衝撃波が円盤上空に漏斗状に形成される。その斜め衝撃波が円盤にほぼ鉛直に落ちる降着ガスを中心に収束させることがわかった。本講演ではその機構について紹介する。

[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](#)

P312b 周巨大惑星における Liquid Water Belt 3 : マグマ層厚の検討

鴨川弘幸, 釜谷秀幸 (防衛大学校)

巨大ガス惑星の幾つかの衛星には大量の水が存在している可能性がある。特に、木星の第 2 衛星であるエウロパは熱水噴出孔を熱源とした内部海 (subsurface ocean) を持つ可能性が高い。直接的なボーリング調査などは無理であるものの、氷地殻表面のカオティックな構造やクレーターの少なさ、そして期待される衛星の平均密度の解釈などから内部海の存在が強く示唆されている。

このような水を大量に持つ衛星の存在条件については、潮汐加熱を熱源とした熱伝導や対流、そして、放射冷却などの熱収支と矛盾の無いモデルが組み立てられている。ところで、前回の講演でも指摘したが、巨大惑星からの距離を指標とした、ハビタブルゾーンのような水の存在可能領域の定義づけは十分では無い。我々は古典的な Shapley (1953) の定義に倣い、これを Circumplanetary Liquid Water Belt (CLWB) と呼び、その概念設計を試みている。

前回の講演では、CLWB の内側境界は水の昇華温度で評価した放射冷却率と潮汐加熱率のつり合いで定義でき、外側境界は熱水噴出孔を生み出すマグマ層の厚さが重要であることを述べた。今回は、このマグマ層厚の適正化の試みを紹介する。例えば、イオのマグマ層厚を一般的と仮定し外側境界を評価すると、エウロパモデルの 5 倍となる。つまり、イオモデルでは過大評価を与える。講演時には、モデルの不定性による外側境界の不定性を論じる予定である。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P313b 多地点流星電波観測による10月りゅう座流星群とふたご座流星群の比較

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

我々は流星電波観測 (HRO: **H**AM-band **R**adio **O**bservation) を応用した多地点流星電波観測を用いて、10月りゅう座流星群 (ジャコビニ流星群) およびふたご座流星群の観測を行った。

流星電波観測とは、流星が発生した時に生じるプラズマ散乱を用いて電波の反射を受け取り観測する手法であり、曇りや雨、太陽が出ている昼間の時間帯など光学観測では観測できない時間帯での観測も可能である。本観測では電波の送信局を長野県の大町市、池田町、安曇野市の3点に設置し、観測地を東京大学柏キャンパス、本郷キャンパス、東大大学院天文教育研究センター (三鷹市)、東海大学湘南キャンパス、防衛大学校、海老名市、和光市の7地点で観測を行った。通常の流星電波観測では送信局1つ観測点1つで観測するため流星が発生したことしか情報として得ることができないが、多地点観測を行うことにより受信する電波の時間の差から流星の速度や方角、入射角などを求めることができる。

なお、10月りゅう座流星群の対地速度は20 km/s、一方のふたご座流星群は約35 km/sであり、両者の対地速度が大きく異なるため、この手法によって捕捉率は大きく異なると予想される。実際、2019年の10月りゅう座流星群ではやや活発な出現が可視光で確認されたものの、この手法では捉えられなかった。本講演では多地点流星電波観測で観測した10月りゅう座流星群およびふたご座流星群の結果を比較し、考察する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P314b 近赤外線分光観測による小惑星母天体の内部構造探査

白井 文彦 (神戸大学), 長谷川 直, 大坪 貴文, 塩谷 圭吾 (ISAS/JAXA), 宮田 隆志, 上塚 貴史 (東京大学), 高遠 徳尚 (国立天文台), 北里 宏平 (会津大学)

多くの小惑星は始原的な天体であり、岩石惑星のような大規模な分化はしていないと考えられている。しかし、その内部構造はこれまで直接探査されたことはなく、ほとんど解明されていない。我々はC型小惑星(24) Themisに関連したテミス族小惑星に注目し、天文観測からその母天体の内部構造を探査する計画を推進している。テミス族はかつて存在した直径約400 kmの1つの母天体の衝突破壊によって形成された天体群であり、これらには母天体内部の水質変成や加熱脱水を経た含水鉱物として水が保持されていると考えられている。含水鉱物は波長2.7 μm 付近の近赤外線スペクトルに特徴的なパターンを示す。これを用いて、現在のテミス族小惑星の近赤外線分光観測を行い、天体ごとのスペクトルの違い、すなわち含水鉱物量から変成度を評価することによって、その母天体内部が一様であったのか、あるいは層構造を持っていたのかを議論することができる。ただし波長2.7 μm 帯の観測は地球大気の影響により一般には地上観測で捉えることができない。そこで、現在計画中の宇宙望遠鏡を併用しつつ、南米・チリの標高5640 mに建設中の東京大学アタカマ天文台(TAO)によるサーベイ観測を検討している。今後5年間で120天体の観測を行うことによってテミス族小惑星の総質量の8割をカバーし、その結果得られたスペクトルの多様性の有無から母天体の内部構造を推定する。

本講演ではサイエンスの詳細と観測計画の概要を紹介し、波長2.7 μm 帯が拓く小惑星科学について議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P315c ALMA 12m-Array/ACA/TP 同時観測による金星中層大気の微量分子観測のミッシングフラックスの評価

富原彩加, 近藤滉, 築山大輝, 前澤裕之 (大阪府立大学), 西合一矢 (NAOJ), 佐川英夫 (京都産業大学)

太陽系内外の地球型惑星の大気の性質として、我々は中心星の活動の影響や、惑星固有の大気の物質循環に着目し、口径 10m の電波望遠鏡 SPART を用いて太陽系地球型惑星の大気の監視観測を推進している。これにより例えば、金星の ^{12}CO の回転輝線 ($J = 1 - 0$ @115 GHz, $J = 2 - 1$ @230 GHz) の観測では、短(数日~数週間)~長期(太陽活動周期程度)の変動を捉えてきた。その中で、太陽活動では単純に説明できない短期変動のメカニズムを探るため、2016-2017年にアタカマ大型ミリ波サブミリ波干渉計(ALMA)を用いて12m-Array/ACA 7m-Array/Total Power(TP)-Array)を全て連動させ、Band6/7においてCO、SO₂、SO、HDOといった微量分子の高空間分解能観測を実施した。これらの周波数域では、金星のおよそ高度75~115km程度の分子の高度分布を捉えることができる。干渉計では、アンテナ配列によって決まるMaximum recoverable size (MRS)を超えて広がった構造の輝度分布には感度を持たず、Fluxを欠損するresolved outの問題が発生する。金星は連続波が強く分子の分布が広がった天体である。本研究では、2016年12月(視直径19")と2017年5月(視直径23")に実施した12m-ArrayとACA 7m-ArrayのNarrow Band(分解能:15.3kHz)とWide Band(分解能:976.6kHz)のデータと合成画像について、単一鏡であるTPをリファレンスとしてMissing Fluxの評価を行った。また、Band6については、同日にSPARTと連携観測したデータについて、全球平均のスペクトルの整合性についてサイドバンド比を含めた比較検証を行い、SPARTとALMAの結果が良く一致することを確認した。本講演では、これら一連の整合性評価について結果と解析手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](#)

P316c 彗星のガス輝線の空間構造のAbel変換による解析: 46P/Wirtanen 彗星

長谷川 隆(群馬県立ぐんま天文台), 河北 秀世(京都産業大学)

2018年末に地球に0.1AUまで接近した46P/Wirtanen彗星についてガス輝線の観測を行ったので報告する。ガス輝線の特徴づける基本パラメーターとされるものがHaserモデルにおける輝線のスケール長であり、C/2013 R1(Lovejoy)、C/2015 V2(Johnson)、C/2018 Y1(Iwamoto)の彗星についてAbel変換による測定結果をすでに報告した(Hasegawa, & Kawakita (2017)、2015年秋季年会、2017年秋季年会、2019年秋季年会など)。一方、ガス輝線の解析においてAbel変換を適用するメリットはガス輝線の生じるプロセスをなんら仮定する必要がないことである。Abel変換の適用により基本的なガス構造をよく説明するHaserモデル以上のことが発見されるとすれば、その一つの可能性は中心部で見逃されていた構造である。上記彗星についての過去の解析でもその兆候はみられていたのであるが、彗星までの距離が遠くデータ上の十分な解像度が確保されなかったこと、解析としても積分範囲下限が複雑であることから、十分接近する彗星の観測からこのような制約が低い解析が待たれていた。46P/Wirtanenは地球最近距離は0.078AUであり、このような解析に適した状況にあった。

ぐんま天文台では65cm望遠鏡を利用してモニター観測を行ったが、今回は2019年1月29日の観測データをもとに報告する。この時点で地心距離は0.3AU、1 arcsec ~ 220 km s⁻¹であった。Abel変換から復元されたCN輝線の光度密度は、50 arcsec以遠でHaserモデルに近く、親分子のスケール長は 2.8×10^4 kmと過去の典型的な結果と矛盾しないが、中心50arcsec近傍はこのモデルでは全く説明できない構造がみられた。これはC₂輝線でも同様である。過去の彗星のデータでも同様な構造は見られていたが、これだけ地球近接彗星で確認できたことから、このような構造がかなり普遍的であることが示唆されることになった。その成因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](#)

P317c 近赤外中分散エシエル分光器による金星大気物質循環へのアプローチ

前澤裕之, 築山大輝, 濱口優輝, 西村淳 (大阪府立大), 田中培生, 高橋英則 (東京大学), 高橋幸弘, 佐藤光輝, 高木聖子, 大野辰遼 (北海道大学), 今井正堯 (産業総合技術研究所), 奥村真一郎 (日本スペースガード協会), Yeon Joo Lee (マックスプランク研究所), 他 NICE グループ

系外惑星の研究の展開において、身近な太陽系の地球型惑星の大気化学/物質循環のメカニズムの理解は重要な役割を担う。我々は ALMA や口径 10m のミリ波望遠鏡 SPART の観測により、金星の上層大気における一酸化炭素の主星 (太陽) の活動に対する応答や、主星の影響だけでは説明が困難な微量分子の短期的変動 (数日~数週間) や空間分布を捉えてきた。特に後者については、金星大気の濃硫酸の雲より低高度の物質との循環が影響していると考えられる。今後、上層の電波観測と同時に低層の微量分子を観測し、時空間変動/物質循環のリンクを捉えていくため、北海道名寄市立天文台 (標高 151m) に設置された口径 1.6 m の光赤外望遠鏡 PIRKA (北海道大学) に搭載された近赤外中分散エシエル分光器 NICE (東京大学) を用いて、2017 年、2018 年に金星下層大気のコ₂、H₂O、SO₂、OCS、HCl の吸収スペクトルの試験観測を実施し、金星のスペクトル検出に成功した。これらの分子は金星大気の酸化反応ネットワークにおいて重要な役割を果たし、得られたスペクトルは HITRAN/HITEMP を実装した放射輸送モデルとも良い一致を見せている。この時の NICE のスリットのサイズは 1" × 7"、波長分解能は $\lambda/\Delta\lambda=2800$ である。今後、NICE は大気透過度が高いチャナントール山頂 (標高 5600 m) の東京大学アタカマ天文台 (TAO) 口径 6.5 m 赤外線望遠鏡に搭載される計画であり、同サイトの ALMA との連携観測を目指す。本講演では一連の観測・解析/定量、モデルとの比較、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](#)

P318a 視線速度を用いた長周期連星ブラックホールの探査の提案と検証 II

林 利憲, Shijie Wang, 須藤 靖 (東京大学)

重力波で検出された連星ブラックホールは、その起源となる比較的長周期な連星ブラックホールの存在をも示唆する。本研究では、直接観測が困難なそれらの連星ブラックホールを、周囲の恒星に及ぼす微小な視線速度変動を検出することで探査する可能性を議論する。

2019 年秋の天文学会発表では、同一面上の三体系に対して数値シミュレーションで模擬観測データを作成し、正弦曲線によってベースラインとなるケプラー運動をフィットし、その残差を抽出すれば視線速度変動が原理的に検出可能であることを確認した。

今回は新たに、視線速度フィッティングコード RadVel を用いて、ベースラインのケプラー運動をデータから直接フィットする方法を考えた。これにより、視線速度変動をより正確に抽出でき、離心率の影響を考慮した検出可能性が議論できる。まず同一面上・円軌道の場合について、数値シミュレーションと Morais et al.(2008) で与えられた近似式との比較を行い、本手法の正当性を確認した。次に、同一面上の一般の軌道に対して、模擬観測データを作成し、離心率存在下での視線速度変動の検出可能性及び、Lomb-Scargle 法による連星周期の検出を調べた。本発表では、以上の結果から得られた観測条件 (ノイズレベルや観測ケイデンス) と視線速度変動の検出可能性の関係に基づいて、候補となる恒星の等級等の性質について考察する。また、最近発見された、大質量ブラックホール恒星連星系 LB-1 (Liu+2019) に対して、この方法から中心天体が連星ブラックホールであった場合に予想される制限を考察する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P319a Investigating stellar jitter with asteroseismic observations in searching for exoplanets around G/K-type evolved stars

Huan-Yu Teng, Bun'ei, Sato

A lack of close-in and less-massive planets, and rare multiplicities appeared since exoplanet surveys among intermediate-mass (IM) stars have been carried out for nearly 20 years. However, radial velocity (RV) variation of the host stars driven by these close-in, less-massive planets, and very-long-period planets are quite small, which are comparable to the stellar jitter (e.g. oscillation and granulation) of evolved IM stars. Therefore, monitoring the stellar jitter appears to be particularly important observationally.

In this research, we estimated the potential of underlying exoplanets around G/K type evolved stars (planet hosts) by monitoring stellar jitter. We selected several planet hosts from Okayama Planet Search Program with asteroseismic observations operated with HIDES at OAO and SONG, and we applied two methods to the RV data: (1) Synthetic data generation from velocity power spectrum density (VPSD); (2) Gaussian Process (GP) predictions on the stellar oscillation with precise HIDES asteroseismic observations. The scatters of the synthetic data or predictions were treated as stellar jitter in planet searching oriented RV series. We finally fixed these jitters in Keplerian orbit fitting, if there were still large scatters in the RV residuals, it might suggest underlying exoplanets orbiting the host 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](#)

P320a IRD-SSP による M 型星周りの惑星サーベイ：1 年目の観測ステータス

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

IRD-SSP (InfraRed Doppler - Subaru Strategic Program) では、すばる望遠鏡用に開発された赤外線ドップラー装置 IRD を用いて、晩期 M 型矮星周りの惑星サーベイを進めている (2019 年春季年会 P318a)。このサーベイでは、視線速度 (RV) 法を用いた惑星探索によって、太陽近傍の低質量星周りの、1) ハビタブルゾーン地球質量惑星 ($\sim 1-3M_{\oplus}$) を発見する、2) スノーラインを含む領域においてスーパーアースから巨大惑星までの分布を明らかにする、3) 主星近傍における地球型惑星からスーパーアースの惑星分布を明らかにする、ことを目標としている。そして、太陽近傍におけるハビタブル地球型惑星の詳細観測に適する惑星を発見するとともに、低質量星における惑星系形成と進化のメカニズムを包括的に理解することを目指している。

IRD-SSP の観測は 2019 年 2 月に開始し、2020 年 1 月までの 1 年間に 35 夜割り当てられている。この観測では、事前に選んでおいたサンプル星から地球型惑星探索に適する星を選ぶためのスクリーニング観測と、スクリーニングで選ばれた星の RV モニター観測を行ってきた。スクリーニングでは、IRD のファイバー入射モジュール内のカメラで撮像した AO 画像を用いて実視連星を、IRD の高分散分光スペクトルから高速自転星とダブルラインの SB2 を、4 点以上の RV 測定データにより SB1 を、取り除き、自転速度が遅く安定した M 型星をモニター観測のターゲットとして選ぶ。予稿提出時点までに 106 星を 1 回以上観測し、29 星を 4 回以上観測できており、惑星による RV 変化を持つ可能性がある星と地球型惑星探索のターゲット候補の星を複数検出している。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P321a すばる望遠鏡における高分散分光コロナグラフ REACH によるサイエンス

河原 創 (東大), 小谷隆行 (ABC), 石塚将斗 (東大), 米田謙太 (北大), O. Guyon, J. Lozi (すばる望遠鏡), N. Jovanovic (COO), S. Vievard, A. Sahoo (すばる望遠鏡)

High-Resolution Spectroscopy (HRS) を用いた太陽系外惑星のキャラクタリゼーションは、宇宙トランジット分光とならんで有力な方法となってきた。我々はすばる望遠鏡における極限補償光学 SCEXAO と近赤外高分散分光器 IRD を結合させ直接撮像で HRS を可能にするプロジェクト REACH (Rigorous Exoplanetary Atmosphere Characterization with High dispersion coronagraphy) を推進している。コロナグラフ後の HRS は惑星位置でのスペックルを削減し、惑星大気分子検出の効率を大幅に改善できる。REACH を用いて複数のサイエンスケースを考えることができる。主目的である自己放射惑星のキャラクタリゼーションでは相関関数を用いた検出法により y, J, H バンドのメタンやアンモニアその他マイナーな分子の検出を行うことができる。また、SB1 を直接分解し、高分散スペクトルを得ることで軌道決定ができる。また、REACH はレーザー周波数コムを同時に用いることができ、コンパニオン星周りの惑星探査も可能である。本発表では、先ごろ行われた REACH エンジニアリングランの結果を踏まえ、これらの REACH を用いたサイエンスケースを説明する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P322a 重力マイクロレンズ法を用いた Xallarap 効果による銀河系バルジの短周期惑星の検出実現性

宮崎翔太 (大阪大学), 住貴宏 (大阪大学), MOA コラボレーション, PRIME コラボレーション

重力マイクロレンズ現象は、背景天体 (ソース天体) の前をレンズ天体が通過する際にレンズ天体の重力でソース天体の光が曲げられることにより一時的に増光する現象である。一般的な重力マイクロレンズ法では、レンズ天体に付随する惑星が背景星 (ソース) の光に重力的に影響を及ぼした際に生じる光度曲線の偏差を観測することで惑星を発見する。そのため、レンズ主星のアインシュタイン半径 R_E (~数 au) あたりに存在する惑星に最も検出感度が高く、そこから離れるに従って惑星の検出感度は徐々に落ちていくため、短周期惑星などには比較的検出感度が低い。

ソース天体の増光率 A は、レンズ天体とソース天体のインパクトパラメータ u に対して、 $A \sim 1/u$ の関係にある。ソース天体に天体が付随していた場合は、ソース天体が公転運動をするため線形な軌道ではなくなり、光度曲線上に増光率変化のシグナルが生じる。これを重力マイクロレンズ現象の高次の効果、「Xallarap 効果」という。本研究では、この Xallarap 効果を用いて、ソース天体に付随する惑星質量の天体を発見できるか調べた。我々は、*WFIRST* 衛星によって観測される擬似光度曲線に対して、人工の Xallarap シグナルを埋め込み、その光度曲線のモデリングすることで、埋め込んだ惑星パラメータを正しく見積もることができるのかシミュレーションを行い、惑星の検出感度を見積もった。本講演では、その解析内容について報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P323a ガス惑星の大気散逸過程における遠紫外線光電加熱の効果

三谷啓人 (東京大学), 仲谷峻平 (理化学研究所), 吉田直紀 (東京大学)

1995年にマイヨール、ケローらによって太陽型星周りの系外惑星が発見されて以降、太陽系からは想像もつかないような惑星が見つかってきた。特にトランジット法によってホットジュピターやホットネプチューンのような中心星を短い周期で回るガス惑星が数多く見つかっている。巨大ガス惑星の中には惑星大気がロッシュローブを超えて広がっていて散逸しているものが観測される。

従来の巨大ガス惑星大気散逸の輻射輸送流体シミュレーションでは加熱源として中心星からの13.6eV以上の極端紫外線(EUV)による光電離加熱を考慮しており、より長い波長の遠紫外線(FUV)の影響はあまり調べられていなかった。M型星のような低温の恒星ではフレアが活発でありEUVが比較的強いいためFUVは惑星大気散逸には影響しないと考えられる。しかし、太陽温度以上の恒星は光球から多くのFUVが放出されるために大気の熱化学に影響すると考えられる。

本研究ではFUVによる光電加熱を考慮した2次元輻射流体計算を行い、ガス惑星大気散逸におけるFUV光電加熱の効果を初めて明らかにする。様々なスペクトルタイプおよび金属量について惑星大気散逸率を計算した。その結果、FUV加熱は中心星の質量が1太陽質量の場合、惑星大気散逸を引き起こしうることがわかった。G型星、F型星周りの惑星の大気散逸率は $\dot{M} \sim 11^{11} \text{g/s}$ 、 10^{12}g/s となった。FUV加熱が主要である場合は大気散逸率が惑星大気の金属量におおよそ比例することもわかった。本講演では大気散逸率の中心星の温度依存性や惑星大気の金属量依存性について発表する。また、中心星の金属量が異なると星スペクトルが異なり、FUVフラックスも変わる。こ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](#)

P324a 巨大衝突によって形成される惑星系の軌道構造の中心星質量依存性

星野遙 (東京大学), 小久保英一郎 (国立天文台)

地球型惑星形成の最終段階とされる巨大衝突過程では、原始惑星が軌道交差および衝突合体を繰り返すことで個数を減らし、より安定な系へと進化していくと考えられている。現在までに発見されている多重惑星系は、太陽系の地球型惑星に比べて中心星の近くにコンパクトにまとまっているものが多く、既存の標準的な理論モデルでは説明できない。系の構造を決める要素として、円盤の質量や密度分布、原始惑星の分布などが議論されてきたが、中心星の質量については太陽質量に固定する場合はほとんどであり、影響の有無について明確な示唆はない。近年、中心星の質量を変えた理論計算も行われているが(e.g., Raymond et al. 2007, Ciesla et al. 2015, Matsumoto et al. submitted)、中心星質量の違いが系の構造にもたらす影響に着目した研究は今まで行われていない。また、太陽の0.1-0.6倍の質量を持つM型星は、銀河系の星のうち約75%を占める最も多く存在する星であり、観測技術が向上したことや、ハビタブルゾーンが中心星に近いことから、惑星探査計画が進められている。これらの観測と比較可能な理論計算を示すことは非常に重要である。そこで本研究では、巨大衝突過程において中心星の質量を太陽の0.1/0.2/0.5/1.0倍と変化させた場合のN体シミュレーションを行い、軌道構造の中心星質量依存性を系統的に調べた。初期の原始惑星の分布は、中心星から0.1AUほど離れた同じ領域に固定し、原始惑星の孤立質量に従って分布させ、1億ケプラー周期の時間進化を追った。その結果、中心星の質量が小さいほど、離心率や軌道傾斜角は大きくなり、ヒル半径で規格化した軌道間隔も狭まることから、系の構造は不安定になりやすいと言える。また、中心星の質量が小さいほど大質量の惑星ができ、惑星の個数は減少する傾向が見られた。これらの結果に加えてハビタブルゾーン内に形成される惑星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](#)

P325a 大気を持つ天体同士の巨大衝突がもたらす大気損失と角運動量変化

黒崎健二, 犬塚修一郎 (名古屋大学)

惑星形成過程の最終段階では、天体同士が衝突合体を起こすことで成長する。系外惑星にも見られる海王星サイズの天体は、天体質量の 10% 程度の水素大気を持っており、このような水素大気は原始惑星系円盤のガスを獲得したものと考えられている。系外惑星や巨大水惑星のように現在も水素大気を持っている天体は、惑星形成過程における巨大衝突ステージにおいても、大気を持った状態の天体同士が衝突することが期待され、さらにその質量比も近い衝突が発生することが予想されている。しかし、そのような衝突合体を経験することから、現在観測されている惑星の大気質量と、円盤ガスを獲得した直後の惑星大気質量は一致しない。また衝突によって天体は常に合体するとは限らず、hit-and-run のように合体しない衝突現象も存在するが、大気を持った天体同士での合体条件はよくわかっていない。そこで、本講演では天体衝突によって水素大気の流出量や衝突後に惑星が持つ角運動量を数値流体計算を用いて示し、惑星形成における巨大衝突の影響を議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P326a 巨大衝突起源の破片円盤との相互作用による地球型惑星の軌道進化

小林浩, 磯谷和秀, 佐藤雄太郎 (名古屋大学)

地球型惑星は原始惑星同士の衝突・合体による巨大衝突期を経て形成されたと信じられている。しかし、巨大衝突により作られると地球型惑星は軌道離心率が現在の地球や金星に比べ大きくなってしまふ。そのため残留微惑星円盤による力学的摩擦により地球型惑星の離心率が下げられると考えられてきた。しかし、力学的摩擦により微惑星の離心率は上昇し、微惑星同士の破壊的になる。その結果、衝突カスケードによりマイクロサイズのダストにまですり潰され、輻射圧によって系外に飛ばされるため、微惑星円盤の質量は減少していく。つまり、衝突・破壊により力学的摩擦は阻害され、地球型惑星の離心率は下げられなくなる。我々は衝突破壊を考慮して、巨大衝突ステージでの原始惑星の軌道進化を調べた。その結果、惑星形成期の生き残りを想定した一様な分布で 100km 以下のサイズの微惑星円盤を置いた場合、十分な質量の微惑星円盤が存在しても、破壊の効果で微惑星円盤が減少してしまうため力学的な摩擦を効かせることは難しい。そこで、原始惑星同士の巨大衝突により形成された地球型惑星とその衝突に伴い放出された衝突破片との軌道進化を考えた。衝突破片の軌道は他の惑星との相互作用により一様な円盤を作る。破片円盤の質量は惑星質量の 10-20% 程度と非常に小さいが、微惑星くらべずと大きい数 1000km サイズを超える大きな破片も存在する。破片円盤は軽いため力学的摩擦の効率は悪くなるが、円盤を構成する最大天体のサイズが大きいため破壊によって消失する時間が長くなる。高い離心率 (~ 0.1) を持つ巨大衝突起源の地球型惑星と破片円盤の相互作用により、3 千万年以上の非常に長い時間をかけて地球型惑星が現在の地球程度の離心率 (~ 0.01) まで下がることがわかった。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Q01a X線天文衛星 Chandra による超新星残骸 Puppis A の衝撃波固有運動の測定

今井 悠喜, 勝田 哲, 寺田 幸功 (埼玉大学)

重い星は進化の最終段階において超新星爆発を起こし、星の外層を凄まじい勢いで吹き飛ばす。その前面に形成される強い衝撃波は、周囲の星間物質を取り込み高温に加熱し、高温プラズマ雲「超新星残骸」を形成する。衝撃波速度は、距離、周囲の密度、年齢といった超新星残骸の基本的パラメータや、無衝突衝撃波における電子-イオン加熱過程を探る上で重要な物理量である。1999年にNASAが打ち上げたX線天文衛星「Chandra」は0.5秒角の卓越した角度分解能を誇り、時間間隔をあけた複数の天体画像を比較することで、衝撃波の固有運動ひいては衝撃波速度を直接測定することができる。

Puppis A は X 線で最も明るい超新星残骸の一つで、約 4000 年前に爆発したと推定され、現在は視直径 50 分角程度に広がっている。これまで、電波から γ 線まで多波長に渡る多くの観測が実施されてきたが、衝撃波速度が直接測定されたことはなかった。過去の観測の中には、2001 年の Chandra 衛星による東端の観測が含まれていた。そこで我々はこの観測と同じ Puppis A 東端領域の衝撃波面を 2016 年に再観測し、両観測で得られた画像を比較することで、固有運動の測定を試みた。解析の結果、X 線で最も明るい領域において固有運動を 0.016 ± 0.007 arcsec/yr と測定することに成功した。これを衝撃波速度に変換すると、 $V_{sh} = 170 \pm 70 (D/2.2 \text{ kpc})(\mu/0.016 \text{ arcsec/yr}) \text{ km/s}$ と導くことができた。一方、過去の X 線スペクトル解析によると、この領域の電子温度は 0.3 keV (Hwang et al. 2005)、Rankine-Hugoniot 関係から推定される衝撃波速度は 500 km/s である。これは我々の実測値の 3 倍程度高い。本講演では、この食い違いの原因について考察すると共に、Puppis A 東端における衝撃波速度の空間変化や、スペクトル解析に基づく温度構造との関連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](#)

Q02a X線ガンマ線観測を用いた若い超新星残骸における粒子加速効率の研究

辻直美, 内山泰伸, Dmitry Khangulyan (立教大学), Felix Aharonian (Max-Planck-Institut für Kernphysik / Dublin Institute for Advanced Studies)

Knee(数 PeV) 以下のエネルギーを持つ宇宙線は、銀河系内の超新星残骸 (SNR) で生成されると考えられている。粒子は SNR 表面の衝撃波を拡散的に往復することで、エネルギーを獲得し、加速される。粒子加速を特徴付ける重要なパラメータとして、衝撃波速度、粒子 (あるいは放射) スペクトルにおけるカットオフエネルギー、加速効率などが挙げられる。本研究では、比較的若い SNR の非熱的 X 線スペクトルの解析からカットオフエネルギーを測定し、これらのパラメータの関係を調査した。そこで得られたカットオフエネルギーと衝撃波速度の関係は、Kepler や Tycho の超新星残骸では理論から期待される関係式でよく再現される一方で、Cassiopeia A や SN 1006 では周囲の環境に依存するといった、個々の SNR ごとに様々な粒子加速の様相を示すことが分かった。また、今回解析した 11 個の SNR を合わせると、SNR の進化に伴い粒子加速効率が良くなる傾向が明らかになった。さらに、同様な解析をガンマ線観測へ応用し、X 線観測と同様に加速効率を求めることができた。X 線、ガンマ線観測から独立して測定された加速効率はわずかに異なる値を示しており、その理由としてガンマ線の放射機構 (電子由来あるいは陽子由来) の違いなどが考えられる。

[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](#)

Q03a 宇宙線変調衝撃波からの偏光 $H\alpha$ 放射について

霜田治朗 (名古屋大学), J. Martin Laming (NRL)

超新星残骸の衝撃波は宇宙線の銀河系内の起源天体として最有力候補と考えられているが、その直接的な証拠は未発見であり、また具体的な加速機構も未解明である。有力な加速機構として、衝撃波統計加速 (DSA) が支持されてきた。DSA では宇宙線粒子が衝撃波の上流と下流を往復し加速していく。標準的なシナリオでは、宇宙線がその圧力勾配によって背景プラズマへ反作用効果を及ぼすほど大量に加速され、衝撃波上流の流体速度が波面流入前に $\sim 10\%$ 変調すると期待されている (衝撃波静止系では減速として測られる)。このような衝撃波は「宇宙線変調衝撃波 (Cosmic Ray Modified Shock)」と呼ばれる。宇宙線変調衝撃波が現実には起きているかどうかを検証するには、数 kpc も離れた位置にあるプラズマのわずか $\sim 10\%$ の速度変化を確認しなくてはならず、これを達成できた例はなく、その方法も提案されていない。本研究では超新星残骸で観測される $H\alpha$ の偏光角が、この変調構造の有無で 90 度異なることを世界で初めて見出し、宇宙線変調衝撃波を実証する強力な観測手法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](#)

Q04a young から middle-aged の超新星残骸からの非熱的放射についての統一モデルの構築に向けて

小橋亮介, Shiu-Hang Lee, 安田晴皇 (京都大学)

knee と呼ばれる $10^{15.5}$ eV 以下の宇宙線は銀河系内由来とされている。加速機構の有力候補の 1 つとして、超新星残骸 (Supernova Remnant; SNR) における拡散衝撃波加速 (Diffusive Shock Acceleration; DSA) 理論が提案されているが、これで説明できるかは未だ解明されていない。加速された宇宙線は、その周りにある分子雲などとの相互作用により生じる γ 線の形で観測することができる。DSA 理論を用いた γ 線スペクトルの再現により DSA 理論の妥当性の根拠が得られる。

様々な超新星残骸を γ 線で観測すると、そのスペクトルには年齢に依存した概形が見られ、またそのピークエネルギーも年齢に応じて変動している。この起源については加速機構の不定性も相まって、まだよく分かっていない。この変動を理解するため、我々の研究室では全年代にわたって超新星残骸の進化を一つのモデルで再現できることを目標に数値モデルを構築している。先行研究である Yasuda & Lee 2019 は、異なる星周環境における超新星残骸の衝撃波での拡散衝撃波加速と、 π^0 崩壊や逆コンプトン散乱などの γ 線放射機構を組み合わせることで、超新星爆発後の年代が初期から Sedov 期 ($\sim 5,000$ yr) までの γ 線スペクトルの計算を可能にした。しかし、超新星残骸の時間経過に伴い温度が低くなることで、衝撃波後方のガスで起こる熱伝導や放射冷却といった効果を加味していなかった。そのため、Radiative 期 ($\gtrsim 10,000$ yr) の超新星残骸までは考えられなかった。

そこで、Yasuda & Lee 2019 で開発されたコード (CR-hydro code) に、前述した熱伝導や放射冷却の効果を加えることで、Radiative 期にいたる計算を可能にした。本発表では、研究の進捗とこれからの展望を説明する。

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

Q05a 超新星残骸中で生成された二次宇宙線原子核の逃走とそのエネルギースペクトル

川中 宣太, 李 兆衡 (京都大学)

銀河宇宙線のうち、陽子やヘリウム、酸素、炭素などといった宇宙線原子核は超新星残骸の衝撃波における一次のフェルミ加速で生成されたと考えられる一方、リチウム、ベリリウム、ホウ素 (Li-Be-B) といった原子核は、宇宙線が星間空間を伝搬中に生成する二次成分と考えられている。したがってそのスペクトルを調べることで、銀河系内の宇宙線の伝搬の様子を知ることができると考えられる。ところで 2018 年、国際宇宙ステーションに搭載されている宇宙線検出器 AMS-02 により、この Li-Be-B のエネルギースペクトルはいずれも ~ 200 GeV を境にハードな側に折れているという結果が報告された。標準的な宇宙線の生成・伝搬モデルではこのようなスペクトルは説明できず、星間空間の宇宙線の拡散係数のエネルギー依存性が単純なべき則に従っていない、あるいは二次成分と考えられてきた宇宙線 Li-Be-B の生成機構の理解が完全でない、などの可能性が議論されている。我々は後者の可能性に着目し、星間空間ではなく超新星残骸において宇宙線 Li-Be-B が生成されるシナリオを考察した。具体的には、炭素や酸素などの重い原子核が超新星残骸の衝撃波で加速する際、周囲の物質との衝突で Li-Be-B が衝撃波面近傍で生成され、それらが衝撃波面をさらに往復することで高エネルギーまで加速され、星間空間に宇宙線として放出される、という描像である。我々はこのシナリオに則り、超新星残骸の周辺物質が一樣な場合と星風分布を持つ場合に分け、それぞれのケースにおいて超新星残骸の時間発展に伴って加速を受け星間空間へ逃走していく二次宇宙線原子核を計算し、実際に観測される宇宙線スペクトルにどの程度寄与するかを調べた。その結果、周辺物質が星風分布を示す際に二次成分のスペクトルに折れ曲がりが見ることが分かった。

[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](#)

Q06a 非一様媒質中を伝播する衝撃波による粒子加速

横山 将汰 (東京大学), 大平 豊 (東京大学)

宇宙空間を飛来する高エネルギー粒子である宇宙線のうち、約 10^{15} eV 以下の成分は我々の銀河内に起源を持つと考えられている。「超新星残骸における衝撃波による粒子加速」という描像は、このような銀河宇宙線の加速機構として広く受け入れられているものである。一方で地上観測によるエネルギースペクトルのべき指数は、銀河内の伝播の効果を考慮に入れても標準的な衝撃波加速の予言と一致しないことが知られている。超新星残骸の電波観測から算出したスペクトルのべき指数も、天体ごとに異なる値であって標準理論では説明ができない。

本研究では標準的な衝撃波加速で考慮されていなかった要素として媒質の非一様性を取り入れ、粒子シミュレーションによって調べた。密度揺らぎが存在する空間に衝撃波が伝播すると、衝撃波下流に音波が発生する。これにより粒子は衝撃波面のみならず、衝撃波下流に流された後でもフェルミ 2 次加速と呼ばれるプロセスで音波による加速を受け、結果としてエネルギースペクトルの形状が変化することがわかった。

本講演では、このような下流遠方での 2 次加速によるスペクトルの変化を説明するとともに、衝撃波近傍で今なお加速している粒子に対して 2 次加速が十分に寄与するようなパラメータ領域に関しても議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Q07a スーパーバブルにおける宇宙線加速

安田晴皇, Shiu-Hang Lee (京都大学)

およそ $10^{15.5}$ eV (knee) までのエネルギーの宇宙線 (銀河宇宙線) は、「孤立した」超新星残骸で拡散衝撃波加速機構によって加速されたものだと考えられてきた。しかし、最近の若い超新星残骸のガンマ線観測 (e.g. Ahnen et al. 2017) からは、最高エネルギーが knee に届いていないなどの問題点も残されている。また、銀河宇宙線の特徴に元素毎でベキ指数が異なり、太陽組成よりも重元素が豊富であることが挙げられる (e.g. Ohira et al. 2016)。これらの観点から、超新星残骸以外での加速源の存在が疑われている。

そこで我々はスーパーバブルと呼ばれる天体に着目した。スーパーバブルは中心の「数十数百の」OB 型星による星風や超新星によって形成される、数百 pc サイズのバブル状構造である。したがって、その内部は超新星によって作られた重元素が中心星団の周りに分布していることになり、その様な環境下での新たに超新星が起こることで、重元素が豊富な宇宙線が加速されることが期待される。そのため我々の研究室では、スーパーバブルにおける宇宙線加速で元素毎に異なるベキ指数が再現できるのか、ひいてはスーパーバブルが銀河宇宙線の加速源として働くのかを評価することを目的に研究を行なっている。具体的には、Yasuda & Lee 2019 で開発された一次元宇宙線流体計算コードを用いて、スーパーバブルの内部構造を元素分布も含め流体計算し、その情報を元に元素毎の宇宙線加速計算を行うことを可能にした。本講演では、数値計算の結果とスーパーバブルにおける宇宙線加速の可能性について報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Q08a 初代宇宙線の加速と逃走

大平豊 (東京大学)

現在の宇宙には、様々なスケールにわたって非熱粒子が存在し、それらの系で重要な役割を果たしていることがわかっている。その代表例が宇宙線である。宇宙線は、高密度領域の電離度を決めたり、最近では銀河風を駆動する重要な銀河の構成要素であることがわかっている。しかし、宇宙が誕生して、いつどこでどのようにして最初の宇宙線が加速されたのか？はこれまで議論されてこなかった。本研究では、この初代宇宙線の加速について理論的に調べたことを発表する。

初期宇宙の頃に存在する衝撃波としては、大規模構造形成に伴う降着衝撃波と、 $z = 20$ 付近で作られる初代星の重力崩壊に伴う超新星残骸衝撃波が考えられる。これら 2 つの衝撃波について、最初に磁場が存在しないとして、どのような衝撃波が形成されるか調べた。その結果、 $z = 20$ 付近の超新星残骸衝撃波は、非相対論的なワイベル不安定性によって散逸される無衝突衝撃波になり、宇宙線を加速できることがわかった。一方、 $z = 20$ 付近の構造形成に伴う降着衝撃波は、衝撃波速度が 100km/s に達しないために、上流を電離することができず、原子散乱による散逸が効いた衝突性衝撃波となり、宇宙線を加速できないことがわかった。

初代星の重力崩壊が作り出す超新星残骸衝撃波での、衝撃波統計加速による宇宙線の最高エネルギーを評価した。ワイベル不安定性によって作られる磁場のコヒーレント長は、宇宙線のジャイロ半径より十分小さいため、衝撃波を往復する時間が、現在の宇宙で起きる衝撃波統計加速に比べ遅くなる。その結果、 $z = 20$ 付近の初代星の超新星残骸は、最後に約 1MeV から約 100MeV までの宇宙線を周囲にばらまくことがわかった。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Q09a 連星中性子星合体残骸の核ガンマ線探査

寺田幸功 (埼玉大/JAXA), 三輪祐也 (埼玉大), 藤本信一郎 (熊本高専), 勝田哲 (埼玉大), 馬場彩 (東大), 山崎了 (青山学院大)

重力波天体として注目される「連星中性子星合体」においては、r-process による重元素合成が行われるため、合成された不安定核が崩壊する過程で核ガンマ線が放出されるはずである。しかし、核ガンマ線が卓越するメガ電子ボルト帯域では、光電吸収に加えコンプトン散乱が優勢となり原理的に感度を上げるのが難しく、数十メガパーセク距離に出現する連星中性子星合体の即時観測を実施しても、現行のガンマ線衛星ではその核ガンマ線を捉える事は極めて難しい (仏坂 et al 2016; 三輪ら 本年会講演)。そこで発想を転換し、探査対象を銀河系内に絞り、長寿命核を用いた「残骸」を対象にすることで、要求される感度は即時観測と同程度ながら、長期間の観測時間が投入でき、多少、感度を上げた探査が可能になる。もし、ガンマ線の全天マップから連星中性子星合体残骸が検出されれば、その天体数から、銀河系内での連星中性子星合体の発生頻度の定量化も行えるはずである。

本研究では、本年会講演の三輪らの核崩壊計算でリストされた長寿命核ガンマ線の候補を対象に、INTEGRAL 衛星の 15 年分の公開データの探査を行った。結果、 10^{-5} photons s^{-2} cm^{-2} 程度の感度では、有意な連星中性子星合体残骸は見つからなかった。本講演では、その観測的上限を議論する。また、Liu et al 2019 で連星中性子星合体残骸の候補とされた G4.8+6.2 の核ガンマ線上限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](#)

Q10b すざく衛星で観測した超新星残骸 Kepler, Tycho, CasA の Si-K 吸収端付近の X 線スペクトル構造

岡崎貴樹, 林田清, 松本浩典, 野田博文 (大阪大)

2005 年から 10 年にわたり運用したすざく衛星搭載の X 線 CCD カメラ XIS で、連続 X 線スペクトルをもつ天体を観測すると、Si-K 吸収端 (1.839 keV) 付近に最大 15% のスペクトル残差が残るといった問題があった。表面照射型である XIS0,2,3 と裏面照射型である XIS1 で残差の正負が異なり、天体由来ではなく応答関数の問題であることは確実で、様々な方策が検討されたものの根本的な解決には至らなかった。我々は、入射 X 線エネルギーと出力波高の関係に対し、Si-K 吸収端において飛びを設けることで、残差が解消することを示した (Okazaki+2018)。この改良を施した応答関数作成ソフトは 2018 年末に公開されており、これまで無視されることも多かった XIS スペクトルの Si-K 吸収端 (1.839 keV) 付近のバンドを見直す契機にある。

応答関数の検証は、連続成分主体の LMC-X3, PKS2155-304、このバンドに輝線を含む M87, Perseus 銀河団、Centaurus 銀河団などで検証している。しかし、代表的な超新星残骸、Kepler, Tycho, CasA に関して、この改良された応答関数を適用したところ 1.6-2.0keV の範囲に最大で 20% 近い残差が残った。Chandra 衛星の観測で、これらの超新星残骸が場所ごとに異なるプラズマ状態で構成されていることはわかっており、残骸全体を積分するすざく衛星 XIS のスペクトルに対して、適当なスペクトルモデルを打ち立てるのは容易ではない。しかしながら、スペクトル残差は輝線プロファイルを再現に問題があることを示唆している。我々は、単一ガウス分布でモデル化したドップラー速度による広がりが適当か、という点に着目し、より適切なスペクトルモデルの構築を試みた。これは XRISM 衛星の観測計画最適化のためにも重要である。

[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](#)

Q11b オリオン座 A 分子雲周辺に分布するダストの光学的特性

上原隼 (桐朋中学校・高等学校/東京学芸大学), 土橋一仁, 西浦慎悟 (東京学芸大学), 下井倉ともみ (大妻女子大学), 直井隆浩 (情報通信研究機構)

オリオン座 A 分子雲 (Orion A) は、活発な星形成が起きている太陽系近傍 ($d \sim 400\text{pc}$) の巨大分子雲である。我々は Orion A 及びその周辺について色超過や減光量を求め、ダストの光学的な特性について調べた。使用したデータは、東京大学木曾観測所の 105cm シュミット鏡および 2kCCD カメラで取得した B, V, R, I バンドのデータと、Two Micron All Sky Survey (2MASS) 点源カタログの J, H, K_S バンドのデータである。これら合計 7 バンドのデータから数種類の色超過マップを作成し、 $E(R-I)/E(B-V)$ などの色超過の比を求めた。

色超過の比を解析した結果、おうし座分子雲で見られた分子雲内外でのダストサイズの変化 (土橋ほか, 2019 年秋季年会) を Orion A 周辺で見いだすことはできなかった。しかし、よく知られているダスト粒子のサイズ分布モデル (Mathis, Rumpl, & Nordsieck 1977) に基づいた計算結果 (直井ほか, 2019 年秋季年会) と比較したところ、Orion A 周辺のダストサイズの最大半径 ($r_d \simeq 0.3 \mu\text{m}$) は、おうし座分子雲での最大半径 ($r_d \simeq 0.17 \mu\text{m}$) と比べて、有意に大きいことがわかった。また、ダストの組成については、Graphite (Gra) に比べ、Silicate (Sil) の割合が非常に高い (Sil : Gra = 95 : 5) という結果を得た。この組成比は、Draine & Lee (1984) による標準的なダストの組成比 (Sil : Gra = 47 : 53) とは大きく異なる。また、減光量 A_V と色超過 $E(B-V)$ から求めた $R_V = A_V/E(B-V)$ の値 ($\simeq 5.7$) は、上記の Sil : Gra の組成比を仮定した場合の計算結果と概ね一致する。これらのことから、Orion A 周辺のダストの主成分は、最大半径で $0.3 \mu\text{m}$ 程度まで成長した比較的大きなケイ酸塩粒子である可能性が高いと考えられる。

[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](#)

Q12b 銀河系中心におけるプロミネンス上昇の磁気流体シミュレーション

富吉拓馬 (千葉大学), 松元亮治 (千葉大学)

本講演では MeerKAT 電波望遠鏡による天の川銀河中心領域の観測で見られた、銀河面から約 150pc の高さのバブル構造とフィラメント状の高密度領域 (銀河プロミネンス) の形成機構について数値シミュレーションを行った結果を発表する。MeerKAT の電波画像ではバブル上空にヘリカルな構造、バブル中にカスプ状の構造が見られ、銀河面にアンカーされた磁気ループが差動回転によって捻られて上昇し、磁気リコネクションを通して形成されたヘリカルな flux rope が上昇していることを示唆している。上空のヘリカルな構造と銀河面を結ぶ中性水素ガス及び分子ガスの分布が観測されていること等から、太陽コロナで観測される上昇プロミネンスに類似した現象が発生したと考えられる。

我々は、太陽プロミネンス形成の磁気リコネクション・凝縮モデルを銀河ガス円盤に張り、flux rope の下部に集積した 10^4K の星間ガスが冷えて凝縮することによって銀河系中心領域で発見された分子ガスループ (Fukui et al. 2006) に類似した構造が形成される可能性を 3次元磁気流体シミュレーションによって調べてきた。星間ガスの加熱・冷却を考慮した磁気流体シミュレーションの結果、銀河面から 100pc 程度の高さの低温高密度ループが形成されたが、磁気ループに沿う低温高密度ガスの落下速度が観測より小さく、低温高密度領域をより高く持ち上げることが必要なことがわかった。さらに、太陽物理学ではトーラス不安定性による磁場の急激な上昇がプロミネンス噴出に寄与していることが提唱されており、これと同様の現象が銀河でも起こることにより、分子ガスループや MeerKAT の観測から得られた構造を説明できるか議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Q13a ASTE による 800GHz 帯の C₁・CO 初期観測データの解析と考察

福井康雄, 河野樹人, 藤田真司, 佐野栄俊, 立原研悟 (名古屋大理), 浅山信一郎 (国立天文台)

チリに設置された国立天文台のサブミリ波望遠鏡 ASTE による 800 GHz 帯分光観測の初期観測データの提供を受けたので、その解析と考察について報告する。観測は国立天文台のチームにより 2019 年 10–11 月に行われ、オリオン KL 天体において CI (2–1)、CO (7–6) 遷移のデータが得られた。また巨大星団 RCW 38 についても CI (2–1) 遷移のデータが得られている。フロントエンドは ALMA Band 10 仕様の SIS 受信機を新規に広帯域化したものを用い、分光は WHFS デジタル分光計を使用した。ビームサイズはほぼ理論値 9'' に近いことが IRC+10216 の HCN メーザー観測によって確認された。以上の搭載作業や科学評価については別講演で報告される (浅山他、本年会)。また、ビーム能率等は目下 NANTEN2 等のデータと比較して評価中である。

OnTheFly によって観測されたオリオン領域の 4' × 8' の範囲のデータからは、従来に比して分子・原子雲の詳細な分布が広範囲で明らかになった。アウトフローを駆動する KL 天体、Ori θ¹・θ² 星等と相関する分子雲分布が克明に分解されている。さらに分子雲のメインリッジが、分子雲衝突から期待される U 字型を示し、その中央に KL 天体が位置することが明らかになった。すでに 45m 鏡の観測から 8 km s⁻¹ と 12 km s⁻¹ の 2 成分の分子雲が pc スケールで衝突し Ori θ¹・θ² 星等の O 型星を形成したというシナリオが提案されており (Fukui, Shimajiri et al. 2018)、今回の結果は 0.1 pc スケールで分子雲衝突が大質量星形成をトリガーしている詳細をとらえたものである。講演では、すでに得られている CI (1–0) (Izumi et al. 2020, in preparation)、CO (2–1) データとの比較解析についても、オリオンと RCW 38 の双方について報告する予定である。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Q14a ASTE 望遠鏡による CI(³P₁–³P₀), ¹³CO(J=3–2) データを用いた、Quintuplet cluster 周辺環境の研究

関健太郎, 榎谷玲依, 松永健汰, 立原研悟, 福井康雄 (名古屋大)

Quintuplet cluster は、銀河系中心部に存在する大質量星団である。系内の他の大質量星団と異なり、この星団は 132 km s⁻¹ という非常に大きな固有運動速度を持っており、周辺環境に様々な影響を及ぼすと考えられる (Stolte+14)。この星団の電離波面は sickle と呼ばれる PDR 領域であり、Pα などのショックトレーサーでは電離による柱 (pillar) 構造が見られる。これまで、先行研究で、CS(J=3–2) や Hβ 線の観測から sickle に付随する分子・電離ガスが発見されたが、それらの空間・速度の一致は悪く、その形成起源は詳しくわかっていなかった (Serabyn and Gusten 91, Lang +97)。今回我々は、この天体の周辺環境を詳細に探るため、ASTE 望遠鏡を用いて CI(J=1–0) ならびに ¹³CO(J=3–2) の観測を実施し、20 秒角を切る高分解能の原子・分子ガスのデータを取得したため結果を報告する。まず、全体的な傾向として、CI と ¹³CO は空間・速度分布ともに非常によく似ていることがわかった。これはオリオン A 領域で得られた結果と一致する (Shimajiri+13)。CI/¹³CO の比は概ね 1 程度であるが、速度 20–40 km s⁻¹ の領域では高くなることがわかった。次に、20–40 と 50–90 km s⁻¹ に 2 つのガス雲を発見した。これは Lang らの電離ガスの速度 (~70 km s⁻¹)、星団の星の視線速度 (~100 km s⁻¹; Liermann+09) とも概ね一致する。このガス雲は、東から北にかけてシェル状に星団を包みこむように分布し、星団に付随していると考えられる。さらに、アーカイブのデータと合わせて ¹³CO(J=3–2, 2–1, 1–0) の三輝線で LVG 解析を行った結果、特に 20–40 km s⁻¹ の速度帯で分子雲の温度が上昇していることがわかった。本講演では以上の結果をもとに Quintuplet cluster の形成起源と周辺環境に及ぼす影響についての考察を行う。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Q15a いて座 A における 20 km s^{-1} 雲と 50 km s^{-1} 雲の分子雲衝突

榎谷玲依, 松永健汰, 福井康雄 (名古屋大学)

分子雲同士の超音速の衝突 (cloud-cloud collision; CCC) は、ガスを効率的に圧縮することで星形成、特に大質量星の形成をトリガーする。このことは Habe & Ohta (1992) などを皮切りに数値シミュレーションによってよく示されている。また、近年、野辺山 45m 鏡などによる銀河面の広域・高分解能 CO サーベイによって CCC 天体の検出数は飛躍的に向上し、現在では 50 以上となっている。銀河系中心部は、分子雲の体積密度が高く頻繁に CCC が起こるため、CCC が領域全体の星形成率を左右する可能性がありその検証は重要である。しかしながらこれまでこの領域において CCC の系統的調査はなされてこなかった。我々のこれまでの探査により、1. 銀河面の天体において用いられてきた CCC の同定手法が銀河系中心部においても適用可能であること、2. SiO 輝線など、銀河系中心部の CCC に特有の特徴があることを見出した (Enokiya+2020 in press)。本講演では、活発な星形成を行っていることで知られるいて座 A 領域において、CCC の兆候を発見したので報告する。解析には、主として Ginsburg+15 にて得られた ^{13}CO ($J=2-1$) ならびに SiO ($J=5-4$) のデータを用いた。まず、この領域には銀河系中心核周円盤のガスが混ざり込んでいるためマスクした。補正後のデータに、Enokiya+2020 で使われた CCC の同定手法を用い、さらに赤外線画像との比較を行ったところ、高密度分子雲で知られる 20 km s^{-1} 雲ならびに 50 km s^{-1} 雲の間に CCC 天体に特徴的な相補的な空間分布、位置速度図上の V 字構造が見られた。相補分布のずれの量から見積もられる衝突経過時間は 10^{4-5} 年であり、 50 km s^{-1} 雲に複数見られる超コンパクト HII 領域の年齢と一致する (Uehara+19)。本講演では、これらの観測的証拠に基づきこの領域における星形成活動が CCC によってトリガーされた可能性について議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)[スケジュール \(全体\) に戻る](#)[講演者索引 TOP に戻る](#)Q16a 銀河系中心部の $l = 1^\circ.3$ 分子雲複合体における分子雲衝突 II

松永健汰, 榎谷玲依, 立原研悟, 福井康雄 (名古屋大学)

$l = 1^\circ.3$ 分子雲複合体は、銀河系中心部の中でも特に分子雲の速度分散が大きいこと、また、星形成をほとんど行っていないことで知られる領域である。我々は、この天体に Enokiya+19 の手法を適用することで分子雲衝突 (CCC) の兆候が見られることを示した (松永他 19 秋)。この領域の CCC は、磁気浮上ループと二つの分子雲軌道 (EMR と arm II) が交差することによって引き起こされると考えられ、衝突する二分子雲間の相対速度は $\sim 100 \text{ km s}^{-1}$ にもなる (Matsunaga+19 in prep.)。同じく軌道交差によって引き起こされ相対速度が 50 km s^{-1} を超える CCC 領域として、爆発的星形成領域 Sgr B2 がある (Hasegawa+94)。今回は、 $l = 1^\circ.3$ 領域と Sgr B2 との比較から、CCC によってトリガーされる星形成についての考察を行う。まず、CO と SiO のデータを用いて位置-位置-速度空間で両者を比較したところ、どちらも 20 pc 程度のコーン状のよく似た構造を持つことがわかった。一方ダスト分布の比較から、特に遠赤外線において、Sgr B2 は衝突領域で放射が最も明るくなっているのに対し、 $l = 1^\circ.3$ 領域ではむしろ衝突領域でだけ放射がなく空洞になっていることがわかった。両者の柱密度を比較すると、Sgr B2 では衝突する小さいほうの雲にて周囲に比べ柱密度の上昇が見られ 10^{24} cm^{-2} を超えるが、 $l = 1^\circ.3$ 領域ではむしろ小さい方の雲では柱密度が低く、 10^{22} cm^{-2} と二桁の開きがある。また、Sgr B2 における活発な星形成領域は柱密度が最も高い領域に集中していることがわかった。以上の結果を踏まえると、軌道交差点では CCC によってのちに星形成を誘発するような高密度分子雲の形成が促されるケースと、逆に CCC によってガスが散逸するケースがあることがわかる。それらを決めるのは、衝突する雲の初期密度であると考えられる。本講演ではこの点について観測・理論モデル両面から説明を試みる。

[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](#)

Q17a 電離領域 Sh2-231, Sh2-233 の星形成

藤田真司, 河野樹人, 榎谷玲依, 大野峻宏, 逆井啓佑, 佐野栄俊, 立原研悟, 林克洋, 福井康雄, 山田麟 (名古屋大学), 西村淳 (大阪府立大学), 鳥居和史 (NAOJ)

近年、大質量星を生む高密度ガスの形成をトリガーする機構として、原子ガス雲または分子ガス雲同士の衝突 (cloud-cloud collision, CCC) が大きく注目されており、すでに 50 を超える観測例が報告されている。その一つに、Perseus 渦状腕に位置する天体 Sh2-235 がある (Dewangan et al. 2017)。Sh2-235 は巨大分子雲 G174+2.5 (直径 > 50 pc) に付随する大質量星形成領域の一つである。巨大分子雲全体での星形成史を理解するために、我々は Submillimeter Telescope (SMT) によって取得された $^{12}\text{CO}(J=2-1)$ のアーカイブデータ (Bieging et al. 2016) を使い、Sh2-235 と同様に G174+2.5 に付随する電離領域 Sh2-231 と Sh2-233 における分子ガスの分布と運動を調査した。その結果、 $\sim 4 \text{ km s}^{-1}$ の視線速度差を持った 2 つの異なる分子雲が同定された。さらに、これら 2 つが CCC 天体の典型的な特徴である「相補的な空間分布」及び「位置-速度図上での V 字構造」を示すことがわかった。我々の同定した 2 つの分子雲が持つ視線速度は、Dewangan et al. (2017) によって衝突が示唆された分子雲らとそれぞれ一致しているため、G174+2.5 での大質量星形成のトリガー機構は数十 pc 以上のスケールの CCC が支配的であった可能性が高い。Sh2-235 に含まれている cluster の年齢は 3–5 Myr と推定されているのに対し、Sh2-231 と Sh2-233 にある cluster の年齢は < 2 Myr と比較的若いことが示唆されている (Camargo et al. 2011)。この年齢差は母体となった分子雲の形状による衝突の非同時性やガス密度の非一様性に起因していると考えられる。このような描像は W51 (Fujita et al. 2019) や NGC 6334/6357 (Fukui et al. 2018), Carina nebula complex (Fujita et al. in prep.) などの他の巨大分子雲でも同様に得られているものである。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Q18a 高分解能 H α で探る、小マゼラン雲の N84 領域における大質量星形成シナリオ

大野峻宏, 柘植紀節, 佐野栄俊, 立原研悟, 福井康雄 (名古屋大学)

大小マゼラン雲では、2 億年前に起きた両銀河の近接遭遇に起因するガス運動によって、現時点で星間雲衝突が起こり、R136, N44, NGC602 他の大質量星団が形成された可能性が指摘されている (Fukui et al. 2017; Tsuge et al. 2019; 大野他 秋季年会 2019; 前田他 秋季年会 2018)。今回はこれまでの研究の延長として、小マゼラン雲の N84 領域を含む $2 \text{ kpc} \times 2 \text{ kpc}$ の領域について水素原子ガス (H α) の観測データを解析したのでその結果を報告する。

本研究で用いたデータは、ASKAP による高分解能 ($35'' \times 27''$) の H α データ (McClure-Griffiths et al. 2018) である。

N84 領域の H α 雲は速度 130 km s^{-1} と 160 km s^{-1} の 2 成分からなり、両者の空間分布は大きく異なる。両者を詳しく比較し、空間的に相補的な分布を示すことを見出した。 160 km s^{-1} 成分は直径 500 pc 程度の空洞を持ち、 130 km s^{-1} 成分はその空洞に一致する相補的な分布を示す。電離 (H II) 領域 N84 はこれらの H α 雲の端に位置しており、H α 雲の強度減少部に一致することから物理的に付随していると見られる。さらに両速度成分間には速度的に両者をつなぐブリッジが見られる。

以上の知見に基づいて、我々は N84 が相対速度 30 km s^{-1} 以上で衝突した 2 成分によって、その形成がトリガーされたというシナリオを提案する。衝突の時間スケールは 1 Myr 程度と推定される。この結果は大小マゼラン雲の相互作用が大質量星形成をトリガーするという描像を強く支持する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Q19a 中間速度 HI 雲 IV Arch の重元素量

早川貴敬, 立原研悟, 福井康雄 (名古屋大学)

中間速度 HI 雲 (intermediate velocity cloud; 以下 IVC) は、中高銀緯に存在し、銀河回転に従わない $|V_{\text{LSR}}| \sim 20 - 100 \text{ km/s}$ の天体である。銀河円盤に由来するとも銀河系外に由来するとも言われている IVC の起源を考える上で、その重元素量は重要な手がかりとなる。我々は、*Planck/IRAS* による 353GHz のダスト光学的厚み (τ_{353}) を使って、ガス-ダスト比から IVC の重元素量を推定する手法を確立し、IVC+86-36 に適用した結果を報告して来た (Fukui, Hayakawa et al. 2018)。

IV Arch は銀経 $\sim 100 - 210$ 度、銀緯 $\sim 40 - 70$ 度にわたる大きな構造を持つ IVC 複合体である。本研究によって以下の点が明らかにされた。(1) IVC135+54-45 など一部の天体は低速度ローカル ISM と同程度の重元素量である (以下、「重元素が多い IVC」) 一方、IV Arch の主要部分の重元素量はその 1/3 程度である (「重元素が少ない IVC」)。(2) 「重元素が多い IVC」と「重元素が少ない IVC」はダスト温度も異なっており、別個の天体であることが裏付けられる。(3) 「重元素が多い IVC」は 3 次元減光マップ (Green et al. 2019) を使って距離約 200pc と推定された (これは低速度ローカル ISM とほぼ同じである)。「重元素が少ない IVC」の距離を特定することはできなかったが、過去に行われた吸収線の観測と *Gaia* DR2 で測定された背景星および (吸収線が検出されなかった) 前景星の距離 (Bailer-Jones et al. 2018) から、およそ 1kpc 以内だが「重元素が多い IVC」よりは明らかに遠方の天体であると予想される。(4) 「重元素が多い IVC」は 10^3 太陽質量、「重元素が少ない IVC」は 10^5 太陽質量と推定される。IV Arch の主要成分は、例えば噴水 (fountain) モデルで説明されるような銀河円盤由来の成分というよりは、むしろ銀河系外に起源を持つと言える。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)[スケジュール \(全体\) に戻る](#)[講演者索引 TOP に戻る](#)Q20a ALMA 高分解能観測で見た分子雲の縁における CO/C_I の構造

立原研悟, 福井康雄 (名古屋大理), 徳田一起 (大阪府大・国立天文台), 西合一矢 (国立天文台)

光解離領域のモデルから、CO 分子と中性炭素原子は層状に分布することが予想されるが、実際の観測では、 A_V が数 10 等級におよぶ領域でも、両者はよく混ざっていることが報告されている (例えば Shimajiri et al. 2013)。この理由として、星間雲は粒状の構造からなり、星間紫外線が内部まで効率よく浸透していることが示唆されている。また、圧縮された HI ガスは熱的不安定性により二相 (Cold Neutral Medium; CNM と Warm Neutral Medium; WNM) に分離し、その過程で微小な粒状またはフィラメント状の構造が作られることが、数値シミュレーションにより示されている (Inoue & Inutsuka 2012; Tachihara et al. 2019)。しかしそのような構造を観測的に捉えた例は、未だ報告されていない。我々は、これまでの ALMA 12m array + 野辺山 45m 鏡による CO ($J=1-0$) 観測 (立原他, 2018 年春季年会) に加え、距離 140 pc にある L204 分子雲の縁において、ALMA cycle 6 ACA standalone mode による CI ($^3P_1 - ^3P_0$) 微細構造線観測を行った。その結果、CI は 7m array (分解能 $2''.6$) ではほとんどの輝線は resolve out されており、TP array (ビームサイズ $13''$) でのみ検出された。CI 輝線強度は分子雲内部に向かって、滑らかに 1.5 倍程度上昇するが、同じ領域で CO 輝線は 1000 AU 以下のスケールで一桁程度の激しい強度変動を示す。水素密度はおおよそ $n(\text{H}_2) \sim 10^3 - 10^4 \text{ cm}^{-3}$ と推定され、そこでの CO 分子の存在量は、数 100 AU 以下のスケールで大きく変動している。すなわち、数 1000-1 万 AU スケールの CNM クランプの中に、数 100-1000 AU スケールの分子ガスの相転移領域が点在する姿が明らかになった。これは、CO の存在量が密度について敏感に変動することを示す理論計算結果によって説明できる。このような小さなスケールでは、CO よりも CI が密度のよいトレーサーであることが示す初めての観測結果である。

[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](#)

Q21a NRO 銀河面サーベイプロジェクト (FUGIN):BDI を用いた天の川銀河における分子ガス構造の解析

大塚宏樹, 久野成夫, 斎藤弘雄 (筑波大学), 梅本智文 (国立天文台野辺山), 長谷川哲夫 (国立天文台), 瀧崎智佳 (上越教育大学), 河野樹人 (名古屋大学), FUGIN チーム

これまでの銀河面の CO 観測の結果から、渦状腕と腕間でそれぞれ特徴的な分子ガスの構造が見られることが示唆されている。すなわち渦状腕では輝度温度が高くコンパクトな成分 (Bright 成分) が多く存在し、暗い部分とのコントラストが大きい。それに対し腕間では輝度温度が低く拡散した成分 (Diffuse 成分) が多い。この分子ガスの構造を定量的に評価するため、Sawada et al.(2012) では Diffuse 成分に対して Bright 成分の優位性を示す BDI(The Brightness Distribution Index) を導入した。BDI は Bright 成分と Diffuse 成分の相対量であり、分子ガスの量とはほぼ無関係な量であるが、分子ガスの構造を定量的に示すことができる。Sawada et al.(2012) では、GRS(Jackson et al.2006) のデータに BDI を適用し、高 BDI の領域は銀経-速度図上で H_{II} 領域が並んだ領域 (Sgr および Sct アーム) に沿って見られることを示した。これらを踏まえて、本研究ではより分解能の高い FUGIN データの ¹²CO(*J*=1-0)、¹³CO(*J*=1-0) の 2 輝線に BDI を適用し、銀河面の広範囲にわたる検証をした。さらに Sawada et al.(2012) では落とされていた、より Diffuse な成分も拾えるよう BDI の計算方法を改良した。その結果 ¹²CO と ¹³CO ではほとんど同じ傾向を示すことがわかり、銀河系において Bright 成分が集中する領域をより明確に示すことができた。また、¹³CO/¹²CO の輝線強度比と BDI を比較したところ同じ傾向を示す領域が多く存在しているが、W43 や M17 など、BDI や輝線強度では高い値を示しているのに対して、輝線強度比ではあまり高い値を示さない領域も存在することが分かった。講演では、距離による BDI 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](#)

Q22a 銀河系円盤部で発見された広速度分子ガス成分 CO 16.13–0.55 の起源

横塚弘樹, 岡朋治, 岩田悠平, 辻本志保 (慶應義塾大学), 竹川俊也 (国立天文台)

銀河系中心分子層 (CMZ) には、空間的にコンパクト ($d < 10$ pc) かつ非常に広い速度幅 ($\Delta V \geq 50$ km s⁻¹) を有する特異分子雲 (high-velocity compact clouds; HVCCs) が、現在までに約 80 個発見されている。それらの多くについて起源は未解明であるが、一部の HVCC では点状重力源との遭遇による重力散乱が有力視されている (e.g., 竹川他、日本天文学会 2018 年秋季年会 Q02a)。一方で、銀河系円盤部における広速度幅成分については、これまで一例の検出 (Bullet; 山田他、日本天文学会 2016 年秋季年会 Q36a) があるのみである。我々は、HVCC 様の広速度幅成分を銀河系円盤部で探査する目的で、野辺山 45 m 望遠鏡による CO *J*=1–0 輝線サーベイ (FUGIN)、および JCMT による CO *J*=3–2 輝線サーベイ (COHRS) のデータを精査した。その結果、60 個の広速度幅成分を発見した。うち 59 個は、他波長対応天体の存在などから原始星からの双極分子流起源と考えられる。

今回、銀河系円盤部で発見した広速度幅成分のうち、他波長対応天体を持たず起源不明な 1 天体 (CO 16.13–0.55) について詳細な解析を行ったので、その結果を報告する。CO 16.13–0.55 は、大きさ約 3 pc かつ特に広い速度幅 ($\Delta V \sim 30$ km s⁻¹) を有し、Scutum-Crux arm に付随する分子雲から生じている事が分かっている。またフィラメント状の空間構造が顕著であり、位置-速度図上においては「サボテン」状の特異な構造を示す。これらの特徴は、原始星からの双極分子流や超新星爆発、分子雲衝突などの過程で生じる広速度幅成分の特徴とは相容れない。一方で、母体と考えられる分子雲から見て正の速度側にのみ広速度幅成分が確認されることから、起源としては Bullet と同様な点状重力源の突入シナリオが有力視される。本講演では、CO 16.13–0.55 の詳細な解析結果を紹介し、空間・速度構造および物理状態から点状重力源突入シナリオの妥当性について議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Q23b 中性水素ガス衝突による大質量星団形成の理論的研究

前田龍之介, 井上剛志, 福井康雄 (名古屋大学)

銀河中のほとんどの星は星団の中で形成することが知られている (Lada & Lada 2003)。星団の中でも若い大質量な星団は Young Massive Cluster (YMC) と呼ばれ、その典型的な質量は $M > 10^4 M_{\odot}$ である。YMC はその数は少ないが一度に大量の星を形成し、超新星爆発・恒星風・紫外線といった現象で周囲の星間媒質に多大な影響を与える。YMC の形成機構はその重要性とは裏腹に長年謎に包まれていたが、近年の観測で中性水素ガスの高速衝突による星団形成の可能性が示唆された (Fukui et al. 2017, Tsuge et al. 2019)。本研究では上記の YMC 形成シナリオの理論的な側面を、自己重力・加熱冷却入りの MHD シミュレーションを行うことで検証する。今回は YMC 形成の理解の第一段階として“衝撃波で圧縮された領域は自己重力で束縛されたコンパクトな大質量ガス塊を作ることが可能か?”ということについて検証を行った。

前回の年会では観測で示唆される初期条件として、ガスの相対速度 100km/s かつ $1\mu\text{G}$ の磁場を衝撃波面に対し 45° の角度で入れた場合のシミュレーションを行い、実際に ($M \sim 10^4 M_{\odot}$, $L \sim 4\text{pc}$) 程度の cluster forming clump が衝撃波後面で形成可能であることを示した。本公演では前回のシミュレーションに加え、初期の金属量 $1, 0.2Z_{\odot}$ 、磁場強度 $1, 3\mu\text{G}$ の場合でシミュレーションを行い、衝撃波後面でできる cluster forming core の初期条件依存性を調べた。その結果、衝撃波後面でできる cluster forming clump の質量は金属量の違いで大きな差はないことがわかった。また衝撃波後面に形成される cluster forming clump は初期の磁場強度に大きく依存することもわかった。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Q24c 鹿島-日立 VLBI による核融合開始直後の大質量星に付随する極小 HII 領域の大規模探査

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

核融合開始直後の大質量星に付随する HII 領域は重力的に束縛されており、非常にコンパクトであると予想される。そのサイズは電離ガスに対する重力半径から 100 au 程度と見積もられる。このような極小の HII 領域を探査し、中心星の物理状態を調べることで、大質量星の進化理論に強い制限を与えることができる。しかし、大質量星形成領域のほとんどは 1 kpc 以遠に位置するため、見かけのサイズは 100 mas 以下となる。よって観測にはコンパクトな HII 領域を十分検出でき、なおかつ広がった天体を選択的に排除できる短基線 VLBI が適している。そこで、我々は空間分解能 89 mas を有する鹿島-日立 VLBI ($0.4 \text{ mJy}/1\sigma$ [8192-8704 MHz, 600 秒積分]) を用いて、既知の微弱電波源に対して大規模フリッジ検出探査を行なった。ターゲットは VLA5GHz 銀河面探査 CORNISH (Hoare et al. 2012) にて、Infrared-Quiet と分類されたものから点源であるものを抽出した 662 天体である。2019 年 12 月現在までに 255 天体の観測を行った。フリッジ検出数は 122 天体であった。検出天体の中には 100 mas スケールの HII 領域と同程度のフラックス ($\sim 4 \text{ mJy}$) を持つ天体が存在することから、極小 HII 領域の熱的放射が含まれていることが期待される。また、フラックス密度が 2.4 mJy ほどの非常に微弱な電波源も検出されている。2019 年 12 月には山口-日立 VLBI (分解能: 8.4 mas) による追調査も予定されている。今回は上記の探査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](#)

Q25a 「すぎく」と XMM-Newton 衛星で同時検出した地球周辺の電荷交換 X 線発光

伊師大貴 (首都大), 石川久美 (ISAS/JAXA), 江副祐一郎 (首都大), 三好由純 (名古屋大), 寺田直樹 (東北大)

近年の「すぎく」や XMM-Newton 衛星などの高感度 X 線観測により、地球周辺の電荷交換 X 線 (Charge eXchange, CX) 発光現象が確立してきた (Snowden et al. 2004 ApJ, Fujimoto et al. 2007 PASJ)。太陽風に含まれる重イオンが 10 地球半径以上に広がる希薄な超高層大気の中性物質から電子を奪い、その電子がイオン中で遷移する際に X 線輝線 (0.2–2 keV) を放出する。地球周辺 CX は天体観測の前景雑音として重要な上、太陽風観測衛星のデータを併用すれば、中性大気の密度分布や磁気圏内のプラズマ分布を知る惑星科学の新手段となる。

我々は「すぎく」衛星の全天体観測データと ACE などの太陽風データを用いた地球周辺 CX の大規模な系統解析を行い、全 3055 データから約 90 例の発光イベント検出に成功している (石川 天文学会 秋季年会 2013, 伊師 天文学会 春季年会 2017)。軟 X 線バックグラウンドの有意な時間変動を探し、なおかつ太陽風変動との相関を調べる (Ezoe et al. 2011 PASJ, Ishikawa et al. 2013 PASJ, Ishi et al. 2019 PASJ)。最も明るい発光が予想される磁気圏カusp方向でイベント検出率が高い傾向にあったが、「すぎく」衛星は近地球軌道のため、同様に明るくなる昼側磁気圏からの検出が難しい。地球周辺 CX の全体像を捉えるため、今回「すぎく」衛星で検出した約 90 例と観測時期が重なる XMM-Newton 衛星の約 200 データを解析した結果、約 20 データで同時発光する地球周辺 CX を検出した。昼側磁気圏でイベント検出率が高い傾向が見られ、これらはカuspを含む昼側磁気圏全体が明るく発光していることを示唆する。本講演では、「すぎく」と XMM-Newton 衛星で同時検出した地球周辺 CX 発光イベントをまとめ、発光の全体像及び特性を将来衛星 XRISM による検出と応用の可能性も含め議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Q26a ALMA による大マゼラン雲の超新星残骸 N49 の観測 (II)

山根悠望子, 佐野栄俊, 立原研悟, 福井康雄 (名古屋大学)

N49 (LHA 120-N49) は大マゼラン雲に位置する年齢 5000 年の超新星残骸 (SNR) であり、衝撃波–星間ガス相互作用の観点で注目される。我々はこれまでに、ALMA による $^{12}\text{CO}(J=1-0)$ 輝線観測を行い ($\delta\theta \sim 3'' = 0.8 \text{ pc}$)、SNR 南東部のシェルに沿った複数の分子雲クランプを特定した (Yamane et al. 2018, ApJ, 863, 55)。分子雲クランプ周辺では、シンクロトロン電波連続波および硬エックス線の増光が見られた。これらは衝撃波–星間ガス相互作用による磁場増幅や、プラズマ–低温分子雲間の熱伝導による過電離プラズマの生成で説明できる。もしこれらの解釈が正しければ、高励起 CO 輝線との比較を通して、衝撃波加熱・圧縮を受けた分子雲クランプを捉えることができるはずである (e.g., IC 443, Matsumura et al. 2017)。

今回我々は、ALMA 12-m アレイによる $^{12}\text{CO}(J=2-1)$ および $^{13}\text{CO}(J=2-1)$ 輝線データ (Band 6) の解析を行ったので報告する。従来の $^{12}\text{CO}(J=1-0)$ データと比べ 2 倍高い角度分解能 ($\delta\theta \sim 1.4'' = 0.3 \text{ pc}$) により、N49 に付随する 1–2 pc の分子雲クランプを十分に空間分解することができた。 $^{12}\text{CO}(J=2-1)$ 輝線の分布は、南東シェルに沿った粒状成分と、そこから南側に伸びた 2 本の紐状分布を持つ成分に大別される。 $^{13}\text{CO}(J=2-1)$ 輝線強度は極めて弱く、粒状成分の一部からのみ検出された。また、CO 2–1/1–0 強度比をみると、SNR シェルに沿う粒状成分のみ有意に強度比が高い (> 1.2) ことが分かった。これは銀河系内の SNR 衝撃波による加熱・圧縮を受けた分子雲の性質と矛盾しない (e.g., Seta et al. 1998; Sano et al. 2017; Kuriki et al. 2018)。以上の結果を踏まえ本講演では、SNR N49 に付随する分子雲の物理状態 (運動温度、水素分子個数密度) を克明に提示し、大小マゼラン雲 SNR における今後の研究方策について論じる。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Q27a 大マゼラン雲の重元素量分布と銀河間相互作用

柘植紀節, 佐野栄俊, 立原研悟, 福井康雄 (名古屋大学)

大マゼラン雲は、銀河系に比べて重元素量がやや少ない銀河であると考えられている。我々は先行研究 (Fukui et al. 2017, Tsuge et al 2019) において、*Planck*/IRAS 衛星のデータと H α のデータ (Kim et al. 2003) を用いて大マゼラン雲のガス・ダスト比を求めた。*Planck* 衛星は感度の高いサブミリ波観測によってダスト放射を広範囲に観測しており、ガス・ダスト比を導くために適したデータセットである。その結果、同比が場所によって有意な差異を示し、大小マゼラン雲間の近接遭遇による両銀河間のガス交換によって同比が変動していることを指摘した。このような相互作用の存在は、理論研究によって示されているとおりである (Fujimoto & Noguchi 1990, Bekki & Chiba 2007)。

今回、大マゼラン雲全体の 7 度平方について約 24 分角の分解能でガス・ダスト比の分布を詳細に導いた。その結果、同比は銀河内でほぼ一桁に渡って変動していることを見出した。特にガス・ダスト比が高い領域は R136 を含む南東部の H α Ridge に集中しており、相互作用の結果と見られる青方偏移成分の分布とよく相関する。それ以外にも、西部にある N11 の東と西に約 1 度離れた部分にもガス・ダスト比が高い領域が存在することがわかった。特に前者は、小マゼラン雲起源のガスが流入した可能性が高い領域であり、先行研究の結果を支持する。一方、星のバーが存在する南西部ではガス・ダスト比が低く、ガス流入によってダスト量は変動していないと推定される。本研究結果は、ダスト放射の利用によって広範囲に渡り銀河の重元素量の変動が導かれることを実証したものであり、今後小マゼラン雲等にも適用する計画である。

[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 30 Doradus 複合領域における中性鉄輝線の調査 (2)

信川久実子, 山内茂雄 (奈良女子大学), 信川正順 (奈良教育大学), 佐野栄俊, 柘植紀節 (名古屋大学), 藤田裕 (大阪大学)

大マゼラン雲に存在する 30 Doradus 複合領域は大質量星形成領域であり、中心の大質量星団 R136 の周囲には、星間ガスに囲まれた複数のスーパーバブルが見つかっている。それぞれのバブルの内部は X 線プラズマで満たされている。これらは星風や超新星爆発で形成されたと考えられている。30 Doradus からはガンマ線も観測されており、宇宙線の加速現場である可能性が高い (Abdo et al, 2010, A&A, 512, A7)。我々はすざくによる観測データを用いて、R136 の西側にあるバブルの縁に、広がった中性鉄輝線放射の兆候を発見した (2019 年秋季年会)。中性鉄輝線放射は、分子雲と相関があった。すなわち、X 線か低エネルギー宇宙線が分子雲に当たって中性鉄輝線が出ていると考えられる。中性鉄輝線の光度を説明できるほど明るい X 線天体が存在しないため、宇宙線起源の可能性が高い。低エネルギー宇宙線は拡散しにくいいため、中性鉄輝線放射の近傍で加速されているはずである。すなわちバブルを作り出した星風または超新星爆発の残骸が加速源である可能性が高い。そこで我々はバブルの中を満たす X 線プラズマの性質も調査した。これらの結果に基づき、低エネルギー宇宙線の起源について議論を行う。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Q29a 超新星フィードバックの金属量依存性

奥 裕理, 富田 賢吾 (大阪大学)

超新星 (SN) によるフィードバックは、銀河内での星形成を制御する働きを持ち、銀河形成の物理プロセスの中で重要な役割を果たす。そのため、SN フィードバックと銀河形成の関係を理解することは、銀河形成の物理プロセスを理解する上で不可欠である。

銀河形成の物理プロセスを定量的に調べるためには宇宙論的流体シミュレーションが用いられるが、SN フィードバックの空間スケールは銀河のスケールに比べてはるかに小さいため、銀河形成シミュレーションでは SN フィードバックをモデル化する必要がある。SN フィードバックによるエネルギー、運動量を SN まわりの星間空間に応じて割り当てるモデルの構築のためには、多様な星間空間中の超新星残骸 (SNR) の進化を調べる必要がある。

本研究では、SN フィードバックのモデル化に向けて、MHD シミュレーションコード Athena++ を用いて 3 次元流体シミュレーションを行い、乱流のある星間空間中の SNR の進化を金属量依存性に注目して調べる。星間空間の金属量は場所や時間で変化し、金属量は超新星残骸の冷却速度に影響を及ぼすと考えられるので、金属量と SN フィードバックの関係を調べることは重要である。本講演では、超新星残骸の金属量依存性とその銀河形成シミュレーションへのサブグリッドモデルへの応用について議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Q30a 可視光減光量による銀河スケールの厚いダストディスクの発見

土橋一仁, 西浦慎悟 (東京学芸大学), 中西裕之 (鹿児島大学), 下井倉ともみ (大妻女子大)

本講演では、銀河系の厚いダストディスクの発見と、その起源について報告する。銀河系スケールでの大域的なディスク構造としては、数種類の星のディスク (e.g., Robin et al. 2003; Reylé et al. 2009) のほかに、CO 分子輝線でトレースされる高密度で薄い分子ガスディスクと、HI21cm 線でトレースされる希薄で厚い原子ガスディスクの存在が知られている (e.g., Nakanishi & Sofue 2003, 2006, 2016)。また、ダストディスクについては、分子ガスディスクに近いスケール高さをもつ濃密なディスクの存在が、遠赤外線ダスト放射のデータ解析から知られている (e.g., Drimmel & Spergel 2001; Robin et al. 2003)。

最近になり、2MASS, Gaia, Pan-STARRS といった大規模なデータベースを利用した銀河スケールでのダストの 3 次元分布の調査が、複数の研究グループにより行われている。これらのデータを入手して銀河面に垂直な方向 (Z 方向) のダスト分布を調べた結果、我々は、既に知られているスケール高さの小さい (~ 0.08 kpc) ダストディスクのほかに、より大きなスケール高さ (~ 0.5 kpc) をもつダストディスクを発見した。データの感度の制限のため、調査できた領域は太陽系近傍 (銀河中心から 8 ± 2 kpc の範囲) に限られているが、これらのディスクの Z 方向の広がりは、Nakanishi & Sofue (2016) により報告されている分子ガスディスクや原子ガスディスクよりもやや大きいか同程度である。よって、薄いダストディスクは分子ガスディスクに付随するダストディスクであり、新発見の厚いダストディスクは原子ガスディスクに付随するものであると考えられる。本講演では、これらのディスクのガス・ダスト比を調べるために行った Nakanishi & Sofue (2016) による全ガス (分子 + 原子) の 3 次元データとの比較解析についても報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Q31a 天の河銀河高温ガスハローによる高速電波バーストの分散指標への寄与

山崎翔太郎, 戸谷友則 (東京大学)

高速電波バースト (Fast Radio Burst=FRB) は、数ミリ秒の間 GHz 帯域で突発的に明るく輝く、謎の天体現象である。距離の指標である分散指標 (Dispersion Measure=DM, 視線方向の自由電子柱密度) が銀河系内電子から予想される寄与を大きく超過することから、銀河系外の天体現象であることが指摘されており、この予想は最近の FRB 母銀河観測により裏付けられている。天の川銀河内の DM の推定には、銀河のディスク構造に沿って分布する低温の星間ガス ($T \lesssim 10^4$ K) を考慮したモデル (Cordes & Lazio 2002; Yao et al. 2016) が広く用いられてきた。しかし実際には、低温ガスの寄与に加えて、銀河を取り巻くハロー状の高温ガス ($T = 10^6-10^7$ K) からの DM への寄与も正しく考慮する必要がある。

我々は、最近の銀河系内拡散 X 線観測に基づき、銀河内高温ガスハローの分布モデルを新たに構築し、これを元に全天での DM への寄与を定量的に見積もった。我々のモデルは (1) 銀河系の重力ポテンシャルと静水圧平衡にある球対称な等温ガスハロー ($kT \sim 0.3$ keV), (2) 観測された拡散 X 線放射強度 (Emission Measure=EM) の方向依存性を説明するために必要なディスク型の非球対称ハローの 2 成分で構成される。高温ガスハローの総質量 ($\sim 1.2 \times 10^{11} M_{\odot}$) は球対称成分が卓越しており、これは天の川銀河のダークマター総質量と、宇宙全体でのバリオン・ダークマター質量比 (Ω_b/Ω_m) に無矛盾である。我々のモデルは、全天で平均して 43 pc cm^{-3} 、全天では $30-245 \text{ pc cm}^{-3}$ の DM 寄与を予測する。このハロー DM の大きな方向依存性は、比較的近傍の FRB ($DM \lesssim 100 \text{ pc cm}^{-3}$) のサンプルを用いることにより、近い将来統計的に検証できる可能性がある。本講演ではさらに、任意の全天方向に対してハロー DM の推定を可能にする便利な解析公式を紹介する。

[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](#)

Q32a Diffuse X-ray Background Spatial-Fluctuation Anisotropy in Suzaku Observations

Yu Zhou, Kazuhisa Mitsuda, Noriko Y. Yamasaki (JAXA/ISAS)

We investigated the spatial power spectrum of unresolved X-ray background fluctuation in 0.2–2 keV energy band with *Suzaku*. Total 3 Ms exposure time observations are integrated for averaging with independent line-of-sights. For X-ray background above 0.7 keV, we measured a signal on the scale >100 arcsec, below which any spatial feature smears out due to the limitation of point spread function. To figure out the origin of the density fluctuation on that scale, we simulated *Suzaku* observations of resolved X-ray point sources in deep exposure of *XMM-Newton* COSMOS field. The power spectrum for unresolved X-ray background in simulation is in accordance with the measurement for real observations. This confirmed their extragalactic origin and suggests that the point-source-like AGNs and galaxies have made the main contribution to density fluctuation in 0.7–2 keV. Below 0.7 keV, the power spectrum flattens out, showing no significant clustering feature in scale range of several arc minutes. This is consistent with that foreground diffuse X-ray emission dominates the unresolved background emission instead of extragalactic point sources. In 0.2–0.4 keV, no sign of fluctuation up to 8 arc minutes is detected. This is also consistent with the local bubble and the Heliospheric solar-wind charge-exchange induced emission which we consider to dominate the emission in this energy band.

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

Q33a Cosmic Amorphous Dust : 地上に存在しない特異な物性を持つ新種のアモルファス物質が星間空間に存在する可能性

梨本 真志, 服部 誠 (東北大学), R. Génova-Santos, F. Poidevin (IAC, ULL)

遠赤外線からマイクロ波におけるダスト熱放射スペクトルのモデル化の精度を高めることは、星間ダストの理解の深化、また宇宙マイクロ波放射 (CMB) 前景放射成分の分離精度の改善に向けて極めて重要な課題である。遠赤外線からマイクロ波のダスト熱放射を物理的に動機付けされたモデルを用いて説明するため、我々はアモルファス物質の低温物性を記述する 2 準位系 (TLS) モデルに注目する。TLS モデルは観測されているダスト温度とサブミリ波帯でのスペクトルインデックスの逆相関を説明し、また 10–30 GHz 帯にピークを持った正体不明の anomalous microw ave emission (AME) の放射機構候補となり得ることが指摘されている。Nashimoto et al. (2019) によって TLS モデルに基づいたアモルファスシリケートダストは遠赤外線からマイクロ波の観測的な特徴を全体的に説明することができることが示された。本研究では TLS モデルをアモルファスシリケートダストとアモルファスカーボンダストの 2 成分に適応し、計算される強度・偏光 SED を観測と比較する。1 成分では AME の強度を再現するには偏光 AME が観測から得られる上限をわずかに超えてしまうが、アモルファスシリケートダストがサブミリ波の偏光放射を、アモルファスカーボンダストが AME を主に担うことで、*Planck* が得たサブミリ波の偏光強度を満たした上で AME の偏光度を下げるができる。AME の放射源となり得るこれらのアモルファスダストの熱容量、熱伝導度、誘電率は地上のアモルファス物質とは異なる性質を持つことが期待される。このような宇宙空間にしか存在しない特異なアモルファス性を有する固体微粒子を Cosmic Amorphous Dust (CAD) と呼ぶことを提案する。本講演では CAD に期待される性質について議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Q34b X 線天文衛星「すざく」で観測した彗星における電荷交換反応モデルの検証

鈴木 光, 江副 祐一郎, 沼澤 正樹, 伊師 大貴 (首都大), 石川 久美 (ISAS/JAXA)

彗星からの X 線は 1996 年、ROSAT 衛星によって検出され、彗星の中性大気であるコマと太陽風の高電離したイオンとの電荷交換反応の結果であることが分かっている。電荷交換反応とは、イオンが中性原子・分子から電子を奪う反応であり、イオンによって捕獲された電子が高いエネルギー状態から低いエネルギー状態に落ちるときに特定のエネルギーを持つ X 線輝線を放出する。電荷交換反応は銀河や銀河団、超新星残骸でも示唆されており、その輝度分布を知ることは広く宇宙物理にとって重要である。しかし、寿命の長い禁制線を含む発光強度や輝線比を知ることは地上実験では難しく、彗星は電荷交換反応の特性を知る格好の天体である。

そこで我々は 73P/Schwassmann-Wachmann3 (以下 73P/SW) の X 線天文衛星「すざく」による観測データを解析した。73P/SW は可視光等級で最大 7.71 等に達した明るい分裂彗星であり、2006 年に太陽と地球に最接近した際に 3 回の時期に観測され、露光時間は合計 65 ksec であった。0.3 – 0.8 keV のスペクトルは輝線の重ね合わせで再現でき、9 本の幅の狭いガウス関数でよく再現できた。エネルギー中心から、それぞれの輝線は C VI, O VII などに対応していることが分かった。我々はさらに天体からの電荷交換反応の最新モデルである AtomDB Charge Exchange model (version 1.0.2) と SPEX (version 3.05.00) CX model でフィットを行い、モデルの検証を行なった。結果、どちらもスペクトルをよく再現できたが、輝線比に違いが見られた。本講演ではこれらのスペクトル解析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](#)

Q35a 大質量星形成領域 Sagittarius B2(M) における CH₃NCO の検出

大野有紀, 荒木光典, 南賢明 (東理大), 小山貴裕 (東理大, 上智大), 高野秀路 (日本大), 久世信彦 (上智大), 住吉吉英 (群馬大), 築山光一 (東理大)

進化段階の異なる分子雲の化学組成を観測することにより、分子雲の化学進化を調べることができる。本研究では、ペプチド結合のもととなる NCO 骨格を有することにより前生物的分子と呼ばれる CH₃NCO (methyl isocyanate) に着目する。この分子の HNCO に対する存在量比 [CH₃NCO]/[HNCO] は、分子雲では少ないが彗星では非常に多いことが知られている。この比は彗星 67P/Churyumov-Gerasimenko では 4.33 (Goesmann et al. 2015)、分子雲たとえば大質量星形成領域 Sagittarius (Sgr) B2(N) では 0.02 - 0.03 (Halfen et al. 2015) である。そのため、分子雲から彗星に至るどこかの進化段階で CH₃NCO のインフレーションが起こると予想される。この解明のためには、化学進化の段階が異なる分子雲の研究が必要である。そこで今回は、大質量形成領域 Sgr B2(M) に注目し、(N) より進化の進んだ (M) における CH₃NCO の検出を試みた。野辺山 45 m 電波望遠鏡を用いて回転遷移 ($J = 10 \rightarrow 9, 11 \rightarrow 10, 12 \rightarrow 11, 13 \rightarrow 12$) を観測したところ、視線速度 $V_{\text{LSR}} = 66 \text{ km s}^{-1}$ をもつ 15 本の回転線を検出できた。回転温度を 30 K とおいて、柱密度は $(2.3 \pm 0.3) \times 10^{13} \text{ cm}^{-2}$ であった。これにより、Sgr B2(M) では $[\text{CH}_3\text{NCO}]/[\text{HNCO}] = 0.01$ と算出された。よって、Sgr B2(M) では CH₃NCO のインフレーションは見られない。今後、中小質量星形成領域なども含めて、さらに調査を深める必要がある。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Q36a すばる望遠鏡 MOIRCS と Gaia 衛星による銀河面拡散 X 線放射の起源探査

森鼻久美子 (名古屋大学), 辻本匡弘 (JAXA/ISAS), Poshak Gandhi (サウサンプトン大), 海老沢研 (JAXA/ISAS)

天の川銀河の銀河面に沿ってほぼ一様に放射する X 線放射に銀河面拡散 X 線放射 (以下、拡散放射) がある。見かけ上拡がったこの放射は、 10^8 K と高温の熱的放射で、その X 線スペクトルは高階電離鉄輝線を含む 3 本鉄輝線を持つ。その放射源は、1980 年代の発見以来長年議論されてきた。そのような中で、チャンドラ X 線衛星による深観測で少なくともバルジ方向においては拡散放射は、ほぼ暗い X 線点源の重ね合わせで説明できることが分かった (Revnivtsev et al., 2009)。我々はこれまで、バルジ領域の暗い X 線天体の種族を星間吸収の影響が小さい近赤外線を用いて探り、バルジ領域で K バンド 16 mag まで、暗い X 線天体の約 11% に近赤外線対応天体を見つけた (Morihana et al., 2012, 2013)。しかし、X 線データは銀河中心まで見通せているのに対して、近赤外線では十分な深さに達していない。

そこで我々は、すばる望遠鏡 MOIRCS でバルジ領域の近赤外線深撮像観測を JHKs バンドで行った。その結果、これまでより多い、視野内の X 線天体の約 47% に近赤外線対応天体を見つけた。対応がついた天体の X 線と近赤外線のフラックス比から X 線でハードな天体の多くは、磁場が弱い白色矮星連星系や一時的に質量降着率が低下した白色矮星連星系である可能性が高まった。さらに、近赤外線同定した X 線天体を Gaia 衛星データを用いて可視光同定を行い、拡散放射を構成する天体の空間分布を調べた。その結果、近赤外線、可視光の両方で同定された天体の多くは 2kpc 以内に存在すること、それらの X 線光度は active binary の典型的な光度と一致することが分かった。本講演では、上記の結果からバルジ領域での拡散放射の構成種族と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](#)

Q37a 銀河中心拡散 X 線放射の硬 X 線成分

信川正順 (奈良教育大学), 上田佳宏, 鶴剛 (京都大学), 森浩二 (宮崎大学), 他 FORCE チーム

銀河系内には点源に分解されない広がった X 線放射 (以後、GDXE) が存在する。「すぎく」他による観測により、GDXE は銀河中心 (銀河中心拡散 X 線放射=GCXE)、銀河面/リッジ (GRXE)、バルジ (GBXE) の 3 成分からなることがわかった。GBXE は「チャンドラ」の長時間観測により 80% が点源に分解され、「すぎく」によってその主成分が Dwarf nova (non-magnetic CV) であることが示された。一方で、3 成分は一見似たスペクトルを持つが鉄輝線バンドは明確に異なり、GCXE と GRXE は GBXE と同じように点源で説明できない。特に GCXE では、点源モデルに比べて鉄輝線 ($\text{Fe I K}\alpha$, $\text{Fe XXV He}\alpha$, $\text{Fe XXVI Ly}\alpha$) が強い。「INTEGRAL」や「NuSTAR」による 10 keV 以上の観測では、GCXE にはべき ~ 1.5 の power-law の形状を持つ非熱的硬 X 線成分が報告されている。この事実もまた、熱的なスペクトルを持つ CV などでは説明できないことを示唆する。強い鉄輝線と非熱的硬 X 線は銀河中心の活動性に由来する真に広がった成分であるだろう。 $kT \sim 10$ keV の高温プラズマや、低エネルギー宇宙線粒子による制動放射が考えられる。

鍵になるのは感度の高い硬 X 線観測である。「NuSTAR」による観測が行われ、銀河中心領域から ~ 70 個の点源が検出された。10 keV 以下では 1000 個超の点源が検出されているが、それに比べて 2 桁少ない。「NuSTAR」は点源感度が $L_X > 10^{33}$ erg s^{-1} と限られるためである。さらに、迷光の影響が強いため、広がった成分については観測が難しい。現在、我々は「NuSTAR」よりも角度分解能が良く、感度を向上させた X 線天文衛星「FORCE」を計画している。本講演では、硬 X 線を軸に GCXE 研究の現状と、将来の硬 X 線天文衛星を用いた観測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](#)

Q38a 豪州気球実験 SMILE-2+ の MeV ガンマ線光度曲線からみる銀河中心領域

水村好貴 (ISAS/JAXA), 谷森達, 高田淳史, 竹村泰斗, 吉川慶, 中村優太, 阿部光, 古村翔太郎, 岸本哲朗, 谷口幹幸, 小野坂健, 齋藤要, 水本哲矢, 窪秀利 (京都大学), 黒澤俊介 (東北大学), 身内賢太郎 (神戸大学), 澤野達哉 (金沢大学)

MeV ガンマ線帯域での宇宙観測は、元素合成の現場を直接観測できる唯一の窓として貴重で、超新星爆発および銀河進化の系統的研究や、銀河系内宇宙線起源など重要問題の解決が期待できる。特に、銀河中心領域や銀河面上に広がる拡散ガンマ線として、電子陽電子対消滅線 (511 keV) や ^{26}Al (1.809 MeV)、 ^{60}Fe (1.173, 1.332 MeV) のラインガンマ線が報告されているが、現状で得られている銀河面分布が不鮮明であるために陽電子の生成機構や放射性核種の生成候補天体について論争が続いている。

我々が開発を進める電子飛跡検出型コンプトンカメラ (ETCC) は、コンプトン反跳電子の飛跡を取得し個々のガンマ線事象に対して到来方向の決定が可能なおうえ、電離損失率や運動学条件を用いた高精度な雑音除去が可能であり、上記論争への決着が期待できるなど MeV ガンマ線における天文学を開拓できる。我々は、この ETCC を大気球に搭載し 2018 年春に豪州で SMILE-2+ 実験を実施した。SMILE-2+ 装置は、上空約 39 km で約 26 時間の水平浮遊観測を健全に行い、これまでの年会でその動作状況や初期解析結果、特に銀河中心領域からのガンマ線のライン成分・連続成分の検出を報告してきた。

本講演では豪州気球実験 SMILE-2+ で観測された MeV ガンマ線のライトカーブに着目し、銀河中心領域との関係を報告する。

[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](#)

Q39a 豪州気球実験 SMILE-2+ の MeV ガンマ線空間分布からみる銀河中心領域

吉川慶, 谷森達, 高田淳史 (京都大学), 水村好貴 (ISAS/JAXA), 竹村泰斗, 中村優太, 阿部光, 古村翔太郎, 岸本哲朗, 谷口幹幸, 小野坂健, 斎藤要, 水本哲矢, 窪秀利 (京都大学), 黒澤俊介 (東北大学), 身内賢太郎 (神戸大学), 澤野達哉 (金沢大学), 小財正義 (ISAS/JAXA), 荘司泰弘 (大阪大学)

数百 keV から数 MeV までのガンマ線帯域は、電子・陽電子対消滅線や放射性同位体からの核ガンマ線が観測できる唯一のエネルギー帯域である。このラインガンマ線を観測することで、元素合成機構や物質拡散のプロープとなる。実際に、COMPTEL や INTEGRAL が衛星観測を行っており、電子・陽電子対消滅線、 ^{26}Al や ^{60}Fe からのラインが銀河中心領域や銀河面から検出されている。しかし、撮像技術による不明確な系統誤差と、観測器筐体と宇宙線の相互作用による多量の雑音が原因で、高感度観測を困難であり、生成機構や起源天体を特定するには至っていない。特に INTEGRAL の観測による電子・陽電子対消滅線の分布のモデルは、銀河中心領域にハロー状に広がっており、他のどの波長帯とも似ていない分布となっている。ダークマターなどが起源として挙がっており、高感度観測による特定が期待されている。そこで、我々は、次世代望遠鏡として、電子飛跡検出型コンプトン望遠鏡を開発してきた。この望遠鏡は、コンプトン散乱における反跳電子の飛跡を測定することで、入射光子の到来方向を 1 光子ごとに 2 角で決定できるため、系統誤差の削減が期待でき、また粒子識別などの強力な雑音除去能力をもつ。2018 年にオーストラリアにて、この望遠鏡を搭載した気球実験 SMILE-2+ を行った。目的は、明るい天体の撮像による望遠鏡の撮像分光性能の実証である。高度 39 km、水平飛翔 26 時間に成功し、銀河中心領域を含む半天を観測することができた。本講演では、豪州気球実験 SMILE-2+ で観測された MeV ガンマ線の空間分布に着目し、銀河中心領域との関係を報告する。

[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](#)

R01a 統計平衡計算による NGC 3627 の bar-end における星形成活動性の起源の探求

柴田和樹(筑波大学), 渡邊祥正(日本大学), 久野成夫(筑波大学, 関西学院大学), 徂徠和夫(北海道大学, 筑波大学)

近傍銀河において、星形成が活発な領域と不活発な領域が存在する詳しい理由を明らかにすることは、近傍銀河研究における課題の一つである。そのために、星形成の材料となる分子ガスの物理状態を調べるのが重要である。NGC 3627 は、arm と比較して bar-end で星形成が活発であることが知られており、我々は南側の bar-end における分子ガスの物理状態を推定し、星形成活動性と比較した。ALMA で得られた CO(1-0)、CO(2-1)、 $^{13}\text{CO}(1-0)$ の輝線データから算出した強度比と、RADEX(Van der Tak et al.2007) を用いた統計平衡モデルを比較することで、最も星形成が活発と考えられる領域での運動温度と数密度が $T_K \simeq 30$ K、 $n_{\text{H}_2} \simeq 8.5 \times 10^4 \text{ cm}^{-3}$ と周囲より高いことが示された。先行研究では、異なる速度をもつ分子雲が arm と bar の境界で衝突していると考えられており(Beuther et al.2017)、この結果は衝突によって高密度となった分子ガスが自己重力によって収縮したことが、南側の bar-end における星形成活動の起源であることを示唆している(2019 年度秋季天文学会 R14b)。

今回我々は CO(1-0)、CO(2-1)、 $^{13}\text{CO}(1-0)$ の位置・速度図において、bar-end 付近の複数箇所でも 2 つの異なる速度成分を確認し、LVG 解析によって速度成分ごとの温度・密度を推定した。arm などの速度分散が小さい(~ 5 km/s) 位置では 10K、 $1 \times 10^2 \text{ cm}^{-3}$ 程度であるのに対し、速度分散が大きい(~ 30 km/s) 場所では、arm と比較して数倍高い値が見積もられた。速度分散が大きい位置の前後での値はそれより若干低いことから、衝突によって一時的に温度・密度が上昇している可能性が考えられる。この結果は、bar-end の複数箇所でも速度成分の異なる分子雲同士が衝突を繰り返すことにより、星形成活動が活発になっていることを示唆している。

[スケジュール\(セッション毎\)に戻る](#)

[スケジュール\(全体\)に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

R02a Simulating NGC4303 and NGC3627: Barred Spiral Galaxies – Interacting and Isolated

E. J. Iles, T. Okamoto, A. Pettitt –Hokkaido University

Understanding the formation and evolution of observable attributes in galaxies is important for deepening our knowledge of the properties and processes which govern physics in the universe. As such, there is a long history of research in this area, both through observations and numerical simulations. Here, results for a selection of Smoothed-Particle Hydrodynamic (SPH) simulations are presented to consider star formation properties in barred spiral galaxies through both interacting systems and in isolation. These have been performed using n-body SPH to evolve a stellar population and associated gas disk comparable to observational results for the specific, well-observed, systems: NGC4303 (isolated) and NGC3627 (interacting). Observational data constraints, in the form of galactic rotation curves and surface densities, were used to specify the simulation parameters. The simulation was evolved with sophisticated heating, cooling and stellar feedback acting on the gas. Morphology and star formation properties for each target system type were analysed and compared, both with respect to each-other and the corresponding observational literature. Through considering star formation features across each component of the disk – bar, arm, inter-arm regions – as well as the overall trends in each case, conclusions are drawn as to the impact of a central bar and effects arising from whether a galaxy is involved in an interaction or effectively isolated.

[スケジュール\(セッション毎\)に戻る](#)

[スケジュール\(全体\)に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

R03a Should we be asking molecular clouds how spiral arms are made?

A. Pettitt (Hokkaido University), C. Dobbs (University of Exeter), J. Baba (NAOJ), Y. Fujimoto (Australian National University), A. Habe (Hokkaido University)

Unveiling the processes governing star formation in nearby spiral galaxies is key to understanding their evolution, as well as the structure of our own Milky Way. How exactly spiral arms in particular impact the growth of the star forming interstellar medium is of key interest, as they act as concentrated sites of star formation activity. However, the exact nature of these spiral arms remains somewhat elusive, with numerous different theories developed to explain their existence and dynamics. We present results of hydrodynamical simulations of the star forming interstellar medium in disc galaxies subjected to different kinds of spiral perturbations. The goal is to investigate whether certain spiral theories leave an imprint on the resulting accumulation of dense gas into massive molecular clouds, such as altering their mass function or the magnitude of their velocity dispersion. We find that how a spiral is made has a very minimal effect in changing the cloud properties. So long as a grand design spiral arm exists, it will impact the cloud population in a very similar way, regardless of the origin of the arms. We do however find tentative evidence of a change in the magnitude of cloud angular momenta, being relatively highest in arms induced by a galactic tidal interaction and lowest when the arms are generated by instabilities in the disc that rapidly wind up over time.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

R04b Gaseous Disc in a Triaxial Dark Matter Halo

Ying Zhang(Hokkaido University), Alex Pettitt (Hokkaido University)

The origin of spiral arms is a long-standing problem in galaxy morphology, and is important for understanding the dense gas evolution. The gravitational potential of triaxial dark matter halos (DMH) is one factor thought to drive spiral arms but this is infrequently investigated. Due to the limited studies, whether triaxial DMHs could absolutely lead to arms forming in a gas disc or not remains questionable. We have conducted smoothed particle hydrodynamical simulations of a gaseous disc embedded in various different triaxial dark matter halos. We find that trailing spiral arms are easily produced. However, leading arms can also be induced in the inner disc but give way to trailing arms in the outer disc. In hot discs (above 10000K), leading spiral arms in the center survive and last well over 5Gyr. The activation function for the halo triaxiality is very important in producing arms, especially in the time to fully activate and its shape. We then compare these halo-driven spiral arms to those formed by other mechanisms, such as in galactic fly-by encounters.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

R05b 銀河シミュレーションによる、分子雲の衝突速度と乱流状態

堀江秀、岡本崇 (北海道大学)

銀河の進化を調べる上で、大質量星の形成や近傍のガスへの加熱などのフィードバックを考慮することは重要である。大質量星の形成を促進する重要なモデルの1つとして分子雲衝突がある。分子雲衝突では分子雲同士の衝突速度に依存して、大質量星が形成される割合が異なるという説がある。つまり、衝突によってガスを圧縮し、高密度にするためには、ある程度の速さで衝突しなければならないが、速すぎても衝突している時間が短すぎるために星は多く生まれない。したがって、分子雲の衝突速度について調べることは重要である。

本研究では、棒渦巻銀河のシミュレーションを行い、分子雲同士の衝突速度について解析を行った。ある時刻とその1 Myr 前での分子雲を Friends-of-Friends algorithm によって同定した。そしてそれぞれの時刻での分子雲を構成するガス粒子を比べることによって、衝突している分子雲を検出した。衝突速度は1 Myr 前での2つの分子雲の相対速度から計算した。

その結果、中心核領域を除いて衝突速度は $5 \sim 10 \text{ km s}^{-1}$ にピークをもち、 200 km s^{-1} まで広く分布した。また、衝突している分子雲の周りでの乱流状態について解析したところ、乱流が大きくなるにつれて衝突速度の分散も大きくなる傾向が見られた。これは速い速度での分子雲衝突は乱流状態が激しいところで起きやすいことを示唆している。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

R06b 輻射輸送計算による銀河円盤の電波帯疑似観測

田嶋裕太、大村匠、町田真美 (九州大)

渦状銀河の磁場は、電波連続波によって観測されており、その典型的な大きさは数マイクロガウス～数十マイクロガウスと考えられている。この銀河磁場の起源を明らかにする目的で、銀河ガス円盤に関する3次元磁気流体シミュレーションが行われている。しかし、数値計算からは密度や3次元磁場などの物理量を直接得ることができるが、直接観測と比較することはできない。近年、3次元の磁気流体数値計算によって得られた物理量から観測量である放射を導出し、観測と直接比較を目指す研究が行われている (e.g., Machida et al. 2018)。先行研究では、放射源までの回転量度 (RM) と波長の2乗の関係をを用いることで、各セルの放射を計算し、ストークスパラメータを導出している。その結果、RM 分布の渦状腕上の反転や、放射強度分布などを再現している。

本研究では、先行研究同様に町田ら (2013) の銀河ガス円盤の MHD 計算結果を用い、各セルでのシンクロトロン放射の放射係数に加え吸収係数を求め、偏波の輻射輸送方程式を解くことによって低温ガスがある場合に対応できるように拡張した。今回用いた数値計算データは吸収が小さい場合に相当するため、先行研究と同様の結果を導出できることを示した。また、観測とのより詳細な比較を行うためビーム消偏波の効果の計算も行ったのでそれ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](#)

R07b 棒渦巻銀河 M83 の渦状腕と棒状構造での分子ガスの密度構造の違い

八嶋裕 (1), 徂徠和夫 (1,2), 渡邊祥正 (3), 矢島義之 (1)(1:北海道大学, 2:筑波大学, 3:日本大学)

銀河における星形成の活発さの指標である星形成効率は銀河内部で一定ではなく、例えば、棒渦巻銀河では渦状腕に比べて棒状構造部で低くなっていることが知られている。また、星形成効率は分子ガス中に占める密度の高いガスの割合と正の相関があることが報告されており、棒状構造では分子ガスの運動が激しいために分子ガスが収縮しにくくなり星形成効率が低くなるなどの可能性が指摘されている。しかし、分子雲スケールでの分子ガスの収縮はまだはっきりとはわかっていない。そこで、渦状腕と棒状構造部では、分子ガス全体に対して分子雲になっている割合が異なるのか、あるいは分子雲コアのような密度の高いガスの割合に違いがあるのかどうかを近傍の棒渦巻銀河 M83 について調べた。ALMA 望遠鏡で得られた $^{12}\text{CO}(J=2-1)$, $^{13}\text{CO}(J=1-0)$, $\text{C}^{18}\text{O}(J=1-0)$ 輝線 (以下、それぞれ ^{12}CO , ^{13}CO , C^{18}O と表す) のデータを用いて、まず、 ^{12}CO のデータから分子雲複合体を同定し、その分子雲複合体内で ^{13}CO のデータから分子雲を同定し、その後、積分強度比を求めた。分子雲複合体内での $^{12}\text{CO}/^{13}\text{CO}$ 比は渦状腕で 4.2 ± 0.04 、棒状構造部で 6.5 ± 0.1 で渦状腕の方が棒状構造より低かった。一方、 $^{13}\text{CO}/^{18}\text{O}$ 比は、それぞれの領域で同定された分子雲の中で平均すると渦状腕で 5.3 ± 0.2 、棒状構造部で 5.4 ± 0.3 で両構造での違いは見られなかった。 ^{12}CO は希薄な分子ガスを含めた分子雲複合体を、 ^{13}CO は分子雲を、 C^{18}O は分子雲コアのような高密度の領域をそれぞれトレースすると考えると、渦状腕と棒状構造で分子雲複合体における分子雲の割合は渦状腕の方が棒状構造部よりも多いが、分子雲に対する分子雲コアの割合は変化しないことを示していると考えられる。これらの結果は、分子雲の形成、もしくは破壊には銀河内部の kpc スケールの運動が影響するが、分子雲コアのようなより高密度な領域には影響しない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](#)

R08b NRO レガシープロジェクト COMING(29):近傍銀河における星間ガス中の分子ガス率の動径分布

小松崎龍聖, 久野成夫, 田中隆広, 保田敦司, 中西勇太 (筑波大学), 宮本祐介 (国立天文台), 徂徠和夫 (北海道大学), 他 COMING メンバー

円盤銀河の円盤部では、星間ガスの大部分は原子ガス (H_I) と分子ガス (H_2) として存在し、星間塵の影響により、分子ガスは銀河の内側に、原子ガスは外側に多く分布している。星形成は分子ガスを母体として起こるため、全ガス中の分子ガスの面密度の割合 ($f_{mol} = \Sigma_{\text{H}_2} / \Sigma_{\text{H}_2 + \text{H}_I}$) の変化を動径方向で調べることで分子ガスが優位になる位置がわかり、星形成との関係を調べることができる。また、棒渦巻銀河では渦状腕に加え、棒状構造に沿って分子ガスが強く分布することで f_{mol} が高くなるが、渦状腕と比べ星形成はあまり起こっていないことがこれまでの研究によってわかっている。このように、 f_{mol} が銀河内の場所や銀河のタイプによってどのように変化するかを調べることは、星間ガスの性質や、銀河の中でどのように分子雲が生成され、その中で星が生成されるのかということを理解する上で重要である。本研究では、COMING プロジェクトの観測銀河のうち、14 天体 (うち SA:5, SAB:7, SB:1, pec:1) について、取得された $^{12}\text{CO}(J=10)$ 輝線データと H_I 21cm 線のアーカイブデータを用いて f_{mol} を測定し、動径方向における変化の傾向について調べた。その結果、多くの銀河において、これまでの研究で観測的に支持されている、全ガスの面密度が $10 M_{\odot} \text{pc}^{-2}$ 付近を超えると $f_{mol} \gtrsim 0.5$ となり、中心付近で ~ 1 に近づくということが確かめられた。また、棒状構造の有無やハッブルタイプによる分類では大きな違いは見られなかった。講演では上の結果の原因を考察するとともに、星形成率との関係や Elmegreen(1993) の f_{mol} を星間ガスの圧力、UV 放射の放射場の強さ、金属量から推定する理論との比較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](#)

R09c High angular resolution imaging of millimeter recombination line toward the NGC 253 nuclear starburst

中西康一郎 (国立天文台), 徂徠和夫 (北海道大), 中井直正 (関西学院大), 久野成夫 (筑波大), 松林和也 (京都大), 河野孝太郎, 安藤亮, 菅井肇 (東京大)

We will present ALMA high angular resolution imaging observation results toward NGC 253. Previous works with radio interferometers have already resolved the nuclear starburst into more than several star-forming clumps having diverse properties. However, there is still room for improving estimation of physical properties of the clumps by high angular resolution imaging which lead closer look into their nature and origin.

A radio recombination line ($H40\alpha$) and underlying continuum at 3 mm, which is presumably dominated by thermal bremsstrahlung, were observed. Both of them convey information about dense ionized gas produced by UV radiation from young massive stars. They little suffer from interstellar extinction, hence the observation is the optimal way to look into ionized gas at the heart of NGC 253 starburst.

Thanks to the high angular resolution, which corresponds with a spatial resolution well better than 10 pc, $H40\alpha$ emission is resolved into individual clumps as Ando et al. (2017) reported, and the peak positions show slight but significant offset from those of molecular emission lines. Electron temperature of the ionized gas clumps is estimated by 3-mm continuum to $H40\alpha$ line flux ratio, and it turns out that the value is still quite similar to those estimated in other galaxies by using the same approach.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

R10c Recovering extended structures in merger remnants

Junko Ueda (NAOJ)

Contrary to the classical scenario of galaxy merger in which an elliptical galaxy forms due to a major merger, some studies argued that some fraction of the merger would reemerge as a disk galaxy by forming an extended gaseous disk. In order to check this scenario, we conducted a CO (1-0) survey on local merger remnants with the ALMA 12m-array and found a high occurrence rate of molecular gas disks with various sizes. However, the ALMA data were taken using the 12m-array alone and they were clearly suffering from the missing flux problem. In order to correctly quantify the true size of the molecular disk and assess its relation to the stellar size, we have conducted follow-up CO (1-0) observations with ACA towards 14 merger remnants. By combining new ACA data with the existing 12-m array data, we find that the distribution of the molecular gas is more extended in the combined map than the 12-m array map. The average of missing flux is $\sim 40\%$, and, in the worst case, the missing flux is $\sim 55\%$. The fluxes are almost the same close to the galactic center between the 12m-array map and the combined map, but the flux measured from the 12m-array map becomes smaller than the flux of the combined map at larger radii. We re-estimate the size of the molecular gas disk using the combined maps, and present the comparison of the sizes of the gas disk with the stellar component.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

R11c 新たな GeV ガンマ線源 スターバースト銀河 Arp299 の検出

古田智也, 西嶋恭司, 櫛田淳子 (東海大理)

現在分かっている銀河系外の GeV ガンマ線源のほとんどが活動銀河核であるが、活動銀河核以外の系外 GeV ガンマ線源の一つとしてスターバースト銀河 (SBG: Starburst Galaxy) が知られている。SBG は高い星生成率と星間塵による星の光の吸収と再放射に伴う強い赤外線放射で特徴付けられる。一方、大質量星の重力崩壊に伴う超新星爆発の残骸は宇宙線の加速源であると信じられている。そのため、星生成率が高い SBG は超新星残骸を多く保有していると考えられ、同時に宇宙線密度も高いと推察される。宇宙線は星間物質と相互作用し、 π^0 崩壊を通してガンマ線を放出するため、星を多く作る豊富な星間物質と高い宇宙線密度を持つ SBG は通常の銀河よりも強い強度のガンマ線を放っているはずである。Fermi - Large Area Telescope (LAT) の 3 年間の観測データに基づく先行研究では多くの SBG について GeV ガンマ線探索を行い、4 天体から有意なガンマ線を検出するとともに、GeV ガンマ線光度と赤外線光度の準線形なスケール関係があることを報告している。さらに、そのスケール関係から LAT の 10 年間の観測によって 5 天体 (M 33, M 83, NGC 2146, Arp 220, NGC 3690) から GeV ガンマ線を検出することが期待できると予言していたが、その内、現在までに検出の報告がされたのは NGC 2146 と Arp 220 のみであった。我々は LAT の 11 年間の観測データを用いて、改めて SBG からの GeV ガンマ線の探索を行った。その結果、予言されていた天体の一つである NGC 3690 を含む Arp 299 の方向から GeV ガンマ線を検出することに成功した。得られた Flux (100MeV - 500GeV) は $1.04 \pm 0.39 \times 10^{-9} \text{ph/cm}^2 \text{s}$ であり、先行研究で報告された GeV ガンマ線光度と赤外線光度のスケール関係と矛盾のない結果であった。今回は、その Arp 299 からの GeV ガンマ線検出とその性質について報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

R12c 近傍の早期型銀河の球状星団系と親銀河の性質の関係

隈井泰樹 (熊本学園大学)

球状星団は、銀河形成時あるいは銀河進化の早い段階で形成されており、それゆえに球状星団系 (GCS) と親銀河の両者の性質の様々な関係は銀河形成や銀河進化の過程の解明の上で有力な手掛かりを与えることが期待される。近年、近傍の、特に早期型銀河について球状星団系と親銀河の双方の性質について精力的に研究が行われ、質・量共に優れた観測データが蓄積されて来ている。

今回、我々はそれらの観測データを様々な文献から収集し、近傍の早期型銀河での両者の性質の基本的な関係について新たな知見を得るべく統計的調査を行った。その主な結果は以下のようなものである。

(1) 内部運動において回転運動が相対的に優勢な銀河では、球状星団の総数と銀河光度の比 SN、GCS と銀河の星の質量比 SM^* 、および GCS とダークハローの質量比 SM の値は幅広い値を取るが、回転運動が劣勢な銀河ではこれらの値が小さなものは稀であるという傾向がある。GCS を blue/red population 別に見た時でも、これらの傾向には両者の間で顕著な差は見られない。

(2) Isophoto の形が boxy な銀河は diskly な銀河に比べて特に SM^* と SM の値が大きい傾向がある。この傾向は blue population でより顕著である。

(3) GCS での red population の割合 $fred$ は、isophoto の形が diskly な銀河の方が boxy な銀河より高い傾向にある。また、近傍に大きな銀河が存在する銀河の $fred$ の値は比較的小さな傾向にある。

本講演ではより詳しい結果を述べると共に、これらの新知見に基づいて、早期型銀河の GCS と親銀河の性質の関係の起源について議論する予定である。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

R13a NRO レガシープロジェクト COMING (28) : 空間分解した星質量-星形成率関係から見る銀河内部での星形成活動と分子ガスの割合

梶川明祐実 (1), 徂徠和夫 (1,2), 諸隈佳菜 (3), 竹内努 (4), 矢島義之 (1), 久野成夫 (2), 村岡和幸 (5), 宮本祐介 (6), 金子紘之 (6), Dragan Salak (2), 田中隆広 (2), 保田敦司 (2), 大森清顕 (4), Suchetha Cooray (4), 北條妙 (4), 施文 (4) (1:北海道大, 2:筑波大, 3:東京大, 4:名古屋大, 5:大阪府立大, 6:国立天文台)

銀河全体の星質量 (M_*) と星形成率 (SFR) の間には正の相関があることが知られており、この相関関係を持つ銀河は星形成主系列 (SFMS) と呼ばれている。これまでの研究より、星形成が非常に活発な銀河や現在ほとんど星形成を行っていないような銀河は SFMS から外れて分布することがわかっており、 M_* -SFR 平面上で銀河の全体的な星形成の段階を推測することができる。また、分光撮像観測の増加に伴い、銀河内部における星形成の進行過程を明らかにするために、銀河を空間分解して求めた星質量面密度 Σ_* -星形成率面密度 Σ_{SFR} 関係についても研究が進みつつある。本研究では、銀河中心から円環をとり、その Σ_* - Σ_{SFR} 関係を求めることで、銀河の中心からの距離に応じて星形成がどのような段階にあるのか調査した。我々は COMING で観測された銀河のうち 91 天体について SFMS を決定し、この SFMS からの SFR 軸方向のずれ (ΔMS) によって動径方向に対する Σ_* - Σ_{SFR} 関係がどのように変化するか調べた。その結果、全サンプル銀河の外縁部における Σ_* と Σ_{SFR} の間には良い相関が見られたが、 ΔMS が負の銀河、すなわち星形成が終息に向かっている銀河では、銀河中心部における SFR の減少が顕著であり、星質量に対する分子ガス質量の割合も SFMS 銀河に比べて 1 割程度減少していることがわかった。このことは、過去の星形成により分子ガスが消費されることで、銀河中心部から星形成が行われなくなっていること (inside-out quenching) を示していると考えられる。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

R14a ALMA による渦巻銀河 M33 の巨大分子雲の高分解能観測 (4) : 星形成が不活発な巨大分子雲の性質

近藤滉, 村岡和幸, 西村淳, 大西利和 (大阪府立大学), 徳田一起 (大阪府立大学/国立天文台), 瀧崎智佳 (上越教育大学), 三浦理絵, 西合一矢, 河村晶子, 鳥居和史 (国立天文台), 小野寺幸子 (明星大学), 久野成夫 (筑波大学), 立原研悟, 藤田真司, 福井康雄 (名古屋大学)

星間空間に多大な影響を及ぼす大質量星の主要な形成現場は巨大分子雲であり、その性質や進化を探ることは、銀河の進化の理解につながると考えられる。さんかく座銀河 M33 は比較的距離が近く (~ 840 kpc)、程よい傾斜角 (52°) を持つため、銀河の大局的な構造と巨大分子雲の進化との関係を探る上で重要なターゲットと言える。我々は M33 の北部に存在する 3 つの巨大分子雲 (GMC-8, GMC-16, NGC 604) に対して、ALMA を用いて空間分解能 ~ 1 pc で ^{12}CO 、 ^{13}CO の $J = 2 - 1$ 輝線等を用いて観測を行った (近藤他, 村岡他, 徳田他 2019 年秋季年会)。

本講演で主に紹介する GMC-8 は、総質量が $\sim 10^6 M_\odot$ 程度と M33 の中で最も質量の大きい巨大分子雲の 1 つであるが、H II 領域の付随がほとんど見られないため、大規模な星団形成へと至る前段階を調査する上で重要な天体である。 ^{12}CO の分布に着目すると、星形成活動が活発な他の 2 天体や GMC-37 (佐野他 本年会) は 10-50 pc 規模のフィラメント状構造が卓越していた一方で、GMC-8 では同様な構造は見られずむしろ半径 50 pc 程度の円形状に広がった構造が特徴的であった。また ^{13}CO で見られる比較的高密度なガスは、分子雲全体に離散的に分布しており、星形成領域やフィラメント領域に局在している他の天体とは対照的であった。GMC-8 はインターアーム領域に存在すると言われており、銀河スケールの強い力学作用を現在は受けていないことが大質量星/フィラメント雲形成が不活発であることを説明する可能性がある。

[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](#)

R15a スターバースト銀河 NGC 1808 における分子ガス, 巨大分子雲の性質

矢島義之 (北海道大学), Dragan Salak (筑波大学), 徂徠和夫 (北海道大学, 筑波大学)

銀河はその構造間で星形成に差異があり, その原因の一つとして分子雲の性質が付随する構造ごとに異なることが考えられる. そこで我々は銀河中心部でスターバーストを起こしている, 近傍 (距離 10.8 Mpc) の棒渦巻銀河 NGC 1808 について, アルマ望遠鏡の全アレイを用いて得られた CO($J=1-0$) 輝線のデータから, 銀河の領域ごとに大局的な分子ガスの状態や巨大分子雲 (GMC) の性質が異なるのかどうか調べた. まず領域間で 12m アレイのミッシングフラックスの割合を調べた. その結果, バーでは中心に近づくにつれミッシングフラックスの割合が 30% から 60% 程度に上昇していることが判明した. これはバーのオフセットリッジに沿って分子ガスが落ちてゆくにつれ, シアーや速度勾配のために分子ガスが次第に広がった成分へ転換している可能性を示している. GMC は ClumpFind (Williams et al. 1994) を使い, 169 個同定された. ディスク (半径 950 pc より外側) では CO-to-H₂ 変換係数に典型的な値 [$2.0 \times 10^{20} \text{ cm}^{-2} (\text{K km s}^{-1})^{-1}$] を用いたが, それより内側のバルジではより小さい $0.5 \times 10^{20} \text{ cm}^{-2} (\text{K km s}^{-1})^{-1}$ (Bolatto et al. 2013) を採用した. GMC の性質を銀河の領域間で比較したところ, バーの GMC は渦状腕のものよりもピリアルパラメータ (α_{vir}) が有意に高いことが分かった. これはバーにおける大局的な激しいガスの運動により, GMC の内部運動も活性化されていることを意味する. またバルジ内では, 銀河中心部に近づくにつれ, 有意に GMC の質量, 密度は上昇し, α_{vir} は減少する傾向が見られた. この結果は, GMC は中心部に落ちるにつれて分子ガスの降着が進み, その質量が増加するという Salak et al. (2017) の提唱と一致する. さらに GMC の密度も上昇し, 重力的不安定性が増しているため, 結果として銀河中心部におけるスターバーストが起きている一つの要因となっ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](#)

R16a NGC253 中心におけるループ状分子ガスの観測的研究

小西諒太郎, 村岡和幸, 大西利和 (大阪府立大学), 徳田一起 (NAOJ/大阪府立大学), 榎谷玲依, 福井康雄 (名古屋大学)

銀河中心部にはしばしば多量の分子ガスが含まれ, それらは空洞を持った構造を示すことが知られている. 特に棒渦巻銀河 NGC253 中心は, 先行研究によって複数のループ/シェル構造が確認されている. これらは超新星爆発 (SNe) 等の高エネルギー現象で形成され, 銀河進化を支えていると考えられてきた (e.g., Sakamoto et al. 2006). 分子ガスの空洞構造の起源に関する研究は銀河進化を理解する上で欠かせない. 本研究では NGC253 中心のガス分布と運動を調べた. NGC253 は距離 ~ 3.5 Mpc にあり, 銀河中心でスターバーストが進行している. 我々は ALMA の角度分解能 $\sim 2''$ の CO(1-0) データ (2012.1.00108.S) から分子ガスの質量を求め, 角度分解能 $\sim 0''.1$ の CO(3-2) データ (2015.1.00274.S) から分子ガスの分布を調べた. その結果これまでに認識されていなかったループ構造を 5 つ検出した. これらの起源を考察するために, SNe でループを形成するために必要なエネルギー (E_1), ループ内の力学エネルギー (E_2) を求めた. E_1 の導出はループの O5V 星の数 (Ando et al. 2017) を使い, 1 つの SNe で放出されるエネルギーを $\sim 10^{51}$ erg, そのエネルギーが分子ガスに作用する割合を 10% と仮定した. また, E_2 の推定には膨張速度とループのガス質量を用いた. $E_1 > E_2$ となるループは SNe で加速されたと説明できる. しかし, 3 つのループ (Loop1-3) では $E_1 < E_2$ となり, SNe では全てを説明できない. Fukui et al. (2006) では天の川銀河中心の 2 つのループ構造の起源を磁気浮上としている. そこで Loop1-3 が磁気浮上によって形成された場合に必要な磁場を見積もるといづれも ~ 4 mG となった. 天の川銀河中心には最大で ~ 10 mG の磁場が存在するため, NGC253 にも同程度の磁場が存在すると仮定すると, Loop1-3 は磁場によって形成された可能性がある.

[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](#)

R17a NGC1068 の off-nuclear メーザー分布領域における高密度分子ガスの物理状態

萩原喜昭 (東洋大学), Willem Baan (Netherlands Institute for Radio Astronomy - ASTRON, Xian-Jiang Astronomical Observatory)

22GHz 帯 (1.3cm) で放射する水メーザーの中には銀河系星形成領域の水メーザーに比べて数百万倍強力な光度を持つものがあり、メガメーザーと呼ばれる。水メガメーザーは、超巨大ブラックホール (SMBH) の周囲を取り巻く分子ガス円盤上や活動銀河核 (AGN) のジェット近傍に分布するものなどがある。Type 2 セイファート銀河 NGC1068 は多波長に渡り良く研究されている近傍の AGN である。中心核から噴出するジェットの複数の成分が、MERLIN や VLBI などの cm 波帯でマッピングされており、ジェット成分 C の近傍に分布する低光度の水メーザー (off-nuclear maser) の存在が知られる (Hagiwara 2017 年春季年会 S31c)。ミリ秒角分解能の VLBI 観測の詳細な解析より、成分 C 近傍のメーザー源の位置・運動が計測されている (森島他 2019 年春季年会 S17a)。我々は ALMA のアーカイブデータを利用して、30-40 ミリ秒角の高い空間分解能で観測された成分 C 付近の分子ガスを、HCN(J=3-2), HCO⁺(J=3-2), 及び HCO⁺(J=4-3) の輝線によりマッピングした。高密度ガスの指標として知られるこれらの輝線により NGC1068 の中心の SMBH 近傍に回転するパーセクスケールの分子ガストラスが ALMA で撮像されている (Imanishi et al. 2018 ApJL 853 L25)。解析の結果、メーザー源の位置はこれらの輝線が放射されるコンパクトな領域とほぼ一致することが分かった。また成分 C 近傍に HCO⁺(J=3-2) などで弱い速度勾配が検出され、さらに銀河中の各成分において輝線強度比を求めることができた。これらの結果が示す物理状態を知るために、RADEX を用いて解析した結果も議論する。

[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](#)

R18a ASTE による近傍棒渦巻銀河 M83 の sub-kpc スケール [CI](³P₁-³P₀) 輝線観測

保田敦司¹, 久野成夫¹, 宮本祐介², Dragan Salak¹, 中井直正^{1,3}, 瀬田益道³, 永井誠², 石井峻², 渡邊祥正⁴, 徂徠和夫^{1,5}, 橋本拓也¹, 田中隆広¹, 保坂智哉¹ (1: 筑波大学, 2: 国立天文台, 3: 関西学院大学, 4: 日本大学, 5: 北海道大学)

中性炭素原子 CI は、low metallicity 領域や high cosmic ray rate の遠方銀河などで、CO に代わる H₂ ガストレーサーとして有用であると期待されている。一方で、遠方銀河よりも銀河構造や分子雲の空間分解が容易な近傍銀河でさえ、高分解能かつ広範囲の CI 観測が CO 観測に比べて少ないため、分子雲の性質や環境が異なる様々な領域における CO との相関や、CI の H₂ ガストレーサーとしての性質の理解が乏しい。

我々は近傍棒渦巻銀河 M83 の銀河中心部から腕部にかけての領域 (150'' × 72'') を対象に、ASTE 望遠鏡を用いて sub-kpc スケール (~0.4 kpc) での [CI](³P₁-³P₀) (492 GHz、以下 [CI](1-0)) 輝線観測を初めて行った。さらに CO(1-0) 分布 (NRO45m, Kuno et al. 2007) と CO(3-2) 分布 (ASTE, Muraoka et al. 2009) を用いて、3σ 以上で検出されたピクセルごとでの CO(3-2, 1-0) と [CI](1-0) の積分強度分布と T_{MB} スケールのピーク温度分布を比較した。その結果、CO(1-0) と [CI](1-0) および CO(3-2) と [CI](1-0) の積分強度、CO(3-2) と [CI](1-0) のピーク温度には強い線形関係が見られた。一方で、CO(1-0) と [CI](1-0) のピーク温度では、銀河中心部と円盤部で線形関係の傾きが変化していることが明らかになった。また、[CI](1-0)/CO(1-0) 積分強度比・ピーク温度比は、(1) 棒部から銀河中心への方向、(2) 腕部の上流から下流への方向に対して上昇していることが明らかになった。一方で、[CI](1-0)/CO(3-2) ピーク温度比は、H_α 強度のピーク (H_{II} 領域) 付近で小さくなる傾向が見られた。本講演では、[CI](1-0) と CO との相関に着目して、上記の傾向と分子ガスの性質や環境との関連性について議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

R19a Spatially-resolved [CI] study in Arp 220

Junko Ueda (NAOJ), Tomonari Michiyama (KIAA/PKU), Toshiki Saito (MPIA), and Daisuke Iono (NAOJ)

While carbon monoxide has been widely used as a molecular gas tracer, recent observations demonstrate that atomic carbon [CI] is a good indicator of total molecular gas mass. Most of these results are, however, global characteristics averaged across whole galaxies. We thus investigate the spatially-resolved relation between [CI] (1-0) and CO (1-0) emission at 100pc scales in Arp 220 using ALMA. Arp 220 is a well-studied late-stage merger in the nearby universe and commonly used as a template for high- z starburst galaxies. We conduct pixel-by-pixel comparison between [CI] and CO, and find that the [CI] luminosity correlates roughly with the CO. However, the correlation are different between the two progenitors of Arp 220. This could be caused by the differences in the opacity, abundance ratio, AGN feedback, and excitation condition. We also find that the diffuse gas traced by [CI] is associated with the outflows in the western nucleus. The molecular gas mass estimated using the standard [CI]-to-H₂ conversion factor is several times larger than the previous measurement using the CO observations. These results suggest that the relation between [CI] and CO varies at 100 pc scales in at least extreme environment.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

R20a ALCHEMI survey: a comprehensive extragalactic spectra scan in an archetypal starburst galaxy NGC 253

Nanase Harada (ASIAA), Sergio Martín (JAO/ESO), Jeff Mangum (NRAO), and ALCHEMI collaboration

ALCHEMI, ALMA Comprehensive High-resolution Molecular Inventory, is one of ALMA Large Programs in Cycle 5. We cover the central molecular zone of a starburst galaxy NGC 253 (850 pc \times 350 pc) in most of the frequency range of 85-375 GHz. The center of NGC 253 hosts star formation with the rate of $2M_{\odot} \text{ yr}^{-1}$, which makes its interstellar medium property different from more quiescent galactic centers. Our data show rich chemical complexity, unprecedented in external galaxies. First, we will present an overview of the program by presenting observational settings, the details of the data products that we are able to provide to the community, and the spectra with high line densities. Second, we will introduce some early results of individual science projects. Our results show higher effects of UV radiation or cosmic rays due to the high star formation rate, higher temperature and density. We will also show isotopic ratios as an indicator of stellar processes, and detections of complex organic molecules.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

R21a スターバースト銀河 M82 の銀河風領域における重元素の輝度分布

八木雄大, 満田和久, 山崎典子 (宇宙科学研究所), 松下恭子 (東京理科大学)

活発な星生成がおこなわれているスターバースト銀河では、大質量星の超新星爆発に伴い、星内部で生成された重元素が、銀河風により銀河円盤境界から周辺領域へ輸送される。M82 は銀河系の近くにある典型的なスターバースト銀河であり、大規模な銀河風が発生している。M82 はほぼ横向き円盤銀河であるため、銀河面と垂直な方向に吹き出している高温電離ガスが、X 線により観測されている (e.g. Tsuru et al. 1997)。しかしながら、M82 の銀河円盤領域は多温度成分を含む複雑な系であり、その構造は理解されていない。

Ranalli et al. (2008) では、XMM-Newton の観測から、円盤近傍の銀河風領域において、O, Ne, Mg, Si, Fe の組成比には空間変動があると報告されている。一方、Konami et al. (2011) では、すぎくによる 2005 年の北側広域の銀河風領域の観測から、重元素組成比 O/Fe, Ne/Fe, Mg/Fe は空間変動しておらず、一定と結論しており、矛盾する結果となっている。それぞれ観測領域が異なる上に、高温ガスの温度のモデル化、相対組成比などさまざまな仮定が解析に用いられており、銀河風全体における正確な重元素の分布は明らかになっていないと言える。

すぎくは 2014 年に追加観測を行い、銀河風の北側領域で観測時間を約 2 倍とし、新たに南側領域も観測された。我々は南北方向の銀河風領域を、円盤領域からの距離ごとに分割し、各領域でのエネルギースペクトルを調べている。O, Ne, Mg, Si, S, Fe などの多くの輝線があり、単純な電離平衡プラズマ放射モデルの重ね合わせとしてフィットする手法では、3-5 温度成分を導入してもエネルギースペクトルは再現できず、またそれらを共存させる物理状態の根拠がない。そのため、まず重元素からの輝線ごとに強度を求め、放射の強い円盤領域からの漏れ込みを評価し、各領域での輝度を比較することで、より仮定によらない重元素の空間分布を明らかにする。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

R22a SuGOHI: Search for strong gravitational lenses from the HSC Survey

Anton T. Jaelani (Kindai University), Masamune Oguri (The University of Tokyo), Kenneth C. Wong (IPMU), Cristian E. Rusu (NAOJ), Anupreeta More (IUCAA), Alessandro Sonnenfeld (Leiden Observatory), James H. H. Chan (EPFL), Sherry H. Suyu (MPA), Issha Kayo (Toho University)

Strong gravitational lenses are valuable phenomena for studying astrophysics and cosmology, producing multiple images of a distant background source appears on the sky due to light rays being deflected by a massive compact object in between the source and an observer. Lensing is a unique probe of the (dark) matter distribution at large-scale and also can act as a natural telescope that magnifies the background sources, allowing for detailed studies of their properties at high resolution. The lens systems are needles in a haystack but thousands are expected to be discovered from ongoing large imaging surveys in the optical. At the present, over 300 strong gravitational lens systems have been discovered from early data release of the HSC Survey including highly compact galaxies. We discuss the different lens searching techniques that applied to and also present a summary of the latest science results of strong lensing from the HSC Survey 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](#)

R23a 渦状腕形成機構: スィング増幅によるエピサイクル位相の同期

道越秀吾 (京都女子大学), 小久保英一郎 (国立天文台)

スィング増幅は、渦状構造が速度剪断によって巻きつくときに、自己重力の影響により、その振幅が増幅される現象である (Goldreich and Lynden-Bell 1965, Toomre 1981). 非定常で腕の数が多い渦状腕構造の形成は、スィング増幅によって説明される可能性がある。また、土星の環の自己重力ウェイク構造の形成にも関係している可能性が指摘されている (Salo 1995).

これまで理論モデルと数値シミュレーションを用いて、スィング増幅の物理過程について調べてきた (Michikoshi and Kokubo 2014, 2016, 2018). Toomre (1981) は、渦状腕構造の振幅の時間発展を、振動数が時間変化する振動子としてモデル化することによって、スィング増幅について調べた。Michikoshi and Kokubo (2016) では、これを拡張したモデルを用いて運動を解析した結果、スィング増幅が発生している時、星のエピサイクル振動の位相が同期することを導いた。しかし、この位相同期現象はシミュレーションによっては確かめられていなかった。

そこで、本研究では、このエピサイクル振動の同期現象を無衝突局所 N 体シミュレーションによって調べた。星の軌道は、ガイディングセンター運動とエピサイクル運動に分離される。渦状腕構造が形成されるとき、ガイディングセンターの分布は一様に保たれる一方で、エピサイクル位相に顕著な構造が形成されることがわかった。これは、位相同期によって渦状腕構造が構成されることを示している。

さらに、この現象の物理的意味を理解するために、剪断を考慮した時間・空間相関関数を用いて、渦状腕の形成・破壊過程を調べた。本発表では、これらの結果より、3 体相互作用的な描像からスィング増幅の過程の検討を行う。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

R24a 渦状腕形成の素過程のシミュレーション

吉田 雄城 (東京大学/国立天文台), 小久保英一郎 (国立天文台/東京大学)

渦状腕形成は銀河の研究の中で大きな問題の一つである。銀河の渦状腕は星の個数密度が大きい領域である。渦状腕形成の理論研究では、物質波モデルと密度波モデルが立てられている。物質波モデルでは時間とともに銀河円盤の差動回転により渦状腕が巻き込んでしまうという問題点がある。これに対し密度波モデルでは巻き込みは発生せず、長期間渦状腕を維持可能なモデルとして考えられている。しかし近年の研究により渦状腕は破壊と形成を繰り返すことが示され、物質波モデルが再び注目されてきた。物質波モデルの過程としてスィング増幅 (Toomre 1981) が考えられており、これは leading の波が差動回転により trailing の波になり、その間に自己重力で密度が増幅されるという理論である (Julian & Toomre 1966)。また最近の N 体シミュレーション研究により、スィング増幅による渦状腕の形成が調べられており、恒星の軌道の位相が増幅時に収束することが確認されている (Michikoshi & Kokubo 2016; 2018)。

本研究ではスィング増幅の素過程を 3 体問題に還元して考える。周転円近似の下で摂動による散乱がもたらす恒星の軌道進化を数値計算で調べた。シミュレーションの結果から、周転円振幅が小さい時は初期位相に関わらず、散乱後の位相が収束することが分かった。逆に星の周転円振幅が大きいほど位相は揃いにくくなることも分かった。そしてこれらの結果から恒星軌道の位相が収束する条件を軌道要素から定式化し、実際の N 体シミュレーションの構造と比較する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

R25a N体シミュレーションによって示唆される高次のバー共鳴由来の Hercules stream

朝野哲郎, 藤井通子 (東京大学), 馬場淳一 (国立天文台), Jeroen Bédorf, Simon Portegies Zwart (Leiden Observatory)

Gaia mission は、Hipparcos mission 以来の大規模な位置天文観測計画である。Gaia Data Release 2 (Gaia DR2) では、約 13 億個の天体の年周視差・固有運動 (視線速度データがあるものは約 700 万個) が公開され、太陽近傍の星の位相空間分布が詳細に求められた。その結果、 $V_R - V_\phi$ 空間では、新たな moving group が見つかるとともに、Hipparcos 衛星の観測から既に知られていた Hercules stream の構造もより詳しく判明した。一方、理論的には、太陽近傍の moving group の起源について、銀河の棒構造や渦状腕の回転と星の軌道運動との共鳴によるモデル (例えば、Dehnen 2000, Hattori et al. 2018, Hunt & Bovy 2018) などが提唱されているが、完全な解明には至っていない。

本研究では、moving group の起源を調べる目的で、天の川銀河をモデリングした大規模 N 体シミュレーション (Fujii et al. 2019) のデータ解析を行った。シミュレーションスナップショットから Gaia の観測に対応する形で $V_R - V_\phi$ 空間の粒子分布を求めたところ、銀河中心からの距離 $R = 8$ kpc、バーの長軸から測った角度 $\phi = 20^\circ$ において Hercules stream に類似した分布が見られた。さらに、このストリームを構成している粒子の軌道解析から、それらの多くがバーの 4:1 共鳴、又は 5:1 共鳴に束縛された軌道を持つことがわかった。本講演では、以上を踏まえて $R - V_\phi$ 空間や $\phi - L_z$ 空間での共鳴軌道の分布を Gaia DR2 のデータと比較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](#)

R26a CfA・FUGIN による CO 観測データと銀河系 3 次元理論計算の比較による銀河系内部構造の研究

渡邊祐也 (筑波大学), 久野成夫 (筑波大学), 和田桂一 (鹿児島大), 馬場淳一 (国立天文台)

天の川銀河は中心部に棒状構造をもつ渦状銀河「棒渦巻銀河」というタイプに分類されると考えられている。しかし我々が天の川銀河の内部に存在しているため、その構造を直接観測することが困難であることから、渦状腕などの銀河系の構造を知ることは難しい。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し、動力学構造や物質循環、形成進化過程、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、という研究が進められている (Baba et al. 2017)。Baba et al.(2017) のシミュレーションの結果を CO 銀河面サーベイの観測データと比較することによって、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。

本研究では、現在の天の川銀河の力学構造を再現していると考えられる N-body/SPH シミュレーションデータを元に、観測者の位置をモデル銀河の内部に設定し、視線方向に輻射輸送の式を計算することで、CO の観測データと直接比較可能な銀経-速度図を作成し、ハーバード・スミソニアン天体物理学センター (CfA) による銀経 $\pm 180^\circ$ の範囲にわたる CO 輝線サーベイデータ (Dame et al. 2001) と FUGIN プロジェクトによる同データ (Umemoto et al. 2017) との比較を行った。その結果、観測者の位置を変更した中で実際の観測データに合致すると考えられるシミュレーションデータが決定され、Central Molecular Zone や molecular ring といった、銀経-速度図において特徴的な構造に似た構造を再現することができ、それらの構造の銀河円盤上での形を確認することができた。本講演ではシミュレーションデータの解析過程や観測データとシミュレーションデータにおける構造の差異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](#)

R27a すばる望遠鏡 Hyper Suprime-Cam を用いた銀河系中心方向のダスト減光の研究

鈴木大介 (宇宙航空研究開発機構), 福井暁彦, 越本直季 (東京大学), 住貴宏 (大阪大学)

銀河系中心方向 ($|b| \sim 5$ deg) のダスト減光は、可視光においては OGLE チームによる重力マイクロレンズサーベイデータを用いて調べられてきた。より銀河面に近い領域 ($|b| < 2$ deg) では、IRSF、VISTA、*Spitzer* などによる近赤外線を用いた観測により、近赤外線でのダスト減光量が調べられてきた。しかし、銀河面付近においては減光が強いため、可視光ではこれまで観測がされてこなかった。また、 $b \sim -2$ deg 付近において、可視光で測定された減光量と、従来の減光則を用いて近赤外線での減光量から推定した可視光での減光量は一致しないことがわかってきている。このように、銀河面付近における可視光での減光量、減光則はよくわかっていない。将来計画である *WFIRST* や JASMINE、PRIME による近赤外線サーベイ観測は、銀河系中心の減光が強い領域を対象としており、これらの領域における可視光での追加観測等の検討を行うためには可視光における減光量、減光則を明らかにする必要がある。本研究では、すばる望遠鏡 Hyper Suprime-Cam の $g, r2, i2, z$ -band を用いて、銀河系中心方向の約 30 平方度を撮像観測した。これらのデータと VISTA VVV Survey データの結果を合わせて解析し、色等級図から Red Clump Giant の色、明るさを求めることで、銀河系中心方向の銀河面における高精度のダスト減光マップを作成できると期待される。本講演では解析の進捗について報告する。

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

R28a S0-2 近点通過時のすばる望遠鏡による分光観測データを用いた銀河系中心ブラックホール周囲の暗黒質量の総量への制限

孝森洋介 (和歌山高専), 斉田浩見 (大同大), 西山正吾 (宮城教育大), 高橋真聡 (愛知教育大), 大神隆幸 (甲南大)

銀河系中心には太陽質量の約 400 万倍の質量を持った巨大ブラックホールがあり、その周囲には S 星とよばれる恒星たちが周回運動している。その運動がケプラー運動でよく説明できることから、ブラックホールの周囲にある暗くて見えていない質量 (暗黒質量) の総量に対して、0.01pc 内に中心ブラックホール質量の 1% 程度という制限がつけられていた。2018 年には、S 星の一つである S0-2 (約 16 年周期) が、中心ブラックホールに最接近 (0.01pc ほど) するという大きなイベントがあった。欧米のグループは、S0-2 に対して、位置観測と分光観測を同時に行っており、それらの観測データから、0.01pc 内の暗黒質量は中心ブラックホール質量の 1% 未満というこれまでより強い制限を示した。我々は、欧米グループとは独立にすばる望遠鏡による近赤外分光観測を S0-2 に対して 2014 年から行っており、2018 年には、S0-2 の近点通過イベントを観測することに成功した。そして、そのデータを用いて、暗黒質量がある場合の S0-2 の軌道モデルに対してカイ 2 乗を計算し、暗黒質量のない場合のベストフィットモデルのカイ 2 乗と比較することで、暗黒質量の総量に上限をつけることを試みた。その結果、0.01pc 内にある暗黒質量の総量は、巨大ブラックホール質量の 1% 未満という制限をつけることができた。このことは、2018 年の S0-2 の観測において、分光観測のデータが暗黒質量の総量に強い制限を与えていることを示している。また、暗黒質量の分布のモデルとしては、(1) power-low モデル、(2) 球状星団モデルの 2 つを検討し、どちらのモデルでも 1% 未満という制限がつくことが分かった。

[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](#)

R29a 銀河系中心巨大ブラックホール近傍の赤色巨星の金属量測定

西山正吾, 唐朋央, 五林遥, 栗原駿 (宮城教育大), 齊田浩見 (大同大), 孝森洋介 (和歌山高専), 高橋真聡 (愛知教育大), 大神隆幸 (甲南大)

銀河系の中心にある巨大ブラックホール (SMBH) のごく近傍 (< 0.1 pc) には、多数の晩期型巨星がみつまっている。これらの星の高分散分光観測はまだ行われておらず、その金属量も測定されていない。私たちは金属量を測定することで、これらの星の起源や年齢を調べたいと考えている。もしこれらの星が古い ($>$ 数 Gyr) のであれば、力学的に緩和している可能性が高い。SMBH 近傍で力学的に緩和した星は、cusp を形成すると予想されている (Bahcall & Wolf 1976)。SMBH 近傍の星の dynamics を理解する上でも、興味深い観測対象である。

私たちはすばる望遠鏡と IRCS、AO188、レーザーガイド星システムを用いて、銀河系の中心にある SMBH 近傍の星の観測を行った。観測対象は SMBH から 0.1 pc 以内にある 2 つの晩期型赤色巨星である。星間減光の影響が大きいため、近赤外線 K バンドで高分散 ($R \sim 20,000$) スペクトルを得た。Starkit (Kerzendorf & Do 2015) を用いて、得られたスペクトルとモデルスペクトルとを比較した。その結果、二つの巨星の金属量は、 $[M/H] \approx 0$ であることがわかった。この値は、これより外側にある星の平均的な値とおおよそ一致している。これは、SMBH から 0.1 pc 以内の星の金属量を測定した、初めての研究である。

[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](#)

R30a Sub-millimeter Detection of a Galactic Center Cool Star IRS 7 by ALMA

Masato Tsuboi (ISAS), Yoshimi Kitamura (ISAS), Ryosuke Miyawaki (J.F. Oberlin Univ), Takahiro Tsutsumi (NRAO), Atsushi Miyazaki (JSF), and Makoto Miyoshi (NAOJ)

The Nuclear star cluster (NSC) is a bright star cluster within 0.5 pc of Sgr A*, which was found by IR observations. The NSC contains several tens of Wolf-Rayet and OB stars. IRS 7 is a strong IR star which is located at $5''.5$ north of Sgr A*. Although IRS 7 has been thought to be a member star of the NSC, this is classified into an M supergiant star according to IR spectroscopy. In radio wavelength, IRS 7 has been observed as a half-shell like feature with north extension. However, IRS 7 itself does not has been detected although early-type stars in the NSC have been detected in radio wavelength. The continuum emission from the photosphere should increase with increasing observation frequency because this emission is optically thick thermal one. The line to continuum ratio of Hydrogen recombination lines should also increase with increasing frequency. Then the observations in millimeter or sub-millimeter wavelengths are suitable to detect these. The point-like emission of IRS 7 itself was identified in the continuum map at 340 GHz by ALMA. This is the first sub-millimeter detection of a cool star in the NSC. The flux density is $S_\nu = 448 \pm 45 \mu\text{Jy}$. The flux density suggests that IRS 7 has the radius of $R \sim 1000 R_\odot$, which is consistent with the previous GRAVITY measurement. We also detected the half-shell like feature with north extension in the H30 α recombination line by ALMA. The kinematics of the ionized gas would support the hypothesis that this feature is a cometary-like structure made by strong UV radiation and/or stellar wind from early-type stars surrounding Sgr A*.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

S01a The jet and resolved features of the central supermassive black hole of M87 observed with EHT

Makoto Miyoshi(NAOJ), Yoshiaki Kato(RIKEN), & Junichiro Makino(Kobe Univ.)

We report the result of our image reconstruction of the center of the giant elliptical galaxy M87 from the public data released by the Event Horizon Telescope Collaborators (EHTC). Our result is quite different from the image published by EHTC. Differences include (a) we found the jet structure which is consistent with previous lower-frequency observations in the scale of a few mas, while EHTC reported none detection of any jet component, and (b) we did not find any ring-like structure at the core, but just two features with the separation of $89 \mu\text{as}$. The two features may be a binary of SMBHs. Further EHT observations are required for identification. We could obtain the ring-like structure similar to that reported by EHTC by limiting the field of view to a narrow box, but which is very fragile. The absence of the jet and the presence of the ring in EHTC result are both artifacts due to their insufficient calibrations and the EHT array's u-v sampling bias effect.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

S02a 多波長の一般相対論的輻射輸送計算：ブラックホール・シャドウと電波から X 線・ガンマ線までの輻射スペクトル

川島 朋尚 (国立天文台), 大須賀 健 (筑波大学), 高橋 博之 (駒澤大学)

昨年、イベント・ホライズン・テレスコープ (EHT) により M87 楕円銀河中心のブラックホール (BH) シャドウが初めて観測された。光子リングの観測により BH 質量は太陽質量の約 65 億倍と見積もられ、これまで不定性の大きかった BH 質量に初めて強い制限がつけられた。一方で、BH のスピンの大きさや、ジェットの出機構、事象の地平面近傍の降着流のダイナミクス、プラズマのマイクロプロセス等といった多くの謎が残されている。今後、EHT による電波観測データと X 線・ガンマ線までの様々な波長の観測データを精緻に組み合わせることによりこれらの謎に迫る、BH 研究の新たな時代が到来することが予想される。

そこで、われわれは多波長の一般相対論的輻射輸送コード RAIKOU を用いて、BH シャドウのイメージを含む電波から X 線・ガンマ線までの多波長スペクトル計算に着手した。RAIKOU には、シンクロトロン放射・吸収、制動放射・吸収、コンプトン・逆コンプトン散乱といった BH 近傍で重要な連続線の輻射過程が組み込まれており、BH 降着流・ジェットにおける多波長の輻射スペクトル計算が可能である。

まず、いて座 A* の降着流から期待される輻射スペクトルを、RIAF (Radiatively Inefficient Accretion Flow) の簡易的なモデルである Keplerian Shell モデルを用いて計算した。その結果、BH が高速回転すると電波光度に対する X 線・ガンマ線光度の割合が大きくなることがわかった。特に降着流に対して BH のスピンの逆回転のときに、この効果はより顕著に現れる。発表では、一般相対論的磁気流体シミュレーション・データを用いた多波長輻射輸送計算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](#)

S03a 活動銀河核ジェット的一般相対論的理想 MHD 近似解の構築

荻原大樹, 當真賢二 (東北大学)

活動銀河核ジェットにおいてシンクロトロン放射を担う加速電子の注入機構は未だ不明である。ジェットはブラックホールを貫く磁力線が降着流などの圧力によって収束され形作られると考えられている。ブラックホール近傍でジェット内の磁場は非常に強く、周囲のプラズマ粒子はジェット内に拡散し侵入することができない。また、ブラックホールからも物質は供給されない。一般相対論的電磁流体シミュレーションではこのような超低密度になる領域の密度の定量的評価は難しい。我々は、ジェットの放射構造を解析的に再現することでジェット内の密度分布を制限を与えることを目的とした研究を行っている。先行研究では、ジェットの縁が明るい limb-brightening 構造は定常軸対称かつ電磁場のエネルギー密度が物質の静止エネルギー密度より十分大きいという条件下でのシンクロトロン放射強度分布計算モデルで再現されることを示した (Takahashi et al. 2018, Ogihara et al. 2019)。しかし、このモデルではブラックホール近傍での注入機構の議論に必要な一般相対論的效果は考慮されておらず、また、上記の条件下では流体の速度を求めることができないためドリフト速度を与えていた。本講演では、新たに構築したジェットの定常軸対称一般相対論的理想 MHD 近似解について発表する。シミュレーション結果と整合的な電磁場構造を用いて流体の運動を解析的に求め、シミュレーションでは定量的評価が難しいジェット駆動領域での密度分布について議論する。この近似解を基に輻射輸送計算を実行すれば、将来のブラックホール近傍のジェット撮像観測と比較し、加速電子の注入機構を精査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](#)

S04a 電子イオン 2 温度磁気流体計算による 3 次元 AGN ジェット伝搬数値実験 : FR-II ジェットにおけるローブ圧/外圧に対するイオンの寄与

大村匠, 町田真美 (九州大学)

大質量ブラックホールの重力エネルギーを駆動源に噴出する活動銀河中心核 (AGN) ジェットは、これまでに多くの高エネルギー放射が観測されている。FR-II 型の AGN ジェットの特徴的構造であるホットスポットと電波ローブは、ジェット先端衝撃波による粒子加速と下流の熱化されたガスがシェルと呼ばれる先端衝撃波が通過した銀河団間 (ICM) ガスと圧力平衡となるまで膨張することで形成される (e.g., Scheuer 1974)。しかし、FR-II の代表格であるはくちょう座 A の東ローブにおける X 線と電波観測結果は、ローブ圧力がシェル圧力よりも低いことを示している (de Vries et al. 2017)。この観測結果は輻射を出さないイオンの圧力がローブ圧に大きく寄与していることを示唆するものであるが、ジェットは高温かつ希薄なプラズマであるためイオンと電子それぞれの熱進化をたどる必要がある。

そこで、AGN ジェットを模した 3 次元高解像度ジェット-ICM 相互作用 2 温度数値実験を行い、電子とイオンの熱エネルギーそれぞれの空間的・時間的進化を調査した。初期条件は、銀河団ガスの密度分布を表す一般的なモデルである β モデルを採用した。また、散逸エネルギーの電子とイオンの分配率として、太陽風の観測結果を再現する衝撃波と磁気乱流の 2 つの sub-grid モデルを併用した (Kawazura et al. 2018; Vink et al. 2015)。計算の結果、イオンは衝撃波加熱と乱流加熱においてともに優先的な加熱を受けることによって、ローブ中のイオンは電子と比べ 10 倍高いエネルギーを計算終了時刻まで保ちつづけることがわかった。その結果、ガス圧ではローブ圧とシェル圧が釣り合うが、電子圧力で見るとローブ圧がシェル圧よりも低い状況になりうることもわかった。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

S05a 活動銀河ジェット根元から終端にいたる磁場強度の系統解析と示唆

伊藤颯一郎, 片岡淳 (早稲田大学)

活動銀河核 (Active Galactic Nucleus; AGN) ジェットでは、上流でノットと呼ばれるコンパクトな集積、また下流の終端部ではホットスポットやローブといった特徴的な構造が散見される。これまで、個々の構造に関しては多くの観測や議論がなされてきたが、ジェットの根元から下流にいたる物理量を統一かつ有機的に結びつける試みはほとんど行われていない。とくに、磁場強度がジェット軸に沿ってどのように変化するかはジェットの生成や加速、収束に直接関わる重要なヒントを与えることが期待される。そこで、先行研究では電波銀河 Centaurus A のノットに着目し、 $10^4 r_s$ から $10^8 r_s$ (r_s はシュワルシルド半径) の広い範囲で $B \propto d^{-0.88 \pm 0.14}$ の関係があることを明らかにした (Tanada et al. 2019)。

本研究では、FRI型電波銀河、FRII型電波銀河、クェーサー、ブレイザーのいずれかに分類される約50天体のAGNのジェット構造を調べることで、Mpcスケールでジェットの磁場と距離の関係に対して議論を行った。電波のフラックスをもとに合計100以上のノット、ホットスポット、ローブに対して平衡磁場を求め (Kataoka & Stawarz 2005; Zhang et al. 2010; Croston et al. 2005)、それらがジェットの根元からの距離と反比例の関係にあるか比較を行った。ノットに関しては、ジェットの見かけの速度から見積もったドップラー因子を使用することで、相対論的效果による影響を補正した。その結果、ノットとローブに対しては、磁場とジェットの根元までの距離が反比例しているという結果を得ることができた。一方で、ホットスポットのみがその関係から外れて磁場が高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](#)

S06a Coronal Magnetic Activity in nearby Active Supermassive Black Holes

井上芳幸 (理研), 土居明広 (宇宙研), Dmitry Khangulyan (立教)

We report the detection of coronal radio synchrotron emission from two nearby Seyfert galaxies using ALMA, VLA, and ATCA. The coronal magnetic field of both systems is estimated to be ~ 10 G on scales of ~ 40 Schwarzschild radii from the central black holes. This magnetic field strength is weaker than the prediction from the magnetically heated corona scenario. We also find that coronae of Seyferts are composed of both thermal and non-thermal electrons. By considering various particle acceleration processes, we find these non-thermal particles are likely to be accelerated by diffusive shock acceleration. Such non-thermal activity in Seyferts can explain the cosmic MeV gamma-ray and TeV-PeV neutrino background fluxes. We further discuss the possible neutrino production mechanism in NGC 1068, a nearby type-2 Seyfert galaxy, which is reported as the hottest neutrino spot in the 10-year survey data of IceCube.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

S07a サブ秒角からマイクロ秒角の角度分解能の X 線撮像を目指す MIXIM：近傍活動銀河核の観測に向けて

林田清, 朝倉一統, 野田博文, 米山友景, 岡崎貴樹, 中田諒, 松本浩典 (阪大), 粟木久光, 寺島雄一 (愛媛大), 川口俊宏 (尾道市大)

我々はサブ秒角からマイクロ秒角の高い角度分解能を可能にする新たな原理の X 線撮像方法、多重像 X 線干渉計 (Multi Image X-ray Interferometer Method; MIXIM) を発案した (Hayashida et al. 2016, 2018)。格子と X 線ピクセル検出器と組み合わせた単純な構成のマルチスリットカメラで、タルボ干渉効果を利用してシャープな像を得る。現時点までの地上実験で、0.08 秒角の角度分解能を達成している。この値は、X 線天文用撮像装置としては世界最高である。MIXIM は、格子の周期 d と格子検出器間距離 z の間に、 $md^2/\lambda=z$ (ただし m は整数で、 λ は X 線の波長) の条件を保ったままスケールアップすることで、超小型衛星で可能なサブ秒角の分解能から、LISA と同等の 250 万 km の編隊飛行で可能なマイクロ秒角まで、原理的には実現できる。X 線天文学としては未踏破の 5 ケタの高角度分解能領域が射程に入る。集光力がない、視野が狭いといった制限も考慮すると、近傍の活動銀河核の、トーラス、降着円盤、コロナ、そして事象の地平線がターゲットになる。特に、 $z=0.5-100\text{m}$ 、つまりサブ秒角から 0.01 秒角の角度分解能では、トーラスの空間分解が第一目標になる。同程度の分解能では、ALMA をはじめとするサブミリ波の観測が多くの成果をあげており、近赤外干渉計も期待される。次期 X 線天文衛星 XRISM の超高精度分光も実現する。その中で、X 線空間分解観測の意義をあらためて確認するとともに、現実的な装置規模 (MIXIM ユニット数) で可能な観測計画を紹介する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

S08a 回転天体の重力レンズ方程式の導出とその活動銀河核マイクロスコープとしての応用可能性

服部 誠、梨本真志 (東北大学)

有限の角運動量を持つ天体は、一般相対論的効果である慣性系の引きずりを伴う。回転天体周辺を通過する光線の観測者への到達時刻が、この効果により変化する。この変化量は光線の経路に大きく依存する。例えば、天体回転の順方向の経路を辿る光線は到達時刻が早まるが、逆方向の経路を辿る光線は逆に遅れる。このことは、重力レンズ効果で複数に分裂した像間で順方向の経路を辿った像と逆方向を辿った像で、この効果の影響に大きな質的な差が出ることを示唆している。そこで、慣性系の引きずり効果を考慮した重力レンズ効果を世界で初めて考察した。フェルマーの原理を用いて、重力レンズ方程式を導出した。その結果、順方向を辿る像のコースティックと逆方向を辿る像のコースティックの分裂が起きることを示した。これをマイクロスコープとして応用し、現在の技術では分解できない活動銀河核の微細構造を研究するツールとして活用する可能性について検討する。レンズ天体中の星によるマイクロレンズ効果をマイクロスコープとして応用する従来の手法との違いについても時間があれば議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

S09a 那須電波干渉計が捉えた 2019 年の Cyg X-3 巨大フレア

大師堂経明, 坪野公夫 ((一社) 電波天文学研究会), 遊馬邦之 (朝霞高校), 貴田寿美子 (早稲田大学), 岳藤一宏 (NICT), 新沼浩太郎, 青木貴弘 (山口大学)

2019 年に那須電波干渉計が捉えた Cyg X-3 の巨大フレアについて、前回秋の学会発表に引き続き、その詳細およびその後の経過等について報告する。

那須電波干渉計では、2019 年 4 月中旬にアンテナ角度を新しい赤緯に受け、毎日のサーベイをスタートした。2019 年 4 月 18 日に突然増光を始めた Cyg X-3 を捉えた。その後約 1ヶ月にわたってフレアが続いたが、その中で 2 度の大きなピークが見られた。

電波フラックスの最大ピーク値は 1.4GHz において 8Jy にも達するものであった。これらが終了後は当分活動が休止すると思われたが、1 回目のフレアが沈静化してから 1ヶ月後の 6 月 18 日に、再度激しいフレアが始まった。これは 2 週間程度で沈静化したが、短期間で 2 度のフレア出現というかつてない現象を観測することができた。これらのフレア活動はマイクロクエーサーの中心核への周囲からの物質の降着やジェットの出射メカニズムに関わっていると考えられるが、これらのダイナミクスを解明することが今後の課題である。

その後の Cyg X-3 の観測是那須電波干渉計において毎日実施されているが、これまでのところ目立った変化は見られない。X 線やガンマ線における沈静期 (Hypersoft/Quenched 状態) の後に急激なガンマ線バーストや電波フレアが起きることが示唆されているため、今後は多波長にわたる連携観測も重要になる。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

S10a ALMA による銀河系中心核 Sgr A* の 230 GHz 帯光度変動解析

岩田悠平, 岡 朋治 (慶應義塾大), 坪井昌人 (ISAS/JAXA), 三好 真, 竹川俊也 (国立天文台)

銀河系中心核 Sgr A* は、 $4 \times 10^6 M_{\odot}$ の質量を持つ超大質量ブラックホールと考えられており、電波、赤外線、X 線にわたりその光度が変動することが知られている。Sgr A* は短ミリ波帯で特に明るく、数 Jy 程度で観測される。Sgr A* の電波帯での光度変動は、数時間スケールのものが確認されているが、それよりも短いタイムスケールの変動については、観測の難しさもあり未だ議論が続いている。このような光度変動に関する研究は、Sgr A* の放射メカニズムの解明や、ブラックホール時空の理解にもつながるため、非常に重要である。

今回我々は、ALMA Cycle 5 による 230 GHz 帯における Sgr A* とその周囲の観測データ (2017.1.00503.S, PI:M. Tsuboi) を解析し、Sgr A* の光度変動について調べた。217, 219, 234 GHz の 3 つの spectral window について、約 1 分の時間間隔で作成した Sgr A* のスナップショットから、70 分間の光度曲線を 10 日分得た。変動のタイムスケールを調べると、1 時間以上の大局的な変動の中に、数十分スケールの変動を確認した。Sgr A* の質量では、その最内安定円軌道の周期は数十分程度であるため、この短時間の変動は降着円盤の内縁付近での軌道運動に起因する可能性がある。また、217 GHz と 234 GHz のライトカーブから得られたスペクトル指数は、そのフラックス強度に依存して変動することがわかった。講演では、本結果を他波長でこれまでに得られた特性と比較し、議論を行う。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

S11b How far is the real distance between Sgr A* and IRS 13E3?

Masato Tsuboi (ISAS), Yoshimi Kitamura (ISAS), Ryosuke Miyawaki (J.F. Oberlin Univ), Takahiro Tsutsumi (NRAO), Atsushi Miyazaki (JSF), and Makoto Miyoshi (NAOJ)

Galactic Center IRS 13E3 would be located at considerably farther than the projection distance from Sgr A*, ~ 0.13 pc. In the 2019 Autumn Annual Meeting, we reported the detection of the rotating ionized gas ring around IRS 13E3 in the continuum emission at 232 GHz and H30 α recombination line using ALMA Cy.5 observation (2017.1.00503.S, P.I. M.Tsuboi). The structure is seen as an inclined linear feature in the position-velocity diagram along the major axis. Such a feature is usually a defining characteristic of a gas ring rotating around a massive object. The rotating velocity and orbit radius are estimated to be $V_{\text{rot}} \simeq 230$ km s $^{-1}$ and $r \simeq 6 \times 10^{15}$ cm, respectively. The enclosed mass is derived to be $M_{\text{encl.}} \simeq 2.4 \times 10^4 M_{\odot}$, which agrees with an IMBH. There is the astrometric upper limit mass of the IMBH around Sgr A*, which depends on the real distance from Sgr A*. The real distance is very important to study the IMBH. However, it is unlikely that the real distance is nearly equal to the projection distance. We would attempt to estimate it by spectroscopic informations. IRS 13E3 also has the ionized gas stream which is extended to south. We detected a highly excited CH₃OH emission line in the stream. CH₃OH molecule is easily destroyed by cosmic ray around Sgr A*. This is also why the CH₃OH emission line is very weak in the Circumnuclear Ring. Therefore the detection of the CH₃OH emission line suggests that the stream is located at farther than at least 1 pc from Sgr A*. If the stream is associated physically with IRS 13E3, it is also located at a similar real distance.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

S12b M87 ジェット根元の局所的な電子陽電子対プラズマ注入領域からの放射は EHT で観測されたリング・イメージを再現するのか？

川島 朋尚 (国立天文台), 当真 賢二 (東北大学), 紀 基樹 (工学院大/国立天文台), 秋山 和徳 (NRAO/MIT), 中村 雅徳 (ASIAA), 森山 小太郎 (MIT)

昨年、イベント・ホライズン・テレスコープ (EHT) により M87 楕円銀河中心のブラックホール (BH) シェドウが初めて観測された。この観測では、明るい非対称リング・イメージは光子リングであることが尤もらしいと結論づけられたが、様々な可能性の理論的な検証が今後の課題として残されていた。

そこで、われわれはジェット根元のプラズマ注入領域が見えている可能性に着目した。過去の 22, 43, 86GHz 等の VLBI 観測では周波数が高くなるにつれてジェットの最上流が見えており、EHT の 230GHz の観測でジェットの最上流が見えた可能性を検証するためである。プラズマは、しばしば電子陽電子対の注入領域と予想される、よどみ面 (ジェット内部でインフローとアウトフローに別れる境界領域) の底にリング状に発生すると仮定した。

一般相対論的な輻射輸送計算の結果、よどみ面からのリング状放射イメージは、観測者に向かってくる approaching jet 側と観測者から遠ざかる counter jet 側の 2 つのリング状放射イメージと、光子リングの複雑な組み合わせで現れることがわかった。スピンの速くなるにつれて、よどみ面の位置は BH に近づくため、上記のリング状イメージは重なっていく。しかし、EHT2017 データの空間分解能で 1 本の明るいリングに収束するまでには至らなかった。したがって、ジェットのよどみ面における極めて単純なプラズマのモデルを仮定するだけでは、EHT で観測されたリング状イメージを説明することは難しいという重要な知見が得られた。今後より現実的なモデルを構築し、検証していく必要がある。

[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](#)

S13b High resolution imaging of the molecular torus in NGC 1052 with VLBI

Satoko Sawada-Satoh (Yamaguchi University), Seiji Kamenon (JAO/NAOJ), Do-Young Byun, Sang-Sung Lee, Se-Jin Oh, Duk-Gyoo Roh, Jae-Hwan Yeom, Dong-Kyu Jung, Chungsik Oh, Hyo-Ryoung Kim, Ju-Yeon Hwang, and the KVN team (KASI)

We present the first subparsec-scale maps of HCN J=1-0 and HCO+ J=10 absorption in the circumnuclear region of the nearby radio galaxy NGC 1052. NGC 1052 is known to host a circumnuclear torus surrounding its central engine. The presence of a parsec-scale dense plasma torus has been proposed based on the measurements of free-free absorption in the innermost region of the radio jet obtained by the multi-frequency VLBI observations. Utilizing the 1 milli arcsec resolution achieved by the Korean VLBI Network, we have spatially resolved the HCN and HCO+ absorption against a double-sided nuclear jet structure. HCN and HCO+ are both known as good dense molecular gas tracers in galaxies. The absorptions show high optical depth concentrated on the receding jet and the nuclear components, where the free-free absorption occurred due to the torus. The HCN and HCO+ absorbing gases are likely to be associated with the torus. From the estimations of the column density and the volume density of molecular hydrogen, the size of the molecular gas region in the torus is at least 1 pc. The redshifted velocities of the HCN and HCO+ absorption features imply that HCN and HCO+ absorbing gas traces ongoing infall motion inside the circumnuclear torus onto the central engine.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

S14b A survey of new Changing-Look Quasar

Shumpei Nagoshi (Department of Astronomy, Kyoto University)

The structure and evolution of Active Galactic Nuclei (AGN) are mysterious. To learn more about these two, my current research area includes Changing-Look Quasar (CLQ). CLQ is a quasar that intrinsically changes its activity. Developing further insights into this phenomenon will enhance current understanding of the structure of AGN, the variability of the accretion disk, for example.

We have been working on a survey of a new CLQ sample by analyzing light curves. Since the changing-look of bright quasars is an unexpected phenomenon that was only recently discovered, observations of them are very poor. To find new CLQs, we selected candidates from the Sloan Digital Sky Survey DR14 quasar catalog and Catalina Real-time Transient Survey photometric data. We selected five candidates from more than 400,000 light curves of quasars that exhibited slow long-term variability. To confirm that the candidates were CLQs, we conducted the follow-up spectroscopic observations using a 2.0m telescope over eight nights. One of our candidates, SDSS1258+3519, changed its H β emission line flux in factor five. As a result, we found SDSS1258+3519 to be a new CLQ.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

S15b 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

小久保充、木村勇貴、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-SSP の一部として実施された COSMOS 領域時間軸サーベイ (2017 年 – 2019 年; 限界等級 $i \sim 26$ mag/epoch) で得られた *grizy* 5 バンド光度曲線データを用いて、光度変動 1 型 AGN を探査した。5 バンド光度曲線から計算される変動振幅、自己相関・相互相関係数等の複数の特徴量を用い、すでに同定されている AGN サンプルによって訓練された機械学習分類器 (ランダムフォレスト分類器) を構築することで、COSMOS UltraDeep/Deep 領域において計 3500 天体の光度変動 1 型 AGN サンプルを得た。COSMOS UltraDeep 領域における *Spitzer*/IRAC 赤外線 4 バンドのカラーを用いた AGN 選択法による AGN サンプルと比較した結果、光度変動 AGN サンプルのうち約 30% は赤外線カラー選択法では選択できないような低光度 AGN であることがわかった。また、COSMOS UltraDeep 領域における Chandra X 線天体について、多波長 SED 解析から 2 型 AGN あるいは星形成銀河と分類されている天体のうち、約 20% が光度変動 1 型 AGN として検出されており、多波長 SED 解析をもってしても検出できない低光度 1 型 AGN についても光度変動 AGN 選択法を用いれば検出できることが示された。本講演では、光度変動選択された 1 型 AGN サンプルの性質を紹介する。

[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](#)

S16b Stripe 82X 多波長カタログを用いた遠方電波銀河の探査

瀬戸口 健太, 上田 佳宏, 鳥羽 儀樹, 谷本 敦, 山田 智史, 小川 翔司 (京都大学)

銀河バルジと超巨大ブラックホール (Supermassive Black Hole; SMBH) は相互に影響しながら共進化することが示唆されている (Kormendy & Ho 2013)。また、活動銀河核 (Active Galactic Nuclei; AGN) からのジェットは母銀河の星形成を抑制する作用 (AGN フィードバック) を持つと考えられている。つまり、強力なジェットを持つ電波銀河は、共進化を理解する上で鍵となる種族である。一般に、近傍宇宙の電波銀河は星形成率が小さいため、共進化における最終段階の天体とされている。しかし、特に遠方 ($z \sim 1$) の電波銀河における母銀河や AGN の性質は未だよく理解されていない。また、電波銀河は個数密度が小さいので、その統計的性質を解明するには広い領域での多波長観測データを用いた探査が不可欠である。

本研究では、広範囲 (31.3 deg^2) かつ多波長で探査した天体カタログ Stripe 82X (LaMassa et al. 2016) を用いて、遠方 ($z \sim 1$) の電波銀河も含めた統計的性質を調査した。サンプルとして、電波干渉計 FIRST で検出された電波銀河のうち、SDSS スペクトルで赤方偏移が推定され、かつ X 線天文衛星 *XMM-Newton* により検出されている 14 天体を選出した。これらの電波、可視光、赤外線、X 線スペクトル解析により、母銀河の星形成率と星質量、AGN の X 線光度、SMBH 質量を推定した。その結果、これらの天体の星質量に対する SMBH 質量の比は、近傍宇宙での関係 (マゴリアン関係) と比べて大きいことが分かった。さらに、近傍の典型的な電波銀河と比較して星形成率と質量降着率も大きいことが分かった。これらの結果は従来の描像と異なる電波銀河を発見し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](#)

S17c クランピートーラスからの X 線スペクトルモデルによる Compton-thick AGN の広帯域 X 線スペクトル系統解析

谷本敦 (京都大学), 上田佳宏 (京都大学), 小高裕和 (東京大学)

超巨大ブラックホール (SMBH: SuperMassive Black Hole) と母銀河の共進化を解明する上で、隠された活動銀河核 (CTAGN: Compton-thick Active Galactic Nucleus) の理解は必要不可欠である。CTAGN とは、コンプトン散乱に対する光学的厚みが 1 を超える ($\log N_{\text{H}}/\text{cm}^{-2} \geq 24$) 天体である。この種族は、銀河合体によるガス・ダストに覆われた状態だと考えられ、通常の AGN とは異なる進化段階に位置する可能性がある。しかしながら、その強い減光のため、CTAGN の基本的な性質は未だに解明されていない。

そこで私達は、CTAGN の広帯域 X 線スペクトルに着目した。なぜなら、10 keV 以上の硬 X 線は強い透過力を持つためである。X 線スペクトルから CTAGN の性質を調べるには、多重散乱を考慮したモンテカルロ輻射輸送計算が必要不可欠である。私達は、モンテカルロ輻射輸送計算コード MONACO (Odaka et al. 2016) を用いて、クランピートーラスからの X 線スペクトルモデル (XClumpy) を作成した。また、私達は XClumpy モデルを近傍 CTAGN である Circinus Galaxy に適用し、その広帯域 X 線スペクトル再現に成功した (Tanimoto et al. 2019)。しかしながら、CTAGN の統計的な性質を調べるには、より多くの X 線スペクトルの系統解析が必要である。

今回私達は、X 線天文衛星 Swift の掃天観測により発見された、約 50 天体の CTAGN (Ricci et al. 2015) に XClumpy モデルを適用した。私達は、X 線天文衛星 Suzaku・XMM-Newton・NuSTAR のデータを系統的に解析し、その広帯域 X 線スペクトル (0.5–100 keV) の再現に成功した。本講演では、得られた結果をまとめ、CTAGN の性質 (水素柱密度やトーラス立体角のエディントン比依存性等) について議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

S18c NuSTAR Discovery of a Compton-thick Dust-obscured Galaxy WISEJ0825+3002

Yoshiki Toba (Kyoto Univ.), Satoshi Yamada (Kyoto Univ.), Yoshihiro Ueda (Kyoto Univ.), Claudio Ricci (Diego Portales Univ.), Yuichi Terashima (Ehime Univ.), Tohru Nagao (Ehime Univ.), Wei-Hao Wang (ASIAA), Atsushi Tanimoto (Kyoto Univ.), Taiki Kawamuro (NAOJ)

We report the discovery of a Compton-thick (CT) dust-obscured galaxy (DOG) at $z = 0.89$, WISEJ0825+3002, observed by *Nuclear Spectroscopic Telescope Array* (NuSTAR). X-ray analysis with the XCLUMPY model (Tanimoto et al. 2019) revealed that hard X-ray luminosity in the rest-frame 2–10 keV band of WISEJ0825+3002 is $L_{\text{X}}(2\text{--}10\text{ keV}) = 4.2_{-1.6}^{+2.8} \times 10^{44} \text{ erg s}^{-1}$ while its hydrogen column density is $N_{\text{H}} = 1.0_{-0.4}^{+0.8} \times 10^{24} \text{ cm}^{-2}$, indicating that WISEJ0825+3002 is a mildly CT active galactic nucleus (AGN). We performed the spectral energy distribution (SED) fitting with the code investigating galaxy emission (CIGALE) to derive its stellar mass, star formation rate, and infrared luminosity. The estimated Eddington ratio based on stellar mass and integration of the best-fit SED of AGN component is $\lambda_{\text{Edd}} = 0.70$, which suggests that WISEJ0825+3002 harbors an actively growing black hole behind a large amount of gas and dust. We found that the relationship between luminosity ratio of X-ray and 6 μm , and Eddington ratio follows an empirical relation for AGNs reported by Toba et al. (2019a) (Toba et al. 2019c, ApJ, in press.).

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

S19c BAL の変動率とクェーサーの物理量との相関関係

堀内 貴史, 花山 秀和 (国立天文台), 諸隈 智貴 (東京大学), 三澤 透 (信州大学)

クェーサーの降着円盤から放出されるプラズマ流 (アウトフロー) は円盤から角運動量を排除し, 大質量ブラックホールの成長を促進する。アウトフローはクェーサーのスペクトル上に吸収線として検出されるが, 特に broad absorption lines (BALs; $\text{FWHM} > 2,000 \text{ km s}^{-1}$) は顕著なプロファイルであり, アウトフロー研究の主流として用いられている。BAL はその深さなどが静止系で数日から数年と幅広い時間スケールで変動することが知られている。時間変動の要因として有力な説が, クェーサーの光度変動がアウトフローの電離状態に変化を与えた結果, 吸収強度が変動するというシナリオ (以下, 電離状態の変動シナリオ) である。

本研究では BAL の変動の主要因として電離状態変動シナリオを仮定し, 吸収強度の変動率とクェーサーの物理量 (ブラックホール質量, ボロメトリック光度, Eddington 比) の相関の有無を探った。一般的にクェーサーの紫外・可視の光度変動幅とブラックホール質量間には相関関係が, 光度変動幅とクェーサー光度間, あるいは Eddington 比間には反相関関係があることがこれまでの研究で確認されている。つまり電離状態変動シナリオ下では, BAL の変動と上記の物理量との間に相関がみられることが予想される。SDSS の Reverberation Mapping のデータを用い, BAL の変動率 - クェーサーの物理量の相関を調べた結果, 互いが相関 (ブラックホール質量) あるいは反相関 (Eddington 比) することを確認することができた。この結果は BAL の電離状態変動シナリオを支持し, 降着円盤とアウトフローの時間変動的な振る舞いが互いに密接に関係することを示唆するものである。一方で, 電離状態変動シナリオには光度変動以外の補助的なメカニズム (降着円盤の内側に存在する遮蔽ガスの変動) が関与している可能性もあり, 今後の調査でそのようなメカニズムの寄与も明らかにしていく。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

S20a 時間変動解析を用いた電波銀河 3C120 の X 線スペクトル成分分解

服部兼吾, 野田博文, 松本浩典, 林田清 (大阪大学)

活動銀河核ジェットの生成メカニズムは長年議論が続いているが, 巨大ブラックホールへの質量降着と密接に関連することが示唆されている (e.g., Marscher et al. 2002, Sikora et al. 2007)。本研究では, この関係をより制限するため, 熱い降着流とジェットからの信号が同時に得られる広輝線電波銀河 (BLRG) に着目し, BLRG の降着流とジェットの X 線成分を切り分けた上で, 両者の関係を調べることを目的に据える。これまで, BLRG の X 線時間平均スペクトルに対して, モデルフィットによって, これらの関係を調べられてきたが, 極端に強い相対論的になまされた反射モデル (e.g., Lohfink et al. 2013) を仮定するなど, 成分分解の信頼性に問題があった。

そこで我々は電波からガンマ線までの多波長観測が盛んに行われ, 激しい時間変動を持つ FR1 型 BLRG 3C120 に着目し, 広帯域の X 線信号を同時に捉える X 線天文衛星「すざく」の XIS 並びに HXD のデータ (2006 年に 50 ks 観測が 4 回, 2012 年に 150 ks 観測が 2 回) を系統的に解析した。強度変動を定量化するため 0.7–50 keV の RMS スペクトルを作成したところ, 特に軟 X 線領域で大きな変動を持つことが分かった。そこで, 0.7–1 keV とそれ以外の X 線帯域の間で Count-Count Plot (CCP) を作成したところ, 分布が線形となったため, CCP を利用して X 線スペクトルを成分分解する手法 (Noda et al. 2013; 2014) を適用した。その結果, 2006 年の X 線スペクトルにおいて, ~10 ks の時間スケールで強度変動する, 光子指数 ~2.3 の軟らかい連続 X 線と, 変動が乏しい光子指数 ~1.5 の硬い連続 X 線が混在することを突き止めた。これらはそれぞれ, 熱い降着流とジェットからの X 線放射であると考えられる。一方, 2012 年のデータに同様の手法を適用したところ, 有意にべきが異なる連続 X 線は得られなかった。本講演では, それらの詳細な結果並びに議論, 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](#)

S21a 超/高光度赤外線銀河が持つ活動銀河核の広帯域 X 線スペクトル解析

山田智史, 上田佳宏, 谷本敦 (京都大学)

超/高光度赤外線銀河 (Ultra/luminous Infrared Galaxies; U/LIRGs) は星形成が活発で、急速に進化中の銀河である。近傍 U/LIRG の多くはガスが豊富な銀河同士の合体によって生じている。これらの天体は、ガスやダストの効率的な角運動量損失により活動銀河核 (Active Galactic Nucleus; AGN) を誘発するため、巨大ブラックホール進化の重要な役割を担う。星形成の寄与を最小限に抑えた中間赤外線の研究からは、合体の最終段階で質量供給源である AGN のトーラスが全体を覆うほどに“塵に埋もれた”構造になる傾向が示唆された (Yamada et al. 2019)。しかし、星形成の影響を完全に受けずにこの描像を確認するには、高い透過力で、かつ AGN 由来の放射のみを反映する硬 X 線 (> 10 keV) を用いてトーラス構造 (Covering factor) を解明することが不可欠である。

そこで本研究では、X 線衛星 *NuSTAR*、*Chandra*、*XMM-Newton* のデータを用いて、様々な合体段階中の U/LIRG 10 天体の広帯域 X 線スペクトル解析を行った。スペクトルモデルにはガスのクランプが赤道面上を中心とした正規分布に従って配置されている、現実的なクランピートーラスモデル (XCLUMPY; Tanimoto et al. 2019) を適用した。まず、各天体ごとに赤道面上での水素柱密度や、中心から見たトーラスの分厚さ (標準偏差角度) を正確に見積もることで、合体が進むにつれて Covering factor が $\sim 99\%$ に近づくことが分かった。次に、X 線光度を用いてエディントン比を推定し、*Swift*/BAT 70-month カタログの近傍 AGN におけるエディントン比と Covering factor の相関 (Ricci et al. 2017, Nature) と比較を行った。その結果、U/LIRG は大きい Covering factor を持ち、さらに合体最終段階では高いエディントン比を持つ埋もれた AGN も存在することが分かった。これは、銀河同士の相互作用が進むにつれて U/LIRG 中のトーラス構造が“埋もれていく”描像を支持している。

[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](#)

S22a すばる望遠鏡赤外線多色撮像観測による合体銀河中の複数 AGN の探査

今西昌俊, 川室太希, 菊田智史, 中野すずか, 済藤祐理子 (国立天文台/総研大)

現在主流の冷たい暗黒物質に基づく銀河形成理論によれば、ガスに富み、中心に超巨大ブラックホール (SMBH) を持つ銀河が衝突/合体してさらに大きな銀河に成長してきたと考えられている。その場合、合体銀河には複数の SMBH が一般に存在し、それらが活動的になれば、複数の活動銀河中心核 (AGN) が多くの銀河で見つかることが期待される。しかしながら、可視光線を中心とするこれまでの観測では、予想よりはるかに少ない割合でしか見つかっていないという問題がある。大量の塵やガスに埋もれた AGN を見落とすという可能性が高い。

我々は、近傍の合体赤外線銀河 40 天体を、すばる望遠鏡 IRCS と補償光学を用いて、塵吸収の影響の小さな赤外線の K' バンド (波長 $2.1\mu\text{m}$) と L' バンド (波長 $3.8\mu\text{m}$) で、 0.3 秒角以下の高空間分解能で撮像観測した。明るい AGN は、周囲に大量の高温の塵を作り出して L' バンドで非常に明るく輝くため、星生成活動に比べてはるかに赤い $K' - L'$ の色を示すことで区別できる。主要な結果は、(1) 可視光線で AGN の兆候のない 5 個の合体銀河で、複数の AGN を見つけたが、それでも検出率は $< 20\%$ と小さい。(2) L' バンドデータから求まる AGN 光度を、星起源の K' バンド放射から見積もられる中心の SMBH の質量で規格して、SMBH の活動度を導出した。その結果、SMBH は各々の銀河核で同じように活性化されるのではなく、SMBH 質量の大きいメインの銀河核で、より活動的であることがわかった。これは、ガスに富む銀河合体の数値計算の予言とも一致する。軽い SMBH の活動性が低くて AGN として暗いため、特に L' バンドでの検出が難しく、複数 AGN の検出率を低下させている。(3) 少数の天体で、ALMA ミリ波観測から、赤外線で見えない暗い銀河核に、より光度の大きな AGN の存在が示唆された。このような、赤外線でも見落とす非常に埋もれた AGN の存在も、複数 AGN の検出率を小さくしている。

[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](#)

S23a ALMA による近傍活動銀河核 NGC 7469 中心領域の熱源診断

中野すずか, 泉拓磨, 今西昌俊, 中西康一郎 (総合研究大学院大学/国立天文台), 河野孝太郎 (東大天文センター), 川室太希, 馬場俊介 (国立天文台), 中井直正 (関西学院大学), 高野秀路 (日本大学), 原田ななせ, 松下聡樹 (ASIAA), + NGC 7469 collaboration

超巨大ブラックホール (supermassive black hole: SMBH) の有力な成長メカニズムとして、ガスが豊富な複数の銀河の衝突合体に起因する SMBH へのガス降着が考えられている。そうした激しい質量降着を伴う SMBH は活動銀河核 (active galactic nucleus: AGN) として存在するが、発現したばかりの AGN は塵の奥深くに埋もれているため、可視光線で発見することは非常に難しく、塵吸収の少ない波長での観測が重要となる。

ここで、観測事実として、AGN は爆発的星形成に比べて硬 X 線放射がはるかに強い。そのため、AGN 周囲には X-ray dominated region (XDR) という、系の物理化学的性質が X 線で決まる特異な領域が形成され、星形成領域 (photodissociation region: PDR) とは異なる輝線強度比を示すと期待される。そのような輝線強度比の候補として、我々は [CI]/CO 強度比に注目している。X 線による CO 分子の解離反応により、XDR でのこの強度比は PDR よりも数桁大きいと理論予測されている (Meijerink et al. 2007)。本研究では、この予測が正しいかどうかを検証するために、ALMA を用いて AGN とそれを取り囲む円環状 (半径約 1.5 秒角) の星形成領域を持つ近傍活動銀河 NGC 7469 (~70 Mpc) に対して、複数の CO 輝線と [CI](1-0) 輝線の観測を行なった。特に、光学的に薄い ^{13}CO 輝線に注目すると、確かに AGN 周辺では星形成領域に比べて 10 倍近く高い [CI](1-0)/ $^{13}\text{CO}(2-1)$ 比が観測されており、理論予測と整合する傾向がみられた。本講演では、こうした輝線強度比の空間分布と輻射輸送計算の結果を紹介し、サブミリ波による熱源診断の有用性について議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

S24a Spitzer/IRS による埋もれた AGN のシリケートダストの系統的研究

土川拓朗, 金田英宏 (名古屋大学), 大藪進喜 (徳島大学), 國生拓摩, 森鼻久美子 (名古屋大学), 山岸光義 (ISAS/JAXA), 小林浩 (名古屋大学), 鳥羽儀樹 (京都大学)

中心核活動を示唆する可視光輝線がほとんど見られない、ダストに深く埋もれた活動銀河核 (AGN) の存在が近年の数多くの観測によって広く知られてきた。特に Spitzer/IRS の観測により、その多くが中間赤外線帯にシリケートダストによる深い吸収を示すことが明らかとなった。シリケートダストバンドの形状はダストのサイズ、組成、結晶度といった性質に依存するため、AGN 活動によるダスト変性の履歴を反映すると期待されるが、これまでに詳細かつ系統的に調べられた例は少ない。

我々は、「あかり」近・中間赤外線分光により得られた低赤外線光度銀河 LEDA 1712304 の深いシリケート吸収について詳細なスペクトル解析を行い、シリケートダストが多孔質で結晶度が高くなっている兆候を捉えた。さらに、Spitzer/IRS で観測された $\tau_{\text{sil}} > 2$ の深いシリケート吸収を示す AGN 41 天体と比較したところ、銀河間で有意にダストバンドの形状が異なることがわかった (Tsuchikawa et al. 2019)。そこで、この天体間のダストバンドの違いを解明すべく、これらの AGN サンプルに対して系統的なスペクトル解析を行った。

解析の結果、ダストバンドの中心波長は天体間で大きく変わらないが、一般的な星間ダストと比べると長波長側にシフトしており、AGN ダストは普遍的に星間ダストと異なる性質を持つことがわかった。さらに、天体ごとにダストバンドの幅やサブフィーチャーの吸収深さが大きく異なり、AGN ダストの構造、結晶度に多様性があることが分かった。本講演では、これらのダストに深く埋もれた AGN のシリケートダストの性質と、AGN 活動や星形成活動との関係性について議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

S25a CO 振動回転遷移吸収線の速度変動解析に基づく超高光度赤外線銀河 IRAS 08572 + 3915 における活動銀河核分子トラス内部構造の考察

大西崇介 (東大理, ISAS/JAXA), 中川貴雄 (ISAS/JAXA), 馬場俊介 (国立天文台), 道井亮介 (東大理, ISAS/JAXA), 磯部直樹, 白旗麻衣 (ISAS/JAXA), 寺田宏, 白田知史 (国立天文台)

活動銀河核 (AGN) 統一モデルにおいて、分子トラスを見込む角度が AGN のタイプを分けると言われており、その内部構造理解が重要である。しかし、その内部構造は空間分解が困難であり直接観測されてこなかった。そこで我々は新たに、ダスト昇華層を光源とした複数のトラス内分子雲 (Clumps) による吸収線と考えられる、CO 振動回転遷移吸収線 ($\Delta v = 1 \leftarrow 0$, $\Delta J = \pm 1$, $\lambda_{\text{rest}} \sim 4.6 \mu\text{m}$) を観測し、Clump が光源の手前を通過することによって生じる吸収線の速度変動から、Clump の運動と分布を探ろうと試みた。

我々は、超高光度赤外線銀河 IRAS 08572+3915 ($L_{\text{AGN}} \sim 10^{46} \text{ erg s}^{-1}$ 、エディントン比 0.1 を仮定すると $M_{\text{BH}} \sim 10^9 M_{\odot}$) について、2004, 2010, 2019 年と 15 年にわたる 3 epochs において、すばる望遠鏡分光データ (速度分解能 $\sim 30\text{--}60 \text{ km s}^{-1}$) を得ている。今回、それら 3 つのデータ間で、吸収線の視線速度変動幅 ΔV_{los} を、波長較正による速度のずれを考慮して見積もることで、どの期間にも速度変動が生じておらず、その変動幅が 3 シグマ上限で $|\Delta V_{\text{los}}| < 10 \text{ km s}^{-1}$ であることを見出した。この結果は、Clump の分布の仕方によって 2 通りに解釈できる。(1) Clump が 1 つにまとまって分布し、光源の手前を通過している場合、ケプラー回転の仮定下で、Clump の回転軌道半径が $2.5(M_{\text{BH}}/10^9 M_{\odot})^{0.5} \text{ pc}$ 以遠であるため、加速度が小さい。あるいは、(2) Clump が光源の手前に一様にばらついて分布し、運動している場合、多数の Clump が光源を被覆し、統計的な効果で加速と減速が平均化されている。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

S26a AGN と SN フィードバックを考慮した活動銀河核の遮蔽構造

川勝 望 (呉高専), 和田 桂一 (鹿児島大), 市川 幸平 (東北大)

銀河の中心には太陽質量の 100 万倍から 10 億倍もの超巨大ブラックホール (SMBH) が存在し、その周りには活動銀河核 (AGN) を隠す遮蔽体「トラス」が取り囲んでいると考えられている。最近の ALMA 観測により、近傍銀河の中心には、半径数 10pc 程度のトラスが存在することが明らかになってきた。トラスは AGN を遮蔽するだけでなく、SMBH へのガス供給とも関係する非常に重要な構造物である。しかし、その物理的な起源や性質はまだよく理解されていない。我々はこれまでトラスでの超新星爆発 (SN) による乱流粘性によって駆動されるガス降着モデル (超新星爆発駆動モデル) を提案してきた (Kawakatu & Wada 2008)。

本講演では、この超新星爆発駆動モデルに AGN からの非等方放射がトラス構造に与える効果を考慮し、AGN 遮蔽率がどのような物理量に依存するか調べた。その結果、次のことが明らかになった。(1) 比較的軽い SMBH の場合 ($M_{\text{BH}} < 10^8 M_{\odot}$) には、エディントン光度の $\sim 10\%$ で AGN 遮蔽率はピークに達し、その最大値は 0.6 程度であった。この傾向は BH 質量にあまり依存しないことから、エディントン光度比がトラス構造を決める重要な物理量であることを示唆する。(2) 重い SMBH の場合 ($M_{\text{BH}} > 10^8 M_{\odot}$) には、AGN 遮蔽率はトラスでの星形成効率の最大値で決まり、常に < 0.2 と非常に小さく、AGN 光度にほとんど依存しなかった。(3) さらに、SN および AGN からの輻射フィードバック効果を考慮したモデルは、赤外線観測で得られた AGN 遮蔽率 (Ichikawa et al. 2019) をうまく説明できることが分かった。一方で、X 線観測で見積もられた遮蔽率は理論値よりも系統的に高かった。講演では、この食い違いの原因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](#)

S27a Reverberation Measurements of the Inner Radii of the Dust Tori in Quasars

峰崎岳夫 (東京大学), 吉井讓 (東京大学, アリゾナ大学), 小林行泰 (国立天文台), 菅原章太, 坂田悠, 富田浩行, 菅沼正洋, 青木勉 (東京大学), 越田進太郎 (国立天文台), 塩谷圭吾 (JAXA/ISAS), Bruce A. Peterson (オーストラリア国立大学)

活動銀河核の降着円盤は紫外線・可視光を放射し、それによって暖められたダストトラスは赤外線を放射している。したがって可視変光と近赤外線変光には降着円盤からダストトラス内縁までの光の伝搬時間に相当する遅延が観測される (dust reverberation)。MAGNUM プロジェクト (PI 吉井讓) では活動銀河核の系統的な dust reverberation survey を遂行し、ダストトラスの大きさの光度依存性とこれを利用した活動銀河核の光度距離測定法を研究してきた。本講演ではすでに報告済の近傍活動銀河核 17 天体の結果 (Koshida et al. 2014; Yoshii et al. 2014) に加え、赤方偏移 $z < 0.6$ までのクエーサー 31 天体の結果について報告する (Minezaki et al. 2019)。

クエーサー 31 天体のうち 25 天体で可視変光に対する近赤外線変光の遅延を観測し、そのうち 22 天体について有意な遅延時間を測定した。これらについて画像分解法、スペクトル分解法、flux-variation-gradient 法の 3 つの手法で可視放射の活動銀河核成分を注意深く抽出し、近傍活動銀河核のデータと合わせて調べたところ、ダストトラス内縁半径は約 4 桁の光度範囲にわたって可視光度のおよそ 0.5 乗に比例していた。これはダストトラス内縁部におけるダストの放射平衡モデルの予想に一致する。さらにこれらのデータをもとに活動銀河核の光度距離を評価して得られた $z < 0.6$ までのハッブル図は、標準的な加速膨張宇宙モデルを支持する結果となった。また今後のダストに埋もれた活動銀河核の内部構造の研究のため、ダストトラス内縁半径と硬 X 線、[OIV] 25.89 μm 輝線、中間赤外線 (12 μm) の各光度との相関も調べたので合わせて報告する。

[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](#)

S28a MaNGA survey データで探る NLR 形成に与える AGN 活動の影響

城知磨, 長尾透 (愛媛大学), 和田桂一 (鹿児島大学), 寺尾航暉 (東北大学), 山下拓時 (国立天文台)

AGN の狭輝線領域 (NLR) の起源解明は、銀河中心の SMBH と母銀河をつなぐ物理を理解するうえで重要である。NLR の起源に対して有用な示唆を与えるとして近年注目されているモデルの 1 つに輻射駆動噴水モデル (Wada 2012) がある。このモデルは、AGN のトラス構造が SMBH 周りにおけるインフローやアウトフローによって形成されることを示している。この動的な描像において自然に形成されるアウトフローが母銀河スケールまで広がり、AGN からの放射によって電離されることで NLR を形成することが示唆されている (Wada et al. 2018)。NLR の起源に迫るため、この理論モデルによる示唆の妥当性を観測によって評価することは重要である。

前回の講演 (日本天文学会 2019 年春季年会 S13b) では、SDSS の大規模分光サンプルに対して電子密度を測定し、BPT diagram を用いることで電離状態との関係を調査した。その結果、NLR は星形成銀河の HII 領域よりも系統的に高密度であることが分かった。また、BPT diagram での AGN 天体に限ると、各輝線強度比が高くなるにつれて電子密度が高くなる傾向がみられた。これらの結果は NLR には AGN 由来の高密度ガス雲が存在する可能性を示唆しており、輻射駆動噴水モデルを支持するものである。

上記の成果は、銀河全体における平均的な電離ガス雲の性質の評価に留まっていた。そこで今回は、NLR の空間的に広がった構造を理論モデルと直接比較・議論するため、近傍銀河の面分光サーベイである Mapping Nearby Galaxies at APO (MaNGA) のデータを用いて NLR の電子密度分布や速度構造などを調査した。その結果、AGN と星形成銀河では星質量に対する [OIII] $\lambda 5007$ の速度分散の振る舞いに顕著な違いが見られた。本講演ではこれらの結果をもとに輻射駆動噴水モデルの描像とより直接的に比較し、NLR の構造形成について議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

S29a MUSE/Narrow-Field-Mode を用いた I Zw 1 の高速ガス噴出領域の大きさへの制限

川口 俊宏 (尾道市立大), 尾崎 忍夫 (国立天文台), Tanya Urrutia (Institut für Astrophysik Potsdam, Germany), 稲見 華恵 (広島大), Anna Felte (SISSA, Italy), 青木 賢太郎 (国立天文台)

銀河の進化史は、各銀河の中心巨大ブラックホール周辺からのガス噴出流による母銀河での星形成活動抑制現象(フィードバック現象)がコントロールしてきたと考えられている。我々はこれまで、[O III] $\lambda\lambda 4959, 5007\text{\AA}$ 輝線に大きい青方偏移が観られる活動銀河核の中で最も近傍に居る天体群について、すばる望遠鏡を用いて噴出流を計測してきた。本講演では、Very Large Telescope のレーザートモグラフィ補償光学 (GALACSI) でさらに角度分解能を向上させ 2019 年 8-9 月に行った可視光面分光 (MUSE/Narrow-Field-Mode) 観測の結果を報告する。

狭輝線 1 型セイファート銀河 I Zw 1 の中心の $7.4''$ 四方の視野にわたり、 $4750\text{--}9352\text{\AA}$ の波長域でスペクトルを得た。点源である広輝線領域からの放射を用いて Point Spread Function (PSF) の大きさを測ると、FWHM は観測波長 5150\AA ($H\beta$) で約 $0.21''$ 、 7000\AA ($H\alpha$) で約 $0.14''$ 、 9000\AA 付近で約 $0.09''$ であった。[N II] $\lambda\lambda 6548, 6583\text{\AA}$ 輝線放射の拡がりや視野内での速度変化が確認できた。Hutchings et al. (1990) はシーイング $1.5''$ でのスリット観測をもとに、[O III] 放射領域が $H\beta$ よりも拡がっている可能性を示唆していたが、我々の MUSE データでは [O III] 放射領域の位置と拡がりに $H\beta$ 輝線と有意な差は見られなかった。この結果、高速ガス噴出領域の大きさと中心からのオフセットが PSF の大きさ ($0.21'' \sim$ 約 230pc) より十分小さい事がわかった。銀河中心ブラックホールから約 120pc 離れた位置に約 290pc 拡がった高速 (約 860km s^{-1}) ガス噴出を示す IRAS 04576 (Kawaguchi et al. 2018) に比べて、さらにコンパクトなガス噴出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](#)

S30a クェーサー広輝線領域の [Mg/Fe] 組成比診断: Baldwin effect の評価

鮫島寛明, 吉井讓 (東京大学)

宇宙論的タイムスケールにおける宇宙の化学進化の様子を調査することは、宇宙の星形成史を探る上で決定的に重要である。特に宇宙初期における鉄と α 元素の組成比の進化は星形成史を色濃く反映することが理論的に予測されており、観測による調査の重要性は論をまたない。我々はクェーサーの紫外 Fe II, Mg II 輝線強度から [Mg/Fe] 組成比を導出する方法を考案し、SDSS で取得されたクェーサー約 17,000 天体の可視光スペクトルの解析から赤方偏移 $0.7\text{--}1.6$ の範囲における [Mg/Fe] 組成比を求め、理論予測と見事に一致することを明らかにした (2016 年春季年会 Z102a; Sameshima, Yoshii & Kawara 2017, ApJ, 834, 203)。一方で、この範囲の赤方偏移では初期宇宙の星形成に関するパラメータに依らずモデルが縮退するため、初期宇宙の星形成史に制限を加えることはできておらず、より高赤方偏移における [Mg/Fe] 組成比を調査することが課題となっている。

本講演では、以前報告した $z \sim 2.7$ の明るいクェーサーの分光観測 (2019 年春季年会 S14b) について解析を進めた結果判明した Baldwin effect の影響について議論する。Baldwin effect とはクェーサーの紫外・可視輝線のほぼ全てについて等価幅が光度に反比例するという観測的性質であり、Fe II や Mg II も従うことが低赤方偏移クェーサーの解析から判明した。Baldwin effect の物理背景は不明であるが、金属輝線だけでなく水素やヘリウム輝線も従うことから主要因は化学組成以外にあると考えられ、その効果を補正して [Mg/Fe] および [Fe/H] 組成比を求めると、 $z \sim 2.7$ でも化学進化モデルと矛盾しないことが分かった。現在見つかった高赤方偏移クェーサーの多くは明るいもので Baldwin effect の影響を受けて輝線強度が弱くなっている可能性が高く、本研究を高赤方偏移に進めるには Baldwin effect の適切な評価とそれに基づく補正を考慮した解析が重要であるとの結論を得た。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

T01a 乱流と AGN による銀河団コアの非定常加熱

藤田裕 (大阪大学), Renyue Cen (Princeton), Irina Zhuravleva (Chicago)

多くの銀河団コアのガスの冷却時間は宇宙年齢よりも短いにもかかわらず温度があまり下がっておらず、何らかの加熱源によりエネルギーが供給されているものと考えられている。一番有力な加熱源は銀河団中心に存在する AGN であるが、周囲のガスに安定にエネルギーを受け渡すメカニズムがわかっていない。一方、以前より銀河団ガスに乱流があれば、渦を介して AGN が生成したエネルギーをコアのガスに伝えるだけでなく、熱浴であるコアの外部からもコアに熱が供給される可能性が指摘されていた。

しかし 2016 年のひとみの観測によると、少なくともペルセウス座銀河団についてはコアのガスの乱流速度はあまり大きくなく、定常的に必要なエネルギーを運搬できないことが指摘されている。そこで本研究ではコアが定常であるという仮定をせずに、ひとみで観測された程度の乱流が存在する銀河団コア中の AGN の振る舞いについて数値シミュレーションで調べた。乱流は AGN 起源ではなく、銀河団が成長する過程で発生するものと考えた。この計算の結果、AGN が間欠的にバーストすることがわかった。大部分の期間は AGN の活動は弱く、乱流がコアの外部から内部に向かって熱を運ぶことでコアを準定常状態を保つ。しかし放射冷却が乱流による加熱をやや上回るため、次第に冷却に伴う AGN へのガス流入量が増加し、最終的に AGN はバーストする。このとき AGN から大量のエネルギーが放出されるが、乱流が存在するためコア全体まんべんなく広がることができ、極端な熱的不安定は発生せずにコアは再び準定常状態に戻る。この AGN 加熱は放射冷却と定常的に釣り合う必要はないので fine-tuning は必要としない。もしこのモデルが正しければ、2021 年度打ち上げの XRISM 衛星により、ほぼすべての銀河団コアにペルセウス座銀河団と同程度の乱流が観測されるであろう。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

T02a フェニックス銀河団の冷却コア (1) ATCA による AGN ジェットの初解像

赤堀卓也 (国立天文台), 北山哲 (東邦大), 上田周太朗 (ASIAA), 泉拓磨 (国立天文台), 李建鋒 (東京大), 川邊良平 (国立天文台), 河野孝太郎 (東京大), 大栗真宗 (東京大), 滝沢元和 (山形大)

銀河団の暴走的な放射冷却流 (クーリングフロー) が近傍宇宙で見られないのは、銀河団銀河の AGN ジェットがガスを加熱しているからだとする説がある (AGN フィードバック)。しかし肝心のジェットがいつ何をきっかけにどのような頻度と強度で発動するのか、観測的な理解はまだ十分ではない。フェニックス銀河団は、クーリングフローの副産物とされる爆発的星形成が中心銀河で起きている稀有な天体である。一方で X 線の観測では近傍の銀河団で見られる温度の下げ止まりがあることから、激しいクーリングフローは起こっているようには見えない。AGN の活動については X 線のキャビティが見つかっており銀河団中心に電波源があることもわかっているが、電波ジェット/ローブが観測されたとする報告はまだない。

我々は今回、豪州の電波干渉計 ATCA を使って 1 秒角を切る分解能でのフェニックス銀河団中心部の 18GHz 帯高感度観測 ($1\sigma \sim 6 \mu\text{Jy}$) を初めて行った。その結果、AGN コア放射に加えて、中心部のコンパクトな放射、それを取りまく広がった放射、南北に伸びる双極的な棒状構造、そして棒状構造の先に広がった放射とコンパクトな放射を初めて解像した。これらの放射は X 線キャビティの位置とまさに対応していた。この特徴的な構造の発見により、電波ジェット/ローブが存在することは確定したと言えるだろう。中心から 13–20 kpc 離れた南北の放射領域は、AGN 中心から音速で伝搬したものであると仮定すると約 10 Myr と若く、中心部のコンパクト放射もジェットだとすれば、およそ 1 Myr 前のごく最近に発生したことを示唆する。本講演ではこれらの発見を報告し、ボロメトリックなエネルギー量や中心付近の広がった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](#)

T03a フェニックス銀河団の冷却コア (2) ALMA による SZ 効果の高解像度測定

北山哲 (東邦大), 上田周太朗 (台湾中央研究院), 赤堀卓也 (国立天文台), 小松英一郎 (マックスプランク研究所), 川邊良平 (国立天文台), 河野孝太郎 (東京大), 高桑繁久 (鹿児島大), 滝沢元和 (山形大), 堤貴弘 (米国立電波天文台), 吉川耕司 (筑波大)

近傍銀河団の中心部では、電離ガスの過剰な冷却 (いわゆるクーリングフロー) や星形成が普遍的に抑制されていることが観測されているが、その具体的な機構は解明されていない。一方、 $z = 0.597$ に位置するフェニックス銀河団 (SPT-CL J2344-4243) では、冷却されたガスや激しい星形成の兆候が示唆されており、クーリングフローの希少な候補とみなされている。ただし、この銀河団の中心コア領域は、明るい活動銀河核や大量の中性ガスの存在により、既存の X 線データのみから正確にガス温度等を決めるのは困難である。今回我々は、ALMA Band 3 を用いて同銀河団のスニヤエフ・ゼルドビッチ (SZ) 効果を高解像度測定し、X 線とは独立かつ相補的な電離ガスの情報を得ることに成功したので、その結果と意義について報告する。

まず、フェニックス銀河団中の電離ガスの圧力分布は、他の遠方銀河団よりも有意に中心集中しており、むしろ近傍銀河団の平均的な圧力分布と非常に良く一致した。また、測定誤差の範囲内では、コア領域には有意な圧力ゆらぎや非対称性は見られなかった。さらに、SZ 効果と X 線輝度データの組み合わせにより、温度が外層部の 5 分の 1 程度 (~ 3 keV) にまで急峻に冷却した $\sim 6 \times 10^{11} M_{\odot}$ のガスが、中心 30 kpc 内に存在することが明らかになった。これらは、従来の X 線スペクトル解析の障害となっていた活動銀河核や中性ガスの存在等には依存しない結果である。我々の結果は、フェニックス銀河団中の電離ガスが効率的かつほぼ等圧的に冷却しつつあることを示唆しており、他の銀河団で普遍的に観測されてきた冷却障害に対する興味深い反例を提供している。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

T04a 銀河団外縁部の観測に対する前景放射の影響の評価 III

杉山剣人, 松下恭子, 小林翔悟 (東京理科大学), 佐藤浩介 (埼玉大学)

銀河団外縁部などの低輝度で広がった天体を観測する際、我々の銀河系外からの背景放射に加え、銀河系や太陽系からの前景放射を正確に見積もることが重要となる。一般的には、銀河系からの 0.2–0.3 keV の放射、太陽系近傍の 0.1 keV 程度の放射 (Local Hot Bubble) や太陽風電荷交換反応による放射などが前景放射や背景放射として考えられていた。これらの放射に加えて、Yoshino et al. (2009) や Sekiya et al. (2014b) では、一部の領域から 0.8–1.0 keV 程度の放射 (0.8 keV 成分と呼ぶ) が検出された。前回の講演 (2019 年秋季年会 杉山講演) では、すぎく衛星による銀河面を除いたおよそ 100 領域の観測からこれまで考えられていた前景放射、背景放射の各成分に加え、0.8 keV 成分の輝度分布を調べた。その結果、0.8 keV 成分の輝度は銀経や銀緯との相関は見られないものの、観測によって 1 桁以上のばらつきがあることが明らかになった。

本研究では、すぎく衛星によるペルセウス座銀河団やケンタウルス座銀河団など計 6 個の近傍銀河団の外縁部付近の観測データの解析を行った。これらの銀河団のビリアル半径より外側の領域のうち、半分以上の領域より 0.8–1.2 keV 程度の放射が検出され、その輝度は高めではあるもののすぎく衛星で検出された 0.8 keV 成分と矛盾がない値であった。本講演では、0.8 keV 成分が銀河団のビリアル半径より内側の銀河団ガスの温度、密度測定に与える影響について報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

T05a A2199 銀河団の外縁部に存在するガス塊の探査

上田将暉, 松下恭子, 小林翔悟 (東京理科大学), 佐藤浩介 (埼玉大学)

銀河団に降着する銀河等の天体のガスは、降着過程で剥ぎ取られ、最終的に銀河団中に取り込まれていく。実際、降着した天体の名残であろう暗黒物質のサブハローから剥ぎ取られつつあるガス塊が観測されている (Sasaki+15)。この降着による衝撃波加熱によって、銀河団ガスの「エントロピー」は外側ほど上昇するはずだが、外縁部では理論予測に対して平坦であることが報告されている (e.g., Kawaharada+10)。その原因の一つとして、ガス塊による密度の過大評価が挙げられている (e.g., Simionescu+11)。そこで、本講演者は、22 の銀河団の外縁部 ($r \geq r_{500}$) で検出された X 線源の個数密度が COSMOS 領域とよく一致することを発見した。また、ガス塊の有力候補でもあるメンバー銀河に付随した X 線源のフラックスの和は銀河団ガスの値の 1 割以下であった (2019 年春・秋季年会)。

メンバー銀河に付随しないガス塊候補を探査するために、本研究では X 線源のスペクトルからガス塊の寄与の評価を行う。そのために、外縁部での「エントロピー」の平坦化が「すぎく」で確認され (Sato+19)、XMM により r_{vir} までのほぼ全領域の観測がなされている A2199 に着目した。XMM の空間分解能は A2199 の赤方偏移 0.03 で ~ 6 kpc であり、銀河スケールの X 線源を調べるのに適する。そこで、XMM の公開データを用いて外縁部 ($r \geq r_{500}$) で検出された X 線源について、足し合わせたスペクトルを背景天体の多くを占める活動銀河核のベキ乗成分とガス塊からの放射として予想されるプラズマ成分のモデルでフィットした。すると、温度 0.3 keV のプラズマ成分が有意に検出された。この温度は、A2199 銀河団の外縁部の温度に比べ低い。また、 $1 \sim 1.8r_{500}$ の範囲でプラズマ成分の強度は銀河団ガスに対し、1% 以下であった。銀河スケールより大きなガス塊は、銀河団外縁部のエントロピーの測定に影響しないと結論できる。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

T06a HSC-SSP 領域内の可視光で選択された衝突銀河団の X 線フォローアップ計画

田中桂悟, 藤本龍一 (金沢大学), 岡部信広 (広島大学), 赤松弘規 (SRON), 太田直美, 美里らな (奈良女子大学), 三石郁之, 吉田篤史, 志村拓馬 (名古屋大学) 他 HSC 銀河団コラボレーション

銀河団同士の衝突は宇宙で最も大きなエネルギー現象であり、銀河団ガスに衝撃波や乱流を引き起こし、銀河団の力学進化に大きな影響を及ぼす。銀河団の進化過程を観測的に明らかにする上では、様々な衝突段階の銀河団を X 線で観測することが重要であるが、これまでの X 線観測は X 線輝度の高くなる衝突の中期のサンプルに集中していた。一方、すばる望遠鏡 HSC-SSP の可視光データを用いた衝突銀河団のサンプルは、メンバー銀河の密度ピークから選択するため衝突段階によるバイアスを受けない (Okabe et al, 2019, PASJ, 71,79)。現在このサンプルを用いた X 線フォローアップ観測計画が進行中であり、不足していた衝突初期・後期の描像の解明が期待されている。特に X 線で銀河団ガスの構造を詳細に分解できる $z < 0.4$ のサンプルに対する XMM-Newton 衛星を用いた観測は、既に 2 天体完了しており、内部構造を捉えていることを確認した。本講演では、これら現在までに観測が完了したサンプルに加え、XMM-Newton 衛星のアーカイブデータの中から衝撃波の兆候が確認されたサンプル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](#)

T07a BARYON BUDGET IN THE XXL CLUSTERS

秋野大知 (広島大学)、岡部信広 (広島大学)、梅津敬一 (ASIAA)、大栗真宗 (東京大学)、田中賢幸 (国立天文台)、宮崎聡 (国立天文台)、西澤淳 (名古屋大学)、Dominique Eckert (Geneva University)、Mauro Sereno (INAF-OAS Bologna)、Fabio Gastaldello (INAF-IASF Milano)

銀河団は大きさ、質量ともに宇宙の中で最大規模の天体である。そのため、銀河団の形成時以降に降り積もった物質をすべて保持していると考えられる。したがって、銀河団の質量とバリオンの質量比 (baryon fraction) は、銀河団を超えるスケールで平均した値に近づくことが予想される。銀河団内には熱いイオン化したガスが含まれ、温度は典型的に 10^7 K 程度であり、この温度領域は X 線で観測することができる。X 線の放射強度はガス中の電子の数密度の二乗に比例するため、銀河団中のガスに敏感である。一方で、X 線源が観測者から遠方にある場合は検出が難しいという特徴がある。銀河団探査を主目的の一つにした X 線観測サーベイの一つに X 線観測衛星 XMM-Newton を用いた XXL Survey がある。XXL Survey は XMM-Newton において最大の観測プロジェクトであり、南北合わせて約 50 平方度の広範囲、 $0.5 - 2$ keV バンドで 6×10^{-15} erg cm⁻² s⁻¹ の深さでの観測が可能である。この広さと深さによって銀河団内のバリオン成分の観測に適していると言える。

本研究ではすばる望遠鏡 Hyper Suprime-Cam (HSC) Survey と XXL Survey の共通領域 ~ 25 deg² にある XXL 銀河団について、HSC の撮像データから構成された CAMIRA (赤い銀河を中心に銀河団を探すアルゴリズム) cluster カタログを用いて恒星質量を推定した。また青い銀河の影響を調べるため、HSC の photo-z データ (MIZUKI) から青い銀河も含めた恒星質量を推定した。HSC で得られた WL 質量 (Umetsu et al. submitted)、恒星質量と XXL によるガス質量から baryon fraction を求め、Planck 衛星で観測された値との比較を行った。

[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](#)

T08a 銀河団からの電磁波・ニュートリノ放射の 1 次元モデリング

西脇公祐, 浅野勝晃 (東大宇宙線研究所), 村瀬孔大 (ペンシルバニア州立大学)

ニュートリノは、宇宙からの高エネルギー過程の起源を調べる上で極めて重要なメッセンジャーである。近年、南極にある IceCube では 1 PeV に達する高エネルギーニュートリノが観測されている。これらのニュートリノの放射には極めて高いエネルギーまで宇宙線を加速する機構が必要であり、その起源については活発に議論されている。

一方、Coma Cluster などの銀河団からは電波領域でシンクロトロン放射が観測されており、これは相対論的電子の存在を示している。銀河間空間で加速された陽子が銀河間物質と陽子-陽子衝突することで 2 次粒子として電子を生成していると考えられており、これに付随して逆コンプトン放射、またパイオンの崩壊によるガンマ線の放射があると考えられる。すなわち銀河団内では粒子加速が起こっており、多波長による観測は、その加速機構を明らかにする上で大きな手掛かりとなる。実際、Coma Cluster からの放射は、陽子-陽子衝突の 2 次電子のみを考える pure hadronic モデルでは無矛盾に説明できないことがわかっている。

本研究では、銀河団が IceCube ニュートリノの起源である可能性に着目し、Coma Cluster について、2 次粒子の乱流による再加速を含めたモデルでニュートリノ放射を計算した。その際、空間方向 1 次元で計算することで、銀河団内の磁場強度分布や宇宙線の拡散も考慮した。講演では、これらの結果を紹介し、マルチメッセンジャー天体としての銀河団について議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

T09b ヘビつかい座超銀河団における銀河の形態分類

平沼愛美(日本女子大学)、若松謙一(岐阜大学)、浜部勝、高山悠希、赤堀美桜、菊地いるみ(日本女子大学)

ヘビつかい座超銀河団は 1981 年に発見され、強い X 線を放ち、超近距離 (118Mpc=3.7 億光年) にある rich な銀河団である。銀河中心方向 ($l=0.5$, $b=9.5$) にあるため、可視光望遠鏡での観測は詳しく行われて来なかった。先行研究として 2011 年 6 月に CFHT(3.6m) の MegaCam で観測したデータを用いて、2809 個の銀河の検出と明るさの測定が行われた (Durret et al, A&A, 613, A20, 2018)。本研究では明るい約 1000 個の銀河について形態分類を行い、この銀河団の構造と進化の様子を調べることを目的としている。銀河には渦巻銀河/棒渦巻銀河 (S)、レンズ状銀河 (S0)、楕円銀河 (E)、不規則銀河 (Irr) があり、見た目によって分類される。また銀河は衝突や合体によって形態が変化することがある。従って、銀河団内の E,S,S0,Irr 銀河の割合から銀河団の進化の過程を明らかに出来ると考えた。今回は各銀河について等輝度曲線 (コントア) を描き分類する方法を用いた。元の画像の sky 補正を行った後、コントアを描いた。コントアは bar が顕著に表れるため棒渦巻銀河等の分類に有効であると考えられる。また、銀河二次元光度プロファイルのフィッティングコードである GALFIT を用いて、銀河をモデル化し、得られた中心集中度 n を基に分類を行った。これまでに分類を行った約 630 個の銀河のうち、 $0.8 < n < 1.5$ を S としたとき、S は約 260 個で $3.9 < n < 4.5$ を E としたとき、E は 25 個であった。E の中には明るい銀河で $n > 4$ 、暗い銀河で $n < 1$ があることを考慮すると、残りの未分類の約 350 個の中には E と S0 が多く含まれると考えられる。1 つの方法だけを用いた形態分類は難しく、上記の方法以外にも目視検査やプロファイル、中心の明るさを測定したデータを用いて様々な観点から更に詳細の分類を行う予定である。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

U01a 銀河スピン分布：SDSS 銀河サンプルの双極子異方性

家正則 (国立天文台)、福本英也 (放送大)、但木謙一、八木雅文 (国立天文台)

渦巻銀河の (1) 天球面上での渦巻の向き (S 型か Z 型か)、(2) 銀河長軸上のどちらが近づく回転運動をしているか、(3) 銀河短軸上のどちらに吸収が著しいか、の 3 つの情報を確認できた 146 個の近傍渦巻銀河の調査から、吸収の著しい側が手前側であるとすれば、全ての渦巻銀河が Trailing 渦巻であることを、再確認した (Iye et al. 2019)。吸収の著しい側が傾いた銀河円盤の手前側であることは唯一 M31 の球状星団の非対称な星間赤化から確認されている (Iye and Richter 1985) だけであるが、数値シミュレーションからも物理的にも Trailing 渦巻が普遍的と考えられる。この場合、渦巻き銀河が S 型か Z 型を判定するだけで、その銀河のスピン角運動量の視線方向成分の正負を判定することができる。銀河のスピン分布がランダム分布に従うのであれば、S 型と Z 型の数比やその空間分布に大規模な対称性の破れは生じないはずである。これまで、銀河の軸比や長軸の方位角分布の調査から宇宙の大規模構造と銀河のスピンとの関係が議論されてきたが、軸比や方位角測定は誤差要因が多い。渦巻の向きは 1 ビットの情報でしかないが、誤差要因が極めて少なく、統計解析に適した指標となる。

現在、SDSS の約 5 万個の渦巻銀河の S/Z 判定データから、大規模な分布における双極子成分の強度を測定し、同じ銀河分布にランダムに S/Z を割り振った場合に生じる偽双極子強度を 500 回のモックシミュレーションで評価した結果と比べることで、観測的に有意な対称性の破れが宇宙スケールで生じていないかを検証し始めており、その手法と中間結果を報告する。有意な対称性の破れが確認できれば、一様等方と信じられてきた宇宙の理解に大きな波紋をもたらすことになる。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

U02a 銀河系矮小銀河を用いた ultra-light axion dark matter への制限

林航平, 小幡一平 (東京大学宇宙線研究所)

超弦理論から予言される Ultra-light axion (ULA) ダークマターは、現在考えられているダークマター候補の中で最も軽いダークマターである。典型的な質量は 10^{-22} eV 程度と非常に軽いことから、このダークマターは量子圧力によって小さい空間スケールの構造形成を抑制するため、このダークマターが作るダークマターハローは中心部でコア構造が現れるという特徴を持つ。したがって、冷たい暗黒物質理論において非線形スケールの未解決問題となっている、カスプー コア問題などを解決できる理論の 1 つとして注目されている。ULA ダークマターハロー構造の性質は、ダークマター粒子質量によって特徴づけられるため、その質量を観測的に制限することが重要になる。我々は ULA ダークマターハローの質量分布を非球対称質量分布モデルに適用し、銀河系矮小銀河の動力学解析から ULA ダークマター質量の制限を行った。その結果、先行研究での球対称解析 (Chen et al. 2017 など) に比べて 5 倍程度その制限が弱くなる事がわかった。これは非球対称性の不定性によるものである。一方で我々の動力学解析から得られたダークハローの形状に注目してみると、多くの矮小銀河で潰れた形状を持つ必要があることが示唆された。特に竜座矮小銀河はその軸比が 0.21 と円盤に非常に近い形状を持たなければ観測結果を再現できない事が明らかになった。これは現在の ULA ダークマター理論では説明できない結果であり、本研究によって ULA ダークマター理論の新たな問題点を指摘する事ができた。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

U03a 摂動論的手法の検証と HSC 初年度データからの宇宙論パラメタの制限

杉山素直, 高田昌広, 宮武広直, Youngsoo Park, 小林洋祐 (カブリ IPMU), 西道啓博 (京大基研)

宇宙の大規模構造は、宇宙の初期ゆらぎの振幅、ダークマター・ダークエネルギーの存在量などの宇宙論パラメタを推定するための強力な手法である。特に弱い重力レンズと銀河クラスタリングを組み合わせた解析は、銀河バイアスと呼ばれる銀河分布とダークマター分布の間の不定性を解消して、宇宙論パラメタを決定できる。従来・現行の観測の解析では、線形銀河バイアスモデルとハローフィットモデルを組み合わせることで理論の計算を行っていたが、このモデルは 1 ハロータームが卓越するような小スケールでは観測と合わないという弱点をもつ。これは、解析に使うスケールによってはモデルに系統誤差を含んでしまうことを意味するため、模擬データを使ってモデルそのものを検証する必要がある。

本研究では、T.Nishimichi et al.(2018) の N 体シミュレーションデータを元に作成した銀河模擬カタログを解析し、得られた宇宙論パラメタの系統誤差を測ることでモデルを検証した。前回の講演では系統誤差の、解析に使用するデータのスケール依存性、銀河バイアスの高次の項への依存性について議論した。今回はさらに、使用する銀河模擬データへの依存性、非標準的な観測量を用いた場合の推定量の変化を調べた。この結果、多くの種類の銀河模擬データについて、ダークマターの存在量 Ω_m が 0.5σ 程度大きく推定される系統誤差を確認した。また、観測量を標準的な $\Delta\Sigma$ から Σ に変えた場合は、統計誤差が大きくなってしまふものの、 Ω_m の統計誤差は典型的に 0.3σ と小さくなることを確認した。 Ω_m の系統誤差に関するこれらの結果はハローフィットモデルでも十分に説明できないシグナルに起因していることをデータとモデルのシグナルを比較することで示した。また、今回検証したモデルで、HSC 初年度のデータを解析して得られた宇宙論パラメタ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](#)

U04a 宇宙大規模構造のアンチエイジング: 密度場再構築後の赤方偏移空間での質量パワースペクトルの摂動論

日影千秋 (Kavli IPMU), 小山和哉 (ポーツマス大学), 高橋龍一 (弘前大学)

宇宙大規模構造に含まれるバリオン音響振動 (BAO) や赤方偏移変形による銀河分布の非等方性は、宇宙の膨張や構造成長の歴史を調べるうえで大変重要な宇宙論的指標である。しかし、構造成成における重力的な非線形性によって BAO のシグナルは弱まり、また摂動論に基づくゆらぎのスペクトルの記述が困難になる。

非線形重力の影響を抑える方法として、観測された密度ゆらぎにゼルドビッチ近似を適用し構造成成を巻き戻す操作を施すことで、線形成長したゆらぎを近似的に再構築する方法が知られている (Eisenstein et al. 2007)。これによって BAO のシグナルが大きく改善することが理論的に確かめられ、SDSS/BOSS などの銀河サーベイによる宇宙論解析に広く応用されている。

再構築したゆらぎが線形ゆらぎに近づくものの、標準的な摂動論がどこまで適用できるかは明らかではない。そこで、赤方偏移空間で再構築した質量密度ゆらぎのパワースペクトルの 1 ループ摂動の表式を解析的に導出した。その結果、再構築後の 1 ループ摂動項の振幅は下がり、線形ゆらぎに近づくことを摂動論的な立場から確かめた。また N 体から計算したパワースペクトルと比較したところ、再構築後は 1 ループ摂動で記述できるスケール範囲がより大きい波数にまで拡張していることが分かった。1 ループ摂動式を用いて、SDSS/BOSS サーベイを想定した赤方偏移空間のパワースペクトルから構造成長率を測定した場合、統計誤差と系統誤差の両方を含む誤差が 2 倍近く改善することが分かった。以上の結果を報告する。

[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](#)

U05a 21cm 線強度マッピングの前景放射除去に関する研究

西澤淳, 市来浄興 (名古屋大学), 高橋慶太郎 (熊本大学)

21cm 線強度マッピングは、中性水素を無差別にサーベイする効率的な観測方法である。SKA-MID1 では、周波数帯に対応して、 $0.3 < z < 3$ までの大規模構造を網羅的に探索することが可能であり、SKA で観測される中性水素分布は次期宇宙論の重要な観測量である。一方で、21cm 線観測から宇宙論の信号を抽出するためには、銀河面からの強い放射成分を除去しなければならない。シンクロトロン放射では、一般的に宇宙論的信号の 10^3 のオーダーの差し引きが必要である。

我々は、宇宙論的信号と銀河の前景成分の相関がないことに着目し、CMB レンズ効果と 21cm 線でトレースする大規模構造の相互相関について考慮する。N 体シミュレーションを用いて、全天での 21cm 線と CMB レンズの相互相関信号を計算し、また同時に全天での前景放射成分も数値シミュレーションにより作成する。これらを足し合わせたものから、実際の前景放射除去アルゴリズムで差し引きを行い、前景放射成分の引き残しが相互相関解析に与える影響について定量的に議論を行う。

[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](#)

U06a POLARBEAR 実験による数度スケールの CMB 偏光ゆらぎ観測結果

高倉理, 金子大輔, 片山伸彦, F. Matsuda (Kavli IPMU), 安達俊介, 田島治 (京都大), M.A.O. Aguilar Faundez (U. Chile), K. Arnold, T. Elleflot, N. Galitzki, L. Howe, B. Keating, D. Leon, L.N. Lowry, M. Navaroli, M. Silva-Feaver, P. Siritanasak, N. Stebor, G.P. Teply, C. Tsai (UCSD), C. Baccigalupi, N. Krachmalnicoff, D. Poletti (SISSA), D. Barron (UNM), D. Beck, H. El Bouhargani, J. Errard, R. Stompor, C. Verges (APC), S. Beckman, K. Cheung, K. Crowley, N. Goeckner-Wald, J. Groh, C.A. Hill, O. Jeong, A.T. Lee, E. Linder, A. Mangu, B. Westbrook, Y. Zhou (UCB), F. Bianchini, A.T.P. Pham, C.L. Reichardt (U. Melbourne), D. Boettger (U. Catolica), J. Borrill, R. Keskitalo, T. Kisner, 鈴木有春 (LBNL), 茅根裕司, 西野玄記 (RESCEU), J. Carron, G. Fabbian (U. Sussex), S. Chapman (Dalhousie U.), A. Cukierman, G. Puglisi (SLAC), M. Dobbs (McGill U.), C. Feng (UIUC), 藤野琢郎, 菊地修平 (横国大), G. Hall (U. Minnesota), N. Halverson, G. Jaehnig (U. Colorado), 濱田崇穂 (東北大), 長谷川雅也, 羽澄昌史, 南雄人 (KEK), 瀬川優子, 高取沙悠理, 田邊大樹 (総研大), 日下暁人 (東京大/LBNL), 井上優貴 (NCU), The POLARBEAR Collaboration

POLARBEAR 実験は 150GHz 帯の直線偏光に感度を持つ超伝導転移端センサー (TES) ボロメタを 1274 個搭載した超高感度望遠鏡を用いた宇宙マイクロ波背景放射 (CMB) 偏光観測実験である。2012 年からチリ・アタカマ砂漠で観測を開始し、2014 年 5 月から 2017 年 1 月まではインフレーション起源の B モード偏光観測を目的とした 700 平方度の広域観測を実施した。本講演では広域観測のデータ解析の詳細と、得られた方位数 $50 \leq \ell \leq 600$ の B モード偏光ゆらぎの角度パワースペクトル、及び、テンソル・スカラー比 r への制限について発表する。

[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](#)

U07a CMB レンズ解析における観測誤差の伝搬

永田竜 (高エネルギー加速器研究機構), 並河俊弥 (ケンブリッジ大学)

インフレーションに起源を持つ原始背景重力波の信号測定によって、インフレーション理論のモデル選別をはじめとした初期宇宙の理解に大きな進展があると期待されている。マイクロ波背景放射 (CMB) 偏光の奇パリティパターン (B-mode) から原始重力波由来の成分を抽出する昨今の取り組みは、その嚆矢となるべく大きな期待を集めている。

CMB 偏光地図作成の試みにおいては、検出器を大規模集積することによって急速に測定感度が向上しており、近い将来に重力レンズ効果に起因する偏光地図の擾乱が原始重力波信号の測定精度を制限する事態に至ると考えられている。重力レンズ効果をもたらす不定性を取り除く「delensing 解析」は次世代の高感度観測において必須のツールと位置付けられている。今回の講演では、現実の観測では避けることができない偏光地図の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について紹介し、推定誤差が delensing へと伝搬することによる重力レンズ除去能率の低下について議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

U08a 陽子はどのようになっているか。電子はどのようになっているか。その事を検証するために、「高エネルギー加速器で、陽子と陽子を衝突させたときどのようになるか」を用いる。

小堀しづ

陽子の中の陽子のラブはビッグバンの時放出したものであり、陽子の本体である。地表における陽子のラブは次のようです。陽子のラブのエネルギーは $1.503 \times 10^{-10} \text{J}$ 。質量は $1.670 \times 10^{-27} \text{kg}$ 。大きさは $8.402 \times 10^{-32} \text{m}$ 。体積は $2.8901 \times 10^{-94} \text{m}^3$ 。比重は 5.779×10^{83} 。陽子のラブは比重が大きいのので電磁気を作ることができる。陽子のラブは電磁気なので電磁気を作ることができる。陽子のラブは自転し磁気的光子を作り、公転し電気的光子を作る。陽子のラブは自分のエネルギーと存在する場との均衡を保つために、作った電磁気を着る。自分の引力で、作った電磁気を自分の周囲に回転させておく。(特願 2019 - 115062) 陽子のラブは陽子のラブの軌道を回転する。電磁気は陽子の中の電磁気の軌道を回転する。陽子と陽子を衝突させたとき、低エネルギーの電磁気は放出する。この中には 3 種類のクオークもある。しかし、高エネルギーの電磁気は陽子のラブから離れない。(陽子のラブ + $1.486 \times 10^{-10} \text{J}$ の電磁気の束) として残る。この束は再び (陽子のラブ + $1.503 \times 10^{-10} \text{J}$ の電磁気の束) と成り陽子になる。(特願 2019 - 087222)

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

U09b 原子核はどのようなものであるか。それを調べる検証方法

小堀しづ

原子核の大きさは約 $10 - 14$ m です。どうして原子核の大きさは約 $10 - 14$ m であるか。原子核の大きさは陽子のラブの公転軌道を示す。陽子のラブの質量エネルギーは $1.503 \times 10 - 10$ J です。陽子のラブの公転軌道は、 $8.665 \times 10 - 24$ Jm \div 陽子のラブの質量エネルギー = $8.665 \times 10 - 24$ Jm \div ($1.503 \times 10 - 10$ J) = $5.765 \times 10 - 14$ m、です。この公転軌道に全ての陽子のラブがランダムに回転している。陽子のラブの比重は 5.779×1083 で、とても重い。全ての陽子のラブが $5.765 \times 10 - 14$ m の公転軌道をランダムに回転しているので、硬い凹凸のない球体である。この内側を中性子のラブが公転している。中性子のラブの公転軌道は、 $8.665 \times 10 - 24$ Jm \div 中性子のラブの質量エネルギー = $8.665 \times 10 - 24$ Jm \div ($1.5038 \times 10 - 10$ J) = $5.762 \times 10 - 14$ m、です。(特願 2019 - 119178) 従来、原子核の中には、陽子と中性子が混合して存在すると考えられている。これを検証するには、原子核に電磁気を当て、反射光の方向を調べる。一定方向に反射するはずでず。従来の考えの場合、反射光は不規則の方向に反射する。(特願 2019 - 127350)

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

U10c 宇宙を作動するものは何か。

小堀しづ

宇宙を回転させているのは中央のブラックホールである。中心のブラックホールの何が宇宙を回転させているのか。中心のブラックホールの中央には陽子のラブの塊がある。そのブラックホールの中央にある陽子のラブの塊が宇宙を回転させている。宇宙の中心の 2.631×10^{13} 太陽質量のブラックホールの中央にある陽子のラブの塊が宇宙を回転させている。1011 太陽質量、1010 太陽質量、109 太陽質量等の大きい質量のブラックホールの中央にある陽子のラブの塊が泡宇宙を回転させている。107 太陽質量、106 太陽質量、105 太陽質量等の中位の質量のブラックホールの中央にある陽子のラブの塊が銀河を回転させている。宇宙の中心の 2.631×10^{13} 太陽質量のブラックホール、1011 太陽質量、1010 太陽質量、109 太陽質量等の大きい質量のブラックホール、107 太陽質量、106 太陽質量、105 太陽質量等の中位の質量のブラックホールについて、“ブラックホールの全質量が集まる中央の球体”について記す。(特願 2019 - 154240)

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

V101a Update on ALMA Operations and Development Program - Spring 2020

A. Gonzalez, M. Fukagawa, D. Iono, T. Minamidani, G. Kosugi, Y. Uzawa, T. Kojima, K. Kikuchi, M. Hiramatsu, S. Asayama (NAOJ), and the ALMA Project team

In this presentation, we will offer an update on ALMA Operations and Development Program.

Operations: Cycle 7 observations started in early October 2019, just after the end of Cycle 6. This time, apart from 4300h of observing time offered through the Main Call for Proposals in April, around 2500h of additional ACA stand-alone observation time have been offered through a Supplemental Call. The Cycle 7 Supplemental Call has implemented a new Distributed Proposal Review method for the first time. The targets for data delivery will continue to be to deliver 90% of pipelined data within 30 days of observations. In terms of published papers, the number of publications is now over 1650.

Development: NAOJ is collaborating in the development of receivers for bands 1 (led by ASIAA) and 2 (led by ESO), and the ACA spectrometer (led by KASI) apart from initial studies in hardware and software. The Band 1 MRR meeting was held in Nov. 12-13 and the ACA spectrometer CDMR in Dec. 3-5. These were the final milestones towards the start of integration of the instruments in ALMA. For band 2 (67-116 GHz), the receiver optics components designed and fabricated by NAOJ have been chosen as the baseline for the receiver towards the CDR. In terms of studies, highlights are in wideband receivers and new band 10 mixers.

Future Planning: Planning for the implementation of the ALMA Development Roadmap continues. A Digitizers/Backend/DTS workshop will be held in Mitaka on March 11-13 2020 as part of this planning.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V102a ALMA: fringed phase calibration (4): high frequency long baseline capability

Y. Asaki (NAOJ/JAO), L. T. Maud (ESO), E. B. Fomalont (NRAO), N. M. Phillips (ESO), A. Hirota, T. Sawada (NAOJ/JAO), L. Barcos-Muñoz (NRAO), A. M. S. Richards (University of Manchester), W. R. F. Dent (JAO), S. Takahashi (NAOJ/JAO), S. Corder, J. Carpenter, E. Villard, E. M. Humphreys (JAO), H. Nagai (NAOJ), T. Tsukui (GUAS)

The focus of the high frequency (HF) long baseline (LB) imaging capability test in ALMA is to investigate the feasibility and accuracy of imaging target sources in Band 7 to 10 with 16 km baselines. Band 7 LB user observations have already been opened, started Cycle 7, while Bands 8 to 10 have a forward look towards being opened in Cycle 9 (starting October 2021).

In the feasibility study, Band-to-Band (B2B) technique has been extensively tested for the phase correction: phase solutions are obtained from lower frequency phase calibrator phases and applied to correct HF phase errors of the target source by multiplying with the frequency scaling ratio. In 2017, we initiated the HF-LB B2B feasibility study in Bands 7 to 10, and in 2019, 13 observations were made in Bands 9 and 10 with the long baseline configuration. We have successfully made synthesis images with the angular resolutions higher than 10 milli arcsecs in Bands 9 and 10. We will present results of those feasibility tests, the current status, and the next study plan achieved in 2020.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V103a ALMA 受信機用広帯域光学系コンポーネントの開発(III)

金子慶子, 坂井了, 大田原一成, 小嶋崇文, 鶴澤佳徳, Alvaro Gonzalez(国立天文台)

国立天文台では、ALMA の将来開発を目的として、電波天文観測用広帯域受信機に用いる光学系部品の開発を行っている。欧州南天天文台 (ESO) が主導で開発を進めている ALMA Band2 受信機は、観測周波数 67-116GHz の受信帯域をカバーし、比帯域約 55 % となる。我々は Band2 光学系開発について協力し、レンズを含む光学系の評価測定を行っている。初期設計・製造品測定結果から得られた開口効率が設計値との間に誤差があること、その原因をレンズ設計に使用した材料物性値の実際の値との差であると考え、レンズ曲面形状および AR コート形状の再設計を行ったことを、2019 年春季本年会において報告した。その後、再設計したレンズおよび AR 平面サンプルの再製作・測定評価を行うとともにビーム測定系全体の見直しと解析プログラムのアップデートを行い、より信頼性の高い結果を得ることができるようになった。また、デュワー窓によるビームのけられに起因する雑音成分を軽減するための光学系再設計をし、受信機全体の性能を向上させることを検討中である。一方、先端技術センターに 2019 年夏に新規導入した金属 3D プリンタを用いて製造した光学系部品の評価準備も現在進めている。本発表では、アップデートした評価系による Band2 光学系測定結果および金属 3D プリンタで製造したコンポーネントの初期測定結果を含め、我々が行っている広帯域 RF 光学系部品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](#)

V104a A Compact 4-beam Dual-polarization Balanced SIS Receiver Frontend at ALMA Band 4

Wenlei Shan, Shohei Ezaki, Akihira Miyachi, Tomonori Tamura, Takafumi Kojima, Yoshinori Uzawa (NAOJ)

Driven by wide FoV survey and imaging, SIS focal plane array receiver technology is increasingly advanced in millimeter and submillimeter astronomical observation. To enable a large number of pixel counts, a compact architecture in the construction of arrays has been established. In this method, the conventional rectangular waveguide components are replaced by their planar circuit counterparts realized by using superconducting transmission lines. Because the circuits are fabricated onto silicon wafers by using photolithographic method, they are more precisely defined and the performances are better predicted than conventionally constructed ones with metallic waveguide components.

We have been conducting this integrated multibeam receiver development in NAOJ. In 2018 spring ASJ annual meeting we have presented a dual polarization balanced mixer on a single chip operating at a frequency range of 125–163 GHz. The low receiver noise (< 50 K SSB) and the low-level cross-polarization (< -20 dB) of this device were reported. In 2019 spring ASJ annual meeting we reported on the balanced mixing performance, showing that a noise rejection ratio as high as 15 dB can be achieved with this integrated circuit. In this ASJ meeting, we will report a four-beam array using the planar circuit that we have developed, including its design and the performance that have been measured so far.

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

V105a ASTE Band 10 受信機 (787 - 950 GHz) システム評価および科学評価試験結果

浅山信一郎, 鎌崎剛, 石井峻, 伊藤哲也, 藤井泰範, 伊王野大介, 阪本成一, 鶴澤佳徳, 他 ASTE 運用メンバー (国立天文台)

ASTE(Atacama Submillimeter Telescope Experiment) は、サブミリ波帯で優れた観測条件をもつチリ・アタカマ高地の ALMA サイト (標高 4860 m) で国立天文台が運用している口径 10 m のサブミリ波望遠鏡である。

我々は、ALMA Band 10 受信機 (787 - 950 GHz) のプロトタイプ機を ASTE 用に改修し搭載および科学評価試験を行った。この受信機には、ALMA 将来開発研究の成果である高臨界電流密度 SIS 素子を用いて広帯域性能を実現した最新の SIS ミクサを搭載している。ASTE Band 10 受信機は国立天文台のチームにより 2019 年 10 月初旬に搭載され、システム評価および科学評価観測を 2019 年 11 月末まで実行した。観測期間における大気込みの雑音温度は 1500 - 4000 K であった。天体を用いた電波指向精度等や副鏡位置調整、およびビーム形状測定を行い、ビームサイズはほぼ理論値⁹に近いことが IRC10216 の HCN メーザー観測によって確認された。システム評価活動に引き続き、科学評価観測として、Orion-A 巨大分子雲領域に関しては $^{12}\text{CO}(J=7-6)$ で $4' \times 8'$ の領域を $\text{rms}\Delta T_{\text{a}}^* < 2 \text{ K}$ 、 $[\text{CI}](^3\text{P}_2 \rightarrow ^3\text{P}_1)$ の $8' \times 10'$ の領域を $\text{rms}\Delta T_{\text{a}}^* \sim 1.5 \text{ K}$ の感度で観測した。また巨大星団 RCW 38 においても $[\text{CI}](^3\text{P}_2 \rightarrow ^3\text{P}_1)$ では $4' \times 6'$ の領域を $\text{rms}\Delta T_{\text{a}}^* \sim 1.5 \text{ K}$ の感度で観測を行っている。この結果 ASTE において ALMA Band 10 周波数帯の科学観測が可能であることが実証された。

本講演では、ASTE Band 10 受信機の詳細と、システム評価活動および試験観測結果について報告を行う。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V106a LMT 50 m 鏡用 2 ミリ受信機システムの開発と爆発的星形成銀河、巨大ブラックホールの研究 V: 科学評価試験

川邊良平 (NAOJ), 酒井剛 (電気通信大), 田中邦彦 (慶応大), 吉村勇紀, 竹腰達哉, 廿日出文洋, 河野孝太郎 (東大), 谷口暁星, 田村陽一 (名古屋大), 大島泰 (NAOJ), David Hughes, David Sánchez-Arguelles, Arturo Gómez-Ruiz, Iván Rodríguez-Montoya, Javier Zaragoza-Cardiel, Edgar Colin, Miguel Chavez-Dagostino (INAOE), Pete Schloerb, Kamal Souccar, Min Yun (UMass)

我々は 2018 年にメキシコ LMT50m 鏡に 2mm 受信機システム (以下 B4R) を搭載し科学評価観測を開始した。サイト近郊の安全問題のため活動の一時停止を余儀なくされたが、最近になって十分な安全対策が取られたため活動を再開した。2019 年 11 月には、現地で以下のことを行った: 1) 受信機の改修 (低温窓の工夫によるベースラインリップルの低減など)、2) LMT の制御システムと B4R の統合を測るためのツールの開発とコミッショニング (SiO 輝線などを用いた指向補正観測、副鏡 z 軸方向の焦点合わせ、非点収差補正等)、3) 開口能率評価、4) high-z 銀河を含む銀河系内外天体などでの科学評価試験、5) B4R 運用ノウハウの現地観測所員への移行。z = 2-3 の明るいサブミリ波銀河の観測では、複数の天体で $\text{CO}(J=4-3)$, $\text{CO}(J=5-4)$, $[\text{CI}]1-0$ などいずれも約 5-10 分の on-source 時間で検出でき、ミリ波単一鏡として最高感度・最高集光力を達成した。受信機の一部改修等の課題は残されているが、LMT の観測所装置としての運用の準備がほぼ整い、今後は LMT/INAOE グループやマサチューセッツ大学などと共同で、high-z 天体、星形成領域、銀河中心などの本格観測を行ってゆく予定である。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V107a NASCO 計画の開発進捗：全体の報告

山本宏昭, 木村公洋, 大浜晶生, 藤城翔, 松英裕大, 阪本茉莉子, 松永健汰, 逆井啓祐, 奥田想, 塩谷一樹, 堤大陸, 藤田真司, 榎谷玲依, 林克洋, 佐野栄俊, 立原研悟, 福井康雄 (名古屋大学), 松本健, 山崎康正, 西村淳, 小川英夫 (大阪府立大学), 小林和宏 (名古屋大学全学技術センター), 水野亮 (名古屋大学 ISEE), 藤井泰範 (国立天文台), 他 NANTEN2 メンバー

我々は口径 4m のミリ波サブミリ波望遠鏡 NANTEN2 で CO 輝線の超広域サーベイ計画 NASCO (NANTEN Super CO survey as legacy) を推進している。マルチビーム受信機の搭載を 2019 年 8 月初旬から開始し (木村他 2019 年秋季年会)、9 月下旬には 100 GHz 帯、200 GHz 帯の 2 周波同時観測でのファーストライトを達成した (藤城他 2019 年春)。また、ナイフエッジ法を用いた光学系のビーム伝送路の確認を受信機キャビンにて行ってきた (阪本他 2019 年春)。NANTEN2 望遠鏡の架台は経緯式のため、光軸から外れたところを通る 100 GHz 帯のビームは、天球面に投影した際に、仰角の変化に応じて光軸を中心に回転する。この回転を補正する装置は搭載されていないため、観測時の座標計算に、これらのビームの回転半径と回転角を考慮する必要がある。この測定を太陽を用いて実施している。また、効率よく要求感度を達成するサーベイを行うため、約 2 度 × 約 2 度を 1 タイルとして 600 秒角/秒の速度で OTF スキャンを行い、0.1 秒ごとにデータを保存する。使用する分光計 xFFTS (バンド幅 2 GHz, 分光点数 32k 点) のデータ取得ソフトを独自に開発し、観測領域を精度よく追尾、スキャンし、データ取得ができることを確認した。サブプレフを用いたフォーカス調整、惑星による電波ポインティング、天体観測による装置の最適化、各種ソフトウェアのバグだし、解析ソフトの開発を進め、本観測に向けた作業を実施している。

本講演では上記を含め、2019 年秋季年会以降のプロジェクト全体の進捗を報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V108b NASCO 計画の開発進捗：搭載作業とファーストライト

藤城翔, 木村公洋, 大浜晶生, 松英裕大, 阪本茉莉子, 松永健汰, 逆井啓祐, 奥田想, 塩谷一樹, 堤大陸, 藤田真司, 榎谷玲依, 林克洋, 佐野栄俊, 山本宏昭, 立原研悟, 福井康雄 (名古屋大), 松本健, 山崎康正, 西村淳, 小川英夫 (大阪府大), 小林和宏 (名古屋大 装置開発技術支援室), 水野亮 (名古屋大 ISEE), 藤井泰範 (国立天文台), 他 NANTEN2 メンバー

我々は、4 m サブミリ波望遠鏡 NANTEN2 で、南半球から観測可能な全天の約 70% をカバーする超広域 CO サーベイ観測、NASCO (NANTEN2 Super CO survey as legacy) 計画を推進している。この計画では、短時間かつ高感度で効率よくマッピング観測を行う必要があるため、我々は 115 GHz 帯 4 ビーム両偏波 SSB 受信機と 230 GHz 帯 1 ビーム両偏波 2SB 受信機を搭載した新たなマルチビーム受信機の開発を完了させた (逆井他 2019 春, 藤城他 2019 春)。その後、2019 年 8 月初頭より運用地であるチリアタカマ砂漠にある NANTEN2 望遠鏡へ、NASCO 受信機の搭載作業を開始した。およそ 2ヶ月かけて、現地での受信機内部部品の組み立てや周辺機器の整備、試験冷却、液体窒素や sky を用いた Y-factor 測定、230 GHz 受信機を用いた光軸調整等を行ったのち、同年 9 月 18 日に 230 GHz 1 ビームで、9 月 21 日には 230 GHz 1 ビーム、115 GHz 2 ビームの 2 周波同時マルチビームでのファーストライトを達成した。ファーストライト達成時、 T_{sys} が 500 K 程度であることや、冷却アンプの故障により全てのビームで出力がないという問題が確認されたが、10 月に再度受信機を昇温し、内部の調整を行ったところ、性能や出力ビーム数が改善されることを確認した。本講演では、今年度に我々が現地で行った搭載作業について報告するとともに、その後の性能測定等の結果や今後の予定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](#)

V109b NASCO 受信機の開発進捗:ビーム性能評価

阪本茉莉子, 木村公洋, 大浜晶生, 松英裕大, 藤城翔, 松永健汰, 奥田想, 塩谷一樹, 逆井啓佑, 堤大陸, 榎谷玲依, 佐野栄俊, 山本宏昭, 立原研悟, 福井康雄 (名古屋大理), 西村淳, 小川英夫 (大阪府大), 小林和宏 (名古屋大 装置開発技術支援室), 水野亮 (名古屋大 ISEE), 藤井泰範 (国立天文台), 他 NANTEN2 メンバー

我々は、チリにある NANTEN2 電波望遠鏡に 5 ビームのマルチビーム受信機の搭載を進めている (NASCO 計画、山本他本年会)。この計画を実現するには、低雑音のマルチビーム受信機が必要であり、115 GHz 帯 4 ビームと 230 GHz 帯 1 ビームの冷却光学系を採用した NASCO 受信機を開発した。またコンパクトなビーム配置にするため、デューア内部で可能な限り冷却ミラーを近づけた非平行で複雑な光学設計となっている。そのため、実際に組み上げた際の各コンポーネントのアライメントは、非常に重要となる。今回、NANTEN2 望遠鏡に搭載した NASCO 受信機のビーム伝送系の確認・評価するため、キャビン内にナイフエッジ測定装置を設置し、近傍界のビームパターン測定を行った。

今回我々は、sky を背景にビーム電送系上に 5 mm の幅の黒体の棒を置き、ビームを横切る方向に -30 dB のエッジレベルをカバーするようにステッピングモーターを用いて 2 軸方向に動かすことで、XFFTS 分光計で強度変化を測定する、ナイフエッジ法を用いてビームの位置、大きさなどのビーム性能を測定した。また、今回得られた測定結果をビーム伝送系シミュレーションソフト GRASP を用いたモデル計算、および大学実験室での測定結果と比較した。本講演ではこれらの結果を中心に現在の NASCO 光学系のステータスを報告する。

[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](#)

V110b ニューラルネットワークによる風データを用いた ASTE の指向誤差の推定

植村誠 (広島大学), 浮田信治, 江澤元 (国立天文台)

チリ・アタカマ高地にある口径 10 m のサブミリ波望遠鏡 ASTE では、風速数 m から数十 m の風によって指向方向に誤差が生じる。従来は風速計の瞬時値を用いて、オフセット値を毎秒更新することでリアルタイムに指向方向を補正してきた。一方で、実際の指向誤差は風速計の瞬時値だけでなく、過去の風の状態にも依存していると考えられる。また、リアルタイム補正ではオフセット値の更新命令が実際のアンテナ方向に反映されるまでにタイムラグが生じ、最適な補正になっていない可能性がある。風データから指向誤差を高い精度で推定することができれば、リアルタイムでは補正せず、観測後に補正する選択肢が得られる。

そこで我々はニューラルネットワーク (NN) を用いて、風速と風向データから ASTE の指向誤差を推定するモデルを研究した。データは 2009 年 9 月 2 日に取得された約 1 時間の風速・風向データと、ASTE に同架した光学望遠鏡で測定した指向誤差を用いた。まず適切な入力データの範囲を調べ、瞬時値のみを用いる従来法よりも、推定する指向誤差の時刻に対して 5.0 秒前から 2.5 秒後までの付近を用いる方が良いモデルになることがわかった。32 ユニットの隠れ層 1 層を持つ NN をデータに最適化し、指向誤差を補正することで、系統的な指向誤差はほぼ解消された。補正された指向誤差の平均は 1.15 秒角で、その多くはシーイング由来の高周波ノイズと考えられるが、風速に相関した残差成分も見られ、モデルには改善の余地がある。また、NN の学習に用いたデータから時間的に離れると推定精度は大きく悪化し、望遠鏡の姿勢や温度の変化が寄与していると考えられる。本研究の結果は、風データから NN を用いて実用に耐える精度で指向誤差を補正できる可能性を示唆するが、実用化のためには様々な望遠鏡姿勢・温度でデータを取得し、姿勢や温度も入力データに加える必要がある。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V111c ASTE の運用 (4)

阪本成一, 鎌崎剛, 伊藤哲也, 木挽俊彦, 藤井泰範, 芦田川京子, 松居隆之, 梅本智文, Andrea Silva, 浅山信一郎, ほか ASTE 運用チーム (国立天文台)

ASTE(Atacama Submillimeter Telescope Experiment) は、サブミリ波帯で優れた観測条件をもつチリ・アタカマ高地 (標高 4860 m) で国立天文台が運用している口径 10 m のサブミリ波望遠鏡である。2000 年に ALMA のための技術試験機として野辺山に設置されて各種評価試験を行ったのち、2002 年にはチリに移設され、ALMA の成果を高めるためのパイロット観測や、大口径サブミリ波単一鏡としての特徴を生かした広域・広帯域観測、さらには先駆的な技術開発のためのプラットフォームとして活用されてきた。

ASTE では、2019 年 6 月 17 日から 9 月 30 日にかけて 2019a 期の共同利用観測を行い、2017 年度からの繰り越し課題を含む全 26 課題の観測を完了した。得られた観測データは今期からは新規に開発された野辺山 45m/ASTE サイエンスデータアーカイブを経由して観測者に提供されている。

また、共同利用観測終了後には科学研究費補助金で開発された 787–950 GHz 帯受信機 (ASTE Band 10) の 3 カートリッジ型冷凍機への新規搭載作業を行い、引き続き科学評価が行われた (浅山ほか、本年会)。従来から搭載されていた 345 GHz 帯受信機 (DASH345) と 500 GHz 帯受信機 (ASTE Band 8) も引き続き使用可能である。

さらに、国立天文台における技術力向上の一環として、技術情報の文書化と管理、アンテナ保守の内製化準備を進めており、特にアンテナ保守の内製化に関しては、2020 年 1 月から 3 月にかけての定期保守期間中にメーカー技術者からの技術移転を受けるべく、事前に詳細な保守マニュアルの準備を進めている。

[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](#)

V112a 1.85 m 電波望遠鏡 / 受信機制御のためのシステム開発進捗

上田翔汰, 松本健, 近藤滉, 高嶋辰幸, 小西諒太郎, 後藤健太, 西村淳, 大西利和, 小川英夫 (大阪府立大学)

我々は、口径 1.85 m の電波望遠鏡を開発し、野辺山宇宙電波観測所にて広域サーベイ観測を行ってきた。現在、本望遠鏡を南米チリの標高 2,500 m のサイトに移設し、これまで観測してきた 230 GHz 帯の CO($J=2-1$) 同位体 3 輝線に加え 345 GHz 帯の CO($J=3-2$) 同位体を加えた合計 6 輝線同時、超広帯域/広域サーベイ観測を実現する計画を推進している。この移設に際し、我々は日本からの完全リモート観測を実現すべく、計算機リソースを分割し、冗長性の高いシステム NECST(NEW Control System for Telescope) を設計/開発している。NECST には分散型システムを容易に実現することができる ROS(Robot Operating System) を用いており、機能を柔軟かつ容易に導入・変更することが可能である。(近藤他 2019 年秋季年会)

2019 年 8 月ごろ、長年使用し老朽化したモータ・エンコーダ・制御 PC 等を一新し、手動で問題なく動作することを確認した。新エンコーダはリモートオペレーションにおける信頼性をより高めるため、アブソリュート方式を採用した。その後、NECST を用いた新駆動システムを構築し、実験室にて動作確認を行った。

2019 年 11 月から 1.85m 鏡に新駆動システムを搭載し、動作試験を行っている。現時点で駆動精度は $\sim 3''$ を実現しており、1.85m 鏡の 345 GHz に対する分解能 $2''$ に対して十分な精度を達成していることを確認した。今後、ポインティングを行ったのち、観測スクリプトや解析ツールの整備を行い、試験観測に移る。本講演では、1.85m 鏡の新制御システムの概要と開発状況、より詳細な結果を報告し、今後の課題・ロードマップ等も紹介する。

[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](#)

V113b 210 - 375 GHz 帯 広帯域コルゲートホーンの開発

山崎康正, 大川将勢, 南大晴, 横山航希, 増井翔, 上田翔汰, 岡田望, 西村淳, 大西利和, 小川英夫 (大阪府立大学), 長谷川豊 (ISAS/JAXA), 木村公洋 (名古屋大学), Alvaro Gonzalez, 小嶋崇文, 金子慶子, 坂井了 (NAOJ)

我々大阪府立大学を中心とするグループは、現在 1.85m 電波望遠鏡に関する新たな計画を推進している。それは南米チリのアタカマ (標高 2,500 m) で 210–375 GHz 帯に存在する CO 同位体 ($J = 2-1, 3-2$) を同時観測する計画である。そこで我々は上記周波数帯をカバーする広帯域な受信機を開発している (増井他 2019 秋)。広帯域観測を実現するために、210–375 GHz 帯 (比帯域 56%) のビームを一つのフィードで給電可能な光学系の開発を進め、特に上記周波数帯で -25 dB 以下の反射、 -30 dB 以下の交差偏波の特性を持った低損失なコルゲートホーン的设计を行った (山崎他 2019 秋)。そして現在、製作したコルゲートホーンの近傍界ビームパターン測定を進めている。

製作したコルゲートホーンの懸念点として切削誤差が挙げられる。特性を広帯域にするためモード変換部の溝の深さ/幅比を高くし、さらにコルゲートホーンに接続する導波管において高次モードの発生を抑制するため導波管直径を小さく設計したが、それが切削を難しくした。つまり、切削誤差が大きくなることが予想される。そこで今回製作したコルゲートホーンが設計値とどの程度ずれ、それが観測にどの程度の影響を及ぼすのかを検討する。測定系には国立天文台 先端技術センター内の近傍界測定装置 (Gonzalez et al. 2016) を用いて、ビームサイズ、交差偏波、サイドローブなどの評価を行う。

本講演では、これらの評価結果の詳細と展望について報告を行う。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V114b 大阪府大 1.85 m 望遠鏡 230, 345 GHz 帯 CO 同位体 6 輝線の同時観測に向けた広帯域受信機システムの開発

増井翔, 南大晴, 横山航希, 大川将勢, 山崎康正, 上田翔汰, 西村淳, 大西利和, 小川英夫 (大阪府大), 長谷川豊 (ISAS/JAXA), 小嶋崇文, Alvaro Gonzalez (NAOJ)

我々は国立天文台 野辺山宇宙電波観測所に設置された口径 1.85m 電波望遠鏡を開発・運用してきた。さらに、現在 230 GHz 帯, 345 GHz 帯 CO 同位体 6 輝線の広帯域同時観測及び、観測領域の拡張 (南天領域) を狙って、本望遠鏡を南米チリの標高 2,500m サイトへ移設すべく準備を進めている。

広帯域観測のための受信機システムとして、210–270/280–375 GHz 超広帯域周波数フィルタと、CO 輝線観測に焦点を当てた 215–235/245–265 GHz および 300–320/330–350 GHz 帯周波数フィルタを組み合わせ、210–375 GHz 4 帯域フィルタを開発中である。前年会では、製作を行った超広帯域周波数フィルタの測定結果や、電磁界解析ソフトを用いた 4 帯域フィルタのシミュレーション結果を発表した (増井他 2019 年秋季年会)。そして現在、これまで開発した装置を組み合わせた広帯域受信機システムの構築を進めている。現状の受信機システムは、超広帯域周波数フィルタ及び、同時に開発を進めていた広帯域コルゲートホーン (山崎他 2019 年秋季年会、本年会)、さらに近年開発が進んでいる広帯域 SIS-Mixer (Kojima et al. 2017) から構成されている。このような広帯域同時観測は、ミリ波サブミリ波帯では世界的にも未だ達成されておらず、新たな問題などが考えられる。例えば、230 GHz 帯に用いている局部発信信号の高調波が 345 GHz 帯に影響を与えるなどの問題が考えられる。

本講演では、広帯域受信機システムの開発状況及び、上記の問題点について報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V115b 多輝線同時観測のための 200 GHz 帯導波管型マルチプレクサの開発 2

中島 拓, 小瀬垣 貴彦, 佐谷 昂樹, 原谷 浩平, 水野 亮 (名古屋大学), 鈴木 和司 (宇宙航空研究開発機構), 小嶋 崇文, 鶴澤 佳徳, 浅山 信一郎 (国立天文台), 渡邊 一世 (情報通信研究機構)

異なる周波数に存在する複数の分子種や励起状態の輝線を同時に観測することは、分子ガスの物理状態や化学反応を調べる為に有用であるため、受信機においては周波数の広帯域化が重要な研究課題となっている。我々は、導波管型 90 度ハイブリッドカップラとバンドパスフィルタを組み合わせることで 170–260 GHz の信号を 4 つの帯域に分割し、後段の超伝導 SIS ミキサへと出力可能な「200 GHz 帯導波管型マルチプレクサ」を開発した。

本研究では、まず地球大気に存在する複数の微量分子を同時に観測する大気ラジオメータへの応用を目指し、179–187 GHz、199–207 GHz、226–234 GHz、246–254 GHz の各 8 GHz 幅の信号を分離して出力するマルチプレクサを電磁界解析ソフトウェア HFSS を用いて設計した。そして、回路全体を一つのコンポーネントとしてアルミニウム合金のブロックに切削加工し、VNA を用いてその性能測定を行った。その結果、設計値と実測値の周波数特性は非常に良く一致し、設計・製作・評価の妥当性が確認できたことを 2018 年秋季年会で報告した。

その後、マルチプレクサに後段の SIS ミキサを接続し、実験室において 4 K 冷却時の受信機雑音温度とサイドバンド分離比を実測した。雑音温度については、DSB ミキサ単体の性能に比べてマルチプレクサを使用した場合の上昇分を測定し、これが電磁界解析を基に予想した上昇分と一致することが確認できた。従って、雑音性能の悪化はマルチプレクサの伝送損失で説明できることが分かった。サイドバンド分離比は、実測値が USB 側で約 35 dB、LSB 側で約 25 dB となり、これも予想された解析値と非常に良く一致していた。

講演では、解析と実測の比較結果を示し、実機への応用に向けた今後の課題について述べる。

[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](#)

V116c 野辺山 45 m 電波望遠鏡における 3 帯域同時観測に向けた TZ 受信機の改修

甘利涼湖, 堤稔喜, 藤澤健太, 新沼浩太郎, 青木貴弘, 澤田-佐藤聡子 (山口大学), 今井裕 (鹿児島大学), 小川英夫, 西村淳, 岡田望, 上田翔汰, 高嶋辰幸, 増井翔, 近藤滉, 松本健 (大阪府立大学), 鳥居和史, 宮澤千栄子, 金子紘之 (NRO)

国立天文台 野辺山宇宙電波観測所 45 m 電波望遠鏡において、我々は HINOTORI (Hybrid Installation Project in Nobeyama, Triple-band Oriented) プロジェクトを進めている。このプロジェクトの目標は、KVN (Korean VLBI Network) と連携した 3 帯域 (22/43/86 GHz 帯) 同時 VLBI 観測の実現である。これにより、感度と高分解能を飛躍的に向上させ、(1) 晩期型星周メーザ源分布同士の直接比較、恒星風加速の仕組みの解明、(2) 光学的に厚い AGN ジェットの根本におけるジェット加速機構の解明、(3) HCN および HCO⁺ の吸収線を用いた AGN トーラスの物理状態の解明、などのサイエンスに取り組める。3 帯域同時観測のための周波数分離フィルタの製作は完了している (岡田他、2018 年秋季年会)。我々は、86 GHz 帯受信機として 2017 年まで共同利用観測として使用されていた TZ 受信機の改修を行った。これまで、受信機のハード部分の改修と NANTEN2 望遠鏡用に ROS (Robot Operating System) を用いて開発された NECST (NEw Control System for Telescope) をベースに改良した新制御システムの開発 (近藤他、2019 年秋季年会) を完了し、8 月 26 日に 45 m 鏡に再搭載を行った。改修後の First light では TZ で SiO メーザのスペクトルを確認することができた。このことにより、配線関係、設定周波数などが正しいことが確認された。11 月 10 日には、3 帯域同時単一鏡観測を実現することができた。また、Beam squint 観測を行うことで野辺山で基準としている H40 受信機との pointing のズレを 3" 以内に抑えることができた。本発表では、野辺山で行った TZ 受信機の評価観測とその結果について報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V117a 高感度ミリ波受信機の開発に向けた LO 信号由来の受信機雑音の低減

入山 奨基, 中島 拓, 水野 亮, 長濱 智生 (名古屋大学), 藤井 泰範 (国立天文台)

Gunn 発振器は低雑音なミリ波発振源であることが知られており、ミリ波受信機の LO (局部発振器) 信号源として使用されてきた。しかし、入手が困難になってきていることや、リモート制御に不向きであることなどにより、Gunn 発振器を使用し続けることは困難な状況である。そこで近年は、マイクロ波信号発生器 (SG) を原振とし、マルチプライヤを用いてミリ波を生成する LO 系へと移行しつつある。しかし、LO 系に SG + マルチプライヤを用いると、多くの場合 Gunn 発振器と比較して受信機雑音が悪化してしまう。受信機雑音を悪化させる主な雑音成分は AM ノイズと呼ばれ、LO 信号の側波帯に発生していると考えられる (e.g. Bryerton et al. 2008)。

そこで我々は、この AM ノイズを除去し、主信号のみを通過するような狭帯域のバンドパスフィルタ (BPF) を用いることで受信機雑音の改善を試みた。AM ノイズの発生源としては、アクティブなデバイスである SG とマルチプライヤ両方が考えられる。そこで、まず、SG の次段に帯域幅 60 MHz のマイクロ波帯 BPF を接続し、SG 由来のノイズの除去を試みた。また、マルチプライヤの後段に接続することで SG とマルチプライヤ由来のノイズを同時に除去可能なミリ波帯導波管型 BPF (中心周波数: 約 80 GHz、帯域幅: 約 1 GHz) を製作し、受信機雑音の測定を行った。これらの結果、BPF 無しでは約 400 K を示した受信機雑音温度が、マイクロ波帯 BPF を用いることで約 100 K まで低減した。さらに、ミリ波帯 BPF を用いた場合には約 70 K まで低減し、これは Gunn 発振器使用時と同等な雑音レベルとなった。

本講演では、狭帯域なマイクロ波帯およびミリ波帯 BPF を用いた低雑音化実験の評価系を紹介し、測定した雑音温度と IF 信号周波数特性の関連性についての考察を述べる。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V118a CMB 偏光観測衛星 LiteBIRD ミッション定義フェーズ IV

堂谷忠靖, 篠崎慶亮, 関本裕太郎, 高倉隼人, 辻本匡弘, 長谷部孝, 満田和久 (JAXA), 永田 竜, 羽澄昌史, 南 雄人 (KEK), 片山伸彦, 桜井雄基, 菅井 肇, 高倉 理, 松村 知岳 (東大 IPMU), 石野宏和, 魚住 聖 (岡山大), 鹿島伸悟 (NAOJ), 小松 英一郎 (MPA) 他 LiteBIRD pre-phase A2 チーム

LiteBIRD 衛星は、CMB の偏光観測によりインフレーション起源の原始重力波を探索する JAXA 主導の国際共同ミッションである。JAXA 戦略的中型ミッションの 2 号機として選定され、2020 年代後半の打ち上げを目指して開発を進めている。宇宙マイクロ波背景放射 (Cosmic Microwave Background: CMB) の偏光を、太陽・地球ラグランジュ点 (L2) にて 3 年間かけて全天にわたって精密観測し、原始重力波の痕跡である渦巻き状の 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。

我々は、JAXA 宇宙科学研究所のミッション定義フェーズ (pre-phase A2) にて、LiteBIRD 衛星の概念検討を米国 (焦点面検出器、2K 冷凍機)、ヨーロッパ (中高周波望遠鏡 MHFT およびサブケルビン冷凍機)、カナダ (常温読出回路) と協力してすすめてきた。国内では、KEK (LFT 地上望遠鏡校正担当)、東大 IPMU (LFT 用偏光変調器担当)、他と協力している。広帯域 (34–448 GHz) 観測による前景放射除去や系統誤差の検討をおこない、B モード偏光を検出する十分な見込みを得ている。講演では、日本の担当する広視野の低周波望遠鏡 (low frequency telescope: LFT)、放射冷却と機械式冷凍機を組み合わせた冷却システム、地上検証計画、衛星バスシステムについて、概念検討の進捗状況を報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V119a LiteBIRD 低周波望遠鏡スケールモデルのコンパクトレンジ測定

高倉隼人 (東京大学, ISAS), 関本裕太郎, 稲谷順司 (ISAS/JAXA), 鹿島伸悟 (NAOJ)

宇宙マイクロ波背景放射 (CMB) の偏光観測は、インフレーション仮説を検証する有力な手段として期待されている。LiteBIRD は、CMB の全天観測により、大スケールな偏光パターンの精密観測を目指す衛星計画である。LiteBIRD に搭載する低周波望遠鏡 (LFT) は、口径 400 mm のクロスドラゴン型望遠鏡であり、 $20^\circ \times 10^\circ$ の広い視野と 34–161GHz の広い周波数帯域を持つ。本研究では、実機サイズでの試験の前段階として LFT の 1/4 スケールモデルを製作し、これを用いて光学特性の評価試験を行っている。これまでに近傍界測定により遠方サイドローブと交差偏波の評価を行ったほか (2019 年春季天文学会 V130a; Takakura et al., IEEE TST 2019)、LFT スケールモデルと同程度の大きさのクロスドラゴン型光学系で参照波面を作り、偏光角の測定を行った (2019 年秋季天文学会 V138a)。

今回は、参照波面を傾けながら LFT スケールモデルに入射することで、コンパクトレンジ測定によりサイドローブを評価した。この測定結果について、近傍界測定の結果と比較しながら報告する。

[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](#)

V120a CMB 偏光観測実験 GroundBIRD - 天体を用いた観測地での性能評価 -

杵間 弘樹 (東北大・理研), 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 (東北大・理研), 岡田 智香 (東北大), 小栗 秀悟 (理研), 唐津 謙一 (TUDelft), 官野 史靖 (東北大), 木内 健司 (東大理), 小峯 順太 (京大理), 古谷野 凌 (埼玉大), 鈴木 惇也 (京大理), 関本 裕太郎 (JAXA), 瀬本 宗久 (埼玉大), 末野 慶徳 (京大理), 田井野 徹 (埼玉大), 田島 治 (京大理), 辻 悠汰 (東北大・理研), 富田 望 (東大理), 永井 誠 (天文台), 長崎 岳人 (理研), 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 (京大理), 裴輪 眞 (東大理), 美馬 覚 (理研), 吉田 光宏 (総研大・KEK), Jihoon Choi (IBS), Ricardo T. Génova-Santos (IAC), Yonggil Jo (コリア大), Kyungmin Lee (コリア大), Joonhyeok Moon (コリア大), Michael Peel (IAC), Rafael Rebolo (IAC), Jose Alberto Rubiño-Martin (IAC), Eunil Won (コリア大)

インフレーション理論は、宇宙マイクロ波背景放射 (CMB) の偏光マップに「B モード」と呼ばれる特徴的なパターンを刻印することを予言している。GroundBIRD 実験は高速回転スキャンと超伝導検出器 Microwave Kinetic Inductance Detectors (MKIDs) により、従来の地上実験よりも広いスケールを観測することができる。本実験は 2019 年の夏から観測地での運用を開始した。

運用開始後、GroundBIRD 望遠鏡で月の観測を行った。月は、GroundBIRD 望遠鏡の角度分解とほぼ等しく、観測頻度も高いため望遠鏡の較正を行うのに適した天体である。また、MKIDs の広いダイナミックレンジが放射強度の大きな月の観測を可能にする。本公演では、月の観測による望遠鏡の角度分解能や検出器の応答性の評価について報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V121a POLARBEAR-2/Simons Array 実験 -本観測に向けた観測機器コミッショニング状況

長谷川雅也 (KEK 素核研), 秋葉祥希 (総研大), 安達俊介 (京都大), 阿部倫史 (京都大), 井上優貴 (National Central University), 片山伸彦 (Kavli IPMU), 金子大輔 (Kavli IPMU), 菊地修平 (横国大) 日下暁人 (東京大/LBNL), 鈴木有春 (LBNL), 鈴木純一 (KEK 素核研), 瀬川優子 (総研大), 田島治 (京都大), 高倉理 (Kavli IPMU), 高取沙悠理 (総研大), 田邊大樹 (総研大), 茅根裕司 (東京大), 都丸隆行 (天文台), 西野玄記 (東京大), 羽澄昌史 (KEK 素核研), 濱田崇穂 (東北大), 服部香里 (産総研), 廣瀬開陽 (横国大), 松田フレドリック (Kavli IPMU), 松村知岳 (Kavli IPMU), 南雄人 (KEK 素核研)、他 POLARBEAR collaboration

宇宙マイクロ波背景放射の偏光観測を通して宇宙誕生及び進化の謎の解明を目指す POLARBEAR は、現在、望遠鏡を 3 台に増設し、それぞれに新型のレーザーシステム (POLARBEAR-2 レシーバ) を搭載して観測を行う「Simons Array 計画」を進めている。POLARBEAR-2 レシーバには、これまでの 6 倍にあたる 7588 個の TES ボロメータを搭載して統計感度の向上をはかると共に、シニアアンテナを用いた、90/150GHz (3 台目のみ 220/270GHz) の 2 バンド同時観測を実現し、前景放射のより高精度な分離が期待できる。

1 台目のレシーバは、今年 1 月に観測サイトにおいて惑星を用いたファーストライトを達成し、現在本観測の開始を目指して、検出装置の性能評価や校正・変調装置の立ち上げ、各種モニター装置の導入等、現地でのコミッショニング作業を続けている。本講演では POLARBEAR-2 の概要と共に、1 台目の現地でのコミッショニング作業の現状および 2 台目、3 台目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](#)

V122a POLARBEAR-2a の高温黒体放射光源を利用した検出器データの検証と校正

金子大輔 他 POLARBEAR コラボレーション

Simons Array は宇宙マイクロ波背景放射 (CMB) の偏光を観測することで未解明の初期宇宙での高エネルギー現象であるインフレーションの解明などを目指す国際共同実験である。本実験はチリのアタカマ高地で観測を行った POLARBEAR の後継として、高感度な超伝導転移端検出器を 7588 個搭載する受信器を計 3 台用いて観測を行う計画である。受信機のうち最初の 1 台は 2018 年の末に現地でのインストールが完了した。2019 年 11 月時点では本観測の開始を目指して検出器の健全性の確認をはじめ各要素の確認や調整作業を行っている。

主なテーマは校正装置の「スティミュレーター」を利用したデータの検証である。この装置は望遠鏡の副鏡の裏側に設置され、ヒーターからの黒体放射を変調して副鏡にある小さい穴から受信機に向け信号を射出することで、検出器の応答特性を評価することができる。背景放射の本観測では定期的に使用して検出器の特性を監視する役割があるが、実験初期のデータ検証においては環境や装置の条件によらない安定した参照光源として有用な校正手段である。

本講演ではスティミュレーター自体のデータ、ならびに惑星観測など他の校正データとの組み合わせにより、検出器と観測装置全体としての性能評価について報告し、本観測に向けての検出器応答校正手段の開発状況についても説明を行う。

[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](#)

V123a POLARBEAR-2a の検出器アレイ特性評価のための偏光ミリ波回転発振装置の開発

廣瀬開陽 (横浜国大), 他 POLARBEAR コラボレーション

Simons Array 実験は、チリのアタカマ高地に設置した 3 台のミリ波望遠鏡によって宇宙マイクロ波背景放射 (CMB) の B モード偏光パターンの精密観測を行うプロジェクトであり、インフレーション理論の実証およびニュートリノ質量和の制限を目標としている。その一台目の望遠鏡である POLARBEAR-2a は、そのレシーバーの焦点面に検出素子として超伝導転移端検出器である TES ボロメーターを 7588 個搭載し、広帯域の直線偏光に感度を持つシニアアンテナを通して、CMB 偏光を 90, 150 GHz の 2 つの周波数帯および 45° ごとの 4 方向の偏光角で受信することが可能である。このような大量の検出素子を持つ検出器アレイの特性を同時にかつ短時間になるべく簡易な方法で評価する手法は有用である。

我々は、小型高周波発信器と周波数通倍器を回転ステージと組み合わせ、検出器アレイ全体に様々な周波数・偏光角で偏光ミリ波を照射して、各々の検出素子の特性を同時に評価することのできる偏光ミリ波回転発振装置を開発した。またこの装置をチリの観測サイトに設置された POLARBEAR-2a 望遠鏡に設置し、常伝導状態の検出器アレイに偏光ミリ波を照射して、簡単なセットアップで短時間で検出器の周波数帯および偏光角を評価する試験を行った。本講演では、この装置の開発と観測サイトで行った試験について報告し、またその結果を応用した例としてレシーバー読み出しチャンネルの割り当て較正について紹介する。

[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](#)

V124a 次世代マイクロ波背景放射偏光観測実験 Simons Observatory の開発状況

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 2 台の 6m 大口径望遠鏡と 3 台の 420mm 小口径望遠鏡群を設置し、27 GHz から 270 GHz の広周波数帯域において、小角度から大角度スケールま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。宇宙のインフレーションの決定的証拠となるのは、重力場の量子ゆらぎから生まれる原始重力波の観測である。この原始重力波は、CMB 偏光に影響を与え、大角度スケールに B モード偏光パターンを生成することが提唱されている。特に、大角度スケールの精密偏光観測のため、日本グループは小口径望遠鏡群に注力し、その内部機器の開発を担当している。本公演では、SO 実験計画の概要、各望遠鏡の設計と開発状況、及び今後の試験計画に関して報告する。特に小口径望遠鏡の光学筒と偏光変調器の開発に関して紹介する。

[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](#)

V125a Al-NbTiN ハイブリッド MKID を用いた野辺山 45 m 電波望遠鏡用 100-GHz 帯カメラの光学特性評価

樋川遼太郎, 新田冬夢 (筑波大学), 永井誠 (国立天文台), 村山洋佑 (筑波大学/国立天文台), 鈴木隆司, Pranshu Mandal, 久野成夫 (筑波大学), 中井直正 (関西学院大学), 関本裕太郎 (宇宙研), 松尾宏, 都築俊宏, 木内等, 福嶋美津広, 三ツ井健司, 江崎翔平, 宮地晃平, Shan Wenlei (国立天文台), 野口卓 (電気通信大学), 成瀬雅人 (埼玉大学)

銀河の広域探査を行うために、野辺山 45 m 電波望遠鏡搭載に向けて 100 GHz 帯連続波カメラの開発を進めている。本カメラの焦点面アレイは、コプレーナ線路 (CPW) を用いた 1/4 波長共振器にダブルスロットアンテナを結合した 109 素子 MKID アレイである。これまでに、カメラの光学効率向上を目的に、CPW のグラウンド面をアルミニウム (Al) から窒化ニオブチタン (NbTiN) に変える MKID のハイブリッド化 (永井他, 2019 年秋季年会 V133a) や、冷却光学系の柱状晶 Si レンズおよび真空窓の反射防止対策 (新田他, 2019 年秋季年会 V132a) を行ってきた。

カメラの光学特性として、受信帯域およびビームパターンの評価を行った。フーリエ分光器を用いた受信帯域の測定では、95 GHz を中心に約 16 GHz の帯域幅となり、Al 膜の超伝導ギャップエネルギーおよび 120 GHz 帯 low-pass filter で決まる設計帯域とよく一致した。また、Knife-Edge 法によるカメラ焦点面でのビームパターン測定では、300 K および 77 K 黒体源を用いてビーム位置とウェストサイズを決定した。68 素子の測定から得たウェストサイズの平均値は 19.6 mm であり、光学設計ソフトウェア ZEMAX でのシミュレーションで得た理論値 20.6 mm と概ね一致した。本講演では、これらの結果に加えて光学効率の評価も報告する。

[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](#)

V126a 野辺山 45 m 電波望遠鏡搭載用 100-GHz 帯電波カメラの多素子同時読み出しシステムを用いた感度評価

鈴木隆司 (筑波大学), 永井誠 (国立天文台), 新田冬夢 (筑波大学), 村山洋佑 (筑波大学/国立天文台), 樋川遼太郎, Pranshu Mandal, 久野成夫 (筑波大学), 中井直正 (関西学院大学), 関本裕太郎 (宇宙研), 松尾宏, 都築俊宏, 木内等, 福嶋美津広, 三ツ井健司, 江崎翔平, 宮地晃平, Shan Wenlei (国立天文台), 野口卓 (電気通信大学), 成瀬雅人 (埼玉大学)

銀河の広域探査を行うために、野辺山 45 m 電波望遠鏡搭載に向けた 100 GHz 帯連続波カメラの開発を進めている。本カメラの焦点面には力学インダクタンス検出器 (MKID) を用いた 109 素子 MKID アレイが搭載されており、多素子同時読み出しシステムを用いて 109 素子を同時に読み出している。この読み出しシステムは、生成した信号 (~ 1 GHz) を周波数変換するための局部発振信号 (~ 4 GHz) を変調することで、MKID の共振スペクトル全体にわたって透過信号をデータ取得するものである。現在、MKID の光学効率を向上させるため、MKID の Al-NbTiN ハイブリッド化 (永井他, 2019 年春季年会 V105a) に取り組んでいる。

多素子同時読み出しシステムを用いて、新たに製作されたハイブリッド MKID の雑音パワースペクトル密度と感度を測定した。読み出しシステムには、MKID に入力する信号の強度やサンプリング周波数、掃引周波数幅など、変化させることができる設定がいくつか存在する。そこで、雑音のこれらの設定に対する依存性を調べ、読み出しシステムの設定の最適化を行った。本講演では、多素子同時読み出しシステム自体の雑音評価、単一素子読み出しシステムとの比較を含め、本カメラの感度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](#)

V127b 月の観測による POLARBEAR-2a の sidelobe の評価

高倉理 (Kavli IPMU), 他 POLARBEAR コラボレーション

POLARBEAR-2a(PB-2a) は、Simons Array 実験の 3 台の望遠鏡の 1 台目であり、90, 150GHz 帯の直線偏光に感度を持つ超伝導検出器を 7588 個搭載した宇宙マイクロ波背景放射 (CMB) 偏光観測用受信機である。PB-2a は 2019 年からチリ・アタカマ砂漠の観測所で試験観測を行っている。

本研究では試験観測で取得した月の観測データを用いて PB-2a の near sidelobe(視線方向から 3 度以内) の評価を行った。月は極めて明るいため、一回の観測でも sidelobe の有無を高精度で判定できる。ただし、月を直接観測するときは信号が大きすぎるため、検出器 (超伝導転移端センサーボロメタ) の非線形性により応答性が鈍くなるという問題がある。本研究では電氣的な入熱量を変化させていく検出器のチューニングデータを用いて非線形性を補正する。本発表では得られた sidelobe の大きさ、分布、原因の検討、及び、CMB 観測に与える影響の見積もりについて発表する。

[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](#)

V128b 単一鏡観測装置開発のための共通データ解析ソフトウェアの開発

谷口暁星, 田村陽一, 立原研悟, 鈴木向陽, 塩谷一樹 (名古屋大学), 竹腰達哉, 石田剛, 吉村勇紀 (東京大学), 新田冬夢, Pranshu Mandal, 村山洋佑 (筑波大学), 大島泰, 永井誠, 川邊良平 (国立天文台)

地上の (サブ) ミリ波単一鏡における時系列観測と解析ソフトウェア開発は、装置の応答関数較正と大気雑音除去を達成するために必要不可欠である。広帯域化・広視野化に対する需要が高まる中、大学主導の新規装置開発や観測手法開発が現在精力的に行われている (e.g., DESHIMA, Endo et al. 2019a/b; FMLO, Taniguchi et al. 2019; MKID カメラ, 新田他 2019 年秋季年会; 2-mm 受信機, 川邊他 2020 年春季年会; TES カメラ, 大島他 2017 年春季年会; NASCO 受信機, 山本他 2020 年春季年会)。これらの観測データは時刻に対して周波数・偏波・空間情報の複数チャンネルが並ぶという時系列構造を持つため、相関雑音除去や周波数解析などの処理を共有できる可能性がある。一方、解析ソフトウェアは各々のプロジェクトで独自開発されているのが現状である。

本講演では、CASA などによる共同利用単一鏡のデータ解析と相補的な、新規装置開発の即応性や柔軟性に対応するための共通解析ソフトウェア `sdarray` (<https://github.com/sdarray>) を紹介する。`sdarray` は、大規模データの並列計算やメタデータを扱うことのできる `xarray` (Hoyer et al. 2017) を採用した Python パッケージとして、現在初期段階の開発を行っている。時系列構造は、時間軸と周波数・偏波・空間情報を平坦化したチャンネル軸の 2 次元配列で表現される。これにアンテナ座標値やヘッダなどの 0-1 次元配列のメタデータを付加することで、観測データを 1 つの Python オブジェクトとして扱うことができ、NumPy と同様の記法で配列計算にも対応する。本講演では、上記のプロジェクトの観測データに加え、FITS や CASA Measurement Sets (MS) など一般的なデータ形式を考慮した `sdarray` の初期仕様と、`sdarray` に実装する予定の共通処理も紹介する。

[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](#)

V129a ミリ波補償光学の開発 III. 開口面干渉型波面センサの概要

田村陽一, 木村公洋, 谷口暁星, 上田哲太郎 (名古屋大), 川邊良平, 川口則幸, 南谷哲宏, 大島泰 (国立天文台), 深作悠平, 久野成夫 (筑波大), 岡田望, 小川英夫, 大西利和 (大阪府立大), 栗田光樹夫 (京都大), 河野孝太郎, 竹腰達哉 (東京大)

電波望遠鏡において、鏡面精度を担保したままアンテナを大口径化・高周波化することは、あらたな天文学領域を開拓するうえで重要だ。大気の不様性が波面劣化の原因になる可視赤外領域と異なり、(サブ)ミリ波領域ではおもに望遠鏡光学系の予測不可能な変形が波面劣化を引き起こす。そこで我々は、風負荷・熱変形・重力変形による主鏡面精度の低下を実時間で補償する光学システム「ミリ波補償光学(MAO)」の創出を推進している。近年、メキシコ LMT 50 m 鏡や上海天馬 65 m 鏡など、能動主鏡面制御系を備えた大型単一鏡の登場により、実時間の波面制御が次第に現実味を帯びる一方、いまだ波面計測センサは存在しない。

そこで我々は、電波天文学のネイティブな波面計測法である干渉計を利用した波面センサの開発を推進している。本波面センサは、(i) 参照信号 (16–24 GHz 広帯域雑音) を望遠鏡主鏡面の各所に設置した複数の送信機で送信し、(ii) 位相測定可能な 20 GHz 帯受信機で「観測」し、(iii) 16 Gsps/3 ビット相関器を用いて参照信号と受信信号の間の位相差を測定することで、波面を計測・再構築する。波面センサは送信機・受信機・相関器の 3 つのサブシステムに大別され、うち送信機・相関器サブシステムの設計・製作・評価が進んでいる。2019 年に実験室内でのフリッジを得、参照信号源や相関器の動作が確認された。本講演では、開発の進捗、および野辺山 45 m ミリ波望遠鏡における実証実験の計画を紹介する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V130a ミリ波補償光学の開発 IV. 波面センサ用送信機サブシステムの開発と評価

深作悠平, 久野成夫 (筑波大), 田村陽一, 木村公洋, 谷口暁星, 上田哲太郎, 川邊良平, 川口則幸, 南谷哲宏, 大島泰 (国立天文台), 岡田望, 小川英夫, 大西利和 (大阪府立大), 栗田光樹夫 (京都大), 河野孝太郎, 竹腰達哉 (東京大)

大型電波望遠鏡にとって、重力・熱・風などによる主鏡面の変形は波面の劣化をもたらし、観測に悪影響を与える。そこで我々は主鏡面の変形を実時間で補償する光学システム、「ミリ波補償光学 (MAO)」の創出を目指し、波面センサの開発を行っている。波面センサは以下のように機能する。(i) 参照信号を時分割し、主鏡面に設置された複数の送信機から信号を送信する。(ii) その信号を受信機で観測する。(iii) 受信信号と参照信号の相関を取ることで位相差を測定する。現在、野辺山 45m 電波望遠鏡で波面センサを実証することを目標に、送信機サブシステム、相関器サブシステムの開発が進んでいる。

送信機サブシステムは信号を相関器と受信機に送り出す機能を持ち、参照信号発生器・光変調器・光スイッチ・復調器・送信機アンテナからなる。参照信号発生器では常温の雑音源を約 17–23 GHz の帯域で増幅し、一方を相関器へ、もう一方は光変調器・光スイッチ・復調器を通して主鏡面上に設置された送信機アンテナへと分配する。送信機サブシステムからの信号強度は、相関器の位相決定精度による要求に基づいて設計・製作を行った。

また、MAO に使用する参照信号発生器・送信機アンテナを野辺山 45m 電波望遠鏡主鏡面上に設置し、送信機と受信器間における光学系結合試験を行った。R-Sky 法に基づいて、受信機の入力レベルを測定したところ、光学系を経由したカップリングは ~ -70.5 dB となり、物理光学計算の結果とほぼ一致した。

[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](#)

V131a SKA プロジェクトへの参加計画

小林秀行, 赤堀卓也, 河野裕介 (国立天文台水沢 VLBI 観測所)

本講演では、SKA 計画の進捗と日本の参加計画についての進捗を報告する。当初は、SKA1 計画として 350MHz-15GHz の観測周波数で、南アフリカに設置される SKA1-MID 望遠鏡、50 - 350MHz の観測周波数で西オーストラリアに設置される SKA1-LOW 望遠鏡の 2 つの望遠鏡で構成され、HQ はイギリスに設置される。昨年末に最終的なシステムレビュー (System CDR) が行われた。このような状況で日本からの参画の要請も高く、日本学術会議マスタープラン 2020 の検討において天文・天体物理分科会からは重点大型プロジェクトとしての推薦をされている。また国立天文台では、昨年度から参加計画の検討を進めているが、2019 年度からは正式に検討グループを水沢 VLBI 観測所の下に設置し具体的な検討を開始している。SKA はサーベイ主体の観測が予想され、サイエンス面で提案計画、エンジニアリング面での AIV やコミッショニングへの貢献、VLBI 観測システムや受信機などでの貢献を検討し、プロジェクトの CDR や検討会への参加を進めている。これらの SKA1 検討グループの活動の進捗および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](#)

V132a SKA プロジェクトに向けた技術検討状況

河野裕介, 小林秀行, 赤堀卓也 (国立天文台), ほか国立天文台 SKA1 検討グループ

Square Kilometre Array (SKA) 計画は、最終的に 1 平方キロメートル (百万平米) の集光面積を持つ、世界最大の電波望遠鏡を建設する計画である。宇宙の生命史に絡む複雑な分子輝線を探索することから、惑星系の探査、銀河進化と宇宙の構造形成、重力場での相対性理論を検証、ダークエネルギーの解明など、天文学の諸問題が解決できると期待されている。本計画は国際協力のもとで進められており、日本の電波天文コミュニティは SKA-JP を構成し KSP (Key Science Program) と言われる科学的課題を含めて様々な議論を行っている。また SKA-JP は EWG (Engineering Working Group) を構成し、SKA への参加をにらんだ技術的視点からの議論を進めてきた。国立天文台は 2019 年度より SKA1 検討グループを組織し SKA への参入計画について検討している。SKA に貢献する技術に関する検討は EWG での検討結果をふまえて現在のところ SKA-VLBI、受信機、AIV (Assembly, Integration, and Verification) の 3 つの分野を集中的に進めている。SKA-VLBI はビームフォームされた信号を記録し SKA 外の電波望遠鏡と VLBI を構成する。日本の貢献として広帯域データ記録装置の開発や VLBI 観測スケジュール変換、SKA 運用ソフト API 開発、先行的 VLBI 試験評価などを現在考えている。受信機は高周波帯での検討を行っている。この帯域は今後 ODP (Observatory Development Program) をベースに進められる予定で、それに向けたブリッジング活動にも参加し、国際協調開発の準備を進めている。AIV では、システム要求・サイエンス要求に対応したベリフィケーション・コミッショニング計画の策定が SKA の実現において特に重要である。また現在国際的に進められている AIV コンソーシアムの活動にも参加し、計画と現状の理解を深めながら日本の貢献計画の検討を行っている。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V133a SKA プロジェクトに向けた科学検討 3

廣田朋也, 赤堀卓也, 小林秀行, 河野裕介 (国立天文台水沢 VLBI 観測所), ほか国立天文台 SKA1 検討グループ

本講演では、SKA 計画のサイエンス検討についての進捗を報告する。国際的には、2019 年 4 月に SKA General Science Workshop and Key Science Project Meeting が英国マンチェスターにて開かれ、SKA pathfinder や precursor を使ったサイエンスの進展が報告された。会議での議論の結果、SKA を使った 15 GHz から 50 GHz までの観測で可能となるサイエンスの検討を開始することとなり、その white paper が現在編集集中である。2019 年 5 月には、上海にて東アジア SKA サイエンスワークショップが開かれた。東アジア地域でのサイエンスの興味を意見交換し、分科会に分かれた議論が進められた。2019 年 10 月には英国マンチェスターにて SKA VLBI Workshop が開かれ、SKA を VLBI の 1 局としたときのサイエンスや、その運用面での課題などを話し合った。2019 年 11 月には上海にて SKA Shanghai Meeting 2019 が開催され、SKA Regional Center (SRC) に向けた各国の開発状況の報告があり、SRC の検討に向けたワーキンググループの設立、および、white paper の作成が進められている。日本国内では、2019 年 9 月に SKA-JP シンポジウムが開催され、若手を中心とした多くの成果報告があった。それらの成果を盛り込んだ日本版 SKA サイエンスブックの改訂が始まっている。また、2019 年 11 月の VLBI 懇談会シンポジウム、同年 12 月の VERA ユーザーズミーティングにおいても、SKA を将来計画の一つと位置づけて議論がなされた。以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](#)

V134a 広帯域フィードの開発 (XVII)

氏原秀樹, 関戸衛, 市川隆一 (情報通信研究機構), 岳藤一宏 (JAXA)

NICT 鹿島では測地 VLBI の VGOS (VLBI2010) や SKA などへの応用を意識しつつ、VLBI による遠隔地間の光格子時計の精密周波数比較に使用する広帯域 VLBI システム「Gala-V」を開発した。これの広帯域フィードは周辺の RFI 状況と周波数の 0 冗長配列条件を考慮しつつも 3.2-14.4GHz の全域で受信可能としたので、メタノール・メーザの 6.7GHz/12.2GHz 同時受信や人工衛星を利用したホログラフィなど幅広く活用できており、プロジェクト開始時と今とで RFI 環境が異なっても周波数配列を適宜変えて実験を継続できた。鹿島 34m アンテナや 2.4m の可搬型小型局 MARBLE で広帯域フィードとともに使う OMT は 3GHz 以下の RFI の遮断特性の急峻化、反射損失の低減と広帯域化を図っている。片側のポートは上限 17GHz 程度まで使用でき、2018 年 6 月にイタリアに移設した MARBLE1 と小金井の MARBLE2 の間で周波数比較実験を継続中である。現在のシミュレーションモデルで数は 2.2GHz が下限で最大最小周波数比 6.6 程度だが、フィードとともに 10 を目指して開発している。

これらの技術を応用して 2018 年度から科研費 (研究代表: NICT 市川) で次世代マイクロ波放射計の開発を始めた。これは KEK の開発したマイクロ波放射計「KUMODES」を 16-64GHz の広帯域受信系で小型化・高機能化するものである。水蒸気だけでなく、その誤差要因となる雨滴と酸素を同じ受信機系で同時に測れるのが特徴である。光学系は既存のアンテナを使用するが、フィードは光学系に合わせて設計する。フィードのビーム幅が光学系の見込み角より広いとパラボラでは地面の雑音、カセグレンでは目標を取り囲む視野からの輻射が混ざり、計測精度が劣化するからである。データ取得系は VLBI 用サンプラではなくスペアナとボード PC を活用して、低コスト化を図る。これら広帯域アンテナシステムの開発・実験状況を報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V135a 低周波電波天文観測への誘い – 東北大の取組：現在～近未来 –

三澤浩昭, 笠羽康正, 熊本篤志, 土屋史紀, 木村智樹 (東北大), 北元 (JAXA), 佐藤慎也, 小原隆博 (東北大), 寺澤敏夫 (国立天文台), 榎戸輝揚 (京大), 岳藤一宏 (JAXA), 久保勇樹 (NICT), P. Zarka (Obs. de Paris)

東北大では宮城・福島両県に HF~VHF 帯と VHF~UHF 帯の電波観測装置を有し、太陽、木星等の太陽系内天体の長期継続的な観測を国内諸機関とも連携し行うとともに、惑星探査ミッションを支援してきた。また、UHF 帯では、近年は共同研究によるパルサー他の系外天体のキャンペン観測を行ってきた。現在の観測装置は、HF~VHF 帯は八木、ログペリタイプのシングルアンテナ、VHF~UHF 帯は開口面積 1000 平米クラスのパラボラアンテナ (飯館惑星電波望遠鏡 IPRT) であるが、近未来計画として、前者についてはアレイ・アンテナを用いた高感度化を、後者については低・高両周波数側への観測周波数拡張を検討しており、HF~VHF 帯と VHF~UHF 帯を結合した電波観測系構築を目指している。更に、HF~VHF 帯では、パリ天文台が進める大型低周波数アンテナ・アレイ NenuFAR プロジェクトへの参画による系外惑星の電磁環境探査等も検討している。2019 年 7 月から初期運用を開始した NenuFAR は 10~85MHz 帯に感度を持ち、偏波計測機能を有す機器では同周波数帯で世界最大の装置であり、欧州の低周波数電波干渉計 LOFAR を高感度化するとともに、SKA のパス・ファインダーともなっている。東北大では、本学設備を活用した、皆様からの更なる共同研究提案をお待ちするとともに、宇宙論や星間物質研究他への貢献も期待されている NenuFAR プロジェクトへの皆様のご参加・ご支援も希望する。

[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](#)

V136a 327MHz 帯域における惑星間空間シンチレーション観測のための次世代装置の開発検討

岩井一正, 徳丸宗利, 藤木謙一 (名古屋大学)

太陽からは超音速のプラズマの流れである太陽風が吹き出し、太陽圏を満たしている。太陽風の加速・伝搬過程や太陽圏のグローバルな構造、およびその太陽活動に伴う変動など、太陽圏物理学には未だ重要な問題が多く残されている。加えて、コロナ質量放出 (CME) の太陽圏内の伝搬は宇宙天気予報の観点でも重要な研究対象である。太陽風中の擾乱が電波を散乱することで惑星間空間シンチレーション (IPS) が発生する。名古屋大学では 327MHz 帯域において、最大約 4000 平方メートルの物理開口面積を持つシリンドリカルパラボラアンテナからなる独自の IPS 観測装置を開発し、国内 3 カ所に設置することで、地上電波観測から太陽風の速度と密度の測定に取り組んできた。一方、近年の特異な太陽活動に伴う複雑かつ低密度な太陽風構造の導出のためには、より詳細で稠密な観測データが必要となってきた。本研究では、次世代の太陽圏研究に向けた IPS 観測装置の検討を行うとともに、実証実験機の設計を行った。太陽風速度分布をより詳細に導出するために、より多くの電波天体を観測できるようアンテナ部はダイポールアンテナによる 2次元平面フェーズドアレイによる広視野な光学系を検討した。また駆動部を無くすことで降雪や台風などの自然災害にも強く通年で観測ができる観測系を検討した。受信機では信号をリアルタイムにデジタル処理することで、複数の方向を同時に指向するデジタルマルチビームフォーミングを採用し、1日に複数回全天をスキャンすることで、より高速な CME の追跡を可能にする。本計画における最大の開発要素は約 1000 台必要となるデジタル信号処理部である。そこで、本観測専用のデジタルボードを、AD 変換機と FPGA 等を用いて設計した結果、十分に低コストで目標の性能を実現できることが分かった。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V137b MWA によるバイスタテックレーダによるスペースデブリ探査

小林秀行, 鈴木駿策, 寺沢敏夫, 河野裕介, 小山友明, 赤堀卓也 (国立天文台水沢 VLBI 観測所)

SKA LOW のパスファインダである MWA を用いたスペースデブリ探査に関する研究を推進している。オーストラリア国内の民間 FM 局の発信電波がスペースデブリに反射したものを MWA において受信するものである。このバイスタテック・レーダシステムにおいて、近傍局で記録された参照信号波形と MWA で検出された波形との相互相関を取ることによって、通常のトータルパワー検波に対して大幅な感度の向上が見込まれる。これは従来の VLBI の観測手法を応用したものであり、参照局の電波強度 SNR が高いことを利用して感度の向上を行っている。これにより、10 k W 程度の送信強度を持つ FM 局を用いて、サイズ 10 センチメートル程度のデブリの検出を行うことを目標にしている。その後、この検出技術を用いて軌道決定や軌道監視を行うことができるようになることが期待される。今年度は、日本国内においてクロックに GPS 受信用 LSI などを用いて、この VLBI 方式によるバイスタテックレーダの感度確認などのシステム試験をすすめているので、研究全体の構想に加えて、試験の進捗状況について講演する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V138b JAXA 深宇宙探査用 54m アンテナ開発の現状 (その 3)

○村田泰宏、沼田健二、内村孝志、大西徹、木村公洋、田淵豪、坪井昌人、戸田知朗、冨木淳史、中原聡美、野中房一、長谷川豊、湯地恒次、吉永昌志 (深宇宙探査用地上局 (GREAT) プロジェクト、宇宙航空研究開発機構)

長野県佐久市の白田宇宙空間観測所にある 64m 局は、建設から 35 年を経過しており、設計寿命を大幅に超えているために、故障により稼働できなくなるリスクがある。そのリスクを回避するために、JAXA は、64m の後継として X 帯で同等の性能を有し、Ka 帯 (32GHz) の深宇宙バンドの受信も可能な地上局を建設するため、深宇宙探査用地上局 (GREAT) プロジェクトを 2015 年に立ち上げた。現地 (長野県佐久市) での工事は 2017 年度から開始し、その状況は 2018 年春季年会、秋季年会および 2019 年の春季年会において報告してきた。

2019 年度には、アンテナおよび X 帯および Ka 帯の低雑音増幅器、送受信系の受信部分、オープンループ記録装置 (VLBI 観測装置) および関連付帯設備が整備され、現在、インテグレーション試験として性能評価のための天体を使った試験観測が始まっている。一方、送信機に関しては計画変更審査を経て、クライストロンベースの HPA から半導体増幅器 (SSPA) に変更した。送信設備の整備は、2020 年度に予定しており、送信系を含めたインテグレーション試験を経て 2020 年度末に全体システムを完成させる計画である。

講演では、上記の状況を報告するとともに現在取得されているデータをレビューし地上局の性能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](#)

V139c VERA-upgrade for EAVN and GVLBI 計画の進捗 V

小山友明、鈴木駿策、河野祐介、山内彩、永山匠、寺家孝明、秦和弘、亀谷收（国立天文台）、萩原喜昭（東洋大）他 KaVA, EAVN メンバー

国立天文台水沢 VLBI 観測所では、天文広域精測望遠鏡 VERA（VLBI Exploration of Radio Astrometry）の VLBI 運用開始から 18 年が経過し、現在 EAVN（East Asia VLBI Network）、SKA（Square Kilometer Array）、将来の GVLBI（Global VLBI）への対応として以下の VERA アップグレード計画が進行中である。1）RF-Direct-A/D（OCTAD）を用いた広帯域化（32 Gbps 以上）、OCTAD 用リアルタイムデジタル信号処理（デジタルイコライザー、Phase-up、偏波変換）開発、2）K、Q 両バンドでの両偏波同時受信、3）K、Q バンドの多周波同時受信、4）低周波（S-band）受信機の冷却、広帯域（L-band 含む）化、5）GP-GPU を用いたソフト関連器の高速化、6）10 GbE VDIF（VLBI Data Interchange Format）データのリアルタイムデジタル信号処理ライブラリ開発（VDIF ソフトウェアライブラリの開発、2012 年秋季年会 鈴木他）。上記の中で、今期は 1）VERA 小笠原局での RF direct A/D OCTAD 搭載、EMI 試験、K-band RF A/D 処理評価試験、2）VERA4 局での K、Q 両偏波観測システムの搭載、偏波関連処理システムの立ち上げ、評価、3）LS-band 新型超電導冷却フィルター受信機の水沢、石垣局搭載と水沢 10m 鏡との VLBI 試験、以上 3 点について試験観測、評価を行った。本発表では、上記開発進捗と合わせて、全体工程、今後の将来計画との関連についても合わせて報告する。

[スケジュール（セッション毎）に戻る](#)

[スケジュール（全体）に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V140b 電波点回折干渉計のための超伝導回路を用いた相関型偏波計の設計

永井 誠（国立天文台）、今田 大皓（LAL, Univ. Paris-Sud, CNRS/IN2P3, Univ. Paris-Saclay）、奥村 大志、新田 冬夢（筑波大学）、村山 洋佑（筑波大学/国立天文台）、成瀬 雅人（埼玉大学）

電波望遠鏡の新しい鏡面形状測定法として、点回折干渉計（PDI）の原理を電波領域に応用した、電波点回折干渉計（RPDI）が提案されている（奥村ほか、2018 年秋季年会 V117c）。PDI では、望遠鏡内のビーム伝送経路上に置いた小さな回折体によって生じる回折波（参照波）を、望遠鏡光学系を通過してきたビーム（試験波）と干渉させる。RPDI では、偏波点回折ビームスプリッタ（PPBS）と、この目的に合わせた電波カメラを用いる。PPBS は、中心と外側で異なる偏波特性を持ち、試験波と参照波の偏波が直交するようにする。電波カメラは、両偏波を分離して遅延回路に導き、試験波と参照波の間の位相差を操作して複数の異なる干渉像を同時に取得する。この構成には、鏡と PPBS のみの簡素な光学系で波面測定が可能という利点がある一方、このような機能を持つ電波カメラの実現が不可欠となっている。

我々は、RPDI による波面測定のための電波カメラを実現するために、その各ピクセルに相当する、相関型偏波計の開発を進めている。多素子化を容易にするため、アンテナから強度検出素子まで全て超伝導回路としてウエハー上に配置する。アンテナには両直線偏波を受ける二重ツインスロットアンテナ、伝送線路にはコプレーナ導波路、強度検出素子には力学インダクタンス検出器（MKID）を用いる。干渉させる部分に 90° ハイブリッド結合器を用いることで、4 つの異なる位相差での干渉強度が得られる偏波計を、線路を交差させずに 1 層の超伝導体膜で実現することができる。今回、この基本設計について、電磁界シミュレーションの結果を交えて報告する。

[スケジュール（セッション毎）に戻る](#)

[スケジュール（全体）に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V141b テラヘルツ強度干渉計を実現する極低温回路技術の開発

松尾 宏, 江澤 元 (国立天文台), 野地涼平, 河原沙帆 (東邦大学)

テラヘルツ強度干渉計は、将来テラヘルツおよび遠赤外線領域で高解像度高感度の観測を実現する技術として期待される。本干渉計には高感度で高速の検出器が必要であり、超伝導トンネル接合を用いた SIS 光子検出器を候補として開発を進めている (本年会、江澤他)。超伝導検出器およびテラヘルツ強度干渉計を実現するうえで、超低雑音の読出し回路およびこれを支える冷却システムの開発が重要な開発項目である。SIS 光子検出器は超低リーク電流 (1pA 程度) と広帯域 (1GHz 以上) を特徴とし、動作温度を 0.8K 以下にする必要がある。

また、広帯域の読出しを実現することで単一光子の検出が期待され、この信号を読み出すためには低リーク電流で低容量の読出し回路素子が必要となる。我々は、これまでに実績のある GaAs-JFET および新たな回路素子として Junction-pHEMT (JPHEMT) を候補として開発を進めている。いずれも、極低温におけるゲートリーク電流が 1pA 以下であることが確認された。ただし、JPHEMT ではドレイン電圧を 1V 以上で動作させるとゲートリーク電流が大きくなるため注意が必要である。回路構成としては、2 段のソースフォロワ回路を用いて、高インピーダンスの検出器信号を低インピーダンス (50 Ω) の広帯域増幅器へ接続する。初段のソースフォロワ回路は高速読出しのために SIS 光子検出器と同じ 0.8K ステージに設置し、消費電力 100 μW で数 kΩ の出力抵抗が実現する。2 段目のソースフォロワ回路は 4K ステージに設置し、広帯域増幅器を経由して室温まで広帯域信号を伝送する。

検出器回路の低容量化および冷却システムの開発についても取り組んでいる。ヘリウム 4 を用いた 0.8K 吸着冷凍器の冷却性能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](#)

V142b テラヘルツ光子計数システムの実現に向けた SIS 検出器の開発-II

江澤 元, 松尾 宏 (国立天文台), 浮辺雅宏, 藤井 剛, 志岐成友 (産業技術総合研究所), 河原沙帆 (東邦大学)

我々はテラヘルツ帯に感度をもつ、高速の光子計数型の検出器システムを開発している。高感度のテラヘルツ連続波検出器への応用が期待できるほか、我々はこれを用いて、天体から到来する光子数の揺らぎを計測することで輻射の物理状態の精密測定を目指す「光子統計」という新たな観測手法の開拓に挑戦している。

高速、高感度の動作を意図し、低リーク電流の超伝導 SIS 検出器を用いる。これまで産業技術総合研究所の CRAVITY を利用して Nb/Al/AlO_x/Al/Nb ベースで大きさ 3 μm × 3 μm、電流密度 300 A/cm² の SIS 接合を開発し、極低温下で 1 pA の低リークを達成した。検出器は、この SIS 接合で PCTJ (Parallel-Connected Twin Junction) を構成し、コプレーナ線路を介してツインスロットアンテナと結合したもので、極低温下で 1–2 pA の低リーク電流を確認している (2019 年春季年会 V125b)。これを受けて、検出器の光学特性を詳細に調べてきた。開発した超伝導 SIS 検出器をシリコンレンズに装着し、極低温下で黒体炉の輻射光を照射し光電流を測定、さらにサブミリ波フーリエ分光計を用いて周波数特性や検出器効率の定量化を進めてきた。中心周波数や帯域が設計値と若干ずれているが、テラヘルツ帯に感度を持つことが確認され、光子計数実現の見通しが得られつつある。

これらの評価結果を踏まえ、超伝導 SIS 検出器の改良も進めている。具体的には、0.8–1 K での安定動作、および検出器の微弱信号の高速読み出しを実現するため、Al 膜厚など素子製作パラメータの最適化とともに、検出器の静電容量の低減を目指して検出器デザインの改良をシミュレーションも駆使して行っている。本講演では検出器の光学特性の評価結果、および検出器開発の進捗について報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V143b 火星探査 MACO 計画におけるテラヘルツヘテロダイン分光器と放射輸送シミュレーションによる検討

前澤裕之, 濱口優輝, 米津鉄平, 富原彩加 (大阪府立大), 佐川英夫 (京都産業大学), 青木翔平 (IASB), 黒田剛史 (東北大学)

現在、国内において火星の宇宙天気・気候・水環境探査 (MACO: Mars Aqueous-environment and Space Climate Orbiter) 計画の検討・議論が進んでおり、火星圏の太陽活動に対する応答や大気散逸の過程、火星の水循環や気候変動の詳細理解を目指そうとアプローチが展開がされている。ワーキンググループが発足する中で、様々な理学測器の搭載が議論されており、その1つのオプションとしてテラヘルツヘテロダイン分光装置についても検討が進んでいる。0.1-1mm 程度の波長域はダストによる吸収・散乱の影響を受けにくく、火星のダストストーム時でも内部を見通しやすい。また、太陽のような背景光源が不要のため、昼夜・朝夕等領域を問わず、広範囲のローカルタイムを観測することが可能、といった特徴がある。また周波数高分解能の仕様にする速度場の導出も可能である。大気周縁観測 (リムサウンディング) のスペクトル観測により、火星の表層近傍から高度およそ 120 km 付近までの基本的な温度・密度/圧力や微量分子とその同位体 (CO , ^{13}CO , C^{18}O , C^{17}O , H_2O , HDO , H_2^{18}O , H_2^{17}O , ^{18}OCO , H_2O_2 , HO_2 , O_3 , O_2 など)、それらの高度分布の観測が可能である。250 km の衛星軌道から口径 30 cm のアンテナを用いた場合、 H_2O や CO では高度方向に 5 km 以内の分解能を得ることも可能であり、これまでの MEX/PFS や現在の ExoMars/TGO などの衛星ミッションの赤外分光において観測困難だった高層大気やダストストーム時の低層の観測が実現し、低層の資源・環境探査や高層の大気散逸までを繋ぐユニークな役割を果たすことができると期待される。本講演では放射輸送解析と測器検討について報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V144c 分子分光装置 SUMIRE の開発：光学系の改良と 200 GHz 帯 SIS 受信機を用いた測定結果

佐藤龍彦, 酒井剛 (電気通信大学), 玉内朱美, 坂井南美 (理化学研究所), 渡邊祥正 (日本大学)

近年、ALMA による高感度観測により、これまで検出できていなかったような微弱なスペクトル線が多数検出されるようになった。スペクトル線の同定には、分子輝線データベースが用いられているが、特に微弱な強度のスペクトル線の周波数については、データベース上の値の精度が不十分であるものが多い。微弱なスペクトル線の観測から天体の運動などについて詳細な議論を行うためには、実験室での分子分光実験により、スペクトル線の周波数を高精度で測定することが重要である。そのため、我々は、カートリッジ型受信機を用いた分子分光装置 SUMIRE (Spectrometer Using superconductor Mixer REceiver) の開発を行っている。これまでの開発で、スペクトル線の検出はできていたが、得られたスペクトルデータのベースラインに大きなリップルが見られていた。本研究では、200 GHz 帯 SIS 受信機を使用し、光学系を改良することで反射を低減させ、ベースラインの安定性の向上を図った。

本研究では、まず、ガウス光学により、ホーンからガスセルを通り、液体窒素を入れた電波吸収帯までの光学系を設計した。また、定在波の原因である反射の対策として、幅 0.25mm、深さ 0.26mm の同心円状の溝加工を施した超高分子量ポリエチレンのレンズを使用した。レンズをそれぞれ受信機本体の窓およびガスセルに装着し、ガスセルを真空状態にしてベースライン測定をした結果、ノイズ信号の rms がレンズ装着前では 1.2K であったのに対してレンズ装着後では 0.18K まで抑えることができた。ポスターでは、実際にガスセルに $^{13}\text{CH}_3\text{OH}$ を注入し、測定した結果についても報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V201a すばる望遠鏡・観測提案書管理システム ProMS の変遷と今後の展望

山野井瞳(国立天文台), 中島康(一橋大学), すばる共同利用サポートチーム(国立天文台)

国立天文台ハワイ観測所では、毎年春と秋にすばる望遠鏡の観測提案書の公募(Call for Proposals)を行っている。提案書の申請は、すばる望遠鏡・観測提案書管理システム(Subaru Telescope Proposal Management System; ProMS)を通してオンラインで行うことが可能となっている。Semester 2012A の公募より、従来の E メールでの申請からオンライン申請に移行した。申請フォームは LaTeX ファイルをベースとしており、Web フォームで各項目を入力した後 ProMS 側でコンパイルする。また、申請者があらかじめ作成した LaTeX ファイルを Web にアップロードし、内容確認後に投稿することも可能となっている。ProMS では、ユーザが過去に投稿した提案書の内容をデータベースにて管理することで、過去の申請内容を下書きとして読み出したり、作成途中の内容を一時的に保存しておく機能を実装している。Semester 2016B の公募より、Hyper Suprime-Cam の Queue 観測と Filler 観測に対応したフォームを追加し、現在 Normal/Intensive プログラム(Gemini 望遠鏡や Keck 望遠鏡との時間交換プログラムを含む)として 6 種類のフォーム、Service/Filler プログラムとして 2 種類のフォームを用意している。

ProMS はハワイ観測所の観測プログラム管理システム OPAL や観測データ提供システム STARS と連携し、提案書の採択結果発表後に速やかに観測情報を共有するツールを備えている。Semester 2020A の公募から、提案書の審査システム PRORES が稼働し、ProMS で管理する情報の共有を主とした連携が始まっている。さらに Semester 2020B では、ProMS 上に審査結果を管理する機能を組み込むことを予定している。

本講演では ProMS の概要とこれまでの開発状況を報告するとともに、今後実装を予定している機能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](#)

V202a SuMIRe-PFS[19]: プロジェクト概要と装置開発進捗状況まとめ 2020 年春季

田村直之(東京大学カブリ IPMU), 他 PFS プロジェクトオフィス、PFS コラボレーション

PFS(Prime Focus Spectrograph) はすばる望遠鏡次期観測装置の一つとして開発が進められている超広視野多天体分光器である。すばる主焦点の直径 1.3 度の視野内に配置された約 2400 本のファイバーに天体や空からの光を導入し、「青」「赤」「近赤外」3つのカメラからなる分光器システムで 380nm から 1260nm の波長範囲に及ぶスペクトルを一度に取得する。PFS と、すでに稼働中の超広視野カメラ Hyper Suprime-Cam (HSC) は SuMIRe 計画(“すみれ”: Subaru Measurement of Images and Redshifts)の両輪であり、遠方銀河と星の広天域巨大統計から、ダークマター、ダークエネルギーの正体や、多種多様な銀河の形成、進化の物理過程に迫るのが目的である。PFS の開発は、東京大学カブリ IPMU を中心とした国際チームにより、2020 年の試験観測開始、2022 年の科学運用開始を目指し進められている。2018 年にはメトロロジカメラがすばる山頂に搬入され、同年 10 月と翌年 8 月に望遠鏡に取り付けての夜間試験を無事完了した。また、2019 年 11 月には 1 台目の分光器が山頂へ搬入され、12 月から組み上げ作業が行われている。カリフォルニア工科大学ではコブラ 57 本ずつを搭載したモジュールの組み上げが完了し輸送前試験の結果が揃ったものから台湾中央研究院天文及天文物理研究所(ASIAA)へ発送している。ASIAA ではコブラモジュールの動作試験を継続し特性に応じた制御アルゴリズムの最適化を図りつつ、主焦点装置(PFI)へのモジュール搭載と PFI 上での試験にも着手した。望遠鏡上に敷設され PFI と分光器を結ぶファイバーケーブルは組み上げ工程と試験の第一段階を完了し、ブラジル国立天文台(LNA)で次段階の工程に入っている。本発表では、こうした装置開発の最近の進捗を中心に、今後の予定について紹介する予定である。

[スケジュール\(セッション毎\)に戻る](#)

[スケジュール\(全体\)に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V203a すばる望遠鏡・超広視野主焦点カメラ (HSC) のデータを用いた時間変動天体の系統的探索

青山尚平, 古澤久徳, 高田唯史, 古澤順子, 山田善彦, 大倉悠貴 (国立天文台), 鬼塚真, 伊藤竜一, 松本拓海 (大阪大学), 須賀秀和, 黒澤亮二, 神林飛志 (ノーチラス・テクノロジーズ)

明るさが時間変動する時間変動天体は天文学の発展をもたらしてきた。変光天体の系統的な研究はスローン・デジタル・スカイ・サーベイ (SDSS) の stripe 82 をはじめとする広視野サーベイデータを用いて行われてきている。これらの研究では明るさの時間変動の分散や χ^2 、歪度などを測定し、統計的に「異常」な天体を時間変動天体として同定してきた。しかし、SDSS では望遠鏡の感度が限られ、明るい天体 (r バンド等級で 20.5 等以下) しか検出することができない。

本研究では HSC による戦略枠観測データ (SSP PDR2) を用いて時間変動天体を効率的に発見し、解析することを目的としている。PDR2 では感度において HSC-Wide の場合は約 25.2 等、広さにおいて最終的に約 3 倍の領域をカバーしている。本年会では超高速データベースの開発計画とその検討状況について発表する。本研究ではすばる望遠鏡の超巨大な時系列データから天体のカラーの時間変動を効率的に検出する。このデータベースを用いてかつてない大規模なデータベースを用いた変動天体の系統的探索のための検索高速化と系統的分析を行う。その前段階として Stripe82 のデータを使ってアルゴリズムを実証し、段階的に HSC に応用する。現状の検出アルゴリズムは Sesar et al. (2007) と同様に明るさの時間変動が統計的に「異常」な天体を時間変動天体と識別する。本発表では試験結果に関しても議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V204a REACH プロジェクト：超高コントラストと高分散分光を組み合わせたすばる望遠鏡での系外惑星直接撮像分光について

小谷隆行 (アストロバイオロジーセンター/国立天文台/総研大), 河原創, 石塚将斗 (東京大学), 米田謙太 (北海道大学), Nemanja Jovanovic (California Institute of Technology), Olivier Guyon, Sebastien Vievard, Julien Lozi, Ananya Shahoo (Subaru telescope), 田村元秀 (東京大学/アストロバイオロジーセンター)

極限補償光学による超高コントラスト観測と高分散分光観測の組み合わせは、太陽系外惑星大気中の分子検出や、惑星視線速度・自転速度の測定などをこれまでになく精度で行うためのブレークスルーとなる技術である。REACH プロジェクト (Rigorous Exoplanetary Atmosphere Characterization with High dispersion coronagraphy) は、すばる望遠鏡用の極限補償光学 SCEAO と、赤外線高分散分光器 IRD を結合することで、恒星のごく近傍 (~0.1 秒角) まで、3 桁以上のコントラストを達成すると共に、近赤外線 (0.97-1.75 μm) にて 10 万を超える波長分解能を実現するものであり、2019 年 10 月に初観測に成功した。REACH は、SCEAO の焦点面に 7 本のシングルモードファイバーを配置し、それらのいずれか 2 本を選び IRD による分光観測を行うことができる。シングルモードファイバーによる spatial filtering 機能と、7 本のファイバーに入射した光の強度をリアルタイムでモニターすることで、特定のファイバーに入る恒星スペckルを speckle nulling と呼ばれる技法でさらに低減させることができる。また IRD のレーザー周波数コムと共に用いることで、通常マルチモードファイバーで問題になるモーダルノイズが無い、極めて安定性の高い恒星視線速度の観測も可能である。本講演では、装置概要の説明と、2019 年に行われたエンジニアリング観測の結果について紹介する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V205a 低ノイズ・大面積・バッタブル・国産 InGaAs 近赤外線イメージセンサーの開発

中屋秀彦, 小宮山裕, 吉田道利, 川野元聡, 藤井泰範 (国立天文台), 柏川伸成 (東京大学), 川端弘治 (広島大学), 永山貴宏 (鹿児島大学), 長田哲也 (京都大学)

天文観測に利用可能な近赤外線イメージセンサーは、米国製の HgCdTe センサーが業界標準となっているが、超大型・超高性能と引き換えに非常に高価であり入手にも時間がかかる。また、1k × 1k 程度の中サイズ素子を入手することも困難となっているのが現状である。開発中の InGaAs イメージセンサーは、すばる望遠鏡主焦点広視野カメラに最適であるだけでなく、感度波長域が 0.9~1.6 μm ではあるものの、大学望遠鏡のための近赤外線観測装置の開発にも有効な手段となりうる。

これまでに、小型素子による低ノイズ化の検証や大型素子の試作を行い、低ノイズ化と大面積化について、それぞれ独立に要求仕様を満たすことができた。今年度試作する素子は、その両立を目指すものである。素子面積と感度波長域を除き、米国製 HgCdTe センサーと並ぶ性能を目指している。

さらに、モザイクカメラを構成するため、3 辺バッタブルなセラミックキャリアを新たに開発した。開発中の素子は、15 μm 画素の 1280 × 1280 で、InGaAs イメージセンサーとしては 1920 × 1080 に次ぐ世界で 2 番目に大きいサイズであり、3 辺バッタブルな素子は世界唯一となる。3 辺バッタブルキャリアは、国立天文台先端技術センターで設計から組み立てまでを行った。狭ピッチのモザイクカメラにできる形状、すばる望遠鏡主焦点で使える高さ精度を目指した。

本講演では、本年度納品予定の最新素子の報告を中心に、3 辺バッタブルキャリア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](#)

V206a 補償光学系波面センサーによる大気ゆらぎの高さ分布のリアルタイム推定

大金原, 秋山 正幸 (東北大学), 大屋 真, 大野 良人 (国立天文台)

補償光学において、複数のレーザーガイド星とトモグラフィの手法を用いて大気ゆらぎの 3 次元構造を推定するシステムは広視野における補償光学や可視光域における補償光学を実現するために必須の技術である。しかしこれらのシステムにおいて、複数のレーザーガイド星の情報から大気ゆらぎの影響をトモグラフィの手法で推定する過程は、レーザーガイド星の離角の小ささと数の少なさゆえに悪条件の逆問題となる。そこで、大まかな大気ゆらぎの高さ分布を推定の事前情報として与えることが正確な推定のために重要となる。また大気ゆらぎは風によって時間変動をするため、観測と同じ方向の高さ分布をリアルタイムに与えることも必要である。MASS-DIMM (Multi Aperture Scintillation Sensor & Differential Image Motion Monitor) という手法は、大気の影響による星の明るさと位置の変動を 1kHz 程の高い時間サンプリングで、複数の開口形状で観測することで大気ゆらぎの高さ分布推定を行う方法であり、シーイングのモニターや望遠鏡のサイト調査の方法として広く用いられている。異なる開口形状を作り出す必要性からこれまで専用の小型望遠鏡 (口径 20cm 程度) を用いて行われてきたこの手法を、補償光学系で用いられるシャックハルトマン型波面センサーで実践することで、観測方向における大気ゆらぎの高さ分布を取得することが可能となると考えた。そこで手法の初期実証実験として、東北大学 50cm 望遠鏡にシャックハルトマン型波面センサーを取り付けて星の明るさと位置の変動データを取得しそれらを用いた手法実践を進めてきた。その結果、地表層ゆらぎが最も強く、上空 13km 付近にジェット気流に起因するピークを持つという、典型的な大気構造とコンシステントな高さ分布が得られた。また、星の高度角の変化により大気ゆらぎに対する見かけの距離が変わっても同様の高さ分布が得られるという、手法の妥当性を支持する結果も得られた。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V207a TMT 計画 – 進捗報告

白田知史, 岩田生, 青木和光, 齋藤正雄, 山下卓也, 早野裕, 遠藤立樹, 家正則, 井口聖, 常田佐久 他 (国立天文台), Henry Yang, Ed Stone, Gary Sanders, Suijian Xue, Eswar Reddy, Luc Simard 他 (TIO)

TMT は日本が国際協力で実現を目指している次世代の地上超大型 30m 望遠鏡である。TMT 国際天文台 (TIO) は、TMT をマウナケア山頂域に建設するための法的および行政手続きが全て完了したことを受け、ハワイ州郡、ハワイ大学等の関係者と準備を進め、2019 年 7 月に本格的に工事を再開する予定であった。予想をはるかに上回る 1000 人規模の反対派が集結したマウナケア山頂アクセス道路の違法な封鎖活動が続き、すばる望遠鏡を含む、全てのマウナケア天文台群も運用できない事態になった。既存のマウナケア天文台群は閉鎖地点を迂回しての通行が可能になり、8 月より通常運用を再開した。一方、TMT は現地建設工事は再開されていない状況である。この間も、ハワイの人々対話を重ねることで、支持と理解を得る活動を継続している。ハワイ州知事、ハワイ郡長は、TMT 計画への全面的な支持を表明している。また、先住民族系団体のリーダーなどと会合も重ね、その声に真摯に向き合うことにも努めており、事態打開にむけて、関係者との慎重な協議を進めている。

TMT の進捗状況としては、国内では主鏡材の製造と非球面研磨の加工が順調に量産され、海外への主鏡材の出荷も進んでいる。望遠鏡本体は詳細設計を終え、2018 年度から製造のための図面作成を進めている (齋藤講演)。第一期観測装置 (IRIS, WFOS) は、日本の分担箇所的设计・検討・開発を国立天文台先端技術センターで進めている。すばる望遠鏡と連携した科学的連携についてまとめたサイエンスブックの出版も進めている (青木講演)。全国各地での一般講演会や、模型や主鏡分割鏡の展示、ウェブ公開などの広報普及活動も行なっている。

本講演では、TMT 計画の国内外を含む現状と今後の展望について報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V208a TMT/NFIRAOS/IRIS の周波数空間における振動解析

鈴木 竜二, 大淵 喜之, 浦口 史寛, 早野 裕 (国立天文台), Glen Herriot, Brian Hoff, Joeleff Fitzsimmons (NRC-H), Robert Weber (Caltech)

補償光学を用いた高感度観測装置において、望遠鏡、補償光学、観測装置の振動に起因するストレーラ比の低下は、特に高度な波面補正精度を達成する補償光学系において性能をリミットする大きな要因になっている。本講演では、Thirty Meter Telescope の第一期観測装置 IRIS と補償光学系 NFIRAOS において、振動が波面誤差に与える影響を評価し、装置設計に反映する我々の取り組みを紹介する。NFIRAOS と IRIS を組み合わせて観測する際、IRIS の持つ低次波面センサーで振動を検知し、NFIRAOS の持つ tip/tilt ステージで振動を抑制することができるため、NFIRAOS と IRIS は一つの統合したシステムとして扱う必要がある。しかしながら 2 つの装置は異なる FEA プラットフォームを使用しており、また開発チームが地理的に離れているため、統合したシステムと効率的な解析方法の構築が課題であった。そこで我々は振動の伝達関数と光学行列を用いた周波数空間での振動解析手法を考案した。この手法により、計算時間の大幅な短縮が可能となる他、2 つの装置間の作業の切り分けが明確になり、改善が必要となった原因の特定も容易になる。最初のステップとして簡略化された IRIS の FEA 及び光学モデルにこの手法を適用し振動の影響を評価した結果、最も寄与の大きい振動モードを特定し、現段階では振動に起因する波面誤差の仕様を満たしていることを示した。次のステップとして、モデルの詳細化と NFIRAOS を含めた総合的な振動解析が進行中である。本講演では解析の進捗状況も報告する。

[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](#)

V209a TMT 可視広視野多天体分光装置 WFOS 用面分光ユニットの概念検討

尾崎忍夫, 都築俊宏, 浦口史寛, 清水莉沙, 大淵喜之, 宮崎聡 (国立天文台)

面分光とは銀河などの広がった天体の各場所のスペクトルを一度の露出で得ることができる観測手法のことである。空間情報と波長情報が時間効率良く取得できるため、面分光は光赤外波長域の主要な観測手法の一つになってきた。次世代超巨大望遠鏡 Thirty Meter Telescope (TMT) の第一期観測装置である可視広視野多天体分光装置 Wide Field Optical Spectrometer (WFOS) においても面分光機能の必要性が認められているものの、開発コストの面から必須機能には入っていない。そこで我々は WFOS のアップグレードとして、WFOS に面分光機能を追加する面分光ユニット (Integral Field Unit; IFU) の開発を目指している。それに先立ち、実証試験を兼ねてすばる望遠鏡の可視光撮像分光装置 FOCAS 用の面分光ユニット (FOCAS IFU) を開発してきた。FOCAS IFU は 2019 年より共同利用を開始し、科学的成果も出つつある。我々はこの開発経験を生かして、WFOS IFU の概念検討に着手した。現在、光学レイアウトのトレードスタディーを行っている。検討している光学レイアウトは (1) Gemini 望遠鏡近赤外面分光装置 NIFS を参考に FOCAS IFU の光学レイアウトを修正したものと、(2) VLT の近赤外線面分光装置 SINFONI を基に、汎用分光器に組込めるように修正を加えたものである。本講演では WFOS 本体の進捗を簡単に報告した後、上記トレードスタディーについて述べる。

[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](#)

V210b サイエンスブック「すばる望遠鏡と TMT で結ぶ新たな宇宙像」の制作

青木和光, 岩田生, 岡本桜子, 小野寺正人, 小山佑世, 空華智子, 中島静, 安井千香子 (国立天文台)

すばる望遠鏡と TMT の連携で期待される科学的成果と、それを得るための今後の戦略をとりまとめたサイエンスブックを制作した。制作にあたった世話人からその目的と概要を紹介する。制作には多くの方に編集委員・執筆者としてご協力いただいた。2019 年秋季年会では同様の趣旨で企画セッションが実施された。

ファーストライトから 20 年を迎えたすばる望遠鏡は、主焦点観測機能を活かした大型サーベイをはじめとして今後も活躍が期待される。そして 2030 年代には、北半球で唯一の超大型望遠鏡として TMT の本格稼働も予定されている。この特長をもった 2 つの望遠鏡を用いることができる日本の強みを活かしてどのような科学的成果が期待できるのか、という点にフォーカスした検討を 2019 年度に行い、その成果をサイエンスブックとしてとりまとめた。分野としては (1) 系外惑星を中心課題にした太陽系および星・惑星形成、(2) 銀河進化、(3) 宇宙のダーク成分と物質の起源の 3 つに分け、多彩な話題をカバーしている (第 3 章)。その前提となる両望遠鏡の観測装置計画 (第 2 章)、およびその連携を活かした研究を展開する道筋と望遠鏡運用 (第 4 章) についてもまとめている。

このサイエンスブックを契機に、さらに議論が活発に行われることを期待する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V211b HSC カタログデータ検索高速化に向けたデータベースの応用

古澤順子, 高田唯史, 古澤久徳, 山田善彦, 大倉悠貴 (国立天文台), 鬼塚真, 伊藤竜一, 松本拓海 (大阪大学), 須賀秀和, 黒澤亮二, 神林飛志 (ノーチラス・テクノロジーズ)

天文観測技術は年々進歩し観測データおよび処理済データが大量に生成され続けている。これら観測データを扱うアーカイブシステムは汎用性の高いリレーショナルデータベース管理システム (RDBMS) を使用することが多いが、近年大量に生成されるデータに対しては、データトランザクションや複雑な分析の時間をいかに短縮するかが重大な課題となってきた。実際、すばる望遠鏡の HSC によって生成された科学的データ量は既に肥大化しており、現在もデータベースの分散化などによる性能改善を試みてはいるが、最終的な 3000 パラメータ以上の測定情報を展開した数百億行の表への応用を見越しては、さらなる技術開発を続ける必要がある。

現在開発中のクエリエンジンは、ビッグデータを処理するためのコンピューティングインフラストラクチャを効率的に使用するように設計されている。この新データベースを評価するには、科学アプリケーションのデモンストレーションが不可欠であり、その一分野として天文研究の観点から、現在 HSC による戦略枠観測データ (SSP PDR2) カタログでクエリのパフォーマンスを検証している。その一環として実際の操作から収集されたクエリワークロードに基いたデータベーススキーマを最適化する手法の確立を目指しており、また系統的な変光天体探査を実現するため、PDR2 データを基に時系列データの測定情報を構築し、一連の天体の明るさや形状などの測定値から外れ値を効率的に検索するエンジンも開発中である。

本講演では、クエリワークロードを用いた最適スキーマの推薦について実体化ビューを利用したクエリ最適化前後の性能差の検証試験、および時系列測定データベースの構築と外れ値検出に関する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](#)

V212b 焦点面像を用いた補償光学装置の非共通光路収差の推定法の評価

大本薫, 秋山正幸 (東北大学)

補償光学を用いた高空間分解能観測において、波面測定を行う波面センサー側と観測用カメラ側に光が分割された後の非共通光路で生じる波面収差は、空間分解能を低下させる要因として問題となる。この波面収差は光学設計に起因するだけでなく、光学素子の研磨やコーティングに起因する歪みによっても生じる。可変形鏡による補償の際に、非共通光路の波面収差は収差による影響を打ち消すような補償を常時加えることで解消することが出来るが、その波面収差は観測用カメラで得られる焦点面像から位相収差を推定する必要がある。ここで、非共通光路の波面収差は準静的であり、較正用光源を用いた焦点面像の事前の測定で決めることが出来る。本研究ではゼルニケ多項式に基づく波面収差とそれによる焦点面像を、検出器のサンプリングや雑音を考慮した光学シミュレーションで作成し、焦点面像の収差の位相推定を行った。Gerchberg-Saxton アルゴリズム、Phase Diversity and Gerchberg-Saxton アルゴリズム、Fast-Furious アルゴリズム、Fast-Furious and Gerchberg-Saxton アルゴリズムの 4 つの推定法について収差の推定誤差の評価を行い、収差の大きさに関わらずもっとも安定した推定結果を与えるのは Gerchberg-Saxton アルゴリズムに位相ダイバーティの情報を加えた Phase Diversity and Gerchberg-Saxton アルゴリズムであるという結果を得た。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V213b 西はりま天文台「なゆた望遠鏡」の運用

伊藤 洋一, ほか西はりま天文台スタッフ (兵庫県立大学)

西はりま天文台は、日本最大級の光学赤外線望遠鏡「なゆた望遠鏡」を主力機器として、教育研究活動と生涯学習事業を積極的に推進している。「なゆた望遠鏡」には、可視分光装置 MALLS・近赤外線撮像装置 NIC・可視分光器 WFGS2・可視光同時偏光撮像分光装置 POL などの装置がある。これらの装置は定常的に運用されており、晴れば毎晩、天文台スタッフが研究観測を行っている。また、東京大学が開発した狭帯域撮像分光装置 LISS も PI 装置として活躍している。

兵庫県立大学天文科学センターは、2016 年度から文部科学省の「共同利用・共同研究拠点」に認定された。これに伴い、共同利用観測を開始した。プロポーザルを年二回募集し、外部の研究者を含めたレフェリーの審査に基づき、年間 50 夜を共同利用観測に割り当てている。日本国内の大学や研究所からはもとより、海外からの応募もあり、「なゆた望遠鏡」を用いた観測の需要に適切に対処できていると考える。また、査読誌“Stars and Galaxies”を 2018 年に創刊した。この論文誌は日本語または英語の論文を掲載し、年一回、オンラインで刊行する。

講演では、共同利用観測をはじめとする研究観測の現状を述べ、併せて観測装置などの将来計画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](#)

V214b なゆた望遠鏡の可視分光器に搭載する新 CCD カメラの性能評価

井上 和也, 伊藤 洋一 (兵庫県立大学西はりま天文台)

なゆた望遠鏡の MALLS は、可視光の中・低分散ロングスリット分光器である。エシエル回折格子を組み込むことで、波長分解能が 50000 程度の高分散分光観測が可能となった。しかし、現在使用している CCD カメラは FLI 社の 2000×2000 ピクセルの素子を用いたカメラなので、取得できる波長範囲が広くはない。そこで、我々は e2V 社の 261-84 という CCD 素子を購入した。この素子は 2000×4000 ピクセルで、波長 400 nm から 900 nm に渡って 80 % 以上の量子効率を実現している。今までにこの CCD 素子を収納するデュワーを製作し、シャッター、真空計、温度計を取り付け、CCD 素子を組み込み、真空・冷却試験を行った。製作したデュワーは冷却時に 1.5×10^{-6} Torr の真空に到達した。また、CCD チップの搭載場所で -98.3 °C を達成した。CCD の駆動回路と読み出し回路は MESSIA6 + Mfront2 を使用し、Linux で制御する。R バンドフィルターとイメージテスター、アルゴンランプを用いた光学系を組み、ターボ分子ポンプの振動と電氣的ノイズが無視できるほど小さいことを確かめた。本講演では、CCD 素子の linearity、gain、および読み出しノイズの測定結果を報告する。また、MALLS に搭載して行った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](#)

V215c 純圧電材可変形鏡の開発

大屋 真(国立天文台)、樽田 順、坂部健太、池田優二(京都産業大学)、馬目威男、堀内雅彦、柳橋健太郎、向井伸二(京セラ株式会社)、渡邊 誠(岡山理科大学)、秋山正幸(東北大学)

補償光学は大気ゆらぎを補正して回折限界の解像度を達成する技術である。現在では地上大型望遠鏡に標準装備されており Thirty-Meter-Telescope(TMT) など次世代超大型望遠鏡においても開発が進んでいる。可変形鏡はその補償光学装置の中で大気ゆらぎの変動に合わせて変形し、位相ゆらぎをキャンセルする重要部品である。

TMT 時代にはこれまでよりも高赤方偏移でより暗い天体の観測が期待される。これまでの近傍天体に対する可視光の観測と比較するためには赤外線による観測が必要になる。しかし、波長 $2\mu\text{m}$ 以上の地上観測では室温の熱輻射が背景放射となり雑音が増えるため、補償光学装置全体を冷却することが望ましい。TMT 用補償光学装置も -30°C 程度まで冷却することが要求仕様となっている。しかし、これまで口径 8m 級の地上望遠鏡用の補償光学装置は冷却せずに室温で使用することが一般的であった。加えてもう一つ、TMT などの次世代超大型望遠鏡においては観測時間が貴重なためできるだけ多くの天体を同時観測する必要がある。大気ゆらぎは見る方向によって影響が異なり広視野を同時に補正することは難しいので、個々の天体に対して可変形鏡を含む独立した補正光学系を用意して観測する多天体補償光学 (Multi-Object Adaptive Optics; MOAO) システムが提案されている。

この様な背景から構造がシンプルで安価に製造でき、かつ冷却可能な可変形鏡の開発が望まれる。そこで本研究では圧電材料自体を鏡面に用いたモノモルフ型可変形鏡の開発を行った。基板直径 45mm(有効口径 25mm) に対して厚さが 1mm と薄く、36 個の制御電極は裏面上に配した扱い易い構造となっている。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V216a 1.8m 軸外し望遠鏡 PLANETS による高コントラスト観測：現状と展望

坂野井 健、鍵谷 将人、鈴木 駿久、笠羽 康正、小原 隆博、秋山正幸(東北大学)、平原 靖大(名古屋大学)、栗田 光樹夫(京都大学)

1.8m 口径軸外し望遠鏡 PLANETS (Polarized Light from Atmospheres of Nearby Extra-Terrestrial Systems) は、ハワイ大学他との国際共同プロジェクトであり、軸外し主鏡を用いた低散乱光学系による高コントラスト観測に特長を持つ。望遠鏡は視野 $6'$ (F13) のグレゴリアン焦点を持ち、主鏡は直径 1850 mm・厚さ 100 mm の Clearceram Z-HS である。これにより木星衛星エウロパプルームや火星電離層等の明るい本体近傍の微弱発光を観測する。このためには、本体近傍 (数秒角未満) の微弱な発光 (輝度比 $10^{-3}\sim 10^{-6}$) を捉える性能が必要である。本研究ではフーリエ光学シミュレーションにより、火星電離圏やエウロパプルーム観測における信号光と散乱光を見積もり、観測成立性を定量的に評価した。現在、whiffletreeを用いた主鏡保持機構やトラス式経緯台架台の開発を進めており、今後約 1 年以内に国内において主鏡の最終研磨を実施する。さらに、架台を組み上げてファーストライトを達成し、望遠鏡の技術実証を行う。PLANETS 望遠鏡による高コントラスト観測は、太陽系天体の変動現象のみならず、系外惑星、星周円盤、遠方宇宙にあるクェーサーや活動銀河中心核周りの母銀河を精度良く観測することに発展できる。

[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](#)

V217a 1.8m 軸外し望遠鏡 PLANETS の主鏡支持構造の開発状況

鈴木 駿久, 鍵谷 将人, 坂野井 健, 笠羽 康正 (東北大学), 平原 靖大 (名古屋大学), 栗田 光樹夫 (京都大学)

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や独キーペンハウアー太陽研究所等との国際協力のもと開発を進めており、ハワイ・ハレアカラ観測所への設置を最終目標として 2020 年末に日本でファーストライトを迎える予定である。中央掩蔽物のない円形開口を有する低散乱の光学系を特徴を生かして、太陽系内惑星や衛星近傍の大気・プラズマ発光を観測対象の一つに挙げており、本公演では、京都大、名古屋大と共同で開発を進めている望遠鏡の主鏡支持構造の設計・製造・機能検証結果について報告する。主鏡は直径 1.85 m, 質量 510 kg, 最大厚さ 100 mm の CLEARCERUM-Z HS である。2020 年 1 月から始まる最終研磨を控え、鏡面誤差 1.55 μm RMS まで整形されている。主鏡の軸方向支持構造には 36 点支持の whiffletree を採用する。また、whiffletree に板バネとリニアモーターからなる warping harness を組み合わせることにより、各支持点の支持圧を自由度 33 で能動制御する。この軸方向支持機構は、望遠鏡を運用時のみならず主鏡最終研磨段階でも用いることで、鏡面誤差のうち大きな空間スケールの誤差を減少させて研磨時間とコストの削減に繋げる。我々は最終研磨を行う前に、この支持構造の性能検証を有限要素法により行った。Zernike 多項式の 10 項までの形状は、基本的に約 20% 以下の誤差で再現可能であった。また、現在の主鏡の鏡面誤差をどの程度まで下げることができるかシミュレーションを行った結果、現在の鏡面誤差は 1.55 μm から 0.66 μm RMS まで抑えることができた。これにより、研磨により取り除く鏡材の総体積を 70% 減少させることができる見込みである。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V218a 中間赤外線冷却中空ファイバーの開発 I

伊藤良太, 平原靖大 (名古屋大学), 横山裕二, 松浦裕司 (東北大学医工学研究科), 片桐崇史 (富山大学), 中川広務, 笠羽康正 (東北大学理学研究科), 山崎敦 (ISAS/JAXA)

我々は、マウイ島ハレアカラ山頂に建設予定の 1.8m 軸外し型グレゴリアン式望遠鏡 PLANETS (Polarized Light from Atmospheres of Nearby Extra-Terrestrial Systems) に、N-band (波長 7.5–13.5 μm) 全域を観測域とする高分散 ($\lambda/\Delta\lambda 40,000$) 冷却エシエル分光器 GIGMICS (Germanium Immersion Grating Mid-Infrared Cryogenic Spectrograph) を搭載することで、中間赤外域での惑星大気の連続的な観測を目指している。

本研究では、GIGMICS を PLANETS に搭載・運用するための新型のファイバーの開発について報告する。従来は波長 3 μm より長波長の領域では透過効率が低い ($< 70\%/m$) AgS 多結晶ファイバーのみであったが、近年、東北大学医工学研究科において開発された中間赤外線中空ファイバーは、内径 1mm 程度のチューブ内面に、波長 10 μm 近辺で高反射率となる金属と誘電体の 2 層薄膜を内装した構造を持つ新しいデバイスで、医療関連での応用がされつつある。

本研究では、中空ファイバーの伝送効率の向上 ($\sim 95\%/m$) のための液体窒素冷却構造の開発と、冷却時の透過率の測定結果について報告する。直径 12mm、長さ 1.5m のフレキシブルな 3 重管に、ポリイミド外皮、直径 0.8mm の Ag/AgI 中空ファイバーを保持し、端面を直径 2mm の AR コート Ge 窓を接着した SMA コネクタで終端した。 $\sim 10^{-2}$ Pa に真空減圧ののち、液体窒素を流入して 77K に冷却のうえ、波長 10.4 μm 、 $\sim 5\text{mW}$ の量子カスケードレーザー光を f/20 で導入したところ、透過率が 10 % 程度上昇した。この結果は銀 (Ag) の薄膜の低温における電気伝導度、および中空ファイバー内の光の伝搬に関するドルーデモデルと整合的である。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V219a MuSCAT を用いたトランジット観測用ディフューザー性能試験観測

西海拓(京都産業大学), 福井暁彦(東京大学), 成田憲保(ABC, 国立天文台), 渡辺紀治(総研大), 川内紀代恵(東京大学), 泉浦秀行, 前原裕之(国立天文台), 日下部展彦(ABC), 磯貝桂介(京都大学), 寺田由佳, John Livingston, Jerome de Leon, 森万由子(東京大学)

近年、光学ディフューザーが系外惑星のトランジット観測においてよく用いられるようになってきている。PSF(Point Spread Function)を円形に拡大することができるディフューザーを用いることで、ピークカウントを下げることができるため、積分時間を長くとり、デッドタイムを減らすことができる。また星像がPSFをトップハット型の円形に保ったまま広がるため、デフォーカスをする場合よりCCDに様に光子が当たり、CCDの検出器上を星像が動いた場合でもピクセル間の感度ムラ由来の測光ノイズが小さくなるという利点もある。

我々は2019年7月に岡山にある1.88m望遠鏡の多色同時撮像装置MuSCATの3バンド(g', r', z')それぞれに散乱度合いの強いディフューザーと弱いディフューザーを取り付けた。試験ではいくつかの星をディフューザーありの場合となしの場合で交互に観測を行った。観測の結果、それぞれのバンドで星像のFWHM(full width at half maximum)が非常に安定することとピークカウントがより低くなることが確認できた。ディフューザーを用いた場合の透過率はディフューザーを用いない場合と比較してどちらのディフューザーもほぼ93%程度であった。また同じ露光時間で相対測光値のRMS(root mean square)を計算したところ、ほとんどのバンドでRMSはディフューザーを用いたほうがわずかに悪くなることを発見した。これはディフューザーを用いると測光半径が大きくなり、スカイノイズやリードアウトノイズがより効くようになるため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](#)

V220a 深層学習を用いた MITSuME 望遠鏡画像からの突発天体検知(2)

飯田 康太, 谷津 陽一, 村田 勝寛, 橋 優太郎, 河合 誠之(東工大理), Yan Long, 篠田 浩一, 井上 中順(東工大情報理工), 下川辺 隆史(東京大)

新たな発見領域として注目を集める重力波天文学においては、数百平方度にまたがる広大なエラー領域を自動的に掃天し、すぐさま候補天体を検出することが重要である。この最終ステップである変動天体の検知には、従来画像差分を用いた手法が広く利用されているが、光学系の収差や回折などによる“引き残し”が発生するため、最終的に人間の目による確認が不可欠である。引き残しの本質的な原因は、画像差分のカーネル関数が比較的綺麗なガウシアン形のPSFしか再現できない点である。本研究では、複雑な形のPSFを再現するため、畳み込みニューラルネットワーク(CNN)を用いた識別器を提案する。CNNは大量のデータを識別できるような最適なパラメータを学習し、一旦学習を終えれば、即座に識別することが可能である。ネットワークには、対象画像(今現在得た画像)と参照画像(事前に得た画像)のペアを入力する。対象画像は、MITSuME望遠鏡によって観測された、銀河を中心とした切り取り画像(61×61 [pix])を数万枚用意した。このうち半分には、点源を人為的に付与し、突発天体を模擬した。その際、突発天体の位置や明るさをランダムに与えることでデータに多様性を持たせた。参照画像は対象画像と同領域のPan-STARRSの切り取り画像を使用した。両画像ともピクセル値は、電磁波束単位ジャンスキーに変換することで、スケールを合わせた。ネットワークは、対象画像と参照画像の切り取りのペアを入力すると、畳み込み層とPooling層で特徴を抽出し、全結合層を経て、突発天体である確率を出力する。この識別器は、およそ95%の識別精度を達成した。さらに、付与した突発天体の位置、明るさの観点からこの識別器の性能を詳細に評価した。本講演では、その結果と考察についてまとめる。

[スケジュール\(セッション毎\)に戻る](#)

[スケジュール\(全体\)に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V221a ファイバー型面分光装置 KOOLS-IFU せいめい望遠鏡への接続

松林和也 (京都大学), せいめい望遠鏡グループ

可視光ファイバー型面分光装置 KOOLS-IFU は、2016 年まで国立天文台 岡山天体物理観測所 188 cm 望遠鏡に接続して観測を行っていた観測装置である。より暗い天体の観測や、突発天体の即時分光観測を行うために、我々は KOOLS-IFU をより大口径 (3.8 m) かつ指向速度が速い、京都大学 岡山天文台のせいめい望遠鏡に移設した。本講演ではせいめい望遠鏡に接続した KOOLS-IFU の性能などについて報告する。

2018 年 3 月に KOOLS-IFU の部品を 188 cm 望遠鏡ドームからせいめい望遠鏡ドームへ移した。KOOLS-IFU の分光器をドーム 1 階の分光器室に設置し、その後ドーム 3 階にある望遠鏡と分光器をつなぐファイバーバンドルを設置した。ファイバーバンドルの望遠鏡焦点側は装置切替機構に取り付けられ、視野確認用カメラなどリモートで切替可能である。CCD の読み出しノイズ対策として、CCD 電源にノイズフィルタを追加し、また分光器の電源グラウンド環境を整備した結果、5 electron / pixel 以下でほぼ安定している。即時分光に対応するためにモーター制御系を一新し、複数のモーターを同時に駆動できるようにした。将来のリモート観測や自動観測に備えて、KOOLS-IFU の観測コマンドを他 PC から容易に実行できるよう、装置制御システムを更新した。

KOOLS-IFU をせいめい望遠鏡に接続して性能評価を行ったところ、観測波長範囲はおよそ 4200–10000 Å、波長分解能は 500–2000、1 ファイバーあたりの視野は直径 0.93”、全 127 ファイバーによる視野が直径 15.1” とほぼ予想通りだった。観測開始当初は光学的スループットが予想の半分ほどだったが、ファイバー取り回しの改善や望遠鏡の洗浄などにより、2019 年 12 月時点で予想の約 90% となっている。KOOLS-IFU はせいめい望遠鏡の第一期観測装置として、2019 年前期から共同利用観測・京都大学時間観測を行っている。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V222b 点回折干渉計方式を用いた補償光学用波面センサの開発

津久井遼, 山本広大, 木野勝, 栗田光樹夫 (京都大学)

私達は太陽系外惑星の直接撮像観測を目的とした高コントラスト惑星撮像装置 SEICA (Second-generation Exoplanet Imager with Coronagraphic Adaptive optics) の開発を行っており、せいめい望遠鏡 (京大岡山 3.8 m 望遠鏡) への搭載を目指している。地上観測の場合、地球大気の乱流によって乱れた主星の像に、近傍の惑星像が埋もれてしまうことが問題となる。このため、大気乱流によって乱れた波面を補償光学装置によって補正することが必要である。私達が撮像を目指す惑星は主星との離角が 0.2 秒角、惑星/主星の光度比が 10^{-5} 程度であり、撮像のためには波面精度 60 nm (シュトレール比 0.9)、制御点数約 500、測定頻度 6.5 kHz の極限補償光学装置が必要である。その構成要素である波面センサにも同様に、波面形状を多点で高速かつ高精度に測定することが求められる。そこで私達は点回折干渉計 (PDI) 方式を用いた直接位相計測型の波面センサを開発している。従来の幾何学的測定型 (シャックハルトマン波面センサなど) では、波面傾斜や曲率を積分して波面形状を復元する際の誤差伝搬が問題となる。また、同じ直接位相計測型の fixed ピラミッドセンサでは計算量が多い。一方で本方式は、光学面検査などで用いられる PDI と位相シフト法を応用して位相を計測するものであり、測定点間の誤差伝搬がなく計算量も少ない。本公演では、この PDI 方式の波面センサの概要と、数値計算による性能評価を中心に開発状況について発表する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V223b 1.8m 軸外し望遠鏡 PLANETS による高ダイナミックレンジ観測

鍵谷 将人, 鈴木 駿久, 坂野井 健, 笠羽 康正 (東北大学), 平原 靖大 (名古屋大学), 栗田 光樹夫 (京都大学)

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や独キーペンハウアー太陽研究所等との国際協力のもと開発を進めており、ハワイ・ハレアカラ観測所への設置を最終目標として 2020 年末に日本でファーストライトを迎える予定である。中央掩蔽物のない低散乱光学系という特徴を生かして、太陽系内惑星や衛星近傍の大気・プラズマ発光といった、輝度の大きな天体近傍の微弱な発光の観測 (高ダイナミックレンジ観測) を重要な目標の一つに挙げている。本研究では高ダイナミックレンジ観測の実現可能性を議論するため、PROPER library (Krist 2007) を用いたフレネル伝搬の計算に基づき、観測候補地の典型的なシーイング環境や主鏡の構造関数、補償光学の補正制御点数、複数のコロナグラフの設計案に対して、達成できるダイナミックレンジを検討した。この検討結果をもとに、いくつかの観測ターゲット (エウロパの水プルーム、エンケラドス周辺の中性トラス、火星電離圏発光等) に対して、期待される信号雑音比のモデル計算を行った。一例として、火星電離圏の O_2^+ 561nm や N_2^+ 391nm 発光は 2 時間の積分で空間分布の時間変動を捉えることが期待できる。本講演では 3.8m せいめい望遠鏡の技術を活かした光学系支持構造や架台、および主鏡支持機構の開発状況も合わせて発表する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V224b 茨城大学における太陽観測システムの開発と SHABAR 観測

野澤 恵, 宮良 碧, 青山 実樹, 林 亮太, 土方 優季, 山田 直輝 (茨城大学), 萩野 正興 (国立天文台)

茨城大学理学部では「太陽地球圏環境の理解」の一環として、太陽嵐の解明に向けた太陽面監視システムの構築を開始した。

現在、このシステムでは 2 つの手法により茨城大学水戸キャンパス上空における大気擾乱を測定するための装置を理学部の屋上に設置されたスライディングルーフにて行っている。1 つは卒業生である山本らによるシンチレーションモニタ SHABAR (SHAdow BAnd Ranger) による測定 (山本ら 2017 年秋季年会 V228a) である。これは 6 つのフォトダイオードにより高さの異なる層での擾乱を解析する方法である。

もう一つの方法は宮良らにより開発された太陽光球像を用いた方法 (宮良ら 2019 年春季年会 V232b) である。地球大気の高層の擾乱により生じる屈折率の変化の結果として、太陽縁の凹凸と収差を生み出す。この像のゆがみを用いてシーイングを評価する手法である。この手法を用いたテスト観測ではフリードパラメータ $r_0=0.93\text{cm}$ を得られた。これは冬場のシーイングの悪い状態に相当する。我々のシステムでこの観測を行う理由は、高精度天体観測の妨げになるシーイングのモニター観測による大気状態の定量的評価を用いて、観測結果を公開する場合のデータのクオリティを管理することである。

本講演では茨城大学の水戸キャンパスでの観測システムと実際に得られたデータの紹介を行い、今後の太陽観測システムの構想について議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V225c Thermal Modeling of the Focus Position of the NAOJ 188-cm Telescope (II)

浮田信治, 筒井寛典, 神戸栄治, 前原裕之, 柳澤顕史, 泉浦秀行 (NAOJ), 神谷浩紀 (JAXA)

The focus stability of large optical telescopes is of great concern for astronomers. Because components of telescopes are made of materials with different thermal expansion coefficients and thermal inertia, the optimum focal position is inevitably temperature-dependent. Older telescopes have been infamous for their focus variations. One of them is the 188-cm telescope of the former Okayama Astrophysical Observatory which was commissioned in 1960 and employs a solid primary mirror of Pyrex.

We have investigated thermal effects on the focus position of the telescope measured by observers using temperature data of the steel structure and the primary mirror surface in the period from July 2015 to June 2016. Optimum focus positions of the Cassegrain mirror for HIDES-Fiber observations were measured to vary by 5 mm. The mean temperature of the steel structure (T_{str}) which supports the primary and secondary mirrors changed roughly between 0 and 30 °C throughout the year. The temperature differences between the front and back surface of the primary mirror (δT_{fb}) showed variations in the range of -2.7 to $+0.3$ °C. The measured focus positions show strong dependences on both T_{str} and δT_{fb} . We have found it possible to fit the focus variations with these two parameters with an r.m.s. residual of 0.21 mm. This focus offset causes a blurred optical spot of 0.9 arcseconds. Applying the conductive heat transfer relation, we have calculated the time-dependent temperature distribution inside the primary glass. We are able to improve the accuracy of approximation to 0.12 mm r.m.s., which is close to 0.1 mm, a typical resolution of individual focus determinations by observers.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V226c 放物面柱反射鏡と柱状レンズとを有する光学システム

浅利 栄治 東京農業大学

放物面反射鏡が用いられるニュートン式反射望遠鏡をはじめとして、これまで多くの改良型反射望遠鏡が開発されてきたが、主鏡として用いられる放物面反射鏡の研磨技術に要求される精度の高さとその作業工程の複雑さは、今日に至るまで変わるものではない。そのため、特に中大型の反射望遠鏡は高価なものになり、中型以上の反射望遠鏡を自製することは殆ど不可能である。大型の放物面反射鏡は、重量が数トンから数十トンにも及ぶため、重力による鏡面の変形が問題となり、その変形も観測する天体の高さにより異なる。したがって、鏡面の変形の補正は、スバル望遠鏡などの特殊な最新の制御システムが用いられるもの以外は不可能である。中規模以上の反射望遠鏡は、技術的な観点及びコスト的な観点から、大掛かりな組織でなければ製作は困難である。そこで、莫大な資金を要する大集光力の反射望遠鏡を、従来望遠鏡より廉価かつ簡便に、軽量で製作することが可能であれば、一般市民レベルでも中型以上の反射望遠鏡を所有したり、自作したりすることができる。今回、集光力が大きく、容易かつ安価に製造することができる、反射望遠鏡等に用いることが可能な光学システムを提案する。その光学システムは、凹面の反射体と、1つ又は複数の集束体と、受光部とを備える。反射体は放物面柱、乃至は球面柱の形をとり、反射された光を線状の焦点に集光させることができる。集束体には1つ乃至は複数の柱状レンズを用い、反射体と反射体の線状の焦点との間に配置され、反射体によって反射された光を透過させることにより光を点焦点に集束させることが可能である。受光部は、集束体を透過する光の進行方向下流側に配置され、集束体を透過した光を受けることができる。この光学系により遠方にある被写体を受光部に画像化することが可能であり、凹面の反射体を大きくすることで集光力を容易に増強することができる。(特許第 6602942 号)

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V227a 小型 JASMINE 計画の全般的進捗状況

郷田直輝, 辻本拓司, 矢野太平, 上田暁俊, 三好 真, 辰巳大輔, 馬場淳一, 鹿島伸悟, 間瀬一郎 (国立天文台), 山田良透 (京大理), 河田大介 (UCL), 片坐宏一 (宇宙研/JAXA), 西 亮一 (新潟大), 吉岡 諭 (東京海洋大), 河原 創 (東大), ほか JASMINE チーム, Exo-JASMINE チーム一同

小型 JASMINE は、赤外線波長を用いて高精度で測定する位置天文観測衛星計画である。銀河系構造 (バルジ、バー、ディスク) と巨大ブラックホールの進化の解明に結びつく銀河系中心核バルジや銀河面の探究を行い、主に銀河中心考古学と銀震学を遂行することを科学目標とする。そして、生命が誕生し維持することができる惑星が存在する恒星の誕生場所や銀河系内でのその恒星の軌道、つまり Galactic Habitable Orbits の探求にもつなげる。そのために、星の天球面上での位置変動を測定して得た時系列データ、およびそこから導出される年周視差、固有運動等の必要な物理情報をカタログとして作成し、世界の研究者へ公開する。銀河系バルジの星に関して、我々が用いる H_w バンドで 12.5 等級以下の 12,000 個程度 (うち、バルジの星は 7100 個程度) に対して年周視差を 25μ 秒角以内の精度 (固有運動精度は 25μ 秒角/年以内) で測定する。さらに、12.5 等級から 15 等級までの 8 万 6 千個程度 (うち、バルジの星は 60,000 個程度) の星に対して、 125μ 秒角/年 以内の固有運動精度で測定する。また、中心核バルジ方向を観測できない時期には、小型 JASMINE の観測性能を活かし、トランジット手法により低温星周りの生命居住可能領域にある地球型惑星を探索すること等も科学目標にしている。JAXA 宇宙科学研究所の公募型小型計画宇宙科学ミッションに提案し、いくつかの審査を経て 2019 年 5 月に宇宙研により、小型 JASMINE は公募型小型 3 号機として選定されたが、さらなる科学目標の拡張の検討、重要な要素技術の実証、衛星メーカーとのシステム仕様検討等を進めつつ、海外との国際協力も進めている。以上の進捗状況を報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V228a 小型 JASMINE の解析パイプラインの開発

山田 良透 (京都大学), Wolfgang Löffler (ARI Heidelberg), 郷田 直輝 (国立天文台), 矢野太平 (国立天文台), 辰巳大輔 (国立天文台), 片坐宏一 (宇宙科学研究所), 吉岡諭 (海洋大), 穂積俊輔 (滋賀大)

小型 JASMINE は現在公募型小型 3 号機の Pre Phase A2 にいるが、2019 年春に PrePhase A2 終了審査を通過し、年度内くらいには Δ MDR とプロジェクト準備審査を受け、Phase A へ上がることを目指している。

スペースプロジェクトは長期間にわたるため、作ったものがすぐに役に立たなくなるリスクを避けるため、ISO/IEC/IEEE 15288:2015 や ISO/IEC 12207 に従った開発手法を取り入れ、十分にシステム化されたものにならなければならない。そのため、メーカーと有識者に、ソフトウェア開発に関して協力をしていただいて、開発を進めている。アジャイル開発の手法を取り入れて WBS を見直し、ソフトウェア仕様書を改訂しながら開発を進めている。

位置天文観測は、データ解析のウエイトが非常に大きい。これまで、最小二乗推定、星像中心推定、位置天文パラメータの推定などのコンポーネントを作ってきた。今回はこれらをつなぐパイプライン処理の部分を実装した。また、必要なソフトウェアテスト等の仕様も定めてゆく必要がある。また、ハードウェア調達を含むため短時間で実施できるかどうかは不明だが、ソフトウェアはフルスケールへの拡張性を考慮しているので、年度内くらいには end 2 end のシミュレーションの実施を行うことを目標としている。

本講演では、開発状況と結果を報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V229b 小型 JASMINE 衛星の要素技術検証 V

上田暁俊、間瀬一郎、辰巳大輔、宇都宮真、鹿島伸悟、矢野太平、郷田直輝、三好真 (国立天文台)、山田良透 (京大理)、片坐宏一 (宇宙研)、小型 JASMINE ワーキンググループ

JASMINE プロジェクトでは、小型 JASMINE の実現に向け、要素技術の検討や開発を推進している。概念設計は終了し、超低膨張ガラスと同程度の CTE を持つ材料 (スーパーインバー改) を企業と開発し、その材料で STM を作製した。完成した STM の、現段階での振動試験は完了し、良好な結果を得ている。今年度、熱構造関連では、熱数学モデルの構築、熱真空試験事前解析を行った。この事前解析に基づき、軌道上での衛星への非平衡熱入力を模した、熱真空試験を実行した。予備的な解析では、概念検討を満足する熱制御が達成される感触である。現在は、熱数学モデルを実験に基づき再構築し、温度制御の最適化を試みている。フィルタの成膜設計は終了したため、評価用テストピースの作製を行い、光学特性の評価を行った。作製されたフィルタは、極めて設計に近い光学特性を示していた。今回は、更に物性に踏み込んで評価を行い、その結果を報告する。迷光処理材は、企業との共同研究において、開発を進めている。講演では、小型 JASMINE の要素技術開発進捗について、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](#)

V230b 小型 JASMINE 非球面ミラー用 DOE 干渉計の開発 1

○鹿島伸悟、矢野太平、上田暁俊、辰巳大輔、三好真、井上登志夫、宇都宮真、間瀬一郎、郷田直輝 (国立天文台)、山田良透 (京都大学)、片坐宏一 (JAXA/ISAS)

小型 JASMINE の光学系には 3 枚の非球面ミラーを用いているが、何れも非球面量が大きく、Zygo 等の通常の干渉計では面精度が測定できない。非球面量の大きな非球面形状を測定する方法はいくつかあるが、我々は Zygo をベースに、その参照レンズとして回折光学素子 (DOE) を用いた DOE 干渉計を開発することにした。回折光学素子 (DOE) というのは、文字通り「回折面」を有する光学素子のことであり、広義にはホログラムやグレーティングも含むが、一般的には屈折レンズの代わりに用いられるブレード形状の回折面を有する光学素子を指すことが多い。

回折面は、そのピッチを変化させることで如何なる波面も形成することが可能で、波面形状を決めるのはそのピッチだけであり、ブレード化は回折効率を上げ、不要次数光を減らすために行うだけである。JASMINE のミラーは全て光軸回転対称の非球面であるため、回折面の形状も同心円状の溝パターンになる。同心円状の溝パターンであれば、超精密 CNC 旋盤を用いることで非常に正確に形成する事が可能であり、その精度はサブミクロン以下となる。これはすなわち、この精度で非球面波面を形成することが可能であることを意味する。非球面を測定する際の参照レンズとして非球面レンズを用いる場合もあるが、これだと、その参照非球面レンズの面精度をどうやって測定するのかというイタチごっこになってしまうため、採用しなかった。

本発表では、まずは DOE 干渉計の原理確認のために、既に作製済みの球面ダミー主鏡を測定するための DOE を設計・製造したため、これ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](#)

V231b JASMINE の星像高精度位置決定のための実証実験

矢野太平, 郷田直輝, 上田暁俊, 辰巳大輔, 三好 真, 鹿島伸悟, 間瀬一郎 (国立天文台), 山田良透 (京大理), 片坐宏一 (宇宙研), 小型 JASMINE ワーキンググループ

現在日本で開発している位置天文観測衛星、小型 JASMINE は銀河系中心核バルジの星を 20 マイクロ秒角レベルの高精度で星の位置を測定する計画である。本衛星のミッションでは、星像を高精度で位置測定するため、同一の星を多数回繰り返し測定する事により系統誤差を導出し、補正を行う事で高精度位置決定が達成されることになっている。我々は、地上での実験室における実験および数値シミュレーションを用いて星像の高精度位置決定が確かに達成できている事を示してきた。以上は 1 列にならんだ擬似星像の 2 星間の距離、すなわち 1 次元方向のみに着目した原理的実証であり、検出器や光学系に備わる系統誤差を抽出し、画像の枚数に応じて測定精度が向上するという一定の成果を得てきた。更に進めて、1 次元に限定しコントロールされた状況での実証のみならず、より一般的な状況での実証とするため、1 次元に限定せず、2 次元面に存在する星像の位置から高精度位置決定を行うための解析手法を検討し、数値シミュレーションを用いて実証のプロセスの妥当性を確認するとともに地上実験への適用を行った。実際の地上実験データをもちいた解析において、画像の回転と平行移動の自由度のもとで星像位置を必要精度で決定できる事を確認できた。本公演では、以上結果に加え、更なる系統誤差の補正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](#)

V232a SPICA (次世代赤外線天文衛星) : 日欧共同推進による Phase A 検討の現状

芝井 広 (大阪大), 金田英宏 (名古屋大, ISAS/JAXA), 山村一誠, 小川博之, 中川貴雄, 松原英雄, 山田 亨 (ISAS/JAXA), 尾中 敬 (明星大), 河野孝太郎 (東京大), 他 SPICA チームメンバー

日欧協力を軸に推進する次世代赤外線天文衛星 SPICA は、口径 2.5 m の望遠鏡を温度 8 K 以下まで冷却し、波長 12350 μ m において超高感度な赤外線観測を行う計画である。日本が主導する中間赤外線観測装置 SMI (SPICA Mid-infrared Instrument) と欧州が主導する二つの遠赤外線観測装置 (分光: SAFARI, 偏光撮像: B-BOP) が搭載され、2030 年頃に打上げ、ノミナル 3 年、目標 5 年間の運用を行う。科学面では、ALMA、TMT、SKA、Athena などの他波長の大型望遠鏡との強力なシナジーが期待される。

JAXA の戦略的中型プロジェクト、ESA の中型クラス 5 号機候補として、2019 年初頭から ESA との共同推進による Phase A study を進めてきた。日欧の複数の企業による設計検討が行われ、製造可能性に基づいた検討が JAXA-ESA の合同チームで精力的に進められている。一方、日本が担当する極低温冷却システム PLM (Payload Module, 冷凍機を含む) においては、観測装置と科学検討の最新の要求を取り入れて、熱設計および構造設計の詳細化を進めている。最重要の要素である冷凍機については、SPICA 固有の要求である直線型熱交換器の実験実証に世界で初めて成功した。また、寿命評価の厳密化やさらなる長寿命化の検討を進めている。科学検討面では、ESA 主導の科学検討チーム、JAXA 主導の研究推進委員会、さらにそれぞれのもとで 5 つの科学分野の WG が活発に活動を続けており、本年会企画セッションで多くの報告が行われる。なお、日欧合同チームの最新の状況と中間赤外線装置 SMI については、別の講演で詳述される。本講演では、科学検討を含む SPICA の全体的な最新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](#)

V233a 日欧技術検討チームによる SPICA フェーズ A 概念検討の現状

松原英雄, 東谷千比呂, 中川貴雄 (JAXA), J. Rouquet, J. Tauber, A. Heske, B. Garcia Gutierrez, E. Sanz (ESA), SPICA ESA – JAXA Joint Study Team

SPICA は、欧州においては ESA Cosmic Vision の中規模クラス 5 号機候補として現在概念検討段階（フェーズ A）にあり、ESA 内に SPICA に専任する検討チームが正式に設けられ、複数の欧州インダストリによる並行検討が進められている。本講演では、日欧の技術検討チームの活動状況と今後の予定について概説する。

フェーズ A において ESA 及び欧州インダストリは、衛星システム全体（特に衛星バス部：Service Module）と科学観測機器（望遠鏡の設計及び焦点面観測装置も含めた配置設計）を担当している。技術的な境界条件（JAXA の H3 ロケットでの打ち上げ、冷却系能力、電力・体積等の衛星リソース等）とコスト・スケジュール等プログラムの制約の中で、幾つかのミッションコンセプトの並行検討を進めている。トレード検討の項目としては、打ち上げ後の初期軌道・熱構造設計・姿勢決定方法・望遠鏡及び観測装置のコンフィギュレーション等がある。この中で JAXA は、担当するミッション部（Payload Module）全体の概念設計を進める中、インターフェース条件の調整やリソースバジェット管理について ESA と協力しつつ検討を進めている。これらの成果をもとに 2020 年度初頭の Mission Consolidation Review までに、宇宙天文台として最適なもの一つのアーキテクチャを確立することを目指している。それを踏まえて、今後の ESA-JAXA 間の役割分担の見直しも行き、2021 年 6 月の中規模クラス 5 号機の最終選抜に臨む。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V234a SPICA 搭載中間赤外線観測装置 SMI のフェーズ A の技術開発の進捗

磯部直樹, 和田武彦 (ISAS/JAXA), 金田英宏 (名古屋大学, ISAS/JAXA), 國生拓摩, 鈴木仁研, 平原靖大 (名古屋大学), 大藪進喜 (徳島大学), 芝井広 (大阪大学), 笠羽康正, 坂野井健 (東北大学), 石原大助, 大坪貴文, 中川貴雄, 長勢晃一, 松原英雄, 山岸光義 (ISAS/JAXA), Shiang-Yu Wang, 大山 陽一 (ASIAA), 他 SMI コンソーシアム

中間赤外線観測装置 SMI は、次世代赤外線天文衛星 SPICA に搭載される三つの焦点面観測装置の一つであり、波長 $\lambda = 12\text{--}36 \mu\text{m}$ の中間赤外線の観測を担当する。SMI は、低分散分光器 LR ($R = \lambda/\Delta\lambda = 50\text{--}150$, $\lambda = 17\text{--}36 \mu\text{m}$), 中分散分光器 MR ($R = 1300\text{--}2300$, $\lambda = 18\text{--}36 \mu\text{m}$), 高分散分光器 HR ($R > 29000$, $\lambda = 9.6\text{--}18 \mu\text{m}$) の三つの分光器で構成され、LR は広視野カメラ CAM (中心波長 $\lambda = 34 \mu\text{m}$, 視野 $10' \times 12'$) と同時に観測を行う。日本の主要大学、宇宙科学研究所、ASIAA (台湾) などからなる SMI コンソーシアムが、SMI の開発を担当する。

SMI コンソーシアムでは、2021 年春の ESA Cosmic Vision M5 の最終選抜に向けて、主要技術要素の開発を進めている。光学系については、ESA の技術検討で得られた望遠鏡デザインに対して、SMI 光学設計の最適化を行っている。光学素子については、自由曲面鏡, LR 用大型 KRS-5 プリズム, $30 \mu\text{m}$ 帯の光学フィルターなどについて、試作と光学特性の評価を進めている。HR 用の CdZnTe イメージング回折格子については CdZnTe 素子の透過率測定を行い、高抵抗の素子が HR の要求を満たすことが明らかになった (前嶋他の講演)。検出器については、主に Fast Mapping 観測の効率向上を目指し、 $1\text{K} \times 1\text{K}$ Si:Sb 検出器の極低温読み出し回路の低雑音化を進めている。昨年度までの概念検討で低雑音化の方法についてはめどが立っており、今年度中に詳細設計と試作を完了する予定である。本講演では、以上のような SMI のフェーズ A の技術開発活動について報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V235a SPICA/SMI 搭載中間赤外線 Immersion grating : 材料選定のための極低温での CdZnTe の透過率測定

前嶋宏志, 松本光生 (ISAS/JAXA, 東京大学), 平原靖大 (名古屋大学), 中川貴雄, 和田武彦, 長勢晃一 (ISAS/JAXA), 大藪進喜 (徳島大学), 鈴木仁研, 國生拓摩 (名古屋大学), 金田英宏 (名古屋大学), ISAS/JAXA), 伊藤良太, 石川大智 (名古屋大学)

我々は、中間赤外線高分散分光観測 ($9.6\text{-}18\ \mu\text{m}$, $R = \lambda/\Delta\lambda > 29,000$) の実現のため、次世代赤外線天文衛星 SPICA の観測装置 SMI への搭載を目指した Immersion grating (IG) の開発を進めている。IG は回折面を高屈折率 n の材料で満たした回折格子で、同じ波長分解能の古典回折格子に比べ $1/n$ サイズに小型化できる。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 (Sarugaku et al. 2017)。特に常温では、高抵抗型 CdZnTe ($> 10^{10}\ \Omega\text{cm}$) は吸収係数が小さいが、低抵抗 CdZnTe ($\sim 10^2\ \Omega\text{cm}$) は吸収係数が大きい。この違いは自由キャリア由来の吸収によるものだと考えられている。そのため IG 使用環境の極低温では、自由キャリアの凍結による吸収係数の低下が予測され、低抵抗 CdZnTe でも IG 材料の可能性はある。

極低温での低抵抗/高抵抗 CdZnTe の吸収係数を調べるため、(1) 収束光 FT-IR 測定と (2) 波長 $10.42\ \mu\text{m}$ の平行光量子カスケードレーザーでの透過率測定を行なった。高屈折率の厚いサンプルのため、収束光実験 (1) では焦点ずれによる系統的な誤差が生じうる。実験 (2) は単一波長測定だが、焦点ずれによる誤差がない。この 2 つの実験の組み合わせで、高確度で吸収係数を推定する。現在、低抵抗 CdZnTe は極低温における吸収係数の増大を確認した。これは自由キャリア吸収の予測に反しており、低抵抗 CdZnTe は極低温 IG 材料として不適である。一方で、高抵抗 CdZnTe は極低温において吸収係数の増加は見られず、極低温 IG 材料として有望である。

[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](#)

V236a SPICA 搭載ジュール・トムソン冷凍機用「直線型熱交換器」の性能評価

福岡遙佳 (東大理、ISAS/JAXA)、東谷千比呂、中川貴雄、関本裕太郎、松原英雄、西城大、篠崎慶亮、佐藤洋一 (JAXA)、恒松正二、金尾憲一、榎崎勝弘、大塚清見、岡林明伸 (住友重機械)

次世代赤外線天文衛星 SPICA (Space Infrared Telescope for Cosmology and Astrophysics) 搭載を目指したジュール・トムソン冷凍機用の「直線型熱交換器」の性能評価について述べる。前回の発表では 1.65m 、 3m 「直線型」熱交換器の性能評価結果を報告したが、今回は加えて 4.5m 「直線型」熱交換器の性能評価結果を報告する。

SPICA では、高感度な観測を行うために、観測装置を含めた望遠鏡全体を極低温にまで冷却する必要がある。具体的には、ジュール・トムソン冷凍機を用いて、望遠鏡を $8\ \text{K}$ 以下にまで冷却する。我々が宇宙機用に開発してきたジュール・トムソン冷凍機は、3 段の向流型同軸二重管式熱交換器で構成されている。その熱交換器は従来はすべて「らせん型」であったが、SPICA では冷却ステージと圧縮機搭載位置との間に $3\ \text{m}$ 以上の距離があるため、熱交換器の一部を直線状に延長する必要がある。ただし、この「直線型熱交換器」は新規開発となるため、SPICA の温度環境を想定した実験系において、「直線型熱交換器」を用いた冷凍機の冷却能力を検証する必要がある。我々は、 $1.65\ \text{m}$ 、 $3\ \text{m}$ 、 $4.5\ \text{m}$ の長さの「直線型熱交換器」を制作し、それぞれ冷却能力にどのような変化があるか検証を進めている。現在、全ての「直線型」熱交換器及び比較基準となる従来型 $1.65\ \text{m}$ 「らせん型」の熱交換器の測定を行い、各々の熱交換器において SPICA における冷却能力の要求値 ($40\ \text{mW}@4.5\ \text{K}$) を達成できることを確認した。同じ長さでは直線型はらせん型よりも効率が劣ることが以前の試験から判明しているが、今回の試験により長さを延長した直線型において、従来のらせん型と同等以上の効率を出せることが実証された。この傾向は、理論的な予測とも一致する。SPICA では、この熱交換効率の違いを設計に反映させる必要がある。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V237a 軸外しセグメント望遠鏡による太陽系外惑星の高コントラスト撮像のための 4 次コロナグラフ

伊藤 哲司(大阪大)、松尾 太郎(名古屋大、NASA Ames Research Center)

Keplar 宇宙望遠鏡の結果は太陽系外にも地球型惑星が普遍的に存在することを示している。また、M 型矮星の周りでは、液体の水が惑星の表層に理論的にあり得るような、軌道領域と表面重力を持つ惑星が、既に見つかっている。次のステップは、このような惑星の大気分光観測による、生命居住可能性の検証と、生命活動の兆候の検出である。恒星コロナグラフを用いた、太陽系外惑星の直接撮像分光観測は、その一つの方法である。潜在的にハビタブルな惑星の分光を目指すような精度での直接撮像では、近傍の恒星は十分に点光源とみなせない。そのため、コロナグラフは、その透過率プロファイルが、光軸近傍で離角の 4 次よりも高次の関数である (4 次以上のヌルである) 必要がある。しかし、これまでに提案されてきたコロナグラフでは、分割鏡方式の望遠鏡に対して 4 次以上のヌルを得ることができていなかった。このような背景のもとに、我々は、新しく、軸外しセグメント望遠鏡用の、4 次のヌルが可能なコロナグラフのシステムを提案した。このシステムの最も内側の動作角は $1 \lambda/D$ に近く、外側の制限はない。提案されたシステムの特徴 (星の有限の直径と望遠鏡の指向誤差による中心星の光のリークと惑星像のピークスループット) は、解析的に導出された。この解析式に基づく性能評価 ($0.75 \mu\text{m}$ の単色光と、直径 8.5m の軸外主鏡を考慮) の結果、望遠鏡の指向誤差が $0.01 \lambda/D$ 未満であるという条件下で、 10pc 以内の K、G および極近傍の M 型矮星を周回する地球型惑星を検出できることが示された。提案されたコロナグラフのシステムは、将来の正六角形状に分割された軸外し望遠鏡での、潜在的に居住可能な惑星の検出に有望である。このような望遠鏡には、Origins Space Telescope と Large UV/Optical/Infrared Surveyer が含まれる。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V238a 気球望遠鏡を用いた高解像度・高波長分解 [CII] マッピング観測のための Blocked-Impurity-Band 型遠赤外線アレイ検出器の開発

齋藤太志, 鈴木仁研, 金田英宏 (名古屋大学), 大藪進喜 (徳島大学), 藤原侑, 金山健也, 下村太誉 (名古屋大学), 和田武彦, 石丸貴博, 長勢晃一 (ISAS/JAXA)

大質量星の形成には、ガスの高い質量降着率を実現する過程が必要になる。近年の赤外・電波観測によって、フィラメント構造を持つガス雲同士の衝突が、高い質量降着率に不可欠であることが示されている。我々はこの問題に、気球望遠鏡を用いた一階電離炭素 [CII] $158 \mu\text{m}$ 輝線の、高解像度・高波長分解なマッピング観測で迫る。[CII] 輝線は、大質量星に付随する中性ガス領域で観測できる輝線である。従って、[CII] 輝線観測で、同領域の詳細なガスの構造 (高解像度) と運動 (高波長分解) を捉えることにより、ガス雲衝突と大質量星形成の直接的因果関係を示すことができる。この観測のためには、アレイ検出器と波長分解能 ~ 10000 の分光器が必要になる。本研究では、アレイ検出器として、 5×5 素子の Blocked-Impurity-Band (BIB) 型アレイ検出器を開発した。BIB 型検出器では、従来用いられてきたディスクリットアレイよりも、感度のばらつきを大きく低減できるモノリシックアレイの作製が可能になる。我々は、近年の半導体微細加工技術を導入し、ゲルマニウムウエハ上でアレイ検出器を作製することに成功した。そして、作製した検出器の絶対感度を、温度 2K の環境下で評価した。全 25 素子の [CII] 輝線に対する絶対感度は平均 11A/W 、素子間の感度ばらつきは 20% 程度であった。ばらつきの少ないモノリシックアレイでの観測によって、Point-Spread-Function (PSF) を高精度で決め、PSF deconvolution による高解像度な画像の取得が期待される。得られた絶対感度に基づき、PSF deconvolution を適用して達成可能な解像度について議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V239a 超小型衛星用紫外線 CMOS イメージセンサの特性評価

小川風太, 間宮英生, 谷津陽一, 河合誠之 (東工大理学院), hibari 開発チーム (東工大工学院), 小野寺光彦, 山崎太郎, 武内勇介, 星野雅文 (エイブリック株式会社)

紫外線は地上からの観測が困難な一方でその観測に特化した衛星は現状数少なく、紫外線に対応した検出器を搭載した新たな天文衛星が求められる。紫外線撮像に用いる検出器として、各画素の高速読み出しが可能で冷却せずとも充分な性能を発揮できる CMOS イメージセンサが挙げられる。しかし宇宙空間では日陰、日照の環境により急激に温度変化することや、衛星打ち上げ後の較正作業が困難であるという理由から、センサの温度特性について十分に理解しておく必要がある。

本研究では紫外線帯域に感度を持つ CMOS エリアイメージセンサを用いた特性評価を行った。この UV センサは約 30 万画素、撮像領域は $3.7 \text{ mm} \times 2.8 \text{ mm}$ であり、露光時間を約 30 - 140 ms の範囲で変更でき、信号増幅を高/低ゲインで切り替え可能になっている。特性評価のための実験では、センサに一樣光を入射させた場合と入射光が全くない場合においてそれぞれ画像を取得した。得られた画像を解析してセンサの電子変換効率や暗電流の評価を行い、 30°C において変換効率 $\sim 3.6 \text{ e}^-/\text{ADU}$ という結果を得た。また、撮影中の温度を変化させて同様の実験を繰り返すことで各測定量の温度変化を評価した。本講演では、一連の実験により取得した各測定量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](#)

V240a SUNRISE-3 大気球太陽観測実験：高精度近赤外線偏光分光装置 SCIP に搭載する偏光変調ユニットの開発

久保雅仁 (国立天文台)、清水敏文 (ISAS/JAXA)、勝川行雄、川畑佑典、田村友範、篠田一也、納富良文 (国立天文台)、阿南徹 (NSO)、一本潔 (京都大学)、中山聡、山田琢也、田島崇男、中田森平 (三菱プレジジョン)、中嶋義人、奥谷耕生 (テクノクラフト)

現在及び将来の太陽望遠鏡にとって、太陽彩層の高精度な磁場観測は、最重要ターゲットの一つである。大気球実験 SUNRISE-3 に搭載される近赤外線偏光分光装置 Sunrise Chromospheric Infrared spectroPolarimeter (SCIP) は、0.2 秒角という高い空間解像度で太陽光球と彩層の 3 次元磁場構造の時間発展を定量的に捉えることを目指している。時間変化の激しい彩層の微細かつ微弱な磁場を観測するために、0.03% (1σ) という非常に高い偏光精度と高速の偏光変調が必要である。波長板を一定の速度で連続的に回転させる偏光変調ユニットが、SCIP による高精度偏光測定のカギを握る。波長板は、サファイアと石英の複屈折板で構成され、SCIP の観測波長帯を含む広い波長範囲で一定の遅延量を実現している。また、遅延量の温度依存性は、動作温度範囲内 ($20 \pm 10^\circ\text{C}$) で無視できるほど小さいことを確認した。回転駆動機構は、SOLAR-C 衛星用に試作した DC ブラシレスモーターを使用する。その制御ロジックは、観測ロケット実験 CLASP 用に開発された物がベースであるが、回転速度 (0.5 秒/回転) に対する要求が CLASP の 10 倍速いため、高速回転に最適化した制御ロジックを開発した (2019 年春季年会 V230b)。要求された偏光精度を達成するために必要な回転一様性が実現されていることを、フライト環境を模擬した熱真空条件下で実証することに成功した。さらに、同じ駆動機構を新規製作し、ドイツマックスプランク太陽系研究所が SUNRISE-3 用に開発中の紫外線偏光分光装置への供給が完了した。

[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](#)

V241b Solar-C_EUVST 望遠鏡構造熱設計進捗報告

末松芳法 (国立天文台), 清水敏文, 川手朋子 (ISAS/JAXA), 原弘久, 勝川行雄, 都築俊宏 (国立天文台), 一本潔 (京都大), 今田晋亮 (名古屋大), ほか Solar-C WG

Solar-C_EUVST は、太陽用高感度 EUV-UV 分光望遠鏡を搭載する JAXA 公募型小型衛星計画で、2018 年の公募機会に提案し、ISAS 理工学委員会による審査の結果、次の検討フェーズに進める計画の一つとして選定されている。Solar-C_EUVST は、これまでになく高空間分解能及び高時間分解能を達成するため、2つの結像光学系 (有効径 28cm 軸外し放物面主鏡及び 2 分割トロイダル回折格子) のみで構成され、可視光遮断フィルターを開口部に置かない設計としている。彩層からフレアコロナまで広い温度域のスペクトル線観測をスリット分光器で太陽面 2 次元分光データを得るため、主鏡を連続的に傾けることでスリット上の太陽像 280 秒角のスキャンを実現する。同時に、高分解能要求から像安定は必須であり、主鏡にチップチルト可動鏡の機能を持たせる。加えて主鏡部は、軌道上での温度変化等に対応する焦点調節機構を持つ必要がある。これらの要求を満たす構造設計をすすめている。全太陽光が入射する主鏡は、真空紫外用多層膜コーティングにより約 53W の熱を吸収する。主鏡は接着剤を用いたパッド支持で、主鏡下部には可動機構が設置されるため、主鏡が高温とならない熱設計が必要である。主鏡接着部及び下部が 60 °C 以下となる設計が得られた。望遠鏡全体の構造・熱設計の進捗を報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V242b 超高精度太陽センサー「UFSS」研究開発状況

長谷川 隆祥 (東京大学/宇宙航空研究開発機構)、清水 敏文、伊藤 琢博 (宇宙航空研究開発機構)、津野 克彦 (理化学研究所)、久保 雅仁 (国立天文台)、村尾 一、横澤 剛、水本 訓子、藤島 早織、合田 雄哉 (明星電気)

超高精度太陽センサー「UFSS (Ultra Fine Sun Sensor)」は、単純かつ安定した検出原理によってサブ秒角で太陽方向を検知するセンサーである。講演者らは JAXA が 2020 年代中盤に打ち上げを計画している太陽観測衛星「Solar-C_EUVST」の目指す高解像の分光観測に必要な姿勢制御・ポインティング性能を達成するために、UFSS の研究開発を進めている。UFSS は過去にも「あかり」や「ひので」といった衛星観測において大きな役割を担ってきており、今後も様々な宇宙機観測に活用できると考えられる。UFSS の原理は以下の通りである。UFSS の光学系は 16 本のスリットが入ったレティクルと 1 次元 CCD から構成される単純な構造である。レティクルを通った太陽光は 16 本のノコギリ状の信号として検出され、これと信号処理回路部で作られた基準信号との位相差から太陽角を検出する。Solar-C_EUVST についてはランダム誤差が 3σ で 1 秒角、バイアス誤差が ± 0.5 度にわたり p-p で 2 秒角の精度を目標としている。講演者らは、宇宙科学研究所の高平行度太陽シミュレータと新設された高精度二軸制御ジンバルを用いた実験等を通じて、新規に製作した UFSS 試作品の特性を評価した。UFSS を取り付けたジンバルの角度を変更しながら UFSS の角度出力を記録することで、理想的な角度出力に対するずれとしてバイアス誤差を得ることができる。この計測によって、想定通りのサンプレゼンスの振る舞いや 0.15 秒角 (1σ) のランダム誤差の他、けられの存在や 30 秒角程度のバイアス誤差などを把握した。これにより、改良事項の知見が得られ、試作品の改良が実施されている。本講演ではこのような UFSS の研究開発の現状について報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V243c 宇宙赤外線背景放射観測ロケット実験 CIBER-2 : 1st フライトに向けた光学試験および較正試験

瀧本幸司, 松浦周二, 橋本遼, 檀林健太, 山田康博, 鈴木紘子, 古谷正希, 木田有咲, 酒井将太, 達草太 (関西学院大学), 津村耕司 (東京都市大学), 佐野圭 (金沢大学), 高橋葵 (ABC), 松本敏雄, 和田武彦 (ISAS/JAXA), Michael Zemcov (RIT), James Bock (Caltech), Daehee Lee (KASI), Shiang-Yu Wang (ASIAA), CIBER-2 チーム

銀河系外背景光 (Extragalactic Background Light : EBL) は星形成の歴史を理解するための重要な観測量である。Cosmic Infrared Background Experiment (CIBER) や Spitzer, AKARI で測定された近赤外域の EBL では、その空間ゆらぎと放射スペクトルのいずれもが銀河からの予測値を超えており、宇宙再電離期の初代星や銀河ダークハロー浮遊星といった未知天体からの放射が含まれている可能性が示唆される。ロケット実験 CIBER-2 では EBL の起源を解明すべく、主鏡口径 28.5 cm の冷却望遠鏡とダイクロイックビームスプリッタを用いて可視光を含む 3 光路・6 波長バンド (0.5-2.0 μm) での約 $2^\circ \times 2^\circ$ の広視野画像を取得すると共に、3 つの焦点面に線形可変フィルター (LVF) を配置して $R=20$ のスペクトルを取得する。CIBER-2 はホワイトサンズ打上げ場にて複数回のフライトを予定しており、2020 年上半に予定されている 1 回目のフライトに向けた地上での光学試験を実施している。本講演ではフライト前のパフォーマンス評価のために実施した光学試験のうち、焦点調整、スペクトル応答測定、絶対測光較正の方法および結果を示す。特に、各バンドおよび LVF の絶対較正係数と焦点位置での像サイズの測定値を示すと共に、モノクロメーターを用いた波長スキャンによる波長較正の結果について述べる。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V301a X線分光撮像衛星 XRISM 搭載 X線望遠鏡 (XMA) 開発の現状 (3)

林 多佳由, 岡島 崇, Yang Soong, 田村 啓輔, Rozenn Boissay-Malaquin, Danielle N. Gurgew, Larry Olsen, Richard Koenecke, Leor Bleier, Marshall Sutton, Marton Sharpe, Larry Lozipone, Sean Fitzsimmons, Tony Baltusis, Dan Dizon, Richard Kelley, Gary Sneiderman, Meng Chiao (NASA's GSFC), 佐藤 寿紀, (理研) 森英之, 石田 学, 前田 良知, 飯塚 亮 (ISAS/JAXA), 石崎 欣尚 (首都大), 藤本 龍一 (金沢大), 林田 清 (大阪大)

我々は NASA の Goddard Space Flight Center (GSFC) で、X 線分光撮像衛星 XRISM に搭載する、X 線望遠鏡 (XMA) を開発している。XMA は XRISM の 2 つの観測システム (Resolve, Xtend) で X 線の集光、結像を担う。XMA の設計はひとみ衛星の軟 X 線望遠鏡 (SXT) とほぼ同等であり、母線長 100mm、150-300 μm 厚の反射鏡のペアを同心円状に 203 層並べた構造をしている。4 分の 1 口径 (Quadrant: QT) 毎に開発し、これらを結合することで全口径の望遠鏡とする。2 台の XMA とスペアで 9 台の QT が必要であるが、2019 年 10 月までに全て完成した。拡散 X 線による測定の結果、これらの結像性能は、集光される全光子の半分が入る直径 (Half-Power Diameter: HPD) で 0.98–1.26 分角、平均で 1.10 分角となった。11 月にはこのうちの 4 台の QT を使用して望遠鏡部を完成させ、プリコリメータを搭載し、XMA1 号機を完成させた。同じく拡散 X 線を用いた望遠鏡部のみでの測定では、結像性能は HPD で 1.18 分角となった。これは、XMA の要求性能 (1.7 分角) より良く、SXT と同等の性能である。今後は 1 号機の環境試験と並行して 2 号機の開発を進める。GSFC の 100m ビームラインでは XMA の地上較正試験を実施するために改良が進められており、12 月までにほぼ完成している。2020 年の 1 月からは地上較正試験を開始する予定である。本講演では XMA の開発状況と地上較正試験の最新結果を報告する。

[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](#)

V302a X線分光撮像衛星 (XRISM) 搭載軟 X線撮像装置の開発の現状 (3)

内田裕之, 田中孝明, 鶴剛 (京都大学), 林田清 (大阪大学), 冨田洋 (ISAS/JAXA), 森浩二 (宮崎大学), 中嶋大 (関東学院大学), 松本浩典, 野田博文, 常深博 (大阪大学), 村上弘志 (東北学院大学), 山内誠, 廿日出勇 (宮崎大学), 幸村孝由, 萩野浩一, 小林翔悟 (東京理科大学), 岡島崇 (NASA/GSFC), 石田学, 前田良知, 堂谷忠靖, 尾崎正伸 (ISAS/JAXA), 内山秀樹 (静岡大学), 山岡和貴 (名古屋大学), 信川正順 (奈良教育大学), 信川久実子 (奈良女子大学), 平賀純子 (関西学院大学), 他 XRISM/Xtend チーム

X 線分光撮像衛星 (XRISM) は 2021 年度に打ち上げ予定である。搭載観測機器の一つである軟 X 線撮像装置 Xtend は、X 線ミラー (XMA) と CCD カメラ (SXI) で構成される。4 枚の素子を 2×2 に配置することで 0.4–13 keV において 38 分角四方の広視野撮像を実現する。フライトモデル (FM) 候補素子は 2019 年 4 月から順次納入され、6–7 月のスクリーニング試験でエネルギー分解能・電荷転送非効率 (CTI)・遮光性能などの指標を用いて、順位の高い 4 素子を FM として選出した (2019 年度秋季年会)。この 4 素子についてキャリブレーションに必要なゲイン・CTI 等の各種パラメータ決定を行うために、我々は 2019 年 8–9 月にかけてさらに FM 地上較正試験を実施した。本試験では各素子に ~ 0.5 keV から ~ 14 keV の単色 X 線を順次照射し、機上で想定している全 window モードでのデータ取得を完了した。2019 年 11 月時点では、取得したデータを元にキャリブレーションデータベースの構築に向けた解析が進行中である。また、この CCD 試験と並行して、SXI ハウジングやビデオボードなど各コンポーネントの製作も進んでいる。これらについても、スケジュールに従いベークアップや性能評価試験を随時実施している。本講演では、個々の試験の結果に加えて全体的な製作・試験の最新状況についても報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V303a XRISM 搭載軟 X 線撮像装置 Xtend のフライト用 CCD 素子の性能評価

金丸善朗, 佐藤仁, 高木駿亨, 寺田裕大, 住田知也, 森浩二 (宮崎大学), 齋藤真梨子, 信川久実子, 山内茂雄 (奈良女子大学), 迫聖, 信川正順 (奈良教育大学), 田中孝明, 内田裕之, 天野雄輝, 尾近洗行, 鶴剛 (京都大学), 花岡真帆, 米山友景, 岡崎貴樹, 朝倉一統, 佐久間翔太郎, 服部兼吾, 石倉彩美, 野田博文, 林田清, 松本浩典 (大阪大学), 富田洋 (ISAS/JAXA), 榎村晶, 中嶋大 (関東学院大学), 卜部夕希乃, 平賀純子 (関西学院大学), 村上弘志 (東北学院大学), 内山秀樹 (静岡大学), 山内誠, 廿日出勇 (宮崎大学), 幸村孝由, 萩野浩一, 小林翔悟 (東京理科大学), 山岡和貴 (名古屋大学), 堂谷忠靖, 尾崎正伸 (ISAS/JAXA), 常深博 (大阪大学) 他 XRISM/Xtend チーム

X 線分光撮像衛星 XRISM に搭載される軟 X 線撮像装置 Xtend は、軟 X 線反射鏡と X 線 CCD カメラの組み合わせによって構成される。0.4–13 keV の帯域において 38 分角平方の広視野を実現するため、X 線 CCD カメラには空乏層厚 200 μm の裏面照射型 P チャンネル CCD 素子を 2×2 のモザイク状に配置する。今回我々は衛星に搭載する 4 つのフライト用素子の X 線応答の定量化を目的として、FM 地上較正試験を実施した。試験では素子の動作クロック、動作温度を変更しつつ、Mn-K α , O-K α , Np-L α 輝線など複数の単色 X 線を長時間照射し、高統計の較正データを取得した。較正データの解析では主に偶数・奇数列毎の出力波高値のゲイン、転送による後続ピクセルへの漏れ電荷量、電荷転送非効率を評価し補正を行う。各補正は基本的にひとみ衛星搭載素子に適用した手法を踏襲するが、電荷転送非効率の補正には新たに転送領域依存性を取り込む。本講演では、この電荷転送非効率を含むフライト用 CCD 素子の評価とその補正結果、および較正後の分光性能について報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V304b XRISM 搭載 Xtend の新しい CTI 補正方法の検討

齋藤真梨子, 信川久実子, 山内茂雄 (奈良女子大学), 信川正順, 迫聖 (奈良教育大学), 金丸善朗, 佐藤仁, 高木駿亨, 森浩二, 山内誠, 廿日出勇 (宮崎大学), 林田清, 野田博文, 松本浩典, 米山友景, 花岡真帆, 岡崎貴樹, 朝倉一統, 佐久間翔太郎, 服部兼吾, 石倉彩美, 常深博 (大阪大学), 富田洋 (ISAS/JAXA), 田中孝明, 内田裕之, 天野雄輝, 尾近洗行, 鶴剛 (京都大学), 榎村晶, 中嶋大 (関東学院大学), 村上弘志 (東北学院大学), 内山秀樹 (静岡大学), 幸村孝由, 萩野浩一, 小林翔悟 (東京理科大学), 山岡和貴 (名古屋大学), 卜部夕希乃, 平賀純子 (関西学院大学), 他 XRISM/Xtend チーム

我々は X 線分光撮像衛星 (XRISM) 搭載軟 X 線撮像装置 Xtend 用に CCD 素子の開発を行なっている。CCD 素子の仕様は、可視光遮断層と電荷転送路へのノッチ導入という改善を行なっているが、基本的に「ひとみ」軟 X 線撮像装置 SXI を踏襲している。Xtend のフライト用 X 線 CCD 素子を使用した地上較正試験を 2019 年 8–9 月に大阪大学で行った。X 線 CCD 素子の性能評価における重要な指標の 1 つは、一回の転送で電荷を失う割合を示す電荷転送非効率 (CTI) である。「ひとみ」SXI では転送速度のみに依存する CTI モデルを用いていたが、full window と 1/8 window のデータを同じパラメータで再現することはできないという問題があり、今回の地上較正試験のデータでも同様であった。そこで、転送速度だけでなく転送領域 (蓄積領域、撮像領域) にも依存するモデルを新たに構築したところ、同じパラメータで full window と 1/8 window の波高値分布を再現することができた。撮像領域は蓄積領域よりも CTI が大きかった。本講演では、解析結果の報告と補正方法の検討を行う。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V305b XRISM 搭載 Xtend の Grade-dependent offset 補正の調査

迫聖, 信川正順 (奈良教育大学), 齋藤真梨子, 信川久美子, 山内茂雄 (奈良女子大学), 佐藤仁, 金丸善朗, 高木駿亨, 西岡祐介, 森浩二 (宮崎大学), 林田清 (大阪大学), 富田洋 (ISAS/JAXA), 尾近洗行, 天野雄輝, 田中孝明, 内田裕之, 鶴剛 (京都大学), 樫村晶, 中嶋大 (関東学院大学), 米山友景, 岡崎貴樹, 朝倉一統, 花岡真帆, 服部兼吾, 佐久間翔太郎, 野田博文, 松本浩典, 常深博 (大阪大学), 村上弘志 (東北学院大学), 内山秀樹 (静岡大学), 山内誠, 廿日出勇 (宮崎大学), 幸村孝由, 萩野浩一, 小林翔悟 (東京理科大学), 山岡和貴 (名古屋大学), 卜部夕希乃, 平賀純子 (関西学院大学), 尾崎正伸, 堂谷忠靖 (ISAS/JAXA) 他 XRISM/Xtend チーム

X 線分光撮像衛星 (XRISM) に搭載する軟 X 線撮像装置 (Xtend) の X 線 CCD 素子の仕様、およびエネルギー較正方法は「ひとみ」の軟 X 線撮像装置 (SXI) のものを踏襲している。「ひとみ」SXI では電荷転送過程で損失した電荷量を補正した後で、X 線 Grade に関連したゲインの違いが見られた。1 ピクセルに収まる Grade0 イベントに対して、2 ピクセル以上にまたがる Grade2, 3, 4, 6 では $\sim +10-20$ eV 相当 ($E = 6$ keV の X 線に対して) の違いがあった。そこで、Grade-dependent offset を定義し、その補正を行っていた。本年 8-9 月に Xtend フライト用 X 線 CCD 素子の較正試験を大阪大学で実施した。そのデータを用いて、従来の電荷転送損失の較正をしたところ、「ひとみ」SXI と同様の Grade 間のゲインの違いがあることを確認した。本講演では Grade-dependent offset の補正方法とその結果の報告を行う。また物理的な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](#)

V306b XRISM 搭載 Xtend の応答関数の調査

花岡真帆, 野田博文, 米山友景, 林田清, 岡崎貴樹, 朝倉一統, 佐久間翔太郎, 石倉彩美, 服部兼吾, 松本浩典 (大阪大学), 金丸善朗, 佐藤仁, 高木駿亨, 森浩二 (宮崎大学), 齋藤真梨子, 信川久美子 (奈良女子大学), 迫聖, 信川正順 (奈良教育大学), 天野雄輝, 尾近洗行, 田中孝明, 内田裕之, 鶴剛 (京都大学), 樫村晶, 中嶋大 (関東学院大学), 富田洋 (ISAS/JAXA), 卜部夕希乃, 平賀純子 (関西学院大学), 村上弘志 (東北学院大学), 内山秀樹 (静岡大学), 小林翔悟, 萩野浩一, 幸村孝由 (東京理科大学), 山内誠, 廿日出勇 (宮崎大学), 山岡和貴 (名古屋大学), 尾崎正伸, 堂谷忠靖 (ISAS/JAXA), 常深博 (大阪大学) 他 XRISM/Xtend チーム

我々は 2021 年度打ち上げ予定の X 線分光撮像衛星 (XRISM) に搭載する軟 X 線撮像検出器 (SXI) の開発を行っている。SXI は軟 X 線望遠鏡 (XMA) との組み合わせにより、38 分角の広い視野で、0.4-13keV のエネルギー帯域を撮像分光する。天体からやってくる X 線スペクトルを CCD で観測した場合、得られる波高スペクトルは検出器固有の応答を畳み込んだものになる。この応答を記述したものが応答関数であり、SXI の応答関数は、光子が CCD に入射し空乏層で反応を起こして検出される確率である量子効率、入射 X 線光子のエネルギーと信号波高値の関係であるエネルギースケール、単色の X 線を検出した際に得られるスペクトルの形状であるラインプロファイルの 3 つで構成される。2019 年 8-9 月に Xtend フライト用素子の X 線応答を評価するために大阪大学で行った地上較正試験で取得したデータを用いて、ラインプロファイルの形状を再現する関数の構築を行った。本講演ではその現状を報告する。

[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](#)

V307a X線分光撮像衛星 XRISM 搭載 CCD 検出器のためのパイルアップの分析と補正アルゴリズムの開発

丹波翼, 小高裕和, 馬場彩 (東京大学), 村上弘志 (東北学院大学), 森浩二 (宮崎大学), 林田清 (大阪大学), 他 XRISM MOPT グループ

「パイルアップ」とは、撮像型検出器に多量の光子が入射した際に、撮像領域が重なり合うことでイベント抽出に誤りをきたす現象である。2021 年度打ち上げ予定の XRISM 衛星に搭載される CCD 検出器 Xtend-SXI でもそれは例外ではなく、 ~ 10 mCrab 以上の明るい天体を観測する際には、スペクトルのハードニングやグレード分岐比の変化によって、観測結果にバイアスがかかってしまう。そのため、パイルアップは大きな問題となっているが、現在のところ有効な補正手段は確立されていない。こうした現象は、天体のフラックスに対して非線形な応答を示すため、解析的なアプローチが難しく、シミュレーションを用いたアプローチが有効と考えられる。

我々は、モンテカルロシミュレーションを用いて、望遠鏡による集光から機上のイベント処理に至る X 線衛星の観測の全過程を再現し、任意の天体スペクトルに対して観測スペクトルを出力するシミュレータを構築した。これを「すぎく」XIS の観測データに適用し、表面照射型 (FI) と裏面照射型 (BI) の両者について、全体のスペクトルだけでなく、single pixel event や double pixel event のスペクトルも 1–10 keV で 20% 以内のずれという高い精度で再現した。また、「スペクトルのハードニング」、「single pixel event の減少」というパイルアップが引き起こすバイアスについて、実際の観測データと誤差の範囲で定量的に一致し、パイルアップ度合いについても正しく評価することができた。さらに、非線形フィッティングを用いて、パイルアップしたスペクトルからもとの天体のスペクトルを推測する補正アルゴリズム開発にも取り組んでおり、本講演ではその報告も行う。

[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](#)

V308a X線分光撮像衛星 XRISM 搭載 Resolve の開発の現状 V

Y. Ishisaki^{A,I}, R.L. Kelley^B, H. Akamatsu^C, H. Awaki^D, T.G. Bialas^B, G.V. Brown^E, M.P. Chiao^B, E. Costantini^C, J.-W. den Herder^C, M.J. Dipirro^B, M.E. Eckart^B, Y. Ezoe^A, C. Ferrigno^F, R. Fujimoto^{G,I}, A. Furuzawa^H, S.M. Graham^B, M. Grim^C, T. Hayashi^B, T. Horiuchi^I, A. Hoshino^B, Y. Ichinohe^K, R. Iizuka^I, K. Ishibashi^J, M. Ishida^I, K. Ishikawa^I, C.A. Kilbourne^B, S. Kitamoto^K, M.A. Leutenegger^B, Y. Maeda^I, D. McCammon^L, I. Mitsuishi^J, H. Mori^B, T. Ohashi^A, T. Okajima^B, S. Paltani^F, F.S. Porter^B, K. Sato^O, M. Sawada^B, H. Seta^A, Y. Shibano^I, P.J. Shirron^B, G.A. Sneiderman^B, Y. Soong^B, A.E. Szymkowiak^P, Y. Takei^I, T. Tamagawa^M, M. Tsujimoto^I, Y. Uchida^O, C.P. de Vries^C, S. Yamada^A, N.Y. Yamasaki^I, S. Yasuda^I, N. Yoshioka^I (首都大^A, NASA^B, SRON^C, 愛媛大^D, LLNL^E, U-Geneva^F, 金沢大^G, 藤田保健衛生大^H, JAXA^I, 名古屋大^J, 立教大^K, U-Wisconsin^L, RIKEN^M, 東北大^N, 埼玉大^O, Yale-U^P)

X 線分光撮像衛星 XRISM (X-Ray Imaging and Spectroscopy Mission) に搭載される *Resolve* は、50 mK の極低温で動作する 6×6 のマイクロカロリメータと焦点距離 5.6 m の多重薄板 X 線望遠鏡から成り、日米欧で開発を進めている。NASA 担当のマイクロカロリメータ、断熱消磁冷凍機、制御エレキ、X 線望遠鏡については 2017 年より FM 製作を開始、FM センサ単体での評価においては「ひとみ」と同等の性能が得られている。日本が担当する液体 He デュワについて FM センサと断熱消磁冷凍機を組み込む準備が完了し、2019 年 11 月より組み込みを開始した。12 月にセンサを組み込んだ状態で性能を確認し、1-2 月に遮光/断熱フィルタや断熱フィルムを組み込んでデュワ内部は最終のフライト状態となる予定である。この講演では *Resolve* の開発の現状を報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V309a X線撮像分光衛星 XRISM 搭載 *Resolve* 用ゲートバルブの X 線透過率測定

御堂岡拓哉, 海老沢研, 富永愛侑, (東京大学, ISAS/JAXA), 辻本匡弘, 前田良知, 石田学 (ISAS/JAXA), 北本俊二 (立教大学), 中庭望 (首都大学東京), 早川慎二郎 (広島大学)

X線撮像分光衛星 XRISM に搭載される *Resolve* は、50mK の極低温環境下で動作する 6×6 ピクセルの X 線マイクロカロリメータを液体ヘリウムを満たしたデュワー内に内蔵する。デュワーの X 線入射部には、地上での真空保持と打ち上げ後初期の衛星内アウトガスの影響を避けるために約 3cm 径のゲートバルブが設置される。ゲートバルブ入射部は厚さ約 $300\mu\text{m}$ の Be 窓とステンレスメッシュの 2 つの部品から構成される。XRISM 打ち上げ後 3ヶ月ほど行われる初期観測のデータは全てゲートバルブを通して得られるため、これらのデータから科学成果を得るにはその X 線透過率を精密に測定しておく必要がある。

我々は宇宙科学研究所 X 線ビームラインにてステンレスメッシュの測定を、KEK フォトンファクトリーと広島大学放射光科学研究センターの 2 つの放射光施設にて Be 窓の測定を実施した。また、透過率測定データを基に各部品の 1.8–25.0 keV のエネルギー帯における透過率モデルを構築した。メッシュにおいては、構成元素である Fe, Ni, Cr の光電吸収と非弾性散乱をモデル化した。また、Be 窓においては (1) Be の光電吸収と非弾性散乱の効果, (2) 微小元素 (Cr, Mn, Fe, Ni, Cu) の光電吸収と非弾性散乱の効果, (3) Be 結晶面に応じた Bragg 散乱成分をモデル化した。これらの透過率モデルは XRISM の初期観測データ解析に不可欠であり、キャリブレーションデータベースで公開する予定である。本講演ではゲートバルブの各要素の透過率測定とモデリング結果について報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V310a X線衛星 *Chandra* 搭載半導体検出器 ACIS の粒子バックグラウンドスペクトルの時間・空間変動のモデリング

鈴木寛大 (東大理), Paul, P. Plucinsky, Terrance Gaetz (CfA), 馬場彩 (東大理)

宇宙線を起源とする粒子バックグラウンドは、X 線観測のバックグラウンドの主要因である。*Chandra* 衛星搭載の X 線撮像分光器 ACIS (Advanced CCD Imaging Spectrometer) の粒子バックグラウンドは、平均的なスペクトルとその検出器上でのおおよその空間変動が報告されているものの (Bartalucci et al. 2014)、太陽活動に伴う時間変動や観測モード (FAINT, VFAINT mode) ごとのスペクトルが明らかでなく、各観測に対して適切なスペクトルモデルを当てはめることができない。

そこで本研究は、~17 年分の *Chandra* ACIS の観測データを使い、粒子バックグラウンドのスペクトルの時間・空間変動を徹底的に理解し、適切なモデルを導くことを目的とした。使用したデータは 2002 年から 2016 年の期間に ACIS を焦点面からずらして運用した純粋な粒子バックグラウンド観測と、1999 年から 2016 年間の明るい点源がない座標の観測 (*Chandra* Deep Field-South)、合わせて ~8 Msec 分である。FAINT, VFAINT mode とともにスペクトルは主に複数の指数関数、べき関数で近似できる連続成分と、Al, Si, Ni, Au の輝線成分をもつことが分かった。強度の時間変動は太陽活動の強さと負の相関を示し、スペクトルの形も <7 keV の帯域で $< \sim \pm 10\%$ の変動を示した。スペクトルの検出器上での空間変動は主に CHIPY 方向に見られ、主要因は電荷転送非効率の補正による輝線の一部の中心エネルギーの変化だった。我々は各 CCD chip のスペクトルに対し、 <7 keV の連続成分に変動を加えることで時間変動を、CHIPY 方向に 32 領域に分けてそれぞれ独立のモデルを与えることで空間変動をモデリングした。最後に、モデリングをいくつか実際の観測に適用して再現性を確かめた。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V311b 飛翔体搭載用高性能電鍍 X 線反射鏡支持機構の開発

瀧川歩, 竹原佑亮, 三石郁之, 叶哲生, 立花健二 (名古屋大学)

宇宙から飛来する X 線は大気により吸収されてしまうため、気球・ロケット・人工衛星などの飛翔体による観測が必須となる。また近年の飛翔体には、大幅な観測感度の向上を目的とし、集光・結像系の搭載がスタンダードとなってきている。飛翔体搭載用 X 線望遠鏡には限られた寿命の中でより多くの光子をとらえることが求められるため、多数の反射鏡を同心円状に並べるなどし、大きな有効面積を実現する。しかしながらこれら複数の反射鏡による配置誤差は無視できず、反射鏡単体の角度分解能を保持しつつ、大きな有効面積を実現するには、並進・回転方向を精度良く合わせるための支持機構が必要となる。

我々は現在、地上 X 線結像系開発で構築した独自の超高精度電鍍技術を用いて、高角度分解能かつ大有効面積を併せ持つ次世代 X 線望遠鏡用の反射鏡開発を進めている (竹原他 日本天文学会 2019 年秋季年会)。この実現には、高角度分解能反射鏡はもちろん、高精度反射鏡支持機構の開発も同時に必要となる。例えば我々が開発中の反射鏡は、焦点距離が 2 m であり、目標の角度分解能は 10 秒角以下である。この目標を達成するためには、反射鏡配置精度として 100 μm 以下が求められる。現在検討中の反射鏡配置方法は、レーザー変位計を用いて、基準円筒と反射鏡間の距離を測定し、基準円筒と反射鏡の機械軸を合わせるという方法であり、固定方法は接着剤を用いて固着するという方法である。すでに支持機構の一部を試作しており、反射鏡配置方法や固定方法の検討を進めている。本発表では、試作品を評価した結果も含め、開発の現状について発表する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V312b 微小ピクセル CMOS センサー動作ボードと X 線イベント検出・バックグラウンド除去のアルゴリズム開発

佐久間翔太郎, 林田清, 朝倉一統, 石倉彩美, 米山友景, 岡崎貴樹, 野田博文, 松本浩典 (阪大)、小高裕和 (東大)、

我々は、回折格子とピクセル検出器の構成で、タルボ干渉効果を利用する新たな原理の X 線撮像システム MIXIM を開発している。MIXIM には、高い位置分解能をもち、かつ、X 線エネルギー測定可能な検出器が必須であるが、既存の X 線用検出器ではピクセルサイズが 25 μm 以上と大きすぎる。そこで、可視光用にデザインされたピクセルサイズ 2.5 μm 、ピクセル数 25M の CMOS 素子 (Gpixel 社 GMAX0505) を導入し、X 線検出に利用している (Asakura et al., 2019 など)。これまでの実験では素子メーカ提供の評価ボードを使用してきたが、衛星搭載不可能であるばかりか、データ転送速度及び連続撮像枚数の点で、地上実験での利便性にも問題があった。そこで、我々は、シマフジ電機他で開発された ZDAQ-SoC ボードをベースに、GMAX0505 を動作させる読み出しシステムの開発をスタートした。最終的には、この読み出しシステムで、ダークレベルの推定、差し引き、X 線イベント検出まで行うことを目標としている。本講演では、読み出しシステムのハードウェアデザインの概要の紹介と、ダークレベル差し引きと X 線イベント検出のアルゴリズムの最適化に関して説明する。

MIXIM は集光系を用いないため、荷電粒子バックグラウンドの除去性能が X 線天体の検出感度に効いてくる。微小ピクセル可視光用 CMOS 素子の荷電粒子に対する応答調査の出発点として、ベータ線源 ^{207}Bi を用いた照射実験を行った。原理的には、ピクセルサイズが小さいほど、荷電粒子除去性能がよくなることが期待される。この点を検証する。

[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](#)

V313b 探査機搭載を目指した超小型 X 線蛍光分析 3D 撮像システムの開発

石倉彩美, 林田清, 朝倉一統, 佐久間翔太郎, 米山友景, 岡崎貴樹, 野田博文, 松本浩典 (阪大)

非破壊元素分析のための蛍光 X 線分析を試料の場所ごとに行うためには、一般には、X 線ビームを試料上でスキャンするタイプの大型装置が使用される。我々は、X 線マスクと X 線分光撮像器を組み合わせ、元素ごとの X 線画像を撮影する超小型のシステムを開発している。X 線分光撮像器としては、可視光用にデザインされた CMOS ピクセル検出器を X 線検出に流用している。具体的には、Gpixel 社の GMAX0505 で、ピクセルサイズ $2.5\mu\text{m}$ 、ピクセル数 25M の仕様で、常温動作で 5.9keV の X 線をエネルギー分解能 176eV FWHM で検出できることを実証している (Asakura et al. JATIS, 2019 など)。常温動作が可能である点は、サイズと電力の面でも、地上での基礎実験の簡便さでも大きなメリットになっている。Amptek 社の超小型 X 線発生装置 miniX を用いて試料に X 線を照射し、X 線マスクを通して CMOS ピクセル検出器で撮影。X 線イベントごとの位置とエネルギーを測定し、元素ごとの X 線イメージを作成する。第一段階の実験としては、X 線マスクとして単一のピンホールを用いて、複数の種類の金属板から構成される試料に照射した (縮小率は約 1/5)。Fe、Cu の K 殻輝線が明確に分離することに成功し、試料面で 1mm 程度の位置分解能があることを実証した。続いて、X 線マスクとしてコード化マスクを使用し、位置分解能と効率を両立する構成にして、照射実験を行っている。コード化マスクは、一般に、無限遠の天体を対象にしているが、我々は、近距離にある大きさを持った試料 (岩石など) からの蛍光 X 線を任意の距離にピントをあわせた (つまり 3D) 画像として取得するアイデアを実現しようとしている。本発表では、マスク (ピンホール及びコード化パターン) と CMOS 検出器を用いた X 線照射実験の結果を中心に、可視光を用いたコード化マスクの原理実証実験も含めて、紹介する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V314a ダークバリオン探査ミッション Super DIOS の開発へ向けた検討 V

佐藤浩介, 内田悠介 (埼玉大)、大橋隆哉、石崎欣尚、江副祐一郎、山田真也 (首都大)、山崎典子、中島裕貴、満田和久、石田学、前田良知 (ISAS/JAXA)、三石郁之、田原譲 (名古屋大)、藤本龍一 (金沢大)、鶴剛 (京大)、太田直美 (奈良女子大)、大里健 (IAP)、中島真也 (理研)、藤田裕 (大阪大)、永井大輔 (Yale 大)、吉川耕司 (筑波大)、河合誠之 (東工大)、松下恭子 (東京理科大)、一戸悠人 (立教大)

X 線マイクロカロリメータを搭載する 2021 年度打ち上げの X 線分光撮像衛星「XRISM」や 2030 年代初頭に稼働予定の欧州の Athena 衛星により、エネルギー空間での高分光能力と空間的な高分解撮像が可能となるが、宇宙の大規模構造と構造形成を解き明かすためには、空の広い領域をサーベイ観測し、ダークバリオンの定量的観測が必要である。広視野、高エネルギー分光、高空間分解能力を持つ Super DIOS 計画は、銀河や銀河団周辺に広がる構造から宇宙の大規模構造にそって広がるダークバリオンまでをサーベイ観測し、銀河、銀河団の力学的な成長の過程や宇宙の大規模構造の形成の解明に大きなインパクトを与えることができる。

我々は宇宙論的シミュレーションデータベース「Illustris-TNG」を用いてサイエンス検討を行っており、Super DIOS 搭載機器に対する感度要求の検討や観測戦略の立案までを視野に入れている。並行して観測器系の技術検討や開発を行っており、名古屋大学が広視野かつ高空間撮像能力を実現する X 線望遠鏡の開発をリードし、多画素 TES マイクロカロリメータを用いたマイクロ波多重 SQUID 読み出し技術の共同開発を JAXA/首都大/埼玉大/産総研で進めている。また、海外との研究協力の検討も行っている。本講演では、Super DIOS のサイエンス検討、及びハードウェア開発の進捗状況とともに、今後の海外協力体制についての議論も報告する。

[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](#)

V315a 電鍍技術を用いた飛翔体搭載用高角度分解能多重薄板型 X 線望遠鏡の開発 (2)

竹原佑亮, 瀧川歩, 叶哲生, 立花健二 (名古屋大学), 田村啓輔 (NASA/GSFC, メリーランド大学), 山口豪太, 竹尾陽子 (東京大学), 久米健大, 松澤雄介, 齋藤貴宏, 平栗健太郎, 橋爪寛和 (株式会社夏目光学), 三村秀和 (東京大学), 三石郁之 (名古屋大学)

宇宙 X 線望遠鏡にはこれまで、高角度分解能実現のため数枚の分厚い (≥ 1 cm) 反射鏡を磨く直接研磨型や、大有効面積実現のため薄い ($\lesssim 1$ mm) 反射鏡を同心円状に十から二百枚程度積層した多重薄板型が多く採用されてきた。

その中で我々は電鍍技術に着目し、秒角の高角度分解能多重薄板型 X 線望遠鏡の実現を目指し、地上小型光学系で構築した超高精度電鍍技術を用いた反射鏡の製作と、本反射鏡に特化した反射鏡配置機構の開発 (瀧川他 本年会) を進めている。これまで $\phi 10$ mm サンプルの製作工程を $\phi 60$ mm 口径に応用し試作した円筒サンプルに対し、周方向形状誤差 $\text{rms} \lesssim 1 \mu\text{m}$, $\text{PV} \lesssim 4 \mu\text{m}$ を達成し、本サイズにおいても本手法世界最高精度の実現に成功した。この結果、周方向形状誤差は目標である ~ 1 秒角を満たした (竹原他日本天文学会 2019 年秋季年会)。次に、より結像系に近い $\phi 60$ mm 円錐サンプルを試作し、その母型と反射鏡の特に母線方向の形状誤差を評価した。結果、母線方向形状誤差の典型値は各々 $\text{rms} \sim 0.3 / 0.4 \mu\text{m}$, $\text{PV} \sim 0.9 / 1.1 \mu\text{m}$ 程度となり、焦点距離 2 m を仮定し想定される結像性能 (HPD) は 3 mm スケールの移動平均を取ると ~ 40 秒角程度であった。反射鏡の形状誤差の方が母型より大きいと、電鍍工程のさらなる条件だしを進める。本講演では形状誤差の場所依存性などの詳細な結果、および X 線による結像性能及び光学的表面粗さの見積もり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](#)

V316a X 線偏光観測衛星 IXPE への参加現状 (5)

玉川 徹, 北口貴雄, 榎戸輝揚 (理研), 内山慶祐 (理科大/理研), 三石郁之, 田原謙, 清水貞行, 山口友洋 (名古屋大), 郡司修一, 齋藤 耀 (山形大), 深沢泰司, 水野恒史, 高橋弘充, 内田和海, 山本龍哉 (広島大), 岩切 涉 (中央大), 林田 清, 朝倉一統 (大阪大), Martin Weisskopf, Brian Ramsey, Stephen O'Dell (NASA/MSFC), Paolo Soffitta (IAPS/Rome), Luca Baldini (INFN/Pisa) ほか IXPE 衛星チーム

X 線偏光観測は、高エネルギー天体の幾何構造や磁場を探るすぐれた手段として期待されているが、可視光や電波にくらべ高感度な偏光計を製作するのが技術的に難しいことや、十分な光子統計が必要なことから、これまでほとんど実施されてこなかった。2017 年 1 月に NASA 小型衛星計画として、NASA マーシャル宇宙飛行センター (NASA/MSFC) がイタリアと共同提案した IXPE (Imaging X-ray Polarimeter Explorer) が採択され、2021 年の打ち上げが決まった。これにより、2–10 keV 帯域の高感度軟 X 線偏光観測が実現することとなった。

IXPE 衛星には日本から国際協力により参加しており、JAXA 小規模プロジェクトの枠組みでハードウェア貢献を進めてきた。名古屋大学が開発・提供する、受動型熱光学素子である X 線望遠鏡サーマルシールドは、フライト品製作が進んでおり、理化学研究所が開発・提供する、X 線偏光計のコア部品であるガス電子増幅フォイル (GEM) は、すでにフライト品の納品が完了した。フライト品 X 線偏光計の製作も終わり、イタリアで全数の較正試験が続けられている。IXPE 衛星計画は、長らく未定だった打ち上げロケットが SpaceX Falcon 9 に決定し、2019 年 7 月に CDR (詳細設計審査) をパスしたことで、打ち上げまでの道筋が整った。本講演では、IXPE 衛星計画の現状、ハードウェア準備・試験状況、観測天体検討状況等について報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V317a X 線偏光観測衛星 IXPE 搭載 X 線望遠鏡用受動型熱制御素子サーマルシールドの開発 (6)

山口友洋, 清水貞行, 竹原佑亮, 瀧川歩, 三石郁之, 田原譲, 大西崇文, 立花一志, 宮田喜久子 (名古屋大学), 田村啓輔 (NASA/GSFC, UMBC), 玉川徹 (理研), 立花正満, 村島健介 (株式会社カネカ)

NASA/MSFC が主導する X 線偏光観測衛星 IXPE は、2021 年に打ち上げが予定されている。我々は IXPE 搭載 X 線望遠鏡の軌道上での温度環境維持のため、あすか、すざく、ひとみ衛星と同タイプの受動型熱制御素子であるサーマルシールドを開発している。サーマルシールドの実体は、シールド本体のアルミ薄膜付きプラスチックフィルム、フィルムを支持するための金属メッシュおよび機械強度部材である金属枠からなる。IXPE ではその観測エネルギー帯や打ち上げ時の空力加熱等を考慮し、初の国内産ポリイミドフィルムを使用する。これまで我々はエンジニアリングモデル (EM) の設計・製作・評価工程の確立までを終え、2018 年 5 月に NASA/MSFC に納品した (三石他, 二村他, 日本天文学会 2017 年秋季年会, 2018 年春・秋季年会)。

フライトモデル (FM) では、EM よりも音響振動耐性を向上させるため、金属メッシュの動径方向の梁の本数を増やし、周方向の梁も新たに追加した。新デザインに対し音響試験を行い、認定試験レベルに相当する 132 dB に対して、126 dB を 60 秒、129 dB を 60 秒、132 dB を 75 秒加音した。その結果、金属メッシュの破損やフィルムとメッシュの剥離などは見られなかった。また原子状酸素への耐性評価の追加検証も行った。 10^{21} atoms cm^{-2} のフラックスではフィルムが侵食されることで生じる熱光学特性の劣化やピンホール面積の有意な増加は見られなかったが (清水他, 三石他, 日本天文学会 2019 年春・秋季年会)、今回さらに照射量を増やして検証を行った結果を報告する。本講演では FM 品の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](#)

V318a シミュレーションを用いた IXPE 衛星による広がった天体の X 線偏光解析手法の研究

山本龍哉, 水野恒史, 深沢泰司, 高橋弘充, 内田和海 (広島大), 玉川徹, 北口貴雄, 榎戸輝揚 (理研), 三石郁之, 清水貞行, 田原譲, 山口友洋 (名古屋大), 郡司修一, 斎藤耀 (山形大), 林田清, 朝倉一統 (大阪大), 内山慶祐 (東理大), 岩切渉 (中央大), 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

IXPE 衛星は、2021 年 4 月に打ち上げが予定されている初の撮像型 X 線偏光観測衛星であり、2-8 keV に感度を持つ。NASA の MSFC と ASI が主導となり、国際協力で行われるミッションである。我々日本のチームは、ハードウェアの鍵となる部分の提供だけでなく、観測天体の検討などサイエンスの面でも貢献している。打ち上げ前には、観測計画を立て、偏光の解析手法のノウハウを確立する必要があり、ixpeobssim と呼ばれるシミュレーションソフトウェアでそれを行う。ixpeobssim は観測天体のフラックス、エネルギー分布、座標、空間分布や偏光情報をあらかじめ設定でき、予想される装置の応答を考慮しながら観測シミュレーションを行える。また、出力の解析の際には、イメージング能力を活用するために、ストークスパラメータを導入して解析を行う。ストークスパラメータは加算的であり、任意の範囲で Q, U の値を求めることで、広がった天体を空間分解して解析できる。この手法をテストし、IXPE の性能を評価するために、明るく、X 線ガンマ線で偏光観測例があり、偏光モデルを立て易い、かに星雲を想定した出力へ適用した。次に、かに星雲よりも暗く、偏光の形状がより複雑であると考えられる他のいくつかの超新星残骸に対して、この手法がどれだけ有効か検討した。本講演ではこれらの報告し、議論を行う。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V319a CMOS イメージセンサを用いた硬 X 線撮像偏光計の開発 II

島内康輔, 會澤優輝, 春日知明, 丹波翼, 高嶋聡, 鈴木寛大, 小高裕和, 馬場彩 (東大), 周圓輝 (理科大/理研), 玉川徹 (理研), 長澤俊作, 峰海里, 高橋忠幸 (東大 Kavli IPMU), 成影典之 (国立天文台), 佐久間翔太郎, 朝倉一統, 林田清 (阪大)

X 線帯域以上の偏光観測は宇宙観測における未開拓領域である。偏光はこれまで実現している観測手段とは独立の情報をもたらす、それは磁場構造や散乱体の幾何構造、ブラックホール周辺の時空構造などを反映する。8 keV 以下の軟 X 線偏光は IXPE 衛星 (2021 年) で観測予定であり、30 keV 以上の硬 X 線では PoGO+ 等のミッションで近年成果が報告されてきた (Chauvin et al., 2017)。しかし 1030 keV の帯域は、非熱的放射が卓越すること、光子フラックスが十分に多いことから、偏光観測の重要性は非常に高いにもかかわらず、技術的な困難が大きく、効果的な観測手段の確立が急務となっている。

我々は 1030 keV の偏光撮像を狙って、半導体撮像検出器を用いた偏光計を開発している。検出器内での光電吸収に伴う光電子の放出方向と到来光子の偏光角に相関があることを用いて偏光測定を行う。光電子の追跡には微小なピクセルサイズが要求されるため、我々は $2.5 \mu\text{m}$ のピクセルピッチを持つ CMOS イメージセンサを用いた (小高 19 秋)。この検出器の偏光測定能力を SPring-8 のシンクロトロン放射光によって評価した。10, 16, 24 keV のエネルギーで、モジュレーションファクターがそれぞれ 4, 12, 16 % であり、この結果は先行実験 (Asakura et al., 2019) と整合しており、より低エネルギー帯域でも偏光感度があることを示した。また、CubeSat などに搭載可能な超小型の撮像偏光計の実現例を示す。さらに、Zynq SoC を用いたデータ処理系の開発状況についても報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V320a 湾曲 Si 結晶を用いたブラッグ反射型偏光計の偏光性能評価

芳野史弥, 塚田晃大, 坪井陽子, 岩切涉 (中央大学), 前田良知 (宇宙科学研究所),

天体からの軟 X 線偏光の有意な検出は、70 年代の OSO-8 衛星によるかに星雲の観測以降は成功しておらず、未開拓領域として残されており、偏光測定によるブラックホール近傍の幾何構造の解明等が期待されている。我々は、鉄の蛍光 X 線 (6.4 keV) に着目し、5.5 - 8.0 keV 帯域の、X 線偏光を高いエネルギー分解能 (~ 10 eV) で測定できるよう、ブラッグ反射の原理を利用した Si(100) 結晶と炭素繊維強化プラスチック (CFRP) から成る反射鏡を考案し、開発を行っている。ブラッグ反射は、結晶に 45 度で入射した X 線の偏光面と結晶の反射面が平行な場合 100 % 反射し、垂直な場合反射しない。我々の反射鏡は、9 枚の結晶を結晶面の角度を変化させながら回転放物面形状に配置している。偏光 X 線は反射鏡に入射した位置によって結晶面と偏光面のなす角が変わり、異なる反射率で反射するので、反射 X 線のカウント数の最大値と最小値から X 線の偏光度を測定することができる。今回我々は回転放物面形状の反射鏡の 1 象限を作成し、宇宙科学研究所の標準 X 線ビームラインに二結晶分光器を用いてできる、約 80.1% の偏光度を持つ 6.4 keV の偏光 X 線を照射し、偏光性能の評価を行った。反射 X 線のカウント数が最大となる領域付近に照射したため、カウント数の最小値は sin カーブで外挿した。その結果、検出器の偏光性能の指標であるモジュレーションファクターは 89.9% 以上と得られた。また、偏光面を回転させることが出来る二結晶分光器を搭載したビームラインを所有している中央大学でも同様の実験を行った。本講演では、2 つの実験から得られた結果について報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V321a 炭素繊維強化プラスチック (CFRP) への X 線反射面形成法の開発 IV

粟木久光, 大上千智, 相田望, 亀谷紀香 (愛媛大学), 松本浩典 (大阪大学), 三石郁之, 中澤知洋 (名古屋大学), 石田 学, 前田良知, 中庭望 (ISAS/JAXA), 杉田聡司 (青山学院大学)

CFRP(炭素繊維強化プラスチック) は、炭素繊維と樹脂から構成される複合材料であり、その物理特性は望遠鏡の大型化軽量化に適したものである。CFRP は成型性の良さも特徴であり、我々は宇宙観測用望遠鏡の候補として Wolter 1 型形状をもつ CFRP 反射鏡の開発を進めてきた。具体的には、精密加工した金型を準備し、その上にプリプレグシートを積層し、CFRP を成形するというものである。出来上がった CFRP の母線形状誤差は $\sigma \sim 1\mu\text{m}$ に達し、金型の精度の高さと金型を写し取ることでこの精度まで成形可能なことを示すことができている。

前回の年会では、この上に平滑な ($\sigma \sim 0.4\text{ nm}$) 超薄板ガラスを CFRP 基板に貼り付ける方法を報告した。ガラス全面を CFRP 基板に接着することで、CFRP 基板単体と同程度の角度分解能に達することが明らかとなった。ガラスを貼った基板に X 線反射膜 (タングステン) を成膜し、ピエゾを使って位置調整しながらハウジングに納めたところ、形状が大きく変形していた。形状劣化の要因はタングステン成膜時に発生した内部応力、ならびに位置調整がうまく行かなかったことが考えられる。我々は、ピエゾによる位置調整をやめ、CFRP 成形時に使用した精密金型を用いてハウジングへの CFRP 基板の格納を行なった。双曲面側の一部で 20 秒角から 60 秒角への変化はあったものの、この手法は概ね良好であり、CFRP 基板の結像性能、ハウジングに固定した直後、X 線反射面を形成した後の結像性能は、各段それぞれ 20~40 秒角程度であった。12 月中頃に X 線を用いた評価試験を実施する予定であり、本講演では反射面形成に至る手順ならびに X 線での評価結果について報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V322a 超薄膜グラフェンを用いた飛翔体搭載用軟 X 線光学素子の開発 (2)

三石郁之, 中山恵理子, 田原譲, 堀田貴都, 北浦良 (名古屋大学), Pablo Solís-Fernández, 河原憲治, 吾郷浩樹 (九州大学)

薄膜を用いた光学素子は、宇宙分野でも特に軟 X 線を対象とする飛翔体において、熱制御、可視光防護、汚染物質防護目的のために利用されている。具体的には、反射鏡の熱歪みによる性能劣化、太陽光からの強烈な可視光による検出器ノイズの増加、アウトガスによる観測効率の劣化を防ぐことなどが目的として挙げられる。薄膜光学素子の実体は、アルミが成膜されている数百ナノからミクロン厚程度の薄膜フィルムと支持材としての金属メッシュ、さらに機械強度部材としての金属フレームである。この薄膜光学素子には各飛翔体で要求される打ち上げ・軌道上環境耐性はもちろん、観測効率の向上を目指した高い X 線透過率が求められる。

そこで我々は原子 1 個分の薄さ ($\sim 3\text{Å}$ 厚) にも関わらず耐熱性・機械強度に非常に優れたグラフェンに着目し、極端紫外から軟 X 線帯域において、超高透過率 ($>95\% @ 10\text{--}1000\text{ eV}$) を実現しうる超薄膜光学素子の開発に着手した。これまで我々は転写工程の確立や緻密なアルミ成膜に成功している (中山他 日本天文学会 2019 年秋季年会)。次に、直径 $10\ \mu\text{m}$ のフリースタANDINGアルミ成膜済み多層グラフェンに対し、静加圧試験にてその機械強度を評価した。結果、 $0.3\text{--}0.5\text{ atm}$ 程度で基板からグラフェンの一部が剥離したにも関わらず、多くのグラフェンは破れずに 1.2 atm もの差圧に耐えることを実証した。さらに単層・多層グラフェンに対し、原子状酸素の照射試験を実施したところ、 $3 \times 10^{19}\text{ atoms / cm}^2$ のフラックスではほとんど全てのグラフェンが侵食されてしまうことが分かった。本講演では音響試験や X 線透過率測定の結果、および地上への応用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](#)

V323a 多重像 X 線干渉計 MIXIM の開発 – サブサブ秒角 X 線撮像の達成 –

朝倉一統, 林田清, 花坂剛史, 川端智樹, 米山友景, 野田博文, 佐久間翔太郎, 岡崎貴樹, 石倉彩美, 花岡真帆, 井出峻太郎, 服部兼吾, 松本浩典, 常深博 (大阪大), 粟木久光 (愛媛大), 中嶋大 (関東学院大), 平賀純子 (関西学院大)

我々は格子と微小ピクセル CMOS 検出器からなる新しい X 線撮像システム、多重像 X 線干渉計 (MIXIM: Multi Image X-ray Interferometer Module) を発案し、その開発を進めている (Hayashida+2016, 2018)。MIXIM の角度分解能は格子・検出器間の距離に反比例しており、距離を伸ばすことで原理上従来の X 線天文衛星の角度分解能を大きく上回ることができる。2019a 年会では 2018 年 12 月に実施した放射光施設 SPring-8 BL20B2 での実験結果を報告した。この実験で我々はピッチ 9.6 μm 、開口率 0.2 の格子とピクセルサイズ 2.5 μm 角の CMOS 検出器を用いて 12.4 keV 単色 X 線ビームを観測し、格子・検出器間を 3.68 m にすることで、像幅 0.26 秒角での像の検出に成功した (花坂剛史 2018 年度修士論文)。ただし、この段階では 1 次元格子での実験のため、実験で得られた像も 1 次元であった。

そこで、X 線撮像の 2 次元化、及び更に高い角度分解能を実現するため、我々は 2019 年 7 月に同じく SPring-8 BL20B2 にて 12.4 keV 単色光での撮像実験を行なった。2018 年度と同じ 1 次元格子 2 つを直交させて 2 次元格子に拡張し、格子・検出器間も 867 cm に伸長した。その結果、像幅およそ 0.08 秒角での 2 次元撮像に成功した。水平方向に広がりをもつ BL20B2 の X 線ビーム (0.28 秒角 \times 0.06 秒角) の構造を撮像できていることから、X 線天文学において未踏の領域であるサブサブ秒角の撮像に到達したといえる。

本発表では 2019b 年会の速報に引き続き、この実験の詳細な解析結果、及び今後の展望について報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V324c 硬 X 線偏光観測実験 XL-Calibur 気球の 2021 年フライトへ向けた準備状況

高橋弘充、内田和海、深沢泰司、水野恒史 (広島大学)、北口貴雄、玉川徹 (理化学研究所)、内山慶祐、武田朋志、吉田勇登 (東京理科大学)、林田清、松本浩典、常深博 (大阪大学)、榎戸輝揚 (京都大学)、前田良知、石田学、斎藤芳隆 (宇宙科学研究所)、宮澤拓也 (沖縄科学技術大学院大学)、粟木久光 (愛媛大学)、郡司修一 (山形大学)、Henric Krawczynski, Brian Rauch, Manel Errando (ワシントン大学)、Fabian Kislat (ニューハンプシャー大学)、岡島崇、田村啓輔、David Stuchlik、林多佳由 (NASA)、Mark Pearce、Mozsi Kiss (スウェーデン王立工科大学)、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 線やガンマ線など高エネルギー帯域では、いまだ観測天体は数天体に限られており、我々は日米瑞の国際協力で、XL-Calibur 気球実験を推進している (PI: Henric Krawczynski)。XL-Calibur は、硬 X 線望遠鏡によって天体信号を集光することで、20-80 keV において高感度な偏光観測を実現させる。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。

これまでに、X-Calibur 実験として 2018 年 12 月に南極において 3 日間の科学観測を実施した。次回は日本製の大型 FFAST 望遠鏡を搭載した XL-Calibur 実験を、2021 年にスウェーデンから 1 週間の長期フライトさせる計画である。CZT 検出器の厚みの最適化、シールド部の不感時間の低減などと合わせて、1 桁の感度向上を見込んでいる。これにより、かにパルサーのパルス位相毎の偏光度、ブラックホール連星 Cyg X-1 のコロナ放射からの偏光の初検出を目指す。現在、日本では FFAST 望遠鏡の支持構造の改修を行っており、SPring-8 の放射光を用いて反射鏡の位置調整を行う計画である。本講演では、こうした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](#)

V325c MAXI/GSC 突発天体発見システムの詳細天体画像表示機能の開発

丸山和貴子, 小林 浩平, 根来均 (日大) 他 MAXI チーム

全天 X 線監視装置 MAXI を用いて、2009 年から約 10 年間全天スキャン観測を行い、2019 年 11 月末までに新たな X 線新星を 28 個発見した。突発天体は、Nova Alert システム (Negoro et al. 2016) によりリアルタイムで自動検出されるが、これとは別に MASIV (MAXI All Sky Image Viewer) と呼ばれる全天画像を表示するウェブシステムを用いた監視も行っている。その MASIV により天体が突発天体であるかの判断を迅速かつ容易に行える詳細天体画像表示機能の開発を行った。

本機能では、MASIV の全天画像の任意の領域をクリックすることにより、PostgreSQL を用いたデータベース MAXI-DB から最新のデータを取得し、任意の時間、エネルギー帯域、カメラの詳細画像を得ることができる。その結果、これまで困難であった銀河中心付近の天体の特定や微弱な強度の天体を表示できるようになった。

本システムでは、Ximage または DS9 のウェブブラウザ版の JS9 (<https://js9.si.edu>) を用いて画像を表示する。Ximage 表示形式では、理研の公開データから各天体の強度の情報を取得し、現在活動中の天体 (の位置) が表示される。また、JS9 表示形式では 2–4 keV, 4–10 keV, 10–20 keV の 3 つのエネルギーバンドごとの天体画像を重ね合わせたカラーイメージが表示でき、突発天体のスペクトル情報も得られるようになった。これまでにこのシステムを用いて、2018 年 12 月 1 日に軟 X 線新星 MAXI J1810–222 等を発見した (Negoro, Maruyama et al. ATel #12254; Maruyama et al. ATel #12264)。

本発表では詳細天体画像表示機能のシステム開発の成果と、現在開発中の JS9 のサーバーサイド解析機能を用いたライトカーブやエネルギースペクトルを生成するために Node.js を用いた解析システムについて報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V326a 地球磁気圏 X 線撮像計画 GEO-X (GEOspace X-ray imager) の現状 II

江副祐一郎 (首都大), 船瀬龍 (東大), 永田晴紀 (北海道大), 三好由純 (名古屋大), 笠原慧 (東大), 中嶋大 (関東学院大), 三石郁之 (名古屋大), 石川久美, 上野宗孝, 山崎敦, 長谷川洋, 三田信, 満田和久, 藤本正樹, 川勝康弘, 岩田隆浩 (JAXA 宇宙研), 平賀純子 (関西学院大), 小泉宏之 (東大), 佐原宏典 (首都大), 金森義明 (東北大), 森下浩平 (九州大) ほか GEO-X チーム

GEO-X (GEOspace X-ray imager) は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であり、太陽活動上昇が期待される 2022-25 年頃の打ち上げを目指している。太陽風には酸素や窒素などの多価イオンが含まれ、地球周辺の外圏と衝突して電荷交換反応による X 線を生じる。発光分布は、地球磁気圏の太陽側境界面の構造を反映するため、X 線は目には見えない磁気圏構造を可視化する全く新しい手段になると期待されている (江副 天文月報 2018, Ezoe et al., 2018 JATIS など)。本 X 線放射は月付近から見た場合、 $10^\circ \times 20^\circ$ 程度に大きく広がっていると考えられ、従来の X 線天文衛星よりも遠くから、広視野で俯瞰的に観測する必要がある。そこで我々は本目的に特化した GEO-X 計画を提案し、JAXA 宇宙理学委員会の小規模計画 WG として活動している。

現在、衛星と搭載機器の検討開発が急ピッチで進んでおり、12 U CubeSat 約 25 kg に月付近までの高度に投入するための推進系 約 25 kg を加え、約 50 kg の衛星となる予定である。搭載機器は広がった天体への高感度を実現する、Si 微細加工技術を用いた超軽量望遠鏡と、高速読み出し CMOS センサーを用い、さらに昼地球からの可視光防護のための薄膜フィルタを持つ。現在、望遠鏡は鏡面の平滑・平坦化のための新プロセスを実施し、良好な結果が得られている。CMOS も評価機で CCD 並のエネルギー分解能が得られており、薄膜フィルタの音響試験も実施した。衛星、推進系の開発検討も進んでおり、本講演ではこうし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](#)

V327a 軟X線から硬X線の広帯域を高感度で撮像分光する小型衛星計画 FORCE の現状 (10)

森浩二, 武田彩希 (宮崎), 村上弘志 (東北学院), 寺田幸功 (埼玉), 久保田あや (芝浦工業), 馬場彩, 小高裕和 (東京), 谷津陽一 (東京工業), 幸村孝由, 萩野浩一, 小林翔悟 (東京理科), 内山泰伸 (立教), 北山哲 (東邦), 高橋忠幸 (東大/カブリ IPMU), 石田学, 渡辺伸, 飯塚亮, 山口弘悦 (ISAS/JAXA), 大橋隆哉 (首都大), 中嶋大 (関東学院), 中澤知洋 (名古屋), 古澤彰浩 (藤田保健衛生), 鶴剛, 上田佳宏, 田中孝明, 内田裕之 (京都), 松本浩典, 野田博文, 常深博 (大阪), 伊藤真之 (神戸), 信川正順 (奈良教育), 信川久実子, 太田直美 (奈良女子), 粟木久光, 寺島雄一 (愛媛), 深沢泰司, 水野恒史, 高橋弘充, 大野雅功 (広島), Hornschemeier, A.E., 岡島崇, Zhang, W.W., Williams, B.J. (NASA/GSFC), 他 FORCE WG

我々は 1–80 keV の広帯域 X 線を 10 秒角にせまる空間分解能で撮像分光する小型衛星計画 Focusing On Relativistic universe and Cosmic Evolution (FORCE) を提案している。特に 10 keV 以上の硬 X 線帯域で達成する過去最高の角度分解能により、既存の衛星と比較して 1 桁以上高い硬 X 線感度を達成する。FORCE の科学目的は、宇宙のあらゆる階層において未だ見つかっていない「ミッシングブラックホール」を探査し、それをプローブとすることで宇宙の進化を解明することにある。また、FORCE は迷光を抑えた望遠鏡デザイン、超低バックグラウンドを実現する検出器により、広がった硬 X 線天体にも高い感度を有する。これにより、超新星残骸や銀河団からの非熱的放射・高温成分の検出や空間分布の測定が可能になり、見逃がされていた宇宙の加速現場を捉える。現在我々は、2019 年度末のコンセプト提案にむけて、新しい視点での国際協力の検討とミッションデザインの最適化を進めている。本講演では、それらの現状と、サブシステム開発およびサイエンス検討の進捗を報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V328a SOI 技術を用いた新型 X 線撮像分光器の開発 41: 現在の到達点と今後の開発

鶴剛, 田中孝明, 内田裕之, 佳山一帆, 児玉涼太 (京都大学), 川人祥二, 安富啓太 (静岡大学), 亀濱博紀 (沖縄高専), 新井康夫, 倉知郁生 (KEK), 森浩二, 武田彩希, 西岡祐介, 日田貴熙, 行元雅貴 (宮崎大学), 幸村孝由, 萩野浩一, 林田光揮 (東京理科大)

次世代広帯域 X 線撮像分光 FORCE 衛星に搭載予定の X 線 SOI (Silicon-On-Insulator) ピクセル検出器「XRPIX」の開発の現状と今後の見通しを述べる。SOI ピクセル検出器は SOI 半導体プロセスを応用した日本独自の検出器であり、一体型でありながら厚い空乏層と高速の CMOS 回路を同時に実現可能である。私たちは、X 線 CCD に匹敵する高い撮像分光能力を持った上で、各ピクセルに閾値回路とトリガ出力機能を備えることで、 $10\mu\text{sec}$ よりも高い時間分解能を実現する。今年度は、(1) 軟 X 線のトリガ機能によるイベント駆動読み出しの性能評価、(2) サブピクセルレベルのスペクトル応答の評価、(3) 軌道上放射線に対する TID 効果の評価、(4) DSOI ウェハを用いたイメージングエリアサイズ $21.9\text{mm} \times 13.8\text{mm}$ の素子のプロセス、(5) PDD Ver.2 構造を持つ新型のデバイスのプロセス、(6) XRPIX 素子内蔵の AD 変換回路の開発、(7) 衛星搭載品に向けた検出器トレイ及びフロントエンドの検討、を行った。全体的に素子自身の基本性能は FORCE 衛星の要求を満たすレベルに到達しつつあり、徐々に実際の搭載用素子の開発と、周辺の制御、読み出し、熱機械系の検討へ軸足を移す段階に来たと考えている。講演では以上の開発の現状と今後の見通しを述べる。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

V329a ガンマ線バーストを用いた初期宇宙・極限時空探査計画 HiZ-GUNDAM の進捗

米徳大輔 (金沢大学)、HiZ-GUNDAM ワーキンググループ

HiZ-GUNDAM は、高感度の広視野 X 線撮像検出器による突発天体の発見と、可視光・近赤外線望遠鏡による自動追観測を行なう計画である。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の観測、また重力波と同期した突発天体の観測などブラックホール形成の瞬間の物理を主要課題として掲げている。高エネルギー突発天体を利用して、初期宇宙探査、マルチメッセンジャー天文学、時間領域天文学を強力に推進する計画である。

突発天体を監視する広視野 X 線撮像検出器は、micro pore optics と呼ばれる X 線結像光学系と 2 次元イメージセンサを用いたシステムを検討している。0.4–4.0 keV のエネルギー帯域において、約 1.2 ステラジアン of 広視野を、 10^{-10} erg/cm²/s @ 100 sec の感度で監視する。突発天体が発見した後、300 秒以内に衛星姿勢を変更し、近赤外線望遠鏡で追観測を行なう。望遠鏡の口径は 30 cm で、0.5–2.5 μm の帯域において 4 バンドの同時測光観測を行い、高赤方偏移 GRB の同定や、重力波源の電磁波対応天体としての macronova の観測を行なう。

本講演では、(1) 広視野 X 線モニターの焦点面検出器の開発、(2) 近赤外線望遠鏡の光学系検討、(3) 小型科学衛星標準バスを前提とした姿勢解析の詳細化と、国際レビュー等の計画の進捗について紹介する。

[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](#)

V330a 重力波源 X 線対応天体探査計画 Kanazawa-SAT³ フライトモデルの分光性能評価

澤野達哉, 米徳大輔, 有元誠, 加川保昭, 宮尾耕河, 渡辺彰汰, キムソンヨン, 橘建志 (金沢大学), 三原建弘 (理研), 池田博一 (ISAS/JAXA)

重力波検出器 LIGO-Virgo による連星中性子星衝突合体イベント (BNS イベント) である GW 170817 の観測以降、2019 年 4 月より始まった観測 O3 で電磁波対応天体の観測が期待できる BNS イベントがこれまで数例観測された。しかし検出された BNS イベントの方向決定精度は約 10000 平方度 (90% C.L.) と粗く、電磁波対応天体の同定は困難である。BNS イベントに対して、重力波・電磁波双方の観測で理解を深める重力波天文学の発展には、電磁波で最も時間的に早く輝くガンマ線バーストを広い視野で待ち受け観測し、測定した方向情報を他の望遠鏡グループにいち早くアラートする方法が有効である。

我々は重力波天体の X 線対応天体の検出と、位置・時刻情報の地上速報による重力波天文学への貢献を目指す超小型衛星計画 Kanazawa-SAT³ を進めている。この衛星には 2 つのミッション機器を搭載する。ひとつは 1 次元コーデッドマスクを用い 15 分角の位置決定精度で突発天体を検出する X 線撮像検出器 T-LEX、もうひとつは無機シンチレーターによる広視野ガンマ線検出器 KGD である。今回、T-LEX フライトモデル候補センサーの性能評価を系統的に行い、搭載品とスペアの選別を実施するとともに、地上試験における T-LEX フライトモデルのエネルギー下限値を測定した。また、KGD についてプロトフライトモデルの振動試験を実施し、振動による光学カップリングの劣化が起きていないかを振動前後のスペクトル測定から検証した。本講演では、Kanazawa-SAT³ の科学背景と観測機器のフライトモデルの分光性能評価試験についての結果を報告する。

[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](#)

V331a Cherenkov Telescope Array (CTA) 計画: 全体報告 (17)

野田浩司, 齋藤隆之, 手嶋政廣, 戸谷友則, 吉越貴紀 (東京大学), 吉田龍生 (茨城大学), 井岡邦仁, 窪秀利 (京都大学), 山本常夏 (甲南大学), 田島宏康 (名古屋大学), 他 CTA Consortium

空気シャワーが発する大気チェレンコフ光を用いた超高エネルギーガンマ線検出は、2000 年代に入り、複数の大口径の望遠鏡を用いることでその感度・精度を増し、天体で起きる物理現象を詳しく調べる天文学の一分野として花開いた。その性能を更に高めた次期計画がチェレンコフ望遠鏡アレイ (CTA) 計画である。その感度は現行の MAGIC 望遠鏡などの大気チェレンコフ望遠鏡に比べて約 10 倍、20 GeV から 300 TeV の 4 桁以上のエネルギー帯をカバーし、超高エネルギーガンマ線での発見天体数は現在の約 200 から 1000 程度になると予想されている。これにより、銀河系内の宇宙線起源やパルサーの理解、銀河系外のガンマ線バーストや活動銀河核などでの非熱的放射機構の解明が進むだけでなく、銀河外背景放射や銀河間磁場など宇宙論に関わるパラメータの測定、さらにはダークマター候補粒子の検出やローレンツ不変性の検証などの基礎物理への貢献も期待される。

CTA 北サイトであるスペイン・ラパルマ島の観測所では、1 台目の大口径望遠鏡がすでに建設され、2018 年 12 月に無事にファーストライトを迎えた。その後約 1 年間の試運転期間を経て、2020 年から定常シフト観測が開始されている。今後 2023 年までには、大口径望遠鏡の残り 3 台の建設が終わり、大口径望遠鏡 4 台での観測が始まる計画である。並行して建設される 5-15 台の中口径望遠鏡とともに、2025 年からのフルアレイでの観測を目指している。2020 年中には、CTA 南サイトであるチリ・パラナルでのインフラ整備・建設が始まり、小口径望遠鏡を含めた、CTA 南北サイトによる全天ガンマ線観測が目前となっている。本講演では、国内外の CTA 計画全体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](#)

V332a CTA 大口径望遠鏡初号機における波形サンプリング時間幅較正および 2-4 号機用カメラの組立・品質管理

野上優人, 片桐秀明, 鈴木萌, 吉田龍生 (茨城大), 阿部日向, 稲田知大, 猪目祐介, 岩村由樹, 大石理子, 大岡秀行, 大谷恵生, 岡崎奈緒, 小林志鳳, 齋藤隆之, 榎直人, 櫻井駿介, 高橋満里, 高橋光成, Daniela Hadasch, Daniel Mazin, 手嶋政廣, 野田浩司, 野村亮介, 深見哲志, 吉越貴紀 (東大宇宙線研), 今川要, 岡知彦, 梶原侑貴, 窪秀利, 野崎誠也, 増田周 (京都大), Anatolii Zenin, 奥村暁 (名古屋大), 折戸玲子 (徳島大), 緒方智之, 櫛田淳子, 生天目康之, 西嶋恭司, 原田善規, 古田智也 (東海大), 郡司修一, 門叶冬樹, 中森健之 (山形大), 佐々木寅旭, 砂田裕志, 立石大, 寺田幸功, 永吉勤 (埼玉大), 田中真伸 (KEK 素核研), 川村孔明, 川島翔太郎, 塚本友祐, 田村謙治, 町支勇貴, 山本常夏 (甲南大), Antonios Dettlaff (マックスプランク物理), 千川道幸, 藤原千賀己 (近畿大), 他 CTA-Japan consortium, 池野正弘 (KEK 素核研, Open-it)

Cherenkov Telescope Array (CTA) 計画は、超高エネルギーガンマ線を観測する国際計画である。大口径望遠鏡 (LST) は、20 GeV 以上のエネルギーを観測するように設計されており、昨年 10 月には LST 初号機がスペイン・ラパルマ島に建設された。LST2-4 号機は、現在建設の準備が進められている。LST のカメラは 1855 本の光電子増倍管 (PMT) と 265 枚の読み出し回路で構成されている。各 PMT からの信号波形は読み出し回路にある Domino Ring Sampler 4 (DRS4) チップにて 1 GHz サンプリングされる。各 DRS4 チップにおける各サンプリング間隔は等間隔ではないことが知られており、この特性を補正することにより電荷分解能を良くすることができる。現在この特性の補正方法を開発している。本講演では、LST 初号機における DRS4 サンプリング時間幅の較正および LST2-4 号機におけるカメラモジュールの組立・品質管理の状況について報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

W01a 高金属量散開星団起源の連星ブラックホールによる重力波検出率への寄与

熊本淳, 藤井通子, 谷川衝 (東京大学)

LIGO による初の重力波直接検出以降、連星ブラックホール合体による重力波検出が続いている。重力波源となる連星ブラックホールの形成過程のひとつとして星団内での三体遭遇が挙げられる。この過程では主に 10^5 – 10^6 太陽質量程度の球状星団で起こると考えられてきた。一方で我々はこれまでの研究において、 10^3 – 10^4 太陽質量程度の散開星団特有の連星ブラックホール形成過程として、星団内で重い主系列星の連星が形成され、連星ブラックホールに進化する過程を発見した。球状星団の大部分が 12 Gyr 以上昔に形成されたと考えられるのに対し、散開星団はあらゆる時代に形成されることが期待される。一方で、金属量が大きい星団では恒星風の影響で大質量ブラックホールの形成が難しく、連星ブラックホールの合体率が小さくなる。

我々は、近傍での散開星団起源の連星ブラックホール合体の合体率を求めるために、金属量が異なる星団について、重力 N 体シミュレーションコード NBODY6++GPU を用いて、Kroupa の初期質量関数に従う 0.08 から 150 太陽質量の主系列星からなる星団の進化を計算した。本研究では散開星団程度の星団について 0.1, 0.25, 0.5, 1.0 太陽金属量のモデルについて計算を行った。さらに、各金属量の星団が形成される典型的な宇宙年齢における星形成率密度を考慮することで、近傍での合体率への寄与を推定した。1つの星団当たりの合体率は 0.1 金属量のモデルが最も大きく、 $\sim 0.3 \times 10^{-11} \text{ yr}^{-1}$ であった。このモデルに対して、0.5 太陽金属量のモデルでは、1つの星団当たりの合体率は 3分の1程度であったが、このような星団が形成される時代の星形成率密度は、20 倍程度あり、結果的に近傍での合体率への寄与は最大となった。本講演ではこれらの結果を用いて、散開星団起源の連星ブラックホール合体による重力波検出率への寄与について議論を行う。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

W02a Gravitational wave mergers from von Zeipel-Lidov-Kozai oscillations of binary black holes in galactic nuclei

Trani, A. Alessandro (The University of Tokyo); Leigh, W.C. Nathan (University of Concepción), Spera, Mario (CIERA); Fujii, Michiko (The University of Tokyo)

The environment close to supermassive black holes (SMBHs) can reach stellar densities of about $\sim 10^7 M_{\odot}/\text{pc}^3$. An example is the SMBH in our galaxy, which features a density cusp composed of old and young stars, and even compact remnants. Moreover, a high number of binaries is expected to be present close to SMBHs in galactic nuclei, either deposited by infalling star clusters or born in situ from tidally disrupted molecular clouds. These binaries can efficiently interact dynamically with other stars, undergoing close encounters that can trigger tidal disruptions and mergers. Previous studies only considered the effect of von Zeipel-Lidov-Kozai oscillations as a mechanism to merge compact object binaries orbiting around SMBHs. For the first time, we follow the evolution of such binaries also considering the effect of 3-body encounters with background stars, by means of hybrid Monte-Carlo/direct N-body simulations. We find that 3-body encounters can alter dramatically the evolution of binaries, interrupting the von Zeipel-Lidov-Kozai evolution. Encounters can accelerate the coalescence of the compact binaries, by exciting their eccentricity or by altering their orbital inclination and thus triggering von Zeipel-Lidov-Kozai oscillations. These kinds of events will be detected by LIGO, Virgo and KAGRA, and possibly even by LISA and DECIGO. Three-body encounters will also breakup the binaries, preventing the coalescence and quenching the merger rate in galactic nuclei.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

W03a P³T 法を用いた球状星団起源の連星形成シミュレーション

吉成直都, 藤井通子, 熊本淳, 谷川衝 (東京大学), 岩澤全規 (理化学研究所)

2015 年、初の重力波検出以降、合体できるほど距離が近い恒星ブラックホール連星が宇宙空間内に多数存在することが確認された。我々は、ブラックホール連星起源の一つである球状星団内における近接遭遇による形成メカニズムに焦点を当てている。星団のコア内で重い星が連星を形成し、周囲の星との近接遭遇を繰り返すことで連星間距離が縮まり、最終的に重力波を放出するようなブラックホール連星になると考えている。星団全体のシミュレーションを行い、近接遭遇による連星進化を調べる必要があるが、星団の寿命に対して連星の周期が非常に短いため、形成される連星の軌道を正確に計算するのは困難である。

そこで、P³T 法 (Oshino et al. 2011) を用いた新たな重力計算コード P³T-DENEb を開発した。P³T 法とは、遠距離の粒子からの力にツリー法を用いることで計算量を減らす方法である。また、連星の軌道を解析的に計算する GORILLA (Tanikawa & Fukushige 2009) を取り入れているため、多粒子の星団においても高速に系全体と連星の進化を計算することが可能である。そして、P³T-DENEb を用いて質量分布を持つ球状星団の力学進化シミュレーションを行ったところ、星団内で最も重い星が連星系をなし、非常に大きいエネルギーを持ち星団外へ放出される様子が確認された。また、粒子数が 4000 体より多くなると、従来のコードより高速に数値計算することができ、現実の球状星団 (100 万體) 規模のシミュレーションでは、100 倍以上の計算速度が実現できた。本講演では、P³T-DENEb と従来のコードとの計算コストの比較、P³T-DENEb の計算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](#)

W04a Gaia による恒星質量ブラックホールの観測可能性

鹿内みのり (東京大学)、熊本淳 (東京大学)、谷川衝 (東京大学)、藤井通子 (東京大学)

位置天文衛星 Gaia では、天体の視線速度や相対位置を測定することによって、一方が可視光で観測できないような天体を含む連星系のパラメータを推定できる。そのような連星系として、恒星質量ブラックホールと主系列星 (BH-MS) の連星系がある。これまで恒星質量ブラックホールは、X 線連星や重力波源として観測されてきたが、それらよりも長周期な連星系も観測できるので、セレクションバイアスの少ない観測手段である。

また、ほとんどの恒星質量ブラックホールは連星系を組んでいると考えられており、その形成過程は大きく分けて、孤立連星起源 (Belczynski et al. 2016) と星団のような高密度環境下 (Rodriguez et al. 2016) の二つに分けられる。孤立連星起源の BH-MS 連星が Gaia でどのくらい観測されるかはすでに議論されている (Mashian and Loeb 2017, Breivik et al. 2017, Yamaguchi et al. 2018) が、星団起源の連星系に関しては先行研究がない。

そこで、本研究では、N 体シミュレーションコード NBODY6++GPU を用いて、散開星団モデルを計算 (Kumamoto et al. 2019, 2018 年秋季年会 W53a) し、そこから脱出する BH-MS 連星の性質について調べた。その結果、Gaia で観測されうる BH-MS 連星は、星団内で三体相互作用によって形成され、common envelope を経ていることが分かった。

また、天の川銀河内での分布や星間減光、観測による誤差を考慮した結果、主系列星の質量が $2 \sim 4M_{\odot}$ 、ブラックホールの質量が $10 \sim 12M_{\odot}$ の連星が観測されやすい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](#)

W05a MAXI/GSC による 銀河系ハローの BH 連星 MAXI J0637-430 の発見と、2019 年度後半の突発現象

三原建弘、松岡勝 (理研)、根来均、中島基樹 (日大)、芹野素子 (青学大)、岩切渉 (中央大)、志達めぐみ (愛媛大)、河合誠之 (東工大) ほか MAXI チーム

全天 X 線監視装置 MAXI が 2019 年度後半に検出/速報した突発現象を報告する。2019 年 11 月 2 日には 60 mCrab の軟 X 線源 MAXI J0637-430 を発見した (ATel 13256)。Swift/XRT の追観測により新天体と確認され、スペクトルは 0.9 keV の円盤黒体放射とベキ型というブラックホール (BH) 天体のソフト状態の典型であった (ATel 13257)。Swift/UVOT で 15 等級の新星が検出され、チリの SOAR 望遠鏡の分光観測により、降着円盤起源と考えられるダブルピークの強い H α 輝線が観測された。伴星の Bowen blend 輝線はなく低質量連星と考えられる (ATel 13260)。はと座 (l, b)=(251, -20) という、銀河円盤から離れた場所に BH 新星が出現することは珍しい。ソフト状態から光度は 5×10^{38} erg/s 以上、つまり距離は 10kpc 以上と推定され、銀河系ハローに位置する。

MAXI はそのほか 3 個の新星を報告したが、Swift/XRT の追観測の結果、既知の天体に ID された。11 月 20 日に SMC 近くに発見された 23 mCrab の弱い X 線源は、RX J0209.6-7427 であった (ATel 13300, 13303)。NICER により 9.6 s のパルスが発見され、マゼラン橋にある超エディントン光度の Be 型 X 線連星パルサーだと判明した。10 月 11 日にわし座で発見された 190 mCrab の新星は Swift J1845.7-0037 であった (ATel 13189, 13191)。9 月 29 日に銀河中心から南に 2 度の場所に出現した新星は、球状星団 Terzan 6 中の NS-LMXB GRS 1747-312 であった (ATel 13154, 13155, 13157)。約半年毎に降着円盤不安定性によるアウトバーストを繰り返している。

ほかにも、MAXI 0911-655、MAXI J1807+132、MAXI J1810-222、MAXI J1348-630 の再増光を検出した。

[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](#)

W06a 多重コンプトン散乱込みの一般相対論的 6 次元輻射輸送計算コードの開発

小川拓未 (東北大学)、大須賀健 (筑波大学)、川島朋尚 (NAOJ)、高橋博之 (駒澤大学)

一般相対論的 6 次元輻射輸送計算コードを開発し、輻射スペクトルや観測イメージといったブラックホールの観測的性質の解明を目指すのが本研究の目的である。特に、ブラックホール近傍には高温プラズマが存在するため、コンプトン散乱による輻射とガスの密接な相互作用が、観測的性質はもちろんのこと、場合によってはガスダイナミクスにも影響を与える。多重コンプトン散乱を精緻に扱うことが本研究の特徴である。

現在、多くの研究で行われている輻射輸送計算では Boltzmann 方程式を直接解くような方法ではなく、そのモーメント方程式を解く手法 (FLD 法や M1 法など) が採用されている。また、降着円盤の円盤風やジェットなどの高温アウトフロー領域において特に非常に重要になるコンプトン散乱も振動数依存性や方向依存性を仮定して近似的に解く手法などが採用されている。これらの近似は物理的には正しくない仮定をしているにも関わらず、それらの妥当性の検証は未だになされていない。また、輻射の振動数依存性が考慮された輻射流体計算も未だ発展途上にあり、それらの寄与がガスのダイナミクスにどれほど影響を与えるのかということも不明確なままである。

このような現状を鑑みて、我々は最も基礎的な方程式である Boltzmann 方程式に従って輻射を解き、かつコンプトン散乱を厳密に解くことができるコードを開発した。具体的には光子の移流を実験室系において Boltzmann 方程式により解き、一方、散乱過程は光子モンテカルロ計算で得られた散乱分布を用いて流体静止系で解く。本研究では、一般相対論的輻射流体計算で得られた円盤の物理場をもとに輻射輸送計算を行い、降着円盤の輻射場の詳細な性質を明らかにした。これまで行われてきたモーメント法による輻射輸送計算との比較を行い、その妥当性を検証する。また、フレア現象を模擬した計算により観測スペクトルの時間変化を議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

W07a ボルツマン方程式を解く超臨界降着流の一般相対論的MHDシミュレーション

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

活動銀河核や X 線連星等のコンパクト天体から宇宙ジェットと呼ばれる、高速で絞られたアウトフローが噴出する時期がある。ジェットの形成機構やブラックホール降着流の構造を明らかにするために、数多くのブラックホール近傍の降着流シミュレーションが実施されている。輻射輸送を流束制限拡散近似や 1 次モーメント (M1) 法を用いて解いた研究により (Ohsuga et al. 2009, Takahashi et al. 2016)、ブラックホール近傍のジェットの形成や降着流の構造に輻射が重要な役割を果たしていることが示されてきた。しかし、それらの近似解法は光学的に薄い領域で計算結果の信頼性が落ちてしまう等の問題を抱えている。そこで、我々はより正確な輻射場を得るためにボルツマン方程式を解く一般相対論的輻射磁気流体 (GRRMHD) コードを開発してきた。

本発表では超臨界降着流の GRRMHD シミュレーションを実施し、M1 法の結果との比較を行う。初期条件は Fishbone & Moncrief (1976) で与えられる平衡トーラスを仮定した。また、初期磁場はトーラス内部に弱いポロイダル磁場を仮定した。トーラスの密度を変化させた計算を実施したので、その結果を報告する。

トーラスの歳差回転により成長した磁気回転不安定性により角運動量が輸送され質量降着が起きることを確認した。質量降着が起きる初期段階では、輻射輸送の解法によって結果に大きな違いは現れなかった。しかし時間が経つにつれて、初期トーラスの密度の高いモデルでは、我々の解法のほうが M1 法に比べ質量降着率が小さくなる傾向があることがわかった。また、回転軸付近では M1 法では輻射の非物理的な衝突により、軸方向にピーミングするような構造が現れたが、我々の解法ではそのような非物理的な構造の形成を抑制することができた。以上のように輻射輸送の解法の違いにより降着率や、軸付近の輻射場の構造等が変化することを示した。

[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](#)

W08a 恒星質量ブラックホール降着流における明るいハードステートの輻射磁気流体シミュレーション

五十嵐太一 (千葉大学), 松元亮治 (千葉大学), 加藤成晃 (理化学研究所), 高橋博之 (駒澤大学), 松本洋介 (千葉大学), 大須賀健 (筑波大学)

最近アウトバーストを起こした恒星質量ブラックホール候補天体 MAXI J1820+070 では、エディントン光度の 10% 程度の明るいハードステートに 100 日程度留まったのち、Intermediate state を経て軟 X 線が卓越するソフトステートへと遷移するハード・ソフト遷移が観測された。さらにこの天体の明るいハードステートでは、X 線と可視光の光度が激しく変動していることが報告されている (Shidatsu et al. 2019)。上記の明るいハードステートの光度は光学的に薄い高温降着流 (RIAF) の上限光度より一桁以上高いため、降着流内では輻射冷却が円盤加熱を凌駕して冷却不安定性が成長し、光学的に厚く、幾何学的に薄い低温円盤への遷移中であると考えられる。

本研究では M1 法に基づく輻射磁気流体コード CANS+R (Matsumoto et al. 2019, Takahashi & Ohsuga 2013) を適用して、降着率がエディントン降着率の 70% 程度に達した降着流の 3 次元輻射磁気流体シミュレーションを実施した。その結果ブラックホール近傍に光学的に薄い高温降着流が維持される一方、遠方では輻射冷却により降着流が鉛直方向に収縮し光学的に厚く、幾何学的に薄い磁気圧優勢な低温円盤が形成されることが示された。このときの光度はエディントン光度の 4% 程度であり明るいハードステートに対応する。また回転軸付近では間欠的にジェットが噴出し、これに伴いポインティングフラックスが間欠的に噴出することがわかった。さらに円盤内では準周期的な方位角方向磁場の反転がみられ、この周期が間欠的なジェット噴出の周期と関連することが示唆される。これらの結果から、明るいハードステートで観測されている短時間変動等について議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

W09b Influence of the magnetic field for relativistic radiative shocks

大海ほのか、福江 純(大阪教育大学)

M87に代表される活動銀河核中心のブラックホール近傍で観測されるジェットには、中心ブラックホール磁気圏で shock が生じることが知られている。ブラックホール近傍での shock は光学的に薄い場合でも厚い場合でも、なんらかの輻射を伴う radiative shock になっていると考えられる。しかし、このようなブラックホール近傍での radiative shock について、磁場がどのように影響するのかは未だ十分には解明されていない。

前回の年会では、非相対論的な範囲で平衡拡散近似とエディントン近似を用い、光学的に厚い magneto-radiative shock の構造を調べた。そして、特にガス圧が支配的な場合において、磁気圧が radiative precursor の構造に影響を及ぼすことがわかった。

ブラックホール磁気圏での radiative shock を考えるには、相対論的な取り扱いをする必要がある。そこで今回は、特殊相対論の範囲でガス圧が優勢な場合について、磁場を入れた relativistic radiative shock の構造を調べたので、その結果を報告する。相対論を考慮すると、衝撃波条件を決定するために、衝撃波前面のマッハ数 \mathcal{M}_1 に加え、相対論的程度を表すパラメータ、例えば、shock 前面の温度 T_1 が必要になる(衝撃波条件自体も3次方程式になる)。また、磁気圧の存在によって圧縮率は少し下がる。さらに radiative precursor の構造も、磁場がない場合とは違ってくる。

[スケジュール\(セッション毎\)に戻る](#)

[スケジュール\(全体\)に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

W10b 超高光度 X 線源 Holmberg IX X-1 の広帯域 X 線同時観測スペクトル解析

吉武知紘, 上田佳宏(京都大学), 志達めぐみ(愛媛大学)

超高光度 X 線源 (ULX; Ultraluminous X-ray Sources) とは、銀河中心核以外で見つかる X 線で非常に明るい天体 (X 線光度が 10^{39} erg/s 以上) である。このような高光度を説明する有力な説として、数十太陽質量以下の恒星質量ブラックホールへの超臨界降着 (エディントン限界を超える降着) がある。しかし、ULX の降着流の詳細な構造は未だ解明されていない。超臨界降着の場合、外側では標準円盤で近似できるが、それより内側では光学的に厚いアウトフローによるコンプトン散乱が効くことが理論的に予測されている (Takahashi et al. 2016)。この2つの領域の遷移半径を観測から求めることで、中心ブラックホールの質量の推定が可能となる。しかしながら、これまでの多くの X 線スペクトル解析において、標準円盤の内縁温度とコンプトン散乱の種光子の温度が等しいと仮定されていた。この仮定は、コンプトン散乱が、標準円盤として見えている領域の内側の半径で起こっているという理論的描像とは、必ずしも一致しない。

そこで Shidatsu, Ueda, Febrika (2017, ApJ, 839, 46) では ULX のより現実的な降着流の構造を反映させるため、これらの温度を独立に扱った X 線スペクトルモデルを ULX IC 342 X-1 に適用し、その広域 X 線スペクトルを統一的に再現することに成功した。今回はこの描像を確認するため、X 線天文衛星 *XMM-Newton* と *NuSTAR* の質の良い同時観測データがある ULX Holmberg IX X-1 に着目し、Shidatsu et al. 2017 のモデルを用いて広帯域 (0.3–30 keV) X 線スペクトルを解析した。その結果、このモデルは、以前のモデルと比べて観測スペクトルをより良く再現することが分かった。本講演では Holmberg IX X-1 における超臨界降着流の構造及び遷移半径から推定したブラックホール質量について議論する。

[スケジュール\(セッション毎\)に戻る](#)

[スケジュール\(全体\)に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

W11b ARTIST コードを元にした空間 3 次元一般相対論的輻射輸送コードの開発

高橋幹弥 (筑波大学), 高橋芳太 (苫小牧高等工業専門学校), 大須賀健 (筑波大学), 朝比奈雄太 (筑波大学), 梅村雅之 (筑波大学)

ブラックホール降着円盤の内縁付近での輻射の伝搬を調べるには、一般相対論を考慮した輻射輸送方程式を解く必要がある。特に、高光度な降着円盤では、輻射によるエネルギー輸送や運動量輸送がその構造に影響を与えるため、より精密な一般相対論的輻射輸送計算が不可欠になる。しかしながら、一般相対論的輻射磁気流体計算は解くのが非常に難しいことが知られており、Sadowski et al. 2014, Takahashi et al. 2016 などでは M1-closure 法と呼ばれる近似法を採用している。これらは輻射輸送方程式を直に解いていない。輻射輸送方程式を直に解いている例としては朝比奈 (日本天文学会 2019 年秋季年会) があるが、測地線方程式に沿って輻射輸送を解いていないため、波面を正確に解くことはできない。

そのような状況の中、高橋芳太ら (Takahashi & Umemura 2017) は、新たな一般相対論的輻射輸送コード: ARTIST を開発した。この ARTIST は、赤道面に限られてはいるものの、光の測地線に沿って輻射輸送方程式を解くため、ブラックホール近傍の歪んだ時空においても波面を正確に追うことが可能である。また、輻射エネルギーの保存が高精度で成立することも実証されている。そこで我々は、ARTIST を空間 3 次元へと拡張する計画を推進している。本講演では、3 次元コードの開発状況、及びテスト計算の結果について報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

W12c 「すざく」アーカイブを用いたブラックホール候補 GRS 1758-258 の X 線解析

伊藤 穂乃花, 堂谷 忠靖 (JAXA 宇宙科学研究所, 東京工業大学)

X 線天文衛星「すざく」のアーカイブデータを用いた、銀河系内のマイクロクエーサー GRS 1758-258 の X 線解析結果について報告する。GRS 1758-258 は、ブラックホール候補を含む X 線連星で、1990 年に GRANAT により銀河系中心方向に発見された。一般にブラックホール連星は、transient 天体として短期間だけ明るく輝くことが多いが、この天体はほぼ定常的に輝いている珍しい天体である。しかしながら、近傍 (40 分角) に非常に明るい X 線連星 GX5-1 があるため、最近になるまで詳しい観測がされてこなかった。GRS 1758-258 は、ジェットと電波ローブを伴っており、このことからマイクロクエーサーと呼ばれている。

「すざく」衛星は、2010 年 3 月 8 日から約 2 日半にわたってこの天体を観測しており、この間、GRS 1758-258 は low-hard state にあり、X 線光度に大きな時間変動は観測されなかった。Low-hard state では、冪函数成分が卓越するエネルギースペクトルを示し、降着円盤からの熱的な放射は、ほとんど観測されないことが多い。これは、幾何学的に薄く光学的に厚い降着円盤がブラックホール近傍には存在せず、光学的に薄い高温プラズマからの逆コンプトン散乱が卓越するためと考えられている。一方、放射領域の情報を得るには、冪函数成分以外のスペクトル構造を手がかりにする必要がある。

講演では、エネルギースペクトルの解析から得られた、鉄輝線、降着円盤など放射成分を中心に報告する。

[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](#)

W13a 順回転、逆回転ブラックホールをもつ超臨界降着円盤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)

ブラックホール周囲の超臨界降着円盤は、超高光度 X 線天体 (ULX) や、狭輝線セイファート銀河、潮汐力破壊現象などの高輝度天体の駆動力となっていると考えられている。しかし、その中心にあるとされるブラックホール (BH) のスピンパラメータ (a^*) 依存性については未だ理解が進んでいない。しかも、降着円盤の回転方向と BH の回転方向が同じとは限らないため、今回はスピンパラメータを 0.9 (順回転)、0 (回転なし)、22120.9 (逆回転) の BH をもつ超臨界降着円盤について 2.5 次元一般相対論的輻射磁気流体シミュレーションを用いて調査した。

その結果、3つのモデルの中で放射へのエネルギー変換効率が最大となるのが $a^* = 0.9$ の場合で、最小となる $a^* = 0$ の場合の約 30 倍となることがわかった。また、ジェットを含むアウトフローへのエネルギー変換効率も $a^* = 0.9$ の場合に最大となり、最小となる $a^* = 0$ の場合の約 10 倍となることがわかった。この結果は、Blandford-Znajek 効果による BH の回転エネルギーの抽出によって引き起こされている可能性が高い。また、 $a^* = -0.9$ で発生するジェットは降着円盤と逆回転することも見出した。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

W14a 自転するブラックホール近傍での自発的磁気リコネクション

小出眞路 (熊本大学), 小出美香 (ルーテル学院高等学校)

自転するブラックホール (カーブラックホール) まわりのプラズマと磁場の一般相対論的理想流体力学 (ideal GRMHD = iGRMHD) の数値シミュレーションにより、例え磁場が初期に一樣であってもカーブラックホールのエルゴ領域内の赤道付近に反平行磁場が形成されることが示されている (Komissarov 2006)。これはカーブラックホールまわりでは磁場は必ず反平行磁場を形成し、磁気リコネクションが起こることを示している。ブラックホール近傍においても太陽コロナ中のように磁気リコネクションが激しい現象を引き起こしている可能性がある。実際、活動銀河核からの高エネルギーフレアに伴うノット放出など太陽フレアにともなうコロナ質量放出 (coronal mass ejection) と似た現象が観測されている (Acciari, et al. 2009)。ブラックホール磁気圏における磁気リコネクションを扱うには iGRMHD を用いることはできず¹、抵抗性 GRMHD (resistive GRMHD $\equiv \eta$ GRMHD) を使う必要がある。我々はまずシュワルツシルト・ブラックホール (自転のないブラックホール) のまわりに分割単磁極型の初期磁場を設定して磁気リコネクションの η GRMHD 数値計算を行なった (Inda-Koide, et al. 2019)。磁気リコネクションはブラックホールの赤道面で起こり、解析によりその磁気リコネクションはテアリング不安定性のラザフォード段階と同定された。今回、カーブラックホールまわりに同様な磁場配位を設定して η GRMHD 数値計算を行なった。この計算でも X 点を持つ磁気リコネクションが自発的に起こることが確認され、その X 点はエルゴ領域内にあった。エルゴ領域内では自転するブラックホールの空間の引きずり効果を強く受ける。講演ではそのような一般相対論的效果を強く受けた磁気リコネクションの構造について述べる。

[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](#)

W15a 3次元磁気流体数値計算に基づく降着円盤渦状腕衝撃波の形成

町田真美 (九大)、川島朋尚 (NAOJ)、工藤祐己 (鹿大)、松本洋介、松元亮治 (千葉大)

X線連星や活動銀河中心核などは、降着円盤を通してその重力エネルギーを解放する。この時、差動回転する降着円盤からガスを中心に落下させるためには、角運動量輸送が必要となる。1990年代に磁気回転不安定性 (MRI) の降着円盤内部での重要性が指摘されて以降、多数の磁気流体計算による検証が行われてきた。その結果、MRIが作る Maxwell 応力が磁気乱流の起源となり、角運動量輸送を担う事ができると考えられてきた。しかし、MRIは乱流を誘起するため、空間解像度が上昇すると小スケールで散逸が生じ非線形段階での飽和値が減少する傾向が指摘されてきた。そこで、我々は降着円盤全体を計算領域に含む大局的な3次元磁気流体計算を行い、磁気エネルギーの飽和値と空間解像度依存性に関して調べている。我々は、空間5次精度を担保する CANS+(Matsumoto et al. 2019) で円筒座標系を用いて時間発展を追っている。ここで、 $dr = dz = 0.05r_s$ (r_s はシュバルツシルト半径)、方位角方向に円周を 512 メッシュの解像度で計算を行った。

その結果、細かな揺らぎが成長するために早い時期に質量降着が生じる事、線形成長段階では、小スケールの磁場増幅と散逸が生じることがわかった。更に時間進化を追うと、小スケールの強い磁場による磁気張力が乱流運動を抑制することにより散逸が妨げられること、散逸を免れた強い磁束は回転運動に引き伸ばされ反平行磁場を形成すること、磁力線に垂直な方向にエントピー・密度のジャンプを形成することがわかった。本計算は、重力場が軸対称であるにも関わらず、磁気乱流が卓越した状況下で渦状腕衝撃波が形成されることを初めて示した結果である。本講演では、この他、降着円盤渦状腕衝撃波の性質に関して紹介する。

[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](#)

W16a Wakefield Acceleration in the M87 Jet

Yoshiaki Kato (RIKEN), Toshikazu Ebisuzaki (RIKEN), Toshiki Tajima (UCI)

We investigate electromagnetic pulses in one of the powerful radio jet in M87. The recent observations have revealed that the origin of its jet has been constrained within a few tens of Schwarzschild radii in the vicinity of the supermassive black hole. We therefore consider the strong Alfvénic impulses generated by episodic eruptive accretions in the innermost region of a magnetized accretion disk, which give rise to the collective ponderomotive forces. Such a ponderomotive force provides the so-called wakefield acceleration of the charged particles. This acceleration mechanism has advantages over the Fermi acceleration because the characteristic length scale is relatively short and the efficiency is robust, and therefore it is one of the most promising mechanisms for a central engine of the M87 jet. By measuring the collimation profile in the M87 jet from the latest observations, we examine the characteristic length scales of the wakefield acceleration under the astrophysical context. We also discuss implications of jets in the stellar-mass black holes.

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

W17a 相対論的状态方程式を用いた相対論的輻射性衝撃波の構造

福江 純 (大阪教育大)

前回まで、特殊相対論的な領域における相対論的輻射性衝撃波について、単純な 1 次元の場合と厚みが増える円盤降着流の場合を調べた (2019 年春季年会, MNRAS 2019, 483, 2538, 3839)。

状況としては、1 次元流においては、光学的に厚く平衡拡散近似を仮定し、(1) 質量保存の式、(2) 運動量保存の式、(3) 輻射流束のあるエネルギー保存の式、(4) 輻射拡散の式、(5) 相対論的ポリトロピック関係式、を衝撃波条件の基本方程式とした。得られた結果としては、ガス圧が優勢な場合、非相対論では圧縮率は最大で 4 倍だが、相対論的になると (衝撃波前面が相対論的な場合はもちろん、前面が非相対論的な流れでも通過後が相対論的になると)、圧縮率は 4 倍を超えることがわかった。前駆領域の拡がりも非相対論的な場合より大きくなる。また前面のマッハ数には上限が生じる (流速も音速も光速のオーダーが上限のため)。

今回は簡単のためにポリトロピック指数は一定としたが、一般には、衝撃波前面から輻射性前駆領域そして衝撃波後面の間で、ポリトロピック指数は連続的に変化する。そこで今回、ガス圧が優勢な場合について、相対論的に厳密な状態方程式を用いて、輻射性衝撃波の構造を求めたので、その結果を報告する。

相対論的衝撃波では、衝撃波前面のマッハ数 M_1 に加え、相対論的程度を表すパラメータ、たとえば、前面の温度 T_1 が必要になる。この M_1 - T_1 パラメータ空間で、後面の圧縮率を描くと、ポリトロピック指数が一定の場合と一般的な場合では大きく違うことがわかった。また前面のパラメータをほぼ同じにしたときの前駆領域の構造も、両者では当然ながら違ってくる。

年会では以上の内容を報告したい。

[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](#)

W18a X線連星における熱-放射駆動型円盤風からの輝線吸収線構造と観測との比較

都丸 亮太 (東京大学, IPMU), Chris Done (Durham University), 大須賀 健 (筑波大学), 小高 裕和 (東京大学), 高橋 忠幸 (IPMU, 東京大学)

近年の X 線観測により、低質量 X 線連星のスペクトル中に高電離イオン (主に Fe xxvi, Fe xxv) からの青方偏移した吸収線が見つかっており、降着円盤から円盤風という形でプラズマが外向きに噴出していることがわかってきている。駆動機構として考えられているのが、円盤を貫く磁場による磁気駆動と、円盤表面のガスが、中心天体近傍からの X 線照射で加熱されて吹き出す熱駆動であるが、どちらが主なのかはわかっていない。我々は X 線照射加熱に放射力を加えた、放射流体シミュレーションにより、ソフト状態において、観測の吸収線から推定された柱密度、速度を得ることに成功し、観測される円盤風は熱-放射駆動型円盤風で矛盾がないことを示した (2018 年秋季年会)。今回我々は、熱-放射駆動型円盤風が観測スペクトルを説明可能であるのかを明らかにするため、この放射流体シミュレーションにより得られた密度、速度分布を使用し、その中を通して形成される輝線吸収線構造をモンテカルロ放射輸送計算により得た。この計算スペクトルは内側に存在する静的な円盤大気による吸収線と、円盤風による青方偏移した吸収線からなる特徴的な吸収線構造を示した。計算スペクトルを観測スペクトルと比較した結果、観測データをよく説明し、磁気駆動型円盤風の必要性がないことが明らかになった。さらに、これまでのいくつかの天体の観測結果とこの輝線吸収線構造の議論から、現在の磁気駆動型円盤風モデルの問題点について明らかにするとともに、2022 年打ち上げ予定の X 線天文衛星 XRISM による観測で期待される結果について発表する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

W19a Particle Acceleration in the Jets of the Microquasar SS433

須藤 貴弘 (東京大), 井上 芳幸 (理研), ドミトリー カングリヤン (立教大)

SS433 is a Galactic microquasar with powerful jets, where very-high-energy particles are produced. We study nonthermal leptonic emission from two X-ray knots in SS433's jets in the light of the recent multi-wavelength data from radio to TeV gamma ray. Our detailed treatment of particle transport and evolution produces substantially different predictions from previous papers. For both regions, our model can account for the multi-wavelength data except for the GeV data. This suggests that GeV emission is mostly from different regions and/or mechanisms. We find that the acceleration process should be efficient, which could be realized by diffusive shock acceleration close to the Bohm limit. Provided that protons are accelerated at the same efficiency as electrons, our results imply that SS433 is a PeVatron, i.e., can accelerate protons beyond a PeV. Future hard X-ray and MeV gamma-ray observations can critically test our models by detecting the spectral turnover or cutoff.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

W20a JVLA を用いた星雲 W50 の電波連続波観測

酒見はる香, 大前陸人, 大村匠, 町田真美 (九州大学)

X 線連星 SS433 は系内で最も有名なマイクロクエーサーの 1 つであり、らせん状ジェットの出が電波観測で確認されている。SS433 は星雲 W50 の中心に存在する。W50 は超新星残骸であると考えられているが、SS433 ジェットとの相互作用により、東西に引き伸ばされた ear と呼ばれる特徴的な構造を持っている。W50 の東側 ear 先端には、SS433 ジェット軸に垂直な方向に伸びたフィラメント状構造が電波や X 線で確認されており、ジェットのターミナルショックである可能性が指摘されている。しかし、ジェット本体からの放射は SS433 のごく近傍でしか観測されておらず、ear 領域ではジェットが確認されていないため、SS433 近傍のジェットと ear を形成したジェットとの関連性は定かではない。また W50 には、一般的な超新星残骸には見られない多くの筋状構造が星雲に巻き付くように存在しているが、その形成メカニズムやジェットとの関係は未だ明らかにされていない。

そこで、我々は 2017 年に JVLA で観測された W50 全域の電波連続波観測データの解析を行った。観測周波数は 1.0 – 2.0 GHz である。イメージ解析の結果、過去に他周波数の観測でも同定されている “chimney” という東側 ear から突き出た構造を分解することに成功した。また、1996 年の VLA による同帯域観測と比較して、W50 東端のフィラメント状構造や筋状構造、また W50 中心 shell のふちの位置にほとんど変化が見られないことを明らかにした。さらにスペクトル指数マップを作成し、放射強度の高いほとんどの領域で -0.4 程度の比較的フラットな放射構造を確認した。本講演では、これらの解析結果と、W50 に特徴的な各構造の形成過程について議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

W21a W50/SS 433 の構造形成に関する磁気流体計算 III

小野 宏次朗, 大村 匠, 町田 真美, 酒見 はる香 (九州大学)

電波星雲 W50 は、X 線連星 SS 433 を中心とする球状のシェル構造と東西に引き伸ばされたローブ構造の複合体であり、SS 433 までの距離を 5.5 kpc と仮定した場合の全長は 200 pc に及ぶ (Dubner et al. 1998)。SS 433 ジェットの軸と東西に伸びるローブ構造の軸が重なることから、W50 の成因は、SS 433 のコンパクト星を作った超新星残骸 (SNR) と SS 433 ジェットの共進化によって形成されたとするモデルが最有力である。SNR とジェットを組み合わせたモデルに基づく流体計算は多数成されており (e.g., Zavala et al. 2008, Goodall et al. 2011)、SNR とジェットの接続領域において、観測では滑らかであるのに対して不連続な形状を形成することが示されている。加えて、数値計算を基に放射強度を概算すると、SNR に比べてジェットの放射強度が数桁高く、シェルと ear で同程度の放射を示す観測とは異なる分布を示す。また、一般的に超新星爆発後の中心天体は、爆発の影響でシェル中心から移動が見られるが、SS 433 は W50 シェルの中心に位置している。

上記のことから本研究では、中心シェルを作るための SNR を仮定せずにジェットのみで W50 様の構造を再現できるかを検証した。2次元軸対称円筒座標系において、速さ $0.26c$ でトロイダル磁場を持つジェットを中心から注入することで磁気流体計算を行った。ジェットの光度を $3 \times 10^{39} \text{ erg s}^{-1}$ 、ジェットと外部ガスの密度比を 10^{-3} としたとき、シェル状のジェットコクーンを形成する結果が得られた。本講演では、光度や密度比、磁場強度についてのパラメータサーベイの結果を報告する。

[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](#)

W22b W50 東端のターミナルショックによる SS433 ジェットの制限

大前陸人, 酒見はる香, 大村匠, 町田真美 (九州大学)

SS433 は銀河系内の X 線連星であり、銀河系内でジェットが観測できる数少ない例である。SS433 は電波星雲 W50 の中心に位置しており、 $0.26 c$ で伝搬する準相対論的ならせん状の電波ジェットが観測されている。中心近傍から現在噴出するジェットと W50 の東西に伸びた ear 構造の軸が一致していることから、SS433 から噴出したジェットが W50 の構造の起源と考えられている。W50 東側の ear ではいくつかの特徴的な構造が観測されており、特に、東端付近の南北に伸びたフィラメント状の構造は SS433 ジェットのターミナルショックだと思われる。Goodall et al. (2011) は、過去 12 年間の電波観測から、フィラメント構造の位置を調査した。その結果、フィラメント構造はほとんど動いていないことを明らかにし、伝搬速度の上限として $0.0405 c$ と導出した。しかし、このフィラメントを形成したジェットと現在 SS433 近傍で観測される電波ジェットとの関係は依然として明らかになっていない。

我々は 2017 年に The Karl G. Jansky Very Large Array (JVLA) の L-band で観測された結果を加え、速度上限値を $0.01 c$ と見積もった。さらに、SS433 に対して冷たいプラズマの極限におけるジェット伝搬モデル (Zaninetti 2015, 2016) を適用し、ジェット先端の伝搬速度が $0.01 c$ の場合についてを考察した。特に、このモデルから系の年齢や全エネルギーに矛盾がないのか、ジェットの噴出速度として $0.26 c$ が採用可能かどうか等を議論していきたい。さらに、継続的なジェット噴出モデルによって構造を説明する可能性があるかを検討する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

W23b 多波長光度曲線におけるスパースモデリングを用いたラグ推定手法の開発

大間々知輝, 植村誠 (広島大学), 池田思朗 (統計数理研究所), 森井幹雄 (Datum Studio (株))

ジェット天体を多波長で観測するとそれらの光度曲線がタイムラグを伴って相関することがある。特に X 線連星では、例えば円盤内縁から放射された X 線とジェットから放射された可視光の相関、及び、円盤の X 線と円盤外縁付近での再放射による可視光の相関などが想定される。このような場合、観測されるデータには 1 つのラグではなく、複数のラグが含まれる可能性がある。通常、このようなタイムラグの推定には Discrete Correlate Function (DCF) が使われる。従来ではラグの値を調べることはできるものの、複数のラグが含まれる場合に、ラグ成分ごとに光度曲線を分解し、成分ごとに解析を進めることは難しい。また、天体観測ではデータ間隔が一様にならないことが多く、それによって生じるエイリアスが真のラグに混在する問題もある。

我々はこれらの問題を解決するため、エイリアスを軽減できるスパースモデリングを用いたタイムラグ解析の手法を開発・性能評価してきた。この手法では、2 つの光度曲線間に共通するフーリエ成分をスパースモデリングで抽出することによって、各周波数のラグとパワーを得ることができる。本研究では提案手法の性能を評価するため、人工データを用いて、複数のラグが存在する場合、欠損が多い非等間隔なデータの場合、反相関関係がある場合、データ間に相関がない場合についてそれぞれ実験を行った。特に複数のラグを持つデータを用いた実験では、設定した 2 つのラグ構造が正しく推定されることを確認した。これによって、一方のラグ成分から再構成された光度曲線を観測データから引くことで、もう一方のラグ成分のみを含んだ光度曲線に分離することが可能となる。また、無相関なデータを用いた実験では、抽出されたラグ成分の頻度分布から相関の有無を検討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](#)

W24b Dusty-gas の輻射重力源への Hoyle-Lyttleton 降着; 輻射場の非球対称性と減光の効果

細谷亮太郎 (筑波大学), 大須賀健 (筑波大学)

ブラックホール (BH) の質量獲得メカニズムはまだよくわかっていない。これまで発見されてきた恒星質量 BH 候補天体のほとんどは、恒星と連星系 (X 線連星) を形成し、伴星から質量を獲得していると考えられている。一方、未発見の BH も多数存在すると考えられ、それらが伴星を持たない場合は、星間空間を浮遊しつつ Hoyle-Lyttleton 降着によって質量を獲得している可能性がある。Hoyle-Lyttleton 機構によって BH の重力に捉えられたガスは、最終的に降着円盤を形成し、BH に吸い込まれると考えられる。Fukue & Ioroi (1999) は、BH 降着円盤からの非等方放射による輻射力を考慮し、Hoyle-Lyttleton 機構による降着率の減少効果を調べたが、減光の効果は考慮されていなかった。

そこで本研究では、BH 降着円盤からの放射が dusty な星間ガスによって減光する効果を考慮して降着半径を定量的に調べた。具体的には、Hoyle-Lyttleton 半径領域のガスの運動を、重力と放射力を考慮して解いた。密度分布は連続の式から導出し、その密度分布をもとに系内の星間ダストモデルを用いて減光を評価した。その結果、降着半径が従来の予想よりも大きくなることを定量的に示すことができた。例えば、放射が球対称で $\Gamma=0.8$ の場合 (Γ は dusty ガスのエディントン比)、降着半径は減光がなければ Hoyle-Lyttleton 半径の 0.2 倍となるが、実際は 0.67 倍となることがわかった。また、放射が非球対称な場合についての計算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](#)

W25a Numerical Modeling of Clocked Burster GS1826-24 with the physics inside neutron stars

土肥 明、橋本正章 (九州大学)

Type-I X-ray burst, which is the thermonuclear reaction induced by unstable H/He burning, has been observed and 112 bursters have been discovered so far (int'Zand et al. 2019). In a number of these bursters, GS1826-24 is one of the most characteristic bursters because the light curves of this burster have been known to be unchanged during an epoch and imply the constant accretion rate. For that reason, this burster is convenient for numerical modeling of X-ray burst and that's why this burster is often called *clocked burster*.

Several work to try to fit the model of GS1826-24 has been performed (e.g. Heger et al. 2007, Meisel 2018). Although they incorporate the large reaction network with around 1000 nuclei, they calculate the light curves for only accretion layer. To consider the physics of neutron-star core such as the equation of states and neutrino emissions, whole regions of neutron stars should be covered in burst calculations. In this work, using the general evolutionary code (Fujimoto et al. 1984), we perform the numerical simulations of X-ray burst with equation of states and slow cooling processes. Moreover, to reduce the numerical cost, we construct the approximate reaction network with 88 nuclei (Matsuo 2018 and Yamada 2019) and incorporate it. Finally, compared with the observed light curve and the recurrence time of GS1826-24, we can construct the best-fit model with the initial metallicity $Z = 0.01$.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

W26a 中性子星との低質量 X 線連星の長期変動について II

浅井和美、三原建弘、松岡勝 (理研)

中性子星との低質量 X 線連星 (NS-LMXB) は、質量降着率を反映して、さまざまな X 線光度変化をする。その中で、数年以上のタイムスケールの変動については、その特徴および原因は、よくわかっていない。RXTE/ASM による 13 年間の観測結果をもとに、Kotze & Charles (MNRAS, 2010, 402, L16) では、20 個の NS-LMXB から、連星周期 (〜数時間) よりも長い、数年から十数年の光度周期 (振幅は 30 % 程度以下) を見出した。その原因として、太陽活動の 11 年周期と同じような、伴星の変動を提案している (伴星起源)。我々は、RXTE/ASM と MAXI/GSC を合わせた 20 年以上の長期観測のデータをもとに、Kotze らの 20 個を含む 34 個の NS-LMXB の光度変化を調べ、上記のサイン的変動 (1) の他に、ベースラインの変動 (2) も見出し、伴星起源だけでなく、円盤起源の変動の可能性も提案した (年会 2019 年春)。今回は、有意な長期変動を示した 13 天体のうち、(1) と (2) がはっきりと分離できる 6 天体に注目した。6 天体は、(2) のベースライン変動がほぼ一定なもの (Sco X-1, GX 3+1, GX 9+1) とガウシアンで表されるような数年間のみ増光を伴うもの (Ser X-1, 4U 1735-444, GX 9+9) に分類できた。この両者は、それぞれに共通な (1) の特徴 (周期や振幅) を持たないことから、(1) の変動を伴星起源とするならば、ガウシアン増光はそれとは別の、例えば降着円盤、が起因であると推測される。そのタイムスケールから、降着円盤の外側部分の一過性の粘性不安定性が原因であるとも推測される。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

W27a 2017 年 11 月に Crab pulsar で生じた glitch 前後の MAXI ガススリットカメラによる X 線パルス観測

大枝 幹、杉崎 睦、河合誠之 (東京工業大学)

パルサーとは、数ミリ秒から秒の周期で coherent な変動を示す天体で、強磁場の中性子星が高速回転しており、自転周期に応じた周期性を示しているものと考えられている。回転駆動型のパルサーでは、磁気双極子輻射で回転エネルギーを徐々に失うため、緩やかにスピンドアウンしていく。しかし、Crab pulsar を含む若いパルサーでは、稀に glitch と呼ばれる突発的な短時間のスピニアップを起こすことが知られている。

2017 年 11 月 7 日に、電波による日々の観測で、Crab pulsar で glitch が観測された。これは 1968 年に Crab pulsar が発見されて以来 25 回目の glitch であるが、変動幅は過去最大を記録した。我々は、MAXI GSC(ガススリットカメラ)のスキャン観測で得られたイベントデータを時系列解析し、2-20keV のエネルギーバンドでの glitch 前後の時間に対する Crab pulsar の周期変化のモデル化を行なった。

MAXI/GSC のデータを用いて時系列解析をする場合、MAXI は 92 分間に 50 秒程度しか 1 天体を観測しないため、パルスを見る際に長期間のデータを積み込む必要がある。ここで、X 線の時系列解析で従来用いられている heasoft 内にある xronos 群を用いた方法では、周期が激しく変動する glitch 後の時系列解析ができないという問題があった。そこで、xronos 群の中にある efold の代わりに、任意の位相変化式で畳こみを行うツールを作成した。また、統計が悪いデータに対し、パルスが綺麗に見えるか否かの指標として、binning した pulse profile を用いて chi square 検定を行う efssearch の代わりに、Crab pulsar の template pulse を指標とした unbinned likelihood を用いた方法で周期変化のモデル化を行なった。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

W28a 「すざく」のデータを用いた低質量 X 線連星 XB1916-053 の dip の解析

渡辺佑馬, 堂谷忠靖 (宇宙航空研究開発機構 宇宙科学研究所、東工大)

低質量 X 線連星 XB1916-053 は磁場の弱い中性子星と晩期型星から成る近接連星系で、代表的な dip 天体の 1 つである。(Gambino, A. F., et al. 2019, A&A, 625, A92)。Dip とは X 線強度が短時間だけ減少する現象で、ほぼ連星周期に同期して発生することが分かっている。降着円盤外縁が X 線放射領域を遮蔽するためと考えられているが、遮蔽ガスの性質や形状はよく分かっていない。そこで、「すざく」衛星の 2014 年の観測データを用いてスペクトル解析を行い、dip の原因となる遮蔽ガスの性質を調べた。

約 4 日間の観測中に X 線光度が約 1/3 に減少し、前半には見られなかった dip が後半には出現するようになった。一方、H/He-like Fe の吸収線が観測期間中ずっと見えていたことから、視線上に光電離プラズマが存在すると考えられる。そこで、データを前半部分と後半部分に分割し、dip と同位相のデータのスペクトル解析を行ったところ、電離パラメータはほぼ変わらないのに対し ($\log \xi \sim 3.4$)、遮蔽ガスの柱密度が後半ではほぼ 2 倍に増えていた。この解析結果は、dip の出現が光度減少に伴う電離度の減少というよりは、遮蔽ガス自体の増加による可能性を示している。講演では、他の解析結果も含めて、dip の振る舞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](#)

W29a X線連星系における中性子星の磁場＝スピン共進化

鷹野重之 (九州産業大学)

大質量 X 線連星系に属する中性子星は、約 1 秒～10,000 秒超まで、非常に幅広いスピン分布を示す。一方、一般に中性子星のスピンはその磁場強度と関連すると考えられているが、大質量 X 線連星系の中性子星は大半が 10^{12} G 程度のそろった磁場強度を示す。従って、スピンの多様性は磁場強度の違いのみでは説明できない。そこで、我々は連星系進化とともに連星内の中性子星のスピン進化と磁場進化を同時に追跡することにより、大質量 X 線連星系の多様性の理解を目指している。

本研究では、非常に若い連星系に着目し、観測との比較を行う。とくに超新星残骸に付随する中性子星連星系では、中性子星の年齢がわかるので、連星進化を追うことで観測年齢での諸物理量を求めることで、物理状態に強い制限を与えることができる。中性子星磁場は連星系の寿命内で急速に減衰し、その磁場変化は中性子星のスピンにも大きな影響を与える。本研究では、中性子星のスピンの観測から、誕生時の磁場強度や進化段階にどのような示唆が得られるのかを検討する。例として、LMC 中の超新星残骸 MCSNR J0513-6724 中の中性子星連星の進化モデルを紹介する。この天体では中性子星年齢が数千年と若いわりにスピンの回転が早く、誕生時の磁場が弱かったのではないかと考えられているが、伴星からの星風の物量状態によっては、必ずしも弱磁場を考えなくとも観測される物理量が再現できることを示す。

[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](#)

W30a 磁場の強い中性子星の磁極領域からの X 線放射

井上 一 (JAXA 宇宙科学研究所)

X 線パルサーにおける中性子星磁極領域からの X 線放射につき理論的考察を行ったので報告する。

質量降着率が 10^{17} g s^{-1} を大きく越える場合には、磁極方向に放射圧優勢の細くて高い cone 状の柱 (polar cone) が立ち、その高さは中性子星半径の 10 倍近くにも達することが示される。そのような降着率での polar cone においては、重力によるエネルギー獲得率が cone 横方向への放射拡散によるエネルギー損失率を上回るため、降着物質の熱エネルギーが cone 底部に向けて増大し、cone 内の圧力が急激に高まっていく。そして、その圧力が、降着物質を cone 内に閉じ込めている磁気圧を上回るようになって、降着物質は polar cone 底部から磁場をひきずって中性子星表面に流れ出し、mound 状の構造 (polar mound) が形成されることが考えられる。polar cone 底部まで持ち込まれた熱エネルギーは、最終的にこの polar mound の表面から放射され、降着物質は中性子星表面物質と同化することになる。そのような磁極部分の構造を考えると、polar cone 表面からは多温度の黒体放射が重ねあわされた X 線スペクトルが放射され、polar mound 表面からは、準単一温度の黒体放射が放射されることが期待される。これらは明るい X 線パルサーから観測される X 線スペクトルをよく説明する。また、polar cone からの X 線放射には磁極方向に絞られた pencil beam 成分が期待され、mound 領域からの広い pencil beam 成分とあわせて、明るい X 線パルサーから観測される X 線パルスプロファイルの基本的構造を説明できる。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

W31a 「すぎく」衛星による降着中性子星 SMC X-1 の広がった鉄輝線の解析とその軌道・超軌道位相依存性

高嶋聡, 小高裕和, 馬場彩 (東大), 窪田恵, 玉川徹 (理研)

近年、Eddington 限界光度を一桁以上超えて X 線を放射する中性子星が複数報告されているが、このような高光度天体の降着と放射のプロセスは詳しく解明されていない。高光度天体の降着機構を探るため、我々は大質量 X 線連星 SMC X-1 に着目した。SMC X-1 は、光度が通常時には Eddington 限界を数倍上回る非常に明るい降着駆動パルサーである。X 線光度は 3.89 日周期の連星軌道変動と、降着円盤の歳差運動由来と考えられている 40–60 日周期の超軌道変動を伴う。このように降着円盤が様々な幾何学的配置をとるため、SMC X-1 の X 線スペクトルの軌道・超軌道変動は高光度天体の降着流の構造やその機構を探るための重要な情報を含むと考えられる。

X 線天文衛星「すぎく」は SMC X-1 を 2011 年 4 月から 2012 年 3 月にわたって異なる軌道・超軌道位相で 10 回の観測をしており、我々はその全 10 回の観測データの系統的な解析を行った。10 回目の観測では He-like 鉄吸収線を発見し (Kubota et al. 2018, ApJL, 868, L26, 5)、残り 9 回の観測についても cutoff power law を使った吸収線の探索結果を報告済みである (日本天文学会 2019 秋季大会 W28a)。さらにこの天体は降着円盤に由来する広がった低電離鉄輝線を示す。輝線パラメータの定量的評価は連続成分の解析方法によって大きく変わりうるため今回、cutoff power law より表現能力のある Fermi-Dirac 型のカットオフを持つ冪関数で連続成分を評価し、精密な輝線の解析を行った。「すぎく」の X 線撮像分光器と硬 X 線検出器によって広いエネルギー帯域で連続成分を決定した。この連続成分を使って各観測の広がった鉄輝線に着目し、高速で動く降着物質由来の広がった輝線と運動しない物質由来の細い輝線を取り入れて評価した。また、鉄輝線の軌道、超軌道変動による影響を議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

W32a ULX パルサーの超臨界降着柱モデル；パルスの形状と振幅について

井上壮大 (筑波大学), 大須賀健 (筑波大学), 川島朋尚 (天文台)

超高光度 X 線源 (ULX) の正体として、恒星質量ブラックホール周りの超臨界降着流が有力候補の一つと考えられてきた。しかし、いくつかの ULX ではパルスが検出され、中心天体が中性子星であると考えられるようになってきた (Bachetti et al. 2014)。川島らは、磁極付近に臨界値を超える降着率でガスが落下する超臨界降着柱のシミュレーションを実施し、ULX の大光度を説明できることを実証した (Kawashima et al. 2016)。我々は、この超臨界降着柱モデルをもとに、観測される光度及びその変化を計算し、ULX の示すパルス形状をおよそ説明可能であることを示した (前回と前々回の学会を引用)。

さらに我々は、降着柱の幾何学的な構造がパルスの形状や振幅に与える影響を調べた。その結果、パルスの振幅は、降着柱の開口角や降着柱内の衝撃波の位置にはあまり依存しないことがわかった。一方、観測者が赤道面に近い場合や、磁軸と自転軸のずれが 70 度以上の場合、パルス形状が正弦波的な形状から大きく外れ、一つの周期中に二つピークが現れることを発見した。講演では観測との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](#)

W33b 大質量 X 線連星: IGR J00370+6122 の中性子星 X 線スペクトルおよび周期解析

内田和海, 高橋弘充, 深澤泰司 (広島大学)

大質量 X 線連星 (HMXB) は、ブラックホールや中性子星のようなコンパクト星と、OB 型主系列星からなる連星系である。このような系では、OB 型星が出す星風の一部がコンパクト星の重力によって取り込まれ、降着によって X 線で明るく輝く。コンパクト星が中性子星の場合、中性子星の持つ磁場強度によって降着の振る舞いが変化する。近年、これらの関係を定式化した降着トルクモデル: Ghosh&Lamb+79 が MAXI の数天体において適用され、観測的に整合性が検証された。これに従えば、トルク平衡状態にある中性子星 HMXB において、中性子星スピン周期が遅く、光度が低いものは磁場が強い可能性をもつと言われている。

我々は、2004 年に INTEGRAL 衛星によって発見された HMXB: IGR J00370+6122 の周期及びスペクトル解析を行っている。この天体は、B1Ib 星と中性子星からなる HMXB である。2005 年の RXTE/PCA 検出器による観測結果から、中性子星のスピン周期は 346 ± 6 秒、平均光度は $\sim 10^{34}$ erg/s と報告されている。前回の年会では、2008 年に取得された XMM-Newton 衛星の周期解析を行い、スピン周期が 336 ± 2 秒と大幅にスピニアップしていることについて報告した。ただし、スピン周期の誤差が大きいため、近年の観測データがないことから、磁場の定量的な評価には至っていない。本天体がトルク平衡状態であれば、HMXB においてマグネター並みの磁場を持つ中性子星として 2 つ目の観測例となる可能性がある。一方、トルク平衡でなければ、スピニアップから想定される大きな降着量と、低い光度を実現する物理について新たな知見を得ることができる。

本講演では、主に IGR J00370+6122 の XMM-Newton 観測データを用いた hardness ratio の時系列解析を行った。その結果、ハードになるフレアと、hardness が一定のままのフレア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](#)

W34b 連星中性子星合体初期の電磁波放射のスペクトル計算

石井彩子 (マックスプランク研究所), 茂山俊和 (東京大学), 田中雅臣 (東北大学)

2017 年 8 月に初めて連星中性子星合体からの重力波および電磁波放射が観測された。このイベントでは電磁波観測は合体から約 11 時間後に開始され、それ以前のごく初期の放射については観測されなかった。また、輻射輸送計算によって電磁波放射の光度曲線やエネルギースペクトルを再現する試みがなされてきたが、合体後約 1 日より前についてはオパシティーデータ不足により信頼できる結果が得られていない。よって現状、合体から数時間後の初期放射については観測的にも理論的にも明らかにされていない。重力波検出器の性能向上により観測される重力波天体の数は急増しており、近い将来にごく初期の放射が観測されることも期待できるため、その理論的予測は重要である。先行研究により、合体後の中性子星の最外層は相対論的速度で膨張しており、急激な密度・温度低下によって核融合反応が抑制されるため、そこでは自由中性子が存在することが示唆された (Metzger+2015)。生き残った自由中性子はベータ崩壊を起こして最外領域を加熱し、その結果、合体から数時間後に熱的放射が観測されることが示されている。ここでは最外層に水素やヘリウムといった軽元素しか存在しないため、スペクトル上にきれいなラインが現れる可能性がある。このようなスペクトルを輻射輸送計算によって予測し将来的な観測と比較することによって、中性子星最外層の自由中性子量や膨張速度を明らかにすることができる。本研究では、モンテカルロ法を用いた輻射輸送計算コードによって、合体後初期のスペクトルを計算した。コンプトン散乱過程および軽元素についての束縛-束縛遷移過程を導入し、先行研究 (Ishii+2018) にて行われた一次元流体計算結果の流体場プロファイル、自由中性子の質量分布などを用いて、合体から数時間後に見える放射の計算を行った。その結果、スペクトルには相対論的效果によって広がった吸収線が現れることがわかった。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

W35b 超短周期矮新星 OV Boo の 2017 年アウトバースト以降の測光観測

田邊健茲, 福田尚也 (岡山理科大学), Lew Cook (CBA, USA)

矮新星 OV Boo (牛飼い座 OV 星) は 1984 年に最初のアウトバーストが記録されているが、静穏期 (明るさが約 20 等) における軌道周期が検出されたのは 2005 年である (Szkody)。この時得られた軌道周期は約 67 分で、いわゆる Period Minimum (約 78 分) よりかなり短いことから、超短周期の矮新星として注目された。この天体は 2017 年 3 月にアウトバーストを起こし (検出は向井優氏による)、約 9 等増光したため、30 年を超える長い静穏期と大きな増光幅などから当初は WZ Sge 型矮新星の Superoutburst と考えられた。我々はハンプの周期を解析し、その値 (66.613 ± 0.009 分) が従来の軌道周期と誤差の範囲内で一致することを示した (Tanabe et al, 2018)。この際我々は測光の誤差が評価できる赤澤秀彦氏のデータを使用した。

2017 年 4 月以降この天体は急速に静穏期にはいったとみられるが、今回は我々の共同研究者であり、この天体をアウトバースト初期から 2019 年 5 月まで観測しているアメリカ、カリフォルニアの Lew Cook による測光データを解析して軌道周期を求めた。今のところ、最新の軌道周期は 66.51 分で、これまでに得られた軌道周期およびハンプの周期との間に有意な違いは認められない。これらの事実を総合すると、この天体が従来の WZ Sge 型矮新星とは異なるカテゴリーに属すると考えるのが自然であると思われる。

なお、この周期から連星系 OV Boo が重力波を放出して合体するのに要する時間についても計算を (Rees, Ruffini, Wheeler (1974) にある式を用いて) 試みたので、併せて報告する予定である。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

W36c 非一様媒質中を伝搬する相対論的衝撃波の Particle-in-Cell シミュレーション

富田 沙羅 (青山学院大学), 大平 豊 (東京大学)

ガンマ線バースト (GRB) の残光は、相対論的衝撃波下流での、被加速粒子のシンクロトロン放射によるものと考えられている。残光の観測は、下流の広い放射領域で、磁場が星間磁場を衝撃波圧縮した値より約 100 倍大きいと示唆している。つまり衝撃波圧縮の他に磁場の増幅機構が必要だと考えられるが、未解明である。一様媒質中での相対論的衝撃波の Particle-in-Cell (PIC) シミュレーションにより、衝撃波面近傍のワイベル不安定性で生成された磁場は、観測を説明するほどの広い放射領域を占めることができないことが分かっている。しかし現実の衝撃波が伝搬する星間空間は、非一様であり、その空間スケールや構造は非常に不定性が大きい。そこで、我々は、2 次元的密度構造を持ち、非一様プラズマ中を伝播する相対論的衝撃波の PIC シミュレーションを行った。今回は、上流磁場の、下流磁場のスペクトルや、加速された粒子のエネルギースペクトルに対する依存性について示す。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

W37c 超強磁場中性子星「マグネター」のバーストの時間的な性質(2)

中川友進 (国立研究開発法人海洋研究開発機構)

マグネターは量子臨界磁場を超える $\sim 10^{15}$ G の超強磁場を持つ中性子星である。磁気エネルギーの解放により X 線で輝くと提案されており、定常的に X 線を放射し、ときおり間欠泉のように強烈に X 線を放出するバーストを起こす。我々は、「すぎく」衛星や HETE-2 衛星の観測データを用いて、バースト・X 線定常放射によらずエネルギースペクトルは熱的成分 (二温度黒体放射、 ≤ 10 keV) と非熱的成分 (冪函数、 ≥ 10 keV) で構成されることを明かにした (Nakagawa et al. 2011; Enoto et al. 2012)。また、両成分の光度の間に 5 桁以上の相関がある事を見出した (Nakagawa et al. 2011)。さらに、X 線定常放射の強度揺らぎはポアソン分布から推定される値よりも有意に大きいことを見出した (Nakagawa et al. 2018)。そこで我々は、バースト・X 線定常放射に共通の放射機構が存在すると考えており、「X 線定常放射は多数のマイクロバーストの重ね合わせ」とする「マイクロバーストモデル」を提唱している (Nakagawa et al. 2009, 2011, 2018)。

マイクロバーストモデルによると、通常のバーストも多数の数ミリ秒の継続時間を持つマイクロバーストの重ね合わせと考えることができる。この予測を検証するために、HETE-2 衛星が観測したマグネターである SGR 1806-20 のバーストの光度曲線の Power Density Spectrum を調べた。時間ビンは 0.1 ms、エネルギー範囲は 6-30 keV とし光度曲線を作成した。その結果、バーストは >5.6 ms の継続時間を持つ同一の確率過程の現象の重ね合わせである可能性を見出した。この結果はマイクロバーストモデルとよく一致する。

[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](#)

W38a 高赤方偏移 Fast Blue Optical Transients の検出可能性

寺崎友規、茂山俊和、津名大地 (東京大学)

Fast luminous Blue Transient (FLBT) はタイムスケールが短く、SED が高温の黒体輻射でよくフィッティングできる突発的天体現象である。AT2018cow は 2018 年 6 月に初めて観測された近傍の FLBT である。そのメカニズムの詳細は未だに解明されていないが、多波長の観測から濃い CSM の中で起きた星の爆発現象であると考えられている (Margutti et al. (2019))。

FBOT はその光度の大きさ (10^{10} 太陽光度程度) と発生率の高さ (10^3 events yr $^{-1}$ Gpc $^{-3}$ 程度) から、WFIRST 等の次世代の近赤外線望遠鏡を用いることで、より高赤方偏移での観測が期待できる。また温度が高く (30,000K 程度)、SED がプランク関数によく従うことから、宇宙再電離のプロープとしても用いることができる。本講演では、WFIRST を用いて行った、AT2018cow をモデルとした FLBT の模擬観測の結果および、観測数を最大化するための観測パラメータについて述べる。

[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](#)

W39a r-process 元素の崩壊熱の影響を考慮した中性子星連星合体における Fall-back accretion

石崎 渉, 木内 健太 (Max Planck Institute for Gravitational Physics (Albert Einstein Institute), 京都大学 基礎物理学研究所), 井岡 邦仁 (京都大学 基礎物理学研究所)

連星中性子星合体からの重力波イベント GW170817 に同期して発見された kilonova の存在は、連星合体にともなう放出物質が r 過程元素の崩壊熱によって加熱されていることを強く示唆する。数値相対論を用いた連星中性子星合体のシミュレーションによると、放出物質の一部は依然重力的に束縛されていることが分かっている。つまり放出物質の一部は、しかるのちに合体後の星に向かって fallback accretion していく。標準的な fallback accretion の理論モデルでは、物質の有限温度効果が考慮されていないが、実際の連星中性子星合体では放射性元素の崩壊熱によって放出物質の温度は有限に保たれている。

我々は、加熱の効果を考慮した球対称の相対論的流体力学の方程式を解くことで、r 過程元素の加熱が放出物質の fallback accretion にどのような影響を与えるのかを評価した。今回は、その結果とそこから得られる示唆について述べる。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

W40a 連星中性子星合体残骸からの r-process 元素崩壊計算による核ガンマ線推定

三輪祐也 (埼玉大学), 寺田幸功 (埼玉大学), 藤本信一郎 (熊本高等専門学校), 勝田哲 (埼玉大学), 馬場彩 (東京大学), 山崎了 (青山学院大学)

連星中性子星合体は r-process による重元素合成の現場とされ、崩壊の過程で出る核ガンマ線を検出できれば、r-process 合成の直接的な証拠になるだけでなく、r-process 合成の環境に関する診断も行えるはずである。しかし、現在の観測では r-process 元素からの核ガンマ線を捉えることはできておらず、探査すべき核ガンマ線の不明瞭さや検出器感度の不足が問題となっている。

本研究では連星中性子星合体の残骸から放出される核ガンマ線の輻射量を計算し、その検出に向けた感度要求値を提示することを目的とした。r-process 元素合成データは Freiburghaus et al. 1999 の断熱膨張モデルを使用し、元素合成に寄与した ejecta は $0.01 M_{\odot}$ と仮定した。合成結果を元素崩壊データベース (JENDL/DDF-2015) にしたがって崩壊させ、中性子星合体後 30,000 年まで、核ガンマ線の時間発展を推定した。爆発直後の先行研究 (仏坂ら 2016) よりも光学的に薄い残骸期を対象とし、爆発直後の放射伝播や輝線のドップラー広がりは無視して、現在や計画中の検出器の輝線感度と比較した。

結果、距離 10 kpc の連星中性子星合体残骸なら、現在稼働中の INTEGRAL/SPI (輝線感度 $\sim 2 \times 10^{-5}$ ph/cm²/s) では、10 歳以下なら ¹²⁵Sb (427keV) などが検出可能で、さらに計画中の e-ASTROGAM や AMEGO (輝線感度 $\sim 5 \times 10^{-6}$ ph/cm²/s) では、10–100 歳の残骸から ¹³⁷Ba 異性体 (661keV) が検出可能であると結論づけた。また、シェル型超新星残骸 G4.8+6.2 を連星中性子星合体残骸とする仮説 (Liu et al. 2019) が正しければ、²⁴³Am (76.4keV) の検出可能性が高いが 1×10^{-8} ph/cm²/s の感度が必要となる。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

W41a コクーン光子を用いた短いガンマ線バーストにおける高エネルギー粒子放射

木村成生 (東北大学)

短いガンマ線バーストは連星中性子星が合体した時に発生すると考えられており、このモデルは重力波と電磁波対応天体のマルチメッセンジャー観測 GW 170817 によってより強固なものとなった。この事象ではガンマ線が重力波から遅れて観測されたことから、合体からジェットの射出までには時間差があったと考えられる。この場合、ジェットが噴出物質と相互作用し、ジェット周囲にはコクーンが形成される。一方、短いガンマ線バーストでは残光の観測から長期放射やプラトー放射と呼ばれる成分が付随している。これらの成分は単純な前進衝撃波モデルでは説明できないため、中心エンジンが長時間活動をしていると考えられている。短いガンマ線バーストの即時放射の際に形成されたコクーンは、数秒程度で噴出物質を突き破って膨張を続ける。そのため、長期放射やプラトー放射の際に射出されたジェットの散逸領域はコクーンに覆われている可能性がある。この場合、コクーンから種光子が供給され、散逸領域で加速された電子が逆コンプトン散乱過程で高エネルギーガンマ線を放射する。本研究ではこのコクーン光子場を考慮に入れた上で数値的に高エネルギー放射を計算し、逆コンプトン散乱により叩き上げられたコクーン光子が重力波源の高エネルギーガンマ線対応天体として、フェルミ衛星の LAT 望遠鏡や Cherenkov Telescope Array によって検出可能であることを示した。もし、散逸領域で陽子が加速されていれば、この種光子を用いて高エネルギーニュートリノも生成される。ここでは長期放射やプラトー放射の重力波源のニュートリノ対応天体としての検出可能性も議論する。

[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](#)

W42a off-axis GRB の残光から GRB ジェットの構造を解く逆問題の研究

高橋和也 (京大基研)、井岡邦仁 (京大基研)

連星中性子星合体からの重力波に付随した GRB170817A の残光光度曲線は、エネルギー分布が角度依存した構造を持つ相対論的ジェットの off-axis で観測したとすると説明可能である。GRB ジェットがどのような構造を持つかは、ジェットの生成・伝播メカニズム等と関係し得るため興味深く、観測・理論の両面から研究がなされているがよくわかっていない。本研究では、off-axis GRB の残光光度曲線を用いて、ジェットのエネルギー分布を構築する新しい手法を提案する。従来の手法ではエネルギー分布の関数形を仮定する必要があったが、本手法では関数形を仮定する必要がなく、ジェットが任意のエネルギー分布を持っていたとしてもその分布を再構築可能であるのが特徴である。本手法を GRB170817A の残光に適用することで、ガウシアン型でもベキ型でもない、中空円錐 (hollow-cone) 型ジェットも観測と整合的であることがわかった。本発表ではエネルギー分布を求める手法と上記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](#)

W43a MAGIC 望遠鏡による GRB 190114C からの逆コンプトン散乱放射の観測

浅野勝晃, 深見哲志, 野田浩司 (東大宇宙線研), 井上進 (理研), Alessio Berti (INFN), Stefano Covino (INAF), Davide Miceli, Lara Nava (INFN, INAF), Elena Moretti (IFAE), 須田祐介 (MPP), Ievgen Vovk, Daniela Hadasch, 稲田知大, 岩村由樹, Daniel Mazin, 齋藤隆之, 櫻井駿介, Marcel Strzys, 高橋光成, 手嶋政廣 (東大宇宙線研), 窪秀利, 野崎誠也 (京大理), 櫛田淳子, 西嶋恭司 (東海大), 他 MAGIC collaboration, 有元誠 (金沢大)

MAGIC 望遠鏡は 2019 年 1 月 14 日に発生したガンマ線バースト GRB 190114C (赤方偏移 $z = 0.4245$) をバースト発生後 57 秒から観測することに成功し、300 GeV 以上の超高エネルギーガンマ線を 50σ の有意度で初検出した。ガンマ線は減光しながら約 2 千秒に渡って観測され、外部衝撃波起源の残光を観測していると解釈される。本講演では MAGIC 望遠鏡の結果と合わせ、Fermi ガンマ線望遠鏡、Swift XRT、GMRT などによる多波長観測データを報告する。残光の光度曲線とスペクトルを総合的に解釈すると、MAGIC が検出したガンマ線はシンクロトロン自己コンプトン放射 (SSC) を起源と考えて矛盾が無い。得られた物理パラメータは通常想定している値と大きく異なることは無く、他の多くの GRB でも同様の SSC 放射を伴うことが示唆され、条件が良ければ今後も地上チェレンコフ望遠鏡での検出が期待できる。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

W44a 全変動最小化を用いた矮新星アウトバースト時における円盤構造の時間発展の再構成

大島誠人 (兵庫県立大学)、植村誠 (広島大学)

矮新星のアウトバーストは、古くから知られる降着円盤における活動現象の一つであり、円盤上の熱的不安定性によるものだと考えられている。しかし、アウトバースト開始時に局所的に引き起こされた熱的不安定性が円盤全体へと波及する際の時間発展の過程については、観測が難しくあまり研究は進んでいない。光度曲線からおおまかな傾向について議論されることはあるが、円盤を直接観察することは分解能の問題があり現在の技術では難しく、これ以上の詳細な構造に着目した研究はあまりなされていないのが現状である。

本研究では、アウトバーストの頻度が高く時間発展を追うことが容易で、かつ極小でも分光が可能な明るさを持つ矮新星いくつかに着目して、アウトバーストのさまざまなフェイズにおける分光観測を行い、ドップラートモグラフィを用いて円盤の輝度分布の再構成を試みた。観測には兵庫県立大学西はりま天文台なゆた望遠鏡と低中分散分光器 MALLS を使い、 $R \sim 9000$ の中分散グリズムを用いた。ドップラートモグラフィには全変動最小化を用いることで、より詳細な再構成を可能とした。

また、従来では矮新星におけるスペクトルはアウトバースト時は吸収線、静穏時は輝線が見られるとされてきたが、アウトバースト開始時に必ずしもこの描像があてはまらないスペクトルの変化が見られた。本発表では、この点についても考察する予定である。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

W45a TCP J21040470+4631129 : 特異な再増光を見せる WZ Sge 型矮新星

反保雄介, 小路口直冬, 若松恭行, 加藤太一, 野上大作, 木邑真理子, 磯貝桂介 (京都大学), Tonny Vanmunster, Tamas Tordai(VSNET), VSNET Collaboration, VSOLJ Collaboration

矮新星は、主星である白色矮星と伴星である低質量星、伴星から主星へと輸送された物質による降着円盤からなる近接連星系である。この系では、円盤の熱不安定によってノーマルアウトバーストと呼ばれる増光現象を起こすことが知られている。また、より質量比(=伴星質量/主星質量)の小さな系では、スーパーアウトバーストと呼ばれるより光度変化の大きい現象が観測されることがあり、3:1 共鳴半径まで成長した円盤の潮汐不安定によるものであると考えられている。中でも質量比の小さな系では、アーリースーパーハンプと呼ばれる、軌道周期とほぼ同じ周期での変動を見せるものがあり、これらは WZ Sge 型矮新星と分類される。さらに、WZ Sge 型矮新星の中には、スーパーアウトバースト直後に、再増光と呼ばれる 1~ 数回のアウトバーストを起こす天体が知られている。

TCP J21040470+4631129 は 2019 年 7 月にスーパーアウトバーストが観測された矮新星である。この天体は、アーリースーパーハンプ及び複数回の再増光が観測されたことから、WZ Sge 型矮新星であることが確認された。また、複数回の再増光を示した既知の天体では、再増光はすべてノーマルアウトバーストであったが、この TCP J21040470+4631129 はスーパーアウトバースト型の再増光という、観測史上初めての現象を見せた。この現象を説明するためには、スーパーアウトバースト直後に円盤の質量および角運動量が増加し、再び 3:1 共鳴半径まで円盤が成長することが必要である。本講演では、この特異な現象やメカニズムの詳細について報告、議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

W46a 連星の公転軌道面から傾いた円盤で働く熱不安定: IW And 型矮新星の光度変動への応用

木邑真理子, 加藤太一, 嶺重慎 (京都大学), 尾崎洋二 (東京大学)

矮新星は白色矮星(主星)と低質量星(伴星)から成る近接連星系で、主星の周囲に円盤を持ち、時折アウトバーストと呼ばれる突発的増光を示す。アウトバーストは、基本的には熱不安定により円盤が高温状態と低温状態を行き来する円盤不安定モデル(Osaki 1996)で説明できるが、近年、シンプルなモデルでは説明できない円盤光度の変化を示す天体が発見されている。その一つである IW And 型矮新星は、減衰振動を伴う中間的な明るさの状態(quasi-standstill)を示し、quasi-standstill は常に小規模な増光によって終了する(Kato 2019)。最近の観測から、いくつかの IW And 型矮新星は連星の公転軌道面から傾いた円盤を持つことが示唆された(Gies et al. 2013)。傾いた円盤は歳差運動するため、伴星から来るガスが直接円盤の内側に流れ込むことがある。この場合、円盤が傾いておらず常に円盤外縁部にガスが供給される場合と比べ、熱不安定の発展の仕方が異なると予想できる。そこで私達は、Ichikawa & Osaki (1992)に基づいて計算コードを作成し、伴星からの様々なガス供給パターンを考慮して円盤不安定の数値シミュレーションを行った。その結果、伴星からの質量輸送率がある程度高い場合には、円盤内側はほとんどの時間高温状態であり、円盤外側は長い間低温状態を保ち、ある程度質量が貯まると高温状態へ移行すること、円盤の中間領域は、常に高温状態と低温状態を行き来することがわかった。このとき、円盤光度は時折光度の落ち込みを伴う振動状態と小規模な増光を交互に繰り返す。また、質量輸送率が一定でも、ガス供給パターンの変化により多彩な光度変動が生まれることも確認できた。本講演では、上記の結果の報告に加え、私達のモデルでどの程度 IW And 型矮新星の特徴的な光度変動を再現でき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](#)

W47a 超新星ニュートリノで探る中性子星の質量と半径

中里健一郎 (九州大), 鈴木英之 (東京理科大)

重力崩壊型超新星は、太陽の約 10 倍以上の質量を持つ恒星が、その進化の最後に起こす爆発現象である。その過程で大量のニュートリノが放出されるとともに中性子星が残されるため、超新星ニュートリノを詳しく観測することは、形成される中性子星の質量や半径を探る手がかりを与えると期待される。

そこで本研究では放出される超新星ニュートリノと形成される中性子星の質量や半径の関係を調べるため、原始中性子星の進化をバウンス直後から数十秒のタイムスケールにわたって数値計算した。その際、さまざまな中性子星半径をもつモデルをカバーするため、現象論的な状態方程式を構築して計算に用いた。この状態方程式では、ゼロ温度部分については非圧縮率 K や対称エネルギーの勾配 L といった核密度付近の性質を示すパラメータをそのまま用いるとともに、有限温度効果については核子の effective mass をパラメータに用いることで、系統的な解析を可能とした。

その結果、反電子型ニュートリノの光度曲線の e -folding time を原始中性子星の冷却時間スケール τ_{cool} と定義すると、 τ_{cool} は核子の effective mass のほかには、最終的に形成される中性子星の質量 m と半径 r に依存し、その依存性は Kelvin-Helmholtz timescale を用いて理解できることがわかった。さらにこの関係式と、Lattimer & Prakash (2001) によって提案された中性子星の重力束縛エネルギーと m, r の関係式を連立させることにより、超新星ニュートリノの情報だけから中性子星の質量と半径に制限を与える手法を紹介する。

[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](#)

W48a 重力崩壊型超新星のボルツマン方程式によるニュートリノ輻射流体計算

岩上わかな, 大川博督, 長倉洋樹, 原田了, 古澤峻, 松古栄夫, 住吉光介, 山田章一

我々は、ボルツマンニュートリノ輻射流体コードを用いて、三次元空間における 11.2Msol の星の重力崩壊計算を 20ms まで行った。古澤一富樫の状態方程式を使って、3 種類のニュートリノの位相空間における時間発展方程式であるボルツマン方程式と、空間 3 次元オイラー方程式を同時に解くコードを、京や名古屋大学の FX100 を使って実行した。我々は負のエントロピー勾配が発生するバウンス後 1ms から空間 3 次元計算を開始し、10ms 前後で原子中性子星の中で対流が成長することを確認した。そして、三次元的な構造を持つ対流が発達している場合のニュートリノの輻射輸送プロセスを解析し、M1 法などのニュートリノ輻射輸送の近似手法を評価するための新しい手法を提案した。その手法は、エディントンテンソルの固有値や固有ベクトルを利用して、ニュートリノ分布を楕円体近似する手法であり、 j ボルツマン方程式を解いて得られた分布関数に対し定量的な評価を可能にする。これにより、ある特定の性質に対し、ボルツマン輻射流体計算の結果から直接計算されたエディントンテンソルと M1 クロー j ジャー法により得られたエディントンテンソルが一致しない場合があることがわかった。すなわち、ニュートリノ分布関数を楕円体近似した際に、ボルツマン輻射流体計算では扁平な分布になる場合を M1 クロー j ジャー法では再現できていないということがわかった。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

W49a デシヘルツ重力波天文学における Ia 型超新星起源の探査

武田紘樹 (東京大学), 衣川智弥 (東京大学), 山口弘悦 (JAXA, 東京大学)

Ia 型超新星は白色矮星の核融合爆発であると広く考えられているが、爆発を引き起こす機構等は様々なモデルが存在し未だに総意が得られていない。

連星白色矮星合体は Ia 型超新星親星の一つの候補である。DECIGO などのデシヘルツ帯に感度を持つ宇宙重力波望遠鏡は、連星白色矮星から放出される重力波を直接観測できる。したがって、重力波と電磁波を用いて連星白色矮星合体と Ia 型超新星の相関をとるマルチメッセンジャー天文学によって、Ia 型超新星の親星に迫ることが可能になると期待される。もし連星白色矮星合体がその起源ならば、重力波の観測から構成される白色矮星の質量などを読み取ることで詳細な機構の解明も期待される。

本講演では、主に Ia 型超新星のイベントレートと連星白色矮星合体から放射される重力波のパラメータ推定精度の二点を報告する。

まず、母銀河と Ia 型超新星の関係式や銀河カタログを用いて Ia 型超新星が一年に一回発生するための最小検出距離として約 11Mpc という結果を得たことを示す。

次に、デシヘルツ帯の宇宙重力波望遠鏡の代表として、DECIGO の連星白色矮星合体からの重力波のパラメータ決定精度をフィッシャー解析を用いて見積もる。その結果、DECIGO では年間 50 から 2000 発のイベントの観測が期待され、多くの場合前もって母銀河を特定できるだけの位置決定精度があることを示す。

[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](#)

W50a 質量の近いブラックホールと中性子星の連星の合体に対する数値相対論的研究

林航大 (京都大学), 川口恭平 (東京大学), 木内建太 (マックスプランク研究所・ポツダム), 久徳浩太郎 (京都大学), 柴田大 (マックスプランク研究所・ポツダム, 京都大学)

重力波望遠鏡が本格的に観測を開始し、重力波イベントの観測数が増加している。特に、ブラックホール・中性子星連星 (ブラックホールと中性子星からなる連星) の合体を波源の候補とする重力波の観測も行われている。しかし、波源となる天体を確定するには至っていないのが現状である。

重力波やその電磁波対応天体の観測を通して波源の性質を明らかにするためには、理論的に系の振る舞いを理解することが必須である。しかし、従来のブラックホール・中性子星連星の合体についての研究は、ブラックホールの質量が 4 太陽質量や、それよりも大きいものに注目したものが主である。ブラックホールと中性子星の質量が比較的近い場合に注目した研究はほとんど行われていない。これは、X 線で観測されたブラックホールの質量が 20 太陽質量から 5 太陽質量程度であり、3 太陽質量を下回るような質量を持つブラックホールの存在はあまり期待されていないことによるものである。しかし、重力波で観測されたブラックホールには 30 太陽質量を超えるものも多数含まれており、従来の予想に比べて大きい質量をもっていた。これと同様に 3 太陽質量を下回るような小さい質量を持つブラックホールが存在して、中性子星と連星系をつくる可能性もある。

そこで我々は、質量が 3、2.5、2 太陽質量のブラックホールと 1.35 太陽質量の中性子星からなるブラックホール・中性子星連星の合体について数値相対論シミュレーションを実行し、系の振る舞いを明らかにした。特に、電磁波対応天体の観測の可否につながる、中性子星の構成物質の放出量と、合体後に残るブラックホール周りに形成される降着円盤の質量に注目した。本講演ではこの結果について発表する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

W51a 重力波観測ラン O3 におけるすばる/HSC での観測

大神隆幸, 富永望 (甲南大学), 吉田道利, 柳澤顕史 (国立天文台), 田中雅臣 (東北大学), 笹田真人 (広島大学), 諸隈智貴, 新納 悠, 鹿内みのり (東京大学), 内海洋輔 (スタンフォード大学), 伊藤亮介 (美星天文台), 森鼻久美子, 亀井悠平 (名古屋大学), 村田勝寛 (東京工業大学), 松林和也 (京都大学), 宝田拓也 (埼玉大学), 小野里宏樹 (兵庫県立大学), 関口雄一郎 (東邦大学), J-GEM Collaboration

LIGO/Virgo による 2015 年の重力波の初検出を皮切りに重力波天文学が開拓され、さらに中性子星連星合体イベント GW170817 における電磁波での対応天体同定により、マルチメッセンジャー天文学の新しい扉が開いた。日本では J-GEM (Japanese Collaboration for Gravitational-Wave Electro-Magnetic Follow-up) を組織し、日本の国内外の可視・近赤外線望遠鏡での重力波の即時フォローアップ観測を行っている。その中でも視野 1.8 平方度のすばる望遠鏡 Hyper Suprime-Cam (HSC) は、10 ~ 100 平方度に及ぶ重力波望遠鏡の位置決定精度に対して必要不可欠な広視野観測を実現する 8m 級望遠鏡唯一の装置として注目されている。2019 年 4 月に重力波干渉計の 3rd Observing Run (O3) が始まり、2019 年 12 月 2 日現在までに検出されたイベントの中の 10 個が中性子星を含む可能性があるとして報告されている。我々はすばる望遠鏡/HSC を用いてその中の 1 つのイベント S190510g に対してサーベイ観測を実施した。特筆すべきは、最初の検出アラートを受け取ってからわずか 1.7 時間に観測を開始したという迅速な対応である。本重力波イベントでは対応天体が発見されていないが、もし発見できていれば、世界で初めて電磁波での対応天体が発見された連星中性子星合体イベント GW170817 の時よりも早い段階での光度曲線上のデータ点が得られていたはずである。本講演では重力波イベント S190510g におけるすばる望遠鏡/HSC の観測とデータ解析およびその結果、さらに O3 後半での活動状況を報告する。

[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](#)

W52a MAXI による重力波源 X 線対応天体の探査 (2019–2020 年)

芹野素子, 杉田聡司 (青学大), 根来均 (日大), 河合誠之 (東工大), 三原建弘 (理研), 杉崎睦 (東工大・中国国家天文台), 他 MAXI チーム

2017 年に中性子星連星合体からの重力波とそれに伴う電磁波対応天体が観測された。この発見によって、重力波源が初めて電磁波で特定できただけでなく、継続時間の短いガンマ線バーストの少なくとも一部は中性子星連星合体を起源としていることが明らかになった。

一方で、X 線の対応天体が発見されたのは 9 日後であり、その後も増光が確認されたことから初期には暗かったことが予想される。X 線での対応天体の探査は最も早かった MAXI でも 4.6 時間後、Swift/XRT では約 15 時間後であり、いずれも検出できていないが、これより前の時間帯に関しては観測例がないため、より早期に観測することは重要である。

MAXI は 2–20keV のエネルギー帯で 92 分毎に全天の 8 割強を観測できるため、重力波の到来方向の広い推定範囲をカバーするのに適している。例えば、現在の重力波観測装置が検出可能な 170Mpc の距離で短いガンマ線バーストが発生し、X 線残光が典型的な明るさであったとすれば、発生から 92 分以内に MAXI が観測することで検出が可能である。

2019 年に開始された第 3 期の重力波観測では、前回の反省から探査範囲を広げるために運用時間の拡大を始めた。今期の重力波観測に関して、これまでに 37 件 (このうち 9 件が中性子星を含む可能性がある) の重力波イベントの MAXI でのカバー率とフラックスの上限値を報告した。講演では、今期の観測の成果についてまとめて報告を行う。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

X01a ALMA CO Observations of the Host Galaxies of Long-duration Gamma-ray Bursts. I: Molecular Gas Scaling Relations

廿日出文洋, 河野孝太郎, 新納悠 (東京大学), 橋本哲也 (台湾国立清華大学), 中西康一郎 (国立天文台/総研大), 太田耕司 (京都大学), 田村陽一 (名古屋大学)

Long-duration gamma-ray burst (GRB) は大質量星の爆発に起因しており、星形成活動と密接に関連していると考えられている。GRB は非常に明るく、遠方 ($z > 8$) でも観測可能なため、遠方宇宙の星形成活動を探る新たなツールとして期待されている。しかし、GRB が一般的な星形成銀河で発生するのか、バイアスの無い星形成トレーサーとして使えるかどうかは見解が分かれている。GRB がどのような星形成環境で発生するかを明らかにするためには、母銀河の詳細な観測が重要である。

我々は、GRB 母銀河における分子ガスの性質を探るため、ALMA を用いて 14 の GRB 母銀河 ($z = 0.1-2.5$) における CO 輝線観測を行った。その結果、8 つの母銀河から CO 輝線を検出することに成功した。これは、今まで CO が検出された GRB 母銀河のサンプル数を 2 倍以上に増やす成果である。金属量依存の CO-H₂ 変換係数を用いた分子ガス質量は $M_{\text{gas}} = (0.2-6) \times 10^{10} M_{\odot}$ である。過去に CO 観測が行われた母銀河と合わせることで、既存の研究で最大のサンプル (CO 非検出も含め計 25 天体) を用いた分子ガスの研究を行うことが可能となった。星形成率によるサンプルのバイアスを除くため、galaxy main sequence からの距離の関数として分子ガス質量比、ガス消費時間を他の銀河種族と比較した。その結果、GRB 母銀河は他の星形成銀河種族と同じスケール則に従うことが分かった。これは、分子ガスの観点で、GRB 母銀河は他の銀河種族と違いがない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](#)

X02a Atacama Compact Array Band 8 受信機を用いた、近傍超高光度赤外線銀河の [C_I] ³P₁-³P₀, CO ($J=4-3$), 600 μ m ダスト連続光サーベイ観測

道山知成 (KIAA/PKU), 伊王野大介, 植田準子, 中西康一郎, 山下拓時 (NAOJ), 斉藤俊貴 (MPIA)

分子ガス質量は、銀河の性質を決める上で重要な観測量である。約 50 年前にミリ波望遠鏡が発展して以降、天文学者は一酸化炭素分子 (CO) の低励起 (例: $J=1-0$ at 115 GHz) 輝線強度をもとに、近傍銀河の分子ガス質量を求めてきた。遠方銀河では、赤方偏移したサブミリ波・テラヘルツ帯の観測から分子ガス質量を求める手法が用いられている。例えば、炭素原子観測 (例: [C_I] ³P₁-³P₀ at 492GHz) を用いる方法、星間ダストのレイリー・ジーンズ側の連続光観測、高励起 CO 観測から求める方法等である。これまでの観測的課題は、近傍銀河の静止系高周波観測が困難 (ハーシェル等の宇宙望遠鏡を使う必要がある) かつ、遠方銀河の低周波観測が困難 (VLA 等で長時間積分する必要がある) であるため、両者の間で分子ガス質量導出の手法が異なり、近傍と遠方宇宙の分子ガス質量に対する統一的な議論が困難であったことである。近年、高周波数帯の受信機開発が進んだことにより、地上望遠鏡を用いて近傍銀河の炭素原子観測等が可能となり、サーベイ観測の効率が向上した。そこで我々は Atacama Compact Array (ACA) を用いて、約 40 天体の近傍超高光度赤外線銀河の CI(1-0), CO(4-3), 600 μ m continuum サーベイ観測を行なった。本講演では 2018 年 11 月から現在までの間に観測した、最新の結果を示す。それぞれの手法で独立に測定した分子ガス質量、過去の CO(1-0) 観測との比較、高赤方偏移天体との比較の結果等を紹介する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

X03a サブミリ波銀河の輝線から探る大規模構造

三橋一輝 (東大), 松田有一, 伊王野大介, 但木謙一, 播金優一 (NAOJ), 梅畑豪紀 (理研), 早津夏己 (東大)

銀河進化を探る上で、原始銀河団を含む大規模構造の探索ならびにその詳細を調べることは、銀河形成の環境依存性を理解する上で非常に重要であると言える。現状では主に大規模構造のトレーサーとして Lyman Break Galaxy や Lyman Alpha Emitter などをトレーサーとして用いている。それらの銀河種族を用いる上での長所は銀河の観測的性質上、赤方偏移が推定しやすいことであるが、サブミリ波銀河などの大質量星形成銀河は選択することができない。一方でサブミリ波銀河は大きなダークマターハローの中に存在していると考えられているためトレーサーとして非常に有効であるが、ダスト減光の影響で赤方偏移の推定が難しく、同じ大規模構造に属していることを示すのは難しい。そこで今回我々は COSMOS 領域において SCUBA-2 で検出された 160 個の明るいサブミリ波元に対し、ALMA Band7 でフォローアップ観測を行なった。アーカイブデータを加えた 184 個のうち 64 個の data cube で SCUBA-2 では分解できていなかった複数のサブミリ波銀河が見つかり、結果として 261 個のサブミリ波銀河を連続波 4.3σ 以上で検出した。それらの data cube に対して連続波の検出点以外も含めて輝線探査を行なった結果、確かな輝線を連続波の検出点に 6 つ検出した。spectral window の端に輝線が見えた 1 天体を除く 5 天体で多波長の測光データを用いて輝線の検証を行ったところ、それらの輝線は全て [CII] か、もしくは [CII] である可能性が非常に高い輝線であることと結論づけた。また、それら 5 天体は天球面上で $\sim 6'$ のスケールで分布しており、 $z \sim 4.62$ での 10cMpc に渡る [CII] emitter の集団であると考えられる。COSMOS 領域においては先行研究において $z \sim 4.6$ 付近で今回の [CII] emitter から数 10cMpc の距離に AGN や原始銀河団が存在しており、これらにより $z \sim 4.6$ における原始銀河団を超えるような大規模構造の一端をみるることができたと言える。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

X04a 遠赤外線輝線銀河のブラインド探査による星形成史の研究

Natsuki H. Hayatsu (The University of Tokyo), and ADF22 team

Though current observational results suggest that the dominant component of star-formation rate density (SFRD) alters from less dusty to dusty at redshift $z \sim 3$, the SFRD earlier than $z \geq 5$ has been estimated only from rest-UV observations. In addition, the cold gas component has not yet been estimated at most of the redshift range. Therefore, blind searches for far-infrared (FIR) lines to estimate such a missing/hidden SFRD, especially in the early Universe, must be performed by current and next-generation mm/sub-mm telescopes. Before moving into such a new era, it is essential to develop a method to efficiently detect faint line-emitting sources whilst considering the completeness of source detection and contamination by false detections.

With our constructed method, two [CII]158 μ m candidates were detected blindly in a Cy-2 ALMA survey covering ~ 5 arcmin², with a single tuning, along with two CO lines associated with galaxies at lower redshifts. Various tests suggested at least one of the two candidates should be robust. Nevertheless, our deeper observations in Cy-5 recover neither candidate, demonstrating a higher contamination rate than expected. We then construct a noise generation process in the visibility plane to reproduce a clump-like structure in ALMA datacube. The re-calculated contamination rate using 100 mock datacube expresses 0.43 ± 0.67 false-detection per datacube. We also investigate the detectability of line-emitting sources with various peak flux and line width by injecting artificial sources into the visibility plane. Finally, we develop a method to re-construct line LF and resultant SFRD upper limit shows good agreement with the 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](#)

X05a Discovery of a new group consisting of four submillimeter galaxies at $z = 3.2$

Soh Ikarashi (Durham University), Karina Caputi (Kapteyn Astronomical Institute), Rob Ivison (ESO), Nobunari Kashikawa (University of Tokyo)

Intensive ALMA continuum imaging surveys toward bright submillimeter galaxies (SMGs) revealed that $\gtrsim 20\%$ of those SMGs consisting of more than two fainter SMGs, contrary to our previous understanding that bright SMGs have only one infrared luminous ($L_{\text{IR}} \gtrsim 10^{13} L_{\odot}$) counterpart galaxy. Now a new question is whether the multiple SMGs located close each other on the sky are physically bounded at a same redshift.

We report the discovery of a new group of SMGs at $z = 3.2$ consisting of four SMGs. This group was originally discovered as the brightest AzTEC SMG ($F_{1100\mu\text{m}} = 7.7 \text{ mJy}$), SDF1100.001 in the Subaru Deep Field. Our ALMA 1-mm continuum mosaic map covered the entire AzTEC beam ($\phi = 30''$) with a uniform rms sensitivity of $\sim 70 \mu\text{Jy beam}^{-1}$, and resolved SDF1100.001 into four SMGs, SDF1100.001.1 (3.4 mJy), 2 (1.5 mJy), 3 (1.1 mJy), and 4 (1.3 mJy). In order to obtain the spectroscopic redshifts of those SMGs, we conducted blind CO line scans at 100-GHz band toward SDF1100.001 using NOEMA. The NOEMA spectra detected a CO(3-2) line from all of the four SMGs, indicating that they are located at $z = 3.2$. The two submillimeter continuum brightest SMGs at the center of the group have a very wide CO(3-2) line width of $\sim 800\text{--}700 \text{ km s}^{-1}$ (FWHM), which is predicted by simulation of a gas-rich major merger. The multiple SMGs in the SDF1100.001 field may be triggered by multiple gas-rich major mergers, and there massive galaxies are rapidly being assembled.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

X06a ALMA uncovers the [CII] emission and warm dust continuum in a $z = 8.31$ LBG

Tom Bakx, Y. Tamura (Nagoya University), E. Zackrisson, I. Shimizu, T. Hashimoto, H. Umehata, A. Inoue, H. Matsuo, T. Okamoto, N. Yoshida, Y. Taniguchi, B. Hatsukade, Y. Matsuda, K. Mawatari, T. Shibuya, K. Kohno, K. Ota, M. Lee

Forming a complete picture of star-formation through cosmic time is one of the main challenges of galaxy evolution studies. Our current understanding of star-formation at high redshifts ($z > 7$) is mostly formed through rest-frame ultraviolet (UV) observations of Lyman-Break Galaxies (LBGs), which directly probe their stellar light and ionized hydrogen. Complementary to this, the Atacama Large Millimeter/submillimeter Array (ALMA) has detected UV-selected high-redshift galaxies in sub-mm colours, tracing dust-obscured regions and far-infrared spectral lines (e.g. [OIII] at $88 \mu\text{m}$) out to redshifts around 8 to 9. One such galaxy is the Y-dropout galaxy, MACS0416_Y1, where a previous ALMA detection of [OIII] (and dust continuum) confirmed its spectroscopic redshift to be $z = 8.312$. Modeling of its UV-to-FIR spectrum suggests both a young (age $\sim 4 \text{ Myr}$) and old stellar component ($z \sim 14$) in a moderately high metallicity ($Z \sim 0.2 Z_{\odot}$) LBG.

We present the highest-redshift detection of the [CII] $158 \mu\text{m}$ line in MACS0416_Y1 using ALMA. Its high [OIII]-to-[CII] luminosity ratio (~ 9) implies a strong inter-stellar radiation field, and the [CII] velocity profile suggests a rotation-dominated system. Surprisingly, we fail to detect the dust continuum emission at $160 \mu\text{m}$ rest-frame, suggesting an extremely high dust temperature ($T_{\text{dust}} > 80\text{K}$), which could imply that recent ALMA studies might have significantly over-estimated dust-masses in the Early Universe.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

X07b [OIII] 88 μm , [CII] 158 μm , 遠赤外線の光度を用いた赤方偏移 $z = 8.312$ の銀河に対する星間物質の “porosity” の推定

萩本将都, 田村陽一, Tom Bakx, 須永夏帆, 谷口暁星 (名古屋大学), 井上昭雄 (早稲田大学), 橋本拓也 (筑波大学), 馬渡健 (東京大学 ICRF), 播金優一, 松尾宏 (国立天文台)

宇宙再電離期において、若い銀河から放射される電離光子がどのように銀河間空間に脱出し、最終的に宇宙を再電離したかは、銀河内の大質量星を取り囲む中性水素領域の多孔性の度合い、すなわち “porosity” に依存する。近年、ALMA の登場によって観測が可能になった高赤方偏移銀河の [OIII] 88 μm や [CII] 158 μm 等の遠赤外線微細構造線は、星間物質の物理状態を推定するのに有用である。これまでに我々は、ALMA を用いて $z = 8.312$ のライマンブレイク銀河 MACS0416_Y1 に対して [OIII] 88 μm と 850 μm のダスト連続光を検出したことに加え (田村他 2019)、[CII] 158 μm の検出に成功した (Bakx 他 2020 春季年会)。

そこで本研究では、これら 2 つの輝線光度とダストの遠赤外線光度 (8–1000 μm) を、光電離・光解離モデル CLOUDY (Ferland 他 2017) の計算結果と比較することで、MACS0416_Y1 における星間物質の物理状態、とりわけ中性水素領域が電離水素領域を覆っている割合、 f_{cov} を推定した。この際、Cormier 他 (2019) を参考にしてモデルの作成と解析を行った。その結果、MACS0416_Y1 が小さい f_{cov} を持つことがわかった。また、*Herschel* 宇宙望遠鏡による近傍銀河の分光探査結果と比較すると、MACS0416_Y1 は矮小銀河に近い光度比を持つことがわかった。これらの事実から、MACS0416_Y1 では電離領域の一部が中性水素領域に覆われていない剥き出しの状態、つまり星間物質の porosity が大きいということが示唆される。

[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](#)

X08b 赤方偏移 $z=9.11$ [O III] 輝線銀河の ALMA サイクル 6 追観測

徳岡剛史 (早稲田大学), 橋本拓也 (筑波大学), 井上昭雄 (早稲田大学), 田村陽一 (名古屋大学), 松尾宏 (国立天文台), 馬渡健 (東京大学), 山中郷史 (早稲田大学), 吉田直紀 (東京大学), 森脇可奈 (東京大学), 清水一紘 (国立天文台), 他

銀河がいつ生まれ、どのように進化してきたかという問題は、現代天文学において重要な問題である。高赤方偏移銀河の観測はこの問題を解明する手がかりとなると考えられている。そして、私たちのチームは ALMA 望遠鏡のサイクル 3、4 のデータから、 $z=9.11$ の [O III] 88 μm 輝線を銀河 MACS1149-JD1 から検出した。

さて今回は、新たに ALMA 望遠鏡のサイクル 6 で MACS1149-JD1 に対してより空間分解能を上げる観測を行った。サイクル 6 のビームの面積はサイクル 3、4 に対して 0.31 倍である。その結果、独立な観測で $S/N = 8.4$ で [O III] 輝線の再確認ができた。また、この研究の目的としては、MACS1149-JD1 のより詳細な構造を得ることである。本講演では、得られた MACS1149-JD1 の [O III] 輝線の積分強度図と輝線光度を報告する。輝線光度はサイクル 3、4 において $(7.4 \pm 1.6)(10/\mu) \times 10^7 L_{\odot}$ であった。それに対して、サイクル 6 では $(10.9 \pm 1.9)(10/\mu) \times 10^7 L_{\odot}$ であった。輝線光度は前回より大きい、 2σ の誤差の範囲で一致していた。輝線の強度分布を比較すると、東側と南側にそれぞれ伸びた構造が見られた。公演当日は、輝線強度分布などの相違点など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](#)

X09b 極めて等価幅の大きな輝線銀河の検出と初代銀河の可能性について

浅田喜久, 太田耕司, 牛尾海登, 前田郁弥 (京都大学)

初代星 (Pop III 星) およびそれらからなる初代銀河の探査は、銀河形成を解明する上で極めて重要である。特に年齢が数 Myr 程度の若い銀河では、静止系の等価幅にして数千 Å にも及ぶ極めて強い H α 輝線が見られると予想され、このような天体は広帯域フィルターの測光において超過を示すと考えられる。加えて重力レンズ天体を用いることで非常に低光度の初代銀河を捉えられる可能性がある。

本研究では CLASH プロジェクトのアーカイブデータを用いて、広帯域測光の SED で輝線による超過を示していると考えられる銀河の探索を行なった。その過程で発見された天体 JE1 について報告する。JE1 は HST/WFC3 の F125W バンドにおいて非常に大きな超過を示している (観測等価幅で約 6000 Å)。また、可視から近赤外にかけて極めて青いスペクトルを示している (observed の波長域においてスペクトルスロープ $\beta \sim -2.7$)。この天体についての分光データは存在しないが、B バンドで検出されていること、非常に大きな観測等価幅を示すことから、この超過は H α 輝線である ($z \sim 1$) と仮定して SED フィッティングを行った。銀河スペクトル進化コード Pégase 3 によるモデルを用いると、exponential な星形成史を仮定して年齢は数 Myr 程度になり、非常に低年齢という結果になった。さらに、Pop III 星によって構成される初代銀河のスペクトル進化コードである Yggdrasil によるモデルを用いると観測とより良い一致を示し、この場合も年齢は数 Myr 程度となった。これらの結果は JE1 が極めて若く初代銀河に近い性質を持つ可能性を示唆する。講演では JE1 が [OIII] 輝線天体である可能性や、AGN である可能性など他の可能性についても論じる。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

X10b ALMA で探る遠方原始銀河団の環境効果

青山 皓平

周囲の環境の違いが銀河の進化にどう影響するかを調べることは、銀河進化を考える上で非常に重要である。例えば近傍宇宙においては、密度の高い領域では古い楕円銀河が、密度の低い領域では若い渦巻き銀河が支配的であるということがよく知られている。このような銀河の棲み分けがいつどのようにして生じたのかを明らかにするためには、まさに銀河形成が盛んに行われていた時代 ($z \sim 2$) に遡ってその時代の異なる環境に属する銀河を調べる必要がある。この時代の銀河を調べるためには、可視近赤外線の観測に加えて、ダストに包まれた星形成銀河を捉える sub-mm の観測が不可欠である。

そこで、我々は $z=2.5$ の原始銀河団 USS1558 に対して ALMA Band-6 による深いダスト連続光の観測を行った。この領域は ALMA Band-3 で CO(3-2) 輝線を狙った観測が行われているのに加えて、可視から中間赤外線までの多波長の撮像データがある。CASA を用いた解析の結果、先行研究で CO(3-2) が検出されているメンバー銀河に加えて、より低質量のメンバー銀河からダスト連続光を検出した。本研究で検出した 11 個のメンバー銀河に対して、ガス質量の割合や星形成効率といった物理量が環境にどう依存しているのかについて、フィールド領域と比較し、調べたのでその結果を報告する。また、より遠方の天体と考えられる、ALMA で非常に明るい可視で暗い天体が 2 つ見つかったので、それらの天体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](#)

X11b The lensing nature of Herschel Bright Sources

Tom Bakx, Y. Tamura (NagoyaU), S. Eales (CardiffU), P. Cox (IAP), H. Dannerbauer (IAC)

The Herschel surveys have detected more than half a million sub-millimeter galaxies (SMGs), allowing for the selection of both gravitational lenses and rare hyper-luminous galaxies. Gravitational lensing reveals previously-hidden populations of sub-mm sources. In turn, the unlensed sources are the most intensely star-forming systems in the Universe. Direct observations with SMA, NOEMA, and ALMA have identified their nature in the dust continuum, revealing the morphology of dust-obscured star-formation at high redshift. We will present the latest ALMA results revealing the dynamical behaviour inside these star-bursting galaxies in the early Universe, together with the results from redshift searches with NOEMA, IRAM 30m, ACA and ALMA.

Aside from individual lens studies, observations of large samples of Herschel-selected lensed SMGs can provide a unique probe of the intervening Universe and its cosmology. However, increasing the sample of the gravitational lenses still remains a challenge as our current selection methods are only based on relatively-crude flux cuts. Here, we show that optical and near-infrared imaging are an essential tool for identifying the gravitational lenses within the Herschel samples by finding the foreground lensing galaxies. We improve our method to near 100% accuracy, contrary previous work (only ~40%). Based on near-IR VIKING data, we will present the first measure of the lensing probability as a function of selection flux. We will then outline our ongoing work with ALMA in combination with multi-wavelength imaging to target confirmed lensed sources, and conversely, to target unlensed sources - the most intensely starforming systems in the known 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](#)

X12b 電波-X線2変数光度関数進化

河野海, 竹内努 (名古屋大学)

銀河は電波から線までのあらゆる波長の電磁波を放射する。これらの電磁波は星やダスト、核周辺領域などの銀河を構成する要素から異なる過程に基づいて放射されるため、各波長における放射強度の関係を定めることは銀河の性質を探るうえで非常に重要である。しかし、これらの関係を記述する際に多くの場合において線形関係を仮定しているため、非線形な相関関係を表現することが出来ないという問題がある。これを解決するために、接合関数(コピュラ)によって多変数分布関数を構成するという方法がある。コピュラは、確率変数間の依存関係を定数ではなく関数として表現することが出来るため相関関係の柔軟な表現が可能である。例えば、コピュラから銀河の遠紫外線と遠赤外線についての2変数光度関数を構成することで、星とダストからの放射間の複雑な関係を定式化できることが知られている (Takeuchi et al. 2013)。

本研究では、VLA-COSMOS 3GHz large project (Smolčić et al. 2017) による電波と Chandra COSMOS-Legacy survey (Marchesi et al. 2016) による X 線のサーベイデータを用いて、活動銀河核 (AGN) についての 2 変数光度関数の構成を行う。AGN の電波光度は 100 Mpc スケールのローブ、これに対して X 線光度は 10 pc 程度のスケールのコロナからそれぞれ放射されるスケールの異なった現象である。赤池情報量基準を用いたモデル選択の結果、非対称な確率変数分布を表すことのできる Tawn type-2 コピュラが選ばれた。また、本講演では星形成銀河における同サンプルの 2 変数光度関数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](#)

X13a 極長波長電波放射を用いた銀河星形成率の推定

吉田俊太郎, 竹内努 (名古屋大学), Luca Cortese, O. Ivy Wong, Barbara Catinella (ICRAR)

銀河星形成率 (Star Formation Rate: SFR) は銀河進化において最も重要な物理量の 1 つである。SFR は各銀河において単位時間に形成される星質量の合計を表しており、銀河活動を定量的に表す指標として広く用いられている。また各時代における SFR の平均密度を推定することで、銀河進化の全体像を解明することが可能となる。しかしながら、宇宙初期から現在までの SFR について統一かつより正確に推定することは容易ではなく、現在広く用いられている遠紫外線 (FUV) や 赤外線 (IR) 放射についても星間物質の影響や観測限界による問題が懸念されている。そこで、本研究ではこれらに代わる推定法として、2020 年代に運用開始予定の超大型電波干渉計 (Square Kilometre Array: SKA) で観測される極長波長 (メートル波) 電波放射に着目する。星形成銀河において観測される長波長電波放射は、星形成活動と密接な関係を持つことが先行研究 (Helou et. al. 1985) によって知られている。また前述した星間物質からの影響を受けず、観測限界についてもこの SKA によって大きく改善されることから、新推定法としても期待されている。しかしながら、この長波長電波放射については、主として観測的な困難から、詳細な検証はほとんど行われてこなかった。本研究では、SKA の先行機の 1 つである Murchison Widefield Array (MWA) によって長波長放射が観測された 18 個の星形成近傍銀河について解析を行った。MWA は 20 個の narrow band を持ち、より正確なスペクトルの調査が可能である。今回我々が得た銀河サンプルでは、メートル波の波長帯においても理論から予言されているシンクロトロン放射の単一べきをもつことが確認された。また、それぞれの銀河に対する電波スペクトルのフィッティング結果を用いて推定された SFR は他手法によって得られた SFR と整合的であることが示された。本発表ではこれらの結果を報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

X14a トポロジカルデータ解析の銀河分布への応用

河野海, 竹内努 (名古屋大学)

銀河の空間分布には、バリオン・光子の脱結合時の音響振動スケールが特徴的なピークとして表れる。これを引き起こす現象をバリオン音響振動 (BAO) と呼ぶ。BAO の実空間における構造は球対称であることが期待されるため、赤方偏移空間における構造の異方性から宇宙論パラメータの制限に用いることが出来る。BAO の解析には、相関関数やパワースペクトルが多くの研究において用いられてきた。

本研究では、銀河の 3 次元分布に存在する BAO 構造の検出と詳細な検証を目的とし、トポロジカルデータ解析 (TDA) の手法を用いた解析を行った。TDA によって、データの幾何構造からパーシステントホモロジー群を構成してデータのトポロジカル (位相的) な情報を代数的に扱うことで、データに含まれる穴のスケール、位置、統計的信頼度を探ることが出来る。また、穴を次元ごとに分類して扱うことが出来るのも特徴である。また、SDSS DR12 (Alam et al. 2015) の赤方偏移 0.7 未満の赤い銀河をサンプルとして $1 \text{ [Gpc}^3]$ の領域について解析を行った。その結果、 $r \sim 150 \text{ [Mpc]}$ のスケールに特徴的な穴を検出した。更に、本講演では同サンプルに対して相関関数を導出して TDA によって得られたシグナルの妥当性について議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

X15b スパースモデリングを用いた「あかり」遠赤外線画像の高解像度化

村田一心 (法政大学)

本研究ではスパースモデリングを用いて、赤外線天文衛星「あかり」遠赤外線サーベイヤーで観測された近傍銀河の画像の高解像度化を行った。「あかり」は従来の遠赤外線全天サーベイ衛星 IRAS と比べ数倍の空間分解能を有しているが、近傍銀河を分解した研究を行うには不十分であった。そのため「あかり」を用いたほとんどの銀河研究では、銀河を点源として扱ってきた。したがって「あかり」の分解能が改善されれば、より多くの銀河研究が推進されると期待される。そこで本研究では、「あかり」画像を高解像度にする手法を開発した。その手法とはスパースモデリングを用いた逆畳み込みを行うものである。

スパースモデリングとは、既知の情報を画像処理に適用する手法である。一般に、画像の逆畳み込みでは最適解が求まらずに発散してしまうことが多いが、スパースモデリングを適用することで、解の発散を抑えることができる。既知の情報としては「銀河の画像は滑らか」「フラックスは非負」という制約を用いた。前者の情報を用いる際には、通常用いられる「全変動 (Total Variation)」に改良を加え、高階微分型全変動を用いた。これらの情報を組み込んだコスト関数を用意し、最適化数学の手法を用いて画像を再構成した。

本研究では、波長 $90 \mu\text{m}$ 帯での画像における IRAS Revised Bright Galaxy Catalog に収録された 629 天体に対して本手法を適用した。その結果、画像の分解能は 2 倍程度に改善された。ボケていた銀河の構造が復元され、銀河のサイズも測定できるようになった。この手法をより多くの銀河に適用することで、近傍銀河を分解した研究が「あかり」遠赤外線画像でも推進できるようになると期待される。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

X16a CHORUS Data Release 1 のデータ検証および天体個数密度の測定

山中郷史 (早稲田大学), 井上昭雄 (早稲田大学), 他 CHORUS メンバー (HSC project 147)

Cosmic HydrOgen Reionization Unveiled with Subaru (CHORUS; PI: A. K. Inoue) とは、宇宙再電離の解明を目的とした、すばる望遠鏡の Hyper Suprime-Cam (HSC) プロジェクトの一つである。我々は非常にユニークな 5 枚の狭帯域フィルター (NB0387, NB0527, NB0718, IB0945, NB0973) を用いた超広視野撮像観測を提案し、この提案はすばる望遠鏡のインテンシブ観測として採択された。観測は HSC 戦略撮像観測の Ultra-Deep 領域である COSMOS 領域に対して行われ、現在までに CHORUS としての観測は全て完了している。現在は CHORUS Data Release 1 (DR1) として、整約された撮像データとカタログデータが内部に向けて正式に公開されている。また、CHORUS のデータを用いた研究結果は、既に初期成果としても報告がされている (Itoh, R. et al.2018; Zhang, H. et al.2019; Yamanaka, S. et al. 2019 年秋季天文学会 X59a)。

サイエンスの遂行と並行して、我々は CHORUS DR1 の撮像データおよびカタログデータの検証も進めてきた。検証の結果、例えば限界等級 (5σ , $2''\phi$) は視野の中心付近で 26.0, 26.5, 26.0, 25.4, 25.0 等 (左から NB0387, NB0527, NB0718, IB0945, NB0973) となっており、質の高いデータが得られていることを確認している。本講演では、これらのサイエンスを進める上で重要なデータ基本情報 (撮像データの深さ、Point Spread Function の半値全幅、カタログの天体検出の妥当性など) について報告する。また、得られた基本情報を元に各フィルターごとの天体個数密度を測定し、先行研究と比較した結果について議論をする。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

X17a HSC-SSP 深撮像データと可視分光観測で探る $z \lesssim 0.03$ 極金属欠乏銀河 II

小島崇史, 大内正己, 小野宜昭, 磯部優樹 (東京大学), Michael Rauch (Carnegie), 他 29 名

近傍宇宙には極金属欠乏銀河と呼ばれる銀河が存在し、低金属量 ($Z/Z_{\odot} \sim 0.01-0.1$)、小星質量 ($M_{*}/M_{\odot} \lesssim 10^7$)、年齢が若い ($\lesssim 30 \text{ Myr}$) といった性質を持つことが知られている。それらの性質は、宇宙初期の形成まもない銀河にも見られると予想されているため、極金属欠乏銀河は、初期宇宙の銀河における形成・進化や星種族を推定する上でよい標本として見なされている。

本研究は、HSC-SSP と SDSS のデータを用いて、近傍宇宙 ($z \lesssim 0.03$) に潜む極金属欠乏銀河の探査を行うものである。前回の講演 (2019 秋, X27a) では、選ばれた 113 個の極金属欠乏銀河候補のうち 10 天体に対して可視分光観測を行い、10 個の輝線銀河の同定に成功したことを報告した。それらの 10 個の銀河が冒頭で述べたような原始的性質を持つことを確認したほか、うち 1 個の銀河については有名な低金属量天体である IZw18 ($\sim 0.03 Z_{\odot}$) よりもさらに金属量の低い天体であることも確かめた。今回の講演では、それら 10 天体のスペクトル中に検出された、He II 4686Å、[Fe II] 4659Å、[Ar IV] 4740Å、高階の水素バルマー線などの微弱な輝線をさらに詳しく解析し、星間ガスの元素組成比・電離状態・電子密度・電子温度などの物理的性質を調査したので、その結果を報告する。様々な電離ポテンシャルをもつイオンの輝線を組み合わせ、電離ガスモデルの計算と比較することにより、恒星大気を失い核がむき出しとなった星 (stripped star) や X 線連星が存在する可能性を提示する。近年、若い銀河ほど電離光子変換効率が高いという観測的証拠が示されているが、今回の結果は、それらの電離光子が stripped star や X 線連星といった高温天体によってもたらされている可能性を支持するものである。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

X18a すばる望遠鏡 Hyper Suprime-Cam で発見された “blue-excess dust-obscured galaxies (BluDOGs)” の可視光線スペクトル

登口暁, 長尾透, 岩下昂平, 玉田望, 寺島雄一 (愛媛大学), 鳥羽儀樹 (京都大学), 山下拓時 (国立天文台), 寺尾航暉, 市川幸平 (東北大学), 大西響子 (チャルマース工科大学), 尾上匡房 (MPIA)

近年、クエーサー発現メカニズムを表している一つのシナリオとして、ガスを豊富に持つ銀河同士の合体進化シナリオがある (Hopkins et al. 2008)。このシナリオでは、銀河合体の後、ダストに覆われた星形成段階とダストに覆われた活動銀河核 (AGN) の段階を経て、ダストの晴れた AGN (すなわち、クエーサー) へ進化するとされている。Noboriguchi et al. (2019) では、WISE 中間赤外線全天サーベイとすばる望遠鏡 Hyper Suprime-Cam サーベイをかけ合わせることで、ダストに覆われた AGN である性質を示しながらも可視光線の短波長側で明るさの超過が見られる Blue-excess dust-obscured galaxies (BluDOGs) を観測領域 ~ 100 平方度の中から 8 天体発見した。この BluDOGs は可視光線と中間赤外線の間で赤い一方で、可視光線だけを見ると青い天体であるという特徴から、ダストに覆われた AGN からクエーサーへ変化している最中にある天体であると示唆された。

本講演では、すばる望遠鏡 FOCAS と ESO/VLT FORS2 を用いて行った BluDOGs の可視分光観測の結果について報告する。今回の観測では BluDOGs の中で、明るい順に 4 天体を分光した。結果として、 $\sim 150 \text{ \AA}$ に達する非常に大きな等価幅を持つ広輝線 (Ly α , C IV) が BluDOGs の “blue-excess” の正体であると判明した。また、C IV の輝線プロファイルから求めたブラックホール質量は $\sim 10^8-9 M_{\odot}$ であり、エディントン比を見積もるとスーパーエディントン降着を起こしていることが分かった。この結果は、BluDOGs がブラックホールへの激しい質量降着による強い輻射圧でガスとダストを吹き飛ばそうとしている段階に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](#)

X19a HSC 広視野撮像観測による $z \sim 4$ における原始銀河団銀河の光度関数

伊藤慧 (総合研究大学院大学/国立天文台), 柏川伸成 (東京大学), 利川潤 (宇宙線研究所), 田中賢幸, 久保真理子, 内山久和 (国立天文台), Yongming Liang (総合研究大学院大学/国立天文台)

銀河の高密度領域では早期から星形成が行われ、他の領域と比べ銀河の進化段階が進んでいる描像が理論予測から考えられている。近傍の銀河団の初期構造であると考えられる原始銀河団の銀河では、星形成率や星質量が卓越する傾向が観測からも $z \sim 2$ まで既に示されている。一方で $z \geq 3$ では原始銀河団のサンプル数が少ない為に十分な議論が行えていなかった。これまでに我々は Hyper Suprime-Cam Subaru Strategic Program の可視撮像データを用いて検出したライマンブレイク銀河を元に、 $z \sim 4$ の原始銀河団候補を 179 領域検出した (Toshikawa et al. 2018)。この系統的に選択された大規模なサンプルを用いて、本研究では星形成率の指標ともなる静止系紫外光の光度関数を $z \sim 4$ の原始銀河団銀河に対して初めて求めた。これらのサンプルは分光観測が行われていない為に、偶発的に視線方向に重なった他の赤方偏移の天体が混入する可能性がある。その為、原始銀河団に属していないライマンブレイク銀河や他の混入天体を統計的に除いた後に光度関数を求めた。概形を同赤方偏移のフィールド銀河のものと比較したところ、原始銀河団光度関数は $M_{UV} < -20.6$ で多く存在する、より平坦な形であった。この結果は $z \sim 4$ で既に原始銀河団銀河の方が高い星形成率を持つことを示す。また、星形成主系列を仮定し原始銀河団銀河の星質量関数を求め、他の赤方偏移の (原始) 銀河団に存在する星形成銀河のものと比較した。光度関数から示唆されるようにフィールド銀河に比べてより重い銀河が存在する傾向はあるものの、 $z \sim 4$ からより低赤方偏移にかけて、(原始) 銀河団では大質量銀河の割合が増加するということが明らかになった。本講演ではこれらの結果に加えて、示唆される高密度環境における銀河形成史について議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

X20a 近赤外線データによる HSC wide layer の測光的赤方偏移の改善

近藤寛人、宮武広直、西澤淳 (名古屋大学)

天体の赤方偏移を最も正確に測定する方法は、輝線・吸収線を直接観測する分光観測である。しかし、分光観測は測光観測と比較して長時間の観測が必要であるため、多くの天体の赤方偏移を測定するには不向きである。特にすばる望遠鏡 Hyper Suprime-Cam (HSC) のような広視野深宇宙撮像サーベイにおいては、測光観測から赤方偏移を得ることが必要である。測光的赤方偏移を測定する際には、バンド間の輝度差を用いるため、スペクトル全体の傾向が大きく変化するライマン・ブレイクや 4000\AA ブレイクが最大の情報となる。超広視野主焦点カメラ HSC では、 $4000\text{\AA} \sim 11000\text{\AA}$ の波長帯を grizy の 5 バンドで観測するため、例えば $z > 1.2$ の銀河の 4000\AA ブレイクを捉えることができず、赤方偏移を正確に測定することができない。より精密な赤方偏移測定を行うには、異なる波長帯での測光データを組み合わせて、HSC の波長帯で捉えられない情報を取り込むことが有効である。本研究では、近赤外の波長帯を測定している VIKING サーベイのデータ ($11000\text{\AA} \sim 25000\text{\AA}$ の JHK_s バンド) や Spitzer 宇宙望遠鏡で取得された複数のサーベイ・データ ($3.6\mu\text{m}$, $4.6\mu\text{m}$) を組み合わせることで、HSC における銀河の測光的赤方偏移の精度向上を目指す。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

X21a 機械学習を用いた銀河の衝突と合体が活動銀河核に及ぼす影響の評価

小林宇海(総合研究大学院大学、国立天文台)、田中賢幸(総合研究大学院大学、国立天文台)

冷たいダークマターモデルによると、銀河同士の衝突・合体、相互作用は銀河の進化において非常に重要な役割を果たしている。またこの時、衝突合体の過程でガスが中心核に流れ込み、活動銀河核が誘発されることがナイスに期待されるが、現在までの先行研究では、その明確な観測的証拠は掴めていない。これまでの我々の研究では Hyper Suprime-Cam の戦略枠プログラムによる広くて深いデータを用いて、SDSS の DR14 から取ってきた赤方偏移 0.2 未満の 6000 個の銀河について銀河同士の衝突・合体、相互作用を目で見て判別してきた。これによりおよそ、1200 個の衝突合体している銀河を発見し、活動銀河核を持つ割合が衝突合体している銀河の方が少し高いといった結果を得ている。

しかし、このサンプルは 1200 個ほどで、そのほとんどが post-merger である。そのため、どのような銀河同士の衝突や合体で銀河核の活動性が上げられるのかを見ようと細かく分けると、サンプル数が足りないため、統計の十分いい議論はできない。そのためサンプル数を上げる必要があるが、目で見て判別する方法は時間がかかるため、今後サンプルを増やす手段としては実践的ではない。

そこで、サンプル数を増やす為、上を教師サンプルとして Convolutional Neural Network (CNN) という方法を用いた。これによってこれまでよりより統計のいい評価を行うことができ、銀河同士の衝突・合体、相互作用の種類を細かく分けて議論することも可能となった。本講演では CNN による衝突・合体銀河判別の精度と、これらのサンプルについて活動銀河核を持つ割合、質量分布などを紹介する。また、衝突合体をより細かく分類分けし、衝突合体のどの段階で、またどのような銀河同士の衝突が銀河核の活動を上げるのかを議論し、考察を行う。

[スケジュール\(セッション毎\)に戻る](#)

[スケジュール\(全体\)に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

X22a 機械学習を用いた輝線強度マップの分離

森脇可奈, 吉田直紀(東京大学), 白崎正人(国立天文台/ジェット推進研究所)

銀河の大規模分布を捉える観測手法として、銀河サーベイの他に輝線強度マッピング観測と呼ばれるものがある。この観測では、銀河からの様々な輝線を低い空間解像度で観測する。個々の銀河は解像できないが、輝線強度のゆらぎ(すなわち銀河の大規模分布)を観測することができる。観測で得られる輝線揺らぎのパワースペクトルや平均輝線強度からは、宇宙論モデルや星形成率密度などに制限を与えることができると考えられている。例えば、SPHEREx (2023-) や CDIM (2030-) などでは、赤方偏移 0 から 6 程度における可視輝線や宇宙再電離期における Ly α 輝線の観測が計画されている。

輝線強度マッピングでは一般に、複数の異なる輝線のゆらぎが混在したマップが観測される。例えば、観測波長 1.5 μm では $z = 1.3$ の H α 輝線と $z = 2.0$ の [OIII]5007 \AA 輝線が混在し、これらの寄与は同程度であると考えられている。輝線シグナルを分離する手法としては、銀河分布との相互相関を取るなどの統計的検出方法がある。異なる赤方偏移における大規模分布は相関を持たないため、得られる相互相関シグナルには銀河分布と同じ赤方偏移のシグナルのみが現れる。本研究では、新たな手法として機械学習を用いて各赤方偏移におけるマップを再現する手法を提案する。我々は敵対的生成ネットワーク (GAN) を用い、異なる二つの輝線の混在した観測マップから特定の赤方偏移の輝線マップを抽出するネットワークを構築し、評価関数やバッチサイズといった学習パラメータの最適化を行った。学習・テストデータとしては、二次ラグランジアン摂動論で生成した密度揺らぎをもとに作成した三万枚の輝線マップを用いた。テストでは、前景、背景マップの 3σ ピークをそれぞれ再現率 70%, 40% で抽出することができ、さらに、平均輝線強度やパワースペクトルなどの統計量も再現された。

[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](#)

X23a Understanding Galaxy Evolution through Machine Learning

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

Galaxy evolution is a complicated process that encompasses the evolution of many physical properties in/around a galaxy (e.g., stellar mass, gas mass, SFRs, SFHs, environment). However, the interaction between the individual physical properties are entangled and are too messy to be understood intuitively. With the advent of machine learning techniques, computer algorithms have been able to identify hidden or obscure patterns in the data without any prior information about them (unsupervised). These algorithms can thus aid us in identifying a simpler model for galaxy evolution without any human biases. In this work, we demonstrate a dimensionality reduction/feature selection method to identify a low-dimensional manifold from the high-dimensional galaxy data. We employ a galaxy sample with 11 luminosities of ultraviolet to infrared (FUV, NUV, u , g , r , i , z , Y , J , H , K) from the Reference Catalog of Spectral Energy Distributions (Chilingarian et al. 2016). The discovered manifold lies in the luminosity space and shows a continuous evolution from actively star-forming galaxies to the quenched ones, challenging the existing notions of bi-modal distributions in color-color space.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

X24b 高赤方偏移における低光度クエーサーの種族推定

高橋歩美, 松岡良樹 (愛媛大学), and the SHELLQs collaboration

宇宙誕生から 10 億年以内に存在していた高赤方偏移 ($z > 5.6$) クエーサーは現在、SDSS, Canada -France High- z Quasar Survey, UKIDSS, VIKING, Pan-STARRS1, Dark Energy Survey などの探査により 200 天体以上見つかった。すばる望遠鏡の Hyper Sprime-Cam (HSC) を使った最遠方クエーサー探査プロジェクトである SHELLQs でも高赤方偏移且つ低光度なクエーサーのデータが得られている。一方で、低赤方偏移の時代にもクエーサーは数多く存在している。しかしそれらの観測されたクエーサーが宇宙の時間的发展に対してどのように異なる物理的性質を持つのか、あるいは同じ種族として分類できるのかは未だ分かっていない。クエーサーの進化は母銀河と深く関わっていると考えられており、遠方と近傍のクエーサーの物理諸量を比較することは宇宙史の中で銀河がどのように進化を遂げていったのかを知る手がかりともなるであろう。

そこで本研究では高赤方偏移クエーサーの物理的特質を探るために、SHELLQs プロジェクトで発見されたクエーサー ($z \sim 5.6 - 7.0$) 93 天体とスペクトルの形が最も似ているものを SDSS DR14 のクエーサーカタログから求めた。SDSS サンプルには $z = 2.5 - 5.0$ の間にある 10 万天体を採用し、SHELLQs サンプルとベストフィットしたものを対応天体とした。対応天体の中には遠方クエーサーのスペクトルの BAL の形まで含めてほぼ一致しているものもいくつかあった。SDSS 母サンプルと SHELLQ 対応天体のブラックホール質量分布や Ly- α 輝線の強度分布を比較した結果、これまでのところ両者に違いは見られていない。本ポスター講演では、遠方クエーサーの種族推定の観点で得られた結果を考察する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

X25b すばるで探る近傍極金属欠乏銀河の形態と環境

磯部優樹, 大内正己, 小島崇史, 菅原悠馬 (東京大学), 他 30 名 (HSC project 251)

我々の研究グループは, HSC-SSP の深撮像データから選ばれた $z \lesssim 0.03$ の近傍極金属欠乏銀河 (EMPG; Kojima et al. 2019) について調査を進めている. これまでの研究で EMPG は若く ($\lesssim 30$ Myr), 小星質量 ($10^{5-6} M_{\odot}$) であり, 高い比星形成率 ($\sim 100 \text{ Gyr}^{-1}$) を示すことが分かっている. これらの性質は遠方初期銀河と類似しているため, EMPG は初期銀河の local analog として期待されている.

前回の講演では, 我々の EMPG サンプルの過半数には淡い銀河が付随しており (associated galaxies, 以下 AG), それらのうち 4 組については分光観測から EMPG と AG がほぼ同じ赤方偏移にあることを報告した. また, EMPG と AG の有効半径, 星質量, 星形成率を近傍および遠方宇宙の銀河と比較したところ, AG は ultra-diffuse galaxy (UDG) の可能性が高い銀河であることが判明し, EMPG については未知の種類銀河であることが明らかとなった (日本天文学会 2019 年秋季年会 X28b).

今回の講演では, EMPG と AG についてより詳細な解析を行い, 両者の力学的関係についても議論する. まず, Sérsic 指数についてより定量的な調査を行った結果, EMPG と AG の Sérsic 指数はそれぞれ $n = 1.3^{+1.2}_{-0.6}$, $n = 1.0^{+0.6}_{-0.3}$ であった. AG の Sérsic 指数は UDG のものと同程度の値であるため, 前回の講演での主張を支持する結果となった. さらに, 分光済の 4 組のうち S/N 比が良い 2 組について赤方偏移の差から相対速度を求め, phase diagram 上にプロットした. 2 組のうち 1 組では EMPG の相対速度が AG の回転だけでは説明できないほど大きい ($\sim 90 \text{ km s}^{-1}$) ことがわかった. 一方で, 残りの 1 組では EMPG の相対速度は AG の速度場で説明できる程度 ($\sim 1 \text{ km s}^{-1}$) であり, この EMPG は AG の周りを公転する伴銀河である可能性がある.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

X26b Ly α Luminosity Function at $z = 1.9 - 3.5$ and the HETDEX Survey

Yechi Zhang, Masami Ouchi, Yoshiaki Ono and the HETDEX Collaboration

The luminosity function (LF) is an important tool for understanding the statistical properties of galaxies along the cosmic history. Previous studies about the Ly α LF at $z \sim 2 - 3$ have found a significant excess over the Schechter function at the bright end (Konno et al., 2016; Sobral et al., 2018), raising questions to the nature of very luminous Ly α emitters (LAEs) at cosmic noon. To address this question, we investigate the shape of Ly α LF at $z = 1.9 - 3.5$ using the early data of Hobby Eberly Telescope Dark Energy eXperiment (HETDEX) survey. The HETDEX survey is the largest blind integral field spectroscopic survey by far, which will cover $\sim 450 \text{ deg}^2$ of sky area, corresponding to ~ 9 comoving Gpc 3 of cosmic volume. About one million unbiased, spectroscopically selected LAEs are expected at the completion of the survey. Utilizing the large data, we derive the Ly α LF by both the non-parametric $1/V_{\text{max}}$ method and the parametric Schechter function fitting. Our results have the best-fit Schechter function consistent with previous studies, and show a moderate excess above the Schechter function at $L_{\text{Ly}\alpha} \geq 10^{43.3} \text{ erg s}^{-1}$. We will discuss the origin of the bright end excess, as well as future plans of the HETDEX survey.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

X27b ディスクとバルジの 2 成分を考慮した化学進化モデルから推測されるダストのサイズ分布および減光曲線

長崎早也香, 竹内努, 浅野良輔

Gas infall は銀河の進化を考える上で不可欠な要素であり、銀河内の化学進化に影響を与える。さらに Larson (1976) ではバルジ成分を形成するには急速な Infall gas が、ディスク成分を形成するには長いタイムスケールの Infall gas が必要であると示している。銀河内の物質の中でも特にダストは銀河のダストは星からの光を吸収・散乱し、赤外領域で再放射することで観測される SED の形を変化させる。各波長での吸収・散乱量はダストの量やサイズ分布、ダスト種などに依存しているため、これらの特徴を正確に捉えることが必要である。Asano et al. (2013a, b, 2014) は、クローズドボックスモデルでダストのサイズ分布も考慮した銀河の化学進化を精密に解いた理論モデル (Asano model) を提唱した。本研究では Asano model をより現実的な infall model に拡張し、Milky Way のようなディスクとバルジの環境の異なる成分についてダストの進化がどのように異なるか調べた。結果として、バルジのサイズ分布は一般に知られる MRN 分布より平坦となり、減光曲線も UV 側での傾きが大きくなる傾向が確認できた。

[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](#)

X28b ダストガス間の速度差を考慮したブラックホールへの質量降着:ダストの空間分布と熱放射

一色翔平, 岡本崇 (北海道大学), 矢島秀伸 (筑波大学)

初期宇宙の超巨大ブラックホールは、既に大量のダストに覆われていることが観測により示唆されている (e.g., Maiolino et al. 2004)。ダストは紫外線を効率良く吸収する事でガスダイナミクスに影響を与えるため、巨大ブラックホールの成長過程を理解する上で必要不可欠である。以前の学会 (2018 年春・秋季年会 X12b, X08b) では、ダストとガス間の速度差を考慮した次元輻射流体計算を行い、以下を報告した。(1) 速度差を考慮すると、輻射圧によってブラックホール周辺からダストを吹き飛ばすことで、周辺のダスト・ガス質量比は初期条件と比較して小さくなる。(2) ダスト・ガス間の速度差に強い影響を与えるダストチャージや輻射圧はダストサイズに依存するため、ダストサイズ分布も初期条件と比較して変化した。(3) 速度差を考慮した場合、ブラックホール周囲のダスト量が少なくなることから輻射圧の影響が小さくなり、質量降着率が大きくなる。(4) ダストの赤外線再放射による Spectral energy distribution (SED) が、速度差を考慮することで波長 $\lambda \sim 10 \mu\text{m}$ での値が大きく変化した。

本研究では、計算から得られる赤外線の波長領域の SED から、ダスト・ガス質量比を見積もる方法がないかを探った。計算の結果、波長 $14 \mu\text{m}$ と $140 \mu\text{m}$ の間の外線の強度比とダストからの赤外線再放射の光度の相関関係を調べることで、実際に速度差によってブラックホール周辺でのダスト・ガス質量比の変化が生じているかを確認することができることを示した。同時に、前述の赤外線の強度比とダストからの赤外線再放射の光度から、速度差の影響によって生じたダスト・ガス質量比を求めることができることも示した。また、ダストサイズ分布の初期条件を変化させても、同様にダスト・ガス質量比を求めることができることも示した。

[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](#)

X29b 銀河衝突によるダークマター欠乏銀河の形成

大滝恒輝(筑波大学), 森正夫(筑波大学)

現在の銀河形成の標準模型では、コールドダークマターによる階層的な構造形成がその主要な枠組みとして受け入れられている。しかし最近 Dragonfly Telophoto Array によって、楕円銀河 NGC1052 に付随する二つの衛星銀河 NGC1052-DF2 と NGC1052-DF4 のダークマター質量は、理論的に予測される量よりも極端に少ないことが示唆された (van Dokkum et al. 2018, van Dokkum et al. 2019)。これらの銀河は ultra diffuse galaxies (UDGs) に分類され、天の川銀河程度の effective radius の大きさに対して、表面輝度が矮小銀河程度である特徴を持つ。また、Westerbork Synthesis Radio Telescope と Karl G. Jansky Very Large Array を用いた 21 cm 線の観測から、バリオンが支配的な 6 つの UDGs の存在が確認された (Mancera Piña et al. 2019)。

他にも Genzel et al. (2017) は、SINS/zC-SINF survey と KMOS^{3D} survey によって、赤方偏移 $z = 0.9-2.4$ にある 6 個の渦巻銀河の H α 輝線のスタッキング解析により、その回転曲線が半径とともに減少していることを示した。そして、これらの高赤方偏移銀河のバリオン分率が高いことを報告した。

以上のような状況から、ダークマターが支配的なこの宇宙において、ダークマター欠乏銀河の形成シナリオを検討する必要がある。我々はダークマター欠乏銀河がダークマターハロー同士の衝突によって形成される可能性を考えており、SPH 法と N 体計算を用いて、ガスの冷却や星形成等を考慮した数値シミュレーションを行っている。本発表では、シミュレーションの詳細とダークマター欠乏銀河の形成条件について、銀河衝突パラメータとダークマターバリオン比、形成される銀河の質量などの物理量をもとに報告する。そして、シミュレーションで形成された銀河と観測とを比較し、銀河衝突によるダークマター欠乏銀河の形成可能性について詳細に議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

X30a 3次元輻射流体シミュレーションを用いた銀河中心ブラックホール超臨界成長の研究

豊内大輔(京都大学), 杉村和幸 (Maryland Univ.), 仲谷 峻平 (理化学研究所), 細川隆史 (京都大学), Rolf Kuiper (Tübingen Univ.)

赤方偏移 $z7$ に見つかる太陽の数億倍の質量を持つ超巨大ブラックホールの形成メカニズムとして有力なのは種ブラックホールへの超臨界降着である。近傍活動銀河核の観測から、銀河中心数 pc スケールの領域に dust torus と呼ばれる円盤状の構造が存在することが知られており、これを介して銀河中心超巨大ブラックホールへの質量降着が行われていると考えられる。私はこれまでに 1 次元球対称の輻射流体シミュレーションによってブラックホールへのダストを含むガスの降着について調べ、結果として、金属量が太陽組成の 1 パーセント以上になるとダスト粒子への輻射圧強度が強すぎて超臨界降着が実現できなくなることを示した (Toyouchi et al. 2019)。一方で、降着流が円盤に沿って起こる場合には、輻射が円盤鉛直方向に優先的に逃げることで輻射圧が効きにくくなる可能性が指摘されており (flashlight 効果と呼ばれる)、そのような多次元効果の影響を調べるのが必要不可欠と言える。本研究では独自に開発した 3 次元輻射流体シミュレーションコードを用いて、銀河中心種ブラックホールへのガス降着をガス密度や金属量の関数として調べた。結果として、球対称降着の場合に比べて、flashlight 効果によって輻射圧の降着流への影響は著しく弱まることがわかった。一方で、ガス密度や金属量が大きくなるほど、降着円盤が幾何学的に薄くなるため、光電離加熱による円盤蒸発の効果が弱まり、結果としてブラックホールの超臨界成長が実現する場合があることもわかった。本発表では、これらの計算結果に基づいて、初期宇宙における超巨大ブラックホール形成の可能性について言及する。

[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](#)

X31a 銀河と銀河中心ブラックホールの進化における AGN フィードバックの役割

岡本崇 (北海道大学)

ほぼ全ての銀河の中心には超大質量ブラックホール (SMBH) が存在し、その質量は母銀河のバルジの星質量や速度分散と相関を持つことが知られている。このような相関が生まれる原因として、(i) ブラックホールへの質量降着率とバルジの星形成率の間に相関がある、(ii) 活動銀河核 (AGN) からのエネルギー放出 (AGN フィードバック) がバルジでの星形成および SMBH への質量降着を抑制している、等が考えられている。

そこで今回我々は SMBH の成長と AGN フィードバックを考慮した銀河形成シミュレーションを行い、銀河と SMBH の成長に AGN フィードバックが果たす役割を調べた。シミュレーションは $z=0$ に $10^{12} M_{\odot}$ 程度のダークマターハローが形成される領域を高分解能にして行った。また、AGN フィードバックとしてはいわゆる quasar-mode feedback と呼ばれるものだけを考慮している。AGN フィードバックを無視したシミュレーションと AGN 光度の 2% がフィードバックに使われるシミュレーションを比較した結果、AGN フィードバックは母銀河の星形成活動にほとんど影響を与えないが、SMBH へのガス降着を強く抑制することが分かった。

シミュレーションが間に合えば、観測される $M-\sigma$ 関係を説明するためにはどの程度のフィードバック効率が必要か、またその効率で銀河群、銀河団の中心銀河のような巨大銀河の星形成を十分抑制できるのか (それとも radio-mode feedback が必要となるのか) についても議論を行いたい。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

X32a AGN Feedback Model in GADGET3-Osaka: Isolated Galaxy

Abednego Wiliardy, Kentaro Nagamine (Osaka U.), Renyue Cen (Princeton U.), Ikkoh Shimizu (NAOJ)

It has been known that supermassive black holes (SMBH) in galactic nuclei co-evolve with their host galaxy. However, how they interact is still not well understood and many researches have been done to simulate the impact of active galactic nuclei (AGN) feedback to the galaxy and how it affects the SMBH growth. In this research, we use our GADGET3-Osaka code to model the AGN feedback and SMBH evolution. In our model, we introduce two mode of AGN feedback: quasar and radio mode. We change the mode of feedback according to the accretion rate of the SMBH. Quasar mode is used when accretion rate is high, while radio mode is when accretion rate is low. In quasar mode, we introduce geodesic dome bins in which the energy is assigned equally. The more gas inside a bin, the less energy each gas particles will receive. In this process, we can expect that the energy will be transferred more efficiently through low density region. In radio mode, we introduce jet feedback to distribute the energy, where we use ghost particles to carry and distribute energy to certain direction determined based on angular momentum direction of gas around the SMBH. This new scheme of AGN feedback will affect the evolution of galaxies by self-regulating the gas in the system. We can expect the quenching of star formation rate and accretion rate of SMBH to slow down as the AGN feedback will heat up the circumgalactic medium thus reducing gas inflow into the galaxy disk.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

X33a ダークハローの内部構造による stellar mass-halo mass relation の分散

福島啓太, 藤田裕 (大阪大学)

銀河の星質量 M_* とダークハローの質量 M_h の比 (M_*/M_h) と、 M_h には良い相関 (stellar mass-halo mass relation: SMHM relation) があることが知られている。 $z = 0$ では、 $\log(M_h/M_\odot) = 12$ 付近で M_*/M_h の値がピークになることが知られている。これはそれより軽い側では超新星爆発のフィードバック効果、重い側では活動銀河核のフィードバック効果により M_*/M_h が小さくなる為であると考えられている。このように SMHM relation の平均的な傾向の起源についてはよく議論がなされているが、一方でこの関係には大きな分散があることが観測的に知られている。本研究はその分散の起源に着目した。

本研究では SMHM relation の分散の起源として、銀河のダークハローの内部構造の多様性が関わっている可能性について検討した。そこで Illustris TNG simulation データの、銀河から銀河団スケールのサブハローデータを用い、half mass radius R_{half} と M_h , M_*/M_h の対数空間での相関関係を調べた。その結果すべての銀河はある1つの平面に載ることがわかった。このことは SMHM relation の分散は、ハローの密度分布の中心集中度の度合いが銀河により異なるためであることを示している。具体的には、同じ M_h で比べた場合、 R_{half} が小さいほど、つまりハローの中心集中度が高いほど M_*/M_h が大きいことがわかった。さらに merger tree を用いてハローの年齢とハローの中心集中度の相関を見ることで、ハローの年齢と M_*/M_h の相関も調べた。本講演では各赤方偏移での相関や進化、SFR 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](#)

X34a M31 恒星ストリームと暗黒物質サブハローの相互作用: すばる PFS への期待

三木洋平 (東京大学), 桐原崇亘 (千葉大学), 森正夫 (筑波大学), 小宮山裕 (国立天文台), 千葉 柁司 (東北大学), 田中幹人 (法政大学), 石垣美歩 (東北大学), 林航平 (東京大学)

宇宙論的構造形成モデルによって形成されるダークマター (DM) サブハローの数が、天の川銀河やアンドロメダ銀河 (M31) の近傍で見つかっている衛星銀河の数に比べて1桁程度多すぎるという問題 (衛星銀河問題) は、宇宙論的構造形成シナリオと観測の不一致の代表例である。しかし、電磁波観測では検出できない DM サブハローの数と、可視光で検出可能な衛星銀河の数とを比較しているという問題がある。そこで本研究では、M31 のハロー領域に存在する恒星ストリームである North-Western (NW) ストリームに注目し、NW ストリームと DM サブハローの近接遭遇時の痕跡を理論・観測両側から調べることで、DM サブハロー数の評価を目指す。

我々は NW ストリームに注目した研究に継続的に取り組んでおり、NW ストリームの3次元構造を N 体計算を用いて再現済みである (Kirihara et al. 2017; Komiyama et al. 2018)。今回我々は、NW ストリームと DM サブハローの衝突実験を N 体計算を用いて遂行し、DM サブハローの質量が $10^9 M_\odot$ 程度以上の近接遭遇時には位相空間上に明確な痕跡が残ることが分かった。すばる望遠鏡に搭載される Prime Focus Spectrograph (PFS) は、広視野をカバーした上で2400天体の視線速度を同時観測できるために位相空間上の構造探索に適しており、DM サブハローと NW ストリームの近接遭遇の痕跡検出に威力を発揮すると期待できる。また近接遭遇後の長時間進化計算により、衝突時に形成されたギャップが大きく成長する、潮汐相互作用によって形成された DM ストリームと NW ストリームの相互作用の痕跡が残ることも分かったため、講演時間が許せば紹介する。

[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](#)

X35c Milky Way サイズの dark matter halo に付随する subhalo の軌道運動と衝突過程

森正夫, 数野優大 (筑波大学)

我々の住む天の川銀河や近傍のアンドロメダ銀河 (M31) の周囲には、数十個程度の衛星銀河が観測されている。しかし、 Λ CDM モデルに基づく N 体シミュレーションによると、M31 サイズの dark matter halo には、観測されているよりも遥かに多くの subhalo が付随していることが予想されている。この理論と観測との不一致は missing satellite problem と呼ばれ、総質量のほとんどが dark matter で構成された非常に暗い銀河 (Dark Satellite) が多数存在している可能性が理論的に指摘されている。我々はこれまで Dark Satellite と矮小銀河や stellar stream との相互作用の可能性について検討を重ねてきた。例えば M31 の衛星銀河である IC10 に counter part が観測されていない HI gas stream が Dark Satellite との相互作用でできた可能性や、M31 の North-western Stellar Stream と Dark Satellite との衝突があげられる。日本天文学会 2019 年春季年会では、Dark Satellite と IC10 の衝突シミュレーションの結果を報告し、観測との比較や H1 gas stream を形成する Dark Satellite の存在可能性について報告した。本発表では、宇宙論的シミュレーションで得られた天の川サイズの dark matter halo に付随する subhalo の軌道運動と、位置天文衛星 Gaia によって示唆される近傍矮小銀河の軌道運動との比較検討を行った結果を報告する。さらにそれらの結果を用いた N 体計算を実行し、dark matter subhalo 同士の衝突確率について定量的な解析結果を示したうえで、stellar stream との衝突や矮小銀河との相互作用について議論する予定である。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

X36a 大規模シミュレーションを用いたフィラメント降着がハロー構造へ及ぼす影響

森永優, 石山智明 (千葉大学)

標準的な宇宙論モデル (Λ CDM モデル) は、現在の宇宙大規模構造形成を非常に良く再現する。宇宙の大規模構造はダークマターハロー同士が網目状に密集するフィラメント領域や、フィラメントが取り囲むボイド領域からなり、ハローに降着するサブハローの総質量のうち 4 割程度がフィラメントから流れ込む。そのため、現在のハローの構造は、フィラメント構造に沿ったサブハローの非等方的な質量降着の影響を反映していると考えられる。

本研究では、大規模宇宙論的 N 体シミュレーションで得られた多数の宿主ハローの構造 (軸比・長軸方向・角運動量) と、サブハローのフィラメント降着との関係を統計的に探った。宿主ハローごとのフィラメント降着の特性を捉えるため、サブハローの降着位置から、フィラメントの方向と降着の強さを各宿主ハローごとに定量的に求めた。そして、サブハローのフィラメント降着が $z=0$ の宿主ハローの構造へ与える影響を、質量の異なるサブハロー、宿主ハローごとに調べた。

解析の結果、 $z=0$ における宿主ハローの構造はサブハローのフィラメント降着の強さに依存して変化することが確認された。サブハローのフィラメント降着が強い宿主ハローほど軸比が小さくなり、よりつぶれた形状を示す傾向が確認された。そして、宿主ハローの長軸の向きがフィラメント方向に揃いやすく、宿主ハローの角運動量ベクトルはフィラメント方向に垂直になる傾向が確認された。一方、等方的なサブハロー降着により形成された宿主ハローは、より丸い形状を示した。

[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](#)

X37a 宇宙論的シミュレーションで探る $z=3$ の銀河間物質における初代星起源重元素

桐原崇亘 (千葉大学), 長谷川賢二 (名古屋大学), 梅村雅之, 森正夫 (筑波大学), 石山智明 (千葉大学)

標準的な構造形成論のもとで、初代星は赤方偏移 $z > 10$ において 10^{5-6} 太陽質量のダークマターミニハロー中で始原ガスから形成される。初代星は典型的に数 10-数 100 太陽質量程度の大質量星として誕生することが理論的研究から示唆されており、寿命が短く宇宙空間に初めて重元素を供給するため銀河形成史を理解する上でも重要である。しかしながら、未だ初代星の性質に迫れるような直接的な痕跡は得られていない。

本研究では、初代星由来の重元素を低赤方偏移の銀河間物質で識別する可能性に着目した。我々はミニハローを分解する質量解像度の高い宇宙論的 N 体シミュレーションに初代星形成条件を組み込んだ計算結果 (Ishiyama et al. 2016) を用いて、200 または 30 太陽質量をもつ大質量初代星の超新星爆発により放出される重元素量を考慮することで、赤方偏移 $z = 3$ における重元素の空間分布を調査した。また、銀河形成にともなって放出された重元素の分布との比較のため、宇宙論的銀河形成シミュレーション (Illustris-1 simulation) のデータ解析を行った。我々の結果は、初代星由来の重元素が $z = 3$ の銀河ハローから離れた領域にも分布し、特に宇宙平均密度の 10 倍程度以下の低密度領域において支配的であることを示唆している。本講演では、複数の初代星形成モデルを実装した場合の結果を紹介する。時間が許せば元素の組成比についての議論も行う予定である。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

X38a 超矮小銀河での r 過程元素生成

垂水勇太 (東京大学)

超矮小銀河 (UFD) には r 過程元素を豊富に含むものが二つ (Reticulum II, Tucana III) 存在する。ユウロピウムの存在量より、その r 過程元素の起源は 1 回の中性子星連星合体 (NSM) であると示唆される。たとえば、連星中性子星は 2 回の超新星の非等方爆発によるキックを受けると予想されるので、NSM は銀河の星形成領域を離れた場所で起こる可能性がある。しかし、UFD 自身の性質や中性子星連星の爆発場所の違いによる多様性は研究が不十分であった。

本研究では、UFD の星形成史と NSM が起こる位置が、UFD の星の Eu 存在量分布にどのように影響するかを調べた。まず宇宙論的シミュレーションで超矮小銀河を同定し、その銀河をズームインした。その銀河が星形成を行う最中に NSM が起きたと仮定し、NSM を模した「r 過程バブル」を配置する。moving-mesh コードである AREPO を用いて、最初はバブル内のみであった r 過程元素が、銀河全体に混ざり込み、また星に取り込まれる様子をシミュレートした。バブルの配置場所として、銀河中心から銀河のビリアル半径の 5 倍程度までを試した。これにより星形成領域を離れた場所での NSM をモデル化した。また、星形成史の異なる UFD に対して同様の実験を行い、星形成史の影響も調査した。

本講演では、UFD の Eu 存在量分布を決定する条件として、NSM の場所と星形成史の影響を明らかにし、その物理的機構を説明する。この結果を用いて、Ret II, Tuc III の r 過程元素の観測結果から、それらの星形成史や r 過程元素の起源について論ずる。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

X39a 個々の星を分解した銀河スケールシミュレーションに向けた星形成モデル構築

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

星・星団形成には、銀河スケールの物理が深く関わっている可能性がある。銀河の周辺には球状星団が数多く存在するが、その形成過程は発見から 200 年以上経った現在でも未だ謎のままである。これまでの研究により、銀河の合体で星団形成が誘発される可能性が示唆されている (Saitoh et al. 2009 など)。星・星団形成において銀河スケールの影響を正しく考慮するためには、銀河スケールから個々の星を分解したシミュレーションを行うことが必須である。2020 年度以降、理化学研究所「富岳」を始めとした次世代スーパーコンピュータ資源が稼働を始める予定で、今後 10 年以内に銀河スケールから個々の星まで分解したシミュレーションが実現できると見込まれている。しかし、こうしたシミュレーションでも星形成過程を分解することはできず、適切なモデル化が必要である。

本研究は、個々の星まで分解した銀河スケールのシミュレーションで用いる星形成モデルを構築することを目的とする。 N 体/SPH コード、ASURA+BRIDGE (藤井他 2019 年秋季年会) に新たに星形成モデルを導入した。本モデルでは、銀河形成シミュレーションで用いられている方法に基づき、低温高密度で星形成するガス粒子を選択する。形成する星の質量は、化学進化ライブラリ (Saitoh 2017) で初期質量関数 (IMF) に従って確率的に割り振る。形成する星粒子の質量がガス粒子の質量より大きい場合、設定した半径 (r_{\max}) 内のガス粒子から質量を集める。乱流分子雲モデルでシミュレーションした結果、IMF をサンプルするためには、 r_{\max} を星形成密度閾値から見積もられる値より大きく設定する必要があることが明らかになった。本講演では、形成する星質量に対する r_{\max} の影響を議論し、本モデルを用いた銀河・星団シミュレーションの展望を紹介する。

[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](#)

X40c MP 法における Semi-Lagrangian 法の実装

田中 賢 (筑波大学)

銀河形成シミュレーションなどの天体物理学における数値シミュレーションでは限られた解像度において流体力学計算を精度良く行うことが求められる。本講演では、高次精度かつ単調性を保証した手法である MP 法 (the monotonicity-preserving scheme) に Semi-Lagrangian 法を適用した新たな高次精度数値流体力学計算手法を開発したのでその紹介を行う。MP 法では空間 5 次や 7 次それ以上の高次の精度での数値流束の計算が可能であるが、よく使用される時間積分法である 2 次や 3 次の Runge-Kutta 法と組み合わせても空間精度は高次であっても低次精度の時間積分スキームにより、全体として 2 次や 3 次の精度に落ちてしまうという問題がある。その単純な回避方法として時間 5 次や 7 次精度の Runge-Kutta 法を使用すればいいのだが、時間刻みの更新に時間積分の次数またはそれ以上のステップ数回計算が必要になるため、計算時間の観点から高次の Runge-Kutta 法を手軽に使うことは困難である。講演者らは時間積分に特性曲線を用いる Semi-Lagrangian 法を採用することにより、時間刻み当たり 1 ステップの計算で MP 法の高次の空間精度を保つことが可能な手法を移流方程式で開発したので、今回はそのテクニックを応用し流体力学計算に適用させ高次精度流体計算を可能とした。近似リーマン解法として HLLC 法を採用している。本講演では、具体的な実装方法を紹介し、一次元の衝撃波管問題や二次元のケルビン・ヘルムホルツ不安定性の計算などを例にとり、Semi-Lagrangian 法、Runge-Kutta 法を実装した MP 法や従来からよく用いられている MUSCL 法などと比較し、計算精度、計算時間がどのように向上したかを紹介する。

[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](#)

X41a $z < 1$ における銀河の 3 次元形状の比星形成率および星質量依存性とその進化

佐藤佑樹 (大阪大学), 鍛冶澤賢, 樋本一晴 (愛媛大学)

銀河の天球面上での軸比分布を統計的に調べることでその 3 次元形状を推定することができる。これまでに我々は COSMOS 領域の $0.2 < z < 1$, $M_V < -20$ の銀河について、HST/ACS データを使ってその軸比分布を調べ、パッシブ銀河において時間とともに扁平な形状の銀河の割合が有意に増加することを明らかにした (日本天文学会 2018 年秋季年会 X12b)。今回、この銀河サンプルの軸比分布を銀河の比星形成率および星質量別に分けて詳しく調べて、3 軸不等の楕円体モデルで 3 次元軸比 ($A > B > C$) を推定したのでその結果を報告する。

10^{10} – $10^{11} M_{\odot}$ の星質量の銀河の 3 次元形状は比星形成率が減少するとともに $C/A = 0.2$ – 0.25 の平たい円盤状から $C/A = 0.3$ – 0.5 のより厚みのある楕円体状に変化する。この変化が起きる比星形成率を星形成銀河の main sequence と比較したところ、赤方偏移到依らずに main sequence の約 1/10 の値 ($\Delta MS \sim -1$ dex) に相当することが分かった。また、 $\Delta MS < -1.5$ dex の条件で選んだパッシブ銀河の 3 次元形状は、 10^{10} – $10^{11} M_{\odot}$ の星質量では $z \sim 0.8$ での $C/A = 0.40$ – 0.50 から $z \sim 0.4$ での $C/A = 0.33$ – 0.37 への有意な進化を示すのに対して、 $M_{\text{star}} > 10^{11} M_{\odot}$ の銀河では赤方偏移到依らず $C/A \sim 0.5$ を示した。一方、 $-0.5 < \Delta MS < +0.5$ で選び出した main sequence 星形成銀河の 3 次元形状は有意な赤方偏移到進化を示さないものの、 $10^{9.5}$ – $10^{11} M_{\odot}$ の星質量範囲で星質量が大きい銀河ほど薄い形状 (小さい C/A の値) を持つという星質量依存性を示すことが分かった。これらの結果は、 $z \sim 1$ の時代になって (おそらく hot-mode accretion が効くようになって) 現れてくる薄い円盤形状の星形成銀河の一部が $z < 1$ で激しい形状変化を伴わずに星形成を止めてパッシブ銀河に進化していくと考えることで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](#)

X42a WERGS: Lyman break radio galaxies found by Subaru HSC

Takuji Yamashita, Hisakazu Uchiyama (NAOJ), Tohru Nagao, Masaru Kajisawa (Ehime U.), Yoshiaki Ono (U. of Tokyo), Yoshiki Toba (Kyoto U.), and the WERGS collaboration

We will present the results of our high- z radio galaxy survey using Subaru HSC-SSP and archival radio data. High- z radio galaxies are known to be an essential population for deeply understanding the formation of massive galaxies in the early universe. Current known high- z radio galaxy samples are limited in number and are biased against radio SEDs. Our radio galaxy survey, WERGS (Wide and Deep Exploration of Radio Galaxies with Subaru HSC, Yamashita et al. 2018, ApJ, 866, 140), is an on-going project to explore optically faint radio galaxies based on Subaru HSC-SSP and radio archival data. We constructed a new high- z radio galaxy sample with Lyman break technique for radio detection sources. This method has been demonstrated by the discovery of $z = 4.7$ high- z radio galaxy (Yamashita et al. submitted) that was reported in 2019 Spring Annual Meeting. Currently we have 35 g -dropout and 4 r -dropout high- z radio galaxy candidates. This presentation focuses on the sample selection method and the properties of host galaxies of the candidates.

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

X43a Wide and Deep Exploration of RGs with Subaru HSC (WERGS): The Environment of High- z Radio Galaxies at $z \sim 4$

Hisakazu Uchiyama, Takuji Yamashita (NAOJ), Jun Toshikawa (ICRR), Nobunari Kashikawa (Tokyo univ.), Tohru Nagao (Ehime univ.), Kohei Ichikawa (Tohoku univ.), Malte Schramm, Mariko Kubo, Yuichi Harikane (NAOJ), Kei Ito, Yongming Liang (SOKENDAI/NAOJ) and, the WERGS collaboration

High- z radio galaxies (HzRGs) have been thought to be useful probes of large-scale structure, pointing towards the possible sites of galaxy overdensities, which are good laboratories for studying the environmental effects on the properties and evolution of galaxies. However, the number of known HzRGs at $z > 4$ is critically small. This means that a consistent picture of the environment of HzRGs needs to be derived. We examine a possible correlation between protocluster and high- z radio galaxy (HzRG) candidates constructed from Hyper Suprime-Cam Subaru Strategic Program at $z \sim 4$. The protoclusters are defined by the g -dropout overdense regions with $> 4\sigma$ significance (Toshikawa et al. 2018). The HzRG sample is extracted from a radio galaxy survey of Wide and Deep Exploration of RGs with Subaru HSC, “WERGS” (Yamashita et al. 2018). We investigate whether the HzRGs live in the overdense regions by comparing the overdensity distribution around HzRGs to that around g -dropouts. To further examine the average environment of HzRGs, we measure the median stacked overdensity significance map around all HzRGs and g -dropouts. Finally, we discuss what descendant halo masses the protoclusters associated with the HzRGs are expected to evolve into using light cone model.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

X44a HSC サーベイで探る AGN と明るい銀河の強い相関関係のメカニズム

白崎裕治 (国立天文台)、秋山正幸 (東北大学)、鳥羽儀樹 (京都大学)、何晩秋 (東北大学)、後藤友嗣 (国立清華大学)

$10^6 M_{\odot}$ を越える大質量ブラックホール (SMBH) は大多数の銀河中心に存在することが明らかになってきているが、それらがどのように形成されたのかは未解決の問題であり、現在活発に研究が進められている。銀河同士の合体により SMBH が成長するとするモデルが提案されているが、AGN の母銀河の観測では銀河衝突の痕跡が見つからないケースも多く、銀河衝突だけでは説明ができないともされている。

我々研究グループは SMBH の成長に周辺銀河の分布、すなわちその環境が影響しているのかを調べることを目的に、すばる戦略枠プログラム HSC サーベイ (HSC-SSP) の初期観測データを利用して AGN と銀河のクラスタリング解析を行った (Shirasaki et al. 2018)。その結果、AGN 周辺において明るい銀河の数密度がその平均に比べ極めて高くなることが判明した。その密度超過度は、クラスタリングの強さを表す指標である相関距離で表すと $30 h^{-1} \text{Mpc}$ にまで達する (一般銀河の相関距離は $\sim 5 h^{-1} \text{Mpc}$)。こうした明るい銀河の密度超過は AGN から数 Mpc の距離まで及んでおり、それら AGN と銀河間の直接的相互作用によるものとは考えにくく、背景においてより大きなスケールにおける相互作用が働いていることを示唆する。

そうした相互作用の原因を解明すべく HSC-SSP S18a 内部リリースのデータセットを利用し、明るい銀河が 4Mpc 以内に検出されている AGN を選択し、その周辺の銀河分布の解析を行った。その結果、そうした環境では銀河団もしくは銀河群数が、通常銀河の周辺に比べて多くなっていることが示唆された。このことは AGN と明るい銀河の強い相関が、銀河団 (あるいは群) 間の相互作用に起因することを示唆する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

X45a 大規模可視光面分光サーベイ HETDEX データを用いて探る $z \sim 2-3$ Type1 AGN 光度関数

鹿熊亮太 (東京大学、宇宙線研究所), HETDEX collaboration

超大質量ブラックホール (SMBH) の形成・進化は、天文学の大きな問題の一つである。降着円盤への質量降着で活動銀河核 (AGN) として輝く SMBH は、その質量と光度におおまかな相関が見られる。したがって、成長の仮定にあると考えられる低質量の SMBH の物理的描像を探るには、低光度の AGN を大量に観測し、統計を取らなければならない。しかし、遠方宇宙に存在する低光度 AGN サンプルの作成は容易ではない。そこで、我々は史上初の大規模可視光面分光サーベイである Hobby-Eberly Telescope Dark Energy Experiment (HETDEX) のデータに着目した。HETDEX はテキサス大学オースティン校が中心で進める銀河サーベイであり、およそ 450 平方度の領域に約 35,000 本のファイバーを持つ分光器を向けて輝線銀河を観測する宇宙論探査である。観測領域内のすべての天体の分光データが手に入るため、低光度 AGN を分光データから選択することができる。我々は、HETDEX の初期観測と HSC-SSP 観測とが重複している約 $3 \times 10^7 \text{ cMpc}^3$ の探査領域内から、独自のパイプラインを用いて Type1 AGN カタログを作成した。 $2 < z < 3.5$ において紫外等級が -18 等までの Type1 AGN を検出することに成功し、Type1 AGN の光度関数を描いた。また、多波長観測データの文献値から SED fitting を行うことで、銀河と AGN のどちらが紫外連続光の主な起源となっているかを判別した。その結果、我々の検出した紫外連続光が暗い AGN の中には、AGN よりも銀河からの連続光が卓越しているものがあることがわかった。本公演では、Type1 AGN の選択のために作成した独自のパイプラインについて、また、AGN 光度関数と、紫外連続光が暗い AGN の物理的特徴についてを中心に議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

X46a A NuSTAR and XMM-Newton Study of the Two Most Actively Star-forming Green Pea Galaxies (SDSS J0749+3337 and SDSS J0822+2241)

Taiki Kawamuro (NAOJ), Yoshihiro Ueda (Kyoto University), Kohei Ichikawa (Tohoku University), Masatoshi Imanishi, Takuma Izumi (NAOJ), Atsushi Tanimoto (Kyoto University), Kenta Matsuoka (Università degli Studi di Firenze)

Green Pea galaxies (GPs) are compact and [O III] bright galaxies that were identified in the local universe ($0.1 < z < 0.4$) by the Galaxy Zoo project. Because the GPs resemble high- z galaxies, they have been studied usually to understand an early phase of galaxy growth. Interestingly, some of them have mid-infrared (MIR) properties consistent with having active galactic nuclei (AGNs) with 2-10 keV luminosities of $\sim 10^{44} \text{ erg s}^{-1}$.

Motivated by the fact, we explored X-ray evidence for the presence of AGNs in the two most actively star-forming GPs, SDSS J0749+3337 and SDSS J0822+2241, which had star-formation rates (SFRs) of $\sim 120 M_{\odot} \text{ yr}^{-1}$ and $\sim 80 M_{\odot} \text{ yr}^{-1}$, respectively. Our first *NuSTAR* observations towards them detected no significant hard X-ray emission, however. By contrast, soft X-ray emission with 0.5–8 keV luminosities of $\approx 10^{42} \text{ erg s}^{-1}$ was significantly detected in both targets by *XMM-Newton*, as explained only by star formation (SF). If AGNs in SDSS J0749+3337 and SDSS J0822+2241 were missed due to putative AGN tori, they should be heavily obscured with hydrogen column densities along the equatorial plane above $2 \times 10^{24} \text{ cm}^{-2}$ and $5 \times 10^{24} \text{ cm}^{-2}$, respectively. Otherwise, no AGN exists and the MIR emission needs to be ascribed to SF.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

X47a Identification and Investigation of Interacting Galaxies Using Spatially Resolved Data

Kiyoaki Omori (Nagoya University), Tsutomu T. Takeuchi (Nagoya University)

Galaxy interactions are an important fundamental process when it comes to discussing galaxy evolution, but many studies conducted on the topic are case studies, and field studies with a large sample are difficult. This is due to the fact that identification of interacting galaxies is mainly done through classifying optical images or the use of Convolutional Neural Networks trained using such images, both of which are susceptible to misclassify certain types of galaxies such as post-mergers. Such misclassifications can hinder the science of interacting galaxies. We suggest a more physically motivated identification method. Using the spatially resolved dynamical data of galaxies provided in the Mapping Nearby Galaxies at APO (MaNGA: Bundy et al. 2015) catalogue, we have conducted a classification of interacting galaxies based on their dynamical structure. To identify currently interacting galaxies, we looked for features such as asymmetries in the stellar velocity maps. To identify post-mergers, we looked for counterrotation in the stellar velocity maps, a feature found in the simulational results of Johnston et al. (2018). We obtained the star formation histories of these identified galaxies using the MaNGA FIREFLY Value Added Catalogue (Goddard et al. 2017), and found them to be consistent with the results of simulations in previous works, such as Moreno et al. (2015). We will discuss this and other findings, as well as future prospects.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

X48a 可視面分光観測で探る銀河の棒状構造に起因する星形成とクエンチング

村田一心 (法政大学)

本研究では可視面分光サーベイ MaNGA の公開データを用いて、近傍銀河における棒状構造の有無と空間分解した星形成活動との関係を調査した。これまでの研究では、サンプルに棒状構造の弱い銀河も含まれていたり、星形成率の議論に可視のカラーだけしか用いていないなどの不定性があり、棒状構造と星形成活動との関係は完全には理解されていない。

そこで本研究では、Galaxy Zoo と MaNGA を用いてこの問題に取り組んだ。Galaxy Zoo で 8 割以上が棒状構造あり/なしに投票された銀河を用いることで、顕著な棒状構造を持つ棒銀河サンプルと棒状構造を持たないコントロールサンプルを構築した。その際、コントロールサンプルには棒銀河サンプルと星質量が 0.1 dex 以内で一致する銀河だけを用いた。これらのサンプルについて MaNGA データを用いて銀河全域で H α 輝線を用いて星形成率を求め、公開されている星質量分布と合わせ、比星形成率分布を求めた。

その結果、次のような結果が得られた。1. 棒構造の有無や星質量に依らず、中心に向かって比星形成率は単調減少した。2. 外側での比星形成率は、棒銀河の方が有意に低かった。3. 可視輝線で HII と診断された銀河だけを用いると、棒銀河の比星形成率は中心付近で 0.2 dex 程度の増加が見られた。4. 中心の比星形成率のヒストグラムは棒銀河サンプルでのみ二峰性を示し、可視輝線で HII と診断される銀河の割合も棒銀河サンプルの方が有意に小さかった。これらの結果は、棒状構造によって円盤内のガスが中心に送られることで、中心の星形成活動が誘発され、その後急速にクエンチングする描像と一致している。

[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](#)

X49a MaNGA データで探る銀河形態と銀河内部の星形成活動分布の関係

小山舜平 (愛媛大学), 小山佑世, 山下拓時, 林将央 (国立天文台), 竝木茂朗 (総合研究大学院大学)

近傍銀河の星形成活動と銀河形態の分布には強い相関がみられる。この相関を作る一要因として、銀河形態が星形成活動に影響する可能性 (e.g. morphological quenching) などが考えられているが、観測的には明らかでない。本研究では、同じ星質量、星形成率をもつが形態の異なる二つの銀河種族についてその性質を比較することで、星形成活動と形態の関係の起源を明らかにすることを旨とする。前回の年会 (2018 年秋季年会 X50a) では形態と星形成効率の関係を探り、銀河全体の星形成効率に形態依存性がみられないことを報告した。

本研究では星形成活動の形態依存性をより詳細に調べるため、4000 天体以上の近傍銀河 ($z < 0.15$) の面分光観測を行った MaNGA サーベイを用い、銀河内部の星形成活動分布が銀河形態とどのような関係にあるのかを調べた。星形成率面密度や $H\alpha$ 等価幅分布を形態毎に比較した結果、同じ星質量、星形成率をもつ銀河であっても星形成分布は形態によって異なり、円盤の卓越した銀河と比べてバルジの卓越した銀河ではより中心に集中した星形成活動をもつことが分かった。これまでに報告した通り、銀河全体の星形成効率には形態依存性が見られない。言い換えれば、星質量と星形成率が同じであれば、分子ガスの総量は形態によらず不変であるが、その分子ガスの銀河内部での分布は銀河の形態と強く関係していることが示唆される。本講演ではこれら結果を踏まえて、銀河形態が星形成活動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](#)

X50a ALFALFA スペクトルから探る近傍銀河の HI ガス質量の形態依存性

竝木茂朗 (総合研究大学院大学), 小山佑世, 山下拓時, 林将央, 嶋川里澄, 小野寺仁人, 但木謙一 (国立天文台), Martha Haynes (Cornell University), 小山舜平 (愛媛大学)

銀河進化を調べる上で HI ガスの情報は非常に重要である。一般に銀河進化というと星形成による銀河の星質量などの変化をさす HI ガスはこの星形成の材料となる。本研究では近年行われた大規模な HI 輝線のブラインドサーベイ (ALFALFA サーベイ) のデータをもとに 25492 個の SDSS 近傍銀河 ($z = 0.01 - 0.05$) の HI ガスの情報を調べた。すでにこのサーベイの公開カタログを用いた研究はいくつかあるが、これには HI ガスが検出された天体しか含まれていない。そのためこのカタログをもとに HI ガスの情報を調べると HI ガスの多い銀河に偏ってしまう。本研究では ALFALFA サーベイ領域に含まれる SDSS 銀河について HI 輝線検出前のスペクトルをスタックすることで、検出限界によるバイアスを受けない近傍銀河の平均的な HI ガス質量を調べた。この時銀河の星質量と星形成率でサンプルを分け似た性質を持つものをスタックしている。結果として銀河のガス:星質量比は主として銀河の星質量に依存し、小質量の銀河ほど HI ガスを多く持つという傾向が見られた。次に星質量と星形成率に加え銀河の形態によってサンプルを分類した。ここで我々は Galaxy Zoo DR2 のデータを用いた。Galaxy Zoo は多くの一般の方の協力をもとに数十万の銀河の形態を分類している。本研究ではディスクのような特徴を持つか、ディスクのないスムーズな広がりを持つかによってサンプルを分類した。その結果星質量と星形成率が同じでもディスク銀河の方がスムーズ銀河に比べ 2~3 倍程度 HI ガスの量が多いという結果になった。これは green valley 銀河では星形成率と星質量を固定すると分子ガス量の形態依存性はないという S.Koyama et al. (2019) の結論とは対照的な結果である。講演ではこれらの結果を踏まえて HI ガスと銀河形態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](#)

Y01a 太陽系外惑星命名キャンペーン 2019

山岡 均 (国立天文台・国際天文学連合アウトリーチ日本窓口)

2015 年に開催された第 1 回に続き 2019 年に、国際天文学連合 100 周年を記念するイベントのひとつとして、世界的な太陽系外惑星命名キャンペーンが実施された。第 1 回は全世界じゅうから単独のサーバにアクセスして命名提案や投票を実施したが、今回は各国・地域に主星と惑星をそれぞれ 1 つずつ割り振り、それに対する命名提案を各国・地域で取りまとめて本部に報告し、最後に本部でまとめるという形式が取られた。前回は言語のバリエーションが高かったことを反省して、この形式が採用された。

日本では、主星・惑星それぞれの名前とともに、名前の説明文を 200 字以上 400 字以下で書くように求めた。第 1 回で安易な命名提案がままあったことが批判されたが、それを避けることが目的であった。提案は匿名で投稿でき、ひとりが複数の提案をすることも可能とした。この命名提案は 2019 年 6 月 28 日から 9 月 4 日まで収集され、結果的に命名提案の数は 696 件となった。

選考の方法も各国・地域で異なるものとなった。日本では、日本天文協議会の構成組織から推薦された委員が、696 件を 30 件にまで絞り込んだ。さまざまな分野の方に参加をお願いして構成した 10 名の委員会によって、30 件から 3 件が最終選考され、本部に報告された。本部での調整・確認を経て、2019 年 12 月に最終結果が公表される運びである。

講演では、今回の手法について概説し、次回に同種のキャンペーンが実施されるときの方法論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](#)

Y02a インターネット天文学辞典の運用・利用状況の報告

縣秀彦 (国立天文台), 岡村定矩 (東京大学), 半田利弘 (鹿児島大学) 他日本天文学会インターネット天文学辞典編集委員会

日本天文学会は、創立 100 周年記念事業として編纂し 2012 年に刊行した「シリーズ現代の天文学 別巻天文学辞典 (日本評論社)」の内容を更新し、無料で誰でもが利用可能な「インターネット天文学辞典」<http://astro-dic.jp> を 2018 年 4 月に公開した (公開前後の経緯については文献を参照のこと)。本講演はその後の運用状況及び利用状況を報告し、今後の更なる改善について議論するものである。

2019 年 1 月に当委員会が日本天文学会の一委員会として設置され、現在 15 名の委員が本辞典の更新・改良・維持運用を担当している。さらに、一般社団法人日本天文教育普及研究会「天文用語検討・活用 WG」(現在 13 名) が、内容のチェックと教育普及現場での利用実践からのフィードバックを行っている。なお、改良・維持を目的に毎月 1 回の制作委員会を関係者で実施しており、アクセス解析等を行っている。

アクセス数はこの間順調に伸びている。例えば 4 月の EHT 成果やはやぶさ 2 に関連する用語など、特にメディアで取り上げられた用語への閲覧が増える傾向がある。また、毎月閲覧数の上位にブランク定数、リュードベリ定数、バルマー系列、赤方偏移などの用語がランクインしており、高等学校や大学等において活用されていることが推察される。2019 年秋には英単語から検索可能なよう機能を補強するなど、さらに使い易い辞典を目指している。

文献: 岡村定矩, 縣秀彦, 半田利弘 (2018), 天文月報, 第 111 巻第 9 号, 601-608.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Y03a 天文学を税金を使うことに賛成なのはどんな人？

生田ちさと (JAXA 宇宙科学研究所)

研究者やアマチュア天文家以外の、いわゆる general public が宇宙や天文に関心や興味を示す割合は比較的高い。また、「はやぶさ2」に代表される探査ミッションやロケットの打上げなど、宇宙における人類の活動も注目され、成功した場合には特に、メディアが好意的に報道し、多くの国民から注目され、応援してもらえる。興味を示しているとは言え、天文学の研究に税金を使うことをどのくらいの国民が支持しているのだろうか？また、天文学に税金を使うことに賛成な人々はどのような特徴を持つ人々だろうか？本講演では、インターネットを通じたアンケート調査の結果から前述の疑問について議論する。調査は二段階で行った。最初にスクリーニング調査として、20才以上の各年代、男女別、各1000人ずつ、計20000人を対象に天文学への興味、天文学に税金を使うことに賛成かどうかについて問うた。その後、天文学に税金を使うことに賛成した回答者を対象に、天文学に興味を持つようになったきっかけ、興味を持つようになった年代などの質問を行った。スクリーニング調査の結果、約35%の回答者が税金の1%以上を宇宙に関する研究に使うことに賛成していた。どのくらいの税金を宇宙に関する研究に使うかは、年齢が重要変数であり、(当然ではあるが)宇宙に対する興味があるかどうかも重要変数であった。宇宙に関する研究に税金を使うことに強い賛同を示した回答者に対して行った本調査から、小学生時期に興味をもった場合が多いと同時に、大人になってからの割合も無視できないほどに高いことがわかった。また、きっかけとして上位3つは、テレビを見たこと、展示を見たこと、観望会であった。

[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](#)

Y04a 天文学講演におけるアンケート自由記述欄に関するテキスト分析

京都情報大学院大学, 京都大学天文台天文普及プロジェクト室

科学コミュニケーション活動として、発表者は京都千年天文学街道アストロトークを運営している。アストロトークは2011年から1年に4-5回の頻度で開催する講演で、通常講演に加え、国立天文台4D2Uプロジェクト提供のMitakaと京都大学天文台が独自に製作した天体3D映像「Kyoto4D」を組み合わせた立体視による講演からなるイベントである。アストロトークでは、イベント内容やプロモーション方法の改善などを目的として、選択式と自由記述式からなるアンケートを毎回とっている。これまでの、のべ開催数36回に対する参加者数1243名のうち、約7割からアンケートの回答を得ており、アンケートの自由記述欄に参加者が記述した文章のテキスト分析結果の紹介が本発表の内容である。自由記述欄の分析は、目につきやすい記述が分析者にとって印象づけられ、客観的分析が容易ではないが、近年のアンケート分析の手法の発達により、自由記述欄に記述された文章を計量的に扱い、ある程度客観的に分析できるようになってきた。今回は、アストロトークで得たアンケートデータの自由記述欄を分析対象として、樋口耕一氏が開発している計量テキスト分析ツール「KH Coder」を用いてテキスト分析を行った結果を発表する。分析対象とした自由記述設問は、「今回印象に残った事は何ですか？」と「天文に関して、どんなことが聞きたいですか？」である。前者の設問に対する回答の分析から、講演者の狙い通りに講演のテーマやトピックが参加者へ印象づけられたことを、共起ネットワークなどを用いて確認することができた。また、立体視による講演が強く印象づけられたことも分析から見て取ることができる。また後者の設問に対する回答については、日食などの天体現象や重力波などの発見にともない、これらのキーワードのアンケート上での記述が、注目度が高い年度に出現しやすい傾向にあることを、対応分析などによって確認することができた。

[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](#)

Y05a 国立天文台「市民天文学」プロジェクト GALAXY CRUISE サイトの公開

白田-佐藤功美子, 小池美知太郎, 柴田純子, 田中賢幸, 内藤誠一郎, 山岡均 (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) の公開データを用いて、衝突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 サイトの日本語版 <https://galaxycruise.mtk.nao.ac.jp> を 2019 年 11 月 1 日に公開した (市民天文学は、国立天文台で行うシチズンサイエンスをさす造語)。独自にサイトを開発するにあたり、主に英語で運用されている既存のシチズンサイエンスサイトではあまり実装されていない、以下の工夫を施した。

(1) トレーニング・練習機能を充実

非専門家が自信を持って分類できるように、3 段階のトレーニングメニューを用意した。参加登録後にログインする分類サイトでは、船長 (研究者) と自分の分類結果を比べられる練習画面に簡単に切り替えられる。

(2) ゲーム性を重視

観測領域を 4 つの街と 6 つの大陸にたとえ、領域完了ごとにもらえる「出国スタンプ」や、領域内の完了エリア数に応じてもらえる「おみやげ」イラストを集めたりできる。進行とともに船室のグレードも上がる。

(3) 宇宙を周遊

分類の合間に、HSC-SSP データ内を巡って楽しむことができる。

2019 年 11 月末日現在で、既に 1100 名以上がユーザー登録し、全ての領域において分類作業を完了したユーザーも現れた。本講演では、GALAXY CRUISE サイトの特長とともに、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](#)

Y06b 非欧米言語科学辞書における天文学用語の記載状況の調査例

玉澤春史 (京都市立芸術大学/京都大学)

国際天文学連合 (IAU) の Strategic Plan 2020-2030 では目標の一つに学校教育レベルで指導および教育が掲げられており、例として、学校のシラバスの修正提案、教師研修の実施、簡単に入手でき、各国の言語に翻訳できる適切な教材の特定などをあげている。進展の早い分野である天文学では専門用語は英語等をそのまま使われる場合も多く、また高等教育では英語など特定の言語でないと専門知識が導入できない場合も多い。一方で初等教育においては教授言語と実際の現場で使用されている言語を併用されている場合も多く、それぞれの言語で天文学に関する初歩的な用語がどのようになっているかを把握し、理科などの教科書の記載と比較していく必要がある。

本発表では一例としてタンザニアで発行された「KAMUSI SANIFU YA BIOLOJIA, FIZIKIA NA KEMIA」(生物・物理・化学標準辞典：英スワヒリ辞典) における初等教育で用いられる天文学用語の集録状況を紹介する。「インターネット天文学辞典」において小学生向けとされる用語が収録されているかどうかをチェックすると、例えば各惑星に関する記載はないなど、基礎的な事項であっても科学の各分野と比較して記載が充実していない可能性が高い。

[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](#)

Y07b 科学ライブショー「ユニバース」におけるライブ天体観測

亀谷和久(国立天文台)、科学ライブショー「ユニバース」関係者一同

科学ライブショー「ユニバース」は、科学技術館(東京都千代田区)において1996年から毎週土曜日に上演を続けている一般向けの定期プログラムである。その特徴は科学の研究者等が「案内役」として出演し、様々な現象を再現するリアルタイム科学シミュレーションや本物の映像等を駆使して科学の魅力を伝えることである。そのコンテンツの一つとして上演開始当初から継続して上演している「ライブ天体観測」について報告する。

「ユニバース」の上演時間は日本時間の午後であり、可視光での天体観測はできない。しかし同時刻に地球上の夜の地域では天候等の条件が許せば観測可能であり、インターネットを介して天体画像を共有することでライブでの天体観測が実現できる。このようにして日本の昼間に本物の天体観測の機会を来場者に提供するのが「ライブ天体観測」の目的である。我々はこれまでにアメリカ合衆国のカリフォルニア大学バークレー校ロイシュナー天文台(1996年2000年)、ヤーキス天文台(2000年2018年)、およびアドラープラネタリウム(2019年)と協力関係を結び、2019年末までに430日以上「ユニバース」上演日にライブ天体観測を実施した。事前の打ち合わせおよび本番中の機器やソフトウェアの操作は、「ユニバース」の運営を担う学生団体「ちもんず」の担当者が行なう。本番では、40分間のライブショーの一つのコーナーとして10分間程度をライブ天体観測に充てる。案内役がライブ天体観測の仕組みと協力先の天文台の紹介を行なった後、インターネット通話ソフト等を用いて先方の担当者と生中継し、会話をしながらその日の天候や撮影された天体の解説をしてもらう。案内役は先方の話を翻訳して適宜補足しながら来場者に伝える。このようにして、来場者は海外の専門家とのコミュニケーションとともに撮影されたばかりの天体画像を楽しむことができる。講演では、実際の運営の詳細等を報告する。

[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 夜空の明るさの測定における天候の自動判断に向けた検討結果

小野間 史樹, 野村 詩穂(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。このバックグラウンドは照明のみならず大気状態の影響を受け日々変化するため、照明の影響の評価のためには継続的な測定が必要である。さらに近年、星空の地域資源としての価値が改めて見直されてきており、地域に焦点を当てた継続的な調査の拡充が求められている。一方で、これまで我々が開発したデジタル一眼カメラによる測定システムでは天候の判断を目視によって行っており、ある地域を継続調査するためにセンサを多数配置した場合、これらの自動化が課題であった。

2018年春季年会では広島市に設置したシステムにおける天候判断の自動化について報告したが、判断に必要なパラメータについては地域差がある可能性が示唆されていた。今回、北海道名寄市および沖縄県竹富町波照間島に設置したシステムの測定結果を元に自動化に向けた評価を行った。その結果、広島市や名寄市などではR/G比が天候判断に有効であるが、波照間島のように地上からの照明が極端に少ない地域ではR/G比や背景のカウント値の分散に顕著な差が現れないことが明らかになった。講演では、カメラ装置の紹介や実際の撮影画像とともに具体的な例を示し自動判断の実現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](#)

Y09a プラネタリウムを用いたデータサイエンスへの適用とその教育利用

忠地涼汰, 大西浩次 (国立長野高専)

プラネタリウムのような表示装置を使って、大量の多変数データを視覚化することで、データサイエンスを行う可能性を検討している。この第一段として、高校生や大学生向けの教育ツールとして、プラネタリウム映像から任意の指定した範囲における恒星の HR 図を作成する機能を実装したプラネタリウムソフトを開発した。ここで使用したデータは、ヒッパルコス星表、約 12 万個の恒星データである。ソフトでは、その星の位置 (赤経・赤緯)、距離 (視差)、固有運動 (赤経・赤緯)、B-V 色指数、スペクトル型などのデータを任意に表示することができる。たとえば、国立天文台 4 次元デジタル宇宙プロジェクトで開発している MITAKA のように、宇宙空間の任意の場所・時刻における星空が再現できる。また、通常のプラネタリウムのように星座線や天の川、惑星の位置シミュレーションなども表示でき、そのドームマスターから直接投影できる。実際、公開講座の際などに、長野高専天文部が製作した自作デジタルプラネタリウム投影機で、プラネタリウム番組を投影している。

この HR 図の作成機能とは、任意の方向・任意の視野サイズでの色等級図 (絶対等級- B-V 色指数)、および、視等級- B-V 色指数図、固有運動などをポップアップ画面に同時に表示できるようにした。画面上の天球映像からマウスで恒星を選択するだけで簡単に HR 図を描くことができるため、星空に見える恒星の輿行方向の位置関係や年齢、重さなどを視覚的に理解することができる。これらを使うと、星の進化などを理解する通常の HR 図が任意の方向で描けるとともに、散開星団や OB アソシエーション、運動星団のようなグループを視覚的に探すことができる。このように、プラネタリウム上で様々なデータを扱い、グラフや矢印で可視化することで高度なデータサイエンスを行うツールとして利用できると共に、高校生、大学生向けの教材として利用できる。

[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](#)

Y10a 明治 20 年の皆既日食を撮影したと思われる写真の発見その後

大越 治 (国立天文台)

明治 20 年 (1887 年) 8 月 19 日、新潟県から福島・茨城県にかけて皆既日食が見られた。この日食は近代以降に本州で初めて起きたもので、新潟県三条で当時の内務省地理局観測隊の杉浦正治氏が撮影したコロナの写真は、世界的にも貴重な資料とされている。2018 年の年会では、この皆既日食を非専門家である町の写真師が撮影したと思われる写真が、水戸で新たに発見されたこと、そして、当時の写真の役割と技法や撮影者について調査し、一般市民がとった多くのコロナスケッチと比較することで、発見された写真の一部は実際に日食を撮影したものである可能性が高いということを報告した。その後、撮影者の子孫の方を訪問し、ただ一つの遺品でありコロナ撮影に使われたと思われるカメラレンズを検分することができた。その結果、前回の報告の通り十分にコロナ撮影ができるレンズである事を確認した。ところがさらにその後、このレンズについて子孫の方に伝わっていた事から異なる事実が新たに明らかになった。果たしてコロナを撮影したのは本当にこのレンズだったのか、あるいは別のレンズが使われたのか、再び混沌とした状態に戻ってしまった。講演では、問題のレンズについて新たに出てきた問題点と、その後の調査によって判明したことについて報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Y11a 長浜城歴史博物館の国友一貫斎の主鏡面精度測定

萩野正興、都築俊宏、篠田一也、石川直美、小野智子(国立天文台)、太田浩司、岡本千秋(長浜城歴史博物館)、富田良雄、廣瀬一實(国友一貫斎再評価委員会)、野澤恵、宮良碧、宮崎将、石村周平(茨城大学)、岩橋清美(国文学研究資料館)、木村剛一、大辻賢一(京都大学)

国友一貫斎が製作した反射望遠鏡は4基(上田市立博物館、長浜城歴史博物館、彦根城、国友家)ある。これらの望遠鏡は1830年代に作成され、180年ほど経過している。このうち上田市のものは富田ら(1998)により調査が行われた。この調査によると主鏡は放物面 Cu-Sn 合金の金属鏡で、口径は60mm、焦点距離は251mm、面精度は $\lambda/4$ と報告されている。

今回は長浜城の望遠鏡の主鏡を取り外し、国立天文台先端技術センターにおいてフィゾー干渉計を用いた面精度測定と表面粗さ測定器を用いた面粗さの測定を行った。2種類のメーカーの異なる現代の市販の凹面鏡を参照として利用した。

今回の測定により、長浜城の主鏡も上田市のものと同様に形状は放物面であることが判明した。面精度(PV値)は 0.67λ であり、現代の鏡と同等の性能を維持していることが分かった。一方、面粗さ(Sq)は3.7nm RMSとなり、現代の鏡との差異が見られた。本発表ではそれらの測定結果について報告する。

[スケジュール\(セッション毎\)に戻る](#)

[スケジュール\(全体\)に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Y12a 福岡県八女市星野村における地方創生プロジェクトI

田中幹人、池田優花、笹野美駒、高橋あゆみ、戸澤理紗、守角夏海(法政大学理工学部創生科学科)

福岡県八女市星野村は、茶の産地として高級茶「星野玉露」のブランドを持っていることに加えて、村名からイメージされる星をテーマとして(実際、2005年度全国星空継続観察では5位を記録している)、地域振興を図っている。その一環で、1990年代前半にふるさと創生一億円事業によって、星の文化館(口径100cmと65cmの望遠鏡を有する宿泊可能な公開天文台)、茶の文化館、古陶星野焼展示館を開業している。しかしながら、星野村の人口は、1943年の金山閉山をきっかけに、ピーク時の9,226人(1940年)から現在(2019年10月末)の2,401人まで減少の一途をたどり、高齢化と過疎化が深刻な問題となっている。

この問題に対して、SDGsを基礎にして地域活性化を目指す住民主体の団体「星野未来塾」が2018年11月から活動を行っており、同団体における村おこしのテーマにも「星」が含まれる。そこで我々は、第三者である研究者という立場で、アクションリサーチの手法を用いて、星野未来塾が取り組む星野村地域活性化計画に参画している。アクションリサーチとは、フィールドで起こっている課題に対して専門性を持った研究者自身が積極的に関与し、変化をもたらす研究手法である。つまり、単なる改善提案に止まることなく、研究者が地域で活動を続けて、住民が持続的かつ主体的に活性化の担い手となっていけるよう支援することが重要である。このような研究を進めるためには、インフォーマントから正確なデータを提供してもらうことが必須で、住民との信頼関係の構築にまず取り組む必要がある。関係構築の方法は多岐にわたり、例えば、天文学と文化人類学を掛け合わせて地域特有の天文文化を理解する研究もその過程が関係構築の一環になる。本講演では、星野村の紹介に加えて、住民との関係構築の過程で見えてきた地域の課題、および本プロジェクトの今後の展開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](#)

Y13b 天体学習用教材「VR 望遠鏡」の開発

梶孝治, 山口健, 吉川浩 (日本大学)

天体望遠鏡を覗き込んだ時の興奮は、覗いた人にしか通じない高ぶりがあるだろう。星空に望遠鏡を向けて、未知のものを覗き込むという動作そのものに、喜びを感じるからかもしれない。事実、小学校理科の学習指導要領には、「移動教室や宿泊を伴う学習の機会を生かして、実際に月や星を観察する機会を多くもつようにし、夜空に輝く無数の星に対する豊かな心情と天体に対する興味・関心をもつようにする。」(小学4年B生命・地球(4)月と星イ)と記載されている。一方、夜間に児童を集めることの難しさや、天候条件や地理条件に強く影響されることなどから、今日の教育現場では野外観察を行わず、単に知識の理解・習得を中心とする授業が展開され、宇宙の素晴らしさや面白さを伝えきれていないことが実情である。

最近、これらの課題を解決するために、タンジブル天体学習用 AR 教材や、多視点型太陽系 VR 教材などを用いて、天文に対する学習意欲を高めている。しかし、これらの教材は、実際に行う野外観察とは根本的に異なる。「夜空に輝く無数の星に対する豊かな心情と天体に対する興味・関心をもつようにする」には、望遠鏡を能動的に見ることが最も効果的であると考える。

そこで、時間や天候、地理条件に捕らわれず、能動的な操作を必要とする教材「VR 望遠鏡」を開発した。本教材のシステムは、まず、Unity により天体の軌道を 3 次元空間に再現する。次に、Arduino を使い、望遠鏡の姿勢と現在位置情報をセンサーと GPS から取得。これらの情報から、望遠鏡の向きにある天体を液晶に表示。表示された天体をレンズを通して覗くことで、実際の望遠鏡を覗いているような体験をすることができる。本発表では、VR 望遠鏡の概要と今後の展望について発表する。

[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](#)

Y14b 人工衛星電波受信実験の高校物理教材化：正課授業での実践

内山秀樹, 小林尚輝 (静岡大学), 山本仁 (静岡大学附属浜松中学校), 神尾誠也, 木下拓史 (日本大学三島高等学校), 島野誠大 (立教新座中学校・高等学校), 武井大 (立教大学), 松山福太郎 (静岡県西遠女子学園高等学校), 内山智幸 (青森県立十和田工業高等学校), 内田匡, 石代晃司 (静岡県立科学技術高等学校), 渡辺謙仁 (北海道大学)

我々は、人工衛星電波受信実験の高校物理教材化を目指した研究を行っている。この実験では、低軌道の人工衛星からの電波を、手持ちの八木宇田アンテナで受信する。この中では、高校で扱う力学・波動分野の物理現象が学べる。同時に、科学技術と高校で学ぶ理科との結びつきを実感でき、理科への有用感を増す事が期待できる。

我々は、希望者を対象とした科学教室形式で、受信実験の教育利用の実践を行い、その教育効果の検証結果を 2018 年秋季年会にて報告した。今回は、希望者のみを対象とする科学教室の場合よりも、天文や人工衛星に対する興味・関心が多様な受講者に対し検証を行うため、高校の正課授業における実践を行った。

正課授業での実践は、2018 年に 2 つの高校で計 74 名に実施した。授業の前後でアンケートを行った。今回の受講生は、科学教室の場合と異なり、天文や人工衛星への関心が必ずしも高くはなかった。それにもかかわらず、講義・実験に対する受講者の満足度は高かった。受信実験は、関心が特に高くはない一般の生徒にも受け入れられる教材と言える。更に「社会・技術と物理・数学の関連の自覚」「理科の有用感」に関する回答は、授業の前後で肯定的な側への有意な変化が見られた。本実験は理科への有用感を増す教材として有効だと考えられる。

本報告では上記実践とその効果検証の詳細を示す。また、本受信実験を取り入れた半期の授業のモデルケースとして、教育学部教員養成課程における必修の物理学授業 (内容は高校程度の力学) での実践例も紹介する。

[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](#)

Y15b Python による天体画像解析の教材作成 –GROWTH Astronomy School を参考に–

戸間紗也香, 河合誠之 (東京工業大学), Mansi Kasliwal, Kishalay De, Cameron Hummels (Caltech), Leo Singer (NASA/GSFC), Dan Perley (JMLU)

カリフォルニア工科大学を中心として世界中の望遠鏡を繋ぐ共同研究グループ GROWTH が行う、大学生や大学院生向けの天文学講習会 GROWTH Astronomy School がある。この講習会で過去に使用された教材をもとにして、日本の大学生や高校生向けに Python の基礎的な知識を学びながら天文画像解析の練習を行う新たな教材を作成する。

対象は天文学のデータ解析の経験はなく、プログラミングにもあまり慣れていないような人である。教材は Jupyter Notebook を使用していて、天文学的な知識を解説しながら具体的な解析プログラムを穴埋めしていく形式となっている。具体的な内容は、Python の基本的な操作を学ぶ内容から天体画像の一次処理と測光を行うまでの範囲である。これは Python の一般的な扱いから天文学のデータ解析に登場するような様々なライブラリの使用に慣れ、自動で行われることの多い画像解析の仕組みを理解して制御するための知識および技術を身に付けることが目的であり、天文学研究の入り口となるような教材となっている。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Y16b 「長野県は宇宙県」の活動について

衣笠健三 (国立天文台野辺山), 大西浩次 (長野高専), 小林尚人, 青木勉, 森由貴 (東大木曾観測所), 百瀬雅彦, 宮地美由紀 (塩尻星の会), 丸山卓哉 (大町エネルギー博物館友の会), 陶山徹 (長野市立博物館), 吉住千亜紀 (飯田市美術博物館), ほか「長野県は宇宙県」連絡協議会

「長野県は宇宙県」を合言葉として、長野県がもつ「宇宙に近い」というすばらしい資産を共有し、この魅力を広く伝えるための活動を行うための組織を、2016 年 11 月に信州大学松本キャンパスにて、長野県の天文研究者や教育関係者だけでなく、科学館等の職員、天文同好会メンバーなどとともに設立した。これまでに長野県全体の学官民の連携体制を構築し、松本宣言 (「長野県は宇宙県」HP 参照) にある「長野県の地域振興、人材育成、観光、天体観測環境維持に寄与することを目的とする。」を踏まえて、いくつかの活動を展開している。まず、「長野県は宇宙県」ミーティングを年に一度実施し、次期活動方針や活動報告を行い相互の情報共有のほか、公開講演会など一般県民への啓蒙活動も行なっている。また観光面においては、県内での天文・宇宙関連の活動や星空環境を周知することを目的として、毎年夏から秋において県内の施設や観望会などを繋げたスタンプラリーを実施しており、毎年推定で 15000 人の参加者がある。環境維持に関しては、長野県星空継続観察ワーキンググループを立ち上げ、環境省が実施する全国星空観察に同期して県内の夜空の暗さ調査を実施している。その測定点は全国全体の約三分の一を占め、全国最多である。さらに、長野県の天文文化史について情報交換や議論をするワーキンググループ長野県天文文化研究会を立ち上げ、「宇宙県」のルーツとなる近世や近代における県内の天文活動を調査しようとしている。人材育成についても、長野県星空ガイド講座としてガイド育成講座の構築が始まったところである。本講演では、「長野県は宇宙県」のこれらの活動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](#)

Y17b 木曾観測所における地域連携事業の一例（木曾星の里づくり推進協議会）

青木 勉、小林尚人、征矢野隆夫、樽澤賢一、高橋英則、近藤莊平、森由貴（東京大学）、畑英利、若林博、清水醇（木曾星の里づくり推進協議会）、木曾星の里づくり推進協議会

東京大学木曾観測所は 1974 年に設立され、シュミット望遠鏡での観測・研究を行いながら、観望会や講演会、理科教育プログラム等、様々な社会貢献活動も積極的に行ってきた。観測所がある長野県木曾地域は人口が密集していないために「光害」がほとんど無く、空気が澄み、標高も高いことから、星空観察には良い条件の場所であるといえる。こうした恵まれた立地条件を地域と連携し活かして行くため、これまで天体・星空に関わる様々な活動を行っている関係者（天文愛好者）と行政（県及び周辺町村）、木曾観測所が連携し 2017 年度に「木曾星の里づくり推進協議会」を立上げた。この協議会は星空環境を守っていくことは元より、星空をテーマとした観光、教育等の各分野の取組をますます発展させて行くことを目指している。実際には、木曾観測所周辺の障害木の伐採や駐車場整備などの環境整備をはじめとして、人材育成を目的とした講演会や天文講座等を行ってきた。本年会では、木曾星の里づくり推進協議会の活動や木曾観測所との関わりについて詳しく報告する。

[スケジュール\(セッション毎\)に戻る](#)

[スケジュール\(全体\)に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Y18b 国立天文台黒点データを用いた太陽長周期活動

松岡哲史、高橋典嗣、竹澤弘貴（武蔵野大学）、萩野正興（国立天文台）

太陽黒点などの歴史的観測資料を整理することは、太陽活動を知る上で、特に 100 年周期といった太陽長周期変動を調べる上で重要である。一方で、地球気候変動と太陽活動の関連した研究のデータとなると考えられる。

我々は国立天文台からデジタル化された太陽白色光の乾板データの提供を受け、1918 年から 1928 年までの黒点相対数と黒点出現緯度の時間変化の解析を行った。ここで用いた観測データは国立天文台サイデロスタットで取得されたものである。まず、このデータの作成に当たり、期間が重複した 3 年分の黒点スケッチと乾板データを比較し、黒点群及び黒点数の整合性の確認を行った。次に、乾板データのみを用いた黒点相対数及び緯度経度の解析を行った。この結果、これまでに国立天文台で公開されてきた黒点スケッチの常時観測以前のサイクル 16 の黒点データを 1 太陽周期ほどの補完に成功した。

本研究では、国立天文台が所有する 100 年間にわたる黒点データを用いた黒点相対数と蝶形図を示し、黒点による太陽長周期活動の天文学啓発活動の可能性を議論する。

[スケジュール\(セッション毎\)に戻る](#)

[スケジュール\(全体\)に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

Y19b JVO portal の機能更新：VO クローリングデータベースを利用した多波長データ検索システム

白崎裕治, Christopher Zapart, 大石雅寿, 水本好彦 (国立天文台)

我々 JVO 開発グループでは、国立天文台が保有するすばる望遠鏡や ALMA, 野辺山望遠鏡の処理済みデータや、世界標準のアクセスインターフェイスを実装する Virtual Observatory (VO) サービスへの一元的なアクセスを提供する JVO portal (<http://jvo.nao.ac.jp/portal>) の開発を行っている。今年度は、世界中の VO サービスにより配信されているデータへのアクセスをより高速に行うことを目的として、分散データベース上に構築された VO クローリングデータベースを利用した多波長データ検索機能の実装を行った。

これまで、ユーザからの検索リクエストを受けてから各 VO サービスに対して検索を実行するサービスを提供しているが、この手法では、すべてのサービスからの検索結果が取得されるまでに、数分から数十分の時間が必要であった。また、大部分のサービスは座標検索をサポートするのみであり、その他のメタデータによる検索を高速に行うことは事実上困難であった。そうした問題点を解決するために、すでに開発済みであった VO クローリングシステムによって取得したメタデータをもとに、共通のメタデータセットに変換し、それらを複数のサーバー・ストレージ上で動作する分散データベースに登録を行った。現在登録されているデータは画像メタデータ 2 千万件超である。これにより、極めて高速 (数秒) に座標以外の検索条件でも検索が可能となった。JVO portal ではこのデータベースへの検索インターフェイスが提供されている (VO Crawler DB & JVOSky)。また、JVO の ALMA FITS Archive や野辺山レガシーデータアーカイブからの連携機能も追加され、関連する多波長の画像データを容易に取得す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](#)

講演者索引
(50音順)

【A】 – 【Z】

Tom Johannes Lucinde Cyrillus Bakx (Bakx Tom)...X06a
 Tom Johannes Lucinde Cyrillus Bakx (Bakx Tom)...X11b
 Suchetha Cooray (Cooray Suchetha).....X23a
 Alvaro Gonzalez (Gonzalez Alvaro)..... V101a
 Pierre Goux (Goux Pierre)..... P141a
 Tetsuo Hasegawa (Hasegawa Tetsuo)..... P137a
 Tetsuya Hashimoto (Hashimoto Tetsuya).....Z108a
 Natsuki H. Hayatsu (Hayatsu Natsuki, H.).....X04a
 Soh Ikarashi (Ikarashi Soh).....X05a
 Elizabeth J. Iles (Iles Elizabeth).....R02a
 Takuma Izumi (Izumi Takuma).....Z110a
 Anton Timur Jaelani (Jaelani Anton Timur).....R22a
 Mingjie Jian (Jian Mingjie).....N18a
 Yoshiaki Kato (Kato Yoshiaki).....W16a
 KOHNO, Kotaro (KOHNO Kotaro).....Z105a
 KOHNO, Kotaro (KOHNO Kotaro).....Z206b
 Kana Morokuma (Morokuma Kana).....Z115a
 Kiyooki Christopher Omori (Omori Kiyooki).....X47a
 Alexander Robert Pettitt (Pettitt Alex).....R03a
 Nirmal Deepak Sakre (Sakre Nirmal Deepak).....P143a
 Hidetoshi Sano (Sano Hidetoshi).....Z114a
 Satoko Sawada-Satoh (Sawada-Satoh Satoko).....S13b
 Wenlei Shan (Shan Wenlei).....V104a
 Donguk Song (Song Donguk).....M16a
 Masayuki Tanaka (Tanaka Masayuki).....Z107a
 Huan-Yu Teng (Teng Huan-Yu).....P319a
 TOSAKI, Tomoka (TOSAKI Tomoka).....Z113a
 Alessandro A. Trani (Trani Alessandro).....W02a
 Masato Tsuboi (Tsuboi Masato).....R30a
 Masato Tsuboi (Tsuboi Masato).....S11b
 Junko Ueda (Ueda Junko).....R10c
 Junko Ueda (Ueda Junko).....R19a
 UMEHATA, Hideki (UMEHATA Hideki).....Z101r
 WANG, Tao (WANG Tao).....Z104a
 Yikang Wang (Wang Yikang).....M13a
 Abednego Wiliardy (Wiliardy Abednego).....X32a
 Sarolta Zahorecz (Zahorecz Sarolta).....P135a
 Yechi Zhang (Zhang Yechi).....X26b

Yichen Zhang (Zhang Yichen).....P129a
 Ying Zhang (Zhang Ying).....R04b
 Yu Zhou (Zhou Yu).....Q32a

【あ】

青木成一郎 (あおき せいいちろう).....Y04a
 青木勉 (あおき つとむ).....Y17b
 青木和光 (あおき わこう).....N07a
 青木和光 (あおき わこう).....V210b
 青山皓平 (あおやま こうへい).....X10b
 青山尚平 (あおやま しょうへい).....V203a
 縣秀彦 (あがた ひでひこ).....Y02a
 赤穂龍一郎 (あかほ りゅういちろう).....N28a
 赤堀卓也 (あかほり たくや).....T02a
 秋野大知 (あきの だいち).....T07a
 秋本妃奈子 (あきもと ひなこ).....P105c
 浅井和美 (あさい かずみ).....W26a
 朝木義晴 (あさき よしはる).....V102a
 朝倉一統 (あさくら かずのり).....V323a
 浅田喜久 (あさだ よしひさ).....X09b
 浅野勝晃 (あさの かつあき).....W43a
 朝野哲郎 (あさの てつろう).....R25a
 朝比奈雄太 (あさひな ゆうた).....W07a
 阿左美進也 (あざみ しんや).....P114a
 浅山信一郎 (あさやま しんいちろう).....V105a
 浅利栄治 (あさり えいじ).....V226c
 安達稜 (あだち りょう).....Z423a
 安部大晟 (あべ だいせい).....P142a
 甘利涼湖 (あま里 りょうこ).....V116c
 荒田翔平 (あらた しょうへい).....Z102a
 粟木久光 (あわき ひさみつ).....V321a
 安藤和子 (あんどう かずこ).....N23a

【い】

飯田康太 (いいだ こうた).....V220a
 飯田佑輔 (いいだ ゆうすけ).....M27a
 飯野孝浩 (いいの たかひろ).....P306a
 家正則 (いえ まさのり).....U01a

五十嵐太一(いがらし たいち).....W08a
 生田ちさと(いくた ちさと).....Y03a
 伊師大貴(いし だいき).....Q25a
 石井彩子(いしい あやこ).....W34b
 石岡千寛(いしおか ちひろ).....P310b
 一色翔平(いしき しょうへい).....X28b
 石倉秋人(いしくら あきと).....M07a
 石倉彩美(いしくら あやみ).....V313b
 石崎欣尚(いしさき よしたか).....V308a
 石崎渉(いしざき わたる).....W39a
 石原大助(いしはら だいすけ).....Z227b
 石村周平(いしむら しゅうへい).....P313b
 泉拓磨(いずみ たくま).....Z202r
 磯貝桂介(いそがい けいすけ).....Z424a
 磯部直樹(いそべ なおき).....V234a
 磯部洋明(いそべ ひろあき).....Z310a
 磯部優樹(いそべ ゆうき).....X25b
 伊藤慧(いとう けい).....X19a
 伊藤哲司(いとう さとし).....V237a
 伊藤颯一郎(いとう そういちろう).....S05a
 伊藤穂乃花(いとう ほのか).....W12c
 伊藤洋一(いとう よういち).....V213b
 井上昭雄(いのうえ あきお).....Z109a
 井上壮大(いのうえ あきひろ).....W32a
 井上和也(いのうえ かずや).....V214b
 井上茂樹(いのうえ しげき).....Z112a
 井上毅(いのうえ たけし).....Z306a
 井上剛志(いのうえ つよし).....Z233c
 井上一(いのうえ はじめ).....W30a
 井上芳幸(いのうえ よしゆき).....S06a
 今井悠喜(いまい ゆうき).....Q01a
 今田晋亮(いまだ しんすけ).....M01a
 今西昌俊(いまにし まさと).....S22a
 入山奨基(いりやま しょうき).....V117a
 岩井一正(いわい かずまさ).....M24b
 岩井一正(いわい かずまさ).....V136a
 岩上わかな(いわかみ わかな).....W48a
 岩崎一成(いわさき かずなり).....P212a
 岩崎一成(いわさき かずなり).....Z231b
 岩田悠平(いわた ゆうへい).....S10a

岩橋清美(いわはし きよみ).....Z316r

【う】

上田暁俊(うえだ あきとし).....V229b
 上田華穂(うえだ かほ).....Z309c
 上田翔汰(うえだ しょうた).....V112a
 上田将暉(うえだ まさき).....T05a
 上原隼(うえはら はやと).....Q11b
 植村誠(うえむら まこと).....V110b
 浮田信治(うきた のぶはる).....V225c
 氏原秀樹(うじはら ひでき).....V134a
 臼井文彦(うすい ふみひこ).....P314b
 臼井文彦(うすい ふみひこ).....Z307a
 臼田知史(うすだ ともり).....V207a
 臼田-佐藤功美子(うすだ-さとう くみこ).....Y05a
 内田和海(うちだ なごみ).....W33b
 内田裕之(うちだ ひろゆき).....V302a
 内山久和(うちやま ひさかず).....X43a
 内山秀樹(うちやま ひでき).....Y14b
 内山瑞穂(うちやま みずほ).....Z402r
 内海碧人(うつみ あおと).....W13a
 浦郷陸(うらごう りく).....N10b

【え】

江草芙実(えぐさ ふみ).....Z209a
 江澤元(えざわ はじめ).....V142b
 江副祐一郎(えぞえ ゆういちろう).....V326a
 榎谷玲依(えのきや れい).....Q15a
 遠藤いずみ(えんどう いずみ).....N25a

【お】

大朝由美子(おおあさ ゆみこ).....Z408b
 大出康平(おおいで こうへい).....P102b
 大内竜馬(おおうち りょうま).....N21a
 大枝幹(おおえだ もとき).....W27a
 大金原(おおがね はじめ).....V206a
 大神隆幸(おおがみ たかゆき).....W51a

大越治(おおごえ おさむ).....Y10a
 大澤亮(おおさわ りょう).....Z416a
 大島誠人(おおしま ともひと).....W44a
 大滝恒輝(おおたき こうき).....X29b
 大塚宏樹(おおつか ひろき).....Q21a
 大塚雅昭(おおつか まさあき).....N19a
 大坪貴文(おおつぼ たかふみ).....P220a
 大坪貴文(おおつぼ たかふみ).....Z219b
 大西浩次(おおにし こうじ).....Z304a
 大西崇介(おおにし しゅうすけ).....S25a
 大野峻宏(おおの たかひろ).....Q18a
 大野有紀(おおの ゆき).....Q35a
 大平豊(おおひら ゆたか).....Q08a
 大前陸人(おおまえ りくと).....W22b
 大間々知輝(おおまま ともき).....W23b
 大宮正士(おおみや まさし).....P320a
 大村匠(おおむら たくみ).....S04a
 大本薫(おおもと かおる).....V212b
 大屋真(おおや しん).....V215c
 大屋瑠子(おおや ようこ).....P108a
 岡崎彰(おかざき あきら).....Z314a
 岡崎貴樹(おかざき こうき).....Q10b
 小形美沙(おがた みさ).....N06a
 岡本壮師(おかもと そうし).....N02a
 岡本崇(おかもと たかし).....X31a
 岡本豊(おかもと ゆたか).....M37a
 小川拓未(おがわ たくみ).....W06a
 小川風太(おがわ ふうた).....V239a
 小木美奈子(おぎ みなこ).....P125b
 荻原大樹(おぎはら たいき).....S03a
 奥裕理(おく ゆうり).....Q29a
 奥住聡(おくずみ さとし).....P216a
 奥谷彩香(おくや あやか).....Z222a
 小倉達也(おぐら たつや).....Q24c
 尾崎忍夫(おざき しのぶ).....V209a
 織田篤嗣(おだ あつし).....P116a
 小野宏次朗(おの こうじろう).....W21a
 小野間史樹(おのま ふみき).....Y08b
 小山友明(おやま ともあき).....V139c

【か】

鍵谷将人(かぎたに まさと).....V223b
 鹿熊亮太(かくま りょうた).....X45a
 笠木結(かさぎ ゆい).....P202a
 梶川明祐実(かじかわ あゆみ).....R13a
 鍛冶澤賢(かじさわ まさる).....X41a
 鹿島伸悟(かしま しんご).....V230b
 柏木頼我(かしわぎ らいが).....P124b
 片岡章雅(かたおか あきまさ).....P203a
 金井昂大(かない たかひろ).....P103b
 金井昂大(かない たかひろ).....Z406b
 金子慶子(かねこ けいこ).....V103a
 金子大輔(かねこ だいすけ).....V122a
 金子紘之(かねこ ひろゆき).....Z210a
 金田英宏(かねだ ひでひろ).....Z201r
 金丸善朗(かねまる よしあき).....V303a
 加納靖之(かのう やすゆき).....Z301r
 亀谷和久(かめが い かずひさ).....Y07b
 鴨川弘幸(かもがわ ひろゆき).....P312b
 鴈野重之(かりの しげゆき).....W29a
 河合敏輝(かわい としき).....M32a
 川勝望(かわかつ のぞむ).....S26a
 川口俊宏(かわぐち としひろ).....S29a
 川島朋尚(かわしま ともひさ).....S02a
 川島朋尚(かわしま ともひさ).....S12b
 川中宣太(かわなか のりた).....Q05a
 川端弘治(かわばた こうじ).....Z401r
 川端美穂(かわばた みほ).....Z420a
 河原創(かわはら はじめ).....P321a
 川邊良平(かわべ りょうへい).....V106a
 河村聡人(かわむら あきと).....M35a
 川室太希(かわむろ たいき).....X46a
 神鳥亮(かんどり りょう).....P139a
 神原永昌(かんばら ながあき).....M22b

【き】

北山哲(きたやま てつ).....T03a
 衣笠健三(きぬがさ けんぞう).....Y16b

木野勝(きの まさる).....	Z425r
木下真一(きのした しんいち).....	P144a
木原孝輔(きはら こうすけ).....	M10b
木村和貴(きむら かずたか).....	P120a
木村成生(きむら しげお).....	W41a
木邑真理子(きむら まりこ).....	W46a
桐原 崇亘(きりはら たかのぶ).....	X37a

【く】

沓間弘樹(くつま ひろき).....	V120a
工藤哲洋(くどう たかひろ).....	P123b
國友正信(くにとも まさのぶ).....	P215a
久保雅仁(くぼ まさひと).....	V240a
久保真理子(くぼ まりこ).....	Z204a
隈井泰樹(くまい やすき).....	R12c
熊本淳(くまもと じゅん).....	W01a
栗山直人(くりやま なおと).....	N31a
黒崎健二(くろさき けんじ).....	P325a

【こ】

小出眞路(こいで しんじ).....	W14a
幸田仁(こうだ じん).....	Z111r
郷田直輝(ごうだ なおてる).....	V227a
河野海(こうの かい).....	X12b
河野海(こうの かい).....	X14a
河野樹人(こうの みきと).....	P134a
河野裕介(こうの ゆうすけ).....	V132a
國生拓摩(こくしょう たくま).....	Z405b
小久保充(こくぼ みつる).....	S15b
小島崇史(こじま たかし).....	X17a
小谷隆行(こたに たかゆき).....	V204a
古谷侑士(こたに ゆうじ).....	M12a
後藤光希(ごとう こうき).....	P205a
小西諒太郎(こにし りょうたろう).....	R16a
小橋亮介(こばし りょうすけ).....	Q04a
小林宇海(こばやし うみ).....	X21a
小林秀行(こばやし ひでゆき).....	V131a
小林秀行(こばやし ひでゆき).....	V137b

小林仁美(こばやし ひとみ).....	Z216a
小林浩(こばやし ひろし).....	P326a
小林将人(こばやし まさと).....	P140a
小堀しづ(こぼり しづ).....	U08a
小堀しづ(こぼり しづ).....	U09b
小堀しづ(こぼり しづ).....	U10c
駒木彩乃(こまき あやの).....	P214a
小松崎龍聖(こまつざき りゅうせい).....	R08b
小山紗桜(こやま さお).....	Z106a
小山舜平(こやま しゅうへい).....	X49a
近藤滉(こんどう ひろし).....	R14a
近藤寛人(こんどう ひろと).....	X20a

【さ】

佐伯優(さいき ゆう).....	P112a
齋藤太志(さいとう ふとし).....	V238a
齋藤真梨子(さいとう まりこ).....	V304b
坂上峻仁(さかうえ たかひと).....	M28a
坂野井健(さかのい たけし).....	V216a
阪本成一(さかもと せいいち).....	V111c
阪本茉莉子(さかもと まりこ).....	V109b
佐川英夫(さがわ ひでお).....	Z220c
佐久間翔太郎(さくま しょうたろう).....	V312b
桜井雄基(さくらい ゆうき).....	V124a
酒見はる香(さけみ はるか).....	W20a
迫聖(さこ たかし).....	V305b
左近樹(さこん いつき).....	Z214c
笹田真人(ささだ まひと).....	Z417a
定成健児エリック(さだなり けんじえりっく).....	P117a
佐藤亜紗子(さとう あさこ).....	P122b
佐藤浩介(さとう こうすけ).....	V314a
佐藤龍彦(さとう たつひこ).....	V144c
佐藤寿紀(さとう としき).....	N32a
鮫島寛明(さめしま ひろあき).....	S30a
澤野達哉(さわの たつや).....	V330a

【し】

鹿内みのり(しかうち みのり).....	W04a
----------------------	------

志達めぐみ(しだつ めぐみ)..... Z422r
 芝井広(しばい ひろし)..... V232a
 柴垣翔太(しばがき しょうた)..... N27a
 柴崎清登(しばさき きよと)..... M40a
 柴田和樹(しばた かずき)..... R01a
 柴田雄(しばた たかし)..... P217a
 島和宏(しま かずひろ)..... P121b
 島尻芳人(しまじり よしと)..... Z229a
 下井倉ともみ(しもいくら とみ)..... P145a
 霜田治朗(しもだ じろう)..... Q03a
 城知磨(じょう かずま)..... S28a
 庄田宗人(しょうだ むねひと)..... N04a
 白崎裕治(しらさき ゆうじ)..... X44a
 白崎裕治(しらさき ゆうじ)..... Y19b

【す】

末松芳法(すえまつ よしのり)..... V241b
 杉山素直(すぎやま すなお)..... U03a
 杉山剣人(すぎやま はやと)..... T04a
 鈴木昭宏(すずき あきひろ)..... N30a
 鈴木大介(すずき だいすけ)..... R27a
 鈴木駿久(すずき としひさ)..... V217a
 鈴木光(すずき ひかる)..... Q34b
 鈴木寛大(すずき ひろまさ)..... V310a
 鈴木隆司(すずき りゅうじ)..... V126a
 鈴木竜二(すずき りゅうじ)..... V208a
 須田拓馬(すだ たくま)..... N26a
 須藤貴弘(すどう たかひろ)..... W19a
 陶山徹(すやま とおる)..... Z303a

【せ】

関健太郎(せき けんたろう)..... Q14a
 瀬戸口健太(せとぐち けんた)..... S16b
 芹野素子(せりの もとこ)..... W52a

【た】

大海ほのか(だいかい ほのか)..... W09b

大師堂経明(だいしどう つねあき)..... S09a
 高木悠平(たかぎ ゆうへい)..... P107a
 高倉理(たかくら さとる)..... U06a
 高倉理(たかくら さとる)..... V127b
 高倉隼人(たかくら はやと)..... V119a
 高棹真介(たかさお しんすけ)..... P221a
 高棹真介(たかさお しんすけ)..... P311b
 高嶋聡(たかしま さとし)..... W31a
 高橋葵(たかはし あおい)..... Z218b
 高橋歩美(たかはし あゆみ)..... X24b
 高橋和也(たかはし かずや)..... W42a
 高橋亘(たかはし こう)..... N05a
 高橋弘充(たかはし ひろみつ)..... V324c
 高橋幹弥(たかはし みきや)..... W11b
 高畑憲(たかはた けん)..... M06a
 孝森洋介(たかもり ようすけ)..... R28a
 瀧川歩(たきがわ あゆむ)..... V311b
 滝澤寛(たきざわ かん)..... M11b
 瀧本幸司(たきもと こうじ)..... V243c
 竹内努(たけうち つとむ)..... Z203a
 竹内努(たけうち つとむ)..... Z212b
 竹内媛香(たけうち ひめか)..... P101b
 武田紘樹(たけだ ひろき)..... W49a
 竹原佑亮(たけはら ゆうすけ)..... V315a
 竹村英晃(たけむら ひであき)..... P133a
 田崎亮(たざき りょう)..... P224b
 田崎亮(たざき りょう)..... Z223a
 田嶋裕太(たしま ゆうた)..... R06b
 田尻智之(たじり ともゆき)..... P201a
 忠地涼汰(ただち りょうた)..... Y09a
 橘健吾(たちばな けんご)..... N15a
 立原研悟(たちばら けんご)..... Q20a
 辰馬未沙子(たつうま みさこ)..... P223b
 田中桂悟(たなか けいご)..... T06a
 田中賢(たなか さとし)..... X40c
 田中宏樹(たなか ひろき)..... M15a
 田中幹人(たなか みきと)..... Y12a
 田中佑希(たなか ゆうき)..... P218a
 田邊健茲(たなべ けんじ)..... W35b
 谷川衝(たにかわ あたる)..... N34a

谷口暁星(たにぐち あきお).....V128b
 谷口大輔(たにぐち だいすけ).....N17a
 谷本敦(たにもと あつし).....S17c
 玉川徹(たまがわ とおる).....V316a
 玉澤春史(たまざわ はるふみ).....Y06b
 玉澤春史(たまざわ はるふみ).....Z302a
 田村直之(たむら なおゆき).....V202a
 田村陽一(たむら よういち).....V129a
 垂水勇太(たるみ ゆうた).....X38a
 丹波翼(たんば つばさ).....V307a
 反保雄介(たんぼ ゆうすけ).....W45a

土橋一仁(どばし かずひと).....Q30a
 土肥明(どひ あきら).....W25a
 戸間紗也香(とま さやか).....Y15b
 都丸亮太(とまる りょうた).....W18a
 富田沙羅(とみた さら).....W36c
 富永遼佑(とみなが りょうすけ).....P213a
 富野芳樹(とみの よしき).....M14a
 富原彩加(とみはら あやか).....P315c
 富吉拓馬(とみよし たくま).....Q12b
 豊内大輔(とようち だいすけ).....X30a
 鳥海森(とりうみ しん).....M02a

【ち】

鄭昇明(ちよん すんみよん).....P118a

【つ】

津久井遼(つくい りょう).....V222b
 柘植紀節(つげ きせつ).....Q27a
 辻直美(つじ なおみ).....Q02a
 土川拓朗(つちかわ たくろう).....S24a
 鶴剛(つる たけし).....V328a

【て】

鄭祥子(てい あきこ).....M38a
 寺崎友規(てらさき ともき).....W38a
 寺田幸功(てらだ ゆきかつ).....Q09a
 田光江(でん みつえ).....M23b

【と】

土居守(どい まもる).....Z411a
 堂谷忠靖(どうたに ただやす).....V118a
 當村一朗(とうむら いちろう).....M25c
 柁孝治(とが こうじ).....Y13b
 徳岡剛史(とくおか つよし).....X08b
 徳田一起(とくだ かずき).....P109a
 鳥羽儀樹(とば よしき).....S18c

【な】

永井誠(ながい まこと).....V140b
 仲内大翼(なかうち だいすけ).....P113a
 中尾真弓(なかお まゆみ).....Z308a
 中岡竜也(なかおか たつや).....Z419a
 中川垂紀治(なかがわ あきはる).....N14c
 中川貴雄(なかがわ たかお).....Z226b
 中川友進(なかがわ ゆうじん).....W37c
 長崎早也香(ながさき さやか).....X27b
 中里健一郎(なかざと けんいちろう).....W47a
 長澤俊作(ながさわ しゅんさく).....M39a
 中嶋彩乃(なかじま あやの).....P304a
 中島拓(なかじま たく).....V115b
 永田竜(ながた りょう).....U07a
 中谷賢人(なかにに けんと).....M18a
 仲谷峻平(なかにに りょうへい).....P208a
 中西康一郎(なかにし こういちろう).....R09c
 中西康一郎(なかにし こういちろう).....Z213c
 中根美知代(なかね みちよ).....Z315a
 中野すずか(なかの すずか).....S23a
 中村航(なかむら こう).....N36c
 中村拓未(なかむら たくみ).....N12b
 中屋秀彦(なかや ひでひこ).....V205a
 名越俊平(なごし しゅんぺい).....S14b
 梨本真志(なしもと まさし).....Q33a
 竝木茂朗(なみき しげる).....X50a
 行方宏介(なめかた こうすけ).....Z426r

成影典之(なるかげ のりゆき).....M03a

【に】

西亮一(にし りょういち).....P132a

西海拓(にしうみ たく).....P309b

西海拓(にしうみ たく).....V219a

西澤淳(にしざわ あつし).....U05a

西塚直人(にしづか なおと).....M33a

西村信哉(にしむら のぶや).....N33a

西本将平(にしもと しょうへい).....M36a

西山正吾(にしやま しょうご).....R29a

西脇公祐(にしわき こうすけ).....T08a

庭野聖史(にわの まさふみ).....Z418a

【の】

野上大作(のがみ だいさく).....Z410a

野上優人(のがみ ゆうと).....V332a

野澤恵(のざわ さとし).....V224b

野沢貴也(のざわ たかや).....Z230a

野田浩司(のだ こうじ).....V331a

野津翔太(のつ しょうた).....Z225b

野津湧太(のつ ゆうた).....N01a

信川久実子(のぶかわ くみこ).....Q28a

信川正順(のぶかわ まさよし).....Q37a

登口暁(のぼりぐち あかとき).....X18a

野村英子(のむら ひでこ).....Z228c

【は】

萩野正興(はぎの まさおき).....Y11a

萩本将都(はぎもと まさと).....X07b

萩原喜昭(はぎわら よしあき).....R17a

長谷川隆(はせがわ たかし).....P316c

長谷川隆祥(はせがわ たかひろ).....V242b

長谷川雅也(はせがわ まさや).....V121a

長谷川幸彦(はせがわ ゆきひこ).....P209a

島内康輔(はたうち こうすけ).....V319a

廿日出文洋(はつかで ぶんよう).....X01a

服部兼吾(はっとり けんご).....S20a

服部健太郎(はっとり けんたろう).....Z313a

服部誠(はっとり まこと).....S08a

花岡真帆(はなおか まほ).....V306b

花岡庸一郎(はなおか よういちろう).....M08a

花輪知幸(はなわ ともゆき).....P211a

馬場俊介(ばば しゅんすけ).....Z208b

馬場幸栄(ばば ゆきえ).....Z305a

濱口健二(はまぐち けんじ).....N22a

浜崎凌(はまさき りょう).....Z413a

濱田翔太(はまだ しょうた).....P126b

早川貴敬(はやかわ たかひろ).....Q19a

早川尚志(はやかわ ひさし).....Z312a

林航大(はやし こうた).....W50a

林航平(はやし こうへい).....U02a

林多佳由(はやし たかゆき).....V301a

林利憲(はやし としのり).....P318a

林将央(はやし まさお).....Z103a

林田清(はやしだ きよし).....S07a

速見由紀子(はやみ ゆきこ).....N11b

原弘久(はら ひろひさ).....M29a

原田了(はらだ あきら).....N35a

原田ななせ(はらだ ななせ).....R20a

【ひ】

日影千秋(ひかげ ちあき).....U04a

東翔(ひがし しょう).....P115a

樋川遼太郎(ひかわ りょうたろう).....V125a

日高宏(ひだか ひろし).....Z232b

平井正則(ひらい まさのり).....Z318a

平居悠(ひらい ゆたか).....X39a

平沼愛美(ひらぬま まなか).....T09b

平野照幸(ひらの てるゆき).....Z215r

平原靖大(ひらはら やすひろ).....V218a

廣瀬重信(ひろせ しげのぶ).....P225c

廣瀬開陽(ひろせ はるあき).....V123a

廣田朋也(ひろた ともや).....V133a

【ふ】

深作悠平（ふかさく ゆうへい）.....	V130a
福井暁彦（ふくい あきひこ）.....	Z415a
福井康雄（ふくい やすお）.....	Q13a
福江純（ふくえ じゅん）.....	W17a
福岡遥佳（ふくおか はるか）.....	V236a
福島啓太（ふくしま けいた）.....	X33a
福島肇（ふくしま はじめ）.....	P146a
福田尚也（ふくだ なおや）.....	P106c
藤井友香（ふじい ゆか）.....	Z221b
藤井悠里（ふじい ゆり）.....	P302a
藤沢健太（ふじさわ けんた）.....	Z403a
藤城翔（ふじしろ かける）.....	P110a
藤城翔（ふじしろ かける）.....	V108b
藤田真司（ふじた しんじ）.....	Q17a
藤田裕（ふじた ゆたか）.....	T01a
藤本正行（ふじもと まさゆき）.....	P119a
藤原ケイ（ふじわら けい）.....	M41a
藤原康徳（ふじわら やすのり）.....	Z317a
船渡陽子（ふなと ようこ）.....	P303a
古澤順子（ふるさわ じゅんこ）.....	V211b
古田智也（ふるた ともや）.....	R11c
古家健次（ふるや けんじ）.....	P210a
古屋玲（ふるや れい）.....	P138a

【へ】

紅山仁（べにやま じん）.....	Z414a
-------------------	-------

【ほ】

星野遥（ほしの はるか）.....	P324a
細谷亮太郎（ほそや りょうたろう）.....	W24b
波々伯部広隆（ほほかべ ひろたか）.....	P219a
堀内貴史（ほりうち たかし）.....	S19c
堀江秀（ほりえ しゅう）.....	R05b

【ま】

前澤裕之（まえざわ ひろゆき）.....	P305a
前澤裕之（まえざわ ひろゆき）.....	P317c
前澤裕之（まえざわ ひろゆき）.....	V143b
前嶋宏志（まえしま ひろし）.....	V235a
前田啓一（まえだ けいいち）.....	Z421r
前田龍之介（まえだ りゅうのすけ）.....	Q23b
前原裕之（まえはら ひろゆき）.....	Z427a
政田洋平（まさだ ようへい）.....	M05a
増井翔（ますい しょう）.....	V114b
増田智（ますだ さとし）.....	M04a
町田真美（まちだ まみ）.....	W15a
松尾宏（まつお ひろし）.....	V141b
松岡哲史（まつおか さとし）.....	Y18b
松岡知紀（まつおか ともき）.....	N29a
松下祐子（まつした ゆうこ）.....	P130a
松永健汰（まつなが けんた）.....	Q16a
松永典之（まつなが のりゆき）.....	N24a
松野允郁（まつの ただふみ）.....	N16a
松野雅子（まつの まさこ）.....	N13c
松林和也（まつばやし かずや）.....	V221a
松原英雄（まつはら ひでお）.....	V233a
松原英雄（まつはら ひでお）.....	Z207b
松本倫明（まつもと ともあき）.....	P222a
眞山聡（まやま さとし）.....	P206a
丸山和貴子（まるやま わきこ）.....	V325c

【み】

三木洋平（みき ようへい）.....	X34a
三澤浩昭（みさわ ひろあき）.....	V135a
三杉佳明（みすぎ よしあき）.....	P111a
水村好貴（みずむら よしたか）.....	Q38a
三谷啓人（みたに ひろと）.....	P323a
道越秀吾（みちこし しゅうご）.....	R23a
道山知成（みちやま ともなり）.....	X02a
三石郁之（みつしい いくゆき）.....	V322a
三橋一輝（みつはし いっき）.....	X03a
三津間康幸（みつま やすゆき）.....	Z311r

御堂岡拓哉(みどおか たくや).....	V309a
峰崎岳夫(みねざき たけお).....	S27a
三原建弘(みはら たてひろ).....	W05a
宮崎翔太(みやざき しょうた).....	P322a
宮良碧(みやら あおい).....	M21b
宮脇亮介(みやわき りょうすけ).....	P127c
三好隆博(みよし たかひろ).....	M17a
三好真(みよし まこと).....	S01a
三輪祐也(みわ ゆうや).....	W40a

【む】

村上享平(むらかみ きょうへい).....	M31a
村川幸史(むらかわ こうじ).....	P204a
村田一心(むらた かずみ).....	X15b
村田一心(むらた かずみ).....	X48a
村田勝寛(むらた かつひろ).....	Z409b
村田泰宏(むらた やすひろ).....	V138b

【も】

望月優子(もちづき ゆうこ).....	M09a
元木業人(もとぎ かずひと).....	P128a
森寛治(もり かんじ).....	N08a
森浩二(もり こうじ).....	V327a
森昇志(もり しょうじ).....	Z224a
森智宏(もり ともひろ).....	P207a
森正夫(もり まさお).....	X35c
森井嘉穂(もりい かほ).....	P131a
森岡夏未(もりおか なつみ).....	P307a
森川雅博(もりかわ まさひろ).....	P301a
森永優(もりなが ゆう).....	X36a
森鼻久美子(もりはな くみこ).....	Q36a
森脇可奈(もりわき かな).....	X22a
諸隈智貴(もろくま ともき).....	Z412a

【や】

八木雄大(やぎ ゆうた).....	R21a
八嶋裕(やしま ゆう).....	R07b

矢島義之(やじま よしゆき).....	R15a
安井千香子(やすい ちかこ).....	N20a
保田敦司(やすだ あつし).....	R18a
安田晴皇(やすだ はるおう).....	Q07a
保田悠紀(やすだ ゆうき).....	N03a
矢野太平(やの たいへい).....	V231b
山岡均(やまおか ひとし).....	Y01a
山口友洋(やまぐち ともひろ).....	V317a
山崎翔太郎(やまさき しょうたろう).....	Q31a
山崎大輝(やまさき だいき).....	M19a
山崎大輝(やまさき だいき).....	M20b
山崎康正(やまさき やすまさ).....	V113b
山下拓時(やました たくじ).....	X42a
山下真依(やました まい).....	P104b
山田智史(やまだ さとし).....	S21a
山田良透(やまだ よしゆき).....	V228a
山中郷史(やまなか さとし).....	X16a
山中雅之(やまなか まさゆき).....	Z407b
山根悠望子(やまね ゆみこ).....	Q26a
山野井瞳(やまのい ひとみ).....	V201a
山本宏昭(やまもと ひろあき).....	V107a
山本龍哉(やまもと りゅうや).....	V318a

【よ】

横塚弘樹(よこづか ひろき).....	Q22a
横山将汰(よこやま しょうた).....	Q06a
吉岡岳洋(よしおか たけひろ).....	N09b
吉川慶(よしかわ けい).....	Q39a
吉田俊太郎(よしだ しゅんたろう).....	X13a
吉田二美(よしだ ふみ).....	Z217b
吉田雄城(よしだ ゆうき).....	R24a
吉武知紘(よしたけ ともひろ).....	W10b
吉成直都(よしなり なおと).....	W03a
芳野史弥(よしの ふみや).....	V320a
吉村勇紀(よしむら ゆうき).....	P136a
米倉覚則(よねくら よしのり).....	Z404a
米徳大輔(よねとく だいすけ).....	V329a

【わ】

鷲ノ上遥香(わしのうえ はるか).....	M26a
和田武彦(わだ たけひこ).....	Z205a
渡邊恭子(わたなべ きょうこ).....	M34a
渡辺紀治(わたなべ のりはる).....	P308a
渡邊優作(わたなべ ゆうさく).....	M30a
渡辺佑馬(わたなべ ゆうま).....	W28a
渡邊祐也(わたなべ ゆうや).....	R26a
渡邊祥正(わたなべ よしまさ).....	Z211b

2020年2月20日発行

年会実行委員会

委員長	酒井剛	(電気通信大学)
委員	岩切渉	(中央大学)
	正田亜矢香	(国立天文台)
	鈴木知治	(中部大学)
	成田憲保	(アストロバイオロジーセンター)
	廿日出文洋	(東京大学)
	古澤久徳	(国立天文台)
	堀田英之	(千葉大学)
	松岡良樹	(愛媛大学)
	町田真美	(九州大学) 保育室担当

年会開催地理事

久野成夫 (筑波大学)