

2020年 秋季年会

# 講演予稿集

電子版

於 弘前大学 (オンライン開催)

2020年9月8日(火) ~ 9月10日(木)

日本天文学会

# 日本天文学会 2020年秋季年会プログラム

期 日 2020年9月8日(火)～9月10日(木)  
 場 所 弘前大学文京町キャンパス(オンライン開催)  
 電 話 090-4387-6893(学会事務局) <使用期間 2020年9月7日(月)～9月10日(木)>  
 E-Mail nenkai-committee@asj.or.jp(年会実行委員会)

月日	会場	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	
9月7日 (月)						記者会見			理事会			
9月8日 (火)	A	S. 活動銀河核	昼 休 み			Y. 教育・広報・他		天文教育 フォーラム		特別 セッション (国立天文台 -現状と今後- そのII)		
	B											
	C	P3. 惑星系				P3. 惑星系						
	D	V3. 観測機器(X線・γ線)				V3. 観測機器(X線・γ線)						
	E	X. 銀河形成				X. 銀河形成						
	F	M. 太陽				M. 太陽						
	G	P1. 星形成				P1. 星形成						
	H	N. 恒星進化				N. 恒星進化						
9月9日 (水)	A	U. 宇宙論	昼 休 み (代議員総会)			U. 宇宙論		会 員 全体集会		受賞記念講演 第一部		
	B	Z1. 超巨大BH				Z1. 超巨大BH						
	C	W. コンパクト天体				W. コンパクト天体						
	D	V3. 観測機器(X線・γ線)				V3. 観測機器(X線・γ線)						
	E	X. 銀河形成				V1. 観測機器(電波)						
	F	M. 太陽				Q. 星間現象						
	G	P1. 星形成				P1. 星形成/P2. 原始惑						
	H	N. 恒星進化				N. 恒星進化						
9月10日 (木)	A	V2. 観測機器(光赤・重)	昼 休 み			V2. 観測機器(光赤・重)		特 別 セッション (はやぶさ2)		受賞記念講演 第二部		
	B	Z1. 超巨大BH				Z1. 超巨大BH						
	C	W. コンパクト天体				W. コンパクト天体						
	D	R. 銀河										
	E	V1. 観測機器(電波)				V1. 観測機器(電波)						
	F	Q. 星間現象				Q. 星間現象						
	G	P2. 原始惑星系円盤				P2. 原始惑星系円盤						
	H	T. 銀河団										
		10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	

## ◎講演数

講演数：合計 426  
(口頭講演 (a)：426)

## ◎参加登録について (参加者は、事前に必ず参加登録をしてください。)

2016年秋学会より、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	無 料	無 料
(但し事前に参加登録が必要)		
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：年会ホームページ

○参加登録受付期間：7月1日～7月31日 (今回は事前登録です)

※参加費については今回は無料です。

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

## ◎講演に関する注意

- 口頭発表は8会場で行います。口頭講演(添字 a)は、口頭発表9分、質疑応答3分です。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。

- PC及び通信環境はご自身でご用意をお願いいたします。発表に要する通信料等は、発表者の自己負担です。Zoomを利用しますので、Webページをご覧ください。事前にダウンロードや動作確認をしてください。また、発表者自身のインターネット接続、映像・音声等のトラブルの対応はできません。基本的にはご自身での解決をお願いいたします。
- 講演者はセッション開始時刻の 10分前にはご入室ください。担当者が説明をいたします。また入室の際には、下記の命名規則に従って「参加者名」を設定してください。
 

「\*(アスタリスク)」+「講演番号」+「氏名」+「(所属)」

例) 講演番号：Z141a、氏名：天文花子、所属：天文大学 の場合  
「参加者名」の表示：\*Z141a 天文花子(天文大学)
- 講演の実施方法の詳細(マニュアルなど)は、年会のWebページ (<http://www.asj.or.jp/nenkai/>) に掲載いたします。事前に説明をよく読んで、Zoomの操作手順に関する理解を深めておいていただくようお願いいたします。
- 受信画像や発表資料の保存(キャプチャを含む)、録音や配布は固くお断りします。

## ◎会期中の行事

月 日	時 間	会 場	行 事 名
9月7日(月)	13:30～15:30	オンライン	記者会見
9月8日(火)	16:00～17:00	オンライン	天文教育フォーラム
	17:30～18:30	オンライン	特別セッション 国立天文台「現状と今後」そのⅡ
9月9日(水)	16:00～17:00	オンライン	会員全体集会
	17:30～19:00	オンライン	受賞記念講演 第一部
9月10日(木)	16:00～17:00	オンライン	特別セッション はやぶさ2 ミッションの挑戦・成果・今後の展開
	17:30～19:00	オンライン	受賞記念講演 第二部

## ◎会合一覧表

※今回、通常の会合は募集しておりません。

月 日	時 間	会 場	会 合 名	参加可否*
9月7日(月)	16:00～18:00	オンライン	理事会	D
9月9日(水)	12:00～13:00	オンライン	代議員総会	D

※年会参加者の参加可否の説明（オープン化の程度）

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

## ◎天文教育フォーラム：「オンライン天文教育の可能性～小学校から大学院まで～」

日 時：2020年9月8日（火）16：00～17：00

場 所：オンライン会場（学会ホームページにて事前登録が必要）

概 要：新型コロナウイルス感染症の流行という未曾有の事態が発生したことにより、研究・教育の現場では大きな混乱を生じている。天文学にあっても例外ではなく、多くの方々が三密を避け、オンラインをフル活用した研究教育活動の在り方を、四苦八苦しながら模索してきたのではないだろうか。

しかし、大きなピンチは大きなチャンスに変わる可能性もあるのではなかろうか。我々はこの数か月間、いまだかつてないほどネットワークを活用し、あらたな教育手段を開発し、ときには失敗し、検証してきた。この経験と得られた知見の中には、今後の教育活動に活用できるものも多く含まれているはずである。

そこで今回の天文教育フォーラムでは、教育工学、特に高等教育におけるICT活用の専門家として大学の遠隔授業サポートに当たっている京都大学の田口真奈氏を講師に迎え、今般のコロナ感染症対応で見てきたオンライン授業の課題と可能性についてご紹介頂く。

それとともに、天文教育分野におけるオンライン対応の事例や得られた知見を共有し、オンライン教育が来るべきニューノーマルの中でどのような地位を獲得するのか、などを議論していきたい。

基調講演：田口真奈氏（京都大学高等教育研究開発推進センター）

世 話 人：石井貴子（京都大学）、石田光宏（横浜市立戸塚高校）、磯部洋明（京都市立芸術大学）、鴈野重之（九州産業大学）、松本佳也（広島市交通科学館）

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：「国立天文台 ー現状と今後ー そのⅡ」

日 時：2020年9月8日（火）17：30～18：30

場 所：オンライン会場（学会ホームページにて事前登録が必要）

概 要：昨年の3月の本年会でも同じ特別セッションを開催させていただき、厳しくなりつつある予算的な状況を含めて説明させていただいた。国立天文台は今後もTMTをはじめとする大型観測装置を建設・運用する責任を果たしつつ、日本の天文学のナショナルセンター・COE研究所として最先端の研究成果を生み出していくために、様々な努力をしている最中である。

本特別セッションでは、天文学分野の広い研究者コミュニティの皆様に、国立天文台が置かれた現在の状況を理解していただき、同時に、この間に起きた種々の問題についても、日本の天文学の発展のために天文学コミュニティ等と国立天文台執行部との意思疎通を推進するために設置された「国立天文台コミュニティ間意思疎通推進委員会」から経過報告をしていただくと共に、コミュニティの研究者との意思疎通の改善にむけ、ご意見をいただく機会を設けるべく開催するものである。

プログラム：

- |                                 |                |
|---------------------------------|----------------|
| 1. セッション趣旨説明                    | 梅村雅之（日本天文学会会長） |
| 2. 国立天文台の置かれた状況について             | 常田佐久（国立天文台長）   |
| 3. 「国立天文台コミュニティ間意思疎通推進委員会」からの報告 | 観山正見（表記委員会委員長） |
| 4. 総合討論                         |                |

世 話 人：渡部潤一

主 催：公益社団法人 日本天文学会

共 催：自然科学研究機構 国立天文台

## ◎特別セッション：「はやぶさ2 ミッションの挑戦・成果・今後の展開」

日 時：2020年9月10日（木）16：00～17：00

場 所：オンライン会場（学会ホームページにて事前登録が必要）

概 要：小惑星探査機「はやぶさ2」は、2014年12月に打ち上げられ、2018年6月に小惑星リュウグウ到着、2019年11月にリュウグウ出発と順調にミッションをこなしてきた。現在は今年末の地球帰還をめざした運用が行われている。「はやぶさ2」は「はやぶさ」の後継ミッションだが、「はやぶさ」ではできなかったことを達成したり、世界初の試みをいくつも行うなど、探査技術において大きな進展があった。また、C型小惑星として探査の対象として選ばれたリュウグウについて、現地観測で得られたデータの解析が進められているが、いろいろと新しい事実が判明してきている。これだけでも、惑星科学に新しい展開をもたらすことになると思われるが、リュウグウのサンプルを分析できれば太陽系誕生時の有機物などについて新たなことが分かってくると期待されている。この特別セッションでは、「はやぶさ2」が実践した世界初の技術や、小惑星リュウグウについてこれまでに判明した科学的な知見、そして年末に迫ってきた再突入カプセルの回収について紹介する。現状を知っていただいた上で、今後の太陽系研究の新たな可能性を議論できれば幸いである。

### プログラム：

- |                 |                                   |
|-----------------|-----------------------------------|
| 1. セッションの主旨説明   | 吉川真（JAXA、はやぶさ2 ミッションマネージャ）        |
| 2. 世界初の技術の紹介    | 津田雄一（JAXA、はやぶさ2 プロジェクトマネージャ）      |
| 3. 小惑星リュウグウの科学  | 渡邊誠一郎（名古屋大学、はやぶさ2 プロジェクトサイエンティスト） |
| 4. リエントリーカプセル回収 | 中澤暁（JAXA、はやぶさ2 サブプロジェクトマネージャ）     |
| 5. 今後の展開とまとめ    | 吉川真                               |
| 6. 質疑           |                                   |

世 話 人：吉川真（JAXA）

# 座 長 一 覧 表

2020年秋季年会

	9月8日(火)		9月9日(水)		9月10日(木)	
	10:00 - 12:00	13:30 - 15:30	10:00 - 12:00	13:30 - 15:30	10:00 - 12:00	13:30 - 15:30
A会場	S. 活動銀河核 植村誠 (広島大学)	Y. 教育・広報・他 大西浩次 (長野工業高等専門学校)	U. 宇宙論 荒木田英禎 (日本大学)	U. 宇宙論 荒木田英禎 (日本大学)	V2. 観測機器(光赤・重) 本原顕太郎 (国立天文台)	V2. 観測機器(光赤・重) 左近樹 (東京大学)
B会場			Z1. 超巨大BH 大須賀健 (筑波大学)	Z1. 超巨大BH 秦和弘 (国立天文台)	Z1. 超巨大BH 長尾透 (愛媛大学)	Z1. 超巨大BH 矢島秀伸 (筑波大学)
C会場	P3. 惑星系 藤井友香 (国立天文台)	P3. 惑星系 佐藤文衛 (東京工業大学)	W. コンパクト天体 井岡邦仁 (京都大学)	W. コンパクト天体 根來均 (日本大学)	W. コンパクト天体 谷川衝 (東京大学)	W. コンパクト天体 岡崎敦男 (北海学園大学)
D会場	V3. 観測機器(X線・γ線) 江副祐一郎 (東京都立大学)	V3. 観測機器(X線・γ線) 松本浩典 (大阪大学)	V3. 観測機器(X線・γ線) 深沢泰司 (広島大学)	V3. 観測機器(X線・γ線) 高橋弘充 (広島大学)	R. 銀河 徂徠和夫 (北海道大学)	
E会場	X. 銀河形成 白崎裕治 (国立天文台)	X. 銀河形成 小野宜昭 (東京大学)	X. 銀河形成 但木謙一 (国立天文台)	V1. 観測機器(電波) 小嶋崇文 (国立天文台)	V1. 観測機器(電波) 前澤裕之 (大阪府立大学)	V1. 観測機器(電波) 新田冬夢 (筑波大学)
F会場	M. 太陽 横山央明 (東京大学)	M. 太陽 岡本文典 (国立天文台)	M. 太陽 今田晋亮 (名古屋大学)	Q. 星間現象 中西康一郎 (国立天文台)	Q. 星間現象 中西裕之 (鹿児島大学)	Q. 星間現象 佐野栄俊 (国立天文台)
G会場	P1. 星形成 細川隆史 (京都大学)	P1. 星形成 立原研悟 (名古屋大学)	P1. 星形成 島尻芳人 (国立天文台)	P1. 星形成/P2. 原始惑 古家健次 (国立天文台)	P2. 原始惑星系円盤 鈴木建 (東京大学)	P2. 原始惑星系円盤 奥住聡 (東京工業大学)
H会場	N. 恒星進化 守屋堯 (国立天文台)	N. 恒星進化 野上大作 (京都大学)	N. 恒星進化 須田拓馬 (放送大学/東京大学)	N. 恒星進化 高田将郎 (東京大学)	T. 銀河団 藤田裕 (東京都立大学)	

## 口頭セッション 9月8日(火)

	A会場	B会場	C会場	D会場	E会場	F会場	G会場	H会場
開始時刻	活動銀河核		惑星系	観測機器 (X線・γ線)	銀河形成	太陽	星形成	恒星進化
10:00	S01a		P301a	V301a	X01a	M01a	P101a	N01a
10:12	S02a		P302a	V302a	X02a	M02a	P102a	N02a
10:24	S03a		P303a	V303a	X03a	M03a	P103a	N03a
10:36	S04a		P304a	V304a	X04a	M04a	P104a	N04a
10:48	S05a		P305a	V305a	X05a	M05a	P105a	N05a
11:00	S06a		P306a	V306a	X06a	M06a	P106a	N06a
11:12	S07a		P307a	V307a	X07a	M07a	P107a	N07a
11:24	S08a		P308a	V308a	X08a	M08a	P108a	N08a
11:36	S09a		P309a	V309a	X09a	M09a	P109a	N09a
11:48	S10a		P310a	V310a	X10a	M10a	P110a	N10a
12:00	S11a		-	-	-	-	-	-
12:12	S12a		-	-	-	-	-	-
12:00	昼休み							
開始時刻	教育・他		惑星系	観測機器 (X線・γ線)	銀河形成	太陽	星形成	恒星進化
13:30	Y01a		P311a	V311a	X11a	M11a	P111a	N11a
13:42	Y02a		P312a	V312a	X12a	M12a	P112a	N12a
13:54	Y03a		P313a	V313a	X13a	M13a	P113a	N13a
14:06	Y04a		P314a	V314a	X14a	M14a	P114a	N14a
14:18	Y05a		P315a	V315a	X15a	M15a	P115a	N15a
14:30	Y06a		P316a	V316a	X16a	M16a	P116a	N16a
14:42	Y07a		P317a	V317a	X17a	M17a	P117a	N17a
14:54	Y08a		P318a	V318a	X18a	M18a	P118a	N18a
15:06	-		-	V319a	X19a	M19a	P119a	N19a
15:18	-		-	V320a	X20a	M20a	P120a	N20a
15:30	-		-	-	X21a	-	-	-
16:00	天文教育フォーラム							
17:30	特別セッション「国立天文台-現状と今後- そのII」							

## 口頭セッション 9月9日(水)

	A会場	B会場	C会場	D会場	E会場	F会場	G会場	H会場
開始時刻	宇宙論	超巨大BH	コンパクト天体	観測機器(X線・γ線)	銀河形成	太陽	星形成	恒星進化
10:00	U01a	Z101r	W01a	V321a	X22a	M21a	P121a	N21a
10:12	U02a		W02a	V322a	X23a	M22a	P122a	N22a
10:24	U03a	Z102a	W03a	V323a	X24a	M23a	P123a	N23a
10:36	U04a	Z103a	W04a	V324a	X25a	M24a	P124a	N24a
10:48	U05a	Z104a	W05a	V325a	X26a	M25a	P125a	N25a
11:00	U06a	Z105a	W06a	V326a	X27a	M26a	P126a	N26a
11:12	U07a	Z106a	W07a	V327a	X28a	M27a	P127a	N27a
11:24	U08a	Z107a	W08a	V328a	X29a	M28a	P128a	N28a
11:36	U09a	Z108a	W09a	V329a	X30a	M29a	P129a	N29a
11:48	U10a	Z109a	W10a	V330a	X31a	M30a	P130a	N30a
12:00	-	Z110a	-	-	-	-	-	-
12:00	昼休み(代議員総会)							
開始時刻	宇宙論	超巨大BH	コンパクト天体	観測機器(X線・γ線)	観測機器(電波)	星間現象	星形成/原始惑星系円盤	恒星進化
13:30	U11a	Z111r	W11a	V331a	V101a	Q01a	P131a	N31a
13:42	U12a		W12a	V332a	V102a	Q02a	P132a	N32a
13:54	U13a	Z112a	W13a	V333a	V103a	Q03a	P133a	N33a
14:06	-	Z113a	W14a	V334a	V104a	Q04a	P134a	N34a
14:18	-	Z114a	W15a	V335a	V105a	Q05a	P135a	N35a
14:30	-	Z115a	W16a	-	V106a	Q06a	P136a	-
14:42	-	Z116a	W17a	-	V107a	Q07a	P137a	-
14:54	-	Z117a	W18a	-	V108a	Q08a	P138a	-
15:06	-	Z118a	W19a	-	V109a	Q09a	P201a	-
15:18	-	Z119a	W20a	-	V110a	Q10a	P202a	-
15:30	-	Z120a	-	-	-	-	-	-
16:00	会員全体集会							
17:30	受賞記念講演 第一部 林忠四郎賞 / 欧文研究報告論文賞							

## 口頭セッション 9月10日(木)

	A会場	B会場	C会場	D会場	E会場	F会場	G会場	H会場
開始時刻	観測機器 (光赤・重)	超巨大BH	コンパクト 天体	銀河	観測機器 (電波)	星間現象	原始惑星系 円盤	銀河団
10:00	V201a	Z121r	W21a	R01a	V111a	Q11a	P203a	T01a
10:12	V202a		W22a	R02a	V112a	Q12a	P204a	T02a
10:24	V203a	Z122a	W23a	R03a	V113a	Q13a	P205a	T03a
10:36	V204a	Z123a	W24a	R04a	V114a	Q14a	P206a	T04a
10:48	V205a	Z124a	W25a	R05a	V115a	Q15a	P207a	T05a
11:00	V206a	Z125a	W26a	R06a	V116a	Q16a	P208a	T06a
11:12	V207a	Z126a	W27a	R07a	V117a	Q17a	P209a	T07a
11:24	V208a	Z127a	W28a	R08a	V118a	Q18a	P210a	T08a
11:36	V209a	Z128a	W29a	R09a	V119a	Q19a	P211a	T09a
11:48	V210a	Z129a	W30a	R10a	V120a	Q20a	P212a	T10a
12:00	-	Z130a	-	R11a	V121a	-	P213a	T11a
12:12	-	-	-	R12a	-	-	P214a	-
12:24	-	-	-	R13a	-	-	-	-
12:00	昼休み							
開始時刻	観測機器 (光赤・重)	超巨大BH	コンパクト 天体		観測機器 (電波)	星間現象	原始惑星系 円盤	
13:30	V211a	Z131r	W31a		V122a	Q21a	P215a	
13:42	V212a		W32a		V123a	Q22a	P216a	
13:54	V213a	Z132a	W33a		V124a	Q23a	P217a	
14:06	V214a	Z133a	W34a		V125a	Q24a	P218a	
14:18	V215a	Z134a	W35a		V126a	Q25a	P219a	
14:30	V216a	Z135a	W36a		V127a	-	P220a	
14:42	V217a	Z136a	W37a		V128a	-	P221a	
14:54	V218a	Z137a	W38a		V129a	-	P222a	
15:06	V219a	Z138a	W39a		V130a	-	P223a	
15:18	V220a	Z139a	W40a		-	-	P224a	
15:30	V221a	Z140a	W41a		-	-	P225a	
16:00	特別セッション「はやぶさ2 ミッションの挑戦・成果・今後の展開」							
17:30	受賞記念講演 第二部 研究奨励賞							

## Z1. 超巨大ブラックホール研究の新展開: 初撮像から形成進化の全貌解明へ

9月9日(水) 午前・B会場		9月9日(水) 午後・B会場	
10:00	Z101r EHTによる超巨大ブラックホールシャドウの直接撮像: 現状と今後 本間希樹(国立天文台)	13:30	Z111r ブラックホール時空構造と降着流・噴出流ダイナミクス: 次世代 EHT および電波から X線・ $\gamma$ 線までの多波長研究へ 川島朋尚(東京大学)
10:24	Z102a EHT 動画撮像を用いた Sgr A* への落下ガス雲の解明とブラックホールスピンの測定 森山小太郎(マサチューセッツ工科大学)	13:54	Z112a 電波銀河研究の新展開: 強磁場降着流からのガンマ線とニュートリノ 木村成生(東北大学)
10:36	Z103a The origin of hotspots around Sgr A*: Orbital or pattern motion? 松本達矢(東京大学)	14:06	Z113a 活動銀河核ジェットにおける一般相対論的理想電磁流体近似解の構築 荻原大樹(東北大学)
10:48	Z104a 輻射輸送シミュレーションの新地平~ EHT 偏波イメージ予測で探る磁場構造 恒任優(京都大学)	14:18	Z114a 粒子シミュレーションで探るブラックホール磁気圏での電磁カスケード現象 木坂将大(東北大学)
11:00	Z105a Why the EHTC made an artifact black image and how to obtain real black hole shadow images in future. 三好真(国立天文台)	14:30	Z115a 磁気流体数値実験による AGN ジェットの電子加熱領域の調査 大村匠(九州大学)
11:12	Z106a Event Horizon Telescope によるレーザー 3C279 の 20 マイクロ秒角スケールイメージング 秦和弘(国立天文台)	14:42	Z116a Multiphase AGN jet feedback Wagner Alexander(筑波大学)
11:24	Z107a M87 ジェット速度場データから探るジェット磁気圏の回転角速度と磁場強度 紀基樹(工学院大学)	14:54	Z117a AGN 輻射圧駆動アウトフローによる電波銀河 3C84 ジェットのコリメーション 川勝望(呉工業高等専門学校)
11:36	Z108a セイファート銀河 NGC 1068 のジェット・メーザーにおけるリング状分布の起源 須藤広志(岐阜大学)	15:06	Z118a MHD シミュレーションによる降着円盤の渦状高エントロピー構造の形成 町田真美(国立天文台)
11:48	Z109a セイファートのミリ波超過成分の起源 井上芳幸(理化学研究所)	15:18	Z119a 一般相対論的輻射磁気流体力学シミュレーションによるカー・ブラックホール周りの超臨界降着流の研究 内海碧人(筑波大学)
12:00	Z110a すばる望遠鏡で探る銀河系中心ブラックホール周囲の暗黒質量分布 孝森洋介(和歌山工業高等専門学校)	15:30	Z120a Changing Look AGN における軟 X 線放射領域の輻射磁気流体シミュレーション 五十嵐太一(千葉大学)

9月10日(木) 午前・B会場		9月10日(木) 午後・B会場	
10:00	Z121r 巨大ブラックホール周辺構造とその進化—現状と課題— 和田桂一(鹿児島大学)	13:30	Z131r 広域観測によるクエーサー探査：現状と展望 松岡良樹(愛媛大学)
10:24	Z122a バルジ形成に対する AGN フィードバックの影響 岡本崇(北海道大学)	13:54	Z132a ALMA 観測に基づく高赤方偏移低光度クエーサーの母銀河の多様性 泉拓磨(国立天文台)
10:36	Z123a 輻射力によって制御された遮蔽トーラス構造 工藤祐己(鹿児島大学)	14:06	Z133a Deep Near-Infrared Spectroscopy of a $z=7.54$ Quasar, ULAS J1342+0928 尾上匡房(MPIA)
10:48	Z124a 埋もれた AGN に対する中間赤外線シリケートダストの系統的観測研究 土川拓朗(名古屋大学)	14:18	Z134a IGM-galaxy connections around AGNs 百瀬莉恵子(東京大学)
11:00	Z125a コピュラを用いた AGN の電波-X線2変数光度関数推定と輻射過程への示唆 河野海(名古屋大学)	14:30	Z135a AGN クラスタリングで探る超巨大ブラックホール成長史 大木平(千葉大学)
11:12	Z126a <i>Chandra</i> と ALMA を用いた NGC 2110 における X 線による分子ガス破壊現象の検証 川室太希(Universidad Diego Portales/国立天文台)	14:42	Z136a 高赤方偏移銀河の $Ly\alpha$ 表面輝度に対する多重 AGN の影響 曾我健太(筑波大学)
11:24	Z127a X 線分光撮像衛星 XRISM による超巨大ブラックホールの研究 野田博文(大阪大学)	14:54	Z137a Hunting of the hidden wandering massive black hole population 稲吉恒平(Kavli Institute for Astronomy and Astrophysics)
11:36	Z128a X 線分光撮像衛星 XRISM による天の川銀河中心の観測計画 信川正順(奈良教育大学)	15:06	Z138a Structure and Instability of the Ionization Fronts around Moving Black Holes 杉村和幸(メリーランド大学)
11:48	Z129a 超巨大ブラックホールの進化を探る広帯域X線高感度撮像分光衛星 FORCE 森浩二(宮崎大学)	15:18	Z139a 低金属量環境下における超大質量ブラックホールの種形成 鄭昇明(東北大学)
12:00	Z130a サブ秒角からマイクロ秒角の角度分解能による活動銀河核のX線撮像：MIXIM を例にした長期的展望 林田清(大阪大学)	15:30	Z140a 超巨大ブラックホールの暗黒物質ハローからの分離—形成時間と質量分布 森川雅博(お茶の水女子大学)

## M. 太陽

9月8日(火) 午前・F会場		9月8日(火) 午後・F会場	
10:00	M01a 高感度 EUV/UV 分光望遠鏡衛星 (Solar-C EUVST) の現状 今田晋亮 (名古屋大学)	13:30	M11a 光球スペクトル線幅増大に微小乱流項 ほどの程度寄与しているか 石川遼太郎 (総合研究大学院大学/ 国立天文台)
10:12	M02a Solar-C 計画における運用体制構築と成 果創出へ向けた最近の取り組み 鳥海森 (宇宙航空研究開発機構)	13:42	M12a 機械学習を用いた太陽の放射強度から 速度場を予測するコードの開発 正木寛之 (千葉大学)
10:24	M03a Verification of CLASP2's Polarization Accuracy Donguk Song (NAOJ)	13:54	M13a 強磁場黒点と力の関係について 石倉秋人 (千葉大学)
10:36	M04a 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 年秋) 成影典之 (国立天文台)	14:06	M14a 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・ 面積・観測的寿命・フレア活動の統計 的検討 滝澤寛 (神奈川工科大学/早稲田大学 高等学院)
10:48	M05a SUNRISE-3 気球実験と偏光分光装置 SCIP の開発状況 勝川行雄 (国立天文台)	14:18	M15a 輻射磁気流体シミュレーションを用いた 黒点超強力磁場生成機構の研究 堀田英之 (千葉大学)
11:00	M06a 惑星間空間シンチレーション観測データ を取り込んだ MHD シミュレーションによ る太陽嵐到来予報の精度評価 岩井一正 (名古屋大学)	14:30	M16a Tomography of plage and network magnetic fields from Hinode and CLASP2 observations 石川遼子 (国立天文台)
11:12	M07a 太陽高エネルギー粒子 (SEP) とコロナ質 量放出 (CME) の関係性に対する統計的 研究 木原孝輔 (京都大学)	14:42	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: 背景温度分布の影響 三好隆博 (広島大学)
11:24	M08a 太陽メートル波帯 II 型電波バーストのス ペクトル微細構造と高エネルギー粒子現 象との関係 三澤浩昭 (東北大学)	14:54	M18a 低 $\beta$ 環境におけるプラズモイド型乱流リ コネクション 銭谷誠司 (神戸大学)
11:36	M09a Numerical study of fast and slow MHD waves in heating solar magnetic chromosphere by realistic simulation Yikang Wang (The University of Tokyo)	15:06	M19a 電流シート平衡から開始する一般的な 状況での磁気リコネクション・モデル 新田伸也 (筑波技術大学)
11:48	M10a アルベーン波乱流加熱を考慮したコロナ ループ加熱シミュレーション 甲斐達也 (東京大学)	15:18	M20a 不安定性理論に基づく太陽フレアの予 測と発生機構の解明 草野完也 (名古屋大学)

## N. 恒星・恒星進化

9月9日(水) 午前・F会場		9月8日(火) 午前・H会場	
10:00	M21a 深層学習を用いた太陽フレア発生確率予報の信頼度向上 西塚直人(情報通信研究機構)	10:00	N01a 重力崩壊型超新星爆発における非対称 $\gamma$ 放射の元素合成への影響 II 藤本信一郎(熊本高等専門学校)
10:12	M22a 数値モデルによる太陽フレア EUV 放射スペクトル観測の検証 西本将平(防衛大学校)	10:12	N02a 重力崩壊型超新星における $\gamma$ pプロセス元素合成と $p$ 核の起源 西村信哉(理化学研究所)
10:24	M23a 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 線最大光度の関係 岡本豊(中央大学)	10:24	N03a 超新星の親星水素外層とフォールバック降着の相関性 澤田涼(京都産業大学)
10:36	M24a 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 II 長澤俊作(東京大学 Kavli IPMU)	10:36	N04a 重力崩壊直前の大質量星の酸素-ケイ素対流燃焼層における3次元対流の進化 吉田敬(東京大学)
10:48	M25a 太陽コロナ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)	10:48	N05a 中心エンジンモデルに基づいた超高輝度超新星の2次元輻射流体シミュレーション 鈴木昭宏(国立天文台)
11:00	M26a NoRH と MUSER で同時観測された2015年11月22日の微小フレア 増田智(名古屋大学)	11:00	N06a ブラックホールによる白色矮星の潮汐破壊現象からの観測兆候の多様性 川名好史朗(東京大学)
11:12	M27a 紫外線における高階電離鉄輝線を用いたイオン組成比診断 川手朋子(核融合科学研究所)	11:12	N07a 超新星爆発でのイジェクタ質量の推定 松本達矢(東京大学)
11:24	M28a Data-driven MHD simulation of minifilament eruption 金子岳史(名古屋大学)	11:24	N08a 前兆ニュートリノの恒星進化モデル依存性 加藤ちなみ(東北大学)
11:36	M29a 京都大学飛騨天文台 SMART/SDDI を用いたフィラメント噴出・消失現象の3次元速度場の導出 木村なみ(京都大学)	11:36	N09a XMM-Newton 衛星搭載 RGS 検出器で探る Kepler 超新星残骸における星周物質の空間分布 春日知明(東京大学)
11:48	M30a ビリアル定理から求めた熱的プラズマの磁気モーメント 柴崎清登(太陽物理学研究所)	11:48	N10a X線精密分光観測によって迫る超新星残骸 RX J1713.7-3946 の親星推定 立石大(埼玉大学)

9月8日(火) 午後・H会場		9月9日(水) 午前・H会場	
13:30	N11a 余剰次元とニュートリノ磁気モーメントによる中質量星のセファイド・ループの消滅 森寛治(東京大学)	10:00	N21a KWFC銀河面変光天体探査(KISOGP)-V 松永典之(東京大学)
13:42	N12a 太陽型星のスーパーフレアに伴うH $\alpha$ 線放射・プラズマ噴出現象の世界初検出 行方宏介(京都大学)	10:12	N22a AKARI, WISEによるダストに埋もれたAGB星の中間赤外線長期変光調査 橋健吾(東京大学)
13:54	N13a 太陽型恒星コロナの系統的X線分光解析 志村拓馬(名古屋大学)	10:24	N23a 天の川銀河のミラ型変光星と漸近巨星分枝星の進化の金属量依存性 浦郷陸(鹿児島大学)
14:06	N14a ゼロ・低金属量星コロナからの高エネルギー放射に関する系統的研究 鷲ノ上遥香(東京大学)	10:36	N24a AGB星周縁における光学的厚みとCO, <sup>13</sup> CO( $J=1 \rightarrow 0$ )輝線強度比 甘田溪(鹿児島大学)
14:18	N15a 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I 野津湧太(コロラド大学)	10:48	N25a ミラ型変光星かんむり座S星の星周縁における衝撃波伝播パターンの発見 今井裕(鹿児島大学)
14:30	N16a せいめい望遠鏡とTESS, 小口径望遠鏡によるM型星フレアの同時測分光観測 前原裕之(国立天文台)	11:00	N26a 熱パルスAGB段階での磁気駆動風への脈動の影響 保田悠紀(北海道大学)
14:42	N17a K型主系列星PW Andにおける自転に伴うH $\alpha$ 輝線の変化 村瀬洸太郎(兵庫県立大学)	11:12	N27a 非変光OH/IR星の近赤外線長期増光現象の発見 上塚貴史(東京大学)
14:54	N18a 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)	11:24	N28a The common envelope evolution beyond the dynamic in-spiral: homologous dynamics and dust formation Roberto Iaconi (Kyoto University)
15:06	N19a ベテルギウスの今季大減光期における有効温度と有効半径の変化について 大島修(岡山理科大学)	11:36	N29a 水素輝線等価幅とバルマー減減率のモニタリングから探るBe星の円盤構造 石田光宏(横浜市立戸塚高等学校)
15:18	N20a 褐色矮星の大気構造およびスペクトル形状へのダストサイズ依存性 空華智子(国立天文台)	11:48	N30a $\gamma$ Dor型脈動変光星で検出されるロズビー・モードを用いた内部構造診断 高田将郎(東京大学)

## P1. 星・惑星形成(星形成)

9月9日(水) 午後・H会場		9月8日(火) 午前・G会場	
13:30	N31a The chromospheric helium line at 10830 Å : observational trends with stellar parameters and the synthetic spectra Mingjie Jian (The University of Tokyo)	10:00	P101a 初代星形成における星周円盤の非定常モデル 木村和貴(京都大学)
13:42	N32a 近赤外線高分散分光器 WINERED : Mg、Si、Ca、Ti、Cr、Ni の化学組成導出に用いる YJバンド中の吸収線の選定 福江慧(京都産業大学)	10:12	P102a 磁場環境下での初代星形成過程 定成 健児エリック(東北大学)
13:54	N33a SVC: 高分散分光スペクトルの連続波を高精度に規格化する新手法 谷口大輔(東京大学)	10:24	P103a 原始ガス雲の進化における Ly $\alpha$ 放射の水素分子抑制効果について 阿左美進也(筑波大学)
14:06	N34a 金属欠乏星における二重線分光連星の割合 青木和光(国立天文台)	10:36	P104a 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)
14:18	N35a 金属欠乏星データベースと Gaia のクロスマッチで見る銀河系の星種族の分類 須田拓馬(放送大学/東京大学)	10:48	P105a Public Release of A-SLOTH: Ancient Stars and Local Observables by Tracing Haloes Tilman Hartwig (The University of Tokyo)
		11:00	P106a 星団形成における輻射フィードバックについて 福島肇(筑波大学)
		11:12	P107a 大質量近接連星の形成における磁気制動の重要性 原田直人(九州大学)
		11:24	P108a 星団形成シミュレーションコード「ASURA+BRIDGE」 藤井通子(東京大学)
		11:36	P109a 分子雲形成期における多相星間媒質の時間発展 小林将人(東北大学)
		11:48	P110a Massive Core/Star Formation Triggered by Cloud-Cloud Collision IV: Effect of Magnetic Field in High-Speed Collisions Nirmit Deepak Sakre (Hokkaido University)

9月8日(火) 午後・G会場	9月9日(水) 午前・G会場
13:30 P111a BISTRO Project Status (8) Tetsuo Hasegawa(NAOJ)	10:00 P121a 星間ダスト表面における光化学反応実験のための装置の立ち上げと初期成果 谷口琴美(学習院大学)
13:42 P112a Witnessing the fragmentation of filaments into prestellar cores in Orion B/NGC 2024 島尻芳人(国立天文台)	10:12 P122a 表面の氷マントル形成によるダスト成長モデルの構築 古賀駿大(九州大学)
13:54 P113a オリオン領域における位置天文衛星 Gaia のデータ解析と星形成 経澤和見(お茶の水女子大学)	10:24 P123a 低質量原始星エンベロープの H <sub>2</sub> O 関連分子組成に対する X 線放射の影響 野津翔太(理化学研究所)
14:06 P114a オリオン A 分子雲の Integral Shape Filament における分子雲コアの質量関数 竹村英晃(総合研究大学院大学/国立天文台)	10:36 P124a Connecting Sulfur-bearing Species and Dust Polarization of the Protostars in the Perseus Molecular Cloud Ziwei E. Zhang (RIKEN)
14:18 P115a フィラメントの重力不安定性により形成されるコアの統計的性質について 三杉佳明(名古屋大学)	10:48 P125a Chemical properties of young stellar objects in the Magellanic Clouds Sarolta Zahorecz (Osaka Prefecture University / NAOJ)
14:30 P116a 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)	11:00 P126a LMT50m 鏡に搭載した 2mm 帯受信機 B4R によるオリオン分子雲 (OMC-1) の高感度分子輝線マッピング観測: デモ 科学観測の概要と輝線同定 川邊良平(国立天文台)
14:42 P117a 磁場に貫かれたフィラメント状分子雲の平衡状態における温度勾配の影響 柏木頼我(総合研究大学院大学)	11:12 P127a ALMA ACA サーベイで探る Corona Australis 領域の星形成 (1): 初期成果 立原研悟(名古屋大学)
14:54 P118a Aquila Rift complex の分子雲構造 下井倉ともみ(大妻女子大学)	11:24 P128a ALMA による原始星天体 NGC 2264 CMM3A の回転構造の検出 柴山良希(東京大学)
15:06 P119a ALMA observation of 70 $\mu$ m dark high-mass clump G23.477 森井嘉穂(東京大学/国立天文台)	11:36 P129a OMC-2/FIR3 および FIR4 領域におけるダスト連続波源とアウトフローの同定 佐藤亜紗子(九州大学)
15:18 P120a Statistical Analysis of the Core-scale Fragmentation in High-mass Star-forming Regions with ALMA 石原昂将(総合研究大学院大学)	11:48 P130a オリオン大星雲 2 Class0 天体 FIR6c から駆動するアウトフローの CO, SiO 分子輝線から探る構造 松下祐子(国立天文台)

## P2. 星・惑星形成(原始惑星系円盤)

9月9日(水) 午後・G会場		9月9日(水) 午後・G会場	
13:30	P131a Class 0 低質量原始星天体 IRAS 16293 - 2422 Source A のアウトフロー構造 大屋瑤子(東京大学)	15:06	P201a ALMA Observations of the Protostellar Binary System L1551 IRS 5: Resolving the Gas Motion inside the Hill Radii Shigehisa Takakuwa (Kagoshima University)
13:42	P132a Discovery of the Secondary Outflow Structure in IRAS 15398-3359 大小田結貴(東京大学)	15:18	P202a 超低光度前主系列星 J162656.43-243301.5 周囲の transition disk の ALMA 観測 杉谷朱泉(鹿児島大学)
13:54	P133a 磁場の向きと回転軸が非平行な場合の連星形成とジェット / アウトフローの駆動 佐伯優(九州大学)		
14:06	P134a Class0 原始星 L483 の 40 au スケールのアウトフロー 藤田孝典(東京大学)		
14:18	P135a ALMA による Class I 原始星 Elias 29 のアウトフローの詳細構造 雑賀恵理(東京大学)		
14:30	P136a 流体力学に基づいた回転降着エンベロープの模擬観測: 中心星質量の推定 森昇志(東京大学)		
14:42	P137a 原始星 L1489 IRS のマルチスケール観測: ~ 1,000 - 10 <sup>4</sup> au スケールの力学構造 崔仁士(東京大学/台湾中央研究院)		
14:54	P138a 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(4): N <sub>2</sub> D <sup>+</sup> 輝線と 1.3 mm 連続波の比較から考察する分子雲コア進化段階 徳田一起(大阪府立大学/国立天文台)		

9月10日(木) 午前・G会場		9月10日(木) 午後・G会場	
10:00	P203a The surprisingly low carbon mass in the debris disk around HD 32297 Gianni Cataldi (The University of Tokyo)	13:30	P215a H <sub>2</sub> O 氷の 3 μm 散乱偏光フィーチャーの起源と原始惑星系円盤への応用 田崎亮(工学院大学)
10:12	P204a 原始惑星系円盤 HD142527 の ALMA 長波長偏光観測 片岡章雅(国立天文台)	13:42	P216a ミリ波散乱減光が原始惑星系円盤の質量推定に与える影響 植田高啓(国立天文台)
10:24	P205a 原始惑星系円盤 HD 163296 のミリ波連続波観測からのダストスケールハイトの制限 土井聖明(総合研究大学院大学/国立天文台)	13:54	P217a 原始惑星系円盤における赤道面非対称な磁場構造の形成 岩崎一成(国立天文台)
10:36	P206a ALMA ミリ波偏光観測と VLA センチ波観測による原始惑星系円盤 IRS48 のダストサイズ分布 大橋聡史(理化学研究所)	14:06	P218a 原始惑星円盤への宇宙線の侵入とガスの電離について 藤井悠里(名古屋大学)
10:48	P207a 原始惑星系円盤における N <sub>2</sub> H <sup>+</sup> , N <sub>2</sub> D <sup>+</sup> 輝線観測データの解析 大和義英(東京大学)	14:18	P219a 原始惑星系円盤上のガス渦が作り出すチャンネルマップ上の捻じれ 小野智弘(東京工業大学)
11:00	P208a ngVLA による原始惑星系円盤観測、及び ALMA 観測とのシナジー 百瀬宗武(茨城大学)	14:30	P220a 惑星移動がギャップ構造に及ぼす影響 金川和弘(東京大学)
11:12	P209a ngVLA と ALMA を用いた岩石惑星形成領域の温度構造の断層撮影 奥住聡(東京工業大学)	14:42	P221a 中質量星周りの円盤の消失における恒星進化の影響について 國友正信(久留米大学)
11:24	P210a 円盤風で進化する原始惑星系円盤における新しいダスト成長メカニズム 瀧哲朗(国立天文台)	14:54	P222a 原始惑星系円盤進化の中心星質量への依存性 中野龍之介(東京大学)
11:36	P211a 低質量比ダストアグリゲイト間衝突による成長と破壊 長谷川幸彦(東京大学)	15:06	P223a 原始惑星系円盤光蒸発の輻射流体計算：中心星質量・光度依存性 駒木彩乃(東京大学)
11:48	P212a 原始惑星系円盤のダストと鉛直シア不安定性の共進化：線形解析からの示唆 福原優弥(東京工業大学)	15:18	P224a 惑星由来の水素輝線放射のモデル化：PDS70b, c の形成過程への制約 青山雄彦(清華大学)
12:00	P213a ダストリング構造の重力崩壊による微惑星形成 高橋実道(国立天文台)	15:30	P225a 二次元数値流体計算による巨大惑星へのガス降着モデルの検証 中澤佐穂(東北大学)
12:12	P214a 原始惑星系円盤中でのダストから惑星まで一貫した直接合体成長の理論的研究 小林浩(名古屋大学)		

## P3. 星・惑星形成(惑星系)

9月8日(火) 午前・C会場		9月8日(火) 午後・C会場	
10:00	P301a 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)	13:30	P311a 恒星活動による光度変化の波長依存性: ヒアデス星団低温星の多波長測光モニター観測 宮川浩平(東京工業大学)
10:12	P302a 恒星間彗星 2I/Borisov の偏光観測 古荘玲子(都留文科大学)	13:42	P312a 地上望遠鏡を用いた TRAPPIST-1g トランジット分光による惑星大気と主星表面の不均一性の解析 森万由子(東京大学)
10:24	P303a 小惑星の自転加速による変形とリュウグウなどのコマ型小惑星の形成条件 杉浦圭祐(東京工業大学)	13:54	P313a 系外惑星の大気透過光スペクトルにおける超レイリースロープ: 光化学ヘイズによる説明 大野和正(東京工業大学)
10:36	P304a 2019年10月りゅう座流星群の多地点流星電波観測 石村周平(茨城大学)	14:06	P314a <i>Spitzer</i> 宇宙望遠鏡を用いたスペースパララックス効果による重力マイクロレンズイベントの質量決定 近藤依央菜(大阪大学)
10:48	P305a ガリレオ衛星における生命発生の必要条件の考察 鴨川弘幸(防衛大学校)	14:18	P315a 惑星候補イベント MOA-bin-175/OGLE-2011-BLG-1303 の解析 佐藤佑樹(大阪大学)
11:00	P306a ALMA で検出された木星衛星イオの二酸化硫黄噴火ガス 古賀亮一(名古屋大学)	14:30	P316a 光蒸発による原始惑星系円盤散逸がスーパーアースの大気量に及ぼす影響 荻原正博(国立天文台)
11:12	P307a 10m 電波望遠鏡 SPART と ALMA TP 同日観測による金星中層大気一酸化炭素スペクトルのマルチバンド解析 富原彩加(大阪府立大学)	14:42	P317a スーパーアース同士の巨大衝突に伴う水素大気散逸効率 黒崎健二(名古屋大学)
11:24	P308a 近赤外中分散エッセル分光器 /PIRKA 望遠鏡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)	14:54	P318a 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 II 星野遥(東京大学)
11:36	P309a 多様な惑星系天体形成とその検証-ガスポイド外縁モデルから- 森川雅博(お茶の水女子大学)		
11:48	P310a 大気散逸を考慮した M 型星周りのハビタブルゾーンの再評価(2) 山敷庸亮(京都大学)		

## Q. 星間現象

9月9日(水) 午後・F会場		9月10日(木) 午前・F会場	
13:30	Q01a 野辺山45m鏡FOREST受信機による銀河面COサーベイ データを用いた分子雲形成の観測的研究 中西裕之(鹿児島大学)	10:00	Q11a Cloud-Cloud Collision in the Galactic Center Arc II Masato Tsuboi (JAXA)
13:42	Q02a 分子ガスの速度構造から探る, W3分子雲複合体における大質量星形成 山田麟(名古屋大学)	10:12	Q12a 銀河系中心領域における特異分子雲“Tadpole”の発見 金子美由起(慶應義塾大学)
13:54	Q03a NGC 1333における分子雲衝突 阪本茉莉子(名古屋大学)	10:24	Q13a NRO 45m 望遠鏡を使用した広速度幅分子ガス成分 CO 16.134 - 0.554 の分子スペクトル線観測 横塚弘樹(慶應義塾大学)
14:06	Q04a NGC 2023/2024領域における大質量星形成 榎谷玲依(慶應義塾大学)	10:36	Q14a VLBI 観測による Sgr B2 領域の水メーザー3次元速度構造の測定 酒井大裕(国立天文台)
14:18	Q05a 水素原子雲における星形成 福井康雄(名古屋大学)	10:48	Q15a XMM-Newton と NuSTAR による Ia 型超新星残骸 3C397 の鉄族元素の空間分布測定 大城勇憲(東京大学)
14:30	Q06a R136 領域における星形成と超新星残骸 山根悠望子(名古屋大学)	11:00	Q16a 超新星残骸 G350.1-0.3 におけるイジェクタ速度の測定 土岡智也(立教大学)
14:42	Q07a 中性水素ガス衝突による大質量星団形成の初期条件依存性についての研究 前田龍之介(名古屋大学)	11:12	Q17a 超新星残骸 N132D の高分解能 X 線分光解析によるプラズマ診断 鈴木瞳(東京都立大学)
14:54	Q08a 小マゼラン雲の N83/N84 領域における分子雲形成 大野峻宏(名古屋大学)	11:24	Q18a 超新星残骸の衝撃波における X 線の熱的放射と非熱的放射の関係 辻直美(理化学研究所)
15:06	Q09a 大小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)	11:36	Q19a ALMA による TeV ガンマ線超新星残骸 N132D の観測 佐野栄俊(国立天文台)
15:18	Q10a 中高銀緯広域における中間速度雲の重元素量空間分布 早川貴敬(名古屋大学)	11:48	Q20a 熱的 X 線・ガンマ線観測を通じた超新星残骸からの宇宙線逃亡タイムスケールの測定 鈴木寛大(東京大学)

## R. 銀河

9月10日(木) 午後・F会場		9月10日(木) 午前・D会場	
13:30	Q21a MeVガンマ線撮像分光気球実験SMILEによる銀河中心領域の観測 水村好貴(宇宙航空研究開発機構)	10:00	R01a VERAによる位置天文データのカタログ作成 廣田朋也(国立天文台)
13:42	Q22a 銀河スケールの $^{26}\text{Al}$ 空間分布と近傍超新星爆発起因の $^{26}\text{Al}$ バブル 藤本裕輔(Carnegie Institution for Science)	10:12	R02a Atacama Compact Arrayによる渦巻銀河M33の $^{12}\text{CO}$ , $^{13}\text{CO}$ $J=2-1$ 広域観測 村岡和幸(大阪府立大学)
13:54	Q23a 量子化学計算による $\text{C}_2\text{H}_2\text{N}_2$ の形成プロセスの探索 米津鉄平(大阪府立大学)	10:24	R03a ALMAによる渦巻銀河M33の巨大分子雲の高分解能観測(5): $10^6 M_\odot$ に及ぶ巨大分子雲の性質とその進化 近藤滉(大阪府立大学)
14:06	Q24a すざく衛星の観測による太陽風電荷交換反応由来の $\text{S}_{\text{XVI}}$ 輝線の発見 朝倉一統(大阪大学)	10:36	R04a 棒渦巻銀河NGC 613の中心領域におけるガスダイナミクスと星形成の関係 佐藤景亮(筑波大学)
14:18	Q25a Can Warm-hot Intergalactic Medium Account for the Spatial Fluctuation of the Soft Diffuse X-ray Background? Zhou Yu (JAXA)	10:48	R05a $^{12}\text{CO}(J=1-0)/^{13}\text{CO}(J=1-0)$ 輝線強度比による近傍の棒渦巻銀河Maffei2の分子ガスの物理状態 矢島義之(北海道大学)
		11:00	R06a 相互作用銀河NGC4567/4568の衝突領域における分子ガスの物理状態 鴫田 翔哉(筑波大学)
		11:12	R07a スターバースト銀河M82の銀河風領域における重元素分布の解明 八木雄大(東京大学/宇宙航空研究開発機構)
		11:24	R08a 超矮小銀河の化学進化: 中性子捕獲過程とバリウムの起源 垂水勇太(東京大学)
		11:36	R09a M87中心のSMBH連星からの重力波が観測される可能性 船渡陽子(東京大学)
		11:48	R10a Gaia DR2を用いた、銀河系中心由来の超高速星(hypervelocity stars)の探索 服部公平(Carnegie Mellon University)
		12:00	R11a N体シミュレーションで探る太陽近傍の星の位相空間分布とバーの共鳴軌道との関係 朝野哲郎(東京大学)

## S. 活動銀河核

12:12	R12a	銀河渦状腕中の星のエピサイクル位相同期 II 吉田雄城 (東京大学)	9月8日 (火) 午前・A会場
12:24	R13a	偏波解消効果を取り入れた渦状銀河の電波帯疑似観測 田嶋裕太 (九州大学)	
	S01a	活動銀河核ウィンドからの高エネルギーニュートリノ・ガンマ線放射 井上進 (理化学研究所)	10:00
	S02a	<i>XRISM</i> observations of a UV line driven disc wind in AGN 水本岬希 (京都大学)	10:12
	S03a	クエーサー付随 NAL 吸収体の幾何的分布に関する調査 伊東大輔 (信州大学)	10:24
	S04a	クランピートーラスからの X 線スペクトルモデル (XCLUMPY) を用いた Compton-thick AGN の広帯域 X 線スペクトル系統解析 谷本敦 (東京大学)	10:36
	S05a	XCLUMPY モデルを用いた Circinus galaxy におけるトーラス内縁半径の推定 植松亮祐 (京都大学)	10:48
	S06a	分子トーラスでの CO 振動回転遷移吸収線観測と理論モデルの比較・検証 松本光生 (東京大学/宇宙航空研究開発機構)	11:00
	S07a	「すざく」による I 型 AGN NGC 4593 の Fe-K $\alpha$ 変動性を用いた AGN 構造の制限 峯田大靖 (大阪大学)	11:12
	S08a	時間変動解析を用いた Radio loud 狭輝線セイファート1型銀河 1H 0323+342 の X 線スペクトル成分分解 服部兼吾 (大阪大学)	11:24
	S09a	ブレーザー 1ES 1959+650 の 2016 年 TeV フレアの多波長観測 高橋光成 (東京大学)	11:36
	S10a	ALMA Polarization Monitoring of Extragalactic Radio Sources 亀野誠二 (Joint ALMA Observatory, 国立天文台)	11:48
	S11a	電波銀河 M87 の軟～硬 X 線スペクトルの推移および中心コアと HST-1 の光度変動 今澤遼 (広島大学)	12:00

## T. 銀河団

12:12	S12a 電波銀河のガンマ線背景放射への寄与 深沢泰司(広島大学)	9月10日(木) 午前・H会場	
10:00	T01a	XMM 衛星データを用いた MCXCJ0157.4-0550 の 2 次元温度密度 構造の解析 3 楊冲(広島大学)	
10:12	T02a	HSC-SSP サーベイ領域 Weak Lensing 銀河団の X 線フォローアップ計画(6) 作田皓基(名古屋大学)	
10:24	T03a	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(2) 田中桂悟(金沢大学)	
10:36	T04a	BARYON BUDGET IN THE XXL CLUSTERS II 秋野大知(広島大学)	
10:48	T05a	Active gas features in three HSC-SSP CAMIRA clusters revealed by high angular resolution analysis of MUSTANG-2 SZE and XXL X-ray observations 岡部信広(広島大学)	
11:00	T06a	X 線天文衛星 XMM-Newton を用いた Abell2147 銀河団の力学的進化の解明 清水里紗(埼玉大学)	
11:12	T07a	DisPerSE を用いた HSC-SSP サーベイ 領域内の大規模構造の同定 山本涼一(広島大学)	
11:24	T08a	すばる望遠鏡で見つかった青い銀河団 の X 線ガスの性質 美里らな(奈良女子大学)	
11:36	T09a	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)	
11:48	T10a	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)	
12:00	T11a	銀河団からの電磁波・ニュートリノ放射 の一次元モデリング II 西脇公祐(東京大学)	

## U. 宇宙論

9月9日(水) 午前・A会場		9月9日(水) 午後・A会場	
10:00	U01a 重力波観測で測る宇宙の曲率 永野陽菜子(福岡大学)	13:30	U11a 超長波長密度ゆらぎによる潮汐場を考慮した宇宙論的 $N$ 体シミュレーション 正木彰伍(鈴鹿工業高等専門学校)
10:12	U02a ビッグバンから宇宙の晴れ上がりまでの連続性を考慮したパラメータ制限 山崎大(茨城大学/国立天文台)	13:42	U12a 宇宙大規模構造のアンチエイジング II: 密度場再構築後のパワースペクトルの共分散 日影千秋(Kavli IPMU)
10:24	U03a 宇宙マイクロ波背景放射観測実験「POLARBEAR」による B モード偏光観測結果の総括 茅根裕司(東京大学)	13:54	U13a Modeling the statistics of cosmological dispersion measure with the IllustrisTNG simulations 高橋龍一(弘前大学)
10:36	U04a 次世代宇宙背景放射観測実験 Simons Observatory の開発状況 仲村佳悟(Kavli IPMU)		
10:48	U05a 熱的スニヤエフ・ゼルドビッチ効果と CMB の光学的厚みの非等方性との相互相関を用いた宇宙再電離の探査 並河俊弥(ケンブリッジ大学)		
11:00	U06a CMB シャドウ: 宇宙マイクロ波背景放射偏光・温度異方性への星間減光の効果 梨本真志(東北大学)		
11:12	U07a CMB レンズング解析における観測誤差の伝搬 II 永田竜(宇宙航空研究開発機構)		
11:24	U08a 重力レンズクエーサーによる小スケール密度ゆらぎの測定 井上開輝(近畿大学)		
11:36	U09a 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「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。この原理を用い発電機を作る。 小堀しづ		
11:48	U10a 宇宙の姿と物質構造を考える 藤原ケイ		

## V1. 観測機器 (電波)

9月9日(水) 午後・E会場	9月10日(木) 午前・E会場
13:30 V101a 200 GHz帯/300 GHz帯分離 導波管フィルタを用いた SIS 受信機の開発 増井翔(大阪府立大学)	10:00 V111a Update on ALMA Operations and Development Program – Autumn 2020 Alvaro Gonzalez (NAOJ)
13:42 V102a 広帯域 IF(4-21GHz) 出力を持つ SIS 受信機に付加されるLO系起因の過剰雑音 横山航希(大阪府立大学)	10:12 V112a ALMA, 野辺山データ解析パイプラインの開発と2020年秋リリースのハイライト 杉本香菜子(国立天文台)
13:54 V103a デジタル分光計 XFFTSへの 2.5-5 GHz 入力への検討 南大晴(大阪府立大学)	10:24 V113a ALMA データ解析ソフト CASA の開発 11 中里剛(国立天文台)
14:06 V104a 導波管の周波数帯域限界に迫る 210-375 GHz 帯コルゲートホーンの開発進捗 山崎康正(大阪府立大学)	10:36 V114a 高速デジタイザを用いた 4-21 GHz 広帯域 IF 受信機システムの構築とその評価 小嶋崇文(国立天文台)
14:18 V105a 1.85m 電波望遠鏡に搭載する 210-375 GHz 帯光学系の開発 大川将勢(大阪府立大学)	10:48 V115a Progress in Device Fabrication at SIS Cleanroom in NAOJ Wenlei Shan (NAOJ)
14:30 V106a 1.85m 電波望遠鏡の新制御システムの開発: 性能評価と試験観測 松本健(大阪府立大学)	11:00 V116a ALMA 受信機用広帯域光学系コンポーネントの開発 (IV) 金子慶子(国立天文台)
14:42 V107a FITSWebQL SE (Supercomputer Edition) の開発状況 Christopher Zapart (国立天文台)	11:12 V117a ミリ波帯誘電体材料評価システムの構築と誘電率測定結果の妥当性検証 坂井了(国立天文台)
14:54 V108a 北半球最高感度ミリ波サブミリ波ヘテロダイン受信システム LMT-FINER I. デジタルサイドバンド分離広帯域分光計ファームウェアの開発 田村陽一(名古屋大学)	11:24 V118a 高感度サブミリ波マルチビーム受信機光学系開発に向けた収差が開口能率に及ぼす影響の調査 政井崇帆(総合研究大学院大学)
15:06 V109a スパースモデリングを使ったサブミリ波分光観測の高感度化 谷口暁星(名古屋大学)	11:36 V119a 連続波を用いた W バンド SIS アップコンバータの利得測定 上月雄人(電気通信大学)
15:18 V110a 火星周回機を想定した THz ヘテロダイン分光による放射輸送シミュレーション 濱口優輝(大阪府立大学)	11:48 V120a ASTE の運用 (5) 阪本成一(国立天文台)
	12:00 V121a The Next Generation Very Large Array 伊王野大介(国立天文台)

## V2. 観測機器 (光赤外・重力波・その他)

9月10日(木) 午後・E会場		9月10日(木) 午前・A会場	
13:30	V122a SKA プロジェクトへの参加計画 2 小林秀行(国立天文台)	10:00	V201a 国立天文台共同利用 大規模観測データ解析システム III 計算ノード増設 磯貝瑞希(国立天文台)
13:42	V123a 6-23 GHz 天文観測用超広帯域フィードアンテナの開発 長谷川豊(大阪府立大学)	10:12	V202a すばる望遠鏡・観測提案書審査システム PRORES の開発 八木雅文(国立天文台)
13:54	V124a 広帯域フィードの開発(XVIII) 氏原秀樹(情報通信研究機構)	10:24	V203a SuMIRe-PFS[20]: プロジェクト概要と装置開発進捗状況まとめ 2020 年秋季 田村直之(東京大学 Kavli IPMU)
14:06	V125a Large Submillimeter Telescope (LST): 5 河野孝太郎(東京大学)	10:36	V204a 木曾広視野CMOSカメラ Tomo-e Gozen による広域動画サーベイ 酒向重行(東京大学)
14:18	V126a CMB偏光観測衛星LiteBIRD計画の進展 羽澄昌史(高エネルギー加速器研究機構)	10:48	V205a TAO 6.5 m 望遠鏡用中間赤外線観測装置 MIMIZUKU : 二視野合成機構 Field Stacker を用いたフラット作成とその効能 道藤翼(東京大学)
14:30	V127a Measurements of millimeter wave optical constants of black body materials for the CMB experiments 服部誠(東北大学)	11:00	V206a TMT 計画 - 進捗報告 臼田知史(国立天文台)
14:42	V128a Microwave Kinetic Inductance Detector の較正手法の開発 沓間弘樹(東北大学/理化学研究所)	11:12	V207a せいめい望遠鏡用 可視光 3 色同時撮像 CMOS カメラ TriCCS の開発 松林和也(京都大学)
14:54	V129a POLARBEAR-2/Simons Array 実験 - 観測機器コミッショニング状況 長谷川雅也(高エネルギー加速器研究機構)	11:24	V208a 1.8m軸外し望遠鏡PLANETSの開発状況 鍵谷将人(東北大学)
15:06	V130a POLARBEAR-2a における較正光源を利用した検出器の監視と評価 金子大輔(東京大学)	11:36	V209a EMCCD によるスペックル撮像データからの物体像最尤推定 鹿田諒太(北見工業大学)
		11:48	V210a Development of micro-mirror slicer integral field spectroscopy for high-resolution solar observations 末松芳法(国立天文台)

V3. 観測機器 (X線・ $\gamma$ 線)

9月10日(木) 午後・A会場	9月8日(火) 午前・D会場
13:30 V211a 大型低温重力波望遠鏡 KAGRA における迷光雑音の対策 II 阿久津智忠(国立天文台)	10:00 V301a 微小ピクセル CMOS センサによる X 線検出データ処理システムの開発 佐久間翔太郎(大阪大学)
13:42 V212a むりかぶし望遠鏡 / MITSuME を用いた Starlink DarkSat の等級の評価 堀内貴史(国立天文台)	10:12 V302a 多重化コード化マスクの導入による MIXIM の有効面積拡大 石倉彩美(大阪大学)
13:54 V213a SPICA(次世代赤外線天文衛星): 日欧共同推進による概念検討・設計の進捗 山村一誠(宇宙航空研究開発機構)	10:24 V303a CMOS イメージセンサを用いた硬 X 線撮像偏光計の開発 III 畠内康輔(東京大学)
14:06 V214a SPICA 搭載中間赤外線観測装置 :ESA 審査に基づく概念検討・設計の進捗 大藪進喜(徳島大学)	10:36 V304a 湾曲 Si 結晶を用いたブラッグ反射型偏光計の分光性能評価 井上諒大(中央大学)
14:18 V215a 次世代赤外線天文衛星 SPICA: 極低温冷却システムの熱構造の詳細検討 鈴木仁研(宇宙航空研究開発機構)	10:48 V305a 硬X線偏光観測実験 XL-Calibur 気球の 2022 年フライトへ向けた準備状況 高橋弘充(広島大学)
14:30 V216a 小型 JASMINE 計画の全体的概況 郷田直輝(国立天文台)	11:00 V306a 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軟 X 線偏光解析手法の研究 山本龍哉(広島大学)
14:42 V217a 星の高精度位置測定を行う JASMINE における実証実験 矢野太平(国立天文台)	11:12 V307a 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(7) 山口友洋(名古屋大学)
14:54 V218a 小型 JASMINE 衛星の要素技術検証 VI 上田暁俊(国立天文台)	11:24 V308a 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(3) 三石郁之(名古屋大学)
15:06 V219a 小型 JASMINE の解析ソフトウェアの詳細化 山田良透(京都大学)	11:36 V309a X 線天文衛星 Athena 計画の現状 松本浩典(大阪大学)
15:18 V220a 高コントラスト観測システムテストベッド EXIST の開発 米田謙太(北海道大学)	11:48 V310a Athena 衛星に搭載する SPO 望遠鏡の DLC コーティング 芳野史弥(中央大学)
15:30 V221a PIXY2 を用いたスペースデブリ自動検出システムの開発 畠山拓也(宇宙航空研究開発機構)	

9月8日(火) 午後・D会場	9月9日(水) 午前・D会場
13:30 V311a 超小型 X 線衛星 NinjaSat に搭載のガス X 線検出器の開発 武田朋志(東京理科大学/理化学研究所)	10:00 V321a SOI 技術を用いた新型 X 線撮像分光器の開発 42:Double-SOI 構造を導入した X 線 SOI ピクセル検出器の X 線に対する放射線耐性の評価 北島正隼(東京理科大学)
13:42 V312a 超小型X線衛星NinjaSatに搭載の高電圧印加・アナログ信号処理ボードの開発 吉田勇登(東京理科大学/理化学研究所)	10:12 V322a SOI 技術を用いた新型 X 線撮像分光器の開発 43:新規構造を導入した X 線 SOI ピクセル検出器の放射線耐性の評価(2) 林田光揮(東京理科大学)
13:54 V313a 超小型X線衛星 Ninjasat に搭載のX線背景放射減衰シールドの最適化 佐藤宏樹(理化学研究所/芝浦工業大学)	10:24 V323a SOI 技術を用いた新型 X 線撮像分光器の開発 44 : PDD 構造に改良を加えた X 線 SOI ピクセル検出器の性能評価 行元雅貴(宮崎大学)
14:06 V314a 超小型衛星 SONGS 搭載太陽中性子・ガンマ線検出器の積層プラスチックシンチレータ部の性能評価 宇佐見雅己(名古屋大学)	10:36 V324a SOI 技術を用いた新型 X 線撮像分光器の開発 45: X 線 SOI ピクセル検出器の軟 X 線性能 児玉涼太(京都大学)
14:18 V315a 突発天体位置決定に向けた超小型衛星 CAMELOT の開発現状 眞武寛人(広島大学)	10:48 V325a HiZ-GUNDAM に向けた次世代広視野 X 線検出器のイメージデータ処理 荻野直樹(金沢大学)
14:30 V316a 地球磁気圏 X 線撮像計画 GEO-X (GEOspace X-ray imager) の現状 III 江副祐一郎(東京都立大学)	11:00 V326a GRAMS 計画 1: MeVガンマ線観測・ダークマター探索気球実験 小高裕和(東京大学)
14:42 V317a 速報実証衛星 ARICA のプロジェクト進捗状況 渡辺智也(青山学院大学)	11:12 V327a Cherenkov Telescope Array (CTA) 計画: 全体報告(18) 齋藤隆之(東京大学)
14:54 V318a 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 VI 佐藤浩介(埼玉大学)	11:24 V328a CTA 大口径望遠鏡に用いる光電子増倍管の性能評価および 2-4 号機カメラ製作の現状 佐々木寅旭(埼玉大学)
15:06 V319a 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(3) 瀧川歩(名古屋大学)	11:36 V329a Schwarzschild-Couder 型の CTA 小・中口径望遠鏡の開発状況 奥村暁(名古屋大学)
15:18 V320a 超伝道転移端 X 線検出器の技術成熟化と地球外試料分析に向けた SPring-8 実験 須田博貴(東京都立大学)	11:48 V330a 新型大気蛍光望遠鏡による極高エネルギー宇宙線の観測状況及び波形収集回路の開発 寺内健太(京都大学)

## W. コンパクト天体

9月9日(水) 午後・D会場		9月9日(水) 午前・C会場	
13:30	V331a X線分光撮像衛星(XRISM)搭載軟X線撮像装置(Xtend)の開発の現状(4) 内田裕之(京都大学)	10:00	W01a 相対論的衝撃波におけるシンクロトロンメーザー放射に伴う粒子加速 岩本昌倫(九州大学)
13:42	V332a X線分光撮像衛星XRISM搭載X線望遠鏡(XMA)開発の現状(4) 林多佳由(NASA's GSFC, UMBC)	10:12	W02a 非一様磁化プラズマ中を伝播する相対論的無衝突衝撃波のParticle-in-Cell simulation 富田沙羅(東北大学)
13:54	V333a XRISM搭載Xtendの応答関数の調査(2) 花岡真帆(大阪大学)	10:24	W03a 広帯域GRB残光での偏光の理論予測: 磁場構造の観測的制限について 霜田治朗(名古屋大学)
14:06	V334a XRISM搭載Xtendのフライト用CCDの電荷転送非効率の調査 金丸善朗(宮崎大学)	10:36	W04a GRB170817Aの非自明なジェット構造 高橋和也(京都大学)
14:18	V335a 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(2) 丹波翼(東京大学)	10:48	W05a GeV/TeV帯域で検出されたガンマ線バーストの初期X線残光における緩慢減衰期の統計的性質 佐藤優理(青山学院大学)
		11:00	W06a GRB 050820A: ガンマ線バーストの即時放射休止中の放射の起源 李晋(青山学院大学)
		11:12	W07a MAXIによる11年間のガンマ線バーストの観測 西田宏幹(青山学院大学)
		11:24	W08a MAXI/GSCが検出した2020年度前半の突発現象: X線連星系の短期長期活動と増光する矮新星SS Cygの検出 根来均(日本大学)
		11:36	W09a X線観測によるU Gemの矮新星爆発時および静穏時におけるプラズマ空間分布の解明 武尾舞(東京都立大学)
		11:48	W10a 矮新星KIC 9406652における、公転軌道面から傾いた降着円盤の性質の調査 木邑真理子(理化学研究所)

9月9日(水) 午後・C会場		9月10日(木) 午前・C会場	
13:30	W11a 爆発的質量放出により駆動される突発天体モデル：特異な突発天体 AT2018cow への適用 宇野孔起(京都大学)	10:00	W21a Be/X線連星系において1周期の間に大きく方向を変える降着流 岡崎敦男(北海学園大学)
13:42	W12a 電子捕獲型超新星におけるニュートリノ集団振動の観測への影響 佐々木宏和(国立天文台)	10:12	W22a 超臨界中性子星降着流の降着率依存性および磁場強度依存性の研究 井上壮大(筑波大学)
13:54	W13a 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(3) 中川友進(海洋研究開発機構)	10:24	W23a 中性子星の磁場進化へのクラスト(殻)の可塑性変形の効果 小嶋康史(広島大学)
14:06	W14a Luminosity functions of repeating and non-repeating fast radio bursts 橋本哲也(国立清華大学)	10:36	W24a X線単独中性子星における高温成分と吸収構造の性質 米山友景(大阪大学)
14:18	W15a ALMAによる静穏期のガンマ線連星 PSR B1259-63/LS 2883の観測 藤田裕(東京都立大学)	10:48	W25a 中性子星中で出現する多様な超状態と中性子星の熱的進化 野田常雄(久留米工業大学)
14:30	W16a ガンマ線連星 LS 5039の9秒パルスの検証とマグネター仮説 牧島一夫(東京大学)	11:00	W26a コンパクト連星合体直前の電磁場の解析と合体前電磁波対応天体 和田知己(京都大学)
14:42	W17a ガンマ線連星 LS 5039の、NuSTAR衛星とFermi衛星を用いた広帯域スペクトル解析 米田浩基(理化学研究所)	11:12	W27a キロノバのスペクトルで探る r-process 元素合成の痕跡 土本菜々恵(東北大学)
14:54	W18a 周期的高速電波バーストの連星コムモデル 井岡邦仁(京都大学)	11:24	W28a 連星中性子星合体における質量放出 藤林翔(Max Planck Institute for Gravitational Physics)
15:06	W19a パルサーの距離情報より求めた天の川銀河内電離ガス密度分布 亀谷收(国立天文台)	11:36	W29a Jet propagation and Cocoon Emission in Neutron Star Mergers and GW170817 Hamid Hamidani (Kyoto University)
15:18	W20a 中性子星表面の定常的な磁気山の構造 藤澤幸太郎(東京大学)	11:48	W30a NICERのデータを用いたX線新星 MAXI J1810-222のエネルギースペクトルとパワースペクトル解析 高城龍平(日本大学)

## X. 銀河形成

9月10日(木) 午後・C会場		9月8日(火) 午前・E会場	
13:30	W31a GX 339-4 の X 線と可視光光度曲線のタイムラグ解析：可視光が先行する順相関成分 大間々知輝(広島大学)	10:00	X01a 原始銀河団中ガスの Ly $\alpha$ 放射と金属組成比分布 福島啓太(大阪大学)
13:42	W32a 超臨界降着流におけるコロナモデルとその放射スペクトルの特徴 川中宣太(京都大学)	10:12	X02a AGN Feedback Model in GADGET3-Osaka: Cosmological Simulation Abednego Wiliardy (Osaka University)
13:54	W33a ブラックホール降着流の一般相対論的輻射磁気流体計算：質量降着率依存性 朝比奈雄太(筑波大学)	10:24	X03a 高分解能シミュレーションに基づいた超新星フィードバックモデルの構築 奥裕理(大阪大学)
14:06	W34a Super-Eddington 天体に対する dusty-gas の Hoyle-Lyttleton 降着過程 尾形絵梨花(筑波大学)	10:36	X04a Synthetic Metal Observations of z=2.0 IGM within Osaka Feedback Model Simulations Jackson M. Norris (Osaka University)
14:18	W35a 始原星団内の中間質量ブラックホールの星の潮汐破壊現象による成長 櫻井祐也(IPMU/Georgia Institute of Technology)	10:48	X05a The Uchuu simulations: Data release 1 石山智明(千葉大学)
14:30	W36a 70M $\odot$ のブラックホールを持つとされる連星系 LB-1 の形成過程について 谷川衝(東京大学)	11:00	X06a ダークマターの自己相互作用を考慮した宇宙の構造形成シミュレーション 蛭子俊大(千葉大学)
14:42	W37a 濃い星周物質内でのブラックホール形成と突発天体 津名大地(東京大学)	11:12	X07a 銀河衝突によるダークマター欠乏銀河の形成：衝突速度依存性について 大滝恒輝(筑波大学)
14:54	W38a 散開星団で形成される連星ブラックホールのスピン 熊本淳(東京大学)	11:24	X08a 宇宙論的シミュレーションを用いた CO 分子輝線疑似観測 井上茂樹(筑波大学/国立天文台)
15:06	W39a Formation and evolution of compact object binaries in AGN disks 田川寛通(東北大学)	11:36	X09a Resolved Kennicutt – Schmidt Law as Seen from COMING 竹内努(名古屋大学/統計数理研究所)
15:18	W40a On the spin distribution of merging binary black holes from star clusters Alessandro A. Trani (The University of Tokyo)	11:48	X10a Analysis of the SFR–M relation for CANDELS GOODS–S data 施文(名古屋大学)
15:30	W41a 超巨大 Kerr バイナリー・ブラックホールからの重力波について 大家寛(東北大学)		

9月8日(火) 午後・E会場		9月9日(水) 午前・E会場	
13:30	X11a Understanding Galaxy Evolution through Machine Learning Suchetha Cooray (Nagoya University)	10:00	X22a CFHT Megaprime $u$ -band Source Catalog of the <i>AKARI</i> North Ecliptic Pole Field Ting-Chi Huang (SOKENDAI / JAXA)
13:42	X12a 機械学習を用いた銀河の可視光スペクトルの星種族分解 村田一心(法政大学)	10:12	X23a A constraint of [NII] 122 $\mu\text{m}$ and a new dust continuum detection of a $z = 7.15$ Lyman Break Galaxy with ALMA 菅原悠馬(早稲田大学)
13:54	X13a GANを用いた輝線強度マップのシグナル分離 森脇可奈(東京大学)	10:24	X24a Truth or Delusion? A Possible Gravitational Lensing Interpretation of the Ultraluminous Quasar SDSS J0100+2802 at $z = 6.30$ 藤本征史(Cosmic Dawn Center, Niels Bohr Institute)
14:06	X14a The Mean Absorption Line Spectra of a Selection of Luminous $z \sim 6$ Lyman Break Galaxies 播金優一(東京大学)	10:36	X25a Serendipitous Discovery of an optically dark AGN host galaxy at $z = 3.4$ 早津夏己(国立天文台)
14:18	X15a LACES: 若い小質量星形成銀河からの電離光子脱出探査 中島王彦(国立天文台)	10:48	X26a Physical Characterization of Serendipitously Uncovered mm-wave Line Emitting Galaxies behind the Local LIRG VV114 水越翔一郎(東京大学)
14:30	X16a 輝線強度マッピングで探る $z \sim 2-7$ 星形成銀河周りの巨大 $\text{Ly}\alpha$ 構造 菊地原正太郎(東京大学)	11:00	X27a Molecular gas distribution in a main sequence galaxy with a UV clump at $z = 1.45$ 牛尾海登(京都大学)
14:42	X17a $\text{Ly}\alpha$ haloes around UV-selected galaxies at $z=2.9-4.4$ Haruka Kusakabe(University of Geneva)	11:12	X28a SOFIA View of an Extremely Luminous Infrared Galaxy: WISE 1013+6112 鳥羽儀樹(京都大学)
14:54	X18a $\text{Ly}\alpha$ halos around LAEs at $z = 2.84$ across environments 菊田智史(筑波大学)	11:24	X29a 近傍 LIRG の近赤外線複数輝線から探る銀河相互作用の影響 櫛引洸佑(東京大学)
15:06	X19a すばるで探る近傍極金属欠乏銀河の統計的分光調査 磯部優樹(東京大学)	11:36	X30a Investigation of Galaxies with a Kinematically Distinct Core Using MaNGA Data Kiyooki Christopher Omori (Nagoya University)
15:18	X20a 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)	11:48	X31a Millisecond Pulsars Modify the Radio-SFR Correlation in Quiescent Galaxies 須藤貴弘(東京大学)
15:30	X21a すばる超広視野観測で解明する銀河形成最盛期以降の大規模構造形成と銀河進化 山本直明(東北大学)		

## Y. 天文教育・広報普及・その他

9月8日(火) 午後・A会場	
13:30	Y01a 小学校理科 組み立て式天体望遠鏡キットを用いた自宅での月観察学習の試み 縣秀彦(国立天文台)
13:42	Y02a 各国理科教科書・シラバスにおける天文学記述のアーカイブの重要性 玉澤春史(京都市立芸術大学/京都大学)
13:54	Y03a 天文学のサポーターに対するアンケート調査報告 生田ちさと(宇宙航空研究開発機構)
14:06	Y04a すばる望遠鏡 HSC データを用いた小惑星検出アプリ COIAS の開発 浦川聖太郎(日本スペースガード協会)
14:18	Y05a キトラ古墳・天文図のダジック・アースによる球体投影 土井正治(アクトパル宇治)
14:30	Y06a 緯度観測所の集合写真に記録された袴姿の女性所員たち 馬場幸栄(一橋大学)
14:42	Y07a IAU 教育のための天文学推進室(OAE) 日本窓口(NAEC) チームの立ち上げ 富田晃彦(和歌山大学)
14:54	Y08a 国立天文台「市民天文学」プロジェクト GALAXY CRUISE の進捗状況 臼田-佐藤功美子(国立天文台)

予稿ページ

## Z101r EHT による超巨大ブラックホールシャドウの直接撮像：現状と今後

本間希樹, 小山友明, 川島朋尚, 田崎文得, 永井洋, 秦和弘 (国立天文台), 秋山和徳, 森山小太郎 (MIT), 浅田圭一, 井上允, 小山翔子, 中村雅徳, 松下聡樹 (ASIAA), 池田思朗 (統数研), 沖野大貴, 小藤由太郎 (東京大), 紀基樹 (工学院大), 笹田真人 (広島大), 當真賢二 (東北大), 崔玉竹 (総研大), 水野いづみ (EAO), 水野陽介 (フランクフルト大), 他 Event Horizon Telescope Collaboration

Event Horizon Telescope (EHT) プロジェクトは 2019 年 4 月に、M87 の中心にある巨大ブラックホールの写真を公表した。写真には光子球に相当するリング上の構造およびその内側のブラックホールシャドウが捉えられており、シュバルツシルト半径スケールの現象を始めて直接的に描き出すことに成功した。また、光子球の半径測定に基づいてブラックホールの質量が太陽の約 65 億倍と求まり、輝度温度の測定結果が放射非効率円盤 (RIAF) の予想と矛盾しないことも確認されるなど、ブラックホールの物理的状況を明らかにすることに貢献した。このようなブラックホール近傍の世界が EHT により撮影可能になったことで、ブラックホール研究は新たな時代に突入したと言える。

一方、EHT の最初の観測成果では M87 のジェットの本元が有意に検出できなかったことから、ジェットとブラックホールの関係性は引き続き研究課題として残されている。また、ブラックホールの質量とならぶ重要なパラメーターであるスピンの測定についても今後さらなる研究が必要である。さらに、もう一つの重要な観測対象である天の川銀河中心のブラックホール Sgr A\* については、時間変動を有する天体の画像解析が今後の課題となっている。本講演では、EHT による M87 の最初の撮影結果について概要をまとめるとともに、上記の課題を解決を目指した EHT プロジェクトの現状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](#)

## Z102a EHT 動画撮像を用いた Sgr A\* への落下ガス雲の解明とブラックホールスピンの測定

森山小太郎 (マサチューセッツ工科大学ヘイスタック観測所), 嶺重慎 (京都大学), 本間希樹 (国立天文台), 秋山和徳 (アメリカ国立電波天文台/マサチューセッツ工科大学ヘイスタック観測所)

我々の銀河系中心にある大質量ブラックホール候補天体 いて座 A\* (SgrA\*) は、全ブラックホール候補天体の中で最大の視直径を持ち、Event Horizon Telescope (EHT) のメインターゲットの一つである。SgrA\* の電波放射はブラックホールシャドウと同程度の大きさ、10 分程度の短い時間スケールの変動を持つため、ブラックホール近傍の降着流が起源であると期待されている。ブラックホール近傍の相対論的な降着流を、EHT 観測によって空間・時間の両方から解明することは、ブラックホール時空を測定することにつながる。EHT では、ブラックホール近傍の動画撮像のための手法開発と、それに対応する時空測定法の構築が、急務の課題となっている。

2019 年秋の年会 [S08a] では、超大質量ブラックホールの降着を想定し、より任意の運動と放射スペクトルを持った落下ガス雲の光度変動と、そのスピン依存性を一般相対論的放射輸送計算を用いて解明し、時空を直接測定する方法を構築した。さらに、SgrA\* 周りの時間変動する降着円盤と落下ガス雲の光度変動を想定した模擬観測を実行し、提唱した方法が 2017-2021 年の EHT 観測データに適用可能であることを示した。本研究では、SgrA\* 近傍での落下ガス雲構造の変動を一般相対論的磁気流体シミュレーションによって取り入れた、より現実的な模擬観測を行う。この模擬観測結果に最先端の EHT 画像・動画撮像法を適用することで、降着円盤の変動などを含む成分から、落下ガス雲の時間変動のみを検出する方法を構築し、光度変動から得られるスピンの測定精度を検証する。最後に、2021 年以降の EHT 観測に対する本スピン測定法の適用と、今後の展望について議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

## Z103a The origin of hotspots around Sgr A\*: Orbital or pattern motion?

Tatsuya Matsumoto, The University of Tokyo

The Gravity Collaboration detected a near-infrared hotspot moving around Sgr A\* during the 2018 July 22 flare. They fitted the partial loop the hotspot made on the sky with a circular Keplerian orbit of radius  $\simeq 7.5 r_g$  around the supermassive black hole (BH), where  $r_g$  is the gravitational radius. However, because the hotspot traversed the loop in a short time, models in which the hotspot tracks the motion of some fluid element tend to produce a best-fit trajectory smaller than the observed loop. This is true for a circular Keplerian orbit, even when BH spin is accounted for, and for motion along a RIAF streamline. A marginally bound geodesic suffers from the same problem; in addition, it is not clear what the origin of an object following the geodesic would be. The observed hotspot motion is more likely a pattern motion. Circular motion with  $r \simeq 12.5 r_g$  and a super-Keplerian speed  $\simeq 0.8c$  is a good fit. Such motion must be pattern motion because it cannot be explained by physical forces. The pattern speed is compatible with magnetohydrodynamic perturbations, provided that the magnetic field is sufficiently strong. Circular pattern motion of radius  $\sim 20 r_g$  on a plane above the BH is an equally good alternative; in this case, the hotspot may be caused by a precessing outflow interacting with a surrounding disk. As all our fits have relatively large radii, we cannot constrain the BH spin using these observations.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

## Z104a 輻射輸送シミュレーションの新地平～EHT 偏波イメージ予測で探る磁場構造

恒任優、嶺重慎(京都大)、大須賀健(筑波大)、川島朋尚(東京大)、秋山和徳(MIT Haystack)

Event Horizon Telescope(EHT)により超巨大ブラックホールの撮像が実現したことで、ブラックホール研究は直接的な画像観測からその特性を探る新たな時代を迎えた。中でもブラックホール付近の偏波画像は、活動銀河核ジェット生成において鍵を握る磁場構造を反映するという点で大きく注目されている。本研究では、ストークス・パラメータ ( $I, Q, U, V$ ) についての放射・吸収・ファラデー効果を全て考慮した一般相対論的輻射輸送コードを開発し、将来的に EHT 観測で得られると期待される偏波画像を予測した。降着流・ジェットのモデルには中村雅徳氏(八戸高専)による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。

第一に活動銀河核 M87 について、昨年 4 月に発表されたブラックホール・シャドウに整合するパラメータの下で偏波イメージを提示した。そこでは高いブラックホールスピンの支持され、得られる直線偏光成分は強いファラデー回転を受けることが分かった。加えて従来は注目されていなかった円偏光成分についても、放射がジェット優勢の場合には揃った磁場構造により直線偏光成分からのファラデー“変換”が起こり、有意に捕捉されうるといったシナリオを新たに提示した。一方で放射が円盤優勢の場合には効率的な変換が起こらないため、円偏光観測から放射領域や、ブラックホール付近の電子温度分布をも解明できる可能性が現れた。

第二に EHT のもう一つのターゲット Sgr A\* についても、円盤温度を高めたモデルを用いて EHT 観測の画像を予測した。得られるイメージは、降着円盤を真上付近から見るとリング状、真横付近から見ると三叉状となることがわかった。偏波成分についても、ファラデー効果が穏やかなことで放射時点での情報を保持した直線偏光成分と円偏光成分が相補的にブラックホール付近の磁場や電子温度の情報をもたらすというシナリオを提示した。

[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](#)

## Z105a Why the EHTC made an artifact black image and how to obtain real black hole shadow images in future.

Makoto Miyoshi(NAOJ), Yoshiaki Kato(RIKEN), & Junichiro Makino(Kobe Univ.)

春季年会では、the Event Horizon Telescope Collaborators (EHTC) が公開したデモ用データから、銀河 M87 の中心画像の独立解析結果を報告した。EHTC 報告の約  $40 \mu\text{as}$  サイズのリング構造はブラックホール像ではなく、データ較正不足と EHT のデータサンプリングバイアスによる artifact である。較正では空間フーリエ成分の振幅と位相の較正量を、像モデルを仮定、最小自乗法的に求めるので誤りを持ち込む可能性が常にある。EHT が M87 観測において取得できる uv (空間フーリエ成分) を調べると、 $40 - 46 \mu\text{as}$  成分がほぼ完全に欠落している。この欠落は dirty beam (PSF) にそのサイズの構造を作る。つまり、欠落成分はそのサイズの構造が有るかのような像を作る。dirty map (単純に逆フーリエ変換して得た像) にその影響が当然現れ、約  $40 \mu\text{as}$  サイズの鎖状構造になって現れる。データ較正を誤れば、この鎖構造を一つのリングにすることができる。通常、PSF の影響は CLEAN などの deconvolution 法で除去されていくが、完璧な除去は難しい。また、点源構造・ノイズの simulation data から約  $40 \mu\text{as}$  サイズのリング構造を作り出せることがわかった。EHTC の結果は信頼できる撮像ではないといえる。EHT の特性として、 $40 - 46 \mu\text{as}$  サイズの情報が欠落しているため、得られる PSF の構造を天体がリング構造と信じて解析した結果、そのような構造が得られた可能性が高い。

また、将来のブラックホール撮像の見通しについて述べる。銀河系中心、Sgr A\* では構造の時間変動が速すぎ、露出時間のかかる今の VLBI での撮像は不可能である。M87 においてはコアの像はリング構造ではない。我々の結果は複数天体を示すが、これも過分解による像であって、十分正しい像ではない可能性もある。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

## Z106a Event Horizon Telescope によるブレーザー 3C279 の 20 マイクロ秒角スケールイメージング

秦 和弘 (国立天文台), Jae-Young Kim (MPIfR) on behalf of the Event Horizon Telescope Collaboration

3C279 は全天で最も激しい活動が観測されるブレーザー天体の 1 つである。それゆえ活動銀河核 (AGN) ジェットの形成や内部構造、高エネルギーフレアの物理を理解するための最重要ターゲットの 1 つとして、長年に渡り電波からガンマ線において詳細な観測が行われてきた。しかしながら、M87 など近傍の AGN ジェットと比較して遠方に存在するため ( $z = 0.536$ )、巨大ブラックホール近傍  $10^4$  シュバルツシルト半径 ( $R_s$ ) 以内のジェット生成領域を直接空間分解して探査することはこれまで極めて困難であった。

我々は 2017 年 4 月、230GHz 帯グローバル VLBI 観測網 Event Horizon Telescope (EHT) を用いて 4 晩に渡り、3C279 の超高解像度観測を行なった。ALMA を含む計 8 局の望遠鏡による高品質な観測データが得られ、3C279 の中心核を約 20 マイクロ秒角の空間分解能 ( $0.13$  パーセク/ $1700R_s$  に相当) でイメージングすることに成功した。詳しい画像解析の結果、3C279 中心部には、これまで知られていたジェットの方向とは垂直な方向に伸びた構造が存在することが明らかになった。これはジェットの根元が広がった構造をしているか、ジェットの軌道が根元で急激に曲がっていることを示唆している。我々は更に、4 日間の観測の間に、長基線のビジビリティ巡回位相に有意な変動を検出した。これはジェット根元付近に光速の 15 倍程度を超えて超光速運動する成分が存在し、0.1 パーセクスケールで既にジェットが非常に加速されていることを示唆している。本講演では 3C279 の EHT 観測初期成果について報告するとともに、EHT によるブレーザー観測の展望についても紹介する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

## Z107a M87 ジェット速度場データから探るジェット磁気圏の回転角速度と磁場強度

紀基樹 (工学院大/国立天文台), 高橋真聡 (愛教大), 中村雅徳 (八戸高専), 当真賢二 (東北大), 川島朋尚 (東大宇宙線研), Park J. (ASIAA), 秦和弘 (国立天文台), Ro H. (延世大), Cui Y. (国立天文台)

M87 はブラックホール周辺からの相対論的ジェット形成の物理的な仕組みを探る絶好の天体として注目を集めている。われわれは、日韓合同 VLBI 観測網 (KaVA) の 22/43GHz 帯準同時の高頻度モニター観測によって得られた M87 ジェットの速度場と過去の一般相対論的電磁流体力学 (GRMHD) 数値実験が予言する速度場との比較から、GRMHD 数値実験の予言よりも遠方で M87 ジェットの加速が始まることを KaVA の観測データが示していることを 2019 年秋季年会において報告した。

今回われわれは、この KaVA の観測と GRMHD 数値実験との差異の原因を探るため、冨松・高橋 (2003) が提案する準解析的な特殊相対論的磁気遷音速流ジェットモデルの予言する速度場と KaVA 観測でされる速度場を比較した。その結果、ジェット磁気圏の回転角速度が遅くなると光円筒半径はそれに反比例して大きくなってジェット加速の開始位置を外側に押し出すため、観測される速度場を説明できることが分かった。M87 で要求される光円筒半径は、重力半径のおよそ 100–150 倍であることが分かった。さらに、推定されたジェット磁気圏の回転角速度はブラックホール回転角速度より遅いことが予見されるため、M87 でブランドフォード・ナエック機構が働いていると仮定し、M87 イベントホライズン近傍での磁場強度を推定したので報告する。

[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](#)

## Z108a セイファート銀河 NGC 1068 のジェット・メーザーにおけるリング状分布の起源

須藤 広志, 森島 優菜 (岐阜大学), 山内 彩 (国立天文台), 谷口 義明 (放送大学), 中井 直正 (関西学院大学)

系外銀河の中心核から放射される 22 GHz の水メーザー輝線 (メガメーザー) は、巨大ブラックホールの近傍 sub-pc scale におけるガスの運動を調べることができる強力なプローブである。セイファート銀河 NGC 1068 は近傍のメガメーザー銀河であり、中心核にメーザー円盤が存在するとともに、中心核から 20 pc 離れたジェット中にもメーザーが検出されている大変興味深い天体である。我々は、NGC 1068 において、VLBA, VLA, Effelsberg 100-m 鏡による global VLBI ネットワークを用いた水メーザーの高感度イメージング観測のアーカイブデータ解析を行い、中心核 (S1 成分) の巨大ブラックホールの質量の測定を行うとともに、ジェットの knot (C 成分) 中にリング状に分布する水メーザーを検出した (2019 年日本天文学会春季年会)。本講演では、C 成分の水メーザーの分布の起源として、A) ジェットが分子雲に衝突し内部をイオン化し、その外縁に水メーザーシェルが形成、あるいは B) offset した (S1 とは異なる) 中心核における face-on に近いメーザー円盤、という二つの解釈を提案する。Position-Velocity diagram などを用いて C 成分の水メーザー運動の様子 (回転、膨張など) を調べたが、検出された水メーザー数が 20 個程度と少なく、有意に区別することはできなかった。一方、今西らによる ALMA を用いた HCN および HCO<sup>+</sup> の高解像度イメージを解析し、C 成分のメーザーとほぼ同じ位置にこれらの輝線のピークが存在することが分かった。水メーザーの情報に加え、これらの分子ガスの質量や運動を詳細に調べることで、C 成分がジェット衝突起源なのかブラックホール起源なのかについて議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

## Z109a セイファートのミリ波超過成分の起源

井上芳幸 (理研), 土居明広 (宇宙研)

活動銀河核の電波からガンマ線におよぶ多波長スペクトルは種族問わず概ね理解されたと考えられている。しかし、セイファートのミリ波帯域にはダストやジェットだけでは説明ができないスペクトル超過成分が以前より報告されている。これまでの観測ではミリ波観測の空間分解能不足や多周波観測の不足しており、このミリ波超過成分の起源は理論的にも観測的にも長らく謎に包まれていた。近年、我々は ALMA を中心として近傍セイファートの電波・X 線を用いた多波長観測に取り組んでいる。これらの観測から、セイファートのミリ波超過成分はブラックホール降着円盤に付随する降着円盤コロナからのシンクロトロン放射で自然に説明できることがわかってきた。電波・X 線のデータを組み合わせることで、典型的に降着円盤コロナのサイズはおおよそ数十シュバルツシルト半径、磁場強度も数十ガウス程度であることもわかっている。さらに、ALMA Cycle-6 の観測において、このミリ波成分が時間変動していることも判明した。本講演では、これらセイファートのミリ波超過成分の起源に関する一連の研究結果について報告したい。

[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](#)

## Z110a すばる望遠鏡で探る銀河系中心ブラックホール周囲の暗黒質量分布

孝森洋介 (和歌山高専), 西山正吾 (宮城教育大), 斉田浩見 (大同大), 高橋真聡 (愛知教育大), 大神隆幸 (甲南大), 齋藤亮 (大同大)

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、S 星とよばれる恒星たちが周囲を運動している。我々は、可視赤外で高い波長分解能をもつすばる望遠鏡を用いた S 星の近赤外分光観測プロジェクトを進めている。分光観測により S 星の視線速度が分かり、そこから巨大ブラックホールの性質や周囲の環境を探ることができる。本講演では、プロジェクトの概要とそのサイエンスの一つである銀河系中心ブラックホール周囲にある暗くて見えていない質量 (暗黒質量) に関する我々の研究成果を紹介する。S 星の運動は、中心ブラックホールと S 星の二体運動としてよく説明できることから、測定誤差の範囲で、暗黒質量の総量に制限がつけられている。2018 年 5 月に、S0-2 が近点を通過するという大きなイベントがあり、その観測から暗黒質量に対してより強い制限がつけられると期待された。我々は、近点通過前後の S0-2 の分光観測に成功し、その結果から暗黒質量へ制限をつけることを試みた。近点通過時、わずか半年で S0-2 の視線速度は 4000 km/s から -2000 km/s まで変化する。我々は、その急激な変化に注目し、ブラックホールだけのモデルとブラックホール+暗黒質量のモデルで S0-2 の運動を計算し、その視線速度のカイ 2 乗を比較することで暗黒質量に制限をつけるという簡便な手法を提案した。この手法を、すばる望遠鏡で得た分光データに適用した結果、暗黒質量の上限値は 0.01 pc 内に中心ブラックホール質量の 0.5% となった。近点通過前の上限値は 1% であり、近点通過前後の分光データから簡便な手法でより強い制限をつけることができた。我々の手法は、他の S 星でも適用できる。S24 という星が 2024 年に近点を通過すると予測されている。S24 を用いた暗黒質量の制限についても議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

## Z111r ブラックホール時空構造と降着流・噴出流ダイナミクス：次世代 EHT および電波から X 線・ $\gamma$ 線までの多波長研究へ

川島 朋尚 (東大宇宙線研)

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) シャドウが初観測された。この歴史的な観測により、巨大 BH の存在がこれまでで最も明確に示されるとともに、BH 質量は太陽質量の約 65 億倍であることが明らかになった。一方で、BH スピンの大きさや、ジェット形成・加速機構、降着流のダイナミクス、これらに関連した高エネルギー・プラズマ素過程といった多くの謎が残されている。今後、次世代 EHT による超高解像度の電波イメージや X 線・ $\gamma$  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期待される。

そこで、われわれはブラックホール時空構造と降着流・噴出流のダイナミクスに迫るべく、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・イメージ計算と同時に電波から X 線・ $\gamma$  線までの多波長スペクトル計算に取り組んでいる。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計算が可能である。電子分布関数は、相対論的マクスウェル分布および非熱的分布 (single/broken power-law) を用いることが可能であり、電波から高エネルギー  $\gamma$  線までの幅広いエネルギー帯域をカバーする。講演では、主に理論的側面から EHT 研究の現状を概観するとともに、スペース VLBI も見据えた次世代 EHT 観測への理論予言、そして X 線・ $\gamma$  線といった高エネルギー帯域とのシナジー構築に向けた最新の研究成果を紹介する。

[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](#)

## Z112a 電波銀河研究の新展開：強磁場降着流からのガンマ線とニュートリノ

木村成生 (東北大学), 當真賢二 (東北大学)

電波銀河は活動銀河核の一種であり、その中心部からは銀河よりも大きなスケールまで広がった相対論的なジェットが噴出している。いくつかの近傍の電波銀河からは GeV や TeV のエネルギーを持ったガンマ線が観測されているが、その放射機構や放射領域はよくわかっていない。今回、我々は電波銀河中心部の強磁場降着流 (magnetically arrested disks) に着目する。強磁場降着流での高エネルギー現象はジェットの生成過程と密接に関係しており、ブラックホールと母銀河の共進化を理解するためにも重要である。近年のプラズマシミュレーションにより、強磁場降着流では磁気圧がガス圧よりも強い状況が実現すること、また、そのような状況では磁気再結合により非常に効率的に高エネルギー粒子が生成されることが示されている。我々は効率的な粒子加速過程と高エネルギー粒子の冷却・逃走過程を考慮に入れて、強磁場降着流からの高エネルギー粒子放射を数値的に計算した。このモデルでは、磁気再結合により加速された一次電子が MeV ガンマ線、高エネルギー陽子からのシンクロトロン放射が GeV ガンマ線、陽子・光子相互作用により生成された二次電子・陽電子対が TeV ガンマ線を放射する。我々はこのモデルを用いて、近傍の電波銀河、M87 と NGC 315 のガンマ線のデータを再現することに成功した。M87 からの MeV ガンマ線は提案されている MeV ガンマ線衛星で検出可能であり、モデルの検証に使える。また、このモデルに基づいて宇宙背景ガンマ線放射を計算した結果、1GeV から 10GeV の背景ガンマ線放射の 30% から 90% 程度の寄与があることがわかった。この系では陽子・光子相互作用により、高エネルギーニュートリノも生成される。予言される高エネルギーニュートリノ背景放射の典型的なエネルギーは 10PeV 程度であり、計画中のニュートリノ実験、IceCube-Gen2 により検出可能であるため、ニュートリノを用いたモデルの検証も可能である。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

## Z113a 活動銀河核ジェットにおける一般相対論的理想電磁流体近似解の構築

荻原大樹 (東北大学), 小川拓未 (筑波大学), 当真賢二 (東北大学)

Event Horizon Telescope (EHT) は M87 銀河中心の超巨大ブラックホールのホライズンスケールを空間分解し、リング状の放射構造の存在を明らかにした。M87 には相対論的ジェットが付随していて、今後の EHT の観測ではブラックホール近傍にあるジェット駆動領域の空間分解観測が期待されている。しかし、放射を担う非熱電子がジェット駆動領域内部でどのように注入され分布しているかは未だ明らかではない。

我々はジェット内部の粒子密度分布を空間分解されたジェットの放射構造から制限することを目標とした研究を行っている。本研究で我々はブラックホール磁気圏における定常軸対称理想電磁流体方程式の近似解を準解析的に求める新たな方法を構築した。磁力線に沿った方向の運動は従来の方で解析的に解くことができる。磁力線の形状は磁力線に垂直方向の力の釣り合いをとることで決まるが、その計算は一般に数値的にも解析的にも難しい。我々は一般相対論的電磁流体シミュレーションの結果と整合的な磁力線形状を仮定し、力の釣り合いを満たすようなエネルギー流束分布、角運動量流束分布、角速度分布、そして粒子密度分布を求めた。本研究で得られるジェットモデルは輻射輸送計算を取り入れて観測と比較することで、ジェットへの物質注入機構やブラックホールスピンの制限に利用できる。

[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](#)

## Z114a 粒子シミュレーションで探るブラックホール磁気圏での電磁カスケード現象

木坂将大 (東北大学), Amir Levinson (Tel Aviv Univ.), 当真賢二 (東北大学), Benoit Cerutti (Univ. Grenoble Alpes)

相対論的ジェットの根元に当たるブラックホールのホライズン近傍の磁気圏への物質の供給は、ジェットがどう加速してどう放射するかに直接影響するものの、現在未解明である。降着流からの MeV 光子による電子陽電子対生成が一般に考えられているものの、M87 などの降着率が低い場合は、放射効率が悪いためジェット領域での理想 MHD 条件を維持できるほど供給できない。このような低い降着率の場合に対する有力な物質供給機構として、ホライズン近傍での電磁カスケードが挙げられる。この機構では、磁気圏の強い電場で荷電粒子が加速され、高エネルギーのガンマ線を放出し、このガンマ線を起点とした電子陽電子の雪崩的な生成で物質が供給される。このような過程は電磁流体シミュレーションでは一般には扱えない。

ほとんどの先行研究では、定常の仮定のもとで解析が行われてきた。しかし、電場による粒子加速や電場の遮蔽は非定常な現象であり、時間発展を考慮することで結果が大きく異なる可能性がある。そこで本研究では、プラズマ粒子シミュレーションを行うことでブラックホール磁気圏での電磁カスケード現象の理論的な解明を目指す。

我々の初期条件の影響が十分無視できる長時間計算の結果、効率の高い粒子加速と生成がある決まった領域で準周期的に起こることがわかった。また、本研究では現実的な範囲のパラメータを採用した結果、曲率放射が結果に与える影響、具体的には曲率放射のガンマ線起源の粒子生成が電磁場構造に支配的な影響を与える条件、ガンマ線観測で検出される条件を明らかにした。講演では、電波銀河からのガンマ線フレアと電磁カスケードに伴う曲率放射の関係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](#)

## Z115a 磁気流体数値実験による AGN ジェットの電子加熱領域の調査

大村匠(九州大学), 町田真美(国立天文台)

巨大ブラックホールが駆動するジェットは、銀河を超えるスケールに渡り安定的に伝播し、周辺プラズマと相互作用することで母銀河の環境を一変させる。そのため、ジェットは巨大ブラックホールと母銀河の共進化において、重要な役割を担っていることが期待される。一方で、ジェット自身のプラズマ物理量には未だ不明な点が多い。ジェット生成源である降着円盤の物理からジェットは、光学的に薄い相対論的プラズマであるため、電子とイオンは熱緩和していない二温度状態であることが期待される。そのため、大スケールジェットの伝播においても電子とイオンそれぞれ独立した熱進化を追う必要があるが、これまでジェットにおけるプラズマの二温度性については殆ど調べられてこられなかった。

そこで、我々は電子とイオンそれぞれのエネルギー方程式を解く二温度 MHD 方程式を用い、100 kpc に渡り銀河間を伝播するジェットの電子温度進化を調査する 3次元シミュレーションを行った。境界条件として、電子とイオンが等温な  $10^{10}$  K の超音速 (ソニックマッハ数  $M \sim 6$ ) かつトロイダル磁場を持つ低密度ジェットを注入する。また、散逸された熱エネルギーの電子とイオンへの分配率として、ジャイロ運動論的乱流散逸モデル (kawazura et al. 2019) と衝撃波ではイオンが電子よりも加熱を受ける 2つの sub-grid モデルを併用した。その結果、ガス圧優性なジェットにおいては、ジェット大部分はイオンは  $10^{11}$  K、電子は  $3 \times 10^9$  K のプラズマに満たされるが、ジェットと外部ガスとの境界領域では電子加熱が生じることがわかった。本講演では加えて、磁気圧優性ジェットにおけるダイナミクスや電子加熱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](#)

## Z116a Multiphase AGN jet feedback

Wagner Alexander, University of Tsukuba

Recent idealized hydrodynamic simulations of AGN jet feedback give insights into jet propagation and the dispersal of dense gas in the ISM. Blowing out gas mechanically is inefficient if the ISM is clumpy and porous. Instead, we look in the simulations for indications of turbulence-mediated feedback, in view of emerging observational evidence that AGN-jet driven turbulence may be suppressing star-formation in some gas-rich systems. Our findings are mixed: on the one hand, the strong turbulence induced by the jet appears to increase the star-formation rate in the first few Myr, as predicted by the turbulence theory of Federrath et al.. On the other hand, prolonged exposure to the jet may heat and disperse the dense gas in the ISM, effectively suppressing star-formation, although our integration times are insufficient to verify this fully. The results are sensitive to the jet injection angle and ISM parameters.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

## Z117a AGN 輻射圧駆動アウトフローによる電波銀河 3C84 ジェットのコリメーション

川勝望 (呉高専), 紀基樹 (工学院大/国立天文台), 和田桂一 (鹿児島大), 永井洋 (国立天文台)

活動銀河核 (AGN) に付随する相対論的ジェット形成・進化、およびジェットが周辺ガスへ与えるフィードバック過程の理解は、ブラックホールのみならず、母銀河との共進化を明らかにするために重要な問題の一つであるが、未だ解明されていない。最近の VLBI の観測から、近傍の電波銀河の数天体に対して、サブパーセクスケールのジェットの形状 (構造) が空間分解されるようになってきた。M87 のジェット形状は放物線形状でフィットでき、これは電磁流体力学ジェットと整合的であることが報告された (Nakamura et al. 2018)。一方で、ペルセウス銀河団中心 3C84 のジェットは、M87 とは異なり広角度から急激に円筒状に変化する形状であった (Giovannini et al. 2018)。これは M87 とは別の外的な要因でジェットがコリメーションされていることを示唆するが、その物理的な理由については分かっていない。可能性の 1 つとして、AGN 輻射圧駆動の非定常アウトフロー (Wada 2012) が広角度で噴出するジェットに対する壁のような役割を果たすことが考えられる。実際、VLBI 観測によりジェットと高密度ガスとの衝突 (Kino et al. 2018) や、ALMA 観測により分子ガスのアウトフローも観測されている (Nagai et al. 2019)。これらのことは、AGN 輻射圧駆動アウトフローがジェットのコリメーションとのなんらかの関係していることを示唆しているかもしれない。

そこで、本講演では、AGN 輻射圧駆動のアウトフローとジェットとの相互作用により、3C84 に見られるサブジェットコリメーションが実現するか解析的なモデルを用いて調べた。その結果、アウトフローガスの個数密度が  $n_c \sim 10^4 \text{cm}^{-3}$ 、かつエディントン光度比が  $L_{\text{AGN}}/L_{\text{Edd}} \sim 10^{-3}$  の場合には、ジェットの円柱構造を説明できることが分かった。さらに、M87 が同様のコリメーションを受けない理由についても考察する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

## Z118a MHD シミュレーションによる降着円盤の渦状高エントロピー構造の形成

町田真美 (国立天文台), 川島朋尚 (東京大学), 工藤祐樹 (鹿児島大学), 松本洋介, 松元亮治 (千葉大学)

活動銀河中心核の活動性は、中心の超巨大ブラックホールの重力エネルギーを放射や運動エネルギーに転換して賄っている。この時、重力エネルギーを解放する媒介とし重要な役割を果たすものが、ブラックホールの回りを回転しながら落下するガスが作る降着円盤である。差動回転する降着円盤から重力エネルギーを引き抜くためには散逸機構が必要となるが、差動回転円盤中で回転のタイムスケールで成長する磁気回転不安定性 (MRI) が発見されて以降、MRI が作る磁気乱流が角運動量輸送の最有力であると考えられてきた。我々は、磁気回転不安定性による磁場の飽和機構を明らかにする目的で、空間 5 次精度を担保する磁気流体コード CANS+ により、高次精度・高空間分解能の降着円盤シミュレーションを行っている (2019 年秋季年会、町田ら W18a)。ここでは、我々は光学的に薄い移流優勢降着流に着目している。降着円盤内部の構造を精査した所、ガス密度・圧力・エントロピーの全てでシャープな断面を持つ渦状構造を発見した。この断面の特徴として、高エントロピー面の内部と断面の外側とで動径方向速度の逆転、及び方位角方向磁場の反転があげられる。つまり、この渦状構造は衝撃波ではなく、質量降着によって形成されたカレントシートで生じた磁気リコネクションがつくる不連続面である事がわかった。本発表では、渦状腕の時間進化、生成条件などについて報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

## Z119a 一般相対論的輻射磁気流体力学シミュレーションによるカー・ブラックホール周りの超臨界降着流の研究

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

ブラックホール (BH) 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、これまでの超臨界降着円盤の研究はそのほとんどがシュヴァルツシルト BH 周囲のものであり、カー BH の場合についてはまだよく調べられていない。降着円盤における最内縁安定軌道半径 (いわゆる ISCO 半径) や Blandford-Znajek 効果は、BH のスピンパラメータ  $a^*$  に依存するため、超臨界降着円盤の構造や輻射強度、ジェットのパワーはシュヴァルツシルト BH とカー BH の場合では異なる可能性がある。そこで、本研究では  $a^*$  を 0.9 (円盤と BH が順回転) から  $-0.9$  (円盤と BH が逆回転) まで変化させ、超臨界降着円盤の 2.5 次元一般相対論的輻射磁気流体シミュレーションを実施した。

その結果、質量降着率は  $a^* = -0.9$  の場合が最も大きく、 $a^*$  が増加するにつれて減少する傾向が得られた。 $a^*$  が小さいほど ISCO 半径が大きいため、BH 表面に到達したときの落下速度が大きくなるからである。また、 $|a^*|$  が増加するに従ってエネルギー変換効率が増加する傾向も見られた。これは Blandford-Znajek 効果によってジェットのパワーが増大するからである。このため、主たるエネルギー解放機構は  $|a^*|$  が小さいときは輻射で、 $|a^*|$  が大きいときはジェットとなる。

[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](#)

## Z120a Changing Look AGN における軟 X 線放射領域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)

近年セイファート銀河において 1 型と 2 型の間を光度変動を伴い状態遷移をする銀河があることが、多波長による長時間観測やアーカイブデータの解析により明らかになってきており Changing Look AGN (CLAGN) と呼ばれる。このような状態遷移は視線方向にあるダスト雲が変化することでは説明できず、AGN 中心エンジンにおいて恒星質量ブラックホール候補天体で観測されるハード・ソフト/ソフト・ハード遷移のような状態遷移が起こっていることを示唆する。さらに、Noda & Done (2018) は、CLAGN である Mrk 1018 の光度変動に伴い軟 X 線超過成分が劇的に変動することを見出し、AGN 中心エンジンでの主放射成分は軟 X 線放射であることを指摘した。このように、CLAGN は AGN 中心エンジンを理解する鍵となる現象である。

我々は、巨大ブラックホール降着流の 3 次元大局的輻射磁気流体シミュレーションを実施し、低光度降着流 (RIAF) の降着率がエディントン降着率の 10% 程度まで高まったとき、ブラックホール近傍の高温降着流とその外側の電子散乱に対して光学的に厚く、輻射圧優勢で  $10^7$  K 程度の温度の領域が形成されることを示した (Igarashi et al. 2020 投稿中, 2019 年度秋季年会)。この低温領域から軟 X 線が放射されていると考えられる。しかし、上記のシミュレーションでは逆コンプトン散乱による電子冷却の効果が取り入れられていない。 $10^7$  K の領域から放射される軟 X 線により、周囲のより広い領域で降着流が冷える可能性があることがわかった。そこで本講演では、逆コンプトン散乱による軟 X 線放射領域の領域の変化やそれが時間変動に影響を与えるか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](#)

## Z121r 巨大ブラックホール周辺構造とその進化—現状と課題—

和田桂一 (鹿児島大学)

クェーサーに代表される活動銀河核の中心にある巨大ブラックホール (SMBH) はその起源が未だに謎である。広く受け入れられているパラダイムとして、宇宙初期から銀河と SMBH は共に成長してきたという「共進化シナリオ」がある。宇宙がはじまって、数億年ですでに銀河が形成され、その中心には 10 億太陽質量を超える巨大ブラックホールの存在が遠方のクェーサーの観測から確実視されている。しかし、問題は「いかにして SMBH はその質量を獲得したか」である。標準的なシナリオでは銀河が合体成長する際に、銀河中心部に落ちた星間ガスの一部が宇宙初期に形成された「種ブラックホール」に降着する。というものである。その際、重力エネルギーが開放され、AGN として輝く。つまり、「成長途中の AGN はその周囲の物質と必ず相互作用し、構造形成をしているはず」である。しかし、その詳細は近傍銀河ですら解明されているとは言い難かった。AGN は銀河サイズに比べ極端に小さいが、多波長観測の分光学的特徴等から、その内部には広輝線領域 (BLR)、遮蔽トーラス、狭輝線領域 (NLR)、ジェットなど、6 桁 ( $\sim 10^{-4} - 10^2$  pc) 以上ものスケールにわたる多様な構造が存在しているとされる。このような AGN 構造は銀河によらず基本的に同じであり、分光学的特徴 (1 型、2 型セイファートなど) は、観測者がトーラスを見込む角度によって説明できるとする統一モデルが 30 年ほど前に提唱された。しかし、最近の観測からはすべての AGN が同じ構造を持つこと (AGN GUT) は否定されている。むしろ、上に述べた単純な統一モデルの抜本的修正が必要という認識ができつつある。そのためには、AGN の様々な要素の構造やその進化を理論と多波長観測により明らかにしなければならない。本講演では現状の理論的な理解と、今後の課題について概観する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

## Z122a バルジ形成に対する AGN フィードバックの影響

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。

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、 $z=0$  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。2020 年春季年会では、いわゆる quasar-mode の AGN フィードバックが母銀河の成長にはほとんど影響を与えない一方で、SMBH 自体の成長を強く抑制することを報告した。

今回の結果を踏まえ、バルジの質量や速度分散が AGN フィードバックによってどのように変化するかを調べた。その結果、バルジの成長は AGN フィードバックによって抑制されることが分かった。本講演ではバルジの性質を用いて AGN フィードバックの性質や効率にどのような制限をつけることが可能か議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

## Z123a 輻射力によって制御された遮蔽トーラス構造

工藤祐己, 和田桂一 (鹿児島大学)

活動銀河中心核 (AGN) の pc-scale には幾何学的・光学的に厚いトーラス構造の存在が多波長観測から明らかになりつつある。Ricchi et al. (2017) は Eddington 比 ( $\gamma_{\text{Edd}}$ ) によって輻射力が遮蔽トーラスの構造に寄与することを、X 線検出された AGN について系統的な多波長調査から明らかにした。また彼らは、AGN からの立体角の約 22% を Compton-thick な遮蔽体、その周りに  $\gamma_{\text{Edd}} \geq 10^{-1.5}$  では 19%、それより小さいと 85% の Compton-thin なガスを占めるようなトーラスモデルを提案している。

そこで我々は、降着円盤からの非等方輻射によって照らされることによる輻射力と加熱が Compton-thick なガス円盤に及ぼす影響を調べるため軸対称輻射流体シミュレーションを実施した。輻射加熱は Wada et al. (2012) で与えられた関数を用いて、輻射力は電子散乱とダストからの寄与を Ray-tracing によって考慮した。ダストガス比は 0.01 を仮定している。円盤面にある冷たいガス ( $T = 100$  K) を初期条件として、輻射加熱によって暖かいガス ( $T > 10^4$  K) となり膨張して輻射力により吹き飛ばされるため、それを準定常状態になるまで計算する。本公演では中心ブラックホール質量を  $10^7 M_{\odot}$  に固定して全光度をブラックホール質量で割ったエディントン比を  $0.01 < \gamma_{\text{Edd}} < 1$  でパラメータサーベイした結果を報告する。強い輻射は大量のガスを加熱できるが、輻射力も大きいとすぐ吹き飛ばしてしまう。その結果、エディントン比が大きいほど円盤の厚みが小さくなり Compton-thin のガスが占める割合が少なくなる。シミュレーションによって Ricchi (2017) の結果を説明できる。また、Compton-thin のガスアウトフローや Compton-thick の速度場について議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

## Z124a 埋もれた AGN に対する中間赤外線シリケートダストの系統的観測研究

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 (名古屋大学), 山岸光義 (ISAS/JAXA), 鳥羽儀樹 (京都大学)

近年の数多くの観測・研究により、多くの活動銀河核 (AGN) がガス・ダストにより深く埋もれていることがわかってきた。このような中心核を取り巻くダストトーラスの構造理解は、巨大ブラックホール進化の観点で非常に重要であると言える。我々が注目する中間赤外線帯のシリケートダストバンドは組成や結晶度といったダスト性質によって異なることが知られているため、ダストトーラスの密度、温度構造に依存したダスト変性を反映することが期待されるが、これまでに詳細かつ系統的に調べられた例はほとんどない。そこで、本研究ではダスト性質という新たな側面からダストトーラスの構造の理解を試みる。

我々は、Spitzer/IRS で観測された膨大な数の中間赤外線スペクトルの中から深いシリケート吸収  $\tau_{\text{sil}} > 1.5$  を示す AGN116 天体を選択し、それぞれのバンドプロファイルの比較を行った。その結果、AGN 間で有意にその形状が異なることが明らかとなった。そこで、この AGN 間のダストバンドの違いを解明すべく、116 天体の深いシリケート吸収を示す AGN サンプルに対して系統的なスペクトルフィッティング解析を行い、各天体のシリケートダストの鉱物学的組成、結晶度を決定した。

解析の結果、全体の傾向として、一般的な天の川銀河の diffuse ISM ダストと比べると結晶度が高く、鉱物学的な組成として olivine-rich であることがわかった。よって、トーラスダストは普遍的に天の川銀河の diffuse ISM ダストとは異なる変性を受けてきたと言える。本講演では、これらの天体間のダスト性質の違いを AGN の活動性と比較し、ダストトーラスの物理構造と絡めて議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

## Z125a コピュラを用いた AGN の電波-X線 2 変数光度関数推定と輻射過程への示唆

河野海, 竹内努 (名古屋大学)

活動銀河核 (AGN) の電波・X 線光度の間の関係は、AGN の放射過程の物理を理解する上で重要な手がかりの一つである。本研究では、コピュラを用いて COSMOS 領域における電波 (Smolčić et al. 2017) と X 線 (Marchesi et al. 2016) によるサーベイデータから AGN についての二変数光度関数 (BLF) を構築した。コピュラは、変数についての依存関係を柔軟に表す関係であり、これを用いて同時確率分布関数を構築することが出来る。赤池情報量基準を用いた解析から、本サンプルに対して survival Joe コピュラが選択された。Survival Joe コピュラの形状は変数に関して対称である。このことは、二変数間の対数線型関係の勾配が 1 からあまり変わらないことを意味する。しかし、BLF のリッジ (尾根) は非線形な形状をしているという結果が得られた。これは主に周辺分布である一変数光度関数の低光度側の傾きが、波長によって異なることを反映していると考えられる。この非線形性が、従来の研究で見られた線形フィットの大きな不定性の原因である。さらに、我々の BLF から条件付き光度関数を用いて推定された電波光度  $L_R$  の関数としての X 線光度  $L_X$  は、広い光度範囲について線形解析の結果とよく一致した。このことから、理論モデルは直線的なフィットからではなく、BLF から示唆される 1 に近い勾配に基づいて構築すべきであると結論される。古典的な線形回帰分析からは  $\log L_X \propto (0.50 \pm 0.03) \log L_R$  が得られる。これは、効率の良い放射過程から期待される関係と整合的であった。この結果は、空間スケールに隔たりがある放射源に相関があることを示すものであり、SMBH 成長とジェット機構、銀河間空間との物質循環を解明するうえで重要な示唆を与える。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)[スケジュール \(全体\) に戻る](#)[講演者索引 TOP に戻る](#)Z126a *Chandra* と ALMA を用いた NGC 2110 における X 線による分子ガス破壊現象の検証

川室太希 (Universidad Diego Portales/国立天文台), 泉拓磨 (国立天文台), 大西響子 (Chalmers University of Technology), 今西昌俊, Dieu D. Nguyen, 馬場俊介 (国立天文台)

活動銀河核 (AGN) は X 線で明るいため、X 線によってガスの性質が決まる X-ray Dominated Region (XDR) が、その周囲に形成されると考えられる。XDR の理論モデルに則れば、AGN は水素分子ガスを破壊する。これが確かめられれば、水素分子ガス量と星形成率が正の関係を示す観測事実から、AGN の X 線放射は、星形成の抑制に繋がると期待される。まさに、超巨大ブラックホールと銀河の共進化の理解に関わってくる可能性がある。

そこで今回、近傍の AGN 母銀河 NGC 2110 ( $D = 33$  Mpc) を対象に、X 線による水素分子ガス破壊現象について調査した (Kawamuro et al. 2020)。NGC 2110 は、ALMA を用いて北西から南東の 1 kpc スケールにも渡って CO( $J=2-1$ ) 輝線が弱いことが最近報告された銀河である (Rosario et al. 2019)。まず、*Chandra* の高角度分解能 ( $\sim 0''.5$ ) を活かして、6.4 keV の鉄の蛍光 X 線の空間分布を制限したところ、CO( $J=2-1$ ) と空間的に反相関することがわかった。また、その領域での鉄輝線の等価幅は約 1.5 keV で、X 線がガスに入射した場合の予測値と一致した。つまり、AGN からの X 線照射が起こっており、CO( $J=2-1$ ) 輝線を弱めるといった、星間ガスに影響を及ぼしていることを示唆している。更に、水素分子ガスの破壊にまで言及するため、電離パラメータを推定した。入射 X 線の情報は、今回の *Chandra* や過去の研究をもとに、また星間ガスの情報は、ALMA のデータをもとにした。結果、水素分子が破壊されるほど、高い電離パラメータが達成されていることを突き止めた。このような研究は未だ少なく、更なる電波・X 線の比較により AGN 近傍物質の理解がより進むと期待される。

[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](#)

## Z127a X線分光撮像衛星 XRISM による超巨大ブラックホールの研究

野田博文 (阪大理)、上田佳宏 (京大理)、海老沢研 (ISAS/JAXA)、寺島雄一 (愛媛大理工)、萩野浩一 (東理大理工)、林田清 (阪大理)、深沢泰司 (広大理)、XRISM extragalactic compact team

X線分光撮像衛星 X-ray Imaging and Spectroscopy Mission (XRISM) は、2021年度の打ち上げを予定する、「ひとみ」衛星の後継機である。X線望遠鏡とX線カロリメータを組み合わせて極めて高いエネルギー分解能 ( $\Delta E/E \sim 5 \text{ eV}/6 \text{ keV}$ ) を実現する Resolve と、X線望遠鏡とX線 CCD カメラによって  $38' \times 38'$  の広視野で 0.4–13 keV 帯域の撮像分光ができる Xtend を搭載する。「ひとみ」のX線カロリメータで電波銀河 NGC 1275 からの微弱な Fe-K $\alpha$  輝線が有意に検出され、その速度幅から AGN の構造が決まったように (Hitomi collaboration 2018)、XRISM で AGN の X線精密分光を行えば、超巨大ブラックホール (SMBH) の理解を大きく進められる。

本講演では、XRISM による SMBH の研究を紹介したい。一つは、Fe-K $\alpha$  輝線の相対論的広がりを正確に求め、SMBH スピンに迫る研究である。Tanaka et al. (1995) によって MCG-6-30-15 の SMBH がほぼ最大スピンを持つことが報告されて以降、様々な AGN で相対論的になまされた Fe-K $\alpha$  輝線や反射成分を調べる研究が盛んに行われたが、従来の検出器では複雑な部分吸収構造との切り分けが難しいことなどが原因で、相対論的広がりの度合いは未だに論争が続いている。XRISM を用いて Fe-K 帯域の吸収構造を精密に決定できれば、相対論的効果がこれまでにない確度で求められ、SMBH スピンの議論が進展すると期待される。また他にも、SMBH の遠方で生成される Fe-K $\alpha$  輝線のプロファイルを高精度で取得することで、ダストトラスや広輝線領域といった AGN 内部の空間分布や運動に制限がつけられるとともに、電離吸収体や超高速アウトフローによる微細な X線吸収構造を定量化できれば、加速・電離機構や銀河スケールへの AGN フィードバックの理解に繋がると期待される。

[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](#)

## Z128a X線分光撮像衛星 XRISM による天の川銀河中心の観測計画

信川正順 (奈良教育大)、山内茂雄 (奈良女子大)、内山秀樹 (静岡大)、信川久実子 (近畿大)、村上弘志 (東北学院大)、鶴剛 (京都大)、前田良知 (ISAS/JAXA)、野田博文 (大阪大)、他 XRISM 銀河中心チーム

天の川銀河の中心 (銀河中心) は  $\sim 4 \times 10^6 M_{\odot}$  の超巨大ブラックホール Sgr A\* が存在する。X線観測から Sgr A\* は恒常的に  $L_X = 10^{33}\text{--}10^{34} \text{ erg s}^{-1}$  で、1日に1–3回程度  $L_X = 10^{35}\text{--}10^{36} \text{ erg s}^{-1}$  のフレアを起こすことがわかっている (e.g., Baganoff et al. 2003, ApJ, 591, 891; Ponti et al. 2015, MNRAS, 454, 1525)。一方で、X線を放射する分子雲 (X線反射星雲; e.g. Murakami et al. 2000, ApJ, 534, 283) やフェルミバブル (Su et al. 2010, ApJ, 724, 1044) の発見から、Sgr A\* がそれぞれ数百年前、数十万年前に  $10^{39}\text{--}10^{41} \text{ erg s}^{-1}$  ものエネルギー放射をしていたと考えられている。また、Sgr A\* 周辺数百 pc には熱的 X線放射が存在する。その起源は Sgr A\* や周辺領域の活動で生じた高温プラズマの可能性が高い (Nobukawa et al. 2016, ApJ, 833, id.2)。中には、Sgr A\* に関連すると思われるプラズマアウトフロー (ジェット) も報告されている (Heard & Warwick 2013, MNRAS, 434, 1339)。このように、周辺環境の X線観測は Sgr A\* の過去の活動を明らかにするユニークなプローブである。

我々は X線分光撮像衛星 XRISM を開発しており、2022年に打ち上げ予定である。XRISM には軟 X線分光装置 Resolve と軟 X線撮像検出器 Xtend を搭載する。特に Resolve は過去最高の X線エネルギー分解能  $\Delta E/E \sim 0.1\%$  とエネルギー決定精度  $\sim 0.03\%$  を実現する (いずれも  $E = 6 \text{ keV}$  において)。Sgr A\* とその周辺環境を精密分光し、高温プラズマや X線反射星雲の状態の診断およびダイナミクスを初めて測定する。これにより、Sgr A\* のアウトフローやジェットによる活動性や銀河中心領域へのフィードバックの痕跡を探る。本講演では我々が計画している観測対象、およびシミュレーションによる見積もりについて報告し、議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

## Z129a 超巨大ブラックホールの進化を探る広帯域X線高感度撮像分光衛星 FORCE

森浩二, 武田彩希 (宮崎), 村上弘志 (東北学院), 寺田幸功 (埼玉), 久保田あや (芝浦工業), 榎戸輝明 (理研), 馬場彩, 小高裕和 (東京), 谷津陽一 (東京工業), 小林翔悟, 幸村孝由, 萩野浩一 (東京理科), 内山泰伸 (立教), 北山哲 (東邦), 高橋忠幸 (東大/カブリ IPMU), 石田学, 渡辺伸, 飯塚亮, 山口弘悦 (ISAS/JAXA), 大橋隆哉 (都立), 中嶋大 (関東学院), 中澤知洋 (名古屋), 古澤彰浩 (藤田医科), 鶴剛, 上田佳宏, 田中孝明, 内田裕之 (京都), 松本浩典, 野田博文, 常深博 (大阪), 伊藤真之 (神戸), 信川正順 (奈良教育), 信川久実子 (近畿), 太田直美 (奈良女子), 粟木久光, 寺島雄一 (愛媛), 深沢泰司, 水野恒史, 高橋弘充, 大野雅功 (広島), 赤松弘規 (SRON), Hornschemeier, A.E., 岡島崇, Zhang, W.W. (NASA/GSFC), 他 FORCE WG

銀河中心に存在する超巨大ブラックホールの宇宙論的進化の理解は、その母銀河との関わりも含めて、現代天文学に課された最重要課題の一つである。その進化を読み解くための基礎となる観測対象が活動銀河核 (AGN) であり、X線は AGN の直接検出に有効な手段である。近年の観測の進展により、これまでの 10 keV 以下の軟 X線観測では見逃されていた「ガスや塵に深く埋もれた AGN」が宇宙には多数存在しているとの示唆が得られている。銀河の合体がおこると爆発的な星生成とガス降着が誘発され、深く塵に埋もれた状態で銀河中心ブラックホールが急成長するというシナリオが広く提唱されており、この埋もれた AGN は銀河との共進化を理解する上で鍵となる種族である。これらの天体を直接検出するためには、透過力の強い 10 keV 以上の硬 X線観測が必要不可欠である。FORCE 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であり、広い光度範囲の埋もれた AGN をその数密度ピークとなる赤方偏移までカバーして検出するようデザインされている。本講演では、超巨大ブラックホール研究に対する FORCE が果たす役割について紹介する。

[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](#)

## Z130a サブ秒角からマイクロ秒角の角度分解能による活動銀河核の X線撮像: MIXIM を例にした長期的展望

林田清, 朝倉一統, 野田博文, 米山友景, 岡崎貴樹, 佐久間翔太郎, 石倉彩美, 花岡真帆, 服部兼吾, 澤上拳明, 松下友亮, 峯田大靖, 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)

Event Horizon Telescope を筆頭に、ALMA、Gravity といった観測装置によって、電波から近赤外の波長域において、活動銀河核の中心部に迫る直接撮像がすすんでいる。一方、X線バンドで最高の角度分解能は Chandra 衛星の 0.5 秒角で、これら長波長側の装置に 2-5 桁及ばない。透過力が高い X線における観測は、本来、超巨大ブラックホール周辺まで見通せるはずで、そこに存在するであろう超高温ガスの温度、組成、分布、速度を測定できるポテンシャルをもっている。また、連続 X線を光源とした蛍光 X線の撮像は、定量的な物質分布の探索に最適手段である。本講演では、まず、長期的視点にたつて、活動銀河核の超高解像度 X線撮像の必要性を述べる。それを実現する具体例として、我々が発案し (Hayashida et al. 2016, 2018)、開発している、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) を紹介する。MIXIM はタルボ干渉効果を利用してシャープな像を得るスリットカメラで、格子とピクセル検出器の単純な構成をとる。現時点までの地上実験で、天文用 X線撮像系としては最高の 0.1 秒角をきる角度分解能の二次元撮像に成功している (朝倉他、2020 年春学会)。MIXIM の特徴は、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可能なスケールビリティにある。これは、最近傍の活動銀河核にとって、トラス、降着円盤、コロナがターゲットとなることを意味している。特に、サブ秒角から 0.01 秒角の角度分解能でトラスの空間分解を目指す計画に関して、具体的な観測条件と必要な装置の規模とともに紹介する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

## Z131r 広域観測によるクエーサー探査：現状と展望

松岡 良樹 (愛媛大学 宇宙進化研究センター)

巨大ブラックホールは多くの銀河の中心部に普遍的に宿り、活動銀河核・クエーサー期に放出する莫大なエネルギーによって、母銀河の進化にも重大な影響を与えたとされている。現在の宇宙の成り立ちを理解するためには、宇宙史を通じて、どこに、どれだけ数の (活動銀河核を含む) クエーサーが存在するのかを明らかにすることが不可欠である。1960 年代に広域電波探査に基づいて初めてクエーサーが認識されて以降、クエーサー発見の歴史の一部は、広域探査の歴史でもあった。中でも大きな成功を取めたのが Sloan Digital Sky Survey (SDSS) であり、2000 年以降の継続的な探査によって、70 万天体以上のクエーサーが知られるようになった。現在のフロンティアである赤方偏移  $z > 6$  の宇宙に、初めてクエーサーを発見したのも SDSS であった。一方で未開拓のままに残るパラメータ領域も存在し、例えばわが国が主導するすばる望遠鏡 Hyper Suprime-Cam (HSC) SSP による探査では、SDSS の感度では到達できないような低光度クエーサーの分野において、大きな成果が挙げられつつある。数年以内に運用が開始される Prime Focus Spectrograph により、HSC が産み出す多くの候補天体に対して一挙に分光同定を行うことが可能になれば、この探査は加速的に進むと期待される。

このような背景の中、本講演では広域観測によるクエーサー探査の現状と展望 (特に 2020 年代半ばまで、可視光・近赤外線波長を中心として) を議論したい。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

## Z132a ALMA 観測に基づく高赤方偏移低光度クエーサーの母銀河の多様性

泉拓磨 (国立天文台), 尾上匡房 (MPIA), 松岡良樹 (愛媛大), 他 SHELLQs チーム

赤方偏移  $z > 6$  の低光度クエーサー ( $M_{1450} > -25$  mag) に対する ALMA 観測の成果を報告する。これらのクエーサーはすばる望遠鏡 Hyper Suprime-Cam (HSC) サーベイで発見された天体である (以降 HSC クエーサーと表記)。これらは SDSS 等で発見された高光度クエーサーに比べて 1 桁程度中心核が暗く、当時の宇宙のクエーサー種族の平均的描像を与えてくれる。ALMA による [CII] 輝線や静止系遠赤外連続波観測から、これら HSC クエーサーは LIRG クラスの星形成活動 (星形成率  $SFR \sim$  数十  $M_{\odot} \text{ yr}^{-1}$ ) を示すことが分かった。この値は SDSS 級クエーサーに比べて 1 桁程度低い。つまり、我々は先行研究とは全く異なるパラメータスペースを探索し始めたのである。また、これら HSC クエーサーの [CII] 輝線幅と放射の空間分布から推定した力学質量と、近赤外線観測に基づくブラックホール質量は、近傍宇宙のブラックホール-銀河の共進化関係に整合することが分かった。これは、共進化関係が宇宙年齢  $< 10$  億歳時点で早くも成立したことを意味し、しかるに極めて効率良く (素早く) 作用する物理機構を天体進化に要求する。さらに、HSC クエーサーの多くが  $z \sim 6$  の星形成 main sequence 上に位置するか、もしくはさらに低い SFR を示すことも分かった。これは爆発的星形成を伴っている高光度クエーサーと対照的な結果であり、 $z \sim 6$  時点でクエーサーから銀河の quiescent 種族への転換が進みつつあることを示唆する。一方で合体銀河中に存在する HSC クエーサーも  $z > 6$  で発見されており、SDSS 級天体への進化途上にある成長初期段階を捉えた可能性がある。このように、一口に「低光度クエーサー」といってもその母銀河の性質は多様である。本講演では、明らかとなりつつあるクエーサー母銀河の多様性を示し、今後の大規模 ALMA 観測や James Webb Space Telescope (JWST) 観測への展望を議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

## Z133a Deep Near-Infrared Spectroscopy of a $z = 7.54$ Quasar, ULAS J1342+0928

Masafusa Onoue (MPIA), and Team High- $z$  Quasar members (MPIA)

Previous studies of high-redshift quasars showed that the mass assembly and the chemical enrichment of the broad line region (BLR) gas are rapid processes, as there exist  $M_{\text{BH}} > 10^9 M_{\odot}$  super massive black holes (SMBHs) and there is no redshift evolution in the BLR metallicity down to  $z \sim 7$  (e.g., De Rosa et al. 2014, ApJ, 790, 145; Wu et al. 2015, Nature, 518, 512). We present our recent near-infrared spectroscopic observations of ULAS J1342+0928 at  $z = 7.54$  (Bañados et al. 2018, Nature, 553, 473). From a 9-hour Gemini/GNIRS spectrum covering  $\lambda_{\text{rest}} = 970\text{--}2930\text{\AA}$ , various broad emission lines were detected such as C IV  $\lambda 1549$ , Mg II  $\lambda 2798$ , and iron pseudo continuum. Our Mg II-based mass measurement confirmed that this quasar is powered by a  $9 \times 10^8 M_{\odot}$  SMBH accreting at the Eddington limit. We also found that the BLR lines of ULAS J1342+0928 are characterized by extreme blueshifts up to  $6000 \text{ km s}^{-1}$  with respect to [C II]  $158\mu\text{m}$  redshift, indicating exotic nuclear-scale outflows. There is no significant difference in the line flux ratios such as Si IV/C IV and C III]/C IV when compared to lower-redshift quasars. This is also the case for Fe II/Mg II, albeit systematic uncertainties are large, while supernovae nucleosynthesis models predict delayed iron enrichment in the early universe. We also took a deep VLT/XSHOOTER spectrum of ULAS J1342+0928, from which seven Mg II and one C IV metal absorption systems were identified down to  $z = 6.84$  in the line of sight. The  $z \gtrsim 6$  systems significantly lack high ionization ions based on their column densities of C II and C IV. Therefore, our result suggests a clear redshift evolution of the metallicity and ionization hardness of the absorption systems.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

## Z134a IGM–galaxy connections around AGNs

Rieko Momose, Kazuhiro Shimasaku, Nobunari Kashikawa (University of Tokyo), Kentaro Nagamine (Osaka University), Ikkoh Shimizu (Shikoku Gakuin University), Kimihiko Nakajima (NAOJ), Haruka Kusakabe (University of Geneva), Yasunori Terao, Makoto Ando, Kentaro Motohara (University of Tokyo), Lee Spitler (Macquarie University)

The link between the intergalactic medium (IGM) and galaxies is key to understanding the evolution of baryonic matter and galaxies. Motivated by our lack of understanding of the IGM–galaxy connection depending on galaxy properties, we conduct an IGM neutral hydrogen (H I)–galaxy cross-correlation analysis to various properties of galaxies in the CLAMATO field (Lee et al. 2016, 2018) as well as cosmological hydrodynamical simulations (Momose et al. 2020a, b). In this talk, we present results for active galactic nuclei (AGNs) and star-forming galaxies (SFGs). We measure the cross-correlation function (CCF) for about 600 SFGs and 20 AGNs at  $z = 2$ , and found clear differences in their CCFs. The CCF of SFGs monotonically approaches toward the cosmic mean with the strongest (i.e., highest-amplitude) signal at  $r = 0$ , indicating that the IGM H I density around SFGs is on average a decreasing function of  $r$  as expected from the  $\Lambda$ CDM paradigm. On the other hand, the CCF of AGNs has a negative peak at  $r = 5 - 6$  comoving Mpc implying that they tend to be in locally low H I density regions. We suspect that it is due to the photoionization of IGM H I by AGN, i.e., the proximity effect. We also find a possible difference in the CCF as well as the IGM environment depending on AGN type. We discuss how those CCF differences can be explained in terms of galaxy evolution.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

## Z135a AGN クラスタリングで探る超巨大ブラックホール成長史

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

活動銀河核 (AGN) のクラスタリングは、AGN の光度関数と相補的な観測量であり、超巨大ブラックホール (SMBH) の成長過程や AGN の放射過程への重要な制限となる。我々は、ダークハローの形成史に超大規模宇宙論的  $N$  体シミュレーションを用いた最新の準解析的銀河・AGN 形成モデルを用いて、AGN のクラスタリングを調べた。特に、SMBH へのガス降着モデルがクラスタリングに与える影響について検証した。

我々は、銀河同士の合体時及び、銀河円盤が力学的に不安定である時に、スターバースト・銀河中心へのガス供給が起きると仮定した。また、SMBH へのガス降着タイムスケールは、母銀河の力学的タイムスケールに加えて、ガスの角運動量損失のタイムスケールで制御されると考えた。このモデルは、観測される X-ray AGN の光度関数を幅広い光度・赤方偏移範囲でよく再現する。このモデルを用いて X-ray AGN のクラスタリング解析を行った。

その結果、ガス降着タイムスケールは低光度 AGN のクラスタリングに影響を与えることが分かった。ガスの角運動量損失のタイムスケールを考慮したモデルでは、X 線光度  $L_X < 10^{43} \text{ erg s}^{-1}$  の AGN のクラスタリングはより大きくなる。この結果は、AGN クラスタリングが AGN 光度関数とともに SMBH へのガス降着タイムスケールの制限となることを示している。予言される AGN バイアスに対応する有効ハロー質量は、赤方偏移  $z \lesssim 1$  で  $10^{12.5-13.5} h^{-1} M_\odot$  となる。これは観測から推定されているホストハロー質量とよく一致する。将来のサーベイ観測により詳細なクラスタリング解析がなされると、モデルへのより良い強い制限が得られ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](#)

## Z136a 高赤方偏移銀河の Ly $\alpha$ 表面輝度に対する多重 AGN の影響

曾我健太 (筑波大学 数理物質科学研究群), 梅村雅之 (筑波大学 計算科学研究センター)

銀河とブラックホールの共進化の解明には、銀河形成初期の時代から銀河がどのようにブラックホールを獲得し、そして、ブラックホールの質量増大に関わる物理現象が共進化にどのような影響を与えるかを調べる必要がある。ブラックホールは、その成長過程の一つである質量降着の際に輻射を放出し、活動銀河核 (AGN) として観測される。しかし、AGN が高赤方偏移銀河に普遍的に存在するかは明らかでない。一方で、AGN が観測されていないにも関わらず、星では説明が難しい窒素の高階電離輝線を生じる高赤方偏移銀河が観測されており (Mainali R et al. 2018)、これはブラックホール質量が小さいがゆえに光度が低い、暗い AGN が存在する可能性を示唆する。また、階層的構造形成に基づけば、銀河はその内部に複数のブラックホールを含む可能性があるため、複数の AGN が共進化してきた可能性も合わせて検討する必要がある。

以上のような背景から、本研究では高赤方偏移銀河に観測では見つからないような暗い AGN や多重 AGN が存在した場合に、母銀河の物理状態に与える影響を、輻射流体力学を用いた銀河形成シミュレーションと Ly $\alpha$  輻射輸送計算によって調べた。銀河内のガスは星と AGN の両方から電離されるが、AGN と星のスペクトルの違いが電離構造を変えるため、結果として Ly $\alpha$  輝線の表面輝度分布に違いを生じることがわかった。本講演では、AGN の光度や個数の違いが、高赤方偏移銀河の Ly $\alpha$  表面輝度分布に与えた影響を紹介する。さらに、種ブラックホール形成シナリオと合わせて、得られた結果を詳細に議論する。

[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](#)

## Z137a Hunting of the hidden wandering massive black hole population

Kohei Inayoshi, Guo Minghao, Tomonari Michiyama, Luis Ho (KIAA/Peking University), Kohei Ichikawa (Tohoku University), Zoltán Haiman, Jeremiah Ostriker (Columbia University)

Galaxy mergers play an important role in the assembly of massive galaxies, in fueling gas to nuclear SMBHs, and in the formation of binary SMBHs that would merge within a Hubble time due to GW emission. A natural outcome of these processes, a larger number of intermediate-massive BHs (IMBHs) and SMBHs are kicked through binary interaction from the galactic centers, and some of them are orbiting at the outskirts of massive galaxies in the local universe. The existence of the wandering BH population is a missing piece of the standard hierarchical structure formation. Here, we study the gas accretion dynamics of orbiting BHs in low-density plasma at kiloparsec scales from the centers of massive ellipticals, performing 3D hydrodynamical simulations with radiative cooling/heating processes. Combined with a semi-analytical model of radiation spectra from a radiatively inefficient accretion disk, we find that the wandering BH population, supposed to be 1% of the nuclear SMBHs in mass, is bright in the radio band at  $\sim 100$ GHz. Assuming their existence in nearby massive ellipticals within a distance of  $\sim 20$  Mpc from us, they could be detectable with ALMA for M87 galaxy and NGC4472 and with the future facility such as ngVLA for several more nearby massive ellipticals. This will be an important proof of the cosmological coevolution of SMBHs with 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](#)

## Z138a Structure and Instability of the Ionization Fronts around Moving Black Holes

杉村和幸, Massimo Ricotti (メリーランド大学)

星質量ブラックホールと超巨大ブラックホールという2つのよく知られた種族の中間に位置する中間質量ブラックホールは、初期成長段階の超巨大ブラックホールに対応する可能性があり、超巨大ブラックホールの起源解明の鍵を握る天体と言える。特に、中間質量ブラックホールは、周囲の星やガスとの相互作用によって銀河中心に沈み込む前に、銀河内を浮遊しながら、通過した星間ガス中のガスを降着して成長することが予想されるため、星間ガス中を運動するブラックホールのガス降着過程を明らかにすることが重要である。

この過程に関して、先行研究の輻射流体シミュレーションで見つかった、降着円盤からの輻射が作るブラックホールを取り囲む電離面の不安定性は、その結果生じるガス塊がブラックホールに落下してバースト的な降着や輻射を引き起こし、ブラックホールの成長効率や観測可能性を大きく左右する可能性がある。しかし、これまで、ブラックホール速度に依存した降着流の構造の理解が不十分であり、不安定性の発生条件も不明であった。

本研究では、これらの点を明らかにするため、星間ガス中を運動する中間質量ブラックホールへのガス降着の三次元輻射流体シミュレーションをおこなった。その結果、ブラックホール速度が小さい場合に形成する電離面前方のシェルは速度増加と共に薄くなってある速度を超えると完全に消失し、また、電離面の不安定性はブラックホール速度と降着円盤光度がそれぞれの臨界値を超えた場合に発生することが明らかになった。本講演では、シミュレーション結果を紹介した後、銀河内を浮遊する中間質量ブラックホールの観測可能性についても簡単に議論する。

[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](#)

## Z139a 低金属量環境下における超大質量ブラックホールの種形成

鄭昇明(東北大学)、大向一行(東北大学)

ほぼ全ての銀河の中心には超大質量ブラックホール(SMBH)が存在すると考えられているが、その形成過程は未だ解明されていない。一方で $z > 6$ という遠方の宇宙で多くのSMBHが観測されていることを手がかりに、それらの起源を理解しようとする試みが盛んに行われている。近年ではDirect Collapseモデルと呼ばれる、初期宇宙における始原的環境下で超大質量星を形成するモデルが提唱されている。この星は死後、 $10^5 M_{\odot}$ のBHへと崩壊し、SMBHの種となることが期待される。このモデルは始原的環境という強い仮定を必要とするため、数として宇宙初期の極く限られた種族のSMBHの起源を説明することは可能であるが、宇宙に数多く存在するSMBHの起源を説明することは困難である。さらなる種BHの形成過程を探るべく、我々はより低赤方偏移における金属汚染の進んだ領域での重たい種BHの形成可能性を探った。

重力崩壊する大質量ガス雲を初期条件としてGadget-3を用いた流体計算を行い、低金属量環境下での超大質量星形成の可能性を検証した。低金属量環境下ではダストや金属輝線による冷却により、ガス雲が激しく分裂することが予想されている。本講演では非平衡化学反応を考慮した上で輻射冷却過程を取り扱った計算を行い、最終的に形成する星の質量を調べることで、低金属量環境下での重たい種BHの形成可能性を議論する。

[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](#)

## Z140a 超巨大ブラックホールの暗黒物質ハローからの分離—形成時間と質量分布

森川雅博

各銀河中心に普遍的に存在している活動核が、実際にブラックホール(BH)であり超巨大ブラックホール(SMBH)が普遍的な銀河の構成要素として確立した。しかし、星やガス球などバリオンからSMBHを作る過程は困難に満ちていて、様々な工夫を必要とする。我々はSMBHが普遍的であることを保証する形成モデルを考察する。困難の元凶は速度分散 $\sigma$ と角運動量 $J$ である。◆ 速度分散 $\sigma$ に関して、通常バリオンはガスの形態でも恒星より重い塊でも温度・分散が大きすぎ、なかなかBHを作らない。非バリオンで大量に存在するのは暗黒物質(DM)である。特に熱的ドブレイ波長が大きなDMは必然的に量子凝縮している。従って我々は、SMBHは量子凝縮するDMからできるという普遍的なモデルをたてた。アクシオンやその他軽いボゾンが候補になる。◆ しかしそれでも、角運動量 $J$ の壁はBH形成までに4桁大きすぎる。従ってBHが普遍的に作られるためには、その角運動量が潮汐トルク機構が働いて獲得される前の宇宙早期に戻る必要がある。従って我々は、密度揺らぎの成長と $J$ 成長を同時に考えて形成されるSMBHの時間尺度と質量分布を求めた。特に重要なのは、DMが潰れたSMBHと潰れずに残ったDHハローの質量比が4桁ほどになることである。◆ 結果として、星や銀河ができる前にSMBHが形成され、そのジェットやアウトフローが作る衝撃波が爆発的星生成や多様な銀河形成を促すことになる。これから星・銀河形成の物理はパーコレーション相転移であること、従って早期程大きな構造を作ることがわかる。このように自然にダウンサイズが導かれる。◆ 講演では上記のシナリオをできるだけ自然に普遍的に実現するモデルを説明し、特に、原初BH理論との違いや、BH質量分布関数の観測的な検証、塊状銀河やシェル銀河との関連、そして上記ダウンサイズが階層的構造形成とどのように競合するのかなどを議論する。

[スケジュール\(セッション毎\)に戻る](#)

[スケジュール\(全体\)に戻る](#)

[講演者索引 TOPに戻る](#)

## M01a 高感度 EUV/UV 分光望遠鏡衛星 (Solar-C EUVST) の現状

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), 末松芳法, 原弘久, 渡邊鉄哉, 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 (NSO), 横山央明 (東京大), 草野完也 (名古屋大), David Long (MSSL UCL), Harry P. Warren (NRL), 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 年代に最優先で実現を目指した国内ミッションである。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、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を掲げている。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でつながり、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。その理解に必要なとされる物理量は、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。

2020 年 5 月に宇宙科学研究所により小型 4 号機として選定され、準備は順調に進んでいる。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。さらに現在進んでいる他ミッションとの連携した観測についても議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

## M02a Solar-C 計画における運用体制構築と成果創出へ向けた最近の取り組み

鳥海 森, 清水敏文, 川手朋子, 松崎恵一, 鄭 祥子 (宇宙航空研究開発機構), 今田晋亮 (名古屋大学), 一本 潔, 永田伸一, 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), 渡邊恭子 (防衛大学校), 横山央明 (東京大学), ほか Solar-C ワーキンググループ

次期太陽観測衛星 Solar-C (EUVST) は、2020 年 4 月、JAXA 宇宙科学研究所により公募型小型 4 号機として選定され、現在ミッション定義審査へ向けて検討が加速されている。本講演ではデータ利用・運用コンセプトを示すとともに、科学成果創出へ向けた最近の取り組みを紹介する。Solar-C 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実施する。一部の「コア観測」で必須となる地上大型望遠鏡との協調観測を実現するため、NSO/DKIST の研究者と枠組み策定へ向けた協議を開始した。衛星によって取得された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 (原則として公開)。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、解析環境の提供とともに、観測データのキャリブレーション・地上観測データとのアラインメント・数値シミュレーションデータの提供などを予定している。EUVST 科学タスクチームは、このうち数値シミュレーションを含む理論と観測との連携を主眼に、2020 年 6 月から週 1 回セミナー形式で検討を開始した。以上に述べた進捗状況の紹介や各学会での報告など、最新情報の告知は、国立天文台 Solar-C ウェブページにおいて、科学目標や観測装置の解説とともに随時行われている。

[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](#)

### M03a 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 (NOAA NCEI), Takenori J. Okamoto, Masaki Yoshida, Hirohisa Hara, Kazuya Shinoda (NAOJ), Ken Kobayashi (NASA/MSFC), and CLASP2 team

Chromospheric LAYer Spectro-Polarimeter (CLASP2) is a sounding rocket experiment that on 2019 April 11 successfully measured the four Stokes profiles across the Mg II h & k lines in an active region plage and in a quiet region near the solar limb. For facilitating the inference of the magnetic field in the upper chromosphere, we required an accuracy of 0.1 % in the polarization measurements. To this end, we accurately determined the polarization response matrix of the CLASP2 instrument, finding that for the relevant matrix elements were within 1 % for the levels of scale factor and crosstalk and within 0.017 % for the spurious polarization levels. These response matrix elements were determined by combining the results of the calibration measurements obtained in the laboratory and during the flight. First, we determined the matrix elements of the scale factor and crosstalk, assuming that the spurious polarization levels are zero. Second, we derived the spurious polarization levels accurately using the in-flight data of the solar disk center observations. In this contribution, we give the response matrix of CLASP2 and discuss how accurately the polarization of the Mg II lines can in principle be determined. In addition, we discuss the achieved polarization accuracy of 0.1 % based on the results obtained by correcting the demodulated polarization signals using the CLASP2 response matrix.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

### M04a 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 年秋)

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), 川手朋子 (核融合科学研究所), 下条圭美 (国立天文台), 高棹真介 (大阪大学), 田辺博士 (東京大学), 上野宗孝 (宇宙航空研究開発機構), 高橋忠幸 (東京大学 カブリ IPMU), 高島健, 太田方之 (宇宙航空研究開発機構), 他 PhoENiX ワーキンググループ

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 (Science Objectives) の達成を目指す。2020 年 2 月には、ISAS/JAXA から発出された「2019 (令和元) 年度公募型小型計画・宇宙科学ミッションコンセプトの提案募集」に対し、PhoENiX 計画を提案した。現在、PhoENiX 計画をより堅いミッションとすべく、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。本講演では、PhoENiX 計画の紹介とともに、2020 年度前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](#)

## M05a SUNRISE-3 気球実験と偏光分光装置 SCIP の開発状況

勝川行雄, 久保雅仁, 原弘久 (国立天文台), 清水敏文, 大場崇義 (ISAS/JAXA), 川畑佑典, 都築俊宏, 浦口史寛, 納富良文, 篠田一也, 田村友範, 末松芳法, 松本琢磨, 石川遼子, 鹿野良平 (国立天文台), 永田伸一, 一本潔 (京大), C. Quintero Noda(IAC), J. C. del Toro Iniesta(IAA), S. Solanki(MPS)

光球・彩層においてダイナミックな現象が担う磁気エネルギーの輸送・散逸過程を調べるため、光球と彩層をつなぐ磁場構造とその時間発展を3次元的に観測することが必要である。そこで、国際大気球太陽観測実験SUNRISE-3に搭載する偏光分光装置 SCIP (スキップ、Sunrise Chromospheric Infrared spectroPolarimeter) をスペイン・ドイツと共同で開発している。SCIPは波長850 nmと770 nmの近赤外線域にある多数のスペクトル線を同時に偏光分光観測する。SUNRISEの口径1 m光学望遠鏡にSCIPを搭載することで、シーイングと大気吸収の影響を受けない高高度気球観測を活かし、0.2秒角の解像度(波長850 nmの回折限界)・高分散( $2 \times 10^5$ )・高偏光精度0.03% ( $1\sigma$ )を実現する。SCIPの実現に向けて、高解像度を達成できる光学素子、気球飛翔環境で性能を維持する光学構造、高精度偏光観測のための回転波長板駆動機構、高速に観測視野を移動できるスキャンミラー機構、など他の高精度偏光観測や飛翔体装置に応用できる要素技術を開発した。2020年6月現在、光学構造ユニットの組み立てとともに、スペインIAAが開発した専用カメラと制御エレキを日本側の駆動機構と結合させる同期性能試験を実施している。並行して、SUNRISE-3国際科学ワーキンググループを組織し、搭載機器の性能と開発状況を参加機関で共有するとともに、SUNRISE-3フライト時の観測計画を策定する取り組みを行っている。国際的な状況のためフライトを2022年6月にシフトすることになったが、ゴンドラとの結合試験や観測機器の協調動作試験に十分な時間を割くことで、確実に良質なデータを取得できるようにする。

[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](#)

## M06a 惑星間空間シンチレーション観測データを取り込んだMHDシミュレーションによる太陽嵐到来予報の精度評価

岩井一正 (名古屋大学), 塩田大幸, 久保勇樹, 田光江 (NICT), 徳丸宗利, 藤木謙一 (名古屋大学)

太陽から放出されるコロナ質量放出(CME)現象は地球に到来すると地球周辺環境に擾乱をもたらすため、到来前に予報することが重要である。しかし、惑星間空間を伝搬中のCMEの観測データは少なく、太陽近傍の観測から予報する従来の手法では、到来予報時刻に10時間以上の誤差が存在していた。惑星間空間シンチレーション(IPS)観測は、遠方天体の地上電波観測から太陽風やCMEの通過に伴う電波の散乱現象を捉えることで地球方向に飛来するCMEを検出できる。本研究では、CMEを含む太陽圏のグローバルMHDシミュレーションにIPSデータを取り込んだCME到来予報システムの開発を行っている。本システムでは、多数の異なる初期値を持つCMEに対して伝搬のシミュレーションを行い、その結果得られる太陽圏の密度分布から擬似的なIPSデータを計算する。各シミュレーション結果を名古屋大学のIPS観測データと比較し、IPS観測を最もよく再現するシミュレーションを自動的に選択する。本システムを用いて実際に地球に到来した12例のHalo CMEに対して、擬似的に到来時刻の予報を行った。その結果、従来のシステムを使ったりリアルタイム予報では平均して12時間の到来誤差があったのに対して、本システムを使った予報では約5時間と大幅な精度向上に成功した。これはIPS観測によって惑星間空間を伝搬中のCMEの位置が精度良く求まったためと考えられ、本システムを用いることで、今後のCME予報精度が大きく向上する可能性を示唆する画期的結果と言える。一方で、全体的に予報の方が実際の到来よりも早い傾向があった。原因としては、CMEモデルに用いたSpheromakに与える磁場を過大評価していることや、背景太陽風がCMEを減速させる効果を過小評価していることが考えられる。

[スケジュール\(セッション毎\)に戻る](#)

[スケジュール\(全体\)に戻る](#)

[講演者索引 TOPに戻る](#)

## M07a 太陽高エネルギー粒子 (SEP) とコロナ質量放出 (CME) の関係性に対する統計的研究

木原孝輔, 黄于蔚, 一本潔, 浅井歩 (京都大学), 西村信彦 (名古屋大学), 八代誠司 (カトリック大学), 新田就亮 (ロッキード・マーティン太陽天体物理学研究所)

太陽高エネルギー粒子 (Solar Energetic Particle; SEP) は、太陽フレアやコロナ質量放出 (Coronal Mass Ejection; CME) といった太陽の突発現象に伴い発生する。SEP は、高緯度を航行する航空機における被曝や人工衛星の障害など、社会基盤に与える影響が大きく、宇宙天気分野における重要な研究対象である。

我々は、SEP がどのように加速され、どのように地球へと到達するかを理解するため、CME と SEP の関係についての統計解析を行なった。SEP の発生有無に関わらず、高速で放出幅の広い CME を 257 例抽出し、太陽面上での詳細な発生位置を調査したのち、太陽から 1AU 離れた 3 方向の観測機器 (GOES、STEREO-A、STEREO-B) のデータを用いて  $>10$  MeV プロトンの発生の有無を調べた。その結果、観測機器から見て、太陽面上の東経 20 度から西経 100 度で発生した CME は高い確率で SEP を伴っており、この経度帯が、観測機器と太陽面との磁力線の接続が良く、粒子が到達しやすい “well-connected” と呼ばれる領域であることが分かった。さらに、SEP の到達時間 (TO)、ピークの立ち上がり要する時間 (TR)、継続時間 (TD) の 3 つのタイムスケールを測定し、観測機器に接続する磁力線 (パーカースパイラル) の太陽面での足元から見た相対経度 ( $\Delta\Phi$ ) 及び CME 速度との相関を調べた。磁力線の足元付近 ( $|\Delta\Phi| < 60^\circ$ ) では TO が短くなる傾向が見られたが、TR や TD ではこの傾向は小さかった。また、タイムスケールと CME 速度との間には、 $|\Delta\Phi|$  が大きいイベントでは CME が速いほど TR と TD が長くなり、 $|\Delta\Phi|$  が小さいイベントでは CME が速いほど TO が短くなる傾向が見られた。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

## M08a 太陽メートル波帯 II 型電波バーストのスペクトル微細構造と高エネルギー粒子現象との関係

三澤浩昭, 土屋史紀, 小原隆博, 藤本達也, 関 佑一朗 (東北大)

多様な太陽電波バーストのうち “II 型” は、CME 発生時に出現する、緩やかな負の周波数ドリフトを伴う電波現象として知られる。その発生過程として、CME 内で発生したラングミュア波が電磁波に変換され II 型バーストとなること、電波の周波数は電磁波への変換域のプラズマ周波数を反映すると想定されている。また、その周波数ドリフトは、太陽から遠離る CME の伝搬速度を反映すると考えられている。ところで、II 型バーストはしばしば、MeV クラスの太陽高エネルギー粒子 (SEP) と同時に出現することも知られている。両者の同時性は、II 型バーストの励起源と SEP との間には密接な関係があることを示唆している。本研究は、東北大学のメートル波帯太陽電波観測装置 (AMATERAS) の観測から得られた II 型バーストの高精細スペクトルと SEP の出現エネルギー特性との対比に基づき、両者の具体的な関係性を明らかにすることを目的に行われた。今まで、それぞれ多年の研究がなされてきたが、両者の特徴を対比させ、互いの関係性を探ろうとする研究は少なかった。

これまで東北大学では、多くの II 型バーストは、継続時間 100msec スケールで、周波数ドリフトを伴う微細なスペクトル構造を内包することを示してきた。本研究では、この微細構造の周波数ドリフト特性と SEP 特性との関係を精査した。現在まで、顕著な SEP 出現時の II 型バースト現象複数例の解析を行い、初期結果として、微細構造の周波数ドリフトと SEP のエネルギー特性の間には直接的な関連性は低いこと、即ち、微細構造は SEP の構成粒子そのものの特性を反映するのではなく、他の起源を持ち得る可能性があることを得ている。講演では、詳細な解析結果とその解釈とともに、研究背景や展望についても言及する予定である。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

## M09a Numerical study of fast and slow MHD waves in heating solar magnetic chromosphere by realistic simulation

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

The problem of how to heat the solar chromosphere is still under debate, especially in the low-beta magnetic chromosphere. MHD waves are candidates for energy transportation and heating, which have been studied by previous works both theoretically and observationally. Most of the previous numerical simulation studies focus on only a single mode of wave in artificial settings. On the other hand, there are also studies by realistic simulations but these studies are usually used for spectra synthesizing for comparison with observations, without discussing physical processes in detail. In our study, we perform two-dimensional realistic MHD simulation by RAMENS code with modification on non-LTE radiation treatment (Carlsson & Leenaarts 2012). We catch each shock front and analyze its mode and contribution to heating. Our result shows that fast waves play a more dominant role in heating the magnetic chromosphere than slow waves. These low-beta fast waves are considered to be generated by mode conversion from acoustic waves in the high-beta region.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

## M10a アルベーン波乱流加熱を考慮したコロナループ加熱シミュレーション

甲斐達也 (東京大学), 横山央明 (東京大学), 庄田宗人 (国立天文台)

コロナ加熱は天文学において重要な課題であり、その加熱メカニズム、特に磁場のエネルギーがどのように熱に変わるかは未解明である。ある先行研究では、モード変換を介してアルベーン波から生成された圧縮波が散逸することでコロナループ加熱が達成されるというシミュレーションの結果がでている (Moriyasu et al. 2004)。しかしこの研究には (1) コロナ磁場が数 G と小さく仮定されている、(2) 計算結果として出てくる波の速度振幅 ( $\sim 100 \text{ km s}^{-1}$ ) が、観測されるスペクトル線の非熱幅 ( $10 \sim 20 \text{ km s}^{-1}$ ) を説明できない、という問題点があった。アルベーン波の散逸過程はモード変換だけではなく、他にもさまざまな過程が提唱されている。そのうちの 1 つに、逆行するアルベーン波が衝突することにより磁力線垂直方向にカスケードが生じて散逸する過程 (アルベーン波乱流) があり、近年盛んに研究されている。

これを踏まえ本研究では、これまでのモデルにアルベーン波の散逸過程としてモード変換に加え、現象論的にアルベーン波乱流の効果 (Shoda et al. 2018) を取り入れることで上記の問題点を解決を試みた。より現実に近いコロナ磁場強度 (数十 G) を用いて次元 MHD シミュレーションを行いコロナの再現に成功した。コロナ中の波動振幅は観測と整合的な値に抑えられ、コロナ磁場が 10G $\sim$ 100G の範囲で磁場の  $-0.3$  乗に比例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](#)

## M11a 光球スペクトル線幅増大に微小乱流項ほどの程度寄与しているか

石川遼太郎 (総研大/国立天文台), 勝川行雄 (国立天文台), 大場崇義 (ISAS/JAXA), 久保雅仁, 末松芳法 (国立天文台)

これまでの我々の研究で、粒状斑が消滅する時にスペクトル線幅が大きく広がることを発見した (Ishikawa et al. 2020a)。このような広いスペクトル線幅を説明するための変数として微小乱流項と巨視乱流項がある。太陽の空間平均された光球スペクトルを再現するには、3次元シミュレーションのデータを使用することでこれらの項が不要であるという研究がある一方で、空間分解されたスペクトル線を再現するには、微小乱流項を用いて線幅を説明している研究がある。しかしながらスペクトル線幅は微小乱流項だけでなく、速度勾配や温度勾配でも説明可能であることが指摘されており、粒状斑の消滅に伴って微小乱流が発達しているのかは分かっていない。本研究では、ひので衛星の偏光分光観測装置が観測した2本のスペクトル線 Fe I 6301.5 Å と 6302.5 Å に対して SIR を用いて LTE インバージョンを実施した。微小乱流項を含めた場合と含めない場合の2通り行い結果を比較することで、速度勾配と温度勾配そして微小乱流項による影響の切り分けが可能になると考えた。結果として、どちらの場合でも同程度の残差でスペクトル線を再現できることが分かった。特に粒状斑の中心や間隙領域では、推定された大気構造はどちらの場合でもほとんど同じであった。一方で粒状斑が消滅するときの非対称で幅の広いスペクトルについては、推定された大気構造が全く異なっていた。微小乱流項ありでの結果では 1 km/s 程度の微小乱流項により広い線幅を説明しているのに対して、微小乱流項無しで幅の広いスペクトルを再現するためには、速度勾配や温度勾配が非常に大きい必要があることが分かった。ひので衛星による観測では両者を区別することは出来ないものの、将来の多波長観測によって区別することが可能であると予想される。

[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](#)

## M12a 機械学習を用いた太陽の放射強度から速度場を予測するコードの開発

正木寛之, 堀田英之 (千葉大学)

太陽光球における水平方向の流れの速さを推測するために、ディープニューラルネットワークと数値計算を用いて太陽の放射強度画像から水平速度場の予測を行うコードの開発を行った。太陽の熱対流はフレアなどの現象と関連があることが知られている。計算機の性能の向上などに伴い高い精度のシミュレーションが行われ、実際の太陽でのこれらの現象を非常によく再現することができている。同様に現実の太陽観測についても高い精度で多くの情報が得られるようになってきているが、一方で、一部の物理量は原理的に観測が不可能か困難である。特に熱対流運動の直接的情報である速度場もこの例で、視線方向に平衡な成分はドップラー効果を利用して得ることができるが、視線方向に垂直な成分は得ることができない。異なる時刻での二枚の画像の相関から視線方向に垂直な方向の移動量を推測する手法などが考案されているが十分ではない。

機械学習の一分野であるニューラルネットワークは人間の脳の構造を基にした問題解決モデルであり、物理学に限らず極めて広い範囲で活用されている。また最近でも新しいネットワーク構造が考案されるなど、従来より効率よくネットワークの学習を行えるようになってきている。そこで、本研究では放射強度の2次元マップを入力とし、水平方向速度場を出力をするネットワークを学習し、速度場の予測を試みている。また、学習に活用する教師データに数値計算の結果を用いているため、太陽の観測からでは得ることのできない物理量を予想することができる。畳み込みニューラルネットワークを用いることで、効率的に学習できてネットワークの予測と学習データの間で 0.8 という高い相関係数を得ることができた。同時に、構造が単純であるために非常に速い計算速度も実現している。

[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](#)

## M13a 強磁場黒点と力の関係について

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、強磁場黒点を支える力について調査した。黒点は太陽表面に表れる強磁場領域である。黒点の光球面での磁場強度は一般に 3000 G 程度であるが、これは静穏領域光球面のガス圧では支えきれない。では、黒点がどのような力学によって支えられているのか、これを考える必要がある。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(Hotta et al. 2019) を用いて調査をおこなった。黒点深部の磁場強度を変化させることで、黒点表面で発生する磁場を変化させ、その影響を議論した。より強い磁場が観測される黒点では、静穏領域と比べてその光球面が深い位置になる。深い位置でのより強いガス圧が、強磁場黒点を支えていることがわかった。また、深い場所の磁場が強い場合、磁気張力は磁気圧力を打ち消す方向に働き、黒点を支える作用をする。深い場所の磁場が弱い場合、磁気張力は全体の力のバランスに大きな影響を与え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](#)

## M14a 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・面積・観測的寿命・フレア活動の統計的検討

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、活動領域とフレア活動に関する統計的研究を続けている。本研究ではウォルフ数ではなく、活動領域 (AR) の出現数そのものの変化に注目しているが、磁場構造が単純なグループ ( $\alpha$  型と  $\beta$  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。また、南北半球における ARs 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。さらに、AR ごとの面積の最大値の統計的分布に注目し、flare active な ARs (B クラス以上のフレア活動を示した領域) と flare quiet な ARs との間で、明確な分布の違いがあった。また、flare active な領域と flare quiet な領域の観測的寿命にも、顕著な違いを認めた。たとえば、磁場構造が単純かつ flare active な ARs の場合、観測的寿命が 8 日以上領域は、その 50.1 % を占めるが、磁場構造が単純かつ flare quiet な ARs では、観測的寿命が 8 日以上領域は 19.3 % にすぎない。一方、磁場構造が複雑かつ flare active な ARs の場合、観測的寿命が 8 日以上領域は、その 82.8 % であり、磁場構造が複雑かつ flare quiet な ARs では、観測的寿命が 8 日以上領域は 54.9 % である。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

## M15a 輻射磁気流体シミュレーションを用いた黒点超強力磁場生成機構の研究

堀田英之 (千葉大学), 鳥海森 (宇宙航空開発機構)

R2D2 コードを用いた輻射磁気流体計算により、デルタ型黒点の近傍に現れる 6000 G を超えるような磁場を再現し、その生成機構を明らかにした。太陽の黒点は、暗部では典型的に 3000 G ほどの磁気強度が観測される。一方、磁場の正極と負極が近いデルタ黒点では、その極性間に 6000 G を超えるような非常に強い磁場がしばしば観測される (Okamoto & Sakurai, 2018 など)。6000 G という磁場は、光球の熱対流の運動エネルギーや内部エネルギーに相当する磁場強度 (それぞれ 600 G と 1400 G ほど) と比べて非常に強く、その成因は謎になっていた。本研究では、太陽の対流層全体を包括するような計算領域で輻射磁気流体計算を行い、太陽深部の熱対流が自然にデルタ型黒点を生成する様子を再現し、デルタ型黒点に伴う非常に強い磁場の生成機構を調査した。計算の結果、正極と負極の間に光学的厚さ 0.01 の面でも 6000 G を超えるような磁場を再現できた。計算の妥当性を確認するためにアルフベン速度の抑制率などを変えていくつかの計算を行ったが、そのどのケースでも 6000 G を超えるような水平磁場が確認できており、計算の妥当性は確かなものになっている。生成機構について詳しく解析したところ、初期のねじれを解放するための黒点の回転運動が太陽表面でシアにより磁場を引き延ばすことが重要だと明らかになった。エネルギーの大きい太陽深部とつながった回転運動が源となっているために光球での運動エネルギーや内部エネルギーを大きく超えるような磁場が達成されることがわかった。また、生成された磁場はフォースフリーを満たすように生成されており、安定的に磁場が保たれ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](#)

## M16a Tomography of plage and network magnetic fields from Hinode and CLASP2 observations

R. Ishikawa (NAOJ), J. Trujillo Bueno, T. del Pino Alemán (IAC), T. J. Okamoto, R. Kano, D. Song, M. Yoshida (NAOJ), D. E. McKenzie, K. Kobayashi (NASA/MSFC), F. Auchère (IAS), L. Rachmeler (NOAA NCEI), C. Bethge (USRA), CLASP2 team

Magnetic fields in the solar atmosphere are crucial for the energy transfer from the photosphere to the corona, as well as for its dissipation. It is important to measure the magnetic field throughout the solar atmosphere, and especially in the upper chromosphere where the magnetic pressure dominates the gas pressure ( $\beta < 1$ ).

The Chromospheric LAYer Spectro-Polarimeter (CLASP2) sounding rocket experiment was carried out on 2019 April 11, providing the first ever spectrally and spatially resolved Stokes ( $I$ ,  $Q$ ,  $U$ ,  $V$ ) profiles across the Mg II h & k lines at 280 nm. During 155 s CLASP2 observed an active region plage and its surrounding enhanced network region and detected significant circular polarization signals produced by the Zeeman effect in the Mg II h & k lines and in two Mn I lines located in the same spectral region. The Mg II h & k lines provide information on the magnetic field in the upper chromosphere and near the transition region, while the Mn I lines originate in the lower chromosphere. The Solar Optical Telescope (SOT) aboard Hinode succeeded in providing the planned coordinated observations with CLASP2. By combining the CLASP2 and Hinode/SOT data we have been able to infer the longitudinal component of the magnetic field from the photosphere to the very upper chromosphere, revealing how it expands with height in the plage and in the network.

[スケジュール \(セッション毎\) 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： 背景温度分布の影響

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爆発現象は、太陽大気磁場の“ねじれ”として蓄積された自由磁気エネルギーの解放過程であると考えられる。したがって、太陽大気爆発現象の解明と予測には、太陽大気磁場の3次元構造の解析が必要となる。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。

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。特に本報告では、磁場構造に対する背景温度分布の影響に注目する。

[1] T. Miyoshi, K. Kusano, S. Inoue, ApJS, 247:6, (2020)

[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 低 $\beta$ 環境におけるプラズモイド型乱流リコネクション

銭谷誠司 (神戸大学), 三好隆博 (広島大学)

MHD 近似で磁気リコネクションを議論する際、Petschek モデルと Sweet-Parker モデルの2つの理論が考えられてきた。このうち、Sweet-Parker リコネクションは、系のサイズが大きい場合にプラズモイド型の乱流リコネクションに遷移することがわかっている。そして、乱流リコネクションのリコネクションレート (磁束の輸送効率) は  $\mathcal{R} \sim 0.01$  程度であり、空間パラメータ ( $S$ ) のみに依存するとされている。

我々は、最近の天文学会 (2018b-M09a) で、太陽コロナなどの磁気圧優勢 (プラズマ  $\beta \ll 1$ ) 条件ではプラズモイド型乱流リコネクションのリコネクションレートが速くなることを報告した。そして、その成因をプラズマの圧縮性に求め、圧縮性 Sweet-Parker 理論 (Hesse+ 2011) に基づいたスケールリング則を提案した。

本研究では、この予想を検証するために、プラズマ  $\beta$  および比熱比  $\gamma$  を変化させた2次元パラメーター空間で、MHD シミュレーションによる数値サーベイを行なった。その結果、複数の面で理論と良い一致を得た。これらを太陽コロナの  $\beta \ll 1$  環境に外挿すると、定説の倍近い  $\mathcal{R} \sim 0.02$  に達することが予想される。また、今回の結果は、 $\beta \ll 1$  で  $\mathcal{R}$  が遅くなるという先行研究 (Ni+ 2012) と一致しないが、追加の数値サーベイ結果を踏まえてその理由を推察する。

- Zenitani, S. & Miyoshi, T. 2020, ApJL, 894, L7

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

## M19a 電流シート平衡から開始する一般的な状況での磁気リコネクション・モデル

新田伸也 (筑波技大), 近藤光志 (愛媛大)

磁気リコネクションは、太陽現象のみならず広範な天体物理現象、例えばダイナモ機構や磁気粘性の素過程としても重要視されており、相対論的風理論に於ける  $\sigma$ -問題の解決のための主要因とも見なされている。しかし、今日でも標準モデルとされているのは、半世紀以上も前に提唱された初期モデル (Sweet-Parker モデル、Petschek モデル) である。これらは非常に単純な状況 (シア磁場無し、熱力学量対称分布) での定常モデルであり、現実の現象に適用するには、様々な拡張が必要となる。しかし、そのようなモデル拡張は不十分であった。

講演者らは、天体物理現象への応用を意識して、広大な空間で短時間に成長する磁気リコネクションの自発的構造を記述する新素過程モデルの構築を進めてきた。ここでは、電流シート (CS) 平衡から開始されるリコネクションに限定して議論する。講演者の提唱する「自己相似時間発展モデル (自己相似モデル)」も、段階的に拡張、一般化され、シア磁場無しで初期 CS に対して完全対称な系、シア磁場無しで CS に対して熱力学量分布が非対称な系、CS に対して熱力学量分布が対称でシア磁場有りの系に対応してきた。今回、CS に対して熱力学量分布が非対称でシア磁場有りの系に適用できるモデルへの拡張を行ったので、報告する。これが非相対論的モデルとして最も一般的な状況に対応できるモデルとなる。

本研究は、MHD の近似 Riemann 解法 (HLLD 法) の公開パッケージである “OpenMHD” を用いた 2D 数値シミュレーションを基盤としている。初期 CS 平衡では、圧力、密度などの熱力学量分布を CS に対して非対称とし、さらにシア磁場も課した。拡張された自己相似モデルでのアウトフロー構造の特色、リコネクションレート (エネルギー解放の速さの指標) について、シア磁場無しや熱力学量分布対称の場合の特徴と比較しながら論じる。

[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](#)

## M20a 不安定性理論に基づく太陽フレアの予測と発生機構の解明

草野完也 (名古屋大学)

太陽フレアは宇宙天気擾乱の主たる原因でもあるが、その発生機構は十分に解明されていないため、その予測も経験的な手法に依存する段階に留まっている。我々は、太陽表面近傍における小規模な磁気リコネクションをトリガとした MHD 不安定性 (ダブル・アーク不安定性、Ishiguro & Kusano 2017, ApJ) が、フレア発生の原因となり得るとする仮説に基づき、初めて不安定性理論に基づく大型太陽フレアの予測スキーム ( $\kappa$ -scheme) を開発し、その予測可能性を実証的に示すことに成功した (Kusano, et al. 2020, Science)。これまでの研究では 2010 年から 2017 年に太陽中心子午線から 50 度以内に位置する活動領域 (7 領域) で発生した全ての GOES クラス X2 以上の大型フレア 9 イベントのうち、 $\kappa$ -scheme は 6 領域で発生した 7 イベントの予測を実現できることが示されている。本研究では、これまで  $\kappa$ -scheme の予測条件から外れていた活動領域 NOAA 12192 で発生した 2 つの大型フレア (X3.1 及び X2.0 クラスフレア) に注目し、なぜこの 2 つのイベントのみがこれまで予測条件を満たさなかったのかを明らかにするため、より幅広い解析を実施した。 $\kappa$ -scheme はダブル・アーク不安定性の発生に必要な磁気リコネクションの臨界半径  $r_c$  と不安定性によって解放可能なエネルギー  $E_r$  からフレア発生予測を行う。これまでの解析から、 $E_r$  が  $4 \times 10^{32}$  erg を超え、 $r_c$  が 1Mm 以下となる点で X2 クラス以上のフレアが発生することが見出されている。これに対して NOAA 12192 で発生した 2 つの大型フレアは  $E_r$  の条件を満たしながらも、 $r_c$  の条件を満たさない点から発生したことが分かった。さらに、この活動領域のフレア発生点における磁気中性線は他の 6 領域にはない、特徴的な構造を有していたことも見出された。本講演ではこれらの結果から、 $r_c$  を決める物理を考察すると共に、 $\kappa$ -scheme の予測可能性をさらに拡大する試みについて説明する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

## M21a 深層学習を用いた太陽フレア発生確率予報の信頼度向上

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

太陽フレアの発生機構は未解明であり、その発生予測のために近年機械学習手法の応用研究が進んでいる。我々は深層学習を用いた太陽フレア確率予報モデル (Deep Flare Net) を開発した (日本天文学会 2018 年秋季年会 M03a 西塚ら)。本モデルは太陽観測画像をもとに、24 時間以内に発生する最大規模の太陽フレアを確率予報することができる。SDO 衛星によって 2010-2015 年に観測された 30 万枚の多波長画像から活動領域を検出し、領域毎に 79 個の特徴量を抽出、さらにフレア発生前には X, M, C クラスといったラベルを添付した。従来の太陽フレアの深層学習予測モデルでは、True Skill Statistic (TSS) という識別性能を示すスキルスコアを向上するように最適化が行われていたが、一方で信頼度が低い問題点を予報運用者側から指摘されていた。

本研究では最適化手法を調整し、新たに Brier Skill Score (BSS) を基準として学習を行った。特徴量データは運用形式で評価するために時系列に分割し、2010-2014 年を訓練用、2015 年をテスト用に用いた。その結果、C クラス以上のフレア予測に対して BSS=0.41、M クラス以上のフレア予測に対して BSS=0.30 を達成した。また Relative Operating Characteristic (ROC) 曲線をほぼ一定に保ちながら信頼度プロットを大幅に改善することに成功した。ここで従来の予報モデルでは、カテゴリ予測用に最適化され、その識別は 50% の閾値で性能最大化するように事前調整されていた。一方で、これが信頼度に影響していて、代わりに気候学的発生頻度に基づいて確率予報を最適化することで信頼度は改善することがわかった。また最終的にユーザーの目的に応じて閾値を選択することができるようになった。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

## M22a 数値モデルによる太陽フレア EUV 放射スペクトル観測の検証

西本将平, 渡邊恭子 (防衛大学校), 河合敏輝, 今田晋亮 (名古屋大学), 川手朋子 (核融合科学研究所)

太陽フレアに伴う X 線及び極端紫外線 (EUV) 放射の急激な増加は、地球の熱圏・電離圏の物理組成を急速に変化させ、通信障害や衛星の大気ドラッグなどを引き起こすことが知られている。これらの影響を予測するため、これまでに太陽フレア放射を予測する様々なモデルが開発されており、Flare Irradiance Spectral Model (FISM) (Chamberlin et al., 2006, 2007, 2008) は、その中でも最も広く使用されているモデルである。しかし、FISM は経験モデルであるため、個々の EUV ライン放射の時間発展を正確に再現することができないという問題がある (Thiemann et al., 2017)。そこで我々は、CANS (Coordinated Astronomical Numerical Software)1D のフレアパッケージと CHIANTI 原子データベース (Dere et al., 1997, 2019) を用いて、フレアの X 線・EUV 放射スペクトル変動を導出するモデルを構築した (Imada et al., 2015; Kawai et al., 2020)。このモデルへの入力値であるフレアループの長さは SDO/AIA 1600Å で観測されたフレアリボン間距離から算出し、加熱強度は観測値に適応するように設定した。このモデルを使用して、SDO/EVE MEGS-A で観測された 23 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い、特に EUV ライン放射の計算値と観測値の比較・検証を行った。この結果、まず高温ライン (FeXX など) のフレア中の EUV 放射エネルギーはほぼ再現することができたが、低温ライン (FeXV など) の EUV 放射エネルギーは計算値が観測値の数倍となり、あまりよく再現できなかった。また、Fe ラインの立ち上がり時間は、温度に寄らずどれもよく再現することができた。本講演では我々のモデルによるフレア EUV 放射スペクトルの再現計算結果について報告し、本モデルの実用化に向けたパラメータ導出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](#)

## M23a 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 線最大光度の関係

岡本豊, 岩切渉, 坪井陽子, 佐々木亮, 河合広樹, 佐藤樹 (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), 河原創 (東京大学), 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 型星のフレア放射エネルギーは大きいもので  $10^{35}$  erg にも及ぶ。太陽で起こる彩層蒸発現象がこのような巨大恒星フレアに適應できるかを知る上で、多波長による同時観測結果の比較は重要である。太陽フレアでは、可視連続光 (白色光) 帯域での放射エネルギー ( $E_{\text{WL}}$ ) と、1–8 Å における X 線の最大光度 ( $L_{\text{X}}$ ) の間には、 $L_{\text{X}} = 10^{25}\text{--}10^{27}$  erg  $\text{s}^{-1}$  において、 $E_{\text{WL}} \propto L_{\text{X}}^{\sim 1.0}$  という関係にあることが報告されている (Namekata et al. 2017)。このことは、非熱的粒子の彩層・光球突入の結果放射される白色光フラックスの時間積分と熱的放射である軟 X 線フラックスが比例する、Neupert 効果を示していると考えられる。この関係が恒星でも成り立つのか調べるために、6,000–10,000 Å の帯域で全天を測光観測をしている系外惑星探索衛星 TESS、及び 2–20 keV の帯域で全天を捜査観測している MAXI に着目し、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時観測されていた。このフレアの 0.01–10 keV における X 線の最大光度は  $L_{\text{X}} = 7 \times 10^{31}$  erg  $\text{s}^{-1}$  という巨大なものであり、MAXI と TESS のデータから  $L_{\text{X}}$  と  $E_{\text{WL}}$  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) のデータを基に、 $L_{\text{X}} = 10^{29}\text{--}10^{30}$  erg  $\text{s}^{-1}$  における  $L_{\text{X}}$  と  $E_{\text{WL}}$  を求めた。その結果、太陽及び恒星フレアにおける  $E_{\text{WL}}\text{--}L_{\text{X}}$  関係は、6 桁にわたって  $E_{\text{WL}} \propto L_{\text{X}}^{\sim 1.0}$  であった。このことは、恒星フレアにおいても Neupert 効果が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](#)

## M24a 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 II

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

本研究では、超小型 CubeSat 衛星 MinXSS-1 の軟 X 線、および RHESSI 衛星の硬 X 線の観測データを組み合わせることで、太陽フレア発生時の熱的・非熱的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、主に加速された電子と周辺プラズマとの制動放射による非熱的放射と、それに伴い加熱された高温プラズマによる熱的放射の 2 種類存在すると考えられている。そのため、スペクトル解析を元にこれらを分離し各々の時間発展を追うことは、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、これまで X 線帯域では RHESSI 衛星による観測データのみを用いてスペクトル解析を行うものが中心であり、特に熱的成分と非熱的成分の低エネルギー側のカットオフの決定精度が悪く、加熱・冷却過程の詳細な追跡や加速電子の持つエネルギーを正確に見積もることは難しかった (Holman et al. 2011)。

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、及び RHESSI 衛星の硬 X 線観測データを組み合わせ、2016 年 7 月 23 日に発生した M クラスフレアを対象に XSPEC を用いてスペクトル解析を行なった。その結果、RHESSI 衛星のみを用いるよりも、熱的・非熱的成分が精度よく決定することが可能となり、得られたパラメータを元に熱電子の温度・エミッションメジャーを高精度で求め、加速された電子のエネルギー分布の議論を行なった。さらに、MinXSS の観測データを用いることで abundance の時間発展についても調査を行なった。

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](#)

## M25a 太陽コロナ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。コロナにおける磁気リコネクションの研究の多くは、電気抵抗のみを仮定しており、コロナのような無衝突プラズマで有効な Hall 効果を考えていない。しかし、Hantao Ji & William Daughton et al 2011 でコロナは電気抵抗と Hall 効果の両方が有効であることが示されており、ナノフレア発生過程においてどちらが先に有効となるかは不明である。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、Hall 効果が有効になると考えられる。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。抵抗性 MHD を用いて、重力の影響により密度が最も小さくなるループの頂点でリコネクションが発生することを確認した。また、重力を強くかけることでリコネクションが加速することがわかった。これは、密度が減少することで電流層が薄くなったためである。実際のコロナでは、プラズマの密度が低いため Hall 効果によって加速すると考えられる。従って、重力成層を考慮した計算に Hall 項を追加し、リコネクションが加速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](#)

## M26a NoRH と MUSER で同時観測された 2015 年 11 月 22 日の微小フレア

増田 智 (名古屋大学), Chengming Tan (NAOC)

野辺山電波ヘリオグラフ (NoRH) は 2015 年 3 月の野辺山太陽電波観測所の閉所後、国際コンソーシアムにより運用が継続されていたが、その継続運用も 2020 年 3 月末をもって終了した (日本天文学会 2020 年春季年会 M04a 参照)。一方、中国で開発されてきた新太陽電波望遠鏡 Mingantu Spectral Radioheliograph (MUSER) は、この NoRH の継続運用期間中に徐々に観測を開始し、時間や周波数など万全ではないけれども、データを取得している。MUSER は、NoRH の 17、34GHz の観測に比べて、相対的に低周波 (0.4–2GHz、2–15GHz) ではあるが、ワイドバンドの観測を高時間分解能 (25ms、200ms) で行うことが可能である。両者のデータを用いることにより、コロナ中の異なる高度での情報や、異なるエネルギー帯の加速電子の情報を得ることができる。これは、太陽フレアの研究において、大きな強みとなる。

そこで、まずは NoRH と MUSER の同時観測イベントリストを作成した。が、近年、太陽活動が極小期付近ということもあり、全部で 25 イベントのみであった。その中で、手始めに比較的較正の進んでいる MUSER の 1–2GHz 帯で 10 秒程度の間電波バーストが高周波から低周波にドリフトし、その後、低周波から高周波に戻る現象が観測された 2015 年 11 月 22 日のイベントを解析した。NoRH の 17GHz でもこのイベントは捉えられているが、電波強度は非常に弱く、ピークフラックスは 1 sfu 以下であった。が、両者の電波強度のピーク時刻がほぼ一致していることや MUSER の周波数ドリフトに対応して、17GHz 電波源が移動しているように見えることから、どちらも同じ加速電子に関係した放射であると考えられる。1–2GHz 帯の電波放射機構を考察し、このイベントの解釈を行う。

[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](#)

## M27a 紫外線における高階電離鉄輝線を用いたイオン組成比診断

川手朋子(核融合研), 村上泉(核融合研), 今田晋亮(名古屋大), 清水敏文(宇宙研)

フレアプラズマなどにおける急激な加熱過程を理解するためには、電子温度の空間・時間発展を観測的に得る必要がある。これまで電子温度は多くの場合、同元素で異なる価数のイオンから放射される輝線を用いて、電離平衡を仮定した際の強度比と電子温度の関係から導出している。しかし特に加熱直後のフレアプラズマでは電離状態が緩和しておらず、低価数イオンが多いため、電離平衡仮定により導出した電子温度では実際より低く見積もられる。したがって激しく変化しているプラズマの電子温度を高精度に得るためには、イオンの価数状態(イオン組成比)をまず得る必要がある。現状太陽分野で用いられている原子データベースは電離平衡を前提としており、基底状態からの電子衝突電離のみでイオン組成および輝線強度を決定している。一方、加熱直後のプラズマでは低価数イオンに高エネルギーの電子が衝突するため、中間準位電子や内殻電子の衝突電離を考慮する必要がある。現状の原子データベースではイオン組成決定時の誤差が大きくなる可能性がある。

本研究の目的は 160 – 1300 Å の極端紫外・真空紫外領域における 20 価以上の鉄輝線強度比を用いて、電離非平衡時のイオン組成比を定量評価する手法を確立することである。方法は、原子コード Flexible Atomic Code (FAC; Gu 2008) を用いて中間準位電子・内殻電子の励起・電離・再結合過程を含めた遷移確率を計算し、電子温度・電子密度・イオン組成を変数として輝線強度を導出する。また電離平衡を前提としている CHIANTI (Dere et al. 1997) の原子データと同様に得た強度と、CHIANTI の準位・遷移に対応する FAC の原子データを用いて導出した強度と比較することで、CHIANTI を用いる際との差を評価する。本研究によりイオン組成診断時に精度向上が必要な原子データが明確となり、Solar-C/EUVST における電離非平衡プラズマ診断が可能となる。

[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](#)

## M28a Data-driven MHD simulation of minifilament eruption

Takafumi Kaneko, Sung-Hong Park, Kanya Kusano(Nagoya Univ.)

Solar flares and plasma ejections are caused by release of magnetic energy stored in the solar plasma atmosphere. Many physical processes are incorporated in an explosive event, e.g., energy build-up, onset of energy release (reconnection and MHD instabilities), and propagation of ejecta interacting with the ambient coronal magnetic fields. To understand the physical mechanisms, and to perform prediction of a particular event, we need information of three-dimensional magnetic fields from the photosphere to the corona. The photospheric magnetic fields are observable, while the coronal magnetic fields are not observable. One method to infer coronal magnetic fields is data-driven MHD simulation in which time series observational data of photospheric magnetic fields are used as the bottom boundary condition of time-dependent MHD simulations. We developed a new method of data-driven simulation in which physical consistency among velocity fields, electric fields, and the observed magnetic fields is improved compared to the previous data-driven methods. We applied our method to reproduce a minifilament eruption on 5. Nov. 2017 observed by SMART at Hida Observatory. We carried out data-driven zero-beta MHD simulations using the photospheric vector magnetic fields observed by SDO/HMI. As a result, helical flux rope was formed and erupted by reconnection between opposite polarity magnetic patches in the photosphere. The onset time of eruption in our simulation was approximately 30-50 minutes behind the observed onset time. The speed and direction of the eruption were consistent with the observation.

[スケジュール\(セッション毎\)に戻る](#)

[スケジュール\(全体\)に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

## M29a 京都大学飛騨天文台 SMART/SDDI を用いたフィラメント噴出・消失現象の 3 次元速度場の導出

木村なみ (京都大学大学院思修館), 大辻賢一 (情報通信研究機構 電磁波研究所 宇宙環境研究室), 浅井歩 (京都大学大学院理学研究科附属天文台), 山敷庸亮 (京都大学大学院思修館)

太陽活動などによる地球周辺空間の環境変動を宇宙天気という。太陽面爆発 (フレア) や噴出現象が起こると、地球では磁気嵐や放射線の増加などの影響を受けるため、宇宙天気予報が重要視されている。特に太陽コロナ中で発生する冷たいプラズマ (フィラメント・プロミネンス) の噴出現象は、太陽のプラズマを大量に惑星間空間に噴出するコロナ質量放出 (CME) を伴うことも多く、磁気嵐の原因の一つと言われている。しかし、フィラメント噴出と CME の関係性は、観測視野のギャップなどにより、未だ明らかになっていない。

本研究では京都大学飛騨天文台の SMART/SDDI (Solar Dynamics Doppler Imager) を用い、2016 年 8 月 9 日 23:30UT から 2016 年 8 月 10 日 3:30UT にかけて北東リム付近で見られたフィラメント噴出現象について詳細に調べた。特に SMART/SDDI による H $\alpha$  線を中心とした  $\pm 9\text{\AA}$  の範囲にある 73 波長での観測から、Beckers の「クラウドモデル」を適応することでその視線速度を、また見た目の運動を組み合わせることで、フィラメントの 3 次元速度場を導出した。このフィラメントは、太陽面に対し約 150km/s の最大速度で噴出し、また関連して大規模な CME (速度 370km/s) が 8 月 10 日 4:00UT に発生していることがわかっている。我々はさらにフィラメント内部のプラズマ塊の一つ一つに着目し、その視線方向や視線と垂直な方向の速度の時間変化を追い、噴出前後のフィラメントの構造の変化を詳細に調べた。本講演では、このフィラメント噴出で見られた微細構造の時間変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](#)

## M30a ビリアル定理から求めた熱的プラズマの磁気モーメント

柴崎清登 (太陽物理学研究所)

磁場中の熱的プラズマにビリアル定理を適用して磁気モーメントを求めた。ビリアル定理は気体の分子運動論と熱力学を結びつける便利な定理である。理想気体の状態方程式は、ビリアル定理を用いることで容易に導くことができる。そこでこのビリアル定理を磁場中の熱的プラズマに適用することによって、プラズマの熱力学的性質を求めた。一様磁場方向に置かれた筒状の容器にプラズマが閉じ込められているとして、磁場に直交する面内での熱運動について検討する。ビリアル定理によると、 $\langle K \rangle = -(1/2) \sum \langle \mathbf{r}_i \cdot \mathbf{F}_i \rangle$  である。ここで、 $\langle \rangle$  は時間平均、 $K$  は運動エネルギー、 $\mathbf{r}_i$  は粒子の座標、 $\mathbf{F}_i$  は粒子にかかる力で、 $\sum$  は全粒子の和である。右辺はクラウドジウスのビリアルと呼ばれる。荷電粒子 (電荷  $q$ ) が磁場  $\mathbf{B}$  中で運動 (速度  $\mathbf{v}$ ) するとローレンツ力を受けるのでそのビリアルを求めると、 $\mathbf{r} \cdot \mathbf{F} = \mathbf{r} \cdot \mathbf{q}\mathbf{v} \times \mathbf{B} = \mathbf{r} \times \mathbf{q}\mathbf{v} \cdot \mathbf{B} = 2\boldsymbol{\mu} \cdot \mathbf{B}$  となる。ここで  $\boldsymbol{\mu} = (1/2) \mathbf{r} \times \mathbf{q}\mathbf{v}$  は磁気モーメントである。ビリアル定理とエルゴード定理を組み合わせ、プラズマの温度を  $T$ 、粒子の数密度を  $N$ 、単位体積あたりの磁気モーメントを  $\mathbf{M}$  として方向まで考慮すると、 $\mathbf{M} = -(NkT/B)\mathbf{b}$  となる。ここで  $k$  はボルツマン定数、 $\mathbf{b}$  は磁場方向の単位ベクトルである。粒子間衝突や容器の壁との衝突はビリアルに寄与しないことが示される。

熱的粒子の運動エネルギーは速度の 2 乗によって定まり磁場には依存しないため、熱的プラズマは磁気モーメントを持たないとする議論がなされてきた。しかし同じ速度でも、直進運動と円運動では性質が大きく異なる。ローレンツ力はエネルギーを変化させることはないが、直進運動を円運動に変換するので粒子は角運動量および磁気モーメントを持つ。粒子間衝突において、全角運動量は保存される。また、粒子の運動方程式を考慮すると、ボーア=ファンルーウエンの定理が誤りであることがわかる。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

## N01a 重力崩壊型超新星爆発における非対称 $\nu$ 放射の元素合成への影響 II

藤本 信一郎 (熊本高専), 長倉 洋樹 (プリンストン大)

近年, 複数グループによる詳細な  $\nu$  輸送を考慮した重力崩壊型超新星の多次元計算から, LESA と呼ばれる非球対称な  $\nu$  放射の存在が示され,  $\nu_e$  が強い方向 (高  $\nu_e$  半球) では  $\bar{\nu}_e$  が弱いという逆相関的に,  $\nu_e, \bar{\nu}_e$  が 10% 程度の非球対称をもって放射されることが明らかにされた. 高  $\nu_e$  半球では, 中性子の  $\nu_e$  捕獲反応が陽子の  $\bar{\nu}_e$  捕獲反応より優勢であり, 放出ガスの電子比  $Y_e$  は上昇し, 一方,  $\bar{\nu}_e$  が強い方向 (高  $\bar{\nu}_e$  半球) では, 陽子の  $\bar{\nu}_e$  捕獲反応が中性子の  $\nu_e$  捕獲反応を卓越し,  $Y_e$  が減少することが予想される. 放出ガスの組成は  $Y_e$  に依存するから, 高  $\nu_e$  半球と高  $\bar{\nu}_e$  半球では, 放出ガス組成が大きく異なる可能性がある. 我々は, 2019 年秋期年会において, 重力崩壊型超新星爆発における元素合成への非対称  $\nu$  放射の影響を調査した.  $\nu$  吸収・現実的状态方程式を考慮した 2 次元軸対称流体力学コードを用いて, コアバウンスから数秒に渡って放出ガスの dynamics を流体力学計算した. SN1987A 的に超新星爆発する  $\sim 20M_\odot$  の大質量星に対して, 0% (球対称) から 50% の  $\nu$  放射非対称度を仮定し, 爆発計算を行った. その結果に基づいて放出ガスの化学組成を計算し, 非対称度が 3.3, 10% の場合でも高  $\nu_e$  半球と高  $\bar{\nu}_e$  半球の組成は大きく異なり, 非対称度が 30, 50% の場合, Zn より重い元素の組成は太陽系組成と矛盾することを示した.

本研究では, 2019 年秋期年会で調査した SN1987A 的に爆発する親星に加えて, 6 つの親星 ( $9.5\text{--}25.0M_\odot$ ) について同様の計算を行い, 以下のことを示した; (1) 非対称度が 30, 50% の場合, 7 つの親星について IMF 平均し, I 型超新星寄与を加えた元素組成 (IMF 平均組成) は Zn より重い元素の太陽系組成と矛盾する. (2) 非対称度が 3.3% の場合, IMF 平均組成は太陽系組成と同程度である. (3) 高  $\nu_e$  半球と高  $\bar{\nu}_e$  半球における  $[\text{Zn}/\text{Fe}]$  の差は全ての親星に対して非対称度に相関する.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

## N02a 重力崩壊型超新星における $\nu p$ プロセス元素合成と p 核の起源

西村信哉 (理化学研究所), 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)

鉄より重い安定元素のうち陽子過剰の同位体は p 核と呼ばれる. p 核は, 中性子捕獲元素 (s プロセスや r プロセス元素) とは異なる起源を持ち, 太陽系の元素組成における存在度は同位体比の数パーセントと非常に希少である. しかし, それ故に, 宇宙における p 核の起源を調べることは, 宇宙における化学進化史と太陽系形成過程を考える上で重要でもある.

p 核を生成する過程の一つである  $\nu p$  プロセスは, 重力崩壊型超新星のコア付近で起こりうる爆発的な元素合成過程である. 超新星の中心の陽子過剰な放出物において, ニュートリノ放射の影響下で「速い陽子捕獲」による重元素合成が達成され, 鉄よりも重い元素が作られる. 特に, 質量数  $A \sim 100$  付近の p 核はこの  $\nu p$  プロセスが主要な起源だと考えられている.

我々は, 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,  $\nu p$  プロセスに対して, 核反応率の不定性が元素合成に及ぼす影響を調査した. 本研究では簡易的な爆発モデルを採用し, 核反応の不定性に着目して元素合成への影響を調べた. その結果, 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指摘し, 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. 本講演では, さらに, 超新星爆発モデルの不定性にも着目し, 軽い p 核を生成するために必要な物理環境を定量的に調べる. これにより, 元素合成から爆発モデルの「制限」が可能か議論する.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

## N03a 超新星の親星水素外層とフォールバック降着の相関性

澤田 涼 (京都産業大学), 諏訪 雄大 (京都産業大学), 前田 啓一 (京都大学)

標準的な超新星は、スペクトル中の吸収線から観測の分類がなされている (e.g., Filippenko 1997)。水素外層をもつ大質量星が起こす超新星は II 型超新星、水素外層を失った大質量星からの超新星は総称して Stripped-Envelope 超新星 (SE 超新星) と呼ばれる。これまで、上記 2 種類の超新星の違いは、親星の外層構造の違いのみに対応しており、中心構造は類似していると考えられてきた (Smartt 2009)。しかし近年、この中心構造を反映した  $^{56}\text{Ni}$  合成量が、SE 超新星よりも II 型超新星で少ないことが報告された (Meza & Anderson 2020)。つまりこの観測事実は、これまでの超新星の爆発シナリオとは異なった「超新星がタイプ分類ごとに多様な爆発機構をもつ」可能性を示唆しており、現在注目を集めている。しかし我々は、外層構造の違いが観測に及ぼす影響から、この問題を統一的に説明できるのではないかと考えている。

$^{56}\text{Ni}$  の量を評価する上で、重要な不定性が「フォールバック降着」である (e.g., Nomoto & Umeda 2003)。これは、実際の超新星爆発において最も深い層の一部の物質が重力で拘束されて、中心天体上にフォールバックする効果である。そして、このフォールバック降着の物理はいまだ十分に理解されていない (e.g., Tominaga et al. 2007)。ここで今ひとつの仮説として、もし「中心天体へのフォールバック降着が親星の水素外層によって強くなるならば、II 型超新星は豊富な水素外層を持つため、フォールバック降着によって  $^{56}\text{Ni}$  放出量が減る」と予測される。しかし、これまでにフォールバック降着量と水素外層質量の物理的相関性は検討されてこなかった。本講演では大質量星の水素外層質量をパラメータに「フォールバック降着量と水素外層質量の相関性」を評価し、その結果を報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

## N04a 重力崩壊直前の大質量星の酸素-ケイ素対流燃焼層における 3 次元対流の進化

吉田 敬 (東大理), 滝脇知也 (国立天文台), 固武慶 (福岡大), 高橋 巨 (AEI), 中村航 (福岡大), 梅田秀之 (東大理)

近年、超新星爆発の多次元シミュレーションや大質量星の後期進化における物質混合の観点から大質量星の後期進化の対流層における多次元流体シミュレーションが行われ始めている。そして、大質量星の最終進化における対流運動による非球対称性が超新星の爆発過程に影響を与えることが明らかにされている。本研究では  $\sim 10^9$  cm を超える広い酸素-ケイ素対流層を持つ 2 種類の大質量星について重力崩壊直前  $\sim 200$  s の進化の 3 次元流体シミュレーションを行い、この対流層における対流運動の特徴について調べた。

我々はこれまで計算した多くの 1 次元大質量星進化モデルから広い酸素-ケイ素対流層を持つ  $22, 27 M_{\odot}$  の星のモデルを選び、それぞれ重力崩壊直前  $\sim 65$  s,  $\sim 200$  s の進化の 3 次元流体シミュレーションを行った。これらの星はそれぞれ  $\sim 10^9$  cm の Si/O 層、 $\sim 5 \times 10^9$  cm の O/Si/Ne 層を持つ。そして燃焼層の下部でそれぞれ酸素 shell 燃焼、ネオン shell 燃焼を起こすことで対流が発達する。これらの星では酸素-ケイ素対流領域において乱流 Mach 数が  $\sim 0.1$  という強い乱流が起こり、スペクトル解析から乱流のスケールは対流層領域に近い大きなスケールになることが得られた。そして、乱流による物質混合の様子は 1 次元のモデルとは異なり、動径方向にはより一様になりやすく、角度方向には不均一が残った。発表では、対流による物質混合とそれによる主要元素の組成分布の時間変化を示すとともに対流による非球対称性が超新星爆発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](#)

## N05a 中心エンジンモデルに基づいた超高輝度超新星の2次元輻射流体シミュレーション

鈴木昭宏 (国立天文台)

近年の変光天体サーベイによって発見された超高輝度超新星は通常の重力崩壊型超新星の10–100倍程度明るく輝く種族である。特に可視光スペクトルに水素の輝線/吸収線が見られないものはI型(あるいはIc型)超高輝度超新星と分類され、水素/ヘリウム外層を失った大質量星の炭素-酸素核の爆発だと考えられるが、その明るい熱放射を実現する機構は未解明である。熱放射の起源として有力視されているモデルの一つが中心エンジンモデルと呼ばれるものであり、超新星爆発後に残される高速回転する中性子星あるいはブラックホール降着円盤などが超新星エジェクタにエネルギーを与え、光らせるというものである。この中心エンジンモデルに基づく光度曲線モデリングは、簡単な1-zoneモデルや1次元球対称モデルを用いて広く行われ、超高輝度超新星の明るさをうまく説明できるとされているが、最近の多次元流体シミュレーションでは流体不安定などの多次元効果が必要である可能性が指摘されている(Suzuki&Maeda 2017,2019など)。

本研究では、中心エンジンモデルに基づいた2次元軸対称の輻射流体シミュレーションを行い、中心にエネルギー源を持つ超新星エジェクタが、そのエネルギー注入率や注入時間に対してどのくらい明るく光り、またどのようなスペクトルの特徴を持ち得るのかを検証した。その結果、1次元球対称の光度曲線モデルと同様なパラメータで超高輝度超新星の明るさを説明できることが分かった一方で、光度の減光率や密度分布の特徴など異なる点も明らかとなった。本講演では、シミュレーション結果を紹介するとともに、予想される観測的特徴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](#)

## N06a ブラックホールによる白色矮星の潮汐破壊現象からの観測兆候の多様性

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

ブラックホール(BH)による白色矮星(WD)の潮汐破壊現象(WD TDE)においては、WDはBHの潮汐力によって破壊されると同時に、強い圧縮によって熱核爆発を起こす場合がある。その場合には、BHに降着するWDの残骸からの輻射だけでなく、BHに対し非束縛軌道を辿る残骸からも、熱核爆発で生成された $^{56}\text{Ni}$ の崩壊による輻射が生じる。この元素合成やWD残骸の速度といった力学的性質は、WDの質量や組成、BH質量、軌道パラメータに依存して幅広い多様性を持つため、熱核爆発を伴うWD TDEから生じる観測兆候も多様であると期待される(Kawana et al. 2018)。しかし、先行研究(MacLeod et al. 2016)では $0.6 M_{\odot}$ のCO WDが破壊されるWD TDEからの観測兆候しか調べられておらず、その多様性は未解明だった。

本研究ではWD TDEの観測兆候の多様性を解明することを目的として、WD質量・組成といったパラメータを変化させつつ、原子核反応を組み込んだ流体シミュレーション、元素合成シミュレーション、及び輻射輸送シミュレーションを行った。これにより、ライトカーブやスペクトルの時間変化といった具体的な観測兆候の理論予想を各パラメータセットの場合について求めた。結果として、WD TDEの熱核爆発に由来するライトカーブは、peak luminosityで $L_{\text{peak}} \sim 10^{42-43.5}$  erg/s、decay timescaleで $\Delta t_{1\text{mag}} \sim 5-30$  dと大きく変化しうることを示した。これと対応した明るさ、タイムスケールを持つ突発天体は、暗いrapidly evolving transientsから明るいIa型超新星までの範囲となり、Zwicky Transient Facility(ZTF)を始めとする近年の大規模な突発天体サーベイによる探索が精力的に進められている領域となっている。本研究で求めた観測兆候の理論予想は、これらの突発天体サーベイからWD TDEを探索する上で重要な示唆を与える。

[スケジュール\(セッション毎\)に戻る](#)

[スケジュール\(全体\)に戻る](#)

[講演者索引 TOPに戻る](#)

## N07a 超新星爆発でのイジェクタ質量の推定

松本達矢, 東京大学

超新星爆発において、どれくらいの物質が吹き飛ばされているかを知ることがその爆発機構や親星を知る上で非常に重要である。従来、この飛散物質 (イジェクタ) の推定には Arnett rule として知られている光子の典型的な拡散時間を用いた方法や、より詳細に爆発過程を数値的に計算し、光度曲線を再現することなどが用いられてきた。我々は特に前者の Arnett rule を拡張することでイジェクタ質量を推定する方法を提案する。この方法では光度や黒体放射温度として得られた観測量からイジェクタ質量を見積もる。講演ではまず手法の詳細を説明した上で、2, 3 のよく観測されている超新星について応用し、それが Arnett rule や数値計算を用いた方法と整合的な結果を与えることを示す。一方でイジェクタ質量については既にこれら洗練された推定方法が普及しているが、我々の方法の利点として、質量以外にもイジェクタ質量やエネルギーの速度分布などについても調べることができ、可能性を議論する。最後に時間が許せば他の様々な可視光天体への応用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](#)

## N08a 前兆ニュートリノの恒星進化モデル依存性

加藤ちなみ (東北大), 平井遼介 (モナッシュ大), 長倉洋樹 (プリンストン大)

近年のニュートリノ観測技術の発展によって、太陽質量の 8 倍以上 ( $M > 8M_{\odot}$ ) の初期質量をもつ大質量星の進化後半に放出される前兆ニュートリノの観測が視野に入ってきた。実際にこれまでの理論研究でベテルギウスなどを始めとした 1kpc 以内の近傍大質量星であれば観測できることが示されている。恒星進化理論はこれまでの理論研究や電磁波観測による制限などによって確立されつつあるが、特に大質量星の後期進化についてはまだ多くの不定性が残されている。ニュートリノは高温・高密度の中心部で多く放出されて中心部を冷却する役割を担い、恒星進化に大きく関与している。また、ニュートリノと物質の反応断面積は非常に小さいため、ニュートリノ観測を通して高温・高密度の恒星中心部の情報を直接得られる可能性がある。

そこで、本研究では初期質量が  $15M_{\odot}$  の恒星に注目して、異なる原子核種数および空間解像度を実装した 20 個の恒星進化モデルをオープンソースコードである "MESA" を用いて計算した。そして、得られた密度・温度・ $Y_e$  (=電子数密度/バリオン数密度) の空間分布を用いてニュートリノ光度を計算し、同じ初期質量の恒星におけるニュートリノ光度のモデル不定性を調査した。また、これらのモデルを用いてニュートリノ光度と恒星の中心物理量 (密度・温度・ $Y_e$ ) との相関についても調査し、どの物理量が観測量に対して一番影響を与えるのかについて議論した。このような相関調査は、将来の前兆ニュートリノ観測から恒星内部の情報を得る上で重要である。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

## N09a XMM-Newton衛星搭載RGS検出器で探るKepler超新星残骸における星周物質の空間分布

春日知明 (東京大), Jacco Vink (University of Amsterdam, API, GRAPPA), 勝田哲 (埼玉大), 内田裕之 (京都大), 馬場彩 (東京大, RESCEU)

超新星残骸やその爆発の性質を調べる上で、星周物質の分布や速度構造は重要な手がかりとなる。Kepler超新星残骸 (SN1604) は若いIa型であり、XMM-Newton衛星搭載のRGS検出器によるX線精密分光観測から、天体全体に濃い星周物質が分布していることが報告されている (Katsuda et al. 2015)。ただしこの天体は、同程度の年齢のIa型であるTycho超新星残骸 (SN1572) などと比べても輝度分布が非一様であり、また爆発噴出物の非等方性が報告されている (Sato & Hughes 2017, Kasuga et al. 2018)。星周物質とその速度構造も非一様である可能性が高く、探査が必要である。

RGS検出器は、1 keV以下に存在する窒素や酸素といった星周物質由来の輝線の解析に対して、現在のところ最も適した検出器である。RGS検出器は分散型分光観測器であるため非分散方向のみ空間分解が可能である。我々はこの検出器の特性とKepler超新星残骸そのものの非一様な輝度分布を利用し、星周物質の空間分解解析を行った。その結果、天体中央東部に分布する星周物質の塊が他の領域に比べて $\sim 500$  km/sの速度で赤方偏移していることを発見した。この結果は、可視光による観測 (Blair et al. 1991) や鉄噴出物の運動観測 (Kasuga et al. 2018) と同傾向が一致している。同時に我々は、星周物質由来の輝線の輝線幅が、外縁領域の方が太い傾向にあることも発見した。これは、中心付近に濃い星周物質が円盤状に分布している描像 (Burkey et al. 2013) に無矛盾である。

[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](#)

## N10a X線精密分光観測によって迫る超新星残骸RX J1713.7-3946の親星推定

立石大, 勝田哲, 寺田幸功 (埼玉大学)

SNR RX J1713.7-3946は、X線帯域において熱的成分が非常に弱いSNRとして知られている。この1つの可能性として、SNの起源となった親星の種類に起因すると考えられている (Bamba 2014)。この内、親星の質量については熱的X線のスペクトル解析が有効な手段であるが、このSNRでは放射が非常に微弱であることから、現状では解明が進んでいない。一方で近年、このSNRの中心で「ejecta由来の熱的X線」が検出され、元素組成比より親星の質量は $20M_{\odot}$ 以下であると推定された (Katsuda et al. 2015)。

本研究では、X線観測衛星「XMM-Newton」によるSNR RX J1713.7-3946からの熱的X線放射を捉える観測にて観測された、東部に位置するknotに注目し、解析を行った。このknotは、従来ウォルフ・ライエ星 (WR85) であると考えられていた (Pfeffermann et al. 1996) が、WR85は今回の解析によりknotの中心から $32.6''$ 離れている事、またknot構造は $1'$ 程度の広がりを持つことが判明し、我々はknotはWR85と関連がないと推測した。

このknotは視直径が $1'$ であることから、回折格子を用いたX線分光装置XMM-Newton/RGSで観測可能であった。そこで我々はRGSで取得した精密分光データの解析により元素組成比の測定に挑戦した。解析の結果このknot構造からは窒素、酸素、ネオン、マグネシウム、ケイ素、鉄の輝線が検出され、組成比はそれぞれ $1.8_{-0.9}^{+1.2}N_{\odot}$ ,  $0.4_{-0.1}^{+0.2}O_{\odot}$ ,  $0.9_{-0.2}^{+0.3}Ne_{\odot}$ ,  $1.0_{-0.2}^{+0.3}Mg_{\odot}$ ,  $1.0_{-0.2}^{+0.3}Si_{\odot}$ ,  $0.7_{-0.2}^{+0.3}Fe_{\odot}$ であった。窒素の組成比が高くそれ以外の組成比が低いことから、このknotは親星がRSGに進化した際に放出したCSMであると示唆される。また、酸素に対する窒素の組成比は $N/O = 4.4_{-2.8}^{+3.8} (N/O)_{\odot}$ と得られた。この結果と恒星進化シミュレーションの結果との比較により親星の初期質量を $\lesssim 20M_{\odot}$ 、特徴的な放射はRSG時の質量放出による周辺物質の密度低下が原因と推定した。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

## N11a 余剰次元とニュートリノ磁気モーメントによる中質量星のセファイド・ループの消滅

森寛治(東京大学), A. Baha Balantekin(ウィスコンシン大学マディソン校), 梶野敏貴(国立天文台), Michael A. Famiano(ウェスタン・ミシガン大学)

4 から 12 太陽質量程度の中質量星は、中心核でヘリウムが燃焼して炭素や酸素に変換されるにつれて、Hertzsprung-Russell 図上で光度がほぼ一定のループをえがく。これはセファイド・ループまたは青色ループと呼ばれる。このセファイド・ループがセファイド不安定帯を横切る場合、星の外層が脈動を起し、セファイド変光星として観察される。恒星モデルにおけるセファイド・ループの形状は入力する物理に敏感であるため、このループを基礎物理学の実験場として用いることが可能であると考えられる。一方、巨大余剰次元とニュートリノ磁気モーメントは、素粒子物理学的な動機から導入される、標準模型を超えた物理である。前者は Kaluza-Klein 重力子の励起によって、後者はニュートリノ生成率の上昇によって、それぞれ恒星からのエネルギー損失率を上昇させる効果を持つ。本研究では、これらの物理を取り入れた中質量星の進化を計算し、これらの物理がセファイド・ループの形状に与える影響を調べた。その結果、2つの余剰次元が存在する場合の真の重力スケールが 2 TeV より小さい、またはニュートリノの磁気モーメントが Bohr 磁子の  $2 \times 10^{-10}$  倍より大きい場合、10 太陽質量程度の星のセファイド・ループが消滅することが分かった。また、セファイド・ループが消滅しないとき、恒星がループに滞在する時間が標準的なモデルに比べて短くなる場合があることを明らかにした。

[スケジュール\(セッション毎\)に戻る](#)

[スケジュール\(全体\)に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

## N12a 太陽型星のスーパーフレアに伴う H $\alpha$ 線放射・プラズマ噴出現象の世界初検出

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

太陽/恒星フレアとは太陽/恒星表面での爆発・増光現象である。太陽フレアの場合、放射線や磁気プラズマの衝突といった形で地球環境に大きく影響を与えている。これまでの我々の研究により、太陽型星(G型主系列星)において観測史上最大級の太陽フレアの10倍以上の規模のフレア(スーパーフレア)が発生しうると示唆されており(Notsu et al. 2019)、太陽でスーパーフレアが発生したら地球はどうなるのか? という問題が社会的にも注目されている。その放射や質量放出現象の性質を調べためには、実際に太陽型星で発生しているスーパーフレアを多波長観測及び分光観測することが鍵である。ところが、太陽型星でのスーパーフレアの発生頻度は非常に低く、これまで多波長帯観測例は1件しかなく(X線&白色光, Guarcello et al. 2019)、可視分光観測例は一つもない。

今回我々は、TESS 衛星の測光モニタ観測に合わせ、京都大学せいめい望遠鏡を中心とした光赤外大学間連携により、若い太陽型星 EK Dra(自転周期 2.6 日、表面温度約 5730K) の約 20 日間測光・分光モニタ観測を実施した。その結果、TESS 衛星とせいめい望遠鏡・なゆた望遠鏡により 2 件のスーパーフレアを同時検出し、世界で初めて太陽型星スーパーフレアの H $\alpha$  線変化を得た。1 例目のエネルギーは  $3 \times 10^{34}$  erg(最大級の太陽フレア  $\sim 10^{32}$  erg) であり、H $\alpha$  線スペクトルは対称的な増光を示した。また、2 例目は 1 例目より小規模 ( $2 \times 10^{33}$  erg) であるものの、フレア後に H $\alpha$  吸収線が約 200-400km/s の速度で大きく青方偏移し、1 時間かけて減速する現象が発見された。この現象は、京都大学飛騨天文台で観測された太陽のプラズマ噴出観測とも定性的によく似ており、太陽型星スーパーフレアに伴うプラズマ噴出現象の、世界に例のない明確な証拠である。

[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](#)

## N13a 太陽型恒星コロナの系統的 X 線分光解析

志村拓馬, 山口友洋, 三石郁之 (名古屋大学), 高棹真介 (大阪大学), 國友正信 (久留米大学), 田中佑希 (東北大学), 石原大助 (宇宙研)

恒星風や恒星フレアの駆動源である恒星コロナの物理的理解は、惑星などを含む恒星周辺環境の進化過程を理解する上で必要不可欠である。恒星コロナは恒星表面に現れる磁場等により加熱されるため、その加熱源となる磁場の性質を調べる上で X 線観測は有用な手段となる。そこで我々は、最も身近な恒星として知られ、最も詳細に観測・理論研究が進められている太陽とのアナロジーを活かせる太陽型星に着目し、X 線特性を調査した。

まず我々は、連星系による潮汐作用、連星間での磁氣的相互作用や降着などの影響を避けるため、単独星に着目した。しかしながら一般的には単独星の X 線光度は連星系と比較して低いため、サンプル数は非常に限られている。そこで我々は単独の太陽型星サンプルを増やすため、250 / 70 万個を超える可視光 / X 線カタログとのマッチングを行い、サンプル候補を探した。最終的には、SIMBAD や Gaia にて連星系として登録されていないこと (Kervella et al., 2019) を確認した、比較的高統計な 8 サンプルを選定した。分光解析の結果、温度が  $\sim 0.3\text{-}0.8$  keV、X 線光度が  $\sim 10^{27\text{-}29}$  erg s $^{-1}$ 、Emission Measure (EM) が  $\sim 10^{51\text{-}52}$  cm $^{-3}$  であることを明らかにした。さらに、得られた温度と X 線光度 / EM の相関係数を調べたところ、どちらの値も 0.6 を超え、先行研究同様 (e.g., Güdel et al., 1997) 正の相関を示した。また 1 天体では  $1 \times 10^4$  s (FWHM) 程度の増光を検出した。この増光時、定常コロナ (温度:  $\sim 0.4$  keV, 光度:  $\sim 2.1 \times 10^{28}$  erg s $^{-1}$ , EM:  $\sim 2.2 \times 10^{51}$  cm $^{-3}$ ) に加え、新たに高温プラズマ (温度:  $\sim 0.9$  keV, 光度:  $\sim 9.3 \times 10^{27}$  erg s $^{-1}$ , EM:  $\sim 9.3 \times 10^{50}$  cm $^{-3}$ ) が検出され、その解放エネルギーは太陽での最大級のフレアに相当する。本発表では解析結果の詳細、太陽コロナとの比較について議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

## N14a ゼロ・低金属量星コロナからの高エネルギー放射に関する系統的研究

鷲ノ上 遥香, 鈴木 建 (東京大学)

表面对流を持つ小質量恒星の上空には、高温コロナ大気が存在する。コロナから放射される X 線や紫外線は、周囲の星間空間に大きな影響を与えうるものであり、恒星コロナの基本的性質を理解しておくことは重要である。特に、コロナの性質は星の金属量にも依存し、金属量の少ない星ほど強い X 線や紫外線を放射する傾向にあることが理論数値計算によって示されている (Washinoue & Suzuki 2019)。しかしながら、表面对流を持つ様々な質量の星に対するコロナ加熱計算や、不定性の大きい磁場への依存性についての調査がこれまでになされておらず、低金属量星コロナの統一的描像は未だ得られていない。

本研究では小質量ゼロ・低金属量星に対して、コロナからの高エネルギー放射の大半を担うループ加熱の 1 次元磁気流体数値計算を行った。幅広い質量や磁場環境のもとでコロナ加熱の計算を行うことで、低金属量恒星の基本的性質とコロナから放射される X 線・紫外線光度との関係を系統的に調査した。本講演では、コロナの性質に対する各物理量の依存性とゼロ・低金属量星コロナが発する輻射の役割について議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

## N15a 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 II

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), 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きた。その結果、15 例以上のフレアを検出し、複数の対照的な現象が観測された。例えば 1 例では、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 ( $-200\text{km/s}$  程度) が 2 度生じていた。別の例では、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  $\pm 400\text{km/s}$  以上にわたり概ね対称的に広がった。さらにフレア中ずっと青方偏移する例の報告 (Honda et al. 2018) も複数見られた。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](#)

## N16a せいめい望遠鏡と TESS, 小口径望遠鏡による M 型星フレアの同時測光分光観測

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

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。フレアによって放射される電磁波の波長ごとの放射強度やエネルギーの比率が、様々なスペクトルタイプの星で起こるフレア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を調べることは、フレアの電磁波放射メカニズムを理解する上で重要である。我々は、活動性の高い M 型フレア星の V388 Cas, YZ CMi, AD Leo のフレアをせいめい望遠鏡による分光観測と TESS や小口径望遠鏡による測光観測で同時に観測することに成功したのでその結果を報告する。

我々の観測期間中において、V388 Cas で分光と測光で同時観測に成功したフレアが 3 件、YZ CMi と AD Leo ではそれぞれ 4 件と 1 件であった。このうち V388 Cas では可視連続光の放射エネルギーが  $1.2 \times 10^{34}$  erg (最大級の太陽フレアの 100 倍程度に相当) のスーパーフレアを観測することができた。フレアのピーク時の可視連続光の放射強度 ( $L_{\text{cont.}}$ ) と  $H\alpha$  輝線の放射強度 ( $L_{H\alpha}$ ) の間の関係は、同じく M 型星の EV Lac のフレアで見られた関係 (前原他, 2020 年春季年会 Z427a) と、より広い放射強度の範囲でもほぼ同じであり、 $L_{H\alpha} \propto L_{\text{cont.}}^{0.5}$  であった。このような関係はフレアの 1 次元輻射流体計算の結果 (Namekata et al., PASJ in press) と定性的に一致する。また、フレアによって連続光と  $H\alpha$  輝線のそれぞれで解放されるエネルギーの間にも同様の関係がみられた。講演ではフレアの連続光と  $H\alpha$  輝線の放射強度・エネルギーの比率と、光度曲線の特徴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](#)

N17a K型主系列星 PW And における自転に伴う H $\alpha$  輝線の変化

村瀬洸太郎, 本田敏志 (兵庫県立大学)

太陽・恒星における磁気活動とは対流層から生じる磁気をエネルギー源として黒点付近で熱/運動エネルギーとして放出するフレアなど全体を指し示す。PW And は K2V 型の若く ( $\approx 20$  Myr) 比較的自転周期の短い ( $\approx 1.76$  day) 活動性の高い天体であることが知られており、実際フレアが多数観測されている。ドップラーイメージングの作成から星の半径が  $1.16R_{\odot}$  でありながら表面に太陽黒点の 10~100 倍の黒点を持つことが報告されている (Strassmeier & Rice 2006)。Santiago et al. (2013) は測光観測による変動と分光観測による H $\alpha$  線強度の変動に相関関係があると主張している。しかし、その観測は十分ではなく結論や詳細な関係性を議論するには足りていない。本研究では PW And の自転周期全体で、活動領域を反映する H $\alpha$  輝線の分光モニタ観測を実施することで、自転と活動領域の関係について確認することを目的とした。

我々は、西はりま天文台 2.0m なゆた望遠鏡/低分散分光器 (MALLS) を使用し、彩層活動を反映する H $\alpha$  線を中心とした分光モニタ観測 ( $R \sim 10,000$ ) を 2019 年 10 月から 2020 年 6 月にかけて行った。また、光度の変化を捉える為 TESS 衛星の測光データを用いた。解析時には同じスペクトル型の参照星を用いて差分スペクトルの作成を行い、その H $\alpha$  輝線の等価幅を用いて変動を調べた。観測結果から H $\alpha$  輝線の強度は測光データから見積もった自転周期に対して光度が下がるフェーズで輝線が強くなっていることが分かった。また、自転に伴うと考えられる数日での変化に加え、より短いタイムスケールでの変動も見られた。Li の等価幅においてはこのような変化は見られなかった。測光データと H $\alpha$  輝線の変化から黒点と活動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](#)

## N18a 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)

彩層活動の起源は光球のダイナモ活動にある。ロスビー数  $N_R$  (= 自転周期/対流層の回転時間) が小さいほどダイナモ活動が活発であり、強い彩層輝線を示す (Marsden et al. 2009)。Noyes et al. (1984) は F, G, K 型主系列星のロスビー数と Ca II HK 輝線の強度の依存関係から、混合距離パラメータ  $\alpha$  ( $= \frac{l}{H_p}$ ;  $l$  は混合距離,  $H_p$  は圧力スケールハイト) を求めた。 $\alpha$  からは対流速度とコリオリ力を計算できる (Deinzer 1965)。恒星のコリオリ力とローレンツ力は釣り合う (Baliunas et al. 1996) ので、彩層輝線の観測から磁場強度を測定できる。

前主系列星は速い自転速度と分厚い対流層を持ち、ダイナモ活動が活発であると予想される。近赤外 Ca II 三重輝線 ( $\lambda 8498 \cdot 8542 \cdot 8662 \text{ \AA}$ ) を観測したこれまでの研究 (Yamashita et al. 2020, submitted; 天文学会 2019 年秋季年会 P114b) により、前主系列星は自転が速い零歳主系列星並みに明るい近赤外 Ca II 三重輝線を示し、ダイナモ活動を起源とする彩層活動を持つことが判明した。前主系列星の Ca II 三重輝線の強度はロスビー数に対して一定であり、表面の全体を光学的に厚い活動領域が占めることが示唆される。ゆえに  $\alpha$  の測定には Ca II より光学的に薄い原子の輝線の解析が必要である。

VLT/UVES のアーカイブを用いた予備調査では、零歳主系列星 9 天体、前主系列星 6 天体の Mg I 輝線 ( $\lambda 8808 \text{ \AA}$ ) を解析した (天文学会 2020 年春季年会 P104b)。いずれの天体でも Mg I 線は狭輝線成分を持ち、その強度は零歳主系列星の Ca II 三重輝線より暗かった。そして  $N_R > 10^{-1.6}$  でロスビー数  $N_R$  と Mg I 輝線との負の相関があり、Mg I 輝線は光学的に薄いと考えられる。本講演ではすばる望遠鏡/高分散分光器 HDS と Anglo-Australian 望遠鏡による数十天体のアーカイブデータを加え、Mg I 輝線の自転活動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](#)

## N19a ベテルギウスの今季大減光期における有効温度と有効半径の変化について

大島 修 (岡山理科大学), 藤井 貢 (藤井黒崎観測所)

2019/2020 年冬におけるベテルギウスの減光は、一般社会においても注目を浴びるほど著しく、J ハーシェルの変光発見以来の記録を調べてみたところ最大の減光と言えることがわかった。筆者らはそれぞれの観測所の 30/40cm 望遠鏡と低分散分光器の組み合わせで、2019 年 12 月下旬から 2020 年 5 月下旬まで延 125 夜に渡り分光観測を実施し、スペクトルの変化を記録した。その結果、可視域 TiO バンドは V 等級の変化に伴い吸収の変化を示すことがわかった。そこで、可視域 TiO 吸収帯の凹み量を等価幅として測定し (仮に擬似等価幅と呼ぶ) 有効温度の指標として使えるかどうかを検討した。

まず、これまで蓄えていた 97 個の M 型星のスペクトルを用いて、可視域 8 箇所の TiO バンドの擬似等価幅と M 型サブクラス間の相関を調べた。その結果、吸収帯毎に 3 次の実験式で擬似等価幅から M 型サブクラスへ変換できること、光度階級の違いによる分布の違いは見られないこと、したがって純経験則としてある程度の精度で TiO の擬似等価幅が有効温度の推定に使えることを確認した。

この方を用いて、今季大減光期におけるベテルギウスの有効温度の変化を調べた。また、AAVSO の J バンド測光データから輻射等級を求め、先の方法で得られた有効温度と合わせて、有効半径の変化を求めてみた。その結果、V 等級と有効温度の変化は、少しの位相遅れを持ちながらも正の相関があること、有効半径も同じく正の相関があることなどがわかった。

[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](#)

## N20a 褐色矮星の大気構造およびスペクトル形状へのダストサイズ依存性

空華智子 (国立天文台), 小林浩 (名古屋大学)

褐色矮星は、恒星と惑星との中間の質量や温度を持つ天体である。褐色矮星の大気は分子によって支配されており、それに加え重元素で構成されるダストが存在しているため大変複雑である。そのため、分子やダストにより特徴づけられるスペクトルも大変複雑で理解が難しい。我々の研究を含めたこれまでの研究により、既存の局所熱力学平衡および太陽元素存在量を仮定した静力学的な大気モデルでは観測スペクトルを完全に説明できないことがわかってきている。これに対し、我々は、これまでに、元素存在量の太陽組成からのずれや、放射対流平衡からずれた大気構造の可能性について調査してきた。大気モデル UCM にこれらを組み込むことにより、複数の褐色矮星の観測スペクトルを再現できることが明らかとなったが、一方で、再現できない天体も存在することがわかった。

そこで我々は、今回、重元素ダスト (iron, MgSiO<sub>3</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) のサイズ (これまで UCM では一律 0.01 μm が適用されてきた) に着目し、大気構造 (温度-圧力構造) やスペクトルの形状へのダストサイズ依存性を調査した。その結果、サイズによる opacity の違いは大気構造に変化をもたらし、赤外線天文衛星「あかり」の観測波長領域のスペクトルもダストサイズに影響を受けることがわかり、「あかり」で観測した褐色矮星の中には、これまで適用してきたダストサイズ (0.01 μm) より大きいダストサイズの方が観測スペクトルをより説明しうる天体が存在することを明らかにした。一方、ダストサイズを大きくしても観測スペクトルを説明できない天体も存在することもわかった。本講演では、これらの結果の詳細を紹介する。

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

## N21a KWFC 銀河面変光天体探査 (KISOGP)–V

松永典之 (1), 前原裕之 (2,3), 浮田信治 (2), 坂本強 (4), 小林尚人 (1), 青木勉 (1), 征矢野隆夫 (1), 樽澤賢一 (1), 猿楽祐樹 (5), 三戸洋一 (1), 酒向重行 (1), 諸隈智貴 (1), 土居守 (1), 中田好一 (1), 泉奈都子 (6), 板由房 (7), 小野里宏樹 (8); (1) 東京大, (2) 国立天文台, (3) 京都大, (4) 元・日本スペースガード協会, (5) 京都産業大, (6) 茨城大, (7) 東北大, (8) 兵庫県立大

銀河面領域は多くの星が集まっている銀河系の骨格部分であるが、強い星間減光が起こっているためにそこにある星の分布などよく分かっていないことも多い。2MASS、WISE などによる赤外線大規模測光探査によって、様々な研究が行われるようになってきたが、反復観測を必要とする変光星の探査はいまだ不十分である。

そこで、木曾シュミット望遠鏡と超広視野カメラ KWFC(視野 4 平方度) を使い、KWFC Intensive Survey of the Galactic Plane (KISOGP) と名付けた変光星探査を 2012 年から 2017 年に行った。銀経 60–210 度の約 330 平方度にある脈動変光星や食連星、突発天体などの変光星を探し出し、銀河系円盤の構造を描き出すこと、および各種新天体のリストを作成し詳細な研究にターゲットを提供することが目的である。

KISOGP のターゲットは *I* バンドで 9–17.5 mag 前後であり、Gaia DR2 カタログとの比較により、16.5 mag あたりまでは約 80 % の完全性で天体を検出している。約 700 万天体に対する反復観測データを調べた結果、これまでの解析で 5 万天体以上の変光を検出した。このうちの 80 % 以上は、過去に変光天体として報告されていなかった。この中には、多くの食連星、ミラやセフィイドのなどの脈動変光星の他、星形成領域にある若い変光天体も数多く含まれる。現在、共同研究者と変光星カタログや各種データを共有し、出版・公開に向けて準備を進めているところである。本講演では、データ解析やどのような変光星を検出したかを概観する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

## N22a AKARI, WISE によるダストに埋もれた AGB 星の中間赤外線長期変光調査

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

宇宙にあまねく存在するダストの起源や供給過程は不明確である。その解明の糸口として、主なダスト供給源の 1 つである AGB 星の研究が精力的に行われており、理論的な研究ではダスト放出現象において脈動が大きな役割を持つことが提唱されている。これを検証するために、ダスト供給量が多いと推測される、ダストに埋もれた AGB 星の脈動変光に着目した。ダストに埋もれた AGB 星は大変赤く、長周期変光を示すことから、その脈動の様子を捉えるには、放射エネルギーの大半を占める中間赤外線領域 (波長 10–30  $\mu\text{m}$ ) での長期間の変光の調査が最適である。我々は AKARI および WISE のスキャンごとのデータを解析し、波長 18  $\mu\text{m}$  での変光の様子を調べ、中間赤外線カラーなどの観測指標との関連を調査した。二つの観測時期の異なる衛星のデータを用いる事で、ダストに埋もれた AGB 星だと考えられる 789 個の OH/IR 星について 2006 年から 2011 年の 5 年間に渡る長期間の変光データを抽出した。また、他波長域のモニタ観測で得られた変光周期を利用することで 13 天体の振幅等の変光情報を決定した。その結果、[18  $\mu\text{m}$ ] 振幅と [12  $\mu\text{m}$ ]–[22  $\mu\text{m}$ ] カラーに相関を発見した。続いてこの相関の意味を探るため、星周ダストの輻射輸送計算を行なった。その結果、振幅とカラーは脈動強度を示す光度変化率とダスト形成量の良い指標となることが確認され、ダストに埋もれた AGB 星のダスト放出現象において、脈動が鍵となることを示唆した。さらに周期光度関係を調べた結果、3 天体は AGB 星で一般的な基本振動モードになり (系列 D) ことが明らかとなった。この結果はダスト形成量が振動モードに依存しない可能性を示唆する結果である。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](#)

## N23a 天の川銀河のミラ型変光星と漸近巨星分枝星の進化の金属量依存性

浦郷陸, 面高俊宏 (鹿児島大学) 藤本正行 (北海道大学)

低・中質量星は、漸近的巨星分枝 (AGB) に到達すると、大規模な質量放出を行うことで宇宙のガス・塵の循環の中心になるが、終末進化から質量放出に至るその全容の解明にはさらなる理解が必要である。ミラ型変光星は AGB 段階に対応し、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) を持っている。また、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。先行研究では天の川銀河 (Milky Way, MW) に多く存在する周期 500 日程度の O-rich のミラ型変光星に対し、VERA による位置天文観測を実施し、距離から PLR 上の位置を求めた。その結果、C-rich への生成機構と O-rich の進化について、LMC との間に違いがあることを明らかにした (Urago et al. 2020, James et al. 2020)。

本研究では MW のミラ型変光星の全体像を明らかにするために、絶対光度の PLR と周期分布を作り、大マゼラン雲 (Large Magellanic Cloud, LMC) と比較し、C-rich と O-rich の分布について、特徴と金属依存性を調べた。使用したサンプルは、MW は変光星総合カタログ (General Catalogue of Variable Stars; 7821 天体) で LMC は OGLE-III カタログ (1663 天体) から取得した。距離は VERA の年周視差と LMC の  $3.4\mu\text{m}$  の PLR から求め、2MASS、AKARI、WISE、COBE の近中間赤外線測光データから化学組成と絶対光度を求めた。その結果、周期分布と絶対光度は MW と LMC で異なっていた。周期分布は LMC では O-rich と C-rich が  $\log P \sim 2.3$  で切り替わるのに対し、MW では、O-rich と C-rich がともに、 $\log P = 2.5-2.6$  にピークを持つ。講演では、本研究の結果が示唆する、AGB 星の終末進化とその変遷 (金属量依存性) についてのシナリオを議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

## N24a AGB 星周縁における光学的厚みと $\text{CO}$ , $^{13}\text{CO}$ ( $J=1 \rightarrow 0$ ) 輝線強度比

甘田溪, 深谷紗希子, 今井裕, 新永浩子 (鹿児島大学), Peter Scicluna, Francisca Kemper (ESO), Naomi Hirano (ASIAA), Sundar Srinivasan (UNAM), Sofia Wallstrom (KU Leuven) and NESS Team

NESS (Nearby Evolved Stars Survey) チームは、太陽系から 2kpc 以内にある AGB 星周縁にある  $^{12}\text{CO}$ ,  $^{13}\text{CO}$  ( $J=3 \rightarrow 2$ ,  $2 \rightarrow 1$ ) と  $870\mu\text{m}$  ダスト連続波放射を JCMT (James Clerk Maxwell Telescope) 15m 鏡で観測している。我々 NESS-NRO チームは、これらの天体における低温度ガスの分布を明らかにすることを目的として、2018 年の 3-4 月と 2019 年の 3-4 月に野辺山 45m 鏡を用いて、 $^{12}\text{CO}$ ,  $^{13}\text{CO}$  ( $J=1 \rightarrow 0$ ) 輝線の一点長時間 (42 天体) とマップング観測 (18 天体) を行った。その結果、一点長時間観測により得られたスペクトルから計算した質量放出率と星周縁の直径には正の相関がみられた。また、 $^{12}\text{CO}$  輝線が 3000-120000AU まで広がっていることがわかった。さらに、マップ上で  $^{12}\text{CO}$  と  $^{13}\text{CO}$  がともに検出した 8 天体について、 $^{12}\text{CO}/^{13}\text{CO}$  輝線強度比がほぼ一定のまま動系方向に分布していることがわかった。昨年度は、これらの結果を発表した。

今年度は、新しい結果について発表する。上述した 8 天体の  $\text{CO}$  マップに基づいて、RADEX を用いて視線方向に沿って輻射輸送を解いていくことにより、マップの数値シミュレーションを行った。星周縁を細かい三次元グリッドに分割し、あるグリッドの出力を視線方向に沿った隣のグリッドの入力として使った。この処理を視線方向に沿って繰り返し、マップ上のすべてのグリッドに対して行った。o Cet では、 $^{12}\text{CO}$  の光学的厚みが中心星付近 ( $<275\text{AU}$ ) では 0.2 程度、最も外側のガス (約  $4100\text{AU}$ ) では 0.01 程度であった。また、 $^{12}\text{CO}/^{13}\text{CO}$  輝線強度比と  $^{12}\text{CO}/^{13}\text{CO}$  柱密度比は、動経方向にほぼ一定の分布がみられた。これにより、直近の約 9300 年間に放出された物質の中に、AGB 星内部の核融合反応について劇的な変化の痕跡が見られないことがわかった。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

## N25a ミラ型変光星かんむり座 S 星の星周縁における衝撃波伝播パターンの発見

今井 裕, 濱江勇希, 甘田 溪 (鹿児島大学), FLASHING チーム

ミラ型変光星は、規則的かつ大きな振幅を持った周期的変光を持つ星であり、同時に星表面から激しく物質を放出している。今回我々は、この様な星の 1 つであるかんむり座 S 星 (S CrB) から放出された物質が形成する星周縁の中に、星表面で形成され外側へと伝播する衝撃波のパターンを発見したので、その詳細について報告する。この星周縁で光の一酸化珪素 (SiO) 及び水 (H<sub>2</sub>O) のレーザー放射を、野辺山 45m 電波望遠鏡を用いて 2 回の冬-春シーズンに掛けて高頻度で (30 回以上) 観測したところ、レーザースペクトルのフラックス密度ピークの視線速度が、星の脈動変光と同調して周期的に変化するのを、はっきりと捉えた。正弦波関数では説明ができない時間変化のプロファイル、その他の星のレーザー源では周期的変化が見られない、等から、今回発見した周期的振る舞いは S CrB 固有のものだと判断できる。従来は、はっきりと確認できるフラックスの周期的変化だけが注目され、その起源は星の変光によるレーザー励起効率の周期的変化だと説明されてきた。今回、高頻度で、かつレーザー減光時においても信号雑音比の高いスペクトルを取得できたお陰で、変化の幅が小さい ( $< 0.2 \text{ km s}^{-1}$ ) 視線速度変化を初めて捉えることができた。この視線速度変化は、レーザー発光する特定のガス塊のそれではなく、レーザー発光する領域の移動に伴って見えるものだと考えられる。実際レーザー発光領域自体は、中心星を取り巻く様にリングあるいは弧状パターンを描く輝点群として分布している。脈動変光星を中心として同心円状に外側へと伝播していく衝撃波が作り出す比較的整然として周期的な速度パターンが存在し、そこを各々のレーザーが励起される範囲内で周期的にスキャンしていることが示唆される。こうして、強度変化はレーザー増幅の効果もあって不規則になろうとも、視線速度については連続的かつ系統的に変化していくことが説明できる。

[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](#)

## N26a 熱パルス AGB 段階での磁気駆動風への脈動の影響

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)

熱パルス AGB 段階において脈動が質量放出現象やダストの形成量に影響すると考えられる。そこで我々は磁気駆動機構におよぼす脈動の影響を評価するために MHD モデル (Yasuda et al. 2019) を拡張している。今回は以下の 2 種類のモデル (A と B) を考える。モデル A では脈動を磁束管内でのピストン運動であると近似する。(波を注入する) 内部境界の基準位置を星表面より内側へ設定し、正弦運動させる。また磁束管は時間変動しないとした。脈動の影響はピストン運動の周期  $P$  と速度振幅  $\Delta u_p$  で決められる。一方モデル B では内部境界は星表面に固定し、磁束管の外側で脈動により大気を持ち上がり、圧力 scale height が増大しその結果磁束管の形状が時間と共に変化する。この場合、脈動の影響は周期  $P$  と圧力 scale height の増大因子  $\alpha_p$  で決められる。

(表面磁場は 2G、脈動周期は  $P=649$  日とした) IRC+10216 からの磁気駆動風モデルについて以下の結果を得た。モデル A の場合、ピストン運動が大きくない ( $\Delta u_p \leq 3 \text{ km s}^{-1}$ ) 限りにおいて脈動は星風特性 (質量放出率  $\dot{M}$  やガス速度  $v_{\text{gas}}$ ) に影響しない ( $\Delta u_p = 3$  (0)  $\text{ km s}^{-1}$  の場合、 $\dot{M} = (3.4) 3.2 \times 10^{-5} M_{\odot} \text{ yr}^{-1}$ ,  $v_{\text{gas}} = 1.8$  (1.8)  $\text{ km s}^{-1}$ )。これは磁束管が超動径的に広がるためピストン運動によって表面近傍でガス密度があまり増大しないこと、さらに内部境界が周期的に内側に移動するためより多くの波が外側へと伝搬できず減衰することによる。しかしさらに  $\Delta u_p$  を増大させると一時的に内部境界が星表面にまで達することが影響し  $\dot{M}$ ,  $v_{\text{gas}}$  ともに増大する。 ( $\Delta u_p = 4.5 \text{ km s}^{-1}$  の場合、 $\dot{M} = 3.1 \times 10^{-4} M_{\odot} \text{ yr}^{-1}$ ,  $v_{\text{gas}} = 8.8 \text{ km s}^{-1}$ )。一方モデル B の場合、 $\alpha_p$  を増大させると磁束管の圧縮に伴い磁束密度が増大しその結果  $v_{\text{gas}}$  が増大した。 ( $\alpha_p = 5$  (0) の場合、 $\dot{M} = 0.88$  (1.2)  $\times 10^{-5} M_{\odot} \text{ yr}^{-1}$ ,  $v_{\text{gas}} = 15$  (6.3)  $\text{ km s}^{-1}$ )。本講演では計算結果を示し、今後のモデルの拡張について議論する。

[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](#)

## N27a 非変光 OH/IR 星の近赤外線長期増光現象の発見

上塚貴史, 中田好一, 大澤亮, 三戸洋之, 浅野健太朗, 宮田隆志 (東京大学), 柳澤顕史, 泉浦秀行 (国立天文台), 板由房 (東北大学), 小野里宏樹 (兵庫県立大学), 植田稔也 (デンバー大学)

小・中質量星 (1-10 太陽質量) は漸近巨星分枝 (AGB) 段階を終えると、AGB 段階において活発であった脈動変光や質量放出を停止し、その次の進化段階である post-AGB 段階へ移行すると考えられている。このような段階にあるとされる天体が非変光 OH/IR 星である。この見方が正しければ、非変光 OH/IR 星では質量放出の停止に伴い星周のダスト形成が停止し、時間とともに星周ダストシェルの晴れ上がりが進行すると考えられる。これにより星周減光が低下することで、近赤外線領域 (*JHK* バンド) における増光・青化が起きると期待される。本研究ではこのような現象の有無を、2MASS・UKIDSS・OAO WFC のサーベイデータを用いて調査した。

既知の非変光 OH/IR 星 16 天体に対して調査した結果、6 天体について比較可能な複数エポックの観測データ (期間: 1997-2017 年) を取得することに成功し、これらの天体がすべて増光していることがわかった (*K* バンド増光率:  $0.010-0.331 \text{ mag yr}^{-1}$ )。6 天体のうち 3 天体については、複数バンドの時間変化データを取得することに成功し、3 天体の近赤外線カラーは無変化、もしくは赤化していることがわかった。これらの観測結果について、星周ダストシェルの晴れ上がりによる星周減光の低減で説明できるかどうかを検証した結果、OH31.0-0.2 に見られた大きな *K* バンド増光率 ( $0.331 \text{ mag yr}^{-1}$ ) と OH53.6-0.2 に見られた (*J-K*) カラーの赤化 ( $0.013 \text{ mag yr}^{-1}$ ) は、星周ダストシェルの晴れ上がりでは説明できないことがわかった。この結果は、これまでの描像に含まれない恒星の光度・温度変化や新規のダスト形成などの現象が起きていること示唆する。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](#)

## N28a The common envelope evolution beyond the dynamic in-spiral: homologous dynamics and dust formation

Roberto Iaconi, Keiichi Maeda, Takaya Nozawa, Orsola De Marco and Thomas Reichardt

We study the asymptotic behaviour of the common envelope expansion after the dynamic in-spiral terminates. We use the SPH code PHANTOM to simulate a  $0.88 M_{\odot}$ ,  $83 R_{\odot}$  RGB primary and a  $0.6 M_{\odot}$  companion system, then we follow the ejecta expansion for  $\simeq 50 \text{ yr}$ , way beyond the termination of the dynamic in-spiral. We show that, as time passes, the envelope's radial velocities dominate over the tangential ones, hence allowing us to apply an homologous expansion kinematic model to the ejecta. It takes  $\simeq 5000 \text{ days}$  ( $\simeq 14 \text{ years}$ ) for the bulk of the ejecta to achieve the homologously expanding regime. We observe that the complex distribution generated by the dynamic in-spiral evolves into a more ordered, shell-like shaped one in the asymptotic regime. In a novel approach, we apply the dust formation model of Nozawa et al. on the expanding ejecta. We show that dust forms efficiently in the window between  $\simeq 300 \text{ days}$  (the end of the dynamic in-spiral) and  $\simeq 5000 \text{ days}$ . The dust forms in two separate populations; an outer one in the material ejected during the first few orbits of the companion inside the primary's envelope and an inner one in the rest of the ejected material. The inner dust population dominates the grain size distribution at the end of the simulation. We are able to fit the grain size distribution at the end of the simulation with a double power law. The slope of the power law for smaller grains is flatter than that for larger grains, but the power law exponents are different from the classical values determined for the interstellar medium. We also estimate that the contribution to cosmic dust by common envelope events is not negligible and comparable to that of novae and supernovae.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

## N29a 水素輝線等価幅とバルマー逓減率のモニタリングから探る Be 星の円盤構造

石田光宏 (横浜市立戸塚高等学校)

Be 星 (カシオペア座  $\gamma$  型変光星) とは、数か月から数十年のタイムスケールで変光する星であり、爆発型変光星に分類される。光度階級が III-V の B 型星のうち、過去に一度でも水素の輝線がみられたものは Be 星と呼ばれる。水素輝線の放射メカニズムとしては、星が高速で自転しているため赤道周りにガス円盤を作り、そこから輝線が出るというのが定説となっている。しかし、ガス円盤の起源や変動のメカニズムについては、明らかになっていない。1900 年代より、様々な Be 星の水素輝線等価幅のモニタリングが報告されている。等価幅の増減と円盤の拡大・縮小は対応していると予想される。このように、円盤の起源を探るには、長期的な分光観測が有力な手段であると言ってよい。本研究では、水素輝線等価幅に加え、観測の報告が少ないバルマー逓減率の変動も調べた。バルマー逓減率とはバルマー輝線の放射流束の相対値として定義され、本研究では  $H\alpha$  輝線等価幅と  $H\beta$  輝線等価幅の比を用いた。観測は 2018 年 9 月から 2020 年 3 月まで、横浜市鶴見区にある横浜サイエンスフロンティア高校天文台の 30cm 望遠鏡+低分散分光器を用いて行った。観測対象は  $\delta$  Sco、 $\pi$  Aqr、 $\kappa$  Dra、 $\phi$  Per、 $\psi$  Per、 $\beta$  CMi、66 Cyg で、合計 43 夜の分光観測を行った。水素輝線等価幅に関しては、過去の観測で得られた傾向と大きく異なることはなかった。一方、バルマー逓減率に関しては、有意な変動を示す天体が複数あった。Be 星は伴星を持つものが多く、伴星の近星点通過時期と照らし合わせたところ、近星点に近づくにつれてバルマー逓減率が増加する傾向にあることが分かった。これは、伴星が円盤に影響を与えている可能性があることを示唆している。過去にも、Be 星プレオネの分光観測から、伴星の近星点通過時に、水素輝線プロファイルが変化したという報告がある (例えば 2017 年秋季天文学会 本田 他)。本発表では、これらの解釈について議論したい。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)[スケジュール \(全体\) に戻る](#)[講演者索引 TOP に戻る](#)N30a  $\gamma$  Dor 型脈動変光星で検出されるロスビー・モードを用いた内部構造診断

高田 将郎 (東大理), R.-M. Ouazzani (パリ天文台), 齊尾 英行 (東北大理), S. Christophe (パリ天文台), J. Ballot (トゥールーズ大学), V. Antoci (デンマーク工科大学), S.J.A.J. Salmon (ジュネーブ天文台)

恒星表面で検出される振動から内部の構造を探るとい星震学の研究は、近年カラー、ケプラー等の宇宙探査機による観測によって飛躍的に進展した。特に大きな成果の一つは、さまざま星の内部自転構造が明らかになってきたことであり、恒星内部で角運動量がどう輸送されるかという問題に貴重な情報を与えている。

本研究では、かじき座ガンマ ( $\gamma$  Dor) 型変光星という太陽の 1.4 倍から 2 倍の質量をもつ主系列星に注目する。この星は太陽に比べて自転が速い (周期約 1 日) ため、振動はコリオリ力の影響を強く受ける。最もよく検出される振動は、ケルビン・モードとよばれる赤道付近で大きな振幅を持つものであり、これを用いた内部構造診断法については、既に研究が発表されている。その原理は、横軸に振動モードの周波数、縦軸に隣り合う周波数の差の平方根をとって図 (診断図) を作ると、観測点はほぼ一直線にならび、その横座標軸との交点が内部自転周波数の平均値を与えるというものである。一方今回の研究では、最近同定されたもう一つのタイプの振動であるロスビー・モードを用いた方法を考案する。これは、(地球上でも観測される) ロスビー波で構成される固有振動モードであり、中緯度付近に大きな振幅を持つ。今回の方法は、ケルビン・モードの場合の診断図による方法の拡張であり、両者を統一的に捉えることができる。発表では、この方法を実際の観測データに適用し、得られた結果をケルビン・モードの場合と比較して議論する。

[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](#)

## N31a The chromospheric helium line at 10830 Å: observational trends with stellar parameters and the synthetic spectra

Mingjie Jian, Noriyuki Matsunaga, Daisuke Taniguchi, and WINERED team

The stellar helium abundance is an essential parameter which is expected to provide important clues on several important astrophysical questions. They include 1) the formation of more than one main-sequences/red-giant-branches observed in nearly all the globular clusters, and 2) the double red clumps found in a part of the Milky Way bulge. Helium abundance is believed to be enhanced in the second (and later) generation(s) in globular clusters and one of the double red clump, though the latter is still under intense debate. However, it is hard to determine the helium abundance of a late-type star spectroscopically. Previous studies show that the chromospheric helium line at 10830 Å has the potential to be used as a helium abundance indicator, but observations of this line have been insufficient. We observed the helium line of more than 150 late-type stars covering a wide range of stellar parameters using WINERED. We found that its equivalent width shows a systemic variation with effective temperature and metallicity. This systematic variation indicates that the structure of the stellar chromosphere also depends on effective temperature and metallicity in a systematic way. Once we construct the stellar chromosphere model for a given star, we can determine the helium abundance based on the helium 10830 Å line by using the spectral synthesis, for which we are going to present some results obtained with the NLTE spectrum synthesis program, PANDORA, by Dr. E. Avrett and collaborators.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

## N32a 近赤外線高分散分光器 WINERED : Mg、Si、Ca、Ti、Cr、Ni の化学組成導出に用いる YJ バンド中の吸収線の選定

福江慧、池田優二、河北秀世 (京都産業大学)、松永典之、近藤荘平、谷口大輔、鮫島寛明、小林尚人 (東京大学)、濱野哲史、安井千香子、辻本拓司 (国立天文台)、WINERED 開発チーム

京都産業大学神山天文台を中心とした 赤外線高分散ラボ (LiH) によって開発された近赤外線高分散分光器 WINERED (e.g. Ikeda et al. 2016) は、高分散 ( $\lambda/\Delta\lambda = 28,000$ ) かつ、高効率 (スループット  $> 50\%$ ) な近赤外線波長域 ( $0.91\text{--}1.35\ \mu\text{m}$ ) のスペクトルを取得でき、恒星の化学組成導出も精度よく行うことが可能である。これまでに晩期型星の化学組成解析を行ってきたおり、(1) ATLAS9 大気モデルを用いた Fe の組成導出、(2)  $z/YJ$  バンド中の豊富な原子や分子の吸収線の同定、(3) 同定した各元素の初歩的な組成解析について報告してきた (Kondo et al. (2019); 2013 年秋季年会 N05a; 2015 年春季年会 N04a; 2017 年秋期年会 N18a; 2019 年春季年会 N04b)。これらの解析には 2 つの晩期型星の高分散スペクトル ( $S/N > 500$ ) を用いており、ある程度の深さ ( $d > 0.03$ ) がありブレンドの影響の少ない 6 元素 (Mg、Si、Ca、Ti、Cr、Ni) の吸収線を YJ バンド内で約 200 本同定した。化学組成導出に重要なパラメータの 1 つがマイクロ乱流であるが、Kondo et al. (2019) で同定された Fe の吸収線を用いてモンテカルロ法からマイクロ乱流  $\xi_{\text{Fe}}$  を導出した。この  $\xi_{\text{Fe}}$  を採用して導出した 6 元素の組成は文献値と誤差範囲で合致した。一方で、Si と Ti の各 30 本以上の吸収線を用いて、各元素からマイクロ乱流  $\xi_{\text{Si}}$  と  $\xi_{\text{Ti}}$  を導出することができた。この  $\xi_{\text{Si}}$  と  $\xi_{\text{Ti}}$  を用いて導出した Si と Ti の組成は、 $\xi_{\text{Fe}}$  を採用した場合とは異なる結果が得られた。クラシカルな大気モデルを用いた化学組成解析の精度を高めるためには、より正確なマイクロ乱流の見積もりが必要であることが示唆される。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

## N33a SVC: 高分散分光スペクトルの連続波を高精度に規格化する新手法

谷口大輔, 松永典之, 小林尚人 (東京大学)

近年の高品質かつ大規模な恒星の高分散分光サーベイデータの登場により、高精度かつ自動的なデータ解析ソフトウェアの整備が期待されている。これらのデータ解析において、最も重要なステップの一つが連続波の規格化である。例えば晩期型星では多数の吸収線のために連続波の規格化が容易ではなく、しばしば規格化の精度が最終的な組成比の精度に強い影響を与える。実際、Jofre ら (2017) は複数のソフトウェアでの組成解析結果を比較し、ソフトウェアによって推定された連続波のレベルが $\sim 5\%$ 分散しうること、そしてこの分散が組成比に $\sim 0.2$  dex の分散を与えうることを確認した。このため、より高い精度で自動的に連続波を規格化する手法の開発が望まれる。

そこで我々は、2クラス分類問題を解く機械学習アルゴリズムであるサポートベクトルマシンを活用することで、連続波の規格化を自動で行う新たな手法である Support Vector Continuum normalization (SVC) を開発した。SVC はまずサポートベクトルマシンを用いてスペクトルから連続波に近いピクセル群を探し出す。続いて、このピクセル群をスプライン関数でフィットすることで連続波を推定し、規格化する。我々は SVC の性能をテストするため、赤色超巨星のモデルスペクトルに人工的な連続波関数をかけ合わせて得た疑似観測スペクトルを規格化する実験を行った。赤色超巨星はとりわけ多くの吸収線を持つ恒星の一種であるため連続波の規格化が難しく、SVC の性能をテストする良いターゲットとなる。規格化の精度の指標として、規格化された連続波のピクセル毎の分散を調べたところ、従来頻りに用いられてきた規格化アルゴリズムである sigma clipping を自動的に実行した場合は $\sim 2\%$ の分散が生じるのに対して、SVC は典型的に $\sim 0.5\%$ の精度で規格化できることを確認できた。この精度は手動で対話的に規格化する場合の精度に匹敵し、今後の多天体のデータ解析への活用が期待される。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

## N34a 金属欠乏星における二重線分光連星の割合

青木和光 (国立天文台), Li Haining (NAOC), 松野允郁 (グローニンゲン大学), 須田拓馬 (放送大学/東京大学)

星形成およびその後の星の進化、化学進化の理解において連星の割合は重要な観測量であるが、その推定には一般に長期にわたる観測を要する。最近では大規模分光サーベイのデータにもとづいた調査が進み、金属量依存性も議論されるようになってきているが、金属量の非常に低い ( $[\text{Fe}/\text{H}] < -2$ ) 領域での研究は少ない。そのなかで、一回の分光観測で検出可能な二重線分光連星の割合は観測的制限のひとつとなる。このような連星は、二つの星が似たような光度をもつこと、十分にスペクトル線が分離できるほどの速度差をもつような連星間距離の比較的小さな (数天文単位以下、周期 1000 日以下) 連星であることが条件となる。2013 年春季年会においては、SDSS によって発見された超金属欠乏星候補天体 137 個 (うち主系列ターンオフ星は 109 天体) の中に 3 個の二重線分光連星を検出したことが報告された (Aoki et al. 2015, AJ 149, 39)。今回報告するのは、分光サーベイ望遠鏡 LAMOST によって検出された金属欠乏星候補天体についてすばる望遠鏡を用いて高分散分光観測を行った 400 以上の天体についての結果である。このうち主系列ターンオフ星は約 240 天体であり、そのなかに二重線分光連星を 7 天体検出した。主星成分の等価幅解析から、天体の金属量は  $-3.3 < [\text{Fe}/\text{H}] < -1.8$  であり、いずれも金属欠乏星であることを確認した。今回検出された二重線分光連星の割合は SDSS で発見されたものの割合とよく一致する。Aoki et al. (2015) は観測の分解能と S/N 比から評価される二重線分光連星の検出効率を考慮すると、少なくとも約 10% の金属欠乏星が、周期約 1000 日以下の連星系に属すると推定した。今回の結果によりサンプルは 3 倍以上となったが、それによってもこの推定は支持される。

[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](#)

## N35a 金属欠乏星データベースと Gaia のクロスマッチで見る銀河系の星種族の分類

須田 拓馬 (放送大学/東京大学), 松野 允郁 (フローニンゲン大学), 青木 和光 (国立天文台), 勝田 豊, 山田 志真子, 藤本 正行 (北海道大学)

金属欠乏星データベース (SAGA データベース) は分光観測に基づく元素組成データを収集したデータベースであり、個々の星の起源や銀河の化学進化の痕跡を検証することができる。SAGA データベースには天の川銀河の星 5,406 個、および近傍矮小銀河 29 個にある星 6,210 個について、69 種の元素に関するデータが合計 124,849 個含まれている。

しかし、これらのデータには星の運動に関する情報がほとんど含まれておらず、個々の星がどの種族に属しているかを知るには元素組成パターンの解釈に頼るしかなかった。そこで我々は、SAGA データベースに登録されている星と位置天文衛星 Gaia が提供する公開データ Gaia DR2 に登録されている星の同定を行い、元素組成と星の位置、運動に関する統合されたデータの試作版を作成した (松野ら 2018 年春季、および秋季年会)。

本研究では試作版のデータベースの更新、拡張について報告する。新しいデータベースを用いて、ハロー星とディスク星の分離を行い、さらにディスク星については  $\alpha$  元素と運動による分類も行う。それぞれの種族について元素組成の傾向を検証し、矮小銀河の傾向と比較することで、銀河の形成過程について議論する。さらに、今後公開予定の Gaia DR3 に含まれる視線速度の情報を取り入れるべく、連星に関するデータ整備の準備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](#)

## P101a 初代星形成における星周円盤の非定常モデル

木村和貴, 細川隆史 (京都大学), 杉村和幸 (メリーランド大学)

初代星形成において星の周りできる降着円盤は系の進化に大きな影響を与える。円盤の分裂により新たな星ができ連星や多重星が形成される可能性があるほか、分裂に伴う降着率の変動は中心星への進化に影響を与える。こういった円盤の分裂を扱うのは3次元シミュレーションが理想的だが、長時間の時間発展やパラメータサーチなどはしばしば1次元モデルを用いて議論される。

これまで作られてきた初代星形成における星周円盤の1次元モデル (e.g. Tanaka & Omukai 2014, Matsukoba et al. 2019, etc...) はどれも定常降着が仮定されていた。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の環境へ適用した。さらに、3次元シミュレーションとの比較も行った。

作成したモデルを用いて、エンベロープから降着してくるガスの降着率や角運動量を変化させて円盤の進化を計算した。その結果、基本的にエンベロープから円盤への降着率に比べて円盤から中心星への降着率が小さいため、円盤が中心星に対して重くなることがわかった。この傾向は3次元シミュレーションでも見られた。この時、SLING AMPLIFICATIONにより Toomre  $Q$  が1より大きい場合でも円盤は重力的に不安定になる場合がある。また、円盤の構造はエンベロープからの降着率により大きく変化するが、回転にはほとんど依存しないこともわかった。さらに、円盤の構造がこれまでの定常モデル及び3次元シミュレーションとはどのような点で異なるのか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](#)

## P102a 磁場環境下での初代星形成過程

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), 富田賢吾 (東北大学)

初代星連星は重力波と関連する連星ブラックホールの有力な起源として注目されている。宇宙初期に磁場がある場合、磁気制動やMHDアウトフローによる角運動量輸送が、連星形成に大きな影響を及ぼすと考えられる。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、磁場がガス雲の分裂を抑制す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計算から得られたバロトロピック関係を用いており、ガスのダイナミクスと温度進化が整合的に解かれていないという問題がある。このような計算では、衝撃加熱や磁気加熱による温度進化への影響を反映させることができない。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た3次元MHDシミュレーションを用いて、始原ガス雲の高密度コアから原始星形成直後までの進化についての計算を行う。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、Ambipolar diffusion heating が始原ガス雲の温度進化にどれほど関与するのかを調べ、それらが収縮期の間の分裂によって生じた近接連星にどのような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](#)

## P103a 原始ガス雲の進化における Ly $\alpha$ 輻射の水素分子抑制効果について

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)

現在までの観測により、赤方偏移  $z > 7$  の宇宙において、質量が  $10^9 M_{\odot}$  程度の超大質量ブラックホール (SMBH) が存在していることが示されている。高赤方偏移での SMBH を形成するためのシナリオの 1 つとして、初代星形成時期の  $z = 20 - 30$  において、質量が  $10^5 M_{\odot}$  の種ブラックホール (BH) を形成するシナリオが考えられている。種 BH を形成するためには、原始ガス雲を  $10^4 \text{K}$  の高温に保つことが必要になる。原始ガス雲には金属元素が存在しないため、原始ガス雲の冷却作用は主に水素分子と水素原子が担うことになる。H 冷却では、8000K 程度までしか冷却されないが、 $\text{H}_2$  冷却によりガス雲は  $\sim 100 \text{K}$  程度まで冷却される。そのため、種 BH を形成するためには、 $\text{H}_2$  冷却を抑制する必要がある。現在までの研究では、近傍の初代星形成が行われたガス雲からの紫外線輻射により、ガス雲中の  $\text{H}_2$  形成を抑制する効果が考えられてきたが、十分な紫外線輻射を受けるためには、2 つのガス雲がごく近傍に存在しなければならず、種 BH 形成の確率は低いと考えられてきた。しかし、Johnson & Dijkstra (2017) の研究により、ガス雲の H 冷却の際に放出される水素 Ly  $\alpha$  光子により  $\text{H}_2$  形成の材料である  $\text{H}^-$  を破壊することにより、ガス雲が高温を保つために必要な外部紫外線輻射強度を小さくすることが示唆された。Johnson & Dijkstra (2017) の研究の問題点として、Ly  $\alpha$  光子の輻射輸送を正確に扱っていないため、議論が十分に行われていないことが挙げられる。そのため、本研究では、Ly  $\alpha$  輻射輸送をエディントン近似を仮定した 1 次元輻射拡散方程式を解くことにより評価を行う。また、ガス雲の進化を単調性を保証した Monotonicity-Preserving 法および近似リーマン解法 HLLC を用いた 1 次元流体計算を行うことで実行する。Ly  $\alpha$  輻射輸送および流体計算を組み合わせた計算を行うことにより、原始ガス雲の進化に対する Ly  $\alpha$  光子の効果を評価する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

## P104a 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 (放送大学), 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ベ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  $[\text{Fe}/\text{H}] = -2.5$  以下のもので 1000 近くにも及ぶ。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 (太陽質量の 0.8 倍以下) であり、その表面組成に形成当時の宇宙における核種合成、誕生後に蒙った組成の変成の痕跡を留めている。これらの恒星の組成の特性を読み解くことによって、初期宇宙、銀河形成期における星形成過程についての情報を得ることができる。観測からは、低質量星の形成効率 (鉄を生成する大質量星に対する) が現在の宇宙に比べて非常に低く、また、特異な表面組成を示すものが多くの割合を占める。とりわけ、炭素や中性子捕獲重元素組成の過剰を示す炭素過剰 (CEMP) 星が全体の 20-30% を占め、その割合は、金属量の多い種族 I や種族 II 星を桁違いに上回っている。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、CEMP 星が連星系で漸近巨星分枝星からの質量輸送によって形成されること、および、金属依存性など必要な条件を明らかにしてきた。これらの EMP 星の希少性、CEMP 星の過剰は、銀河系ハローを形作った星 および連星系形成過程が、現在の宇宙とは異なることを物語っている。

本講演では、これまでの炭素星形成過程、EMP 星の表面組成に刻まれた元素合成の変遷の痕跡の解析結果から導かれる、銀河系ハローの低質量星と連星系形成過程の特性とその変遷について報告する。加えて、これらの結果を敷衍して、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転生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](#)

## P105a Public Release of A-SLOTH: Ancient Stars and Local Observables by Tracing Haloes

Tilman Hartwig (University of Tokyo), Mattis Magg (University of Heidelberg), Li-Hsin Chen (University of Heidelberg), Yuta Tarumi (University of Tokyo)

I will present a new semi-analytical model to simulate high-redshift star formation in a cosmological context. Understanding the formation of the first stars, their feedback, and the various observable consequences of their properties is intrinsically a multi-scale problem that exceeds the capability of current numerical simulations. Semi-analytical models are suited to fill this gap and explore the parameter space of these processes. In this talk, I will present A-SLOTH (Ancient Stars and Local Observables by Tracing Haloes), our state-of-the-art semi-analytical model. The code runs on dark matter merger trees and includes self-consistent chemical, radiative, and mechanical feedback. We demonstrate that A-SLOTH reproduces various independent observables. This model has already been used to investigate the possibility of surviving metal-free stars, gravitational waves from the first stars, the nature of the Lyman-alpha emitter CR7, and to study metal-poor stars in the Milky Way. The versatile A-SLOTH code can be used by the community for making various predictions, such as star formation rates, black hole seeding scenarios, or high-z galaxy formation. The code will be made available to the community soon.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

## P106a 星団形成における輻射フィードバックについて

福島肇, 矢島秀伸 (筑波大学), 杉村和幸 (メリーランド大学), 細川隆史 (京都大学), 大向一行 (東北大学), 松本倫明 (法政大学)

大質量星は輻射や星風により星形成雲を破壊することで、その寿命や星形成効率を決定する。近傍銀河の観測によると、巨大分子雲における星形成継続時間は、超新星爆発が起こる時間よりも短いため、内部で形成された大質量星により雲が破壊されたことが示されている (Kruijssen et al. 2019)。また、近年行われた輻射流体シミュレーションによると、主に大質量星により形成される HII 領域が星形成雲の進化を制御することがわかっている (e.g., Kim et al. 2018)。一方、これらの研究では太陽金属量にだけ着目され、低金属量環境については調べられてこなかった。

本講演では、星形成雲における星団形成について、3次元輻射流体シミュレーションを用いて調べた結果について紹介する (Fukushima et al. 2020)。ここでは、適合格子計算法流体コード (SFUMATO; Matsumoto 2007) に Adaptive Ray-Tracing による輻射輸送 (Sugimura et al. 2020) および非平衡化学反応計算を実装した輻射流体コードを用いる。結果として、星形成効率は星形成雲の面密度及び金属量に依存することがわかった。例えば、太陽金属量では、星形成効率は面密度が  $\Sigma = 10$  から  $300 M_{\odot} \text{pc}^{-2}$  に上昇する際には、2%から 30%に上昇することがわかった。また、低金属量環境では、ダストによる電離光子吸収の抑制と電離ガスの温度上昇により輻射フィードバックが強化され、星形成雲の面密度に関わらず星形成効率が3割程度まで減少することを示した。また、星形成効率について、星形成雲の面密度及び金属量依存性を取り入れた解析的モデルを構築し、シミュレーション結果をうまく再現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](#)

## P107a 大質量近接連星の形成における磁気制動の重要性

原田直人, 平野信吾, 町田正博 (九州大学), 細川隆史 (京都大学)

大質量連星の多くは連星間距離が  $1\text{au}$  を下回るような近接した系であることが観測から明らかとなっている。大質量近接連星は重力波観測で見つかっている連星ブラックホールの起源天体となりうるため重要であるが、その詳しい形成メカニズムはわかっていない。磁気制動による角運動量輸送は連星間距離を短くする主要な機構として考えられており、先行研究では磁気流体シミュレーションや準解析的な手法を用いて磁気制動を考慮した連星間距離の進化が調べられている (e.g. Kuruwita et al. 2017, Lund & Bonnell 2018)。しかし、シミュレーションで2つの星を解像すると計算コストの問題から長時間の進化が追えない。一方、準解析的な手法では磁気制動の効果を正しく見積もることが出来ない。

そこで、本研究では磁気流体シミュレーションと解析モデルを組み合わせた新しい手法により、長期間に渡って磁気制動による角運動量輸送の効果が連星間距離に与える影響を調べた。シミュレーションは一様磁場のもと剛体回転している分子雲コアを初期条件とし、その後のコアの収縮を計算した。その際、原始星やその周りの円盤を解像しないほど粗く設定し、中心の高密度領域に持ち込まれる質量と角運動量だけを記録することで、長時間のシミュレーションを可能にした。続いて、Lund & Bonnell(2018)でも用いられている解析解を用い、シミュレーションにより得られた質量と角運動量を連星のものだと仮定することで連星間距離を見積もった。磁場の強さや初期の磁場と回転軸の傾きなどを変えた計算を行った結果、いくつかのモデルでは数十 au まで近接した連星系が形成されることがわかった。本公演では大質量近接連星の形成において磁場の果たす役割を示すとともに、磁気制動効率のパラメータ依存性を議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

## P108a 星団形成シミュレーションコード「ASURA+BRIDGE」

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

球状星団や young massive cluster など、質量が  $10^4 M_{\odot}$  を超える星団の形成シミュレーションは、既存のシミュレーションコードでは難しかった。その要因は大きく2つあり、1つめは、銀河の計算で用いられているような分解能の比較的低いコードを用いると、星団の星どうしの相互作用にソフトニング長を用いなければならず、星団の力学進化に重要な近接遭遇を正しく取り扱えない点である。2つめは、Sink 粒子を用いて星形成を扱うような高分解能シミュレーションの場合、要求される分解能が高すぎるため、 $10^3 M_{\odot}$  程度の質量の星団までしか計算できない点である。

そこで、本研究では、Fujii et al. (2007) で用いたツリー法とダイレクト法のハイブリッド法 (BRIDGE) を応用し、SPH 法を用いた流体計算コード ASURA (Saitoh et al. 2008) に組み込んだ「ASURA+BRIDGE」を開発した。ASURA+BRIDGE では、星同士の相互作用による軌道進化はダイレクト法と6次エルミート法を用いて解くため、ソフトニングを用いなくても星の軌道を高精度に計算することができる。また、本研究では、星形成過程は分解せず、銀河で用いるような密度に依存する星形成率を仮定した星形成を行うことで、大質量星団を取り扱えるようにしている。形成する星の質量は仮定した初期質量関数から決定するが、ローカルなガスの質量にも依存させて決める。これらの星形成スキームは、化学進化用ライブラリ CELib (Saitoh 2017) をベースに実装した (Hirai et al. 2020)。さらに、大質量星からのフィードバックを、HII 領域を解析的に求め、電離領域の粒子の温度を上げる手法と、その領域のガスに輻射圧によるキック速度を与える手法を実装した。本講演では、ASURA+BRIDGE を用いた、乱流を持つ分子雲からの星団形成シミュレーションの結果と、先行研究の結果との比較を報告する。

[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](#)

## P109a 分子雲形成期における多相星間媒質の時間発展

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

星間媒質の時間発展, 特に高密度領域の形成効率や乱流状態を明らかにすることは, 星形成の初期条件を理解するために重要である. さらに 10pc スケールで粗視化した星間媒質の平均量の時間発展を明らかにすることも, 銀河進化シミュレーションで星形成領域の時間発展を統合的に計算するために重要である. そこで我々はこれまで, 衝突 HI ガス流シミュレーションを系統的に実行し, 銀河円盤で典型的な過程と考えられる, 衝撃波圧縮が駆動して HI ガスから分子雲が形成される過程を計算してきた. 特に形成された多相星間媒質が, 上流 HI ガスの密度揺らぎ振幅とシミュレーションの空間分解能に対して持つ依存性を調査してきた. その結果速度分散の振る舞いが, 密度揺らぎ振幅が 10 パーセント程度を境にして変わることが報告した(2020 年春季年会 P140a).

さらに計算を進め, HI ガスの二相 (Warm Neutral Medium と Cold Neutral Medium) の質量比がこの密度揺らぎ振幅 10 パーセントを境に, 小揺らぎ領域では 1:9 へ, 大揺らぎ領域では 1:1 へ近づく傾向が明らかになった. これは小揺らぎ領域では衝撃波面が垂直衝撃波に近い構造で, その結果散逸が大きく cold ガスの形成が進む一方, 大揺らぎ領域では斜め衝撃波になる領域が増え, その結果散逸が小さく cold ガスの形成が抑制されていると考えられる. また多相星間媒質の平均密度と衝撃波伝播の平均速度を計測し, この媒質を一相近似する状態方程式を定式化した. その結果, 上流の密度揺らぎ振幅によらずに, 分子雲形成過程が等温過程より柔らかいと近似できることが明らかになった. 本発表ではこれらの内容を報告する.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

## P110a Massive Core/Star Formation Triggered by Cloud-Cloud Collision IV: Effect of Magnetic Field in High-Speed Collisions

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

We extend our study of effect of magnetic field on massive core formation to high-speed collision of unequal molecular clouds by performing magnetohydrodynamic simulations with sub-parsec resolution (0.015 pc) that can resolve the molecular cores. Initial clouds with the typical gas density of the molecular clouds are assumed to be immersed in various uniform magnetic fields, and turbulence is generated in those clouds. We assume a higher collision speed of  $20 \text{ km s}^{-1}$  that is in the range of typically observed collision speeds  $10\text{-}20 \text{ km s}^{-1}$  and compare the results with our  $10 \text{ km s}^{-1}$  results. We identify gas clumps with gas densities greater than  $5 \times 10^{-20} \text{ g cm}^{-3}$  as the dense cores and trace them throughout the simulations to investigate their mass evolution and gravitational boundness. Unlike our  $10 \text{ km s}^{-1}$  cases in which we found more massive bound core formation in 4.0  $\mu\text{G}$  magnetic field case than 0.1  $\mu\text{G}$  case due to suppression of the nonlinear thin shell instability by strong magnetic field, in our  $20 \text{ km s}^{-1}$  cases we find that very small number of massive bound cores are formed in both initial magnetic field cases. We simulate three times massive cloud-cloud collision with  $20 \text{ km s}^{-1}$  collision speed. We find more massive bound cores and a greater number of massive bound cores in 4.0  $\mu\text{G}$  case than in 0.1  $\mu\text{G}$  case in such cloud-cloud collisions. We will discuss a possible relation between massive core formation, magnetic field and colliding cloud masses in the high-speed collisions.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

## P111a BISTRO Project Status (8)

Tetsuo Hasegawa<sup>1</sup>, Ray Furuya<sup>2</sup>, Doris Arzoumanian<sup>3,16</sup>, Yasuo Doi<sup>4</sup>, Saeko Hayashi<sup>1</sup>, Charles Hull<sup>1</sup>, Tsuyoshi Inoue<sup>3</sup>, Shu-ichiro Inutsuka<sup>3</sup>, Kazunari Iwasaki<sup>1</sup>, Akimasa Kataoka<sup>1</sup>, Koji Kawabata<sup>6</sup>, Gwanjeong Kim<sup>1</sup>, Masato Kobayashi<sup>3</sup>, Takayoshi Kusune<sup>1</sup>, Jungmi Kwon<sup>8</sup>, Masafumi Matsumura<sup>9</sup>, Tetsuya Nagata<sup>10</sup>, Fumitaka Nakamura<sup>1</sup>, Hiroyuki Nakanishi<sup>11</sup>, Takashi Onaka<sup>4</sup>, Tae-Soo Pyo<sup>1</sup>, Hiro Saito<sup>12</sup>, Masumichi Seta<sup>13</sup>, Yoshito Shimajiri<sup>1</sup>, Hiroko Shinnaga<sup>11</sup>, Motohide Tamura<sup>4,14</sup>, Kohji Tomisaka<sup>1</sup>, Yusuke Tsukamoto<sup>11</sup>, Tetsuya Zenko<sup>10</sup>, Derek Ward-Thompson<sup>15</sup> and the BISTRO Consortium (<sup>1</sup>NAOJ, <sup>2</sup>Tokushima U., <sup>3</sup>Nagoya U., <sup>4</sup>U. Tokyo, <sup>5</sup>Osaka U., <sup>6</sup>Hiroshima U., <sup>8</sup>ISAS, <sup>9</sup>Kagawa U., <sup>10</sup>Kyoto U., <sup>11</sup>Kagoshima U., <sup>12</sup>U. Tsukuba, <sup>13</sup>Kwansai Gakuin U., <sup>14</sup>Astrobiology Center, <sup>15</sup>U. of Central Lancashire, <sup>16</sup>IACE, U. of Porto)

BISTRO (B-field In STar forming Region Observations) is an international research project to make sub-millimeter linear polarization images of nearby star forming regions as a series of 3 consecutive EAO/JCMT Large Programs, and it involves 148 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 nearing completion, BISTRO-3 started), b) progress of publication (7 1st-generation, 2 2nd-generation, and 2 review papers), 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](#)

## P112a Witnessing the fragmentation of filaments into prestellar cores in Orion B/NGC 2024

Y. Shimajiri (NAOJ), Ph. André (CEA), N. Peretto (Cardiff), D. Arzoumanian (Port), Eva Ntormousi (Crete), V. Könyves (Central Lancashire), Bilal Ladjelate (IRAM)

*Herschel* observations of nearby clouds have shown that filamentary structures are ubiquitous and that most prestellar cores form in filaments. Thus, probing the fragmentation of filaments into cores is crucial to improve our observational understanding of the star formation process. We mapped the NGC 2024 region in  $\text{H}^{13}\text{CO}^+$  (1–0) to investigate how observed filaments are fragmenting into cores. The emission traces the filamentary structure seen in *Herschel*. The  $\text{H}^{13}\text{CO}^+$  centroid velocity map reveals a velocity gradient along both the major and the minor axis of the filament, as well as velocity oscillations with a period  $\lambda \sim 0.2$  pc along the major axis. Comparison between the centroid velocity and the column density distribution shows that there is a tentative  $\lambda/4$  phase shift between the two distributions. We produced a toy model taking into account a transverse velocity gradient, a longitudinal velocity gradient, and a longitudinal oscillation mode caused by fragmentation. Examination of synthetic data shows that the longitudinal oscillation component produces an oscillation pattern in the velocity structure function (VSF) of the model. As the  $\text{H}^{13}\text{CO}^+$  VSF does show an oscillation pattern, we suggest that our observations are partly tracing core-forming motions and fragmentation of the filament into cores.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

## P113a オリオン領域における位置天文衛星 Gaia のデータ解析と星形成

経澤和見 お茶の水女子大学, 森川雅博 お茶の水女子大学

オリオン大星雲は大質量星を含め星形成が活発な領域である。大質量星は輻射が大きく超新星爆発を起こすなど周囲の星間物質に大きな影響を与えるため、その形成要因を探ることは重要である。大質量星を形成するためには何らかの外部要因によって分子雲が圧縮される必要があり、このオリオン大星雲には過去に衝撃を受けた痕跡があるはずだと考えた。この痕跡は大質量星のみならず周囲の小中質量星にも残っていると予測できる。そこで、位置天文衛星 Gaia のデータを用いオリオン領域における星の運動を解析した。まず、赤経赤緯や年周視差の情報を抽出し、現在の星々の三次元的な位置分布を出力した。そこから、固有運動や視線速度の情報をもとに 40 万年前まで遡って計算し現在の分布と比較した。すると、広い範囲では過去の分布の方が拡散する傾向があったが、オリオン大星雲の狭い範囲においてはどちらの分布でも密な部分が見られた。そして、視線速度で分布の範囲を場合わけし、この密な部分の要因を考察した。また、Gaia のデータを用いて半径と光度の関係を計算し太陽半径の 1.5 倍程度で幕が変わることを確認した。そして、データ内の各星の質量を推定し比較的広い質量範囲での系統性を調べ、星の運動の解析と合わせて星形成の様子を推測した。

[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](#)

## P114a オリオン A 分子雲の Integral Shape Filament における分子雲コアの質量関数

竹村英晃 (総合研究大学院大学 / 国立天文台), 中村文隆 (国立天文台)

星は分子雲の中に点在する分子雲コアで誕生する。形成された星の質量分布は星の初期質量関数 (IMF) と呼ばれ、普遍的な性質であると考えられている。そして、分子雲コアの質量関数 (CMF) と IMF の間には密接な関係があり、CMF の特徴を理解することは、星形成過程を解明する上で重要である。近傍の小質量星形成領域では、IMF と似たベキを持ち、一定の星形成率を考慮すると IMF を再現できる CMF が多く報告されている。

我々は、これまで  $C^{18}O(J=1-0)$  輝線を用いて、オリオン A 分子雲 ( $d \sim 414$  pc) の Orion Nebula Cluster 領域で分子雲コア探査および CMF の導出を行ってきた (2020 年春季年会 P133a)。今回は、depletion の影響が  $C^{18}O$  よりも少なく、prestellar core のよいトレーサーと言われている、 $N_2H^+(J=1-0)$  輝線データ (Hacar et al. 2018) を用いた。そして、オリオン A 分子雲内の Integral Shape Filament (ISF) において分子雲コア探査を行い、CMF の導出を行った。マップは、ALMA と IRAM 30m の高空間分解能 ( $\sim 3'' \sim 2000$  AU) の合成データである。

階層構造解析アルゴリズム Dendrogram (Rosolowsky et al. 2008) を用いて、315 個の星なしコアを含む、324 個の分子雲コアを同定した。導出した CMF は、 $\sim 0.02 M_{\odot}$  で最大値を取る。これは、IMF が最大値をとる典型的な質量よりも小さく、星形成率がこれまで考えられてきたよりも大きいことを示唆する結果である。このことは、我々がこれまでに行ってきた  $C^{18}O(J=1-0)$  輝線を用いた観測結果と無矛盾である。そのような高い星形成率は、周囲のガスの降着などによって分子雲コアが質量をこれから獲得していく場合を考えると実現できる。また、本研究で導出した CMF の大質量側のベキは -1.94 で、IMF のベキ、-2.35 (Salpeter 1955) よりも緩やかな値である。このような IMF よりも緩やかな CMF のベキは大質量星形成領域において報告されている。

[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](#)

## P115a フィラメントの重力不安定性により形成されるコアの統計的性質について

三杉佳明, 川村香織, 犬塚修一郎 (名古屋大学)

星はその質量により進化が決定するため、どの質量の星がどのような頻度で形成されるかを明らかにすることは重要である。星の母体である分子雲コアは、近年の Herschel 宇宙望遠鏡を用いた観測により、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明らかになった。分子雲コアの質量関数 (CMF) は星の初期質量関数 (IMF) と似通った形をもつことが観測により示唆されており、CMF の理解が IMF の理解につながると期待されている。CMF の起源を理論的に解明するために、Imutsuka (2001) (以下、I2001) は Press-Schechter 理論をフィラメント状分子雲に適用した。その結果、フィラメントの線密度ゆらぎパワースペクトルのべきが  $-1.5$  の場合、観測されている CMF のべきを再現できることがわかった。近年の観測により、フィラメントの線密度ゆらぎパワースペクトルのべきが I2001 で予言された値と一致することが確かめられた。さらに、 $-1.5$  のべきと近い値かつ一次元コルモゴロフ乱流のべき指数である  $-5/3$  を用いた場合、フィラメントから形成されるコアの角運動量をも説明可能であることも明らかになった (2018 年秋季学会)。しかし、I2001 は Press-Schechter 理論を用いているため、理論が非線形段階においても正しいかどうかは明らかではない。

そこで、本研究では一次元の Smoothed Particle Hydrodynamics (SPH) 法を用いてフィラメントの重力不安定性によるコア形成過程を計算した。シミュレーションの結果から形成された分子雲コアを読み取り、CMF を導出した。その結果、線密度パワースペクトルが  $-5/3$  乗の場合、非線形段階においても CMF のべきを再現できることがわかった。またコアのうち約 10 % がコア同士の合体を経験しており、コアの重力収縮期でもコア外部からの質量降着が起きる可能性が示された。本講演では以上の結果について報告する。

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

## P116a 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 (André et al. 2010)。よって、分子雲からの星形成過程を理解するには、どのようにフィラメントが形成されるかを解明する必要がある。フィラメントの形成機構の候補には主に次のような、衝撃波がフィラメント形成を誘発する様々な理論がある。衝撃波面が凹むときに駆動される、波面に沿ったガスの流れによる形成「衝撃波駆動フィラメント形成」(Inoue & Fukui 2013) や、シート状の分子雲中の乱流による形成「乱流フィラメント形成」(Chen & Ostriker 2014)、そしてシート状の分子雲の自己重力分裂による形成「自己重力フィラメント形成」(Nagai et al. 1998) がある。このシート状の分子雲は、衝撃波が分子雲を通過することで自然に実現される。このように形成理論が乱立しており、実際に観測されるフィラメントの形成機構としてどれが実際に起きているかわからない。そこで本研究は乱立している形成理論を整理するために、衝撃波と分子雲の相互作用を模擬するような 3 次元磁気流体シミュレーションを多岐にわたるパラメータで実行した。本発表では、衝撃波速度が大きく異なる 2 種類の結果を紹介する。また、初期に導入する乱流の有無や自己重力の有無といった対照実験を行い、各パラメータでのフィラメント形成機構を特定した。その結果、速い衝撃波速度では衝撃波駆動フィラメント形成が、遅い衝撃波速度では自己重力フィラメント形成が主要な形成モードになっていることがわかった。また遅い衝撃波速度の場合に初期乱流を入れると、乱流フィラメント形成が見られた。さらに形成されたフィラメントの線密度を測定したところ、衝撃波駆動フィラメント形成では大質量星形成の初期条件 (Fukui et al. 2019) が自然に実現可能であることがわかった。

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

## P117a 磁場に貫かれたフィラメント状分子雲の平衡状態における温度勾配の影響

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)

星は、ガスとダストが高密度に集まった分子雲内部で形成される。近年の観測により、その分子雲中の高密度領域がフィラメント状の細長い構造をしており、加えて、重力的に不安定なフィラメント内で星形成が進行していることが示唆されている (André et al. 2010)。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に存在している事が示されている (Sugitani et al. 2011)。これらを踏まえ、ここでは、星形成を引き起こす条件として、重力不安定となるフィラメントと磁場の関係を明らかにする。温度勾配を考えない等温ガスに対して、磁気静水圧平衡状態を求めた結果、自己重力に対して支えることのできる最大線質量  $\lambda_{\max}$  は、単位長さあたりの磁束  $\Phi$  に応じて増加することが示唆されている (Tomisaka 2014)。しかし、等温モデルでは、フィラメントの幅方向の面密度分布が、観測結果を再現できていなかった。また、ダスト温度の観測では、フィラメントが中心に向かって温度が低くなる負の温度勾配を持つことがわかっている (Palmeirim et al. 2013)。

本研究では、負の温度勾配が面密度分布にあたる影響を調べるため、ポリトロピック指数  $N < -1$  の負指数を持つ、ガス圧  $p$  がガス密度  $\rho$  の冪乗に比例するポリトロピックガス ( $T \propto \rho^{1/N}$ ,  $p \propto \rho^{1+1/N}$ ) を仮定し、磁場に垂直に貫かれたフィラメントの磁気静水圧平衡解を求めた。結果として、中心に向かって低温となる負の温度勾配が急になるほど、面密度分布が観測される様な外側が広がっている形に近づくことが明らかになった。さらに、磁束  $\Phi$  が大きくなると、最大線質量  $\lambda_{\max}$  が増加するという、等温フィラメントと同じ傾向が得られた。本発表では、温度勾配が面密度分布に与える影響と、磁場が線質量の増加をコントロールするという特徴について発表する。

[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](#)

## P118a Aquila Rift complex の分子雲構造

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), ほか星形成レガシーチーム

我々は、野辺山 45 m 鏡を使用して Aquila Rift complex に位置する星形成領域 W40 と Serpens South の周囲 1 平方度を観測し、CO 分子ガスの分布と速度構造を調べた。W40 と Serpens South の分子雲は  $V_{\text{LSR}} \sim 7 \text{ km s}^{-1}$  付近の速度をもち、連続して分布している。この速度成分を「main 成分」と呼ぶ。この成分以外に、観測領域全体に広く分布している  $V_{\text{LSR}} \sim 40 \text{ km s}^{-1}$  の成分を「40 km s<sup>-1</sup> 成分」と呼ぶ。それぞれの質量は、main 成分は  $\sim 10^4 M_{\odot}$ 、40 km s<sup>-1</sup> 成分は  $150 M_{\odot}$  である。これらの空間分布には反相関があり、年齢 1 Myr の星団の近傍で重なっていることが明らかになった。この結果は、2 成分の相互作用が W40 と Serpens South で星形成を誘発したことを示唆している。過去の調査では、Aquila Rift complex は、Scorpius-Centaurus association (Sco OB2) の恒星風により膨張するガスのシェルに影響を受けているとの報告がある。周囲に存在する Sco OB2 による複数のシェルから、40 km s<sup>-1</sup> 成分の起源を調査した。その結果、40 km s<sup>-1</sup> 成分の Sco OB2 から現在位置までの移動時間は、15 Myr の力学的年齢をもつシェルと大まかに一致することを確認した。よって 40 km s<sup>-1</sup> 成分はこのシェルによって掃き寄せられたガスである可能性が高い。以上により、我々は観測領域内のシナリオを次のように提案する。40 km s<sup>-1</sup> 成分は、約 1 Myr 前に W40 + Serpens South の main 成分と衝突した。このことが W40 と Serpens South で分子雲を圧縮し、星形成が引き起こされた。その後、W40 の H II 領域の拡大が、Serpens South で星団形成を誘発した (Shimoikura et al., 2019, 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](#)

## P119a ALMA observation of 70 $\mu\text{m}$ dark high-mass clump G23.477

森井嘉穂(東京大学/国立天文台), 中村文隆, Patricio Sanhueza(国立天文台/SOKENDAI), 大橋聡史(理研), 立松健一(国立天文台/NRO/SOKENDAI)

Investigating massive infrared dark clouds allows to constrain the initial conditions of high-mass star formation. As a case study, we investigate the structure of a 70  $\mu\text{m}$  dark high-mass clump G23.477 ( $d \sim 4.9$  kpc). This clump is a high-mass prestellar clump candidate, and Beuther et al. (2015) identified 4 prestellar core candidates with PdBI. To further gain knowledge of the early phases of high-mass star formation, we observed this clump using ALMA Band-6 dust continuum, CO/SiO outflow emission and  $\text{N}_2\text{D}^+$  emission at an angular resolution of  $1''.2$ . Our ALMA observations are consistent with Beuther et al.'s results, but our higher sensitivity ALMA observations allow us to identify more cores and reveal that some of them are actually protostellar. In total, we identified 3 protostellar cores and 3 prestellar cores. The core masses are estimated to be between 1–12  $M_\odot$ . In addition, we detect two collimated bipolar outflows and one monopolar outflow. For the first time, our observations have revealed star formation activity in this clump. The position-velocity diagrams indicate that the outflows contain several knots and can be categorized into the Hubble wedge type. In other words, the outflows are likely to originate from episodic mass ejection. The massive core ( $\sim 9.5 M_\odot$ ), which is dark even in 100  $\mu\text{m}$ , has relatively strong  $\text{N}_2\text{D}^+$  emission and detected no molecular outflow. It is worth investigating its detailed characteristics to understand how high-mass stars form.

[スケジュール\(セッション毎\)に戻る](#)

[スケジュール\(全体\)に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

## P120a Statistical Analysis of the Core-scale Fragmentation in High-mass Star-forming Regions with ALMA

Kousuke Ishihara, Fumitaka Nakamura, Masao Saito, Patricio Sanhueza (NAOJ / SOKENDAI)

Most high-mass stars ( $> 8M_\odot$ ) form in binary systems. At least 3 mechanisms have been proposed to explain binary formation. However, it is still unclear due to the lack of sensitive and high-resolution observations to separate mechanisms. Fragmentation occurs on various spatial scales and is likely to be a hierarchical process. In this study, as a first step to understand the formation process of binary and multiple stellar systems in high-mass regime, we observed 30 high-mass star-forming regions to study the core-scale and disk-scale fragmentation. Here we present the preliminary work at the core-scale fragmentation. Thermal Jeans and turbulent Jeans fragmentation have been suggested to explain the observed separation of cores in high-mass star-forming regions. The statistical determination of the separation distribution between the cores can provide clues as to which fragmentation process is dominant. We have analyzed 230 GHz dust continuum observations of massive star-forming clumps obtained with ALMA on the spatial resolution of 500–1000 AU ( $0.3''$ ). A structural analysis tool, Dendrogram, was used to identify 378 high-density cores in 22 regions. The separation distribution between each core was obtained by using the Minimum Spanning Tree technique. The results show that the closest separation between cores is roughly within the range of 600–20000 AU, with a pronounced peak at 3000–4000 AU. Preliminary results show that, this peak is of the order of the thermal Jeans length. Core scale fragmentation processes may be dominated by thermal gravitational instability rather than turbulence.

[スケジュール\(セッション毎\)に戻る](#)

[スケジュール\(全体\)に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

## P121a 星間ダスト表面における光化学反応実験のための装置の立ち上げと初期成果

谷口琴美, 平山朱実, 久保崇紀, 荒川一郎 (学習院大学), 山川紘一郎 (日本原子力研究開発機構)

2019年9月より、学習院大学 理学部 物理学科 表面物理学研究室の超高真空条件下で測定可能なフーリエ変換赤外分光計を用いて、星間ダスト表面における光化学反応に関する実験を行うための装置改良を行ってきた。本研究室では、低温環境下の星なし分子雲コアにおける単純な分子の水素化反応や有機分子の生成経路、radiolysisに関する実験に着目している。星間空間における紫外線放射を再現するために、浜松ホトニクス製の D<sub>2</sub> ランプ ( $\lambda = 115 - 400 \text{ nm}$ ) を設置した。このランプは波長 120 - 160 nm (7.7 - 10.3 eV に対応) に比較的強い放射を示す。実際に本学の装置で星間ダスト表面における光化学反応実験が可能であるかを検証するため、H<sub>2</sub>O と CO、H<sub>2</sub>O と CO<sub>2</sub> の混合氷を温度 10 K の金基板表面に生成し、その混合氷に D<sub>2</sub> ランプを用いて紫外線を照射する実験を行った。紫外線照射時の混合氷の化学組成の時間変化をフーリエ変換赤外分光計で測定した。CO と CO<sub>2</sub> は H<sub>2</sub>O に次いで星間ダスト表面の氷の主要な構成成分である (Öberg, K. I., et al. 2011, *ApJ*, **740**, 109)。H<sub>2</sub>O と CO の実験では、CO と H<sub>2</sub>O は減少し、HCO と CO<sub>2</sub> が検出され、CO の水素化反応が進んだ。H<sub>2</sub>O と CO<sub>2</sub> の実験においては、O<sub>3</sub>, CO<sub>3</sub>, CO が検出された。得られた実験結果から、これら 2 つの系における化学反応経路をまとめた。本実験で検出された分子は、定性的に予想される光化学反応と一致していることから、本実験装置を用いて星間ダスト表面の水で起こる化学反応を調べることが可能であると言える。今後は、<sup>18</sup>O 同位体種を用いた反応経路を詳細に調べる実験や、窒素を用いた実験を進めていく予定である。本講演では、本学の実験装置の概要と、上記の初期成果及び今後の計画について話す。

[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](#)

## P122a 表面の氷マントル形成によるダスト成長モデルの構築

古賀駿大, 町田正博 (九州大学)

星は宇宙の最も基本的な構成要素であり、主に中性ガスで構成する星間分子雲中の密度の高い分子雲コア中で誕生する。星誕生の過程で分子雲コアの中心領域には、原始星と呼ばれる星の素(もと)に相当する天体が形成される。分子雲コアから原始星までのガスの進化過程は、3次元磁気流体シミュレーションをはじめとした理論研究と ALMA などによる観測が相補的になり様々な事実が明らかにされてきた。一方、星間空間に存在する固体微粒子であるダストについては定量的な成長過程はほとんど明らかにされていない。しかし、ダストの性質、特にサイズの進化は、opacity や化学進化に影響を与えるため、原始星の形成過程においてダストの進化過程を明らかにすることは重要である。

そこで本研究では、ダスト表面での氷マントル形成によるダスト成長に着目し、ダストサイズ分布の進化モデルを構築した。氷マントルはその主成分が H<sub>2</sub>O や CO<sub>2</sub> であり (e.g., Burke & Brown 2010, Shimonishi 2010)、ダスト表面への分子の accretion が原因で形成すると考えられている。accretion による成長率は、周りのガス密度に依存するため、ガス進化の解析的モデル (Takahashi et al. 2016) を導入し、分子雲コアの重力収縮の過程におけるダスト成長を定量的に見積もった。

本講演では、以上の計算結果を報告し、opacity や化学進化への影響について議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P123a 低質量原始星エンベロープの H<sub>2</sub>O 関連分子組成に対する X 線放射の影響

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

星・惑星形成領域において、H<sub>2</sub>O 分子はガスの冷却やダストの合体成長過程で重要な役割を果たすほか、複雑な有機分子へと至る化学反応の鍵となる分子の一つである。近年の観測により、複数の低質量原始星周りのエンベロープ内縁高温部において、分子雲の H<sub>2</sub>O 氷組成 ( $\sim 10^{-4}$ ) と比べ著しく低い H<sub>2</sub>O ガス分子組成 ( $< 10^{-6}$ ) が報告されている (e.g., Persson et al. 2016)。原始星の強い X 線放射による H<sub>2</sub>O 分子の破壊反応が効いている可能性があるが (e.g., Stäuber et al. 2006)、その詳細な反応過程や、代わりに酸素原子を保持する関連分子の組成等は詳しく調べられていなかった。そこで発表者らはガス・ダスト化学反応ネットワーク (e.g., Walsh et al. 2015) に X 線関連の化学反応を加えた上で、低質量 Class 0 原始星周りのエンベロープの詳細な化学構造計算を行い、H<sub>2</sub>O や関連分子組成の X 線放射に対する依存性等を調べた。その結果、原始星の X 線放射が比較的強い ( $> 10^{30}$  erg s<sup>-1</sup>) 場合、H<sub>2</sub>O スノーライン (昇華領域) の内側で X 線由来の光解離反応により H<sub>2</sub>O ガス分子組成が減少する ( $< 10^{-6}$ ) 事、及び H<sub>2</sub>O スノーラインの外側で X 線由来の光脱離反応により H<sub>2</sub>O ガス分子の組成が増加する事が示された。また H<sub>2</sub>O ガス分子の破壊に伴い、O 及び O<sub>2</sub> ガス分子の組成が著しく増加し ( $\sim 10^{-4}$ )、X 線放射の影響が小さい CO と合わせて、酸素原子のほとんどを保持する事が分かった。そして、原始星エンベロープにおいて HCO<sup>+</sup> や CH<sub>3</sub>OH ガス分子の組成分布は H<sub>2</sub>O スノーラインの指標としても用いられるが (e.g., van't Hoff et al. 2018)、これらの分子組成が X 線放射に対する強い依存性を示す事等も分かった。本講演ではこれらの計算結果の詳細を報告すると共に、ALMA 等を用いた観測可能性についても議論を行う。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

## P124a Connecting Sulfur-bearing Species and Dust Polarization of the Protostars in the Perseus Molecular Cloud

Ziwei E. Zhang<sup>1</sup>, Yao-lun Yang<sup>2</sup>, Yichen Zhang<sup>1</sup>, Shaoshan Zeng<sup>1</sup>, Nadia M. Murillo<sup>1</sup>, and Nami Sakai<sup>1</sup>

<sup>1</sup> The Institute of Physical and Chemical Research (RIKEN).

<sup>2</sup> Department of Astronomy, University of Virginia.

We present 100 au scale distributions for sulfur-bearing molecules (SO, SO<sub>2</sub>, and CS) of six young protostars (Class 0/I) in the Perseus Molecular Cloud. The molecular emission analyses are compared with a recent study of dust polarization within the respective sources. The SO/SO<sub>2</sub> emission show strong correlation with the high and disordered polarization in the extended continuum, indicating intense physical conditions (e.g., high temperature) within these regions. Such comparison studies could provide additional diagnostics of physical properties and activities in the star-forming processes. In the Class I source IRAS03260+3111A, the enriched sulfur species are concentrated and overlap with the “stark contrast” of polarization, revealing a shock induced by infalling materials at the centrifugal barrier ( $\sim 100$  au). For the younger Class 0 sources (e.g., NGC1333 IRAS7SM1 and SM2), the magnetically aligned polarization enhancement is well-collimated with the irregular complex molecular filaments in the envelopes and outflow cavities.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

## P125a Chemical properties of young stellar objects in the Magellanic Clouds

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

High-resolution observations with the Atacama Large Millimeter/submillimeter Array (ALMA) enabled us to study the chemical properties of the star-forming regions at sub-pc resolution in the Magellanic Clouds. The study of these regions are important to better understand the star-formation process in low metallicity environments. Recent observations revealed hot cores and complex organic molecules in the Magellanic Clouds. We observed six high-mass YSOs in the Small Magellanic Cloud with ALMA at a spatial resolution of 0.1 pc and the first results related to the continuum and CO molecular line emission were already presented. Our observations targeted several molecular lines (e.g.  $\text{SO}_2$ ,  $\text{HCO}^+$ ,  $\text{H}_2\text{CO}$ ,  $\text{CH}_3\text{OH}$ ,  $\text{HNCO}$ ,  $\text{H}_2\text{CS}$ ,  $\text{NO}$ , etc.) to characterize the physical properties of the sources. We have found a low detection rate of most of the molecules in this sample. We will present the detailed results of the molecular line observations and compare them with the recent survey of high-mass YSOs in the Large Magellanic Cloud.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

## P126a LMT50m 鏡に搭載した 2mm 帯受信機 B4R によるオリオン分子雲 (OMC-1) の高感度分子輝線マッピング観測: デモ科学観測の概要と輝線同定

川邊良平 (NAOJ), 吉村勇紀, 竹腰達哉, 廿日出文洋, 河野孝太郎 (東大), 酒井剛 (電気通信大), 田中邦彦 (慶応大), 谷口暁星, 田村陽一 (名古屋大), 大島泰, 島尻芳人 (NAOJ), 前澤裕之, 米津鉄平 (大阪府立大) 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 帯受信機システム (以下 B4R) を搭載し本格的な性能実証試験やデモ科学観測を開始している (川邊他、吉村他: 20 年春季年会)。今回は、2018 年 10 月および 2019 年 11 月に行った、オリオン分子雲 (OMC-1) の分子輝線マッピング観測の成果概要 (特に輝線同定) について報告する。観測は、大質量星形成領域である Ori-KL を中心にして、10 分角 (2018 年), 5 分角 (2019 年) の領域を約 10 秒角の空間分解能でオンザフライ (OTF) 観測を複数の周波数設定で行った。これにより、127.9 - 152.4 GHz の周波数範囲で、計 16 GHz の領域をカバーし、速度分解能 0.17 - 0.2 km/s で約 20 万チャンネルの分光データを得た。ミリ波単一鏡の観測としては、この周波数帯で最高感度の観測を実現できている。これまでの解析で、Ori-KL 領域を中心に、400 以上の輝線を検出し、計 34 の分子種、約 20 の同位体種を同定できた。この中には、2017 年に ALMA で初めて検出が確認された 10 原子分子のエチレングリコールや、またアセトンも含まれる。また 10 を超える未同定線等も検出しており、最新の輝線スペクトルデータベースとの突合も進めている。一方では、オリオン星雲方向で水素とヘリウムの再結合線も検出した。2 - 3mm 帯でのヘリウム再結合線の検出は初と思われる。

[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](#)

## P127a ALMA ACA サーベイで探る Corona Australis 領域の星形成 (1): 初期成果

立原研悟<sup>1</sup>, 山崎康正<sup>2</sup>, 徳田一起<sup>2,3</sup>, 藤城翔<sup>1</sup>, 金井昂大<sup>4</sup>, 大朝由美子<sup>4</sup>, 西合一矢<sup>3</sup>, 深川美里<sup>3</sup>, 町田正博<sup>5</sup> (1: 名古屋大, 2: 大阪府立大, 3: 国立天文台, 4: 埼玉大, 5: 九州大)

Corona Australis 分子雲は近傍 ( $d = 149$  pc) の活発な星形成領域で、Coronet 星団は Herbig Ae 型星である R CrA ほか、多数の若い星を含んでいる。これまでの赤外線、X 線などの観測から、100 個以上の若い星が同定されている (Sicilia-Aguilar et al. 2008; Dunham et al. 2015)。近赤外線の深い観測から、超低質量星が周囲まで多く分布していることも示されている。また分子雲の彗星状の形状から、外圧による誘発的星団形成の可能性も示唆されている。中心部の高密度部分をより高分解能で分解し、深く埋れた若い原始星や prestellar core を検出、それらの質量分布を調べる目的で、ALMA ACA による  $172 \text{ arcmin}^2$ , 1500 pointing の大規模なモザイクサーベイ観測を行なった。観測は 230 GHz 帯 (Band 6) で、 $^{12}\text{CO}$ ,  $^{13}\text{CO}$ ,  $\text{C}^{18}\text{O}$  の  $J=2-1$  輝線、 $\text{N}_2\text{D}^+$  ( $J=3-2$ )、および連続波を取得した。これまでのところ、7m array による観測が終了し、TP array の観測は実行中である。

まず deliver された 7m array の 1.3 mm 連続波と  $\text{N}_2\text{D}^+$  のデータを解析した。合成ビームサイズはおよそ  $7.4'' \times 4.6''$ 、およそ 900 AU に相当する。典型的な感度は  $0.6 \text{ mJy/beam}$ ,  $0.08 \text{ K/ch}$  であった。連続波では、これまでに Spitzer 望遠鏡で検出された 2 つの class 0 天体と、6 個の class I 天体のうち 3 つは点源として検出された。残りの class I 天体のうち IRS7 では、連続波点源のピーク位置が赤外線源から  $4''$  程度ずれており、両者は別の天体である可能性がある。他にも多くの未同定の点源と prestellar core が新たに検出されたが、これらは R CrA から  $0.07 \text{ pc}$  以内に密集して分布していた。一方  $\text{N}_2\text{D}^+$  により同定された低温高密度な分子雲コアは、大部分が R CrA から  $0.1 \text{ pc}$  程度離れて分布しており、またピーク付近に電波連続波源や赤外線源の付随は見られなかった。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

## P128a ALMA による原始星天体 NGC 2264 CMM3A の回転構造の検出

柴山良希 (東京大学), 渡邊祥正 (芝浦工業大学), 大屋瑤子 (東京大学), 山本智 (東京大学)

連星系の形成過程の理解は星形成研究において特に重要な課題の一つである。NGC 2264 は太陽系近傍 ( $\sim 738 \text{ pc}$ : Kamezaki et al. 2014) の大質量星形成領域であり、この領域に存在する CMM3 は最終的に  $8M_{\odot}$  程度の主系列星に成長する一つの大質量星原始星と考えられていた (Maury et al. 2009)。しかし、ALMA の観測によりこの天体は CMM3A と CMM3B からなる連星系であることが明らかになった。本研究では CMM3A の速度構造を、ALMA (Band 6) による約  $0.1'' \times 0.1''$  ( $\sim 70 \text{ au}$ ) の空間分解能の観測データを用いて解析した。

OCS,  $\text{CH}_3\text{CN}$ ,  $\text{CH}_3\text{OH}$  などの分子輝線で東西方向の速度勾配が観測された。この天体のアウトフローは南北方向に吹いており (Saruwatari et al. 2011; Watanabe et al. 2017)、この速度勾配は CMM3A のディスクの回転を表していると考えられる。分布はコンパクトで約  $0.1'' \times 0.1''$  の空間分解能でも十分に構造を分解できなかったが、位置速度図をケプラー回転を仮定して解析したところ、中心星の質量は  $0.5M_{\odot}$  程度と推定された。アウトフローの観測から CMM3A は誕生後 140~2200 年ほど経過していると考えられており (Saruwatari et al. 2011)、質量降着率は  $10^{-4} \sim 10^{-3} M_{\odot}/\text{yr}$  程度となる。これは低質量星原始星の典型的な質量降着率と比べて 2 桁から 3 桁ほど大きい。また、連続波では東西方向に伸びた構造が観測されるが、OCS,  $\text{CH}_3\text{CN}$ ,  $\text{CH}_3\text{OH}$  などの輝線分布は連続波とは異なり南北方向にやや伸びており、連続波のピーク付近で輝線強度がやや弱くなっている。このことは、以前報告したように (柴山他、日本天文学会 2019 年秋季年会 P122b) これらの輝線が光学的に厚いことと関係するのではないかと考えられる。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

## P129a OMC-2/FIR3 および FIR4 領域におけるダスト連続波源とアウトフローの同定

佐藤亜紗子 (九州大学), 高橋智子, 石井峻 (国立天文台), John Carpenter (JAO/NRAO), Paul Ho (ASIAA/ EAO), Paula Stella Teixeira (Univ. of St Andrews), Luis Zapata (UNAM/IRyA)

星形成過程の初期段階を理解する上で、原始星形成の現場となる高密度コアの物理的状態や質量放出現象で在るアウトフローやジェット構造と性質を理解することは重要な課題である。本講演では、Orion Molecular Cloud-2 (OMC-2)/FIR3 および FIR4 領域 ( $d \sim 388$  pc : Kounkel et al. 2017) の ALMA による  $\sim 1''$  空間分解能 ( $\sim 0.002$  pc) のモザイク観測の結果を報告する。1.3mm のダスト連続波の解析結果から、南北に湾曲しつつ伸びるフィラメント構造の詳細が明らかになった。連続波イメージから同定したコアのうち、12個は先行研究 (Terwisga et al. 2019, Tobin et al. 2019) で発見されたコアと一致した。また、 $^{12}\text{CO}$  ( $J=2-1$ ) 分子輝線と  $\text{SiO}$  ( $J=5-4$ ) 分子輝線の結果から、アウトフローとジェットの候補を同定した。まず、HOPS-66-A/B から特異な形状の  $^{12}\text{CO}$  アウトフローが駆動されていることが分かった。このアウトフローは、SIRIUS による JHKs イメージ ( $2.2\mu\text{m}$  帯) で見られた構造と一致し、より細かい構造が見られた。また、HOPS-370 から駆動される  $^{12}\text{CO}$  アウトフローに沿うように  $^{12}\text{CO}$  のキャビティが2つ見つかると、これらに沿った  $\text{SiO}$  の bubble 構造も見られた。さらに、HOPS-64 から駆動したと思われるジェットには、 $\text{SiO}$  分子輝線で knots-like 構造が見られた。これらの結果を、過去の観測や他の OMC-2 内の領域と比較しつつ、原始星の進化段階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](#)

## P130a オリオン大星雲 2 Class0 天体 FIR6c から駆動するアウトフローの CO, SiO 分子輝線から探る構造

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

星形成過程における重要な質量放出現象として、アウトフローやジェットはよく知られている。我々は、オリオン大星雲 2, FIR6 領域の ALMA による高感度、高分解能のサーベイ観測を行い、新たなサブミリ波源を発見した。1.3 mm 連続波、 $\text{CO}(2-1)$ 、 $\text{SiO}(5-4)$  の輝線を用いて、発見したコアと共に、アウトフローの駆動の有無も確認した。前回の発表 (日本天文学会 2020 年春季年会 (P130a)) では、新たなコアとアウトフローからこの領域は、以前から考えられてきたよりも比較的若い星形成領域ではないかということ報告した。本講演では、Class 0 天体 FIR6c の分子雲コアから駆動しているアウトフローに焦点を当て発表を行う。FIR6c からは、長さ 0.12 pc ほどのアウトフローが駆動していることが  $\text{CO}(3-2)$  の観測から知られている。また、blue shift した  $\text{SiO}(2-1)$  の構造は観測されていたものの red shift 側は検出されていなかった。今回の観測では、red shift した  $\text{SiO}$  の構造が新たに検出され、非常によくコリメートした類似性のある  $\text{CO}$  と  $\text{SiO}$  の構造を確認できた。knot 構造は2つほど見られ、PV 図から  $\text{CO}$ 、 $\text{SiO}$  共に、Hubble-law に従った加速機構と、内部衝撃による減速の兆候を示す構造が確認できた。観測された駆動間隔から  $\sim 200$  年で knots は駆動されており、episodic accretion を反映した結果であると考えられる。 $\text{CO}$  では、bow-shock のような構造も観測されている一方で、 $\text{SiO}$  では、同様の構造は検出されなかった。 $\text{CO}$  と  $\text{SiO}$  の構造の相違点に着目し、また、他の天体から駆動しているアウトフローの観測と比較して、その要因を議論する。

[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](#)

## P131a Class 0 低質量原始星天体 IRAS 16293–2422 Source A のアウトフロー構造

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 低質量原始星天体である。この天体は Source A と B からなる連星系であり、これらを取り巻く複雑なアウトフロー構造が報告されてきた。Source A だけでも複数のアウトフロー構造が知られており、いくつかの原始星を含むことが指摘されている。実際我々は、波長 1.3 mm の連続波で観測し、Source A の内部に 5 つの強度ピークが検出されることを報告した (2020 年春季年会)。これらのピークのうちの 2 つ (A1, A2) は、VLA での観測から、それぞれ原始星天体であると提案されている。この 2 つの原始星は、天球面上で 50 au ほど離れている。このように、Source A の 10 au スケールでの内部構造は理解されつつあるが、アウトフローとの関係については、未だ解明されていない。

我々はこの天体について、波長 3 mm の ALMA 観測を実施した。20 au の分解能で、連続波に加えて、 $C^{34}S$  ( $J=2-1$ ),  $SO$  ( $2_2-1_1$ ),  $OCS$  ( $J=7-6, 8-7$ ) の分子輝線を検出した。連続波は Source A の内部に 2 つの強度ピークを示した。これらのピークは、従来の観測で指摘されていた 2 つの原始星 (A1, A2) に対応する。 $C^{34}S$  の分子輝線は、Source A を取り巻いて回転する円盤状のガスを捉えた。一方、 $SO$  と  $OCS$  の分子輝線は、この円盤構造と直交する方向 (南東–北西) に伸びる分布を示した。この成分は、積分強度図の形状から、Source A から吹き出す双極のアウトフロー構造であると考えられる。また、アウトフローの根本は、原始星 A2 からは離れており、Source A を取り巻く circummultiple 構造か、原始星 A1 に付随しているとみられる。また、 $SO$  と  $OCS$  の速度構造から、アウトフローに回転運動があることがわかった。その比角運動量は、Source A を取り巻いて回転するガスの 1 倍から 1.2 倍程度であり、落下するガスの角運動量の抜き取り機構と関係している可能性がある。

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

## P132a Discovery of the Secondary Outflow Structure in IRAS 15398–3359

Yuki Okoda, Yoko Oya (U. Tokyo), Doug Johnstone, Logan Francis (NRC-Herzberg/U. Victoria), Shu-ichiro Inutsuka (Nagoya. U), Cecilia Ceccarelli (IPAG), Claire Chandler (NRAO), Claudio Codella (Arcetri), Nami Sakai (RIKEN), Satoshi Yamamoto (U. Tokyo), FAUST Team

IRAS 15398–3359 is a low-mass Class 0 protostellar source ( $T_{bol}=44$  K) located in the Lupus 1 molecular cloud ( $d=155$  pc). A bipolar outflow along the northeast to southwest axis is reported (Oya et al. 2014). Its dynamical timescale is  $\sim 10^3$  yr, indicating that this source is in the earliest stage of protostellar evolution. A Keplerian disk perpendicular to the outflow is associated with the protostar (Okoda et al. 2018).

We have conducted observations toward this source on scales from 50 au to 1800 au as a part of the ALMA large program FAUST (Fifty AU Study of the chemistry in the disk/envelope system of Solar-like protostars). We have found an interesting collimated feature in the  $H_2CO$ ,  $SO$ ,  $SiO$ , and  $CH_3OH$  emission lines which extends along a direction almost perpendicular to the previously observed outflow. These molecular line emissions show a shell-like structure apart from the protostar by 1200 au in the southeastern part. The shell-like structure is blue-shifted from the systemic velocity. The  $H_2CO$  emission shows a gradient of  $1.2 \text{ km s}^{-1}/1200 \text{ au}$  from the protostar to the shell-like structure, so that the above extended distribution cannot be explained by infalling motion to the protostar. Since  $SO$ ,  $SiO$ , and  $CH_3OH$  are known as shock tracers, the shell-like structure is most likely a shocked region caused by a secondary outflow. This result implies a change in the outflow direction caused by episodic accretion, although an unresolved close companion ( $<30$  au) cannot be ruled out.

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

## P133a 磁場の向きと回転軸が非平行な場合の連星形成とジェット/アウトフローの駆動

佐伯 優, 町田 正博 (九州大学)

宇宙に存在する星のほとんどが、連星/多重星として誕生すると考えられており、その形成過程を理解することは星形成分野において重要な課題である。原始連星の形成過程については、その誕生現場である分子雲コアが高密度でどの波長でも光学的に厚いため、内部の様子を観測することが極めて困難である。そのため、これまで理論研究による解明が進められてきた。一方で、近年の観測機器の発達により、原始星近傍から駆動するアウトフローやジェットの様子が捉えられ始めている。2019 年秋季天文学会の川邊氏の発表では、回転軸が不揃いの近接した原始星連星から二対の双極分子流を検出したことが報告された。我々はこれまで、磁場の向きと回転軸が揃っている場合の連星形成について研究を行い、その結果、連星形成過程でアウトフローやジェットが駆動する様子を確認できた (Saiki & Machida submitted, 2019 年秋季年会および 2020 年春季年会で報告済み)。

本研究では、回転軸が不揃いな連星系はどのように誕生するのか、また、磁場の向きと回転軸のずれの角度によって連星形成効率がどのように変化するのかを解明するため、初期条件として磁場の向きと分子雲コア (BE 球) の回転軸がなす角度をパラメータにした数値シミュレーションを行った。本講演では、この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](#)

## P134a Class0 原始星 L483 の 40 au スケールのアウトフロー

藤田孝典, 大屋瑠子, 山本智 (東京大学)

原始星天体から吹き出すアウトフローは、星形成における普遍的現象であり、観測的にも理論的にも活発な研究がなされている。しかし、その放出機構については未だ十分に解明されていない。観測的にアウトフローを特徴付けるには、放物面モデルがよく使われている。これは、アウトフローキャビティの形状が放物面で表され、速度が原始星からの距離に比例するというモデルである。我々は、これまで Aquila Rift 領域にある Class 0 原始星天体 L483 ( $d = 200$  pc) に着目し、ALMA (Band 6) による  $0.2''$  ( $\sim 40$  au) の高分解能観測を行ってきた。CS 輝線 ( $J = 5 - 4$ ) によって主に東側に広がるアウトフローキャビティの壁が捉えられた。原始星からの距離が (50 - 300) au 程度の範囲でアウトフローの構造を放物面モデルで評価したところ、観測結果が十分再現されないことがわかった。それは、この範囲において観測されたアウトフローの半径はあまり変化していないが、放物面モデルではそれをうまく表せないためである (2019 年秋季年会 P108a)。

そこで今回は、アウトフローキャビティの壁の形状が、放物面ではなく 4 次曲面の形で表されるモデルを考えた。これにより、原始星近傍で急速に半径が大きくなり、その後コリメートされたまま伸びる構造を表すことができる。この結果、CS 輝線の観測結果をよく説明することができた。さらに、本解析結果 ( $\sim 100$  au) とそれより遠い位置 ( $\sim 1000$  au) での解析結果 (Oya et al. 2018) を比較したところ、両者でアウトフローの形状が異なることがわかり、アウトフローの軸の向きも  $30^\circ$  程度変化していることを確認した。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

## P135a ALMA による Class I 原始星 Elias 29 のアウトフローの詳細構造

雑賀恵理、大屋瑠子、山本智 (東京大学)

Elias 29 はへびつかい座 ( $d \sim 140$  pc) にある Class I 原始星である。へびつかい座分子雲の Main Body に属し、活発な星形成が起こっている領域に存在している。この天体については ALMA を使った観測によって、ほぼ南北に伸びる回転円盤構造が報告されている。また、原始星円盤は有機分子が少なく、SO、SO<sub>2</sub> 分子が異常に豊富であるという特徴的な化学組成を呈している (Oya et al. 2018)。一方、この天体のアウトフローについては、大局的に非常に複雑な構造を示しており、原始星近傍のアウトフローについては JCMT による CO ( $J=6-5$ ) の観測 (Ceccarelliet al. 2002)、および H<sub>2</sub> によるジェットの観測 (Ybarra et al. 2006) が報告されているが、十分に理解されていない。

本研究では、ALMA (Band 6) での観測で得られた CS ( $J=5-4$ ) と SO ( $6_7-5_6$ ) の分子輝線を解析し、アウトフロー/ジェット及びその分子雲に対する影響を調べた。その結果、SO 分子輝線では原始星東側の約 4'' (500 au) 離れた位置で bow shock のような形状の赤方偏移した高速度成分が見られ、ジェットの存在が確認された。その方向は H<sub>2</sub> の観測から報告されているジェットの方向と近かった。原始星から bow shock までの距離と SO の速度からタイムスケールを見積もると、およそ 500 年であることがわかった。さらに、CS と SO で原始星の南に存在する ridge 成分が捉えられ、その速度構造はかなり複雑であることが示された。このことは、原始星からのアウトフローによる相互作用である可能性が高い。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

## P136a 流体力学に基づいた回転降着エンベロープの模擬観測：中心星質量の推定

森昇志、相川祐理、大屋瑠子、山本智 (東京大学)

原始惑星系円盤の形成・進化過程は、特に若い円盤における惑星の形成過程を理解する上で極めて重要である。近年の観測では Class 0/I でも 50 au スケールを解像する分子輝線観測が行われており、円盤周囲の降着流の情報を観測から得られるようになってきた。また今後も ALMA の大規模プログラム「FAUST」などによって多くの天体で高精度な観測がされると期待されている。得られた観測結果は理論モデルとの比較を通じてその天体の物理的特徴を得ることができるが、理論モデルの選択がその観測解釈に与える影響を深く理解している必要がある。エンベロープの物理モデルとして、流体力学に基づいて弾道軌道近似を仮定したモデルが存在するが、その観測的特徴は系統的に調べられていない。

本研究では流体力学に基づいたエンベロープの物理モデルに対し模擬観測を行い、得られる観測結果を理解する。本発表では特に中心星質量の推定に着目する。従来、降着ガスの遠心力によってある半径 (遠心力バリア) 以内のガスが枯渇することを利用して中心星質量の推定を行っている。しかしこの質量推定のモデル依存性は明らかではない。そのため本発表ではこの流体力学モデルにおける観測予測を示し、遠心力バリアによる中心星質量の推定が本モデルに対しても有効かどうかを議論する。エンベロープの密度・速度構造は剛体回転する分子雲コアを仮定して計算し、温度構造および模擬観測は輻射輸送コード RADMC3D を用いて計算する。またこの流体力学モデルから予測される観測的特徴に基づき、新たな中心星質量の推定の方法を提案する予定である。

[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](#)

P137a 原始星 L1489 IRS のマルチスケール観測:  $\sim 1,000-10^4$  au スケールの力学構造

崔仁士 (東京大学/ASIAA), 大橋永芳 (ASIAA), Anaëlle Maury (CEA), Sébastien Maret (IPAG), Mathilde Gaudel (CEA)

星形成過程を理解するためには、星形成の母体である 1 万 au 程度の分子雲コアから  $\sim 100$  au の円盤までの幅広い空間スケールに渡るガスの力学構造を解き明かす必要がある。そこで我々は、これまでに ALMA を用いて 100 au スケールの観測が行われたいくつかの原始星を対象に、ACA 及び IRAM 30 m 望遠鏡を用いた  $\sim 0.1$  pc  $\times$  0.1 pc の領域をカバーする C<sup>18</sup>O 2-1 輝線のマッピング観測を行った。本講演では、そのうち原始星 L1489 IRS に対して得られた観測結果を報告する。

観測の結果、差し渡しおよそ 1 万 au に渡って円盤の回転とおよそ同じ方向に回転によると思われる速度勾配が見られた。見られた速度勾配は中心星付近で大きく、外側で小さいという特徴を示した。さらに、速度分散マップでは、中心星付近の半径  $\sim 2,000-3,000$  au で比較的大きな速度分散の値 ( $\gtrsim 0.4$  km s<sup>-1</sup>) を示す構造が見られた。このことは、中心星周囲  $r \sim 2,000-3,000$  au においてのみガスの運動が活発であることを示唆している。これらの観測結果と降着エンベロープモデルの比較を行ったところ、エンベロープガスの落下速度は中心星質量から見積もられる自由落下速度のおよそ 0.2 倍程度であることが示唆された。本講演では、これらの結果を示すとともにその解釈と議論を行う。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

P138a 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 (4): N<sub>2</sub>D<sup>+</sup> 輝線と 1.3 mm 連続波の比較から考察する分子雲コア進化段階

徳田一起, Zahorecz Sarolta (大阪府大/国立天文台), 立原研悟, 福井康雄, 犬塚修一郎 (名古屋大), 松下祐子, 西合一矢, 河村晶子 (国立天文台), 松本倫明 (法政大), 町田正博, 佐伯優, 原田直人, 柳玉華, 山崎駿 (九州大), 富田賢吾 (大阪大), 山崎康正, 大西利和 (大阪府大)

星形成分野において根元的な課題である連星/多重星形成および星の質量を決定する機構を理解する上で、これらの初期条件とされる分子雲コアの理解は欠かせない。我々は複数の観測的制約から見逃されがちであった星形成直前/直後の分子雲コア中心部に関して理解を深めるため、おうし座領域に存在する星あり/星なし分子雲コアの ALMA-ACA を用いたサーベイ観測を推進している。これまで、水素分子の(柱)密度をよく反映する 1.3 mm 連続波の解析等により、同領域において最も確度の高いファーストコア候補天体の発見や、中心部の密度が  $(3-8) \times 10^5$  cm<sup>-3</sup> を超えた分子雲コアの内部構造を捉えたことなどを報告してきた(藤城他, 徳田他 2020 春季年会)。これらの力学状態や化学的性質を探るため観測輝線の 1 つとして、低温かつ高密度領域で時間の経過に従って存在比が高まるとされる重水素化合物である N<sub>2</sub>D<sup>+</sup>(3-2) を選定した。星なしコア約 30 個のうち約 2/3 で同輝線が検出され、これは 1.3 mm 連続波の検出されたサンプルと概ね一致することから、分子雲コア内部の高密度領域を捉えていると思われる。一方で、1.3 mm 連続波と N<sub>2</sub>D<sup>+</sup> の検出が必ずしも一致しない天体が数個存在し、分子雲コア進化のスピードの多様性を捉えた可能性がある。原始星が付随するコア(計 7 天体)は Class 0/I 原始星の 3 天体でのみ N<sub>2</sub>D<sup>+</sup> 輝線が検出された。うち 2 天体は原始星極近傍を避けながら非対称なアーク状の分布をしており、星形成初期段階の不均一な密度もしくは温度分布を捉えている可能性がある。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

## P201a ALMA Observations of the Protostellar Binary System L1551 IRS 5: Resolving the Gas Motion inside the Hill Radii

Takakuwa, S. (Kagoshima), Saigo, K. (NAOJ), Matsumoto, T. (Hosei), Saito, M. (NAOJ), Lim, J. (Univ. of Hong-Kong), Yen, H.-W., Ohashi, N., Ho, P. T. P. (ASIAA), Looney, L. W. (Illinois)

We will report ALMA results of the protostellar binary system L1551 IRS 5 in the 0.9-mm dust-continuum and  $C^{18}O$  (3–2) emission at an angular resolution of  $\sim 0.1$  arcsec. The 0.9-mm dust-continuum image reveals disks associated with the individual binary protostars, circumstellar disks (hereafter CSDs), as well as a disk surrounding the binary, circumbinary disk (CBD). The CBD exhibits a two spiral-arm feature, and each spiral arm connects to the CSD of each binary star. The  $C^{18}O$  (3–2) emission shows rotating and expanding motions in these spiral arms. Our numerical simulations reproduce the spiral feature and the expanding gas motion, which are caused by the gravitational torques from the binary. Our ALMA data also show transition from the CBD rotation to the individual CSD rotations around the inferred L2 and L3 Lagrangian points. Furthermore, between the binary stars a gas component with a linear velocity gradient passing through the L1 stagnation point is also found. The identified gas component and the velocity structure can be interpreted as a bridging gas stream that connects the two CSDs through the L1 point. These observed gas motions inside the Hill radii are also reproduced with our numerical simulations. In our presentation we will review these observed features along with our numerical simulations of the binary system.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

## P202a 超低光度前主系列星 J162656.43-243301.5 周囲の transition disk の ALMA 観測

杉谷朱泉, 高桑繁久 (鹿児島大学), 川邊良平, 島尻芳人 (国立天文台), 原千穂美 (NEC)

褐色矮星や惑星質量天体といった超低質量星周囲の円盤の進化、惑星形成は、太陽質量程度の星の場合と比べ、その観測的知見はまだ乏しい。この現状を打破すべく、我々は Oph-C ( $d = 137$  pc) の超低光度 ( $L_{\text{bol}} \sim 0.003 L_{\odot}$ ) で異常に赤い、超低質量の前主系列星段階と思われる天体 J162656.43-243301.5 の ALMA Band 6 の観測を行った。J162656.43-243301.5 の SED は、 $H, K$  バンドでは非常に暗い一方、MIPS24  $\mu\text{m}$  から Herschel70  $\mu\text{m}$  にかけてフラックスが上昇している。これは、J162656.43-243301.5 が T-Tauri 段階から transition disk の段階にある天体であることを示している。ALMA の観測の結果、1.3 mm のダスト連続波では、非常にコンパクト ( $r \sim 25$  au) で軽い ( $\sim 0.0014 M_{\odot}$ )、東西に伸びた円盤構造を検出することができた。さらに 1.3 mm 連続波の visibility の  $uv$  distance - amplitude plot はベッセル関数の形を示しており、円盤が空間分解していない小さなリング状の transition disk である可能性を示唆している。また CO (2–1) 及びその同位体の観測では、コンパクトな円盤に付随した回転運動も捉えることができ、その回転速度から中心星の力学的質量は  $\sim 0.1 M_{\odot}$  と見積もられた。本講演ではこのような ALMA 観測の結果を紹介するとともに、超低質量星周囲の円盤における進化、惑星形成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](#)

## P203a The surprisingly low carbon mass in the debris disk around HD 32297

Gianni Cataldi (University of Tokyo), Yanqin Wu (University of Toronto), Alexis Brandeker (Stockholm University), Nagayoshi Ohashi (Subaru Telescope), and 17 colleagues.

Debris disks are the extrasolar analogues of the Solar System's Kuiper belt. They consist of small bodies (asteroids or comets) and dust, and can be seen as leftover products of the planet formation process. Thus, debris disks can help to constrain planet formation theories. Recently, more and more debris disks with a CO gas component have been detected. The CO gas is thought to be secondary, i.e. produced from evaporation or outgassing of colliding cometary bodies. By studying the gas, we can infer the composition of the comets and study their evolution. This might help to understand how comets might deliver volatiles such as water to newly formed planets.

We present ALMA observations of neutral carbon gas (C I) emission from the CO-rich debris disk around the 15–30 Myr old A-type star HD 32297. The observed carbon is produced from CO photodissociation. We develop a simple model of the gas production and destruction in the disk. The surprisingly low C/CO ratio implies that C has to be removed from the system on a short timescale by an unknown process. Furthermore, the required CO production rate exceeds expectations from simple models of the gas production from comets. We propose a possible scenario to meet these peculiar conditions: rapid removal of C by condensation onto dust grains, followed by CO production on the grain surface and rerelease to the gas phase (i.e. CO recycling). This picture could be applied to other CO-rich debris disks and might help to elucidate their origin and evolution.

[スケジュール \(セッション毎\) 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 HD142527 の ALMA 長波長偏光観測

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), 植田高啓 (国立天文台)

原始惑星系円盤において成長途中のダストを性質を観測的に制限することは、進行中の惑星形成過程を理解する上で重要である。近年、ダストの観測的制限の手法としてミリ波偏光観測が注目されている。原始惑星系円盤の偏光度はわずか1%程度である上1秒角を切る空間分解能が必要なため、ミリ波偏光のサイエンスはALMAによって初めて可能となった。ミリ波偏光がダスト散乱に起因している場合、その観測波長からダストサイズに強い制限がつく。その一方で、ダスト整列のような他の偏光メカニズムとの切り分けが難しいこともわかっていた。

我々は、ALMAで波長0.88mmの偏光が検出された原始惑星系円盤HD 142527について、波長2.1mm偏光データを取得し解析を行った。その結果、南側では偏光ベクトルは動径方向に揃っているのに対し、北側では方位角方向に揃っていた。今回我々は2波長で得られたデータの分解能を揃え、詳細な解析を行った。その結果、北側は波長0.88mmから2.1mmにかけてのスペクトル指数が2程度であり、かつ偏光度は大きく異なることがわかった。この結果は円盤北側は光学的に厚く、観測された偏光メカニズムが波長によって異なることを示している。一方で南側はスペクトル指数が3以上かつ偏光度比が1程度であった。これは光学的に薄く、かつ偏光メカニズムが同一であることを示す。これらの結果は、少なくとも強い波長依存性を示す散乱に起因する偏光は北側でのみ発生していることを示している。本講演では更に詳細な偏光の物理メカニズム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 原始惑星系円盤 HD 163296 のミリ波連続波観測からのダストスケールハイトの制限

土井聖明 (総合研究大学院大学/国立天文台), 片岡章雅 (国立天文台)

惑星は、原始惑星系円盤内でダストが合体成長を繰り返すことで形成されると考えられている。そのため、原始惑星系円盤のダスト分布の解明は、惑星形成過程の解明において重要なテーマである。近年の ALMA 望遠鏡による高解像度ミリ波観測により、多くの原始惑星系円盤でダスト面密度はリング構造を持つことが明らかとなった。リング形成機構を理解する上でダストサイズや乱流強度を観測的に制限することは重要である。本研究では、リングのダストスケールハイトに着目し、リングにおける物理状態を観測的に制限することを目指した。

本研究では、傾いた原始惑星系円盤のリングに着目し、ダストスケールハイトの違いが特に短軸上での観測されるリングの幅とピークでの輝度に影響することを明らかにし、長短軸の輝度比を定量的に導出した。実際の天体への応用として、HD163296 の ALMA large program DSHARP によって観測された波長 1.25mm での高解像度ダスト連続波画像と、RADMC-3D を用いた輻射シミュレーション画像を比較することで、ダストスケールハイトの制限を行った。この天体は、半径 67au と 100au に二つのはっきりとしたリング構造を持つことが知られており、本研究ではこの二つのリングそれぞれについてダストスケールハイトを決定した。その結果、内側 (67au) のリングではダストスケールハイトはガススケールハイトと同程度に厚くなっているのに対し、外側 (100au) のリングでは、ガススケールハイトの 1/10 程度まで沈殿していることが明らかとなった。この結果は、2つのリングそれぞれでダストのサイズやガス乱流強度、あるいはリングの形成機構が異なることを示唆する。

[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](#)

## P206a ALMA ミリ波偏光観測と VLA センチ波観測による原始惑星系円盤 IRS48 のダストサイズ分布

大橋聡史 (理研), 片岡章雅 (国立天文台), Nienke van der Marel (ビクトリア大), Chat Hull (国立天文台), Bill Dent (JAO), Adriana Pohl (MPIA), Paola Pinilla (MPIA), Ewine van Dishoeck (ライデン大), Thomas Henning (MPIA)

原始惑星系円盤は惑星形成の現場と考えられており、そこで星間ダストが濃集し成長することで惑星が形成されると捉えることができる。原始星 IRS 48 は若い A 型星で、ALMA 0.44 mm と VLA 8.8 mm のダスト連続波観測によって三日月構造の円盤を持つことが知られている (例えば van der Marel 2013, 2015)。このような三日月構造はダスト濃集によって、大きなダストほど中心に集中することで観測されると解釈できる。そこで今回新たに ALMA 0.86 mm のダスト偏光観測を行いダスト濃集の様子を調べた。

ALMA の偏光観測の空間分解能は 0.5 秒 (60 au) ほどで三日月構造を分解できなかったが、偏光ベクトルが円盤の短軸方向に沿い、偏光度が 1% ほどであることから、ダストの熱放射による自己散乱モデル (Kataoka et al. 2015) で偏光を説明できる。そのため、ダスト濃集領域のダストサイズはおおよそ 100 ミクロンほどであることが示唆されるが、先行研究では VLA で明るいことから cm ほどの大きなダストを示唆しており今回の結果と矛盾する。そこで、ALMA 0.44 mm と VLA 8.8 mm のダスト連続波と今回の ALMA 0.86 mm 偏光観測を同時に説明するため、輻射輸送計算のモデリングを行なった。その結果、波長 0.86mm の熱放射は従来考えていたよりも 10 倍以上光学的に厚く ( $\tau \sim 7.3$ )、観測可能な円盤上層のダストサイズは 100 ミクロンほどであることを示唆する。ただし、この結果は 100 ミクロン以上の大きなダストが赤道面に存在することは否定できない。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

## P207a 原始惑星系円盤における $N_2H^+$ , $N_2D^+$ 輝線観測データの解析

大和義英 (東京大学), Gianni Cataldi (東京大学, NAOJ), 相川祐理 (東京大学), ALMA MAPS team

近年 ALMA を用いて、多くの Class II 円盤について数 AU に迫る空間分解能でダスト連続波の観測が行われ、円盤内に円環や渦状腕といった様々な構造がみられることが分かってきた。一方で分子ガスの分布、すなわち円盤内の化学的な構造を同様の空間分解能で明らかにするには長時間の輝線観測が必要であり、これまでそのような観測はほとんど行われてこなかった。

我々は、Class II の円盤 5 天体を様々な分子輝線について  $0''.1$  に迫る高空間分解能で観測する ALMA Large Program MAPS に参加しており、重水素分子の解析を行っている。本講演では  $N_2D^+$  ( $J = 3-2$ ) 輝線の解析結果を報告する。 $N_2D^+$  は円盤中心面付近の電離度や重水素化の指標となる重要なイオン分子であるが、存在量が少ないため輝線強度が弱い。特に高空間分解能観測の場合、積分強度図などの従来の解析手法では検出および定量的な評価が困難である。そこで、円盤内のガスの力学的運動 (ケプラー回転) を利用して信号雑音比を向上させ、付随するノイズレベルの詳細な解析を行うことにより、5 天体中 3 天体について  $N_2D^+$  ( $J = 3-2$ ) 輝線を確実に検出した。さらに、円盤の回転角方向にスタッキングを行うことにより、 $N_2D^+$  のフラックスおよび柱密度の動径方向分布を得た。 $N_2D^+$  は半径 50 au 以遠にピークを持つリング状に分布しており、円盤外縁部の低温な中心面に存在するという理論的予測と整合的である。ピーク位置における柱密度は  $10^{11} \text{ cm}^{-2}$  に達する。典型的な円盤モデルでこの柱密度を再現するには  $10^{-17} \text{ s}^{-1}$  程度の電離率が必要である。また、 $N_2D^+$  ( $J = 3-2$ ) 輝線観測のアーカイブデータと比較することにより、円盤内の  $N_2D^+/N_2H^+$  比を求めた。 $N_2D^+$  フラックスがピークとなる半径において柱密度比は非常に高く、円盤内でイオン-分子反応による分子の重水素化が有効であることを示す。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

## P208a ngVLA による原始惑星系円盤観測、及び ALMA 観測とのシナジー

百瀬宗武 (茨城大理), 伊王野大介 (国立天文台)

次世代ミリ波センチ波干渉計 (ngVLA) は、米国国立電波天文台 (NRAO) が立案を主導する大型汎用電波望遠鏡計画である。2028 年に初期科学運用の開始、2034 年に本格科学運用の開始をそれぞれ目指しており、日本国内でもこの計画の一翼を担うための準備活動を平成 31 年度から開始した。ngVLA は周波数 1.2 – 116GHz において、既存装置 (JVLA, ALMA) に比べて 1 桁以上高い感度と空間分解能の達成が想定されている。本講演では原始惑星系円盤を対象にした研究に絞り、ALMA とのシナジーも含め、科学的意義を議論する。

波長 1mm 以下でのダスト熱放射観測により、ALMA は地球近傍に存在する円盤内部の詳細構造を 10au を切る解像度で明らかにした。この中には、円盤内に潜む惑星の公転運動のより作られたとみられる同心円ギャップの発見や、周惑星円盤の候補となるダスト柱密度が高い領域の検出が含まれる。これらは、この波長帯での ALMA の高い能力がなければ得られなかった成果であるが、同時に、いわゆる “filled disk” 内域がこれらの放射に対して光学的に厚くなり、円盤赤道面まで見通した正確な質量分布測定が原理的に不可能である限界も明らかになった。さらに円盤ダストは、星間ダストとは異なり、ミリ波・サブミリ波帯で高い散乱効率をもち得ることも、ALMA 偏光観測や SED 詳細解析によって示された。このことから、ダスト光学特性の完全な把握と円盤質量の正確な導出には、より長波長側での情報が不可欠であると考えられる。ngVLA は、岩石惑星が作られる円盤内域の物質分布を見通せる波長帯での高解像度撮像により、円盤・惑星相互作用に伴う円盤構造の時間変化やダストサイズ分布の決定など、ALMA が提示した新たな疑問に答えていく上で決定的な役割を果たすと期待される。講演では具体的なサイエンスケースに沿って、将来の惑星形成・系外惑星研究の中で ngVLA の意義を展望する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

## P209a ngVLA と ALMA を用いた岩石惑星形成領域の温度構造の断層撮影

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)

原始惑星系円盤の内側領域の熱構造を明らかにすることは、地球をはじめとする岩石惑星の形成過程を解明する上で重要な課題である。内側領域の温度分布は、ガスの降着に伴う発熱（降着加熱）の影響を大きく受け、その大小によっては中心星から 1 au の軌道で岩石惑星と氷惑星のどちらが形成されるかが変わりうるほどである (Sato et al. 2016)。しかし、降着加熱の効率は降着の具体的な描像に大きく依存し、したがって大きな不定性がある。例えば、古典的な粘性円盤モデルによると降着加熱は赤道面温度を大きく上昇させるが、最近の磁気流体力学的降着モデルによると降着加熱は赤道面の温度上昇にほとんど寄与しない (Hirose & Turner 2011; Mori et al. 2019)。現実の円盤で降着加熱が作用しているのかどうかを観測的に検証することができれば、円盤進化と岩石惑星形成の理解は大きく前進する。

本講演では、次世代ミリ波・センチ波電波望遠鏡 ngVLA (the Next Generation Very Large Array) と既存の ALMA 望遠鏡を利用して、中心星から数 au の領域 (岩石惑星形成領域と呼ぶ) の 2 次元温度構造を探る方法論を提案する。ngVLA は、光学的に比較的薄いミリ波・センチ波帯での円盤の高解像度撮像を実現する予定であり、岩石惑星形成領域の赤道面付近をとらえるのに最適な装置である。ALMA はすでに同程度の空間分解能を、光学的に厚いサブミリ波で達成しており、岩石惑星形成領域のより円盤表面に近い部分を撮像することが可能である。我々は、粘性降着モデルと磁気降着モデルの 2 つに対して、ngVLA と ALMA によって得られる多波長での輝度空間分布を理論計算した。その結果、多波長での輝度分布の比較から、岩石惑星形成領域の赤道面温度と温度鉛直勾配を推定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](#)

## P210a 円盤風で進化する原始惑星系円盤における新しいダスト成長メカニズム

瀧哲朗 (国立天文台), 桑原滉 (東京大学), 小林浩 (名古屋大学), 鈴木建 (東京大学)

惑星系の形成は原始惑星系円盤と呼ばれるガス円盤中での固体微粒子 (ダスト) のサイズ進化の過程である。一方、円盤内のダストはガスから抵抗を受けて中心星方向へ落下するので空間的にも進化する (e.g., Adachi et al. 1976)。進化の初期段階では成長の時間スケールが落下の時間スケールよりも短く成長が卓越するが、成長に伴い両タイムスケールの差は縮まり、遂には落下が卓越するためダストは惑星に成長することができない (e.g., Birnstiel et al., 2012)。これらのダスト進化の時間スケールは粘性降着による円盤進化の時間スケールよりも短いので、従来は定常な円盤内でのダスト進化を考えることが多かった。しかし、近年では円盤進化の描像が古典的な粘性降着円盤から変わりつつあり、ダストの進化の描像も再考する必要がある。

本研究では磁気駆動円盤風 (Suzuki et al., 2010; Bai 2013) と呼ばれるガス散逸機構を考慮した円盤の進化と、円盤中でのダスト進化を同時に調べた。磁気駆動円盤風が優勢な円盤では、ガス面密度が円盤の内から外に向けて進化する傾向がある。我々は、このようなガス面密度進化の下では落下が卓越する際のダストの平衡サイズが上昇することを示した。さらに平衡サイズが臨界値を超えると不安定的なダスト成長が起こり、落下を回避できることを発見した。この臨界値はダスト・ガスの面密度比とガスの動径方向圧力分布の関係として定式化できる。本講演では、今回定式化した成長条件を紹介すると共に、観測的な応用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](#)

## P211a 低質量比ダストアグリゲイト間衝突による成長と破壊

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

惑星が形成される原始惑星系円盤はガスとダストから成る。ダストは主に衝突付着によって成長すると考えられているが、衝突速度によってはダストは成長できずに破壊される。このダスト衝突時の成長と破壊は惑星形成の初期段階を理解するために非常に重要であるが、その詳細は、しかしながら、まだそれほど解明されていない。我々は大量のダストモノマーから成るダストアグリゲイトの衝突成長と破壊の様子を N 体コードを用いた第一原理的な数値計算を実行して調べた。我々は特に、先行研究では詳細には調査されていなかった 10 よりも低い比に関して、ダストアグリゲイトの衝突成長に対する衝突速度の上限を求めた。サブミクロンサイズの氷製のダストモノマーに関して、衝突前のダストアグリゲイトの質量比が 1 より高いが 20 より低い場合、標的から衝突体への質量輸送のせいで衝突速度の上限は等サイズ衝突に関する値よりも低いことが分かった。その上限は衝突するダストアグリゲイトの質量比が約 3 で最小になり、その最小値は等サイズ衝突に関する値の約半分であることが分かった。この低い上限は、特に円盤の内側で、これまで考えられていたよりもダストの成長を妨げるかもしれないことを暗示する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

## P212a 原始惑星系円盤のダストと鉛直シア不安定性の共進化：線形解析からの示唆

福原優弥, 奥住聡, 小野智弘 (東京工業大学)

原始惑星系円盤にどの程度の強さの乱流が存在しうるのであるかを明らかにすることは、円盤理論モデルの構築や円盤観測の解釈を行う上で重要な課題である。近年では円盤乱流の駆動源としていくつかの流体不安定性が注目されており、そのうちの 1 つが鉛直シア不安定性 (Vertical Shear Instability: VSI) と呼ばれるものである。VSI は円盤内の角速度の鉛直勾配が引き起こす不安定性 (Urpin & Brandenburg 1998) であり、ダストを強く巻き上げるような乱流を駆動する (Flock et al. 2017, 2020)。この不安定性は特に円盤の外側の領域に現れやすく、ALMA などによる円盤ダストの撮像観測の解釈 (e.g. Pinte et al. 2016) において重要となることが期待される。

本研究では、VSI に対してダストが与える役割に注目し、ダストと VSI がどのように共進化しうるかを調べた。VSI が不安定化するには、冷却の時間スケールが円盤の回転周期に比べて短いことが必要である。円盤の冷却は主にダストが担い、ダスト密度やオパシティの低下は冷却時間の増加を引き起こす。そこで我々は、円盤の冷却時間をダストの最大サイズとダストの鉛直分布を決めるガスの鉛直拡散係数をパラメータとして計算した。その後、冷却時間と円盤の回転周期を比較することで、ダストの成長・沈殿に応じて VSI の発生領域がどのように変化するかを線形解析 (Nelson et al. 2013) に基づいて推定した。これによって、ダストの成長・沈殿が進行すると、円盤の表面に近い領域での冷却時間が円盤の回転周期を超え、その領域で VSI が安定化することを明らかにした。一般に乱流がダストの合体成長の阻害要因であることを踏まえると、ダストと乱流の共進化はダストの成長を促進する方向に作用すると考えられる。また、ダストの沈殿と VSI の安定化の間に正のフィードバックサイクルが存在することが示唆される。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

## P213a ダストリング構造の重力崩壊による微惑星形成

高橋実道 (国立天文台)、小久保英一郎 (国立天文台)

本研究では、ダストのリング構造の重力不安定性による微惑星形成について調べる。近年の ALMA による原始惑星系円盤の高分解能観測から、ダストのリング構造が形成されている円盤が多数発見されている。このようなリング構造にダストが濃集している場合、リング中で惑星形成が進む可能性が考えられる。特に、HL Tau などのような明るい天体に形成されているリング構造では、ダストの質量が大きく、自己重力が重要になる可能性がある。また、リング構造形成メカニズムの一つである永年重力不安定性によってリングが形成された場合、ダストが自己重力によってリング状に濃集するため、必然的に重いリング構造が形成されると期待される。

大質量のリング構造は、回転方向の自己重力的な収縮に対して不安定となる場合がある。ダストのリング構造でこの重力不安定性が成長した場合、重力崩壊による微惑星形成につながることを期待される。本研究では、リング構造が永年重力不安定性によって形成された場合に、リング構造の重力崩壊で形成される微惑星の質量を推定する。まず、初期条件となる円盤モデルを与え、永年重力不安定性の最大成長波長と面密度から、各半径に形成されるダストリングの線密度を評価する。次に、それぞれのダストリングに対して重力不安定性についての線形解析を行い、不安定となる波長とダストリングの線密度から、重力崩壊で形成される微惑星質量を求める。本発表では、この方法により得られた円盤中での微惑星質量の半径分布と、ダストリングの幅、厚みなどのパラメータに対する微惑星質量の依存性について議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

## P214a 原始惑星系円盤中でのダストから惑星まで一貫した直接合体成長の理論的研究

小林浩 (名古屋大学)、田中秀和 (東北大学)

原始惑星系円盤の中で  $0.1 \mu\text{m}$  サイズのダストから  $10,000 \text{ km}$  にもなる惑星が形成される。衝突合体による成長が重要なプロセスであるが、ダストから惑星まで一貫して調べたシミュレーションはこれまでなかった。これまででは、ガスによって運動をコントロールされているダストの成長のみをとり扱うシミュレーションと相互重力により運動を支配されている  $\text{km}$  サイズ以上の微惑星以降のとり扱うシミュレーションが行われていた。本研究では、両者を一貫して取り扱えるようにシミュレーションコードを開発し、原始惑星系円盤中でのダストから惑星までの  $40$  桁以上の質量領域における衝突進化を一貫してシミュレーションを行った。その結果、以下のことがわかった。(i) 過去の研究で指摘されていたとおり  $10 \text{ AU}$  以内の円盤では動径方向の移動よりも早く衝突合体成長により惑星形成が可能である。(ii) 外側の円盤では、ガスによる制動時間が公転周期程度になる大きさの小石大の天体が動径移動を活発にする。(iii) 動径移動した天体が  $10 \text{ AU}$  以内で合体成長し、微惑星を増やす。(iv) 微惑星の増加により、 $5\text{-}10 \text{ AU}$  で大きな惑星が作られやすい。近年、小石サイズの天体を惑星が集積する小石集積が盛んに議論されているが、 $10 \text{ AU}$  以内に移動してきた小石は速やかに微惑星サイズになるため小石集積はほとんど起こらない。一方、微惑星が増加した結果、衝突ダンプングなどが効果的になり、微惑星の集積率が著しく上昇した。その結果、 $5\text{-}10 \text{ AU}$  で巨大ガス惑星を作る重い固体核を数十万年で形成した。このことは、太陽系の木星や土星という巨大ガス惑星が  $5\text{-}10 \text{ AU}$  で形成された理由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](#)

## P215a H<sub>2</sub>O 氷の 3 $\mu$ m 散乱偏光フィーチャーの起源と原始惑星系円盤への応用

田崎亮 (工学院大学), 村川幸史 (大阪産業大学), 本田充彦 (岡山理科大学), 武藤恭之 (工学院大学), 井上昭雄 (早稲田大学)

原始惑星系円盤における H<sub>2</sub>O 氷 (以下、水氷) は、H<sub>2</sub>O スノーラインの外側では、主要な固体成分であり、惑星形成過程で様々な重要性を担う。そのため、円盤における水氷の存在量、サイズ、空間分布を知ることは、惑星形成を理解する上で大きなヒントとなることが期待される。

観測的に円盤に存在する水氷を調べる有力な方法は、波長約 3  $\mu$ m に存在する水氷のフィーチャーを観測することである。この水氷のフィーチャーは、ダスト半径がある程度以上大きい場合には、その波長での散乱偏光度の増大や振動などの特徴的な波長依存性である「偏光フィーチャー」を引き起こす (Pendleton et al. 1990, Kim et al. 2019)。しかし、この偏光フィーチャーがどのようなメカニズムで生じているかはよくわかっていなかった。

そこで、本研究ではまず、水氷の粒径が波長に比べて十分大きい場合の偏光フィーチャーの起源を明らかにした。我々は水氷に対する光散乱を幾何光学近似を用いて計算し、どのような散乱光が偏光度に寄与しているかを調べた。その結果、水氷フィーチャーでの複素屈折率の変化が、表面散乱光の性質や水氷の内部透過光の強さを変化させることで、偏光フィーチャーを形成していることを明らかにした。

次に、原始惑星系円盤の輻射輸送計算を RADMC-3D を用いて実行し、原始惑星系円盤における水氷の散乱偏光フィーチャーの観測予測を行なった。ここでは、最大ダスト半径や氷の組成比を様々に変化させ、偏光フィーチャーがどのように観測されるかを調べた。その結果、偏光フィーチャーのベースの偏光度の値とそこから偏光フィーチャーの高さから、円盤における最大ダスト半径や氷の存在量を推定できる可能性があることがわかった。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

## P216a ミリ波散乱減光が原始惑星系円盤の質量推定に与える影響

植田高啓, 片岡章雅, 塚越崇 (国立天文台)

原始惑星系円盤のダスト質量は、固体惑星やガス惑星のコアの質量を決める最も重要な物理量の 1 つである。近年の系外惑星と原始惑星系円盤のサーベイ観測から、原始惑星系円盤のダスト質量は、見つかっている系外惑星系の質量を説明するには不十分であることが指摘されている。原始惑星系円盤のダスト質量は、円盤が光学的に薄いという仮定のもとミリ波での輻射強度から推定されるが、従来の質量推定ではミリ波での光子の散乱の効果は無視されてきた。しかし、このミリ波散乱は円盤を見かけ上暗くする効果があるため、円盤質量を過小評価している可能性が考えられる。

本研究では、TW Hya 周りの原始惑星系円盤の多波長 ALMA 観測データと輻射輸送計算を元に、実際の円盤で散乱減光がどの程度効いているかを調べた。観測データとしては、Tsukagoshi et al. (2017, 2019) の ALMA Band 4, 6, 7 のデータに加え、Band 3, 9 の ALMA アーカイブデータをキャリブレーションして使用した。その結果、TW Hya の内側 10 au 以内の領域において、波長 0.92 mm 付近で散乱なしのモデルに比べ優位に減光していることがわかった。この減光は、半径 300  $\mu$ m のダストによる散乱減光によってよく説明できる。また、散乱を考慮した上での円盤の質量は 10au で 10 g cm<sup>-2</sup> となり、従来と比べて 26 倍重いことがわかった。この大きな違いは、散乱減光によって、光学的に厚い円盤が光学的に薄く見えていたことによる。今回得られた高いダスト面密度は、この円盤内側領域では、今でも惑星形成に十分なダストを保持していることを示している。

本発表では、これらの結果を述べた上で、ミリ波散乱減光がダスト質量欠損問題を解決するかどうかについて議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

## P217a 原始惑星系円盤における赤道面非対称な磁場構造の形成

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

原始惑星系円盤の構造決定にはガスの角運動量輸送過程が重要な役割を果たしている。円盤内側は電離度が十分高く、磁気回転不安定性 (MRI) の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) が現れる。そこ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)。

我々は Athena++ (Stone et al. 2020) を用いて、現実的なオーム散逸と両極性拡散の係数 (Okuzumi 2009) を考慮して、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 ( $0.1 \text{ au} \leq r \leq 10 \text{ au}$ ) をもつ高解像度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。前回の学会ではデッドゾーン境界付近形成されるリング・ギャップ構造の形成メカニズムについての講演をおこなった。本講演では、デッドゾーン内部と上空における赤道面非対称な磁場構造の形成について報告する。これは以下のように起こると考えている。デッドゾーンの上空は磁場とガスが凍結しているため、そこで磁気トルクによって角運動量が抜かれ表面降着層が現れる。円盤の上下面の表面降着流のあいだに僅かな揺らぎがあると、それが不安定性により増幅していく。それにともない赤道面对称な初期磁場が、非対称な構造へと遷移する。その結果、片方の面からは磁気遠心力風が吹き、もう一方の片面からは中心星へのガス降着が起こるといふガス運動の赤道面非対称構造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](#)

## P218a 原始惑星系円盤への宇宙線の侵入とガスの電離について

藤井悠里 (名古屋大学), 木村成生 (東北大学), Soonyoung Roh (Nation Institute of Meteorological Sciences)

原始惑星系円盤は宇宙線や X 線、紫外線などによって弱く電離されていると考えられている。円盤ガスがどの程度電離しているかは、磁場とガスとの相互作用の強さを決める。したがって、円盤の力学的な進化を議論する上で必要な情報の一つである。また、円盤内部での化学進化は主に宇宙線などによる水素ガスの電離によって誘発されるため、宇宙線がどの程度原始惑星系円盤に侵入できるかは、物質進化にも影響を与えると考えられる。

従来の原始惑星系円盤の研究では、円盤表面では星間空間の宇宙線電離率が広く適用され、内部を議論する際には、表面からのガスの柱密度の分だけ減衰させた電離率が用いられてきた。しかし、磁場の強さとジャイロ半径の見積もりから、宇宙線は磁場に巻きつきながら原始惑星系円盤に向かってやってくることで、さらに円盤内では外部に比べ、乱流や速度シアによって磁場が増幅されるため、磁気ミラー力によって低エネルギーの宇宙線粒子がはね返されることが分かった。そして、円盤の赤道面付近を電離し得るのは、約  $10 \text{ GeV}$  以上のエネルギーを持つ宇宙線に限られるという結果が得られた。したがって、円盤内部の宇宙線による電離率はこれまで考えられてきたものよりも小さくなると予期される。

[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](#)

## P219a 原始惑星系円盤上のガス渦が作り出すチャンネルマップ上の捻じれ

小野智弘 (東京工業大学), Jeffrey Fung (IAS)

原始惑星系円盤の中において、惑星はどのように形成されるのだろうか。この問いに答えるために、円盤内に存在する惑星を観測する必要がある。近年、円盤内の惑星を直接観測したという成果が報告されるようになってきた。しかし、円盤構造の観測から惑星の存在を間接的に推定する方法も依然として重要である。円盤の分子輝線観測において、チャンネルマップ上の局所的な捻じれは惑星の存在を示唆する。これは、惑星の重力によって惑星周辺の速度場が局所的に乱されるためだ。一方で、円盤上のガス渦もチャンネルマップ上に局所的な捻じれを生じさせると考えられる。しかし、これまでガス渦がどのような捻じれを作り出すのかは調べられてこなかった。

我々はガス渦が作り出す捻じれが観測可能であるかを調べるために、Athena++コードを用いた3次元数値流体計算を行った。その時、ガス渦のサイズをパラメータとし、ガス渦の強度はそのサイズにおける最大値を採用した。ガス渦の構造は円筒状であり、その速度場はガス渦モデルを用いて良く見積もることができる。また、ガス渦が作るチャンネルマップ上の捻じれを観測するためには、サイズの大きいガス渦が必要となることが分かった。そのようなガス渦は周囲のダストを集積し、ダスト連続光においても三日月構造として観測されると考えられる。さらに、惑星の場合の数値計算も行い、ガス渦計算と結果を比較した。これにより、ガス渦が作り出すねじれは惑星が作るものと方向が逆になることが分かった。以上から、観測されているチャンネルマップ上の捻じれの多くが惑星によるものであると考えられる。一方で、三日月構造がダスト連続光で観測されている天体に対して高分解能な分子輝線観測を行うことで、三日月構造の成因に制限を与えることができるという示唆を得た。

[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](#)

## P220a 惑星移動がギャップ構造に及ぼす影響

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

原始惑星系円盤内で生まれた惑星は周囲の円盤ガスとの重力相互作用によって角運動量を失い円盤内側に移動する。さらに惑星が十分大きな質量をもつ場合、この重力相互作用によって惑星周辺のガスが吹き飛ばされ惑星軌道に沿った低ガス密度領域 (ギャップ) ができる。従来研究では比較的ガス粘性が大きな円盤 ( $\alpha \gtrsim 10^{-3}$ ) が考えられていたが、近年の円盤観測からより低粘性である可能性が示唆されている。

本研究では数値流体シミュレーションを用いて、比較的粘性が小さい円盤において海王星サイズの惑星の内側移動がギャップ構造にどのような影響を及ぼすのかを調べた。円盤質量が大きいほど惑星の内側移動は早くなる。一方で粘性が小さいとギャップ形成にはより長い時間が必要になる。ギャップ形成時間が惑星の内側移動時間よりも長い場合、ギャップは惑星の移動に追従できずギャップの中心 (最も深い場所) が惑星軌道よりも外側になることが分かった。惑星位置とギャップ中心のずれが観測された場合、これは惑星移動の観測的証拠といえる。また、惑星移動時間とギャップ形成時間の比と惑星位置とギャップ中心のずれの間に簡単な関係式を発見した。さらに低粘性円盤では、惑星周辺のギャップのほかに惑星軌道の内側に第2のギャップができることが知られている。我々はこの第2のギャップの位置と惑星軌道半径の差が第2のギャップ周辺の円盤スケールハイトと関係していることを見つけた。

本発表では、上記の結果を紹介するとともに惑星位置とギャップ中心のずれが観測された場合どのように惑星形成領域の性質が制限できるのかを議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

## P221a 中質量星周りの円盤の消失における恒星進化の影響について

國友 正信 (久留米大学), 井田 茂, 竹内 拓 (東京工業大学), Olja Panić, James M. Miley (リーズ大学), 鈴木 建 (東京大学)

原始惑星系円盤の長期進化が星の質量にどう依存するのかに注目する。観測により円盤寿命が中心星質量に依存することが示唆されている: (i) 近赤外線での観測では中質量星の円盤寿命は低質量星 ( $< 1.5 M_{\odot}$ ) に比べて短い, (ii) 中間赤外線での円盤寿命は近赤外線の寿命に比べて有意に長いことが知られている (e.g., Yasui et al. 2014). しかし現在までにこれらの原因は解明されていない。本研究では数値計算を用いて, 中質量星周りの円盤の長期進化を調査した。粘性降着および中心星の X 線, 極端紫外線, 遠紫外線 (FUV) の照射による光蒸発を考慮した。中質量星は低質量星とは異なり数百万年で星の内部構造や有効温度が大きく変化し, その結果 X 線・紫外線光度が大きく変化するため, 中心星の進化により光蒸発率や円盤進化がどのように影響を受けるかに注目した。X 線光度の時間進化は観測から得られた経験式を用いてモデル化し, FUV 光度については光球面・降着・磁気活動の 3 成分の放射をモデル化した。結果, 中質量星周りでは星の進化により光蒸発率が大きく時間変化し, 支配的な円盤散逸機構が X 線光蒸発から FUV 光蒸発に変化することがわかった。3  $M_{\odot}$  の星の場合, X 線光度ははじめ大きい ( $> 10^{31}$  erg/s), 表面对流層が消失することで, 1 Myr までに大きく減少する。一方で, FUV 光度は  $\approx 1$  Myr 経つと急激に増大する。これは星の表面温度が 7000 K を超え, 光球面から FUV が放射されるためである。0.5–5  $M_{\odot}$  の場合で円盤進化計算を行い, 観測との比較を行った。(i) については X 線光蒸発, FUV 光蒸発, および恒星進化を考慮すれば観測と矛盾しない結果を得ることがわかった。近赤外線と中間赤外線での円盤寿命の差 (ii) については, FUV 光蒸発が円盤外側で非効率であれば再現出来ることがわかった。

[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](#)

## P222a 原始惑星系円盤進化の中心星質量への依存性

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

これまでに 4000 個を超える太陽系外惑星が発見されてきた。この中には地球の様な岩石惑星の発見も増えてきている。一方でこの様な惑星系が、どの様に誕生しさらに進化してきたのかは大きな不確定性要素がある。惑星系形成および進化を考える上で、初期段階にあたる原始惑星系円盤の時間進化の理解は本質的に重要である。円盤はダストとガスから出来ており、岩石惑星の形成進化はダストが中心的役割を果たすが、ダストの動力学や成長を解明する上で背景のガス成分の物理状態を理解することが不可欠である。円盤の散逸は中心星からの放射による光蒸発や磁気駆動円盤風に担われるが、これらが時間とともにどの様に寄与し、更に中心星質量の違いにより異なるのかは分かっていない。

本研究では X 線による光蒸発 (Owen et al. 2012) と磁気駆動円盤風 (Suzuki & Inutsuka et al. 2009) を考慮した、原始惑星系円盤のガス成分の動径方向 1 次元のシミュレーションを行い、中心星質量の違いにより円盤進化がどの様に異なるかを調査した。

質量降着、円盤風、光蒸発の効果をそれぞれ考慮したシミュレーションをした上で、散逸機構の組み合わせの中心星質量依存性に着目した。もっとも現実的な組み合わせの場合、中心星質量が大きいほど内側が消失が早くなる事が分かった。また、中心星の光度から定義する雪線で規格化した場合でも、中心星質量が大きいほど内側が消失が早くなる事が分かった。

更に、観測での円盤寿命の傾向と比較するため、SED を求め、その傾きの進化から観測との整合性を確認した。

[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](#)

## P223a 原始惑星系円盤光蒸発の輻射流体計算：中心星質量・光度依存性

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)

原始惑星系円盤は寿命を持ち、太陽系近傍星形成領域の観測からおよそ 3-6 百万年であると見積もられている。円盤消失の理論的機構の一つとして光蒸発が挙げられる。光蒸発とは中心星または近傍にある星から放出された高エネルギー光子 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ガスが加熱され、円盤から流れ出ていく現象である。赤外線観測により  $2 M_{\odot}$  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明らかになっている (Ribas et al. 2015) ことから、円盤寿命が中心星の質量や光度に依存することが示唆されている。惑星系は円盤内部で円盤ガス・ダストから形成されるため、円盤進化は惑星系構造の決定に深く関わっている。広波長域観測によって多様な中心星を持つ系で惑星が発見されていることから、様々な主星周りでの円盤進化を考える必要がある。

これまでには二次元輻射流体シミュレーションを  $0.5 - 7 M_{\odot}$  の中心星を持つ系に対して遂行し、光蒸発率の中心星質量依存性を発表した。本研究は、各中心星質量を持つ場合に対して面密度の損失率を導いた。その結果、どの中心星質量を持つ系に対しても中心星からの距離の約-1.5 乗に比例することが分かった。本研究では前主系列星の光度は観測的に数桁異なることが明らかになっている点に着目し、EUV/FUV/X 線が fiducial な場合と比べてそれぞれ 10 倍、1/10 倍の光度を持つ場合に対しても同様にシミュレーションを遂行して光蒸発率を計算した。その結果、中心星質量が 0.5, 1.0, 3.0 太陽質量のとき EUV 光度の変化によって光蒸発率に変化は見られなかった。一方 FUV, X 線を変化させた場合、光度の増加に比例して円盤の質量損失率も増加することが分かった。このことから光蒸発過程は FUV/X 線による加熱が支配的だと考えられる。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

## P224a 惑星由来の水素輝線放射のモデル化：PDS70b, c の形成過程への制約

青山雄彦 (清華大学), 生駒大洋 (東京大学)

近年、形成中の惑星からの水素輝線 ( $H\alpha$ ) の検出が報告されている。輝線の放射温度は数万 K, 赤外などの連続放射は数千 K を示唆しているため、惑星へ降着するガスが一時的に高温となり、光学的に薄い高温ガスから水素輝線が放射されていると考えられる。加熱機構として有力なのは、集積に伴う衝撃波加熱である。そこで我々は、衝撃波加熱を受けた高温ガスからの水素輝線放射の数値モデルを開発した。放射過程が冷却源でもあるので、冷却・化学反応・放射輸送の時間発展計算を行い、放射される水素輝線を推定できる。

本発表では、このモデルの結果を用いることで最新の観測結果から得られる情報について議論する。PDS70b, c の二惑星は現在最も観測量が多い水素輝線放射惑星である。この天体からは  $H\alpha$  の強度だけでなくスペクトル形状も観測されている。これらの観測量を用いて惑星質量・質量集積率・集積ガスのジオメトリーなどについて議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

## P225a 二次元数値流体計算による巨大惑星へのガス降着モデルの検証

中澤佐穂, 田中佑希, 田中秀和 (東北大学理学研究科)

太陽系内や系外の巨大惑星は、原始惑星系円盤の大量のガスが降着することにより形成されたと考えられているが、惑星へのガス降着率を与える確定したモデルはまだなく、巨大惑星の形成時間や最終質量を決める上で問題となっている。巨大惑星はその重力により密度波を励起し、周りのガスを跳ね飛ばすことで、軌道に沿って密度が低下したリング領域（ギャップ）を作る。Tanigawa & Tanaka (2016) は、惑星へのガス降着率はギャップ内の低下したガス面密度に比例すると仮定して、ガス降着のモデルを作った。しかし、そのモデルではガス面密度が、惑星へのガス降着を無視した Kanagawa et al.(2015) の経験式で書かれている。惑星へのガス降着率を考える場合、ガス降着を考慮したガス面密度を調べる必要がある。そこで本研究では、FARGO コードを用いて惑星を含めた原始惑星系円盤の二次元数値流体計算を行い、Tanigawa & Tanaka (2016) のガス降着率のモデルを検証した。本研究では、惑星近傍でガス面密度をある時定数で減少させることで、惑星へのガス降着を模擬する方法をとった。この方法には、降着領域の半径や降着時間、惑星重力ポテンシャルのソフトニング長という三つのパラメータが含まれている。これらのパラメータを変えて、様々な惑星質量、粘性に対して多数の数値流体計算を行った結果、降着範囲半径とソフトニング長については、十分小さい値を取り、降着時間を十分短くすれば、降着率は一定の値に収束することが分かった。降着時のギャップ内のガス面密度は Kanagawa et al.(2015) の経験式とは異なっているが、降着率は、Tanigawa & Tanaka (2016) のモデルと一致することが確かめられた。

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

## P301a 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, 須藤 靖 (東京大学)

重力波で検出された連星ブラックホールは、その起源となる比較的長周期の連星ブラックホールの存在を示唆する。本研究では、連星ブラックホールー 恒星三体系を考え、恒星の視線速度変動を検出することで、直接観測が困難な連星ブラックホールを探査する可能性を議論する。

2019 年秋の天文学会発表では、共通軌道面をもつ三体系に対して数値シミュレーションで視線速度データを作成し、ベースラインのケプラー運動成分を適切に除去することで、連星ブラックホールに起因する短周期変動を取り出せることを示した。また、その短周期変動を通じて、連星ブラックホールの検出、及びその軌道要素の制限が原理的に可能であることを示した。

今回はより一般に、異なる軌道面をもつ三体系 (傾斜三体系) についても視線速度変動を通じた連星ブラックホールの探査について研究を行った。まず、軌道離心率や連星ブラックホールの質量比を変化させ、複数の初期傾斜角をもつ三体系の数値シミュレーションを行い、視線速度データを作成した。その結果、傾斜三体系においては、上述の短周期視線速度変動に加えて、昇交点歳差運動・古在機構による傾斜角の力学進化に伴った視線速度振幅の長周期変動が生じることがわかった。この長周期変動は、短周期変動に比べて大振幅であるため、比較的公転周期の短い傾斜三体系に対しては、有効な連星ブラックホール探査法となりうる。本発表では、様々な軌道要素を持つ三体系について生じる短周期変動・長周期変動を提示し、各変動から得られる連星ブラックホールの軌道情報について考察する。加えて、候補となる三体系の軌道要素に対する制限を行い、視線速度変動を通じた連星ブラックホールの探査可能性についての考察を行う。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

## P302a 恒星間彗星 2I/Borisov の偏光観測

古荘玲子 (都留文科大学/国立天文台), 秋田谷洋 (広島大学宇宙科学センター), 中岡竜也 (広島大学宇宙科学センター), 高木健吾 (広島大学大学院理学研究科), 川端弘治 (広島大学宇宙科学センター), 渡部潤一 (国立天文台)

彗星のダスト粒子によって散乱された太陽光は部分的に直線偏光を示し、その偏光度は、サイズ分布、材料、形状などのダストの物理的特性、および観測時の散乱位相角の関数となる。したがって、彗星の偏光観測は、彗星ダスト粒子を研究する上での貴重な情報を提供する。

2I/Borisov は恒星間から太陽系に飛来したことが確実な 2 番目の天体であり、確かに太陽系の外からやってきたと認められた最初の彗星である。

我々は、広島大学宇宙科学センター 東広島天文台 1.5m かなた望遠鏡に搭載された可視近赤外線同時カメラ HONIR を使用して、2I/Borisov の撮像および偏光観測を行った。観測は、2019 年 11 月 28 日、12 月 8 日、9 日の近日点通過の周囲で行われた。対応する 2I の位相角は約 28 度である。

発表では、これらの観測結果を報告し、さらに過去の観測と比較して 2I のダスト粒子についての議論を行う。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

## P303a 小惑星の自転加速による変形とリュウグウなどのコマ型小惑星の形成条件

杉浦圭祐, 玄田英典 (東京工業大学), 小林浩, 渡邊誠一郎, 犬塚修一郎 (名古屋大学)

JAXA の探査機はやぶさ 2 が探査を行った小惑星リュウグウは、コマもしくはそろばんの珠のような形状をしている。他にも、NASA の探査機 OSIRIS-REx が探査をした小惑星ベンヌや、レーダー観測で形状が測定された小惑星 1999 KW4 などコマ型をしている。リュウグウは例外的に 7.6 時間程度という比較的遅い自転をしているが、他のコマ型小惑星の多くは 2 から 4 時間程度の高速自転をしている。そのためこれらの小惑星は何らかの機構によって自転が加速させられ、その過程でコマ型に進化したと考えられている。しかしながらコマ型に進化するために必要なラブルパイル小惑星の摩擦角といった条件は明らかになっていない。

そこで我々はラブルパイル小惑星の動力学を扱える Smoothed Particle Hydrodynamics 法の計算コードを用いて小惑星の自転加速過程を再現し、高速自転変形によって形成される形状を調べた。凝縮力によって実現されると期待される高い実効的摩擦角を模擬するため、摩擦角  $\phi_d$  は 80 度まで変化させた。その結果、 $\phi_d \leq 60^\circ$  では内部変形が起こり平たい形状に変形するが、 $\phi_d \geq 70^\circ$  では表面地滑りが起きることがわかった。特に自転加速のタイムスケールが数日程度以下の速い加速では軸対称な地滑りによりコマ型が形成された。一方でタイムスケールが 1 ヶ月以上の遅い加速では非軸対称地滑りにより非軸対称な形状が形成された。これはコマ型の形成には凝縮力による高い実効的摩擦角と速い加速機構が有利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](#)

## P304a 2019 年 10 月りゅう座流星群の多地点流星電波観測

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

我々は流星電波観測 (HRO: **H**AM-band **R**adio **O**bservation) を応用した多地点流星電波観測を用いて、2019 年に出現した 10 月りゅう座流星群 (ジャコビニ流星群) の観測を行った。10 月りゅう座流星群は年間流星群であるが毎年活発な活動が見られるわけではなく、特徴として大出現した翌年に小規模ではあるが出現することが多くある。最近では、2018 年に大出現しており 2019 年にも出現すると予測されたので観測を行った。また、下記の観測システムでは 10 月りゅう座流星群の観測を行ったことがなかったため今回挑戦した。

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 地点に設置し、観測地を東京大学柏キャンパス、本郷キャンパス、東京大学大学院天文学教育研究センター (三鷹市)、東海大学湘南キャンパス、防衛大学、海老名市、和光市の 7 地点に設置した。通常の流星電波観測では送信局 1 つ観測点 1 つで観測するため流星が発生した時間しか得られない。しかし、多地点観測を行うことにより受信する電波の時間の差から流星の速度や方角、入射角などを求めることができる。実際に、2019 年の 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 10 月りゅう座流星群の群流星とみられるものは捉えられなかったが、他の流星群の群流星と見られる流星をいくつか検出した。本講演では多地点流星電波観測で観測した 10 月りゅう座流星群の結果と考察する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

## P305a ガリレオ衛星における生命発生の必要条件の考察

鴨川弘幸, 釜谷秀幸 (防衛大学校)

木星や土星を周回する巨大氷衛星では液体の水が示唆されており、原始生命の存在についてホットな議論がなされている。特に木星の第2衛星であるエウロパでは、熱水噴出孔を熱源とした内部海 (subsurface ocean) モデルが構築されており、生命の存在も期待されている。さて、こういった生命の存在を期待できる衛星の存在条件は、ハビタブルゾーンのように系統的にはまとめられていない。そこで、我々は、内部海の存在にこだわり、その試みを続けてきた。

ところで、内部海の氷の蓋は潮汐加熱と放射冷却のバランスでシンプルに定義できることを主張してきたが、生命の発生環境に必要と考えられている熱水噴出孔の存在条件に関しては曖昧な定義付けに終始していた。今回の講演では、熱水噴出孔の存在に関わるマグマ層の存在条件に関する考察を報告する。

まず熱水を維持するマグマの層厚を  $h$  とする。この  $h$  は衛星が生まれた頃は半径ほどの大きさであるが、進化とともに冷え薄くなっていく。よって、(氷の蓋条件を満たすにも関わらず) 内部海を持たないイオの  $h$  は、まだ冷えて薄くなり切っていない状態であると考えられる。エネルギー源を潮汐加熱と考え、厚さ  $h$  のマグマ層が維持されるとしてモデル化すると、これらの条件から、熱水噴出孔を維持するための木星からの距離に下限が与えられることが分かった。さらに講演では、 $h$  の進化を加味した外側境界について議論の予定である。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

## P306a ALMA で検出された木星衛星イオの二酸化硫黄噴火ガス

古賀亮一, 平原靖大, 鈴木達也 (名古屋大学), 土屋史紀, 坂野井健 (東北大学)

木星衛星イオは太陽系で最も火山活動が活発な天体である。イオの大気はとても薄く (数 nbar)、SO<sub>2</sub> が 90 パーセントを占めている。その大気の供給は地表面の霜の昇華と火山活動で行われる。イオの火山活動は溶岩が火山から吹きだして表面に流れるタイプや、火口から SO<sub>2</sub> を豊富に含んだガスを噴き出す (プルーム) タイプがある。どちらの火山活動のタイプがイオの大気分布を変えるほどのガスを放出するかはまだに明らかにされていない。

私たちは、2018年3月のALMA (Atacama Large Millimeter/Submillimeter Array) による電波観測 (332-346 GHz) アークイブデータを解析し、木星の陰にイオが入る前と後のSO<sub>2</sub>大気の空間分布や速度分布を明らかにした。SO<sub>2</sub>ガスの空間分布から、赤道周辺の西側と、北半球高緯度の東側にガスが集中していることが分かった。イオの陰に入ると昇華大気は凝縮するため密度は大幅に減少するが、これらの領域では相対的に発光強度が強かったこと、活動度が高い火山が分布することがわかった。このことから大気の一部は火山噴火に伴ってガスが放出されていると考えた。イオが陰に入る直前の高緯度東側の領域のスペクトル形状は、昇華大気を含んだ成分と火口から噴出されるガスによる成分との和で説明可能と判明した。その速度差は $\sim 0.6$  km/sで、プルームによって放出されているガス速度の視線方向成分と地表付近からの昇華成分との差を反映していると解釈できる。また、赤道西側の領域の大気の高緯度起温度を計4本のSO<sub>2</sub>のスペクトルの積分強度によって評価したところ、イオが陰に入る前は $151 \pm 70$  Kに対し、入った後は $311 \pm 41$  Kに上昇することが分かった。このことからイオが陰に入る前は低温の昇華大気と溶岩の蒸発によって発生した高温のガスの両方が存在していたが、陰に入った後、昇華大気は消失し、溶岩起源ガスのみが残されたと考えられる。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

## P307a 10m 電波望遠鏡 SPART と ALMA TP 同日観測による金星中層大気一酸化炭素スペクトルのマルチバンド解析

富原彩加, 濱口優輝, 米津鉄平, 前澤裕之 (大阪府立大学)

我々は、二酸化炭素を主大気とする惑星が、中心星の活動の影響をどのように受け、またどのような物質循環や化学反応ネットワークが駆動されるかについて理解を深めるべく、国立天文台野辺山宇宙電波観測所の口径 10 m の電波望遠鏡 SPART を用いて太陽系の地球型惑星の一酸化炭素 (CO) の変動の監視を推進している。観測したスペクトルからは、金星のおよそ高度 75~115 km 程度の分子の混合比の高度分布を捉えることができる。この結果から、金星では太陽活動と関連している可能性のある長期変動や、太陽活動では説明できない短期変動などの様子が見えてきており、塩化物などの酸化剤の物質循環と光化学のモデルの検討を進めている。この短期変動のメカニズムを探るため、我々はさらに ALMA を用いて 12m Array/ACA7m Array/TP(Total Power Array) を連動させ、Band6/7 において CO、SO<sub>2</sub>、SO、HDO といった微量分子の観測を実施し、金星ディスク内の昼夜を含めた物質の空間分布と変動を捉えてきた。本研究では、2017 年 5 月 14 日、金星(視直径: 30.8 秒角)を ALMA の 4 台の TP 望遠鏡により、広帯域と狭帯域の分光計で観測した <sup>12</sup>CO J=2-1 スペクトルに対し放射輸送モデルの解析を行い、同日に SPART でも観測し解析した全球平均の CO 混合比 61.8 ± 8.5[ppmv] と比較し、両者が誤差の範囲で良く一致することを確認できた。これらの結果は SPART の <sup>12</sup>CO J=1-0 115GHz 帯スペクトルから導出した CO 混合比とも整合していた。さらに、これらの解析で用いた基本物理パラメータを、ALMA TP で観測した光学的に薄い <sup>13</sup>CO J=2-1 スペクトルのリトリーバル解析にも適用して、金星中層大気の <sup>12</sup>C/<sup>13</sup>C の同位体比についても調査を行った。本講演では、これらの結果について報告する。

[スケジュール\(セッション毎\)に戻る](#)

[スケジュール\(全体\)に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

## P308a 近赤外中分散エシエル分光器/PIRKA 望遠鏡による金星大気物質循環へのアプローチ

前澤裕之, 濱口優輝, 米津, 富原彩加, 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, 大野辰遠 (北海道大学), 今井正亮 (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(Technical University of Berlin), 他 NICE グループ

系外惑星の大気環境を理解・展開において、身近な太陽系の地球型惑星における大気の化学反応ネットワーク/物質循環のメカニズムの把握は重要な役割をもつ。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できない一酸化炭素の短期的変動(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の時空間変動/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 CO、H<sub>2</sub>O、SO<sub>2</sub>、OCS、HCl の吸収スペクトルの試験観測を実施し、金星のスペクトルの検出に成功した。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金星の近赤外域の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、同サイトでの ALMA との連携観測を目指す。本研究では一連の観測・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](#)

## P309a 多様な惑星系天体形成とその検証—ガスボイド外縁モデルから—

森川雅博 お茶大物理, 天谷鈴華 お茶大物理

惑星の普遍的な形成過程を求めて、我々は原始惑星系円盤のガスボイドを想定するモデルを構築してきた。このモデルは次のように構成されていた：1. ガスボイド外縁へのコヒーレントなダスト集積, 2. 急激な塊形成, 3. それらのスリングショットによる惑星コアの放出, 4. それらへのガス集積, である。この講演では、このモデルから帰結する惑星系天体の多様性とその検証を議論したい。始めに惑星系天体の多様性を議論したい。まず惑星系天体のクラスが、水素玉なのか金属玉（天文で言ういわゆる金属）なのかで2つに分かれることを示し、それらが基礎物理定数で決まる普遍構造であることを示す。これら2つのクラスの形成過程を明らかにする中で、惑星系天体の6つの世代（Hot Jupiters, Rocky Planets, Cold Giants, ‘Trans-Neptunian’ and ‘Farthest’ objects, Stray planets/planetesimals, asteroids/comets）を特定する。続いて検証する課題を列挙すると次の通り：■ ダスト・惑星落下の困難はどこまで回避できるのか。特に衝突破壊、乱流、タイプII惑星移動などに対するモデルの耐性... 前2者は克服できるけど後者は微妙。■ 世代ごとの頻度分布、公転軌道距離、軌道傾斜角、離心率などの軌道属性と観測との比較。■ 内穴の不安定性がホットジュピターの不安定性を導くこと。連星系周りの惑星系の不安定性... 近接連星系では内穴が安定しない。■ 惑星コア成分... どの惑星もほとんど同じという帰結になる。系外惑星のものとも比較する。■ 内穴外縁は0.04AU 平衡温度2000Kで特徴づけられ、ここからのスリングショットで形成される天体がどれだけ普遍的に分化しているのか、揮発成分が降着しているのか確認し、これらの混在からの隕石・彗星の多様性を主張する。■ 浮遊惑星系天体の普遍性と頻度... かなりの浮遊天体を予言する。

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

## P310a 大気散逸を考慮したM型星周りのハビタブルゾーンの再評価(2)

山敷庸亮 (京都大学), 野津湧太 (University of Colorado), 前原裕之 (国立天文台), 佐藤達彦 (JAEA), 野津翔太 (理化学研究所), 佐々木貴教, 佐藤啓明, 木村なみ, 清水里香, 高木風香, 坂東日菜, 野上大作, 柴田一成 (京都大学), Vladimir Airapetian (NASA/GSFC) 他 ExoKyoto 開発チーム

M型星周りのハビタブルゾーン(CHZ)の再定義について、私達はこれまで、異なる定義のハビタブルゾーンを比較するExoKyoto太陽系外惑星データベース(2017年春季年会P245a)に、恒星のフレア発生頻度と惑星境界上のフレア強度の評価(2017年秋季年会N23a)、それぞれの惑星表面での推定被曝量の評価(2018年秋季年会P313a)、大気散逸の影響評価(2019年秋季年会P325a)を行ってきた。

本研究では、前回発表と同様の大気散逸の影響評価を、ExoKyotoでCHZに存在すると判定された地球サイズ( $\leq 1.9R_E$ )の系外惑星46個に対して新たに行った。具体的には主星のXUV成分について、MASCLESによる定量化を拡張し、フレア頻度を考慮した大気散逸の効果も加味し、それぞれの惑星位置におけるXUVフラックスの算定の定量化と、これを用いての大気散逸レートを計算した(Airapetian et al. 2017 ApJL)。フレアの発生頻度についても、1ヶ月、1年に一度のフレアと同時に、その黒点面積や表面温度から推定される最大のフレアエネルギーの評価を行った。また、計算はYamashiki et al. 2019 ApJと同様モンテカルロ計算コードPHITSを用いて、3つの異なる大気( $N_2+O_2$ ,  $CO_2$ ,  $H_2$ )の場合の大気シャワーを計算し高度毎の被曝量の推定を行なった。結果いくつかの恒星活動が弱いとされているM型星を周回する惑星系においても、大気散逸の効果を考えると、地表への影響を考慮すべき惑星が存在す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](#)

## P311a 恒星活動による光度変化の波長依存性：ヒアデス星団低温度星の多波長測光モニター観測

宮川浩平, 平野照幸, 佐藤文衛 (東工大), 福井暁彦 (東大)

形成後間もない若い恒星まわりの惑星系は、系外惑星の形成、進化過程を理解する上で貴重なサンプルとなる。しかし一般的に、若い恒星は黒点などの表面活動により視線速度データ上にジッターと呼ばれる見かけ上の変動(以下、RV ジッター)が見られ、正確な惑星質量の推定が困難である。一方これまでの理論的・観測的研究によると、近赤外波長帯で得られる視線速度データでは相対的に RV ジッターが軽減されることが示唆されている。すなわち若い恒星まわりの惑星探索では近赤外における視線速度観測が有効であるが、そのためには各波長帯での RV ジッターの振る舞いを正確に把握する必要がある。

我々は、各観測波長での RV ジッターの振る舞いを順問題として経験的に調べるため、近赤外測光による若い恒星のモニター観測を行なった。本研究では生命探査対象としても興味深い対象である低温度星に着目し、ケプラー宇宙望遠鏡による K2 ミッションで観測され、表面活動による光度変化が見られていたヒアデス星団の 4 天体に対して、IRSF/SIRIUS を利用した近赤外多波長 ( $J, H, K_s$  バンド) 測光観測を実施した。得られた測光観測データに対してガウス過程を用いた回帰を実施することで、恒星表面活動による光度変化の各波長帯での振幅に制限を与えた。さらにモデルスペクトルを用いて、観測された各波長帯ごとの測光変動振幅をモデル化し、各天体ごとの黒点の温度とサイズに対して制限を試みた。本講演では、これらの結果が、若い恒星を対象とした将来的な視線速度観測で得られるデータの解釈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](#)

## P312a 地上望遠鏡を用いた TRAPPIST-1g トランジット分光による惑星大気と主星表面の不均一性の解析

森万由子, 福井暁彦, 成田憲保 (東大), 川島由依 (SRON), Hannu Parviainen(IAC), John Livingston, 川内紀代恵, 田村元秀 (東大)

TRAPPIST-1 系は 7 つの地球サイズの惑星が M 型星の周りを回っている系であり、生命探査のターゲットとしても注目されている。私たちは、ハビタブルゾーン内にあると考えられる惑星 TRAPPIST-1g が水素の支配的な晴れた大気(水素大気)を持つか調べるために、すばる望遠鏡/MOIRCS と Gemini-N 望遠鏡/GMOS を用いて、TRAPPIST-1g トランジットの近赤外域 (1300-2300nm) での分光観測と可視域 (r バンド) での測光観測を同時に行った。この波長域で TRAPPIST-1 惑星の透過スペクトルを得た初の観測である。

惑星大気の透過スペクトルは、主星表面の黒点・白斑分布の不均一性の影響を受けていると考えられる (Rackham et al., 2017)。私たちは複数の先行研究による恒星表面モデルを導入し、それぞれの場合における透過スペクトルへの影響を補正した上で、得られた透過スペクトルを複数の惑星大気モデルと比較した。

結果として、ハッブル宇宙望遠鏡による観測 (de Wit et al., 2018) と矛盾しない比較的フラットな透過スペクトルが得られたが、不確かさが大きく水素大気存在には制限がつけられなかった。一方で、得られた透過スペクトルは主星表面の黒点・白斑分布を制限するのに有効であり、先行研究 (Wakeford et al., 2019) で排除されていなかった、比較的大きい ( $\geq 1\%$ ) 高温 ( $\geq 5000\text{K}$ ) の白斑の存在を否定する結果となった。本講演では、観測・解析の手法に加え、惑星大気の透過分光観測において主星表面の不均一性による影響を評価すること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](#)

## P313a 系外惑星の大気透過光スペクトルにおける超レイリースロープ：光化学ヘイズによる説明

大野 和正 (東京工業大学), 川島 由依 (オランダ宇宙研究所)

系外惑星の大気透過光スペクトル観測は、大気組成や大気中のエアロゾル形成過程に迫る手法として近年盛んに行われている。観測スペクトルの特徴として、可視波長域において大気による減光率が短波長ほど大きくなるスロープ構造が頻繁に報告されている。これは大気中の微小な鉱物雲粒子によるレイリー散乱に由来すると考えられており、レイリースロープと呼ばれている。ところが、多くの惑星において、観測されるスロープ構造はレイリー散乱から予想されるものより強い波長依存性を持つという謎が存在していた。加えて、近年の鉱物雲形成の微物理モデルはレイリースロープを生成するような微小粒子の存在を支持しておらず、理論と観測の不一致も問題となっている。

このような超レイリースロープの起源として、我々は大气上層で形成される光化学ヘイズを提案する。光化学ヘイズとは大気中に存在する炭化水素等の光化学反応で生成されるエアロゾルであり、土星の衛星タイタンや冥王星などに幅広く存在することが知られている。我々はまず、大気が上層ほど不透明度が高くなる構造を持つていれば、観測されているような急なスロープ構造が生成されることを明らかにした。次に粒子成長の微物理モデルを用いることで、大気中の鉛直混合が十分強ければ光化学ヘイズがそのような不透明度の鉛直勾配を作ること示した。我々のシナリオによれば、ヘイズは平衡温度 1000–1500 K の惑星に超レイリースロープを生成する傾向があるが、これは現状観測されているスロープ勾配の平衡温度依存性と整合的である。

[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](#)

## P314a *Spitzer* 宇宙望遠鏡を用いたスペースパララックス効果による重力マイクロレンズイベントの質量決定

近藤依央菜 (大阪大学), 住貴宏 (大阪大学), MOA コラボレーション

重力マイクロレンズ法は、スノーラインの外側において地球質量程度の軽い惑星にまで感度がある唯一の手法である。重力マイクロレンズ現象とは、背景天体 (ソース天体) の前を他の星 (レンズ天体) が通過することで、その重力がレンズのような働きをしてソース天体からの光を一時的に増光する現象である。特に、レンズ天体に伴星があると、その伴星の重力による影響を受けて特徴的な増光曲線を示す。その光度曲線をモデルフィッティングすることで、レンズ天体に関して、主星と伴星の質量比や、主星からの離角などのパラメータを得ることができる。

本講演では、2018 年に OGLE (Optical Gravitational Lensing Experiment) や MOA (Microlensing Observations in Astrophysics) などの地上望遠鏡と *Spitzer* 宇宙望遠鏡による同時観測が行われた重力マイクロレンズイベント OGLE-2018-BLG-1185/MOA-2018-BLG-228 の詳細解析の結果を報告する。地上望遠鏡のみのデータを用いた解析では、有限ソース効果のみが有意に検出されたため、銀河モデルを仮定したベイズ推定を行ってレンズ天体の質量や地球からの距離などの物理量を推定した。一方で宇宙望遠鏡でも本イベントのシグナルがわずかに検出されたため、スペースパララックス効果による制限が得られた。この制限を含めたベイズ推定を行い、得られたレンズ天体の物理量を地上望遠鏡のみの結果と比較してスペースパララックス効果による質量決定の検証を行った。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

## P315a 惑星候補イベント MOA-bin-175/OGLE-2011-BLG-1303 の解析

佐藤佑樹 (大阪大学), MOA collaboration

我々の住む天の川銀河は、主に薄い円盤、厚い円盤、バルジ、ハローの4つの領域によって構成されており、恒星の金属量はその恒星がある銀河の領域によって異なっている。太陽系が属する薄い円盤内でも、銀河中心に近いほど金属量 (e.g., [Fe/H]) が大きく、遠いほど小さい傾向がある。さらに、Sousa et al. (2019, MNRAS, 485, 3981) などの結果は、主星の金属量が大きいほど、質量が大きい惑星が形成されやすいことを示している。よって太陽近傍と銀河中心付近では、惑星の質量頻度分布などが異なっていると示唆されているが、銀河中心領域で発見された惑星数は少なく、十分な制限がつけられていない。現在までに発見された系外惑星の多くは視線速度法やトランジット法で発見されているが、これらの方法は主星の光を利用するため、地球から遠く離れた惑星を見つけることは難しく、地球から 2kpc 以遠の系外惑星のほとんどは重力マイクロレンズ法によって発見されている。重力マイクロレンズ現象とは、光源星の前をレンズ天体が通過した際に、レンズ天体の重力によって光源星の光が曲げられ増光する現象である。重力マイクロレンズ法は光源星の明るさの時間変化を利用しており、惑星系の主星の光を利用しないため、他の観測手法では発見が難しい暗い主星周りを回る惑星まで発見することができる。

今回我々が解析した MOA-bin-175/OGLE-2011-BLG-1303 は、重力マイクロレンズ法を用いて発見された銀河バルジ方向の惑星候補イベントである。本解析によって得られたパラメーターの値と銀河モデルによるベイズ推定から、このレンズ天体が惑星の統計量の少ない銀河中心領域に存在する可能性が高いことや、レンズ天体は M 型星とそれを周回する巨大ガス惑星程度の質量の惑星からなる系である可能性が高いことが分かった。本講演ではこの系の解析結果の詳細について報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

## P316a 光蒸発による原始惑星系円盤散逸がスーパーアースの大気量に及ぼす影響

荻原正博 (国立天文台), 國友正信 (久留米大学), 堀安範 (アストロバイオロジーセンター)

系外惑星観測によって大量のスーパーアースが発見されており、大気量を含めた様々な特徴が明らかになってきた。いくつかの観測的な証拠から、スーパーアースは原始惑星系円盤から大量の  $H_2/He$  大気を獲得していないことが指摘されている。一方で惑星形成理論では、スーパーアース質量を持つ惑星コアは円盤寿命内に暴走ガス捕獲を開始し、大量の大気を獲得すると考えられている。

従来の円盤進化モデルにおいて、円盤は主に乱流粘性によって進化すると考えられていた。ところが最近の流体計算によると、円盤は磁気駆動円盤風や光蒸発の影響下で進化することが明らかになってきた。磁気駆動円盤風の影響によって円盤の面密度は単純なべき分布とは異なる分布をとり、また光蒸発の影響によって円盤は数百万年でギャップを開け、その後素早く消失する。本研究では、磁気駆動円盤風や光蒸発などを考慮した現実的な円盤進化モデルを用いた上で、スーパーアースの形成と大気量進化を調べた。

惑星集積  $N$  体計算と大気量進化計算を結合したシミュレーションの結果、スーパーアースは大量の  $H_2/He$  大気の獲得を回避することができることがわかった。これは、光蒸発によって円盤が素早く消失した結果、スーパーアースが円盤から大気を獲得する時間が短くなることが主因である。また光蒸発による素早い円盤散逸を考慮した場合には、微惑星の衝突に伴うスーパーアース大気の衝突散逸が効率的になることもわかった。

[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](#)

## P317a スーパーアース同士の巨大衝突に伴う水素大気散逸効率

黒崎健二, 犬塚修一郎 (名古屋大学)

惑星形成の後期段階では天体同士の大規模な衝突が発生し、それによって現在観測される惑星系が作られる。このとき、原始惑星系円盤内で形成した直後の惑星の内部・大気構造は、天体衝突現象に伴って変化するため、現在観測される惑星系は天体衝突現象の理解なしに、形成起源を理解することはできない。原始惑星系円盤内で形成した地球質量程度の天体は、10%ほどの大気を持つことが期待されるが、そのような天体が巨大衝突を経てどのような大気を最終的に保持できるかよくわかっていない。巨大衝突を経験すると大気が流出することが知られているが、大気を持った天体同士が衝突するときどの程度の大気を失うか定量的な議論はまだ十分になされていない。本講演では、ターゲット天体およびインパクト天体双方が10-30%と比較的多い大気を持った天体同士の天体衝突現象を取り扱い、天体衝突に伴う大気流出量を、数値流体計算によって求めた。本計算では、標準SPH法を用いて衝突計算を行い、岩石コアを持つ水素大気の流出現象を議論する。その結果、天体衝突に伴って流出する大気量は、惑星大気量が多くなると同じ衝突エネルギーでも流出量が少なくなる傾向がわかった。また流出量に対する大気加熱量、および岩石コア加熱量を計算し、衝突加熱と大気流出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](#)

## P318a 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 II

星野遙 (東京大学), 小久保英一郎 (国立天文台)

地球型惑星形成の最終段階とされる巨大衝突過程では、原始惑星が軌道交差および衝突合体を繰り返すことで個数を減らし、より安定な系へと進化していくと考えられている。現在までに発見されている多重惑星系は、太陽系の地球型惑星に比べて中心星の近くにコンパクトにまとまっているものが多く、既存の標準的な理論モデルでは説明できない。系の構造を決める要素として、原始惑星系円盤の質量や密度分布、原始惑星の分布などが議論されてきたが、中心星の質量については太陽質量に固定する場合がほとんどであり、影響の有無について明確な示唆はない。近年、中心星の質量を変えた理論計算も行われているが (e.g., Raymond et al. 2007, Ciesla et al. 2015)、中心星質量の違いが系の構造にもたらす影響に着目した研究は今まで行なわれていない。また、太陽の0.1 - 0.6倍の質量を持つM型星は、銀河系の恒星のうち約75%を占める最も多く存在する恒星であり、惑星探査対象の中心になりつつある。このような観測と比較可能な理論計算を行うことは非常に重要である。そこで本研究では、巨大衝突過程において中心星の質量を太陽の0.05 - 2.0倍と変化させた場合のN体シミュレーションを行い、軌道構造の中心星質量依存性を系統的に調べた。初期の原始惑星の分布は、中心星から0.1 au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、1000万年以上の時間進化を追った。その結果、円盤質量を固定した場合、中心星の質量が小さいほど、惑星の軌道離心率や傾斜角は大きくなり、ヒル半径で規格化した軌道間隔も小さくなることがわかった。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。さらに今回新たに円盤の面密度を中心星の質量に比例させたモデルを導入し、円盤質量を変化させた場合の影響も調べた。これらの結果と観測との比較について議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

## Q01a 野辺山 45m 鏡 FOREST 受信機による銀河面 CO サーベイ データを用いた分子雲形成の観測的研究

中西裕之<sup>1</sup>、藤田真司<sup>2</sup>、立原研悟<sup>3</sup>、泉 奈津子<sup>4</sup>、松尾光洋<sup>5</sup>、梅本智文<sup>5</sup>、大朝由美子<sup>6</sup>、井上剛志<sup>3</sup> (<sup>1</sup> 鹿児島大学、<sup>2</sup> 大阪府立大学、<sup>3</sup> 名古屋大学、<sup>4</sup> 茨城大学、<sup>5</sup> 国立天文台、<sup>6</sup> 埼玉大学)

我々は、野辺山 45m 鏡+FOREST による FUGIN プロジェクトで得られた銀河面 CO 分子輝線データと、アメリカ Very Large Array (VLA) による VGPS プロジェクトで得られた銀河面 HI 輝線データを使って、HI ガス雲中の分子雲形成についての調査を行った。まず VGPS データに dendrogram と呼ばれるソフトを用いて、HI ガス雲の同定を行い、銀経  $20^\circ \leq l \leq 50^\circ$ 、銀緯  $-1^\circ \leq b \leq 1^\circ$ 、速度  $V_{LSR} \leq -20 \text{ km s}^{-1}$  の範囲で 5,737 個の HI ガス雲を検出した。続いて各 HI ガス雲の銀経・銀緯・速度範囲で、CO 分子輝線データキューブを積分し分子ガス量を求めた。これら検出したガス雲は銀河系中心距離 16kpc 以内に存在し、密度の調査から Cold Neutral Medium (CNM) であることが分かった。これまでの研究によると、ガス雲の構造は、中心に H<sub>2</sub> ガスがあり、その外側を HI ガスが取り囲んでいるという 2 層構造が考えられていた。このようなモデルを考えると、HI と H<sub>2</sub> ガスを合わせた全質量と H<sub>2</sub> ガス質量の関係を表す  $M_{\text{tot}}-M_{\text{H}_2}$  図にプロットすると、「希薄な雲」と「自己重力雲」の二系列見られることが予想されていた。しかしながら、実際には、このような 2 つの系列は見られず、2 つの系列の間に見られることが分かった。またガス雲内の分子ガスの分布のマップを見ると、広がった HI ガス雲の中に分子ガスの塊が点在した形状が見られた。これらの観測事実から、ガス雲は、これまで考えられていたような 2 層構造ではなく、「希薄な雲」の中に「自己重力雲」が点在すると見た方が良いことが分かった。さらに先行研究と合わせると、各ガス雲の分子ガス量は  $M_{\text{tot}}-M_{\text{H}_2}$  図上で、 $M_{\text{H}_2} \propto M_{\text{tot}}^2$  に沿って増加すると考えられる。

[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](#)

## Q02a 分子ガスの速度構造から探る、W3 分子雲複合体における大質量星形成

山田麟<sup>1</sup>、逆井啓佑<sup>1</sup>、佐野栄俊<sup>1,2</sup>、立原研悟<sup>1</sup>、榎谷玲依<sup>1,3</sup>、藤田真司<sup>1,4</sup>、阪本茉莉子<sup>1</sup>、大野峻宏<sup>1</sup>、福井康雄<sup>1</sup> (<sup>1</sup>: 名古屋大学、<sup>2</sup>: 国立天文台、<sup>3</sup>: 慶應義塾大学、<sup>4</sup>: 大阪府立大学)

W3 は、太陽系から約 2 kpc、銀経 133° のペルセウス腕に位置する分子雲複合体である。0.5 pc から 10 pc スケールの H<sub>II</sub> 領域に至るまで、進化段階の異なる H<sub>II</sub> 領域が混在し、また 109 個の OB 型星が含まれている (Kiminki et al. 2015)。大質量星形成機構としては、進化段階が 5–15 Myr 古く、W3 に隣接する W4 (Sajm 1954) の H<sub>II</sub> 領域の膨張による連鎖的星形成モデルが提案されている (Lada et al. 1978)。そこで、本研究では、このモデルを分子ガスの運動から検証するため、HHT で取得された <sup>12,13</sup>CO ( $J=2-1$ )、<sup>12</sup>CO ( $J=3-2$ ) のデータ (角度分解能 38'', 空間分解能 0.4 pc; Bieging et al. 2011) の速度構造を詳細に解析した。その結果、膨張シェルの特徴である位置速度図上での楕円構造は見られなかった。その一方で、約 10 個の OB 型星を含む W3 Main 領域に、2 つの独立した分子雲を同定した。2 つの分子雲の中心速度、最大柱密度はそれぞれ  $39 \text{ km s}^{-1}$ 、 $4.4 \times 10^{22} \text{ cm}^{-2}$  と  $43 \text{ km s}^{-1}$ 、 $1.0 \times 10^{23} \text{ cm}^{-2}$  である。 $39 \text{ km s}^{-1}$  雲は W3 Main の北東に分布し、 $43 \text{ km s}^{-1}$  雲は W3 Main 領域全体に広がった分布を示す。また、 $39 \text{ km s}^{-1}$  雲と  $43 \text{ km s}^{-1}$  雲は位置速度図上で V 字を示し、 $39 \text{ km s}^{-1}$  雲を南に約 4 pc 移動させると  $43 \text{ km s}^{-1}$  雲と相補的分布を示す。これらの位置、速度構造は分子雲衝突モデルで説明可能である (e.g., Fukui et al. 2018)。衝突のタイムスケールを計算すると、約 1 Myr であり、OB 型星の年齢と無矛盾である。Enokiya et al. (2019) では、10 個以上の OB 型星をトリガーする条件として、 $\sim 10^{23} \text{ cm}^{-2}$  の柱密度と、 $10 \text{ km s}^{-1}$  程度の衝突速度が必要であるとしており、今回の結果はこれを満たす。本講演では、分子雲衝突シナリオを基とした、W3 における大質量星形成機構について議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

### Q03a NGC 1333 における分子雲衝突

阪本茉莉子<sup>1</sup>, 山田麟<sup>1</sup>, 大野峻宏<sup>1</sup>, 佐野栄俊<sup>1,2</sup>, 立原研悟<sup>1</sup>, 福井康雄<sup>1</sup> (1: 名古屋大学, 2: 国立天文台)

NGC 1333 は近傍 (距離 235 pc) にある活発な星形成領域である。130 個以上の若い天体や複数の分子流天体が同定され、1 pc より狭い空間分布で  $10^5$  年程度の星が多く形成されている領域も確認されている。Loren (1976) はこの分子雲に対して  $^{12}\text{CO}$ ,  $^{13}\text{CO}$  の輝線の観測を行い、スペクトルの形状などから分子雲衝突の可能性を示唆した。しかし、この観測は分解能が低く ( $2.6''$ )、空間分布や速度構造についての詳細な解析は行われていなかった。

今回我々は、SMT  $^{13}\text{CO}$  ( $J=2-1$ ) のアーカイブデータ (Bieging et al. 2014) を用いて、より高い分解能 ( $38''$ ) で NGC 1333 分子雲を調べた。その結果、 $5 \text{ km s}^{-1}$  (Blue cloud) と  $10 \text{ km s}^{-1}$  (Red cloud) の 2 つの異なる分子雲が存在することを確認した。分子雲の直径は共に 2 pc 程度と見積もられ、Blue cloud は NGC 1333 の中心部から南西部に分布し、Red cloud は中心部から北部に広く分布する。速度分布の解析から、2 つの分子雲は 0.5 pc に渡って相補的な空間分布を示し、位置速度図上で V 字の構造を示すことがわかった。これらは分子雲衝突に特徴的な構造である (例えば Fukui et al. 2018)。2 つの分子雲が重なっている方向には若い天体が多く分布している。これらは、NGC 1333 では分子雲同士が衝突し、衝突による圧縮によって活発な星形成が誘発されたという、Loren (1976) の示唆を支持する。最も質量の大きい B5 型星を含めて多数の小質量星が  $10^5$  年程度の短時間で形成された可能性が高い。分子雲の柱密度の最大値は  $1.6 \times 10^{22} \text{ cm}^{-2}$  程度であり、形成された星の質量は衝突によるものとしては最小値に相当し (Enokiyama et al. 2019)、衝突によって小質量星も形成されることを示す点で注目される。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

### Q04a NGC 2023/2024 領域における大質量星形成

榎谷玲依 (慶應義塾大学), 大濱晶生, 山田麟, 山本宏昭, 立原研悟, 福井康雄 (名古屋大学), 佐野栄俊 (NAOJ), 林克洋, 木村公洋, 長谷川豊 (JAXA), 西村淳, 小西諒太郎, 小川英夫 (大阪府立大学)

NGC 2023/2024 領域は、オリオン B 分子雲で最も活発な大質量星形成領域である。この領域に付随する分子雲は、約 5 pc 離れた O9 型星  $\sigma$  Ori による電離の影響が見られるため、 $\sigma$  Ori の電離水素領域 (IC 434) の膨張による圧縮で形成されたと考えられてきた (e.g., Mookerjee et al. 2009)。しかしながら、IC 434 の電離波面と NGC 2023/2024 領域とは 1 pc ほど離れており、IC 434 の膨張がガス圧縮に寄与しているとは考えにくい。今回、我々は野辺山 45m 鏡の FOREST 受信機を用いて CO 輝線による NGC 2023/2024 全域の観測を実施した。このデータは、高分解能 ( $\sim 15''$ ) かつ高速度分解能 ( $0.33 \text{ km s}^{-1}$ ) を有する点で先行研究と比較してユニークである。

上記観測データから、NGC 2023/2024 領域に付随する  $\sim 9 \text{ km s}^{-1}$  と  $\sim 11 \text{ km s}^{-1}$  の二つの雲の運動を初めて明らかにした。二つの雲の速度範囲は、光学的に薄い  $^{13}\text{CO}$  ( $J=1-0$ ) データを使用し、1 次/2 次モーメント図を用いることで決定した。 $9 \text{ km s}^{-1}$  雲は、NGC 2024 方向で半径 0.3 pc の穴を持つがその中に分子ガスを電離するソースは報告されていない。一方、 $11 \text{ km s}^{-1}$  雲は、星団と付随する高密度のクランプ構造を有している。さらに、このクランプは南西に 0.6 pc ほど位置をずらすことで  $9 \text{ km s}^{-1}$  雲の穴と一致することがわかった。この変位を NGC 2023 に対しても適用すると、NGC 2023 においても  $9 \text{ km s}^{-1}$  雲と  $11 \text{ km s}^{-1}$  雲が相補的な空間分布を示すことがわかった。本研究では、これらの観測結果をもとに、 $9 \text{ km s}^{-1}$  雲と  $11 \text{ km s}^{-1}$  雲が 0.3 Myr 前に衝突し、NGC 2023/2024 領域の形成をトリガーしたという分子雲衝突モデルを採用し、議論を行う。本内容は、NGC 2023; Yamada et al. (2020)、NGC 2024; Enokiyama et al. (2020) として PASJ に投稿中である。

[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](#)

## Q05a 水素原子雲における星形成

福井康雄 (名古屋大学)

通常、星は分子雲中でのみ形成されると考えられている。しかし、最近の近傍銀河の研究によって、HI 雲から星形成がおこっていることが明らかになった。これらは、大小マゼラン雲、M33、M51b 等の HI を多く含む小質量銀河であり、20 – 60 km/s の速度で超音速衝突する HI ガス流による圧縮で 1 Myr のオーダーで星団と O 型星が形成されることが示された (Fukui et al. 2017, 2019, 2020; Tachihara et al. 2018; Tsuge et al. 2019; Tokuda et al. 2019; Ohno et al. 2020)。また、数値計算によっても HI ガス流衝突による束縛された大質量ガス塊の形成が示されている (Maeda et al. 2020, in preparation)。H<sub>2</sub> 形成の観点から見ると、通常の HI ガス中での H<sub>2</sub> 形成時間は 10 Myr であるが、HI 衝突流によるガスの非重力的な圧縮時間は 1 Myr であり、H<sub>2</sub> 存在量は平衡値に至らず HI が星形成を制御する。Krumholz (2012) は、著しく低い金属量下ではダスト量が少なく、ダスト表面での水素分子 H<sub>2</sub> 形成のタイムスケールが自由落下時間よりも長くなり、HI 雲が直接星形成を起こす可能性を指摘した。今のところ、これに関する観測的証拠は得られていない。現在の宇宙で観測される HI 流の超音速の原因は銀河間相互作用における潮汐力であり、閉じた銀河円盤内の数倍の速度に加速されることが圧縮に効く。このような HI からの星形成は、大マゼラン雲の R136 における 200 – 300 太陽質量の星形成に示唆されるように、より大質量の星/星団を形成する傾向にある。HI ガスの放射冷却率が H<sub>2</sub> よりも低いことによって、大質量の天体形成に都合のよい環境が実現されている可能性があり、矮小銀河等での普遍的な大質量星団形成機構として有望である。将来、ngVLA 等による高分解能 HI 観測が重要である。

[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](#)

## Q06a R136 領域における星形成と超新星残骸

山根悠望子, 立原研悟, 福井康雄 (名古屋大学), 佐野栄俊 (国立天文台)

大マゼラン雲の R136 は、局所銀河群における最大質量星団 (10<sup>5</sup> 太陽質量) として注目される。この領域では、衝突する HI 流によって R136 他の活発な星形成がトリガーされたことが指摘されている (Fukui et al. 2017)。周囲 1 kpc 四方には 11 個の超新星残骸 (SNR) も集中し、400 個程度の大質量星 (O 型星) 形成と共存する稀に見る領域である。したがって、10 Myr オーダーでの星形成と feedback を解明するうえで絶好の対象である。

我々は、HI、CO、赤外線、X 線、電波連続波、ガンマ線の観測データを総合して、この領域の進化過程の解明に取り組んでいる。これまでの解析によって、以下の知見が得られた。1. 最も顕著な星形成は R136 であるが、その西に HI 領域 N157 とスーパーバブル 30 Dor C があり、それぞれ 30–40 個の O 型星を含む。これらは、すくなくとも 5 個の core-collapse SNR (N157B、30 Dor C、SNR 1987A 等) を伴う。2. N160、N158 領域は 45 個の O 型星と 1 個の core-collapse SNR を伴う。3. N159 領域は数個の O 型星と 1 個の core-collapse SNR を伴う。

本研究では、ATCA & Parkes HI データを用いて、以上の領域に  $\sim 60 \text{ km s}^{-1}$  の速度差を持つ 2 つの速度の HI ガスが視線方向に重なって分布していることを確かめた。本講演では、上記の 1–3 の特徴は 10 Myr 以内に  $60 \text{ km s}^{-1}$  で衝突した HI 流の衝撃波圧縮によって CO 分子雲と大質量星が形成され、そのうちの 10 個近くが超新星爆発を起こしたという描像で理解できることを論じる。また、HI ガス、CO 分子雲の運動は潮汐相互作用によって加速された HI ガスの運動が支配的であり、超新星爆発による加速圧縮は重要ではない。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

## Q07a 中性水素ガス衝突による大質量星団形成の初期条件依存性についての研究

前田龍之介, 井上剛志, 福井康雄 (名古屋大学)

星団の中でも若い大質量な星団は Young Massive Cluster(YMC) と呼ばれ、その典型的な質量と半径は  $M > 10^4 M_{\odot}$ ,  $R \sim 1 \text{ pc}$  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。しかしながら YMC はその重要性とは裏腹にその形成過程に不明瞭な点が多く、その形成過程は未解明である。一方で、近年の観測大マゼラン雲 (LMC) における HI ガスの観測から、LMC の YMC である R136 と N44 は HI ガスの高速衝突によって形成したことが観測的に示唆された (Fukui et al., 2017; Tsuge et al., 2019)。本研究は YMC 形成メカニズムを探るべく、この観測で示唆された 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した。

昨年度の年会では観測で示唆される初期条件を用いると、HI ガスの高速衝突で実際に  $M \sim 4 \times 10^4 M_{\odot}$ ,  $L \sim 4 \text{ pc}$  程度の YMC forming clump が形成することを発表した。この YMC forming clump は YMC 形成領域で示唆される高い星形成効率 (30%) を仮定すると十分 YMC に進化しうる。ここでシミュレーションの初期条件は観測で示唆される、平均密度  $\sim 1 \text{ cm}^{-3}$ 、ガスの相対速度  $100 \text{ km/s}$ 、磁場強度  $1 \mu\text{G}$  を用い、衝撃波面に対し  $45^\circ$  の磁場角度と太陽金属量を仮定している。本研究ではさらに、 $0.2$  太陽金属量、磁場強度  $3 \mu\text{G}$ 、平均密度  $\sim 10 \text{ cm}^{-3}$  の場合の HI ガス衝突のシミュレーションも行い YMC forming clump の初期条件依存性を調べた。その結果、衝撃波後面の分子雲のグローバルな重力崩壊で YMC forming clump が形成することがわかった。さらに、衝撃波後面で形成する YMC forming clump の質量は金属量で大きな差はないこと、初期密度をあげると R136 に匹敵する  $\sim 10^5 M_{\odot}$  の大質量な YMC forming clump が形成するともわかった。

[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](#)

## Q08a 小マゼラン雲の N83/N84 領域における分子雲形成

大野峻宏<sup>1</sup>, 佐野栄俊<sup>1,2</sup>, 立原研悟<sup>1</sup>, 柘植紀節<sup>1</sup>, 阪本茉莉子<sup>1</sup>, 山田麟<sup>1</sup>, 福井康雄<sup>1</sup> (1: 名古屋大学, 2: 国立天文台)

小マゼラン雲南東部は HI の柱密度が相対的に低いにも関わらず、HII 領域の N83/N84 では活発な大質量星形成が行われている点に注目した。我々はこれまでに、この領域の大質量星が大小マゼラン雲の潮汐相互作用により駆動された HI 流の衝突によって形成されたことを報告した (大野他, 2020 年春季年会)。このような HI 流の衝突現場では、分子雲形成も促進されることが明らかになりつつある (Fukui et al. 2017, 2019, 2020; Tachihara et al. 2018; Tokuda et al. 2019)。今回我々は、ALMA total power array による  $^{12}\text{CO}(J=2-1)$  輝線データ (ビームサイズ  $\sim 29''$ , 空間分解能  $\sim 9 \text{ pc}$ ) を解析し、N83/N84 領域の分子雲の同定とその物理量算出を行ったので報告する (Ohno et al. 2020, submitted to PASJ, arXiv: 2006.02279)。結果として、直径  $\sim 100 \text{ pc}$  の領域に大きさ  $\sim 10 \text{ pc}$  の分子雲を 29 個同定した。 $^{12}\text{CO}(J=2-1)/^{12}\text{CO}(J=1-0) = 0.9$  (Bolatto et al. 2003), CO-to- $\text{H}_2$  変換係数として  $7.5 \times 10^{20} (\text{K km s}^{-1})^{-1} \text{ cm}^{-2}$  (Muraoka et al. 2017) を用いることで、その総質量を  $\sim 10^5 M_{\odot}$  と見積もった。一方、N83/N84 形成に関与した HI 流の質量は  $\sim 2 \times 10^5 M_{\odot}$  である。したがって、分子雲の総質量は HI 流の質量の  $\sim 50\%$  であり、小マゼラン雲全体の値  $\sim 0.6\%$  よりも有意に大きい (Mizuno et al. 2001)。以上の結果を踏まえて、本講演では、N83/N84 領域における分子雲が大小マゼラン雲の潮汐相互作用により駆動された HI 流の衝突によって形成され、大質量星形成につながった可能性について論じる。

[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](#)

## Q09a 大小マゼラン雲の重元素量分布と銀河間相互作用

柘植紀節, 大野峻宏, 立原研悟, 福井康雄 (名古屋大学), 佐野栄俊 (国立天文台)

大小マゼラン雲 (LMC/SMC) は近傍の 2 つの矮小銀河である。両銀河間の近接遭遇によりガスが攪乱され、活発な星形成活動が誘発されている可能性が理論研究から示唆されている (e.g., Bekki & Chiba 2007)。我々はこれまで、高空間分解能 (10–15 pc) の HI データ (Kim et al. 2003; McClure-Griffiths et al. 2018) を解析し、大小マゼラン雲の大質量星形成が HI ガス同士の衝突で誘発されたことを明らかにした (Fukui et al. 2017, 2020; Tsuge et al 2019; Ohno et al. 2020)。さらに *Planck* 衛星によるダスト放射を用いて LMC 全面についてガス・ダスト比を求め、同比が銀河内で 1 桁に渡り変動していることを見出した (柘植他 2020 年春季年会)。特にガス・ダスト比が高い領域はガス衝突領域の分布とよく相関する。一方ガス衝突のない領域ではガス・ダスト比は低く見積もられた。これは近接遭遇により、重元素量の少ない SMC のガスが LMC に流入、衝突した可能性を強く示唆する。

今回、SMC 全面 5 度平方について LMC と同様の手法を用いて、約 24 分角 (~400 pc) の分解能でガス・ダスト比の分布を導いた。その結果、SMC でも銀河内で 1 桁近いガス・ダスト比の変動が見られた。さらに SMC の南西・南東領域 (星形成領域 NGC 602, N83, N50, N36 を含む) に比が低い領域が見られ、衝突の結果と見られる青方偏移成分の分布と良く相関した。このガス・ダスト比の傾向は LMC とは逆であり、SMC よりも重元素量の豊富なガスの流入を示唆する。またこれらの領域は銀河間相互作用による潮汐腕と接続する方向に位置することから (Muller & Bekki 2012)、潮汐相互作用による重元素量の異なるガスの流入、衝突が起きている可能性があることがわかった。今後は LMC/SMC をつなぐマゼラニックブリッジの HI ガスの運動、重元素量分布を調べ、マゼラン雲システム全体の大質量星形成シナリオの検証を進める。

[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](#)

## Q10a 中高銀緯広域における中間速度雲の重元素量空間分布

早川貴敬, 福井康雄 (名古屋大学)

中間速度 HI 雲 (intermediate velocity cloud; 以下 IVC) は、主に中高銀緯に存在し、銀河回転に従わない  $|V_{\text{LSR}}| \sim 30 - 100 \text{ km/s}$  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。

我々のグループは、*Planck/IRAS* による 353GHz のダスト光学的厚み ( $\tau_{353}$ ) と 21cm 線積分強度 ( $W_{\text{HI}}$ ) を使ってガス・ダスト ( $W_{\text{HI}}/\tau_{353}$ ) 比=重元素量を推定する手法を確立してきた。伝統的に行われてきたイオンによる紫外吸収線を測定する手法が、背景星方向に限定された「点」の標本に過ぎないのに対して、 $\tau_{353}$  を用いる本手法は「面」で標本を得られる大きな利点がある。これまでに IVC+86-36 (Fukui, Hayakawa et al. 2018)、マゼラニックシステム・ストリーム (山本他 2018 年春季年会、2019 年春季年会)、IVC135+54-45 とその近接領域 (早川他 2020 年春季年会) に適用した結果を報告してきた。

その発展として、(1) 領域を特定しない中高銀緯の広い領域について、(2) 単一の手法で (天体あるいは人為的に切り分けた領域毎の特性に合わせて計算式や係数などを調整せず)、(3) 重元素量の空間分布を明らかにすることを試みた。 $\tau_{353}$  から低速度前景成分の寄与を差し引いた後、2次元ガウス関数の移動窓を使った地理的加重回帰を適用して、ガスダスト比の空間分布を  $2^\circ$  の分解能で求めた。ガスダスト比は係数 3 程度の変動があり、また、銀緯  $b > 30^\circ$  の約 1/3 を占める巨大な IVC 複合体 IV Arch・Spur の大部分は近傍成分より重元素量が少ないことが明らかになった (早川他 2020 年春季年会的報告とも合致する)。IV Arch・Spur はブルーシフト (視線方向 LSR 速度が負) であり、銀河系外から円盤に落下する天体であることが強く示唆される。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

## Q11a Cloud-Cloud Collision in the Galactic Center Arc II

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

We performed a search of cloud-cloud collision (CCC) sites in the Sagittarius A molecular cloud (SgrAMC) based on the survey observations using the NRO 45-m telescope in the CS and SiO emission lines. We found candidates being abundant in shocked molecular gas in the Galactic Center Arc (GCA). One of them, M0.014-0.054, is located in the mapping area of our previous ALMA mosaic observation. We explored M0.014-0.054 in the CS  $J = 2 - 1$ , C<sup>34</sup>S  $J = 2 - 1$ , SiO  $v = 0$   $J = 2 - 1$ , H<sup>13</sup>CO<sup>+</sup>  $J = 1 - 0$  emission lines and fainter emission lines. M0.014-0.054 is likely formed by the CCC between the vertical molecular filaments (VP) of the GCA, and other molecular filaments along Galactic longitude. The bridging features between these colliding filaments on the PV diagram are found, which are the characteristics expected in CCC sites. We also found continuum compact objects in M0.014-0.054, which have no counterpart in the H42 $\alpha$  recombination line. They are detected in the SO emission line, and would be “Hot Molecular Core (HMC)”s. Because the LTE mass of one HMC is larger than the virial mass, it is bound gravitationally. This is also detected in the CCS emission line. The embedded star would be too young to ionize the surrounding molecular gas. The VP is traced by poloidal magnetic field. Because the strength of the magnetic field is estimated to be  $\sim m$ Gauss using the CF method, the VP is supported against fragmentation. The star formation in the HMC of M0.014-0.054 is likely induced by the CCC between the stable filaments, which may be a common mechanism in the SgrAMC.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

## Q12a 銀河系中心領域における特異分子雲 “Tadpole” の発見

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

銀河系中心分子層 (CMZ) には、際立って広い速度幅 ( $\Delta V \geq 50 \text{ km s}^{-1}$ ) を示しながら空間的にはコンパクト ( $\leq 10 \text{ pc}$ ) な分子雲、高速度コンパクト雲 (high-velocity compact cloud; HVCC) が多数分布している。HVCC の殆どは明確な駆動源が付随しておらず、その起源は未だに解明されていない。一部の HVCC については、明確な膨張シェル構造が付随し、星団中の超新星爆発によって加速されるシナリオで説明できる (e.g. 辻本他、日本天文学会 2017 年春季年会 Q50a)。またいくつかの HVCC については、「見えない」重力源との相互作用によって駆動されたことで形成されたものと解釈されている (e.g., 竹川他、日本天文学会 2018 年秋季年会 Q02a)。つまり HVCC は、星間塵に隠された巨大星団や伴星を持たない孤立ブラックホールを間接的に検出する手段となる可能性が認識され始めている。

今回、私たちのグループでは、JCMT で取得した CO  $J=3-2$  輝線サーベイデータを精査する過程で、 $(l, b) \simeq (-0.09^\circ, -0.02^\circ)$  の位置に広い速度幅 ( $\Delta V \geq 40 \text{ km s}^{-1}$ ) を有する空間的にコンパクト ( $S \sim 2.3 \text{ pc}$ ) な分子雲を発見した。速度幅はやや小さいものの、明確な駆動源が付随しないという HVCC に特有な性質を有する。この分子雲 (“Tadpole”) は急峻な速度勾配を持ち、位置-速度図上で特徴的な head-tail 構造を呈する。これらの特徴から、Tadpole の起源として (1) 巨大な爆発現象、または (2) 点状重力源との相互作用、が考えられる。本講演では、Tadpole について既存データの詳細な解析結果を紹介し、空間・速度構造及び物理状態からその起源について議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

## Q13a NRO 45m 望遠鏡を使用した広速度幅分子ガス成分 CO 16.134–0.554 の分子スペクトル線観測

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

銀河系中心分子層 (CMZ) には、空間的にコンパクト ( $d < 10$  pc) かつ非常に広い速度幅 ( $\Delta V \geq 50$  km s<sup>-1</sup>) を有する特異分子雲 (high-velocity compact clouds; HVCCs) が約 100 個発見されている。一方で銀河系の円盤部においては、これまで一例の超高速度分子雲 (Bullet; 山田他、日本天文学会 2016 年秋季年会 Q36a) が検出されたのみである。我々は、CMZ で発見された HVCC に類似した広速度幅分子ガス成分を銀河系円盤部において探査する目的で、野辺山宇宙電波観測所 (NRO) 45 m 望遠鏡による CO  $J=1-0$  輝線サーベイ (FUGIN) のデータを精査した。その結果、我々は、明らかな駆動源が付随しない天体 (CO 16.134–0.554) を新たに発見した。

今回我々は、この CO 16.134–0.554 に対して、NRO 45m 電波望遠鏡を用いた CO  $J=1-0$  および SiO  $J=2-1$  輝線の詳細観測を行ったので、結果をここに報告する。今回取得した高品質 CO データにより、CO 16.134–0.554 が 3 pc 程度の大きさを持ち、明らかに 40 km s<sup>-1</sup> 程度の速度幅を有することが分かった。位置-速度図上においては特異な「サボテン」状の形態を示し、母体と考えられる分子雲に対して正の速度側にのみ高速度成分が見られる。これらの特徴は、原始星からの双極分子流とは相容れない。一方で、CO 16.134–0.554 は SiO 輝線では検出されなかった。以上の結果を受けて、我々はこの天体の起源として、コンパクトな重力源が高速で分子雲に突入したというシナリオを提唱する。重力源としては、銀河系ハロー部に起源をもつ星団もしくは孤立ブラックホールなどが想定される。本講演では、今回の観測で明らかとなった CO 16.134–0.554 の詳細な空間・速度構造を磁気流体シミュレーションの結果と比較することにより、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](#)

## Q14a VLBI 観測による Sgr B2 領域の水メーザー 3 次元速度構造の測定

酒井大裕, 小山友明, 永山匠, 本間希樹 (国立天文台)

Sgr B2 領域は銀河系中心領域で非常に活発な星形成領域であり、南北に約 5 pc ほど伸びている中心のコア領域は大きく Sgr B2(M),(N),(S) 領域に分けられる。それぞれの領域には複数の HII 領域を含む電離領域が VLA や ALMA などの電波連続波観測で検出されており、その構造は非常に複雑である。我々は、VLBI 観測によって得られる非常に高い空間分解能を生かし、VERA を用いて Sgr B2 領域の 22 GHz 帯水メーザー源をモニター観測した。観測は年周視差測定を目的としてデュアルビームモードで 2014 年から 2017 年の間に 15 観測行われた (年周視差の結果は 2017 年年会 Q44a で報告)。Sgr B2(M),(N),(S) の領域で約 -6 km/s から 100 km/s までの広い視線速度の範囲から 100 個以上の水メーザーフィーチャーを検出した。検出されたメーザーフィーチャーの位置は基本的に電波連続波で検出されている HII 領域の境界領域の付近にあり、膨張している HII 領域によって掃き寄せられた分子領域で水メーザーが励起していることが示唆される。また、Sgr B2 領域の中心に位置する Sgr B2(M) 領域ではモニター観測によってメーザー源の内部運動の測定にも成功し、HII 領域の中心から動径方向に膨張するような速度ベクトルが測定された。その 3 次元速度構造を解析したところ、膨張の起源が異なる 2 つの地点にあることがわかった。22 GHz 帯水メーザーは星形成領域からのアウトフローに付随すると考えられており、本講演では、測定した膨張速度から推定したそれぞれの HII 領域の年齢や性質についても報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

## Q15a XMM-Newton と NuSTAR による Ia 型超新星残骸 3C397 の鉄族元素の空間分布測定

大城 勇憲 (東大, 宇宙研), 山口 弘悦 (宇宙研, 東大)

超新星残骸の X 線観測は、その親星の特定や爆発のメカニズムを探る有効な手段である。3C397 は Ia 型超新星の残骸であり、年齢は数千年と推定されている。X 線天文衛星「すざく」による研究では、非常に豊富な鉄族元素 (Cr, Mn, Fe, Ni) の存在が報告された。さらに、質量比 Mn/Fe, Ni/Fe は、これまでに観測されたとの Ia 型超新星残骸のものよりも大きく、超新星爆発時の電子捕獲なしには説明できないことが明らかになった (Yamaguchi et al. 2015)。この事実は、3C397 の親星がチャンドラセカール質量 ( $M_{\text{Ch}}$ ) に近い白色矮星であったことを示す。一方、「すざく」の観測により得られた Mn/Fe や Ni/Fe 比は、一般的な near- $M_{\text{Ch}}$  モデルの予想値をも上回っており、爆発時の白色矮星の中心密度が従来からの想定よりもさらに高い可能性が指摘された (Dave et al. 2017; Leung & Nomoto 2017)。この解釈が正しければ、Mn や Ni に加えて Cr の大部分も電子捕獲を通して生成されるため、これらの重元素の分布が空間的な相関を持つことが予想される。したがって、鉄族元素の分布の調査が、親星の密度決定の鍵となる。

そこで本研究では、「すざく」より空間分解能に優れる XMM-Newton 衛星と NuSTAR 衛星を用いて各 ~130 ks の観測を行い、SNR 全体の諸物理量と鉄族元素の空間分布を調べた。それらの X 線スペクトルから鉄族元素輝線をクリアに検出し、輝線強度比の空間依存性を確認した。本講演では、電離非平衡プラズマモデルを用いた詳細な解析の結果に基づき、親星の爆発時の密度や進化過程について議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

## Q16a 超新星残骸 G350.1-0.3 におけるイジェクタ速度の測定

土岡智也 (立教大学), 内山泰伸 (立教大学), 山田真也 (立教大学), 佐藤寿紀 (理化学研究所)

近年、超新星のシミュレーションと観測の比較研究から超新星爆発が非等方的であることが示唆されている。しかし爆発前の星や爆発自身は点源としてしか観測できないため、非等方爆発メカニズムに迫る観測手段として十分とは言えない。空間構造が見られ、なおかつ輝線やアバダンスといった情報をもつスペクトルが得られる超新星残骸の研究は、爆発構造や元素合成の描像を解明する上で非常に重要であると考えられる。

本研究では、X 線で観測される形状が著しく非球対称な超新星残骸である G350.1-0.3 において、爆発によって生じたイジェクタの速度を測定し、超新星爆発のメカニズムの解明に迫ることを目的とした。視線垂直方向に対してはチャンドラ X 線衛星による 2009 年と 2018 年の観測画像の比較解析から、視線方向に対しては輝線のドップラーシフトを捉えることによって速度を推定した。

本研究によって、明るい東側の領域に関してイジェクタが視線垂直方向に 2000-4500 km/s で移動していることを初めて示した (天体までの距離は Gaensler et al. 2008 より 4.5 kpc と仮定した)。そして視線方向に関して多くの領域で 1000-2000 km/s の赤方偏移が見られた。さらに、G350.1-0.3 と同じ爆発で生じたと考えられている CCO (Central Compact Object) に対しても視線垂直方向の移動量の解析を行った。

これらの解析結果から、本天体は非常に若く、非対称的な超新星残骸であることが考えられる。さらに本研究はその分布だけではなく、運動学にも迫れた事から、今後非等方爆発の原因解明において重要なサンプルになり得る。本発表では、得られた解析結果から、G350.1-0.3 の年齢や爆発の状態に関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](#)

## Q17a 超新星残骸 N132D の高分解能 X 線分光解析によるプラズマ診断

鈴木 瞳 (都立大), 山口弘悦, 石田 學, 前田良知 (宇宙研), 内田裕之 (京都大)

我々は X 線天文衛星 XMM-Newton 搭載の反射型回折分光器 RGS を用いて、大マゼラン雲 (LMC) にある超新星残骸 N132D (Behar et al. 2001) の高分解能スペクトル解析を行った。この超新星残骸は LMC で最も明るく、星間物質由来の熱的 X 線が強いため、星間空間を走る衝撃波によるプラズマ加熱や放射プロセスを探るのに適している。2019 年秋季年会発表 (Q18a) では、観測時間 29 ksec のデータ解析を行い、主に 2 次光を使用したモデルフィッティングから 0.3–2.0 keV のスペクトルは電離非平衡で説明できると報告した。本講演ではこれを含めた 9 観測分のデータ計 193 ksec の解析を行い、O と Ne についてこれらの平均輝線強度を求め、より詳細なプラズマ診断をした結果を報告する。求めた輝線強度比から、電子温度に対して電離温度が低く、電離非平衡であることが確認できた。また、分解能が高い 2 次光スペクトルを用いることで Ne IX の共鳴線と禁制線を分離することができた。この解析の結果、O VII に加えて Ne IX でも、共鳴線に対する禁制線の強度比が理論値よりわずかに大きいことがわかった。この天体の南側に分子雲が存在すること (Dopita et al. 2018)、天体の形が球非対称でありかつ高密度の shell を持つことから、高禁制線/共鳴線の原因として多温度であることの他に電荷交換反応や共鳴散乱も考えられる。モデルフィッティングから電荷交換反応モデルはこのスペクトルを矛盾なく説明できることがわかった。一方、共鳴線の減少分から共鳴散乱断面積を取得して理論値と比較したところ、共鳴散乱の可能性も除外できない。将来ミッションの空間分離による高分解能スペクトル解析によって詳細な理解が得られると期待できる。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

## Q18a 超新星残骸の衝撃波における X 線の熱的放射と非熱的放射の関係

辻直美 (理化学研究所), 内山泰伸, Dmitry Khangulyan (立教大学), Felix Aharonian (Dublin Institute for Advanced Studies, Max-Planck-Institut für Kernphysik)

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) における衝撃波で生成されたと考えられている。SN 1006 や RX J1713.7–3964 といった SNR では、輝線などの熱的放射を含まない非熱的な X 線スペクトルが観測されており、被加速電子からのシンクロトロン放射が支配的であると解釈されている。衝撃波は粒子を加速すると同時に、周囲の物質を加熱するため、加熱されたプラズマからの熱的 X 線も期待される。Cassiopeia A や Tycho などの SNR の衝撃波からは、シンクロトロン放射に加えて、熱的放射も確認されている。本研究では衝撃波付近の熱的 X 線放射に着目し、非熱的 (シンクロトロン) X 線放射と併せることで、衝撃波の加熱と加速の関係を明らかにすることを目的とする。比較的若い銀河系内の SNR について、衝撃波近傍の領域から抽出した X 線スペクトルを解析し、熱的放射と非熱的放射のパラメータの相関を調査した。例えば、Cassiopeia A では熱放射の弱い領域で、粒子加速の効率が良いことなどが分かってきた。本講演では、詳細な結果と物理的解釈について報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

## Q19a ALMA による TeV ガンマ線超新星残骸 N132D の観測

佐野栄俊 (国立天文台), 山根悠望子, 栢植紀節, 立原研悟, 福井康雄 (名古屋大学), 徳田一起 (国立天文台/大阪府立大学), 馬場彩 (東京大学), P. P. Plucinsky, (CfA), M. D. Filipović (Western Sydney University), G. Rowell, F. Voisin (The University of Adelaide), 他 N132D プロジェクトチーム

宇宙線陽子の起源解明は、天文学における最重要課題のひとつである。ガンマ線で明るい超新星残骸 (SNR) は宇宙線加速の面から注目される。付随する星間雲の特定は、陽子 (宇宙線)-陽子 (星間陽子) 反応によるハドロン起源ガンマ線の特定に本質的であり、被加速粒子の全エネルギー推定にも欠かせない。N132D は大マゼラン雲に位置する年齢 2500 年のシェル型超新星残骸である。TeV/GeV ガンマ線で明るく、特に 1-100 GeV 帯のフラックスは、局部銀河群の SNR の中で最大である (e.g., Acero et al. 2016)。一方、シンクロトロン X 線では暗いため、ハドロン起源ガンマ線が有望視されている (Bamba et al. 2018)。シェル南部に巨大分子雲の存在が示唆されているものの、十分な空間分解能では検証されていない (e.g., Banas et al. 1997)。今回我々は、ALMA による  $^{12}\text{CO}(J=1-0)$  輝線観測 ( $\delta\theta \sim 5'' = 1.2 \text{ pc}$ ) を行ったので報告する。結果として、シェル南部に接する分子雲に加え、シェル中心部に位置する 8 つの分子雲塊を新たに特定した。典型的なサイズは  $\sim 2 \text{ pc}$ 、質量は  $\sim 100 M_{\odot}$  である。高い輝線強度比  $\text{CO } J=3-2 / 1-0 > 1.5$  から、これら分子雲は衝撃波によって加熱されているとみられる。また、分子雲方向の熱的 X 線放射は、 $\sim 0.8 \text{ keV}$  の電離平衡プラズマと、 $\sim 3.4 \text{ keV}$  の電離非平衡プラズマでよく記述できる。得られた星間吸収柱密度や電離パラメータから、当該分子雲は衝撃波を受けてから 2000 年以上経過しており、衝撃波に飲み込まれていると考えて矛盾しない。これは、分子雲が宇宙線陽子のターゲットとして機能することを意味する。以上の結果を踏まえ本講演では、N132D における宇宙線加速と被加速陽子の全エネルギーについて論じる。

[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](#)

## Q20a 熱的 X 線・ガンマ線観測を通じた超新星残骸からの宇宙線逃亡タイムスケールの測定

鈴木寛大, 馬場彩 (東京大), 山崎了 (青学大), 大平豊 (東京大)

$10^{15.5} \text{ eV}$  以下の銀河宇宙線の起源は主に超新星残骸 (SNR) の衝撃波面だと考えられており、実際に SNR 周辺には TeV 以上まで加速された陽子が存在することがガンマ線の観測から分かっている (e.g., Ackermann et al. 2013)。古い SNR はソフトなガンマ線スペクトルを示し、加速陽子が高エネルギー側から逃亡していくことを示唆する (e.g., Ambrogi et al. 2019)。しかし、加速陽子がいつ、どのようにして衝撃波から逃亡し、宇宙線となるのかは未だに大きな謎である。

我々は SNR のガンマ線スペクトルを用いて衝撃波に閉じ込められている加速陽子の最高エネルギーとエネルギー総量を推定する手法を提案する。一方で熱的プラズマのパラメータから SNR の年齢を推定する手法の妥当性も検討した。これら 2 つの手法を用い、我々はガンマ線を放射する SNR 38 天体の系統解析を行った。その結果、我々が見積もった SNR の年齢が大きいほど、衝撃波に閉じ込められた加速陽子の最高エネルギーとエネルギー総量が減っていく傾向を発見した。閉じ込められた加速陽子のエネルギー総量の減少タイムスケールは  $\sim 100 \text{ kyr}$  と分かった。最高エネルギーの時間発展の測定結果を理論計算 (Ptuskin & Zirakashvili 2003; Yasuda & Lee 2019; Brose et al. 2020) と比較することで、ほとんどの天体の加速・逃亡過程に関して Bohm limit の仮定は適さず、星間物質や分子雲と衝撃波との衝突を考慮する必要があると分かった。一方で本研究では、一部の SNR がもつ特異な熱的プラズマである過電離プラズマの年齢も、おおよそ SNR 自身の年齢を示すと分かった。これは過電離プラズマが SNR の若い時期に生成する可能性 (e.g., Itoh & Masai 1989) を強める結果である。

[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](#)

## Q21a MeV ガンマ線撮像分光気球実験 SMILE による銀河中心領域の観測

水村好貴 (ISAS/JAXA), 谷森達, 高田淳史, 吉川慶, 阿部光, 池田智法, 荻尾真吾, 津田雅弥, 吉田有良, 古村翔太郎, 岸本哲朗, 竹村泰斗, 中村優太, 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), 濱口健二 (メリーランド大学)

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貴重なエネルギー帯域であり、このラインガンマ線の観測は、宇宙における元素合成現場や物質拡散の重要なプローブとなる。COMPTEL や INTEGRAL など大型衛星による観測で、 $^{26}\text{Al}$  や  $^{60}\text{Fe}$  からのライン成分が銀河中心領域や銀河面から検出されているものの、撮像技術の不足による不明確な系統誤差・観測器筐体と宇宙線の相互作用による多量の雑音などにより、十分な感度での撮像分光探査に至っていない。

我々が開発した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、荷電粒子の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、数百 keV から数 MeV 帯域において高感度観測を実現できる。2018 年春に豪州で ETCC を大気球に搭載し銀河中心方向の観測を行い、これまでの年会でその解析状況を報告してきた。特に銀河中心領域が視野に入るとともにライトカーブに増加が見られる非常にシンプルな証拠が得られている。

本講演では、2018 年豪州フライトデータのより詳細な解析結果を報告するとともに、気球実験による次期計画 SMILE-3 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](#)

## Q22a 銀河スケールの $^{26}\text{Al}$ 空間分布と近傍超新星爆発起因の $^{26}\text{Al}$ バブル

藤本裕輔 (カーネギー研究所), 犬塚修一郎 (名古屋大学), Mark Krumholz (ANU)

固体惑星進化の初期において重要な熱源の一つである短寿命放射性核種  $^{26}\text{Al}$  (半減期は 0.7 Myr) は、大質量星による恒星風や超新星によって星間空間に散布される。その意味で、銀河系における  $^{26}\text{Al}$  の空間分布を明らかにすることは、太陽系の形成と進化を理解する上で重要な鍵である。ガンマ線観測によると、 $^{26}\text{Al}$  は大質量星や分子ガスよりも銀河面の垂直方向に対して遥かに広く分布しており、尚且つ速い回転速度を持つと解釈されており、そのような分布の起源が謎となっている。我々は、 $^{26}\text{Al}$  の化学輸送を取り入れた天の川銀河の N 体+流体力学シミュレーションを行い、これらの原因を調べた。先行研究では、密度波的な渦状腕へのガスの流入によって上流側のみに非対称なスーパーバブルが形成され、それによって銀河面の垂直方向への異常な広がりや分子ガスよりも高速度な回転になっていると主張されていた。しかし今回、天の川銀河の渦巻き構造による  $^{26}\text{Al}$  の異常を示す証拠は見つからなかった。我々のシミュレーションでは、外部ポテンシャルを仮定した密度波的な渦状腕ではなく、自発的に発生する物質波的な渦状腕となっているため、星形成は腕の先端ではなく腕の中心で発生する。その結果、 $^{26}\text{Al}$  のスケールハイトと回転速度は低温ガスのそれに近いことがわかった。しかしながら、観測点 (太陽系) を  $^{26}\text{Al}$  バブルの近傍に置いた時の擬似観測  $^{26}\text{Al}$  マップは、上記で述べたガンマ線観測での  $^{26}\text{Al}$  の定性的特徴をよく示すことも明らかにした。このことは、観測された  $^{26}\text{Al}$  の異常な分布が銀河スケールの構造ではなく、太陽系近傍の超新星爆発によって形成された  $^{26}\text{Al}$  バブル起因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](#)

Q23a 量子化学計算による  $C_2H_2N_2$  の形成プロセスの探索

米津鉄平, 前澤裕之 (大阪府立大学)

地球の生命の設計図である DNA や RNA の構成要素、核酸塩基の初期の起源は未解明となっている。アミノ酸では、生物のタンパク質を造るアミノ酸と同様の左型の鏡像異性体 (ホモキラリティー) が隕石からも検出されていることから、生命と宇宙起源のアミノ酸の関わりも議論されている。核酸塩基は、生物において新生経路によって自身でも造ることが出来るが、隕石からも検出されているため、宇宙起源の核酸塩基が生命に利用された可能性は十分に考えられる。核酸塩基は、星間物質を模した実験室の水ダストの表面やプラズマの放電などでも造ることが出来るが、その形成過程はまだ良く分かっていない。核酸塩基のアデニンについては、 $C_2H_2N_2$  を経由している可能性があり、Sgr B2(N) などの分子雲において E-HNCHCN の観測報告がある。ただし、HCN の重合により HNCHCN を経由してアデニンを形成するには、活性化エネルギーが高いために少なくとも気相において星形成の時間スケールでは進行が難しいとの指摘もあり、HNCHCN の形成過程自体も良く分かっていない。我々の実験室では、分子雲などの組成環境を模した環境でプラズマ放電によるアデニンの形成が可能である。その反応過程の気相からは、質量分析により、HNCHCN と同じ 54 の質量数を持つ分子、 $NH_2CH_2CN$  と同じ 56 の質量数を持つ分子が検出されている。そこで、E/Z-HNCHCN が HCN の重合反応以外の反応で形成される可能性について、密度汎関数法による量子化学計算により反応経路の探索を行った。計算方法、基底関数には、B3LYP/6-31G(d,p) を用いた。その結果、 $NH_2CH_2CN$  から E/Z-HNCHCN を形成するルート (Zaleski et al. 2013) の他に、 $NH_2CH_2CN$  の後に  $NH_3CHCN$  などを經由することで、途中の遷移状態の活性化エネルギーを抑えて E/Z-HNCHCN に至るルートなどがあることも分かった。本講演では、これら一連の解析結果について報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)[スケジュール \(全体\) に戻る](#)[講演者索引 TOP に戻る](#)Q24a すざく衛星の観測による太陽風電荷交換反応由来の  $S_{XVI}$  輝線の発見

朝倉一統, 松本浩典, 岡崎貴樹, 米山友景, 野田博文, 林田清, 常深博 (大阪大), 伊師大貴, 江副祐一郎 (東京都立大), 中嶋大 (関東学院大), 勝田哲 (埼玉大)

すざく衛星は SN1006 のバックグラウンド取得を目的に、明るい X 線源が存在しない  $(\alpha, \delta)_{J2000} = (224.65, -42.40)$  の領域を 2005 年 9 月と 2006 年 1 月の 2 度にわたり観測した。この 2 つは同じ観測領域であるにも関わらず、すざく衛星搭載の X 線 CCD の観測データを調べてみると、2005 年の軟 X 線帯域 (0.4-2.0 keV) のカウントレートが 2006 年のおよそ 2 倍となっている。この時間変動に着目し、それぞれの X 線スペクトルの詳細解析を行い 2 つの差分を求めた結果、2005 年の観測データには 2006 年に観測された X 線に加え、複数の輝線成分が検出されていることを明らかにした。この時間変動の要因として挙げられるのが太陽活動の違いである。2006 年 1 月は太陽活動が静穏であったのに対し、2005 年 9 月中旬は X クラスのフレアが頻発しており、フレアに伴う複数の CME も検出されている。このことから、2005 年の観測データに含まれる複数の輝線成分は、太陽風や CME に含まれる高階電離イオンと地球周辺の中性物質の電荷交換反応 (Solar Wind Charge-Exchange; SWCX) による X 線放射に起因していると考えられる。

この事象は既に 2009 年春季年会 (L17b) で報告されているが、今回の追解析では新たに  $S_{XVI}$  からの X 線放射 ( $2.616^{+0.024}_{-0.023}$  keV) を検出した。これまでも様々な X 線天文衛星で SWCX による X 線放射が検出されてきたが、その多くは 2 keV 未満の帯域であり、SWCX による  $S_{XVI}$  からの X 線放射はこの検出が初めてとなる。本発表ではその詳細、及びこの発見から示唆されることについて議論する。

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

## Q25a Can Warm-hot Intergalactic Medium Account for the Spatial Fluctuation of the Soft Diffuse X-ray Background?

Yu Zhou, Kazuhisa Mitsuda, Noriko Y. Yamasaki (JAXA/ISAS)

The spatial distribution of the soft diffuse X-ray background (SDXB) has long been proposed as a diagnosis of the warm-hot intergalactic medium (WHIM), which is believed to be pervasive inside the filamentary structures of the cosmic web with a gas temperature of  $10^{5-7}$  K. However, several *Chandra* observations of 0.5-2 keV cosmic X-ray background have reported negative results in detecting power spectrum signal from the WHIM. In order to investigate to what extent the WHIM contributes to the cosmic X-ray background fluctuation and whether it is measurable or not, we analyze the spatial power spectrum of *Suzaku* unresolved X-ray background in 0.2–2 keV and compare the observations with the WHIM emission modeled from the IllustrisTNG cosmological simulation. For *Suzaku* X-ray background above 0.5 keV, a large scale signal of  $\sim 10^{-9}$  cts<sup>2</sup> s<sup>-2</sup> deg<sup>-2</sup> @10<sup>3</sup> arcsec has been measured for the scale >100 arcsec, below which any spatial feature smears out due to the limitation of point spread function. The power spectrum signal becomes less significant in 0.2–0.5 keV, with the fluctuation  $\sim 3 \times 10^{-10}$  cts<sup>2</sup> s<sup>-2</sup> deg<sup>-2</sup> @10<sup>3</sup> arcsec. Based on the resolved X-ray point sources in deep exposure of *XMM-Newton* COSMOS field, the powers originated from the unresolved extragalactic galaxies and AGNs are evaluated. In combination with the fluctuation of the diffuse X-ray emission estimated according to the IllustrisTNG, the model turns out to be consistent with the observation values.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

## R01a VERAによる位置天文データのカatalog作成

廣田朋也(国立天文台水沢 VLBI 観測所), VERA collaboration

VERA (VLBI Exploration of Radio Astrometry) は国立天文台と鹿児島大学が運用する超長基線電波干渉計 (VLBI) ネットワークである。日本国内 4 箇所 (岩手県奥州市、鹿児島県薩摩川内市、東京都小笠原村、沖縄県石垣市) にある直径 20 m の電波望遠鏡を組み合わせることにより、周波数 22 GHz (波長 1.3 cm) での水メーザー輝線や 43 GHz (波長 7 mm) の一酸化ケイ素メーザー輝線を伴う星形成領域、晩期型星のモニター観測を行い、10 マイクロ秒角オーダーでの位置天文観測を行っている。2004 年からの本格的な位置天文観測の開始、2007 年の最初の年周視差計測の成功を経て、これまでに 120 天体の年周視差と固有運動計測が完了し、その成果は約 70 本の査読論文として出版されている。

本講演では、2020 年 8 月に PASJ の VERA 特集号として出版予定の VERA カatalog論文 (VERA collaboration et al. 2020) について紹介する。今回のカatalog論文では、現在までに出版された VERA による 99 天体の位置天文観測結果 (うち 21 天体のデータは初公開) をとりまとめ、VLBA や GAIA DR2 との比較に基づいて位置天文精度の検証と誤差要因の検討を行った。その結果、VERA と他の位置天文観測結果はおおむね一致するものの、天体の構造やその変化が精度を悪化させる要因になることが確認された。また、解析方法や誤差の見積もり方によっても、それぞれの結果が一致しない場合があることも確認された。また、VLBA BeSSeL プロジェクトによるメーザー天体の位置天文データと合わせて銀河系基本定数を推定し、銀河系中心までの距離  $R_0 = 7.92 \pm 0.16_{\text{stat.}} \pm 0.3_{\text{sys.}}$  kpc、および、銀河回転角速度  $\Omega_{\odot} = 30.17 \pm 0.27_{\text{stat.}} \pm 0.3_{\text{sys.}}$  km s<sup>-1</sup> kpc<sup>-1</sup> 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](#)

R02a Atacama Compact Array による渦巻銀河 M33 の <sup>12</sup>CO, <sup>13</sup>CO  $J = 2 - 1$  広域観測

村岡和幸, 近藤滉, 西村淳, 藤田真司, 川下紗奈, 小西亜侑, 中尾優花, 西本晋平, 米山翔, 大西利和 (大阪府立大学), 徳田一起 (大阪府立大学/国立天文台), 濤崎智佳 (上越教育大学), 三浦理絵, 西合一矢, 佐野栄俊, 河村晶子 (国立天文台), 小野寺幸子 (明星大学), 久野成夫 (筑波大学), 立原研悟, 栢植紀節, 福井康雄 (名古屋大学)

銀河進化を紐解く上では、星形成の母体となる分子雲の性質を理解することが重要である。近年の銀河面サーベイや近傍銀河の観測によると、分子雲の質量関数や高密度ガスの割合が銀河の場所ごとで異なっており、銀河内の環境の違いが形成される分子雲の性質に大きく影響を与えている可能性が示されつつある。そのため、高い空間/密度ダイナミックレンジで分子ガスの密度構造を明らかにすることの重要性が急速に高まってきている。

我々は、Atacama Compact Array を用いると分子ガス円盤のほぼ全域を分子雲スケールで観測できる唯一の渦巻銀河 M33 に対して、CO(2-1) 輝線のサーベイ観測を推進している。観測予定領域は  $1180'' \times 1100''$  ( $4.7 \text{ kpc} \times 4.4 \text{ kpc}$ ) で、現時点で全体の 2/3 の領域で観測が完了し、角度分解能は  $7''.9 \times 6''.1$  ( $32 \text{ pc} \times 24 \text{ pc}$ )、速度分解能  $2.5 \text{ km s}^{-1}$  での感度は  $\sim 25 \text{ mK}$  を達成した。これは IRAM 30m 鏡による CO(2-1) 輝線サーベイと同程度の感度だが、角度分解能は 2 倍近く高い。また、<sup>12</sup>CO, <sup>13</sup>CO の両輝線を同時に観測できることも特徴である。これまでの解析から、<sup>13</sup>CO(2-1)/<sup>12</sup>CO(2-1) 輝線強度比に銀河半径依存性はほとんど見られず、典型的な値は 0.20 - 0.25 であることがわかった。このことは、より局所的な要因が分子ガスの密度進化に影響を与えていることを示唆する。さらに、銀河系内の小質量星形成領域であるおうし座分子雲に相当する  $5 \times 10^3 M_{\odot}$  程度の独立したガス成分の検出に成功しており、多様な分子雲の起源やその進化に迫りうる基本的な地図が得られると期待できる。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

## R03a ALMA による渦巻銀河 M33 の巨大分子雲の高分解能観測 (5) : $10^6 M_{\odot}$ に及ぶ巨大分子雲の性質とその進化

近藤滉, 村岡和幸, 西村淳, 藤田真司, 大西利和 (大阪府立大), 徳田一起, Sarolta Zahorecz (大阪府立大/国立天文台), 濤崎智佳 (上越教育大), 佐野栄俊, 三浦理絵, 西合一矢, 河村晶子 (国立天文台), 小野寺幸子 (明星大), 久野成夫 (筑波大), 柘植紀節, 立原研悟, 福井康雄 (名古屋大), 小林将人 (東北大)

質量が  $10^6 M_{\odot}$  を超える巨大分子雲 (GMC) は、大規模な星団形成の現場になることが多く、その進化や性質を探ることは銀河進化を紐解く鍵となりうる。我々は渦巻銀河 M33 ( $D \sim 840$  kpc) における星形成活動の異なる 3 つの GMC に注目し、ALMA により CO 輝線等の観測を空間分解能  $\sim 1$  pc で行った。我々はこれまで、(1) 巨大 H II 領域 NGC 604 に付随する GMC が大規模な H I ガスフローで形成されたと考えられるシェル構造を持つこと、(2) 渦状腕に沿って  $\geq 50$  pc の長さを持つフィラメント分子雲が存在する GMC-16、(3) これら 2 天体より星形成が不活発な GMC-8 は特徴的な内部構造を持たず  $^{13}\text{CO}$ 、 $\text{C}^{18}\text{O}$  等でトレースされる高密度ガスの割合が相対的に低いこと、などを報告してきた (近藤他, 村岡他, 徳田他 2019 年秋季年会)。これら 3 天体の  $^{12}\text{CO}$  の線幅に注目すると、GMC-8 の典型的な線幅は  $\sim 11 \text{ km s}^{-1}$  と他 2 天体 ( $\sim 7 \text{ km s}^{-1}$ ) に比べて有意に広く、 $^{13}\text{CO}$  は  $^{12}\text{CO}$  の線幅が  $\sim 6 \text{ km s}^{-1}$  以下と比較的狭い場所で検出される傾向にあった。このことから GMC-8 では大局的には乱流が卓越しているが、局所的に乱流が弱まった場所で比較的密度の高いガスが形成されていると考えられる。これらを総合し、GMC-8 のような大質量 GMC を分子雲の構造形成および巨大星団形成の初期状態と仮定すると、こうした GMC は渦状腕の通過や H I ガスの衝突等により高密度ガス形成が効率的に進み、GMC-16 で見られた大規模なフィラメントや NGC 604 のような巨大星団形成領域へと進化しうると考えられる。

[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](#)

## R04a 棒渦巻銀河 NGC 613 の中心領域におけるガスダイナミクスと星形成の関係

佐藤藤亮<sup>1</sup>, 宮本祐介<sup>2</sup>, 久野成夫<sup>1</sup>, Dragan Salak<sup>1</sup>, Alex Wagner<sup>1</sup>, 瀬田益道<sup>3</sup>, 中井直正<sup>3</sup> (1: 筑波大学, 2: 国立天文台, 3: 関西学院大学)

棒渦巻銀河における bar 構造はガスを効率的に中心へ輸送し、中心領域でのガス集中をもたらす。しかし、棒渦巻銀河における星形成効率 (SFE) は中心領域で必ずしも高いとは限らず、銀河ごとにばらつきがある。また、銀河の領域ごとに異なる SFE は分子雲の性質が密接に関わっていることも知られている。棒渦巻銀河 NGC 613 は中心に星形成が活発な star-forming ring ( $250 < r < 340$  pc) を有するが、最近の近赤外線観測から ring の東側と西側の星形成活動が非対称であることがわかってきた。そこで、我々は ALMA による高分解能 ( $\sim 15$  pc) CO 輝線観測から ring の分子ガスのダイナミクスと物理状態を求め、それらと星形成の関係を調べた。Bar と ring が合流する領域での P-V 図から、東側での bar と ring のガスの相対速度は  $\sim 70 \text{ km/s}$  であるの対し、西側では  $\sim 170 \text{ km/s}$  に及ぶことがわかった。また、dendrogram (Rosolowsky et al. 2008) を用いて分子雲を同定し、東側では bar と ring の合流点にかけて徐々にピリアルパラメータ ( $\alpha_{\text{vir}}$ ) が小さくなり ( $\alpha_{\text{vir}} < 2$ )、西側では合流後も大きいまま ( $\alpha_{\text{vir}} > 2$ ) であることを統計的に示した。さらに、RADEX (Van der Tak et al. 2007) を用いた non-LTE 解析では、東側の合流点の下流にかけて温度・密度が上昇し、一方西側では不規則に変化することを明らかにした。SFE を求めると、東側で  $(1.7 \pm 0.2) \times 10^8 \text{ yr}^{-1}$ 、西側で  $(0.9 \pm 0.3) \times 10^8 \text{ yr}^{-1}$  であった。これらの結果は、棒渦巻銀河の中心領域における星形成活動が、bar から ring へのガスの落ち方に大きく影響を受けることを示唆する。つまり、bar と ring のガスの相対速度が小さい場合、合流点を起点として連続的に星が形成される (Pearls on a string) が、反対に速度差が大きい場合、分子雲内の乱流が大きくなり星形成を抑制すると考えられる。

[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](#)

## R05a $^{12}\text{CO}(J=1-0)/^{13}\text{CO}(J=1-0)$ 輝線強度比による近傍の棒渦巻銀河 Maffei 2 の分子ガスの物理状態

矢島義之 (北海道大学), 徂徠和夫 (北海道大学, 筑波大学)

棒渦巻銀河のバーでは、分子ガスは多量にあるにもかかわらず、新たに生まれる星は少ない (e.g., Momose et al. 2010). その原因として、我々はバーにおける分子ガスは渦状腕等の他の構造よりも低密度であることを示した (Yajima et al. 2019). 低密度状態を引き起こしている原因の一つとして、近傍の棒渦巻銀河 Maffei 2 のバーでは、分子ガスの運動が激しいため、分子雲が自己重力収縮できない状態であると示唆されている (Sorai et al. 2012). そこで我々は、国立天文台野辺山宇宙電波観測所 45m 電波望遠鏡を使用し、Maffei 2 の  $^{12}\text{CO}(J=1-0)$ ,  $^{13}\text{CO}(J=1-0)$  同時マッピングを行なった.  $^{12}\text{CO}(J=1-0)$  は分子ガス全体をトレースするのにに対し、 $^{13}\text{CO}(J=1-0)$  は光学的に薄いため、分子ガス内部の自己重力が支配的な、星形成に寄与しやすい分子ガスを反映していると考えられる. そのため、このような分子ガスの割合が減るにつれ、 $^{12}\text{CO}(J=1-0)/^{13}\text{CO}(J=1-0)$  積分強度比 (以下、 $R_{12/13}$ ) は上昇すると予想される. 観測の結果、バーにおける、 $^{12}\text{CO}(J=1-0)$  積分強度で重みづけした  $R_{12/13}$  の平均値は 14.0 であった. 対して、2 本ある渦状腕の  $R_{12/13}$  の重みづけ平均値は 10.7, 11.2 であった. バーと渦状腕の  $R_{12/13}$  について Kolmogorov-Smirnov 検定を行ったところ、優位水準 5% でバーと渦状腕間の  $R_{12/13}$  の差は優位であると認められた. 従って、Maffei 2 のバーでは星形成に寄与しやすい、自己重力が支配的な分子ガスは少なく、星形成に寄与しづらい希薄で広がった分子ガスが大部分を占めると示唆される.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

## R06a 相互作用銀河 NGC4567/4568 の衝突領域における分子ガスの物理状態

鶴田 翔哉 (筑波大学), 金子 紘之 (上越教育大学, 国立天文台), 久野成夫 (筑波大学)

銀河同士の相互作用は、銀河内の星や星間ガスの分布と運動を大きく変え、銀河進化において重要な役割を果たす。また相互作用銀河の興味深い現象として、後期段階の相互作用銀河は、孤立銀河に比べて星形成率が 10-100 倍高いものも存在することが知られている (Kennicutt et al. 1987; Teyssier et al. 2010)。しかしその爆発的な星形成のメカニズムは未だ明らかになっていない。相互作用銀河における星形成を理解するためには、星の材料となる分子ガスの分布や運動を詳細に調べることが重要である。

我々は相互作用銀河の星形成メカニズムを解明するため、初期段階の相互作用銀河で、分子ガス衝突面が観測された NGC4567/4568 の銀河衝突領域における分子ガスの分布や運動を ALMA を用いて調べている。分子ガス衝突面には巨大なフィラメント構造をした分子ガスが存在していることがわかっており (Kaneko et al. 2018)、より高角分解能かつ高感度の  $^{12}\text{CO}(1-0)$  データと、より高温高密度ガスのトレーサー  $^{12}\text{CO}(3-2)$  データを用いて分子ガスの物理状態を調べた。その結果、分子ガス衝突面で  $^{12}\text{CO}(3-2)/^{12}\text{CO}(1-0)$  比が最大で 0.17 と比較的 low、分子ガス衝突面では分子ガスは高密度となっていないことが示唆された。従来の数値シミュレーションでは銀河衝突面の分子ガスは圧縮され高密度化することが示されており (Saitoh et al. 2009)、今回の観測結果は、シミュレーションからの予想に反するものであった。また星形成トレーサーとの比較から、分子ガス衝突面では現在星形成は起こっていないことが示唆されたが、付近の星形成領域において  $^{12}\text{CO}(3-2)/^{12}\text{CO}(1-0)$  比が最大で 0.34 と高いことがわかった。本講演では、NGC4567/4568 の相互作用が分子ガスの物理状態にどのような影響を与えているか議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

## R07a スターバースト銀河 M82 の銀河風領域における重元素分布の解明

八木雄大, 山崎典子 (東京大学, JAXA/ISAS), 満田和久 (国立天文台), 松下恭子 (東京理科大学)

大規模な銀河風をもつスターバースト銀河 M82 は横向き円盤銀河であり、銀河面と垂直な方向に吹き出す高温電離ガスが X 線により観測されているが (e.g. Tsuru et al. 1997)、その複雑な構造は理解されていない。

Konami et al. (2011) は、2005 年のすざく衛星による円盤領域を含む北側銀河風の観測データを用いて、円盤領域の放射を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、3–5 温度成分を導入したがエネルギースペクトルは再現できなかつた。また、銀河風領域の解析ではすざくの低い角分解能の影響による円盤領域の強い放射の漏れ込みを考慮する必要があり、X 線望遠鏡の応答関数の広がりから漏れ込み評価を行い、銀河風領域の重元素組成比 O/Fe, Ne/Fe, Mg/Fe は位置依存性がないと結論付けた。しかし、再現できていない円盤放射モデルを用いて銀河風領域への漏れ込み量を評価していたため、重元素の評価に不定性が残っている。

2014 年のすざくの追加観測により、北側銀河風領域で観測時間が約 2 倍になり、新たに南側領域も観測された。我々は南北の銀河風領域を銀河面からの距離ごとに分割し、各領域でエネルギースペクトルを解析している。2020 年春季年会の発表では、円盤領域では複雑な放射モデルを仮定せず、もっとも簡単な単温度の放射モデルを用い、各重元素の輝線強度を求めた。また、より正確な放射源を設定し応答関数の広がりを求めることで、正確な漏れ込みの評価を行い、銀河風領域からの純粋な放射成分を求めた。

本講演では、そこから推測されるプラズマ温度、多温度の可能性、密度変化について考察し、高温アウトフローについて、現時点での観測的知見をまとめる。その上で、多温度プラズマ、あるいはプラズマの速度場の観測可能性について、将来の高エネルギー分解能観測装置を用いた場合に得られる結果をシミュレーションで評価する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

## R08a 超矮小銀河の化学進化: 中性子捕獲過程とバリウムの起源

垂水勇太, 吉田直紀 (東京大学), 須田拓馬 (放送大学/東京大学)

$s$ -過程元素合成は、低中質量星の進化後期段階、とりわけ漸近巨星分枝 (AGB) 段階で起こるとされる。それらの星の進化にかかる時間の長さから、 $s$ -過程元素の星間空間への放出には時間がかかり、星形成時点に対する大幅な遅延時間が生じる。そのため金属量の低い ( $[Fe/H] < -2$ ) 星では  $s$ -過程の寄与は小さいことが予想されている。バリウム (Ba) は太陽組成では  $s$ -過程で大半が合成される代表的な元素であるが、低金属量の Ba には  $r$ -過程の寄与が大きいことが示唆されていた。

超矮小銀河 (UFD) は、局部銀河群にある非常に小さな ( $L < 10^5 L_{\odot}$ ) 銀河である。その小ささから、星形成が宇宙再電離で止まったことが理論的、観測的に示唆されている。このように星形成が制限できる天体は化学進化の理解に重要である。UFD のストロンチウムや Ba の量は、天の川銀河に比べて少ないことが観測されている。

本研究では、UFD での  $s$ -過程元素の生成について、宇宙論的シミュレーションを用いて化学進化の計算を行った。結果として、代表的な  $s$ -過程元素であるバリウム (Ba) の量は、典型的に AGB 星で予想される寄与では不十分であることがわかった。各 UFD 内の星の Ba 量は分散が 1dex 程度と小さく、これを実現するためには、遅延時間の短い  $s$ -過程源を考え、AGB 星の相対的な寄与を小さくするか、星形成を 200Myr 程度で止めるかのいずれかが考えられる。Ba の量が 1 桁近く足りないことも考慮すると、遅延時間の短い Ba 源があることが予想される。最初の 100Myr で  $1M_{\odot}$  の星につき約  $10^{-9}M_{\odot}$  の Ba 生成が必要で、本講演では、比較的短い時間尺度で  $s$ -過程元素が放出されると期待される super-AGB 星の寄与を考慮しても量が不十分であることを示す。これらの結果を基に、UFD での Ba 生成に対する  $s$ -過程、 $r$ -過程の寄与について議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

## R09a M87 中心の SMBH 連星からの重力波が観測される可能性

船渡陽子 (東京大学)

M87 は中心に巨大ブラックホール (SMBH) を持つ巨大楕円銀河である。SMBH の存在は M87 の中心付近から発生しているとみられるジェットの観測などから推測されていたが、近年の Event Horizon Telescope (EHT) によるブラックホールシャドウの観測から確かとなった。

Miyoshi et al. (2020, cps セミナー) は EHT の公開データを用いて詳細な解析を行い、M87 の中心部に 2 コアを発見した。この 2 コアは約  $100\mu\text{as} \sim 1480 \text{ AU}$  離れている。本研究ではこの 2 コアがどちらも SMBH であり連星を成しているとする、どのような重力波が放出され、どのように観測されるかについて調べたので、そのことについて報告する。

M87 の中心の SMBH が連星ではないか、という議論は今までもあり、連星だとするとどのような、又はどのようにして重力波を観測できるか、という研究もなされてきている。しかし連星とした場合のどのような連星かというパラメータが多すぎて決定的な結論や予測をするのは難しい。我々は SMBH 連星は M87 の中心円盤上にあることと、地球からは Miyoshi et al. (2020) の結果のような位置関係に見えることを条件に軌道パラメータを絞って、PSR B1855+09 のパルサータイミングで観測できるかどうかを調べた。その結果、PSR B1855+09 の time residual の時間変化として (1) 時間変化の幅は  $10^{-7}$  秒程度でありうる (2) 周期が 1~20 年程度のものも多い、ことがわかった。(1) から今までの観測では見つからなかったが (2) と合わせると今後の NANOGrav などの観測で発見できる可能性がある」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](#)

## R10a Gaia DR2 を用いた、銀河系中心由来の超高速星 (hypervelocity stars) の探索

服部公平, Sergey Koposov (Carnegie Mellon University)

我々の住む銀河系の中心には、400 万太陽質量の超巨大ブラックホール (SMBH) が存在する。理論計算によれば、SMBH の近傍 (30AU 程度) を偶然通り過ぎた連星系が強い潮汐力によって破壊されると、連星の片方の星が SMBH に重力的に束縛され、その反動でもう片方の星が  $\sim 1000 \text{ km/s}$  の速度で無限遠方へ弾き出される (Hills 1988; Yu & Tremaine 2003)。この 3 体相互作用によって弾き出される星は、超高速星 (hypervelocity stars) と呼ばれる。超高速星はもともと SMBH の近傍に存在していた星であるため、超高速星を調べることで、SMBH 近傍の環境を理解することができる。しかし、SMBH に起源を持つ超高速星を発見することは容易ではない。第一に、超高速星は非常に稀にしか存在しない。ハローには  $10^9$  個の恒星が分布するが、超高速星は 5000 天体程度しか存在しないと予想されている。第二に、恒星の位置・速度のデータに大きな不定性があれば、その星が本当に SMBH から弾き出されたのかを確定することができない。実際、SMBH 起源であることが確定的な超高速星は、これまで 1 天体しか知られていない (Koposov et al. 2019)。

そこで我々は、Gaia DR2 のデータを用いて超高速星を効率的に探索する手法を考案した。具体的には、「あらゆる星は超高速星である可能性を排除できない」という大胆な作業仮説からスタートし、Gaia の位置天文情報 ( $\alpha, \delta, \mu_{\alpha*}, \mu_{\delta}$ ) をもとに、「超高速星が満たすべき距離・視線速度の必要条件」を求めた。さらに、その距離の妥当性を測光データを用いて検証し、最後に模擬データとの比較を通じて、異常な固有運動をもつ天体を選別した。我々はこれらの候補天体を 2020 年 8 月に Magellan 望遠鏡で観測し、視線速度が予想通りかを検証する。COVID-19 の影響が未知数ではあるものの、予定通り観測が遂行できれば、その結果も併せて報告する。

[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](#)

## R11a N 体シミュレーションで探る太陽近傍の星の位相空間分布とバーの共鳴軌道との関係

朝野哲郎, 藤井通子 (東京大学), 馬場淳一 (国立天文台), Jeroen Bédorf, Elena Sellentin, Simon Portegies Zwart (Leiden Observatory)

太陽近傍の星の動径速度-回転速度 ( $v_R - v_\phi$ ) 空間分布には、Hercules stream と呼ばれる特徴的な構造が見られることが知られていて、これはバーや渦状腕の共鳴軌道に由来すると考えられている。Gaia DR2 が公開されてからは、Hercules stream の内部構造や動径-回転速度 ( $R-v_\phi$ ) 空間の ridge 構造との対応が明らかになり、より活発に議論が行われている。こうした太陽近傍の星の位相空間と共鳴軌道の関係を調べるために、我々は、天の川銀河の大規模 N 体シミュレーション (Fujii et al. 2019) のデータ解析を行った。シミュレーションの銀河内の様々な場所で粒子の速度空間分布を求めると、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。粒子の軌道解析を行ったところ、シミュレーションの Hercules stream がバーの 4:1 outer Lindblad resonance (OLR) と 5:1 OLR に束縛された粒子によって構成されていることが判明した。さらに、Hat と Horn という速度空間構造も、それぞれ 2:1 OLR と 3:1 OLR に対応していることがわかった。また、シミュレーションの  $R-v_\phi$  空間分布でも、観測で見つかった ridge と同様の構造が見られた。先行研究で議論されているように、これもバーの共鳴軌道に由来していて、 $R - v_\phi$  空間での共鳴粒子の分布は角運動量  $L_z =$  一定の曲線で近似できることが確認できた。観測の ridge パターンを共鳴軌道の  $L_z$  の線で再現するには、 $40\text{--}45 \text{ km s}^{-1} \text{ kpc}^{-1}$  というバーのパターン速度が必要であり、4:1 OLR、5:1 OLR、さらに corotation resonance によって Hercules stream に対応する ridge が形成されていることが示された。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

## R12a 銀河渦状腕中の星のエピサイクル位相同期 II

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)

銀河の渦状腕構造形成は銀河研究の大きな問題の一つである。近年の研究により、渦状腕は破壊と形成を繰り返す準定常パターンであることが示され、恒星が集団として運動している物質腕であると考えられている。この形成過程として、leading の波が差動回転により trailing の波になり、その間に自己重力によって個数密度が増幅されるというスウィング増幅が考えられている (Julian & Toomre 1966; Toomre 1981)。スウィング増幅のメカニズムとして、銀河円盤中の密度揺らぎを摂動源とする重力散乱により、その周辺で渦状腕構造が形成されることが考えられている。また、スウィング増幅による渦状腕の形成を調べた N 体シミュレーション研究では、渦状腕形成時に恒星の軌道の位相が同期することが確認されている (Michikoshi & Kokubo 2016; 2018)。

我々はこの摂動源による重力散乱に注目し、スウィング増幅の素過程を制限三体問題に還元して考えた。恒星の軌道進化と位相同期を調べるために、周転円近似を用い、摂動源を質点とみなし、恒星の質点による重力散乱過程をシミュレーションした。その結果、摂動源の重力散乱が恒星の周転円運動の位相を同期させることを示し、春の学会にて発表を行った。

次に我々は、一様分布の恒星集団を用意し、各恒星の軌道進化を制限三体問題として解き、重力散乱で生じる恒星の個数分布の構造を調べ、スウィング増幅の引き金となる高密度領域を確認した。そして、円盤パラメータや初期の恒星軌道要素に対する高密度領域の構造の依存性を調べた。また、より現実的な系を考えるために、摂動源を長楕円体とみなし、長楕円体の大きさ、軸比、ピッチ角に対する位相同期の依存性を調べた。そしてこれらの結果から恒星軌道の位相が収束する条件と実際の銀河渦状腕構造が、どのように対応するのかを議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

## R13a 偏波解消効果を取り入れた渦状銀河の電波帯疑似観測

田嶋裕太, 大村匠 (九州大), 町田真美 (国立天文台)

宇宙磁場の情報は電波連続波の偏波解析によって得られる。渦状銀河の磁場は、その典型的な大きさが数〜数十マイクロガウスであり、ガス圧や宇宙線圧と同程度のエネルギーを持つ。そのため、銀河の運動や進化、銀河中の星の進化に影響を与える重要な物理量である。銀河磁場の構造や起源を明らかにする目的で、銀河ガス円盤の3次元磁気流体 (MHD) 数値実験が行われている。しかし、MHD 数値実験からは、視線上の積分値である観測量を直接得ることはできない。そこで、観測結果との直接比較を行うために、3次元 MHD 数値実験結果を用いて観測量を導出する必要がある。近年では電波干渉計による高解像度なメートル波帯観測が行われており、今後更なる高解像度の観測により弱い磁場領域の観測結果が得られるようになると思われる。しかし、メートル波帯観測は、ファラデー回転の影響が大きくなるため、放射された偏波強度よりも観測値が小さくなる偏波解消の効果が重要になる。そのため、偏波解消効果を正しく取り扱った疑似観測手法の開発が求められている。

本研究では、町田ら (2013) の銀河ガス円盤の MHD 数値実験結果を用い、各セルでのシンクロトロン放射の放射係数を求め、偏波の輻射輸送方程式を解くことによって疑似観測を行った。その際、数値実験の解像度以下の乱流磁場によって引き起こされる偏波解消をセル周囲の磁場の分散を用いて乱流磁場を内挿することによって取り入れた。また、任意のビームサイズでの疑似観測を可能にした。その結果、メートル波帯では乱流磁場の引き起こす偏波解消によって偏波率の大幅な低下が見られ、メートル波帯疑似観測における解像度以下の乱流磁場の重要性を示した。また、観測するビームサイズに偏波解消度が大きく依存することも示した。さらに、放射、偏波解消を3次元的に解析することによって磁場構造と観測量との相関を調べたので、そ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](#)

## S01a 活動銀河核ウィンドからの高エネルギーニュートリノ・ガンマ線放射

井上進, Matteo Cerruti, Ruo-Yu Liu, 村瀬孔大

近年、多くの活動銀河核において、高速・高強度の降着円盤風の観測的証拠が見つかってきている。これら AGN ウィンドは、重元素を含むバリオン組成で、主に熱的プラズマから成り、広角度に渡って放出されている点で、ジェットとは性質を異にする。AGN ウィンドは、母銀河ガスに熱的・力学的フィードバックを及ぼすことで、観測されている銀河・ブラックホール共進化の主因となっていると推測されているが、その形成機構や、フィードバック過程の物理の詳細については不明な点が多い。

AGN ウィンドの内部では、速度や密度の非一様性などに起因した内部衝撃波が起きている可能性がある。ここでは高エネルギー陽子・電子加速とそれに伴う非熱的放射が予想される。我々は、ウィンドの根元の領域において、加速された陽子と中心核起源の光子が相互作用し、高エネルギーニュートリノ及びガンマ線放射が引き起こされる可能性について調べた。特に、顕著なウィンドを伴うことで知られている、セイファート II 型 AGN の NGC 1068 に着目した。この天体は、GeV ガンマ線源であるとともに、IceCube による最近の観測から、高エネルギーニュートリノ源であることも示唆されている。本講演では、上記過程の詳細なモデル計算を行い、NGC 1068 のマルチメッセンジャー（多波長電磁波+ニュートリノ）観測と比較し、モデルの妥当性、およびそこから得られる知見について議論する。

[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](#)

## S02a *XRISM* observations of a UV line driven disc wind in AGN

水本岬希 (京都大), 野村真理子 (呉高専), Chris Done (Durham Univ.), 大須賀健 (筑波大), 小高裕和 (東京大)

X-ray UltraFast Outflows (UFO) are observed in some active galactic nuclei (AGN), with blueshifted ( $v \sim 0.2c$ ) and highly ionised Fe-K absorption lines. UFO carries a lot of kinetic energy from AGN to the galaxy, invoking the quasar mode feedback. However, we cannot strictly estimate its mass loss rate and/or kinetic energy in the current X-ray CCD detectors due to its low energy resolution. Moreover, the exact mechanism for launching UFO is still to be clarified.

Here we synthesise the X-ray energy spectra resulting from a state of the art radiation hydrodynamics UV line driven disc wind simulation (Nomura et al. 2020, accepted for MNRAS, arXiv:1811.01966). We demonstrate that there are some lines of sight which only intercept highly ionised and fast outflowing material, and that our model can reproduce the depth and velocity of the iron absorption lines seen in PG 1211+143, which is the archetypal UFO source. We also simulate *XRISM*/Resolve observations of this wind and show that the high energy resolution can resolve the detailed structure in the wind and recover the wind energetics when combined with models which correctly estimate the wind radius. New data from *XRISM* will pave the way for physical predictions of AGN wind feedback in cosmological simulations.

[スケジュール\(セッション毎\)に戻る](#)

[スケジュール\(全体\)に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

### S03a ケーサー付随 NAL 吸収体の幾何的分布に関する調査

伊東大輔、三澤透(信州大学)、堀内貴史(国立天文台)、青木賢太郎(国立天文台ハワイ観測所)

ケーサーの降着円盤から噴出するアウトフローは、ケーサー周辺の環境や大質量ブラックホールの進化を理解する上で重要な要素である。アウトフローの最も顕著な観測例は幅の広い吸収線、Broad absorption line (BAL; FWHM > 2,000 km/s) だが、近年では幅の狭い吸収線、Narrow absorption line (NAL; FWHM < 500 km/s) についても、アウトフローに物理的に関連している証拠を示すもの(付随 NAL)が同定されるようになった。アウトフローは理論モデルによれば降着円盤の低緯度方向に狭く絞られて噴出する描像が一般的である。そのため BAL と付随 NAL は、前者がアウトフローの本流を、後者がより高緯度側の分流を起源にしているという角度依存性によって理解されている。しかし、現段階では BAL 観測視線において付随 NAL が存在するかどうかを検証した事例がないため、付随 NAL の角度依存性や BAL との関連性の実状は不明である。

そこで本研究では付随 NAL の角度依存性を検証するために、SDSS の BAL ケーサーカタログ (Gibson et al. 2009) をもとに、ESO の VLT/UVES で取得された BAL ケーサーの高分散分光観測データを 11 天体分取得し、BAL 観測視線において付随 NAL を探査した。NAL は付随 NAL の他にもケーサーとは無関係な銀河や銀河間物質なども起源に持つため、部分掩蔽解析と呼ばれる手法によって付随 NAL を判別した。結果、11 天体中 3 天体 (~27%) で付随 NAL を同定した。これは BAL を持たないケーサーにおける検出率と同程度であり、付随 NAL の角度依存性を否定する結果である。さらにこれらのうち SDSS J1215-0034 のスペクトル上で同定した付随 NAL は光電離モデルによる概算から動径方向の距離  $R > 100$  kpc という銀河周辺物質に相当する距離に位置することがわかった。以上の結果を踏まえ、付随 NAL の幾何的分布及び BAL との関連性について考察した。

[スケジュール\(セッション毎\)に戻る](#)

[スケジュール\(全体\)に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

### S04a クランピートラスからの X 線スペクトルモデル (XCLUMPY) を用いた Compton-thick AGN の広帯域 X 線スペクトル系統解析

谷本敦(東京大学)、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と母銀河の共進化を解明する上で、深く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 ( $24 \leq \log N_{\text{H}}/\text{cm}^{-2}$ ) 天体である。この種族の一部は、銀河合体後のガスや塵に深く覆われた状態にあり、特殊な進化段階である可能性がある。しかし、強い減光のため、CTAGN の性質は未だに良く理解されていない。

強い透過力を持つ硬 X 線 ( $E > 10$  keV) での観測は、CTAGN の構造を解明するためにひじょうに有力である。我々は、モンテカルロ輻射輸送計算コード MONACO (Odaka et al. 2016) を用いて、クランピートラスからの X 線スペクトルモデル (XCLUMPY) を作成し、Circinus Galaxy に適用した (Tanimoto et al. 2019)。しかし、CTAGN の統計的な性質を調べるには、より多くのサンプルの広帯域 X 線スペクトルの系統解析が必要である。

そこで我々は、Swift 衛星/BAT 望遠鏡による全天硬 X 線サーベイにより発見された、48 天体の CTAGN 候補 (Ricci et al. 2015) に着目した。これらの XMM-Newton、Suzaku、NuSTAR のデータを解析し、その広帯域 X 線スペクトル (0.5–100.0 keV) に XCLUMPY モデルを適用した。本講演では、得られた結果をまとめ、CTAGN の統計的な性質 (水素柱密度やト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](#)

## S05a XCLUMPY モデルを用いた Circinus galaxy におけるトーラス内縁半径の推定

植松亮祐, 上田佳宏 (京都大学), 谷本敦 (東京大学), 瀬戸口健太, 小川翔司, 山田智史 (京都大学)

活動銀河核 (Active Galactic Nucleus; AGN) には巨大ブラックホールの周囲にガスやダストでできたトーラスが存在する。このトーラスは質量供給源の役割を担うため、その構造解明は、巨大ブラックホール進化の理解に不可欠である。近年、高い透過力によりガスやダストを含めた全物質を調査できる X 線観測が着目され、トーラスからの X 線スペクトルモデルが多く開発されてきた。トーラスからの反射成分には、鉄をはじめとする蛍光輝線が含まれる。ケプラー運動に伴うドップラー効果により蛍光輝線は広がるため、その幅を精密に測定することで、トーラスの内縁半径を知ることが可能である。しかし、ガスの運動を考慮したスペクトルモデルは、これまで存在しなかった。

本研究で我々は、クランプ状構造を反映した現実的な X 線トーラスモデル (XCLUMPY; Tanimoto et al. 2019) を基に、モンテカルロ輻射輸送計算コード MONACO (Odaka et al. 2016) を用いて、ドップラー効果による輝線の広がりを考慮したモデルを構成した。モデルの検証も行うため、近傍で鉄蛍光輝線が特に強い 2 型 AGN である Circinus galaxy を研究対象とし、X 線衛星 Chandra の高分散分光データ (HETG) に、*NuSTAR*、*XMM-Newton*、*Suzaku*、*Chandra/ACIS* のデータも加えて広帯域 X 線スペクトル解析 (3–100 keV) を行った。その結果、鉄輝線幅から得られたトーラス内縁半径は重力半径の  $\sim 10^5$  倍であると初めて特定した。さらに、この値は X 線光度から推定されるダスト昇華半径よりもやや小さいことが判明した。この結果はダストトーラスよりも内側の領域に多量のガスが存在することを示唆している。

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

## S06a 分子トーラスでの CO 振動回転遷移吸収線観測と理論モデルの比較・検証

松本 光生 (東京大学, ISAS/JAXA), 渦尾 泰成 (鹿児島大学), 馬場 俊介 (国立天文台), 和田 桂一 (鹿児島大学), 大西 崇介 (東京大学, ISAS/JAXA), 中川 貴雄 (ISAS/JAXA)

活動銀河核 (Active Galactic Nuclei, AGN) 周囲に存在する幾何学的に厚い分子トーラスは、AGN からの放射を遮蔽する役割を持つ重要な構造であるが、トーラスの厚みの形成過程や内部構造は未だに明らかでない。近年、ALMA 望遠鏡を用いたトーラスサイズと同等の高分解能電波観測が行われ、その CO 輝線の速度成分は、理論研究から提案される降着円盤からの輻射によるトーラス内の乱流形成機構と整合的であった (Izumi et al. 2018)。しかし、依然としてトーラス内部を空間分解することは難しく、トーラス内部の微細なガスの運動状態、物理状態までは未解明である。そこで、我々のグループではトーラス内壁のダスト昇華層を背景光とした CO 振動回転遷移吸収線 (波長  $\sim 4.67 \mu\text{m}$ ,  $v=0-1$ ,  $\Delta J=\pm 1$ ) の観測を行う事で、トーラス内部の微細なガスの運動状態、物理状態に迫っている。IRAS 08572+3915 の CO 吸収線観測では、非対称な速度成分 ( $-160, 0, +100 \text{ km/s}$ ) を持つガスが観測され、Outflow 成分はボルツマン分布を示す高温 (数百 K) なトーラス内の CO ガスであることを示した (Shirahata et al. 2013)。そして、本研究では電波観測と整合的な理論モデルのトーラス構造に基づいた CO 輻射輸送計算をすることで、観測された高温 Outflow を理論計算で再現できるか検証した。その結果、非対称な速度成分を持つ CO 吸収線が理論モデルで再現されること、そのうちの Outflow 成分が降着円盤からの輻射で駆動されたガスで生じている事を確認した。しかし、Outflow 成分の CO 単位分布は局所熱平衡で決定されるようなボルツマン分布を再現できず、トーラス内のダスト赤外線放射によって単位分布が決定されていた。この事は、観測された Outflow 成分が理論計算では再現できていない高密度ガスである事に起因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](#)

S07a 「すざく」による I 型 AGN NGC 4593 の Fe-K $\alpha$  変動性を用いた AGN 構造の制限

峯田大靖、野田博文、林田清、松本浩典 (阪大理)

活動銀河核 (AGN) の X 線スペクトルには一般に、超巨大ブラックホール近傍からの連続 X 線が周囲の冷たい物質で光電吸収されて生じる細い中性の Fe-K $\alpha$  輝線が 6.4 keV に現れる。その放射領域の候補は、降着円盤、広輝線領域 (BLR)、トーラス、回転分子円盤などが考えられるが、どこが主要な起源かは未だに論争が続いており、これを特定することは AGN 構造の理解に繋がる。これまで、X 線 grating 検出器で測定した Fe-K $\alpha$  輝線の速度幅を可視・赤外帯域の広輝線の速度幅と比較する手法などで、Fe-K $\alpha$  の主要な放射源が BLR からトーラス内縁部に分布していることが示唆されてきた (e.g., Shu et al. 2010; Minezaki & Matsushita 2015)。

速度幅を用いる方法の他に、Fe-K $\alpha$  輝線の数日から数週間の短い時間スケールの強度変動を用いた反響マッピングが試みられている (e.g., Liu et al. 2010; Ponti et al. 2012)。我々はこの手法をさらに発展させるため、Fe-K バンドで高い感度を誇る X 線天文衛星「すざく」で、2014 年 12 月 26 日から 2015 年 1 月 3 日までの 6 日間 (露光時間  $\sim$  280 ksec) 連続でモニタされた典型的な I 型セイファート NGC 4593 に着目した。「すざく」XIS のデータを 28 ksec ずつに時系列に分割し、それぞれの 2–10 keV の X 線スペクトルを、べき関数および中性 Fe-K $\alpha$  輝線を再現するガウシアンを含むモデルでフィットし、連続 X 線と Fe-K $\alpha$  機線の強度変化を独立に求めた。その結果、連続 X 線は  $\sim$ 3 倍の強度変動を示したのに対し、Fe-K $\alpha$  輝線は  $\sim$ 6 日間にわたりほぼ変動しないことを突き止めた。この Fe-K $\alpha$  輝線の変動性の乏しさを再現するため、中心点源からの連続 X 線が半径のべき乗の密度分布を持つ BLR ガスを照射する仮定の元で伝達関数を構築し、Fe-K $\alpha$  輝線のライトカーブのモデルを作成し、観測と比較した。本講演ではこれらの結果から Fe-K $\alpha$  放射源の大きさや密度分布を議論する。

[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](#)

## S08a 時間変動解析を用いた Radio loud 狭輝線セイファート I 型銀河 1H 0323+342 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 (AGN) ジェットの生成メカニズムには、巨大ブラックホール (SMBH) 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., Inoue et al. 2017)。我々は、SMBH 近傍における質量降着とジェットの関係を調べるため、降着流とジェットの信号が混在すると期待される AGN の X 線放射に着目した。これまで、代表的な広輝線電波銀河 3C 120 の「すざく」、XMM-Newton のアーカイブデータに、異なるバンドの時間変動の相関を利用する独自の手法 (Noda et al. 2011; 2013) を適用し、降着流とジェットからの成分と思われる光子指数  $\sim$  2.3 および  $\sim$  1.5 の独立に変動する連続 X 線を分離することに成功した (服部他 2020 年春季年会 S20a)。

次のサンプルとして我々は、3C 120 よりも質量降着率が高く、Radio-loud 狭輝線 I 型セイファートである 1H 0323+342 に着目した。この天体は 2018 年 8 月から 9 月にかけて、XMM-Newton および NuSTAR 衛星により同時観測が計 6 回行われている。そのアーカイブデータに対して、3C 120 と同様に時間変動解析を適用したところ、数 ksec の短いタイムスケールで変動する成分として、光子指数  $\sim$  2.5 から  $\sim$  1.9 に  $\sim$  2 keV を境に折れ曲がるべき関数で再現される連続 X 線が得られた。光子指数  $\sim$  1.9 の成分は降着流からの連続 X 線と考えられる。一方、数週間スケールでは変動が乏しい成分として、光子指数  $\sim$  2.5 の連続 X 線と中性 Fe-K $\alpha$  輝線を含む硬い連続成分が得られた。前者は Abdo et al. (2009) で報告されたジェットからの Synchrotron Self-Compton 成分の可能性がある。また後者は、BH 遠方の中性物質による反射成分と考えられ、時間変動を用いて初めて制限できた。本講演では、これらの結果を紹介し、各成分の起源をスペクトルと時間変動の特徴から議論したい。

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

## S09a ブレーザー 1ES 1959+650 の 2016 年 TeV フレアの多波長観測

高橋光成, 稲田知大, 岩村由樹, 齋藤隆之, 櫻井駿介, 野田浩司, Daniela Hadasch, 深見哲志 (東大宇宙線研), 手嶋政廣, Daniel Mazin (東大宇宙線研, Max-Planck-Institut für Physik), Wrijupan Bhattacharyya (DESY), 井上進 (理研), 柳田淳子, 辻本晋平, 西嶋恭司 (東海大学), 窪秀利, 野崎誠也, 増田周 (京都大学), 他 MAGIC Collaboration, 林田将明 (立教大学), 他 Fermi-LAT Collaboration

1ES 1959+650 は TeV 領域で明るい high-frequency-peaked BL Lac 天体の一つであり、単純な一領域シンクロトロン自己コンプトン (SSC) シナリオでは説明困難な特徴を示すことで知られている。本講演では、2016 年の MAGIC 望遠鏡による観測結果を、Fermi 大面積望遠鏡 (LAT) と Swift 衛星によるデータとともに報告する。長期間のデータでは X 線領域でフラックスとスペクトルの硬さに正の相関が見られ、TeV 領域でも同様の兆候があった。6 月 13 日および 14 日には 2002 年以降の観測で最高である 3 Crab Nebula 相当に達する TeV ガンマ線フラックスが観測された。この間、スペクトルエネルギー分布の高エネルギーピークは数 TeV にまで伸び、GeV ガンマ線と X 線でも冪指数 2 以下と硬いスペクトルが見られた。6 月 13 日には時間スケールが 1 時間以下という速い TeV フラックスの変動を見せている。これらはジェットの Doppler ファクターが  $\sim 30-60$  以上であれば単純な一領域 SSC モデルにより説明できる。別の可能性として相対論的陽子からのシンクロトロン放射があり、ジェットのパワー約  $10^{46}$  erg/s、磁場強度約 100 G、陽子の最高エネルギー数 EeV といったパラメータを必要とする。なお、今回と同様のフレアからのニュートリノ検出は現行の検出器では困難な事が理論モデルからは示唆される。

[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](#)

## S10a ALMA Polarization Monitoring of Extragalactic Radio Sources

Seiji Kamenno, Rüdiger Kneissl, Antonio Hales, Matias Radiszcz, Kurt Plarre, Celia Verdugo, Paulo Cortés, Edward Fomalont, Charles Hull (Joint ALMA Observatory), and ALMA CalSurvey team

ALMA (Atacama Large Millimeter/Submillimeter Array) has been monitoring full-Stokes flux densities of  $\sim 50$  extragalactic radio sources at 100, 230, and 340 GHz with a  $\sim 10$ -day cadence. The monitoring program mainly uses the Morita array to determine flux densities of the calibrators that are required for amplitude calibration in the ALMA science observations. In addition, the program delivers polarization properties that allows us (1) selection of an adequate polarization calibrator for a polarization observation, (2) quality assurance in polarization data reduction, and (3) astrophysical studies in active galactic nuclei. The calibrator set consists of blazars, flat-spectrum radio quasars, and radio galaxies whose polarization is ascribed to synchrotron emission from magnetized plasma in relativistic jets. Time variability of polarization degree, orientation, and Faraday rotation measure can be studied using the multi-frequency monitoring program. We will report the methodology of polarization reduction and the performance of the measurements.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

## S11a 電波銀河 M87 の軟～硬 X 線スペクトルの推移および中心コアと HST-1 の光度変動

今澤 遼, 深澤 泰司 (広島大学)

M87 は我々から比較的近傍 (~17 Mpc) に位置している電波銀河である。中心コアの他に HST-1 と呼ばれる領域が電波から X 線で観測され、この領域での強い衝撃波が示唆されている。この天体からは過去数回 TeV ガンマ線が検出されているが、その具体的な放射領域や放射機構については議論の最中である。2010 年に TeV ガンマ線でのフレアが検出されて以来、近年は静穏期にある。

本研究では Chandra 衛星および NuStar 衛星により取得されたデータを用いて、軟 X 線～硬 X 線の解析を行った。先行研究でも言及されていた通り、2002 年以降しばらくは中心コアより HST-1 の方が明るい時期が続いていたが、徐々に HST-1 が減光しており、2006 年には HST-1 とコアの光度の関係は逆転していることが確認された。本研究で解析した 2019 年時点でもコアのほうが明るい傾向にあることが示唆された。また NuStar による 2017 年～2019 年のデータからは、明るい時にスペクトルがハードで、暗い時にソフトとなる、Harder when brighter な傾向が示唆される結果となった。これらの結果を元に、M87 の X 線放射について考察する。

[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](#)

## S12a 電波銀河のガンマ線背景放射への寄与

深澤泰司, 眞武寛人 (広島大学)

フェルミ衛星による第 4 ガンマ線天体カタログ (4FGL) が公開され、その中には 50 を超える電波銀河 (misaligned AGN) が含まれていた。電波銀河は、フェルミ衛星によってブレイザーについて明るい系外天体であることが確立されたが、検出数の増加によって統計的な研究が可能となった。我々は、昨年度の年会で、X 線による系統的な解析結果を示したが、本講演ではガンマ線光変関数の導出を行った。 $z > 0.2$  以上の天体はあまり検出されていないため、BL Lac 天体のガンマ線光変関数のパラメータを参考にしながら Luminosity-Dependent Density Evolution model を用いて導出した。ガンマ線 photon index がおおきくばらつくため、photon index の分布もモデルに入れて、MCMC 法で求めた。そして、ガンマ線背景放射への寄与を計算した。その結果、10GeV 以下で 10% 以下であることがわかった。ただし、数 10GeV 以上では FSRQ に比べて寄与が大きくなる可能性があることがわかった。これは、ハードなガンマ線スペクトルを持つ電波銀河がそれなりに含まれるためである。また、X 線のデータと合わせて、逆コンプトン散乱のピーク位置を推定した結果、光度の大きい天体ほどピークエネルギーが低くなるという傾向が見られた。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

## T01a XMM 衛星データを用いた MCXCJ0157.4-0550 の 2 次元温度密度構造の解析 3

楊冲, 岡部信広, 深沢泰司, Poon Helen (広大理)

銀河団は質量が  $10^{14} \sim 10^{15}$  太陽質量にも達する、自己重力で束縛された系の中で宇宙最大の天体であり、銀河団の観測的性質から、宇宙論パラメーターを制限することができる。宇宙の大規模構造の進化を理解するためには、銀河団の衝突や合体を考察する必要がある。銀河団衝突を統一的に理解するためには、銀河、銀河団ガス、暗黒物質を直接観測する可視光、X 線、弱い重力レンズ効果によるデータを組み合わせる多波長研究が必要不可欠である。我々は、衝突銀河団の解明を目指し、XMM-Newton 衛星の X 線データと、すばる望遠鏡 HSC による銀河測光データと弱い重力レンズデータを組み合わせた多波長研究を現在遂行している。衝突銀河団 MCXCJ0157.4-0550 の利点は HSC-SSP サーベイおよび XMM-Newton のデータが両方あり、X 線、銀河、重力レンズの情報が使えることである。MCXCJ0157.4-0550 は赤方偏移 0.1289 で、西の方はメイン銀河団で、北の方は銀河群である。中心部に動圧を受けている構造が見られる。特に密度分布では勾玉状の構造があることが目で確認された。これは落ちてきているガス構造がモーメントムを持っていることを意味している。我々は、X 線のハードネス比は温度のみに依存することを利用して、温度マップを作成、密度マップと掛け合わせることで圧力マップを作成した。その後、contour binning アルゴリズムを利用し、衝突銀河団の各領域を分割した。各領域のスペクトルをフィットして、温度マップを作成し、以前の年会で報告した。今回は銀河群と銀河団の間の表面輝度分布を調査し、段差があるかどうかを調査した。そして、平均表面輝度分布と銀河群表面輝度分布を差し引いて、サブ構造を調べ、銀河群の速度を求めた。本講演では、衝突銀河団 MCXCJ0157.4-0550 の表面輝度分布を議論することにより、この衝突銀河団の状態について考察する。

[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](#)

## T02a HSC-SSP サーベイ領域 Weak Lensing 銀河団の X 線フォローアップ計画 (6)

作田皓基, 志村拓馬, 三石郁之 (名古屋大), 浜名崇, 宮崎聡 (国立天文台), 大栗真宗 (東京大), 太田直美 (奈良女子大/AiFA ボン大学), 岡部信広 (広島大), 赤松弘規 (SRON), 上田周太朗 (ASIAA), 田中桂悟 (金沢大学), 他 HSC 銀河団コラボレーション

すばる望遠鏡 HSC を用いた戦略的観測プログラム (HSC-SSP) による  $\sim 160$  平方度領域をカバーした弱い重力レンズ (Weak Lensing: WL) 観測により、 $10^{14}h^{-1}M_{\odot} < M_{500} < 10^{15}h^{-1}M_{\odot}$  の幅広い質量レンジで 65 もの WL 同定銀河団が検出された (Miyazaki et al., PASJ, 2018)。我々はこのサンプルを用いて銀河団スケール則などを調べることを目的に、X 線アーカイブデータを用いて系統的な解析を行い、WL 同定銀河団は規則型を多く含む X 線同定銀河団と比較し系統的にガス構造が乱れていることを明らかにした (吉田, 三石他 日本天文学会 2017・2018 年秋季, 2019 年春・秋季年会)。次に我々は本研究を発展・展開するため、検出アルゴリズムを改善し、より大きな 124 もの WL 同定銀河団候補を含む新たなカタログを作成した (Hamana et al., PASJ, submitted)。

まず我々は、新カタログに対し X 線対応天体調査を実施した。結果、アーカイブに含まれている 28/36 に対し対応 X 線源が存在し、広がりが見出されたものは 21 天体あることを示した。またその中で、過去の WL・X 線同定銀河団カタログ (Miyazaki et al., PASJ, 2018, Adami et al., A&A, 2018) に載っておらず、かつ有意にその広がりが見出された 6 サンプルに着目しイメージ解析を試みたところ、緩和銀河団が示す球対称形状をとっているものが 1 天体と少なく、多くは楕円形状やフラットな輝度分布、複数のクランプ構造などが見られた。また、質量分布と X 線輝度のピーク間距離が最大のもので 300 kpc を超えるものも存在した。本講演では、銀河分布と質量分布、さらには詳細な X 線分光解析結果とをあわせ、WL 同定銀河団のスケール則について議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

## T03a 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 (2)

田中桂悟, 藤本龍一 (金沢大学), 岡部信広 (広島大学), 三石郁之, 志村拓馬, 作田皓基 (名古屋大学), 赤松弘規 (SRON), 太田直美, 美里らな (奈良女子大学), 他 HSC 銀河団コラボレーション

銀河団は複数の銀河群が衝突, 合体を繰り返して形成されてきたと考えられており, 衝突の際生じるエネルギーは銀河団ガスに衝撃波や乱流を引き起こし, 銀河団の力学進化に大きな影響を及ぼす. そのため, 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. 一方で, メンバー銀河の密度ピークから選択した衝突銀河団のサンプルは, 衝突段階によるバイアスを受けない (Okabe et al, 2019, PASJ, 71,79). CAMIRA W535 はこの手法をすばる望遠鏡 HSC-SSP の可視光データに用いて発見された  $z \sim 0.2$  の衝突銀河団であり,  $\sim 700$  kpc 離れた位置に同等のメンバー銀河数を持つ 2 つの銀河群で構成される. このような比較的離れた位置に銀河群が存在する衝突銀河団の X 線での観測例は乏しい. 我々はこの天体に対し初めて XMM-Newton 衛星の X 線データを用いたイメージ・スペクトル解析を行い, 銀河団中心から  $\sim 700$  kpc 北西に表面輝度の不連続が存在し, 内側  $\sim 1.5$  keV, 外側  $\sim 3$  keV の温度不連続が生じていることが明らかとなった. 本講演ではこの衝突銀河団の詳細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](#)

## T04a BARYON BUDGET IN THE XXL CLUSTERS II

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の天体であり、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。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 では南北合わせて約 50 平方度の広範囲、0.5-2 keV バンドで  $6 \times 10^{-15}$  erg cm<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> 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 銀河団カタログを用いて恒星質量を推定した。そして HSC で得られた WL 質量 (Umetsu et al. 2019)、恒星質量と XXL Survey によるガス質量からバリオン質量を求めた。また観測量と銀河団質量の関係を推定するコードを開発した。このコードは (i) 観測量のしきい値によって生じるサンプルの偏りを考慮に入れ、より正確な推定を可能にしている、(ii) 母集団の分布に柔軟に対応することができ、観測エラーに起因する傾きの過小評価を回避できる、などの特色がある。本発表では、このコードを用いて得られたバリオン成分と銀河団質量との関係について報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

## T05a Active gas features in three HSC-SSP CAMIRA clusters revealed by high angular resolution analysis of MUSTANG-2 SZE and XXL X-ray observations

岡部 信広 (広島大学)、Simon Dicker (University of Pennsylvania), Dominique Eckert (University of Geneva) and the HSC-GBT-XXL collaboration

我々は、HSC-SSP で発見された 3 つの CAMIRA 銀河団に対してグリーンバンク望遠鏡 MUSTANG-2 の高角度分解能 SZ 効果イメージと XXL サーベイによる X 線イメージのジョイント解析を行った。ジョイント解析ではガスの密度と温度分布のパラメータとその中心の位置をフリーパラメータとしたベイジアンフォワードモデリングを行った。これにより、スロッシングや 20keV 以上の高温成分など様々な新しい知見を発見した。加えて、HSC-SSP の光学測光データ、弱い重力レンズ質量、XXL の GMRT の電波放射データなどの多波長データを組み合わせた研究を行った。ガスの銀河団衝突ブーストの議論、フェルミ 1 次粒子加速効率の議論、数値シミュレーションとの比較を行った。

技術革新による高角度分解能 SZ 効果と X 線のジョイント解析は銀河団ガス研究への大きな変革をもたらす。1) 複数の温度構造を持つガスの研究が可能になる。2) X 線スペクトラム解析で行われていたように手で領域を決める必要がなく、ガスの物理パラメータや空間分布を同時に決定することができる。3) X 線の温度分布の角度分解能はせいぜい数平方分であったがジョイント SZ+X 線解析では 0.05 平方分程度になる。4) X 線観測では発見することが困難であった 20 keV 以上の温度構造を発見することができる。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

## T06a X 線天文衛星 XMM-Newton を用いた Abell2147 銀河団の力学的進化の解明

清水里紗、佐藤浩介 (埼玉大)、岡部信広 (広島大)、松下恭子 (東京理科大)、太田直美 (奈良女子大)、田村隆幸 (ISAS/JAXA)

銀河団に付随する高温ガス (ICM) の力学状態を調べるためには、X 線観測による温度/密度/エントロピー分布の測定が有用であるが、SZ 効果を用いた電波観測の圧力分布との比較も重要となる。また、X 線観測では球対称と静水圧平衡を仮定して銀河団質量を求めるものの、弱い重力レンズ効果 (WL) を用いると直接的に銀河団質量を測定することができる。よって銀河団の多波長観測は、それぞれの観測情報を補完するため、力学的進化を解明する上で非常に重要である。我々は、近傍銀河団 Abell 2147 ( $z=0.0353$ ) について、XMM/Chandra 衛星による X 線観測、すばる HSC データを用いた WL 解析、Planck 衛星で観測された SZ 効果を組み合わせて、高温ガスの力学状態を調査した。

X 線輝度中心から求めた方位角方向平均の温度と密度の半径分布から計算した銀河団質量 ( $M_{500}$ ) は、WL 観測から求めた質量 ( $2.4 \times 10^{14} [M_{\odot}/h_{70}]$ ) に比べて半分程度であった。X 線輝度分布は南西方向に比べて北西方向が明らかに高く、球対称及び静水圧平衡の仮定が成り立っていないことを示唆した。また、X 線から求めた方向別のエントロピー分布は、北東/北西方向で高く、SZ 観測で決めた y-map のピークの位置も X 線輝度から北方向に ~10 分程度ずれていることがわかった。WL の観測から Abell2147 の北側のフィラメント上にサブハローが確認でき、高温ガスの圧力とエントロピー分布は Abell 2147 がサブハローとの衝突段階にいることを示唆していると考えられる。本講演では、X 線観測による温度/密度/エントロピー分布と SZ の圧力分布の詳細な比較について報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

## T07a DisPerSE を用いた HSC-SSP サーベイ領域内の大規模構造の同定

山本涼一 (広島大学)、岡部信広 (広島大学)、西澤 淳 (名古屋大学)、宮武 広直 (名古屋大学)、田中賢幸 (国立天文台)

宇宙の大規模構造は数百 Mpc にわたって網目状に広がる構造である。宇宙初期に存在した小さなゆらぎが重力作用によって成長したもので、クラスターやフィラメント、ウォール、ボイドなどの特徴を持っている。大規模構造を同定することで、フィラメント領域の銀河の環境効果や WHIM の探査など、様々なフィラメントの物理量の測定が可能になる。

本研究では HSC-SSP で得られた S18A photo-z 銀河サンプルをトレーサーとして用いて大規模構造の同定を行った。すばる望遠鏡で行われている HSC-SSP は、世界最大の銀河測光サーベイであり、 $z \sim 1$  まで S18A で約 460 平方度の広範囲にわたって観測が行われている。これにより、かつてない深宇宙での構造形成の調査を行うことが可能である。特徴を抽出するアルゴリズムとして、離散分布をトポロジカルに扱える DisPerSE (T.Sousbie 2017) を用いてフィラメントの有意性を評価した。銀河測光的赤方偏移カタログから赤方偏移スライスでの二次元銀河分布からフィラメントカタログを作成した。このカタログを使って X 線、SZ、WL などの多波長でフィラメントの調査を行うことを予定している。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

## T08a すばる望遠鏡で見つかった青い銀河団の X 線ガスの性質

美里らな、太田直美 (奈良女子大学)、鳥羽儀樹 (京都大学)、児玉忠恭、山本直明 (東北大学)、岡部信広 (広島大学)、三石郁之 (名古屋大学)、他 HSC 銀河団コラボレーション

過去の観測から、赤方偏移が高いほど銀河団に含まれるブルーフラクシオン (青い銀河の割合) が高い、ブッチャーエムラー効果 (Butcher & Oemler 1984) が知られている。また、近傍の銀河群ではメンバー銀河に含まれるブルーフラクシオンが大きいほど X 線光度が低い、あるいはほとんど X 線放射を持たないことが知られている (Mulchaey 2003; Ota et al. 2004)。このような反相関が存在する理由は、より小さな質量をもつ系ではガス加熱におけるメンバー銀河の役割が相対的に大きくなるためではないかと予想されるが、詳細は分かっていない。また、遠方銀河団については詳しく調査されていないため、遠方にある青い銀河団のブルーフラクシオンと X 線光度の相関関係を調べるのが研究目的である。これは、銀河と高温ガスの共進化の解明につながる。

研究では、すばる望遠鏡の Hyper Suprime-Cam (HSC) を用いた銀河団探査である、Hybrid Search for Cluster with HSC (HSC-HSC) サーベイのカタログを参照し、 $z = 0.84$  にある 43 個の青い銀河団の X 線光度を XMM-Newton 衛星のアーカイブデータを解析し求めた。その結果、13 天体から銀河団放射が確認され、その X 線光度の重み付き平均は、 $L_X(0.5 - 2 \text{ keV}) = (6.8 \pm 0.7) \times 10^{42} \text{ [erg/s]}$  であった。X 線光度は上限値をとるため、ブルーフラクシオンと X 線光度に顕著な関係は見られなかった。さらに、可視銀河団カタログ (Oguri et al. 2018) と比較すると、青い銀河団の方が暗い傾向があることが分かった。また、7 天体には活動銀河核 (AGN) が存在し、SDSS のデータから見積もると、X 線光度における AGN の寄与が支配的であると考えられる。本講演では、青い銀河団の高温ガスの進化段階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](#)

## T09a 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), 上田周太郎 (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)

銀河団ガスの暴走的な放射冷却流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。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、暴走的な冷却流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り、最近の X 線やミリ波の観測からもガスが効率的に冷却していることが示唆されている (北山ら本学会講演)。一方で、X 線のキャビティが見つかっており、銀河団中心に AGN ジェットがある可能性が指摘されているが、その電波ジェット/ローブを詳細に解像した例はこれまでになかった。

今回、我々は、豪州の電波干渉計 ATCA の 18GHz 帯高感度観測 ( $1\sigma \sim 6 \mu\text{Jy}$ ) により、1 秒角を切る分解能でのフェニックス銀河団中心部の解像に初めて成功したので、その結果を報告する。観測の結果、AGN コア放射に加えて、中心部に分布する放射、南北に伸びる棒状の放射、そして棒状構造の先にある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、さらに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 前の極めて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](#)

## T10a 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), 上田周太郎 (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 ( $\sim 3 \text{ keV}$ ) 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](#)

## T11a 銀河団からの電磁波・ニュートリノ放射の一次元モデリング. II

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)

銀河団は、IceCube で観測されている高エネルギーニュートリノ背景放射の起源の候補の一つである。銀河団中には構造形成で生じた衝撃波や活動銀河核などの宇宙線源があると考えられており、銀河団内に蓄えられた非熱的陽子は陽子-陽子衝突を介してガンマ線やニュートリノの放射、および二次電子の生成を行う。銀河団と背景ニュートリノ放射の関係を明らかにするには、この非熱的陽子の量をできるだけ正確に見積もる必要がある。

銀河団中の非熱的成分の量を見積もるには、電波観測やガンマ線観測の結果が重要な手がかりとなる。前回の年会では Coma cluster に着目し、電波観測の結果を考慮して非熱的成分の一次元モデリングを行った。特に非熱的電子が全て陽子-陽子衝突による二次電子であると仮定し、ガンマ線やニュートリノの放射を計算した。その結果、電波とガンマ線の強度比を説明するには乱流再加速によるエネルギー注入が必要であることが確認され、さらに一次宇宙線の陽子が銀河団の辺縁部から注入されていることを示唆する結果を得た。

今回我々は、一次電子を考慮したモデルや幅広いパラメータの値について、より詳細な計算を行った。講演では、Coma cluster から放射されるニュートリノのフラックスに対し最も楽観的なモデルと最も悲観的なモデルを提示する。また電波放射領域 (電波ハロー) を持つ銀河団と持たない銀河団の二つの種族について、それぞれから期待されるニュートリノフラックスを議論する。以上の結果を基に全天の銀河団からの背景ニュートリノ放射を概算し、IceCube の観測結果と比較した結果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](#)

## U01a 重力波観測で測る宇宙の曲率

永野陽菜子, 端山和大 (福岡大学)

現在、宇宙の開闢・終焉について多くの宇宙モデルが考えられており、モデルに応じて多様な宇宙の曲率を予言する。しかし、宇宙の曲率が正・負・0のうちどれをとるかは観測でしか明らかにすることができない。そのため、観測を通して宇宙の曲率を測定していくことが重要である。これまで宇宙の曲率を測定する方法としてCMBの観測が用いられていた。CMB観測によって、宇宙開闢から38万年経った晴れ上がり時の宇宙の大きさを求め、その両端と地球との見込む角度を平坦宇宙モデルと比較することで曲率を測定した。その結果、平坦宇宙が示唆されているが、CMBとは独立した観測で曲率を測定することが求められている。そこで本研究では、地球と重力波源を用いて三角形を構成し、その内角の和を測定することで曲率を求める方法を提案した。本講演では現在までの重力波観測で検出されたGW151012とGW170818を用いた曲率を平坦宇宙モデルと比較し、その結果を報告する。

[スケジュール\(セッション毎\)に戻る](#)

[スケジュール\(全体\)に戻る](#)

[講演者索引 TOPに戻る](#)

## U02a ビッグバンから宇宙の晴れ上がりまでの連続性を考慮したパラメータ制限

山崎大 (茨城大学, 国立天文台), 日下部元彦 (北京航空航天大学), 梶野敏貴 (国立天文台, 北京航空航天大学)

マイクロなビッグバン元素合成においてリチウム7( ${}^7\text{Li}$ )の観測推定値が理論予想値の1/3程度しかない問題や、マクロな宇宙論から推定したニュートリノ有効種族数がビッグバン元素合成の標準値と乖離している問題は、マイクロとマクロの分野で別々に取り組んだままでは解決しきれない。しかし、マイクロとマクロの宇宙に関する分野を同時に取り入れて研究を進めることで解決できる可能性がある。

この背景のもと、ビッグバン元素合成から宇宙の晴れ上がりまでの物理学的な連続性を確保した理論計算を導入した、観測推定値と理論予想値を比較してパラメータ制限できるコードの開発を進めている。

今回は、この分野横断的な宇宙論パラメータの制限の有効性を検証するために、当手法において制限したニュートリノの有効種族数やリチウム7に関する物理学的整合性を議論する。

[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](#)

## U03a 宇宙マイクロ波背景放射観測実験「POLARBEAR」による B モード偏光観測結果の総括

茅根裕司, 片山伸彦 (Kavli IPMU), 日下暁人 (東京大学), 高倉理 (Kavli IPMU), 田島治 (京都大学), 西野玄記 (東京大学), 羽澄昌史 (KEK 素核研), 長谷川雅也 (KEK 素核研), 松田フレドリック (Kavli IPMU), ほか POLARBEAR Collaboration

POLARBEAR は宇宙開闢の直後に起こった指数関数的宇宙膨張であるインフレーションの検証と、暗黒成分の一部を占めるニュートリノの総質量を重力レンズ効果を通じて測定することを目指した地上実験である。この目的のために我々はチリ・アタカマ砂漠の標高 5200m において、宇宙マイクロ波背景放射 (CMB) の B モード偏光の観測を行ってきた。2012 年から 2014 年までは小さい天域を観測する重力レンズ起源 B モード偏光サーベイ、それ以降は、広い天域を観測することで、インフレーションの証拠となる原始重力波起源 B モード偏光の観測を目指したサーベイを実施してきた。本講演では我々が既に進捗を報告してきた重力レンズ起源 B モード偏光自己相関検出、すばる望遠鏡 Hyper-Suprime Cam との相互相関検出などを総括すると共に、最新の結果、原始重力波起源 B モード偏光の上限測定、高解像度・高 S/N での E モード偏光の検出、レンジングポテンシャルの検出、delensing の実現等、最新科学解析結果について報告する。また、POLARBEAR を進化させた実験「Simons Array」の現状についても簡単に報告する。

[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](#)

## U04a 次世代宇宙背景放射観測実験 Simons Observatory の開発状況

仲村佳悟, 他 SO コラボレーション

Simons Observatory は主鏡約 6m の Large Aperture Telescope と口径 42cm の small aperture telescope 3 台からなる宇宙背景放射偏光観測実験である。2つのタイプの望遠鏡で 27-270GHz の範囲で  $\mathcal{O}(1')$  から  $\mathcal{O}(1^\circ)$  スケールまで観測を行うことでインフレーション由来の原始重力波の観測や、ニュートリノ質量和の測定などを目指している。日本グループでは Small aperture telescope の光学筒および偏光変調器と Large aperture telescope の校正用熱源である stimulator の開発を主導している。本公演では Simons Observatory の現状および日本グループが担当している機器の開発状況について報告する。特に筆者が注力している stimulator を重点的に報告を行う。stimulator は熱源と光学チョッパーからなる変調した黒体放射を生成する装置で、レーザーである Transition Edge Sensor (TES) のゲインや時定数を校正する。ゲインや時定数の安定性は観測データの品質に直結するため、精度の良い校正が求められている。また時定数はビーム形状にも影響を与えるため物理解析での系統誤差となりうる。本公演ではこの時定数の決定性精度や解析へのインパクトなども踏まえながら報告を行う。

[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](#)

## U05a 熱的スニアエフ・ゼルドビッチ効果と CMB の光学的厚みの非等方性との相互相関を用いた宇宙再電離の探査

並河俊弥 (ケンブリッジ大学)

宇宙再電離期の詳細は未だ謎に包まれている。クエーサーの吸収線や 21cm 水素輝線、宇宙マイクロ波背景放射 (CMB) の非等方揺らぎなどこれまでの観測から宇宙再電離の時期はある程度絞られているが、再電離の開始時期や継続時間、空間的非一様性などの詳細な検証は今後の観測の進展に委ねられている。

そこで我々は、再電離の非一様性の新たな検証手段として、熱的スニアエフ・ゼルドビッチ効果と CMB 光子の光学的厚みの相互相関角度パワースペクトルを提案する。宇宙再電離期の電子によって CMB 光子は逆コンプトン効果により散乱され、観測される熱的スニアエフ・ゼルドビッチ効果の一部にその影響が含まれる。また、CMB 光子の光学的厚みは再電離期の電子密度をトレースし、測定された光学的厚みの非等方性に再電離期の電子密度揺らぎの情報が含まれる。従って、熱的スニアエフ・ゼルドビッチ効果と光学的厚みの相互相関を観測することで再電離期の非一様な電子密度場の情報を引き出せる。

本講演では、熱的スニアエフ・ゼルドビッチ効果と光学的厚みの相互相関パワースペクトルの定式化、および Planck の DR2 を用いた解析結果について報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

## U06a CMB シャドウ: 宇宙マイクロ波背景放射偏光・温度異方性への星間減光の効果

梨本真志, 服部誠 (東北大学), 茅根裕司 (東京大学/Kavli IPMU)

銀河系の星間物質は、宇宙マイクロ波背景放射 (CMB) の温度異方性や偏光の観測に対して大きな障害となる。ダストやイオンガス、相対論的電子といった星間物質からの放射と CMB を精度よく分離するための研究は長らく行われてきた。一方、これらの星間物質によって CMB 光子が吸収され、CMB が減光を受ける効果についてはこれまで研究がなされてこなかった。本研究では、CMB 単極子成分が星間物質によって吸収される効果を CMB シャドウと名付け、CMB シャドウによる CMB と前景放射の成分分離精度の低下を評価した。それぞれの星間物質に由来する吸収係数を算出し、CMB 平均温度を引数とする Planck 関数と掛け合わせることで CMB シャドウの振幅を推定することができる。ダストに起因した CMB シャドウによって引き起こされる温度異方性の振幅はおおよそ  $1 \mu\text{K}$  になり得ることがわかった。この値は次世代 CMB 実験で CMB の非ガウス性を検証するために必要なノイズレベルに匹敵する。また、ダストによる CMB シャドウが生じる偏光の振幅は、原始重力波起源の CMB 偏光 B モードの rms と同等以上の大きさになる可能性がある。本講演では、これまで考慮されてこなかった CMB シャドウの寄与を CMB 解析に取り入れることで期待される宇宙論検証への影響について議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

## U07a CMB レンズ解析における観測誤差の伝搬 II

永田竜 (宇宙航空研究開発機構), 並河俊弥 (ケンブリッジ大学)

宇宙初期の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像の理解に大きな進展があると期待されている。マイクロ波背景輻射 (CMB) 偏光の奇パリティパターンから原始重力波由来の成分を抽出する取り組みは、その嚆矢となるべく大きな注目を集めている。

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、これまでの成果を概観したうえで、新たに指向誤差に関する検討結果を紹介する。重力レンズ効果と見分けのつかない系統誤差である検出器の指向誤差が重力レンズポテンシャルの推定や delensing 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](#)

## U08a 重力レンズクエーサーによる小スケール密度ゆらぎの測定

井上 開輝 (近畿大), 峰崎 岳夫 (東京大), 松下 聡樹 (ASIAA), 中西 康一郎 (国立天文台)

銀河より小さいスケール ( $<10$  kpc) における宇宙論的質量密度揺らぎの性質は未だよく分かっていない。そのようなスケールにおける弱い重力レンズ効果を観測的に調べるのは極めて困難であるためである。しかし、光源が強い重力レンズ効果を受けていれば、視線方向の小スケール密度揺らぎによる弱い重力レンズ効果が著しく強められるため、弱い重力レンズ効果を観測的に検出することが容易になる。我々は、ALMA で強い重力レンズ効果を受けたクエーサー MGJ0414+0534 ( $z=2.639$ ) のサブミリ波連続波成分を観測し、広がったレンズ像の位置の相対的シフトから、視線方向の質量密度揺らぎによる重力レンズ効果をフーリエ空間で直接評価することに成功した。レンズ効果の摂動は従来、特異等温楕円体など単純なモデルを仮定して計算される場合が多かったが、今回はハローに加えポイドやフィラメントなど複雑な揺らぎを考慮できるよう、重力ポテンシャルの摂動をフーリエモード関数の重ね合わせで表し、観測画像から特定の波長のモード関数の振幅を求められるような新しいアルゴリズムを使用した。モデルフィットの際、中間赤外線データ (Subaru) におけるレンズ像のフラックス比や、光赤外線データ (HST) におけるレンズ像の位置の結果に矛盾しないような拘束条件を課した。その結果、 $1.2\sim 1.8$  秒角スケールにおける収束の rms 値は  $0.003\sim 0.01$ , レンズ像のシフトの rms は  $2\sim 4$  mas であることが判明した。さらに本発表では、CDM モデルの妥当性と得られたベストフィットモデルによって判明した小スケール密度揺らぎの空間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](#)

U09a 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「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。この原理を用い発電機を作る。

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、陽子の本体です。地表の陽子のラブは、次のようです。陽子のラブのエネルギーは  $1.503 \times 10^{-10}$ J。質量は  $1.670 \times 10^{-27}$ kg。大きさは  $8.204 \times 10^{-32}$ m。体積は  $2.890 \times 10^{-94}$ m<sup>3</sup>。比重は  $5.779 \times 10^{63}$ 。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のエネルギー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。それであるから、陽子の中には、陽子のラブと電磁気が存在する。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。そのことを検証するために「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。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種類のクォークもある。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+  $1.486 \times 10^{-10}$ Jの電磁気の束)として残る。この(陽子のラブ+  $1.486 \times 10^{-10}$ Jの電磁気の束)は再び(陽子のラブ+  $1.503 \times 10^{-10}$ Jの電磁気の束)と成り、陽子になる。この原理を利用し、発電機を作る。発電機については、特願 2020 - 081612 に記す。

[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](#)

U10a 宇宙の姿と物質構造を考える

藤原ケイ

筆者は ”133P (エルストピサロ彗星) と木星が外合のとき 太陽黒点発生は極大になり、内合のとき極小となる” という興味ある関係に気付きその背景等について検討してきた。この関係が確実なものであると証明することは困難であるが、太陽系の外縁から太陽に向かう「向太陽循環水流」等を仮定すると 合理的に理解することが出来る、との考えに至っている。

すなわち ”太陽風によって放散された原子類が 途中または太陽系外縁で分子化し、主に可溶性ガスを溶かし込んだ H<sub>2</sub>O となって 太陽に還流する流れが恒常的に存在” し これが太陽の黒点を発生させていると考える。太陽から出た物質が太陽に戻ってくる!

太陽系内の物質系は閉じている?!

このイメージを進めると 太陽系内の物質は太陽が起源かもしれない! となるだろう。

-

[3つの視点]

1. 太陽黒点検討のきっかけとなった ”黒点発生は外部起因かもしれない”、
  2. 黒点検討での結論の ”太陽系内物質系は閉じている”、
  3. 筆者の独自研究からの ”光子は自らを燃料として自力走行している”、
- を足掛りにして 宇宙の姿および物質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](#)

## U11a 超長波長密度ゆらぎによる潮汐場を考慮した宇宙論的 $N$ 体シミュレーション

正木彰伍 (鈴鹿工業高等専門学校), 西道啓博 (京都大学基礎物理学研究所), 高田昌広 (東京大学カブリ数物連携宇宙研究機構)

すばる望遠鏡 Hyper Suprime-Cam サーベイをはじめとする大規模銀河サーベイによって得られる観測データは、暗黒物質や暗黒エネルギーといった謎を解明するうえで鍵となる情報をもたらすと期待される。観測データを十分に活用するためには、物質分布の精緻なモデル化が必須である。近年、サーベイ領域を超える長い波長の密度ゆらぎが注目されている。この超長波長密度ゆらぎは直接観測することはできないが、モード結合によってより短い波長の密度ゆらぎに影響を与える。本発表では、超長波長密度ゆらぎが引き起こす潮汐場が、物質分布に与える影響に着目する。

非線形な進化を含めた物質分布のモデル化には、宇宙論的  $N$  体シミュレーションが有効である。しかし、一般的に周期境界条件を課すため、シミュレーションボックス長を超える波長の密度ゆらぎを取り入れることができない。そこで我々は、潮汐場が大規模構造形成に与える影響を明らかにするために、潮汐場によって宇宙膨張が局所的に非等方になることを考慮した宇宙論的  $N$  体シミュレーションのコードを開発した。シミュレーションを行い、物質のパワースペクトルへの潮汐場の影響を記述する応答関数を計測した。本発表では、シミュレーションコードの実装およびテスト、応答関数の時間進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](#)

## U12a 宇宙大規模構造のアンチエイジング II: 密度場再構築後のパワースペクトルの共分散

日影千秋 (Kavli IPMU), 高橋龍一 (弘前大学), 小山和哉 (ポーツマス大学)

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探るうえで重要な観測量である。しかし構造成形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、摂動論に基づく精密な理論モデルの構築が困難になる。さらに非線形スケールに行くほどパワースペクトルなどの 2 点の統計量の持つ情報量の割合が減り、より多点の統計量に情報が流出するため解析の仕方が複雑になる。

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形を巻き戻す操作を施すことで、BAO のシグナルが大きく改善するとともに、線形成長したゆらぎを近似的に再構築することができる (Eisenstein et al. 2007)。再構築した密度場を標準摂動論に基づいて調べた結果、確かにゆらぎの非線形成分が小さくなり、摂動論の適用範囲がより小スケールまで拡張することを前回の講演で紹介した。

今回は密度場再構築後の質量密度ゆらぎのパワースペクトルのエラー (共分散) について  $N$  体シミュレーションと摂動論の両面から調べた結果を報告する。再構築することで重力的な非線形性によって生じる共分散行列の非対角成分が小さくなりパワースペクトルの信号雑音比 (S/N) が向上することが分かった。また赤方偏移空間のパワースペクトルから推定した構造成長率のエラーが改善することも分かったので、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](#)

## U13a Modeling the statistics of cosmological dispersion measure with the IllustrisTNG simulations

高橋龍一 (弘前大), 井岡邦仁 (京大), 森明日香 (弘前大), 船橋光貴 (弘前大)

高速電波バースト (FRB:Fast Radio Burst) は電波で輝く突発天体 (継続時間ミリ秒) である。2007 年に最初の事例が報告され (Lorimer et al. 2007)、現在までに約 110 例のイベントが報告されている (<http://frbcat.org>)。複数の FRBs では母銀河も特定されており、銀河系外から来ていることも確認されている。多波長で信号の到着時間のずれを測定することにより、DM(Dispersion Measure; 自由電子の柱密度に対応) を直接測ることができる。現在の宇宙では 8 割以上のバリオン物質はイオン化したガスとして分布しており、DM からバリオンの存在量や空間分布を直接知ることができる (e.g., Macquart et al. 2020)。

観測される DM には主に、銀河系と母銀河、銀河間に存在する自由電子が寄与する。このうち宇宙論的距離離れた FRB では銀河間の寄与が支配的になる。本研究では最新の銀河形成シミュレーション IllustrisTNG (Nelson+2019) を用いて、宇宙論的な DM の統計的性質を調べた。具体的には、まず自由電子の空間分布のパワースペクトルを測定し、モデル化を行った。次に宇宙空間を伝わる電波の数値シミュレーションを行い、DM の平均と分散、角度相関関数を測定した。これらの統計量が自由電子の理論モデルから予想されるものと (約 20% 以内で) 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](#)

## V101a 200 GHz 帯/300 GHz 帯分離 導波管フィルタを用いた SIS 受信機の開発

増井翔, 南大晴, 横山航希, 大川将勢, 山崎康正, 上田翔汰, 長谷川豊, 藤田真司, 西村淳, 大西利和, 小川英夫 (大阪府立大学), 小嶋崇文, 上水と典, 金子慶子, 坂井了, Alvaro Gonzalez(NAOJ)

我々はこれまで、国立天文台 野辺山宇宙電波観測所に設置された口径 1.85 m 電波望遠鏡を開発・運用し、230 GHz 帯 CO 同位体 3 輝線の観測を進めてきた。そして現在、これまで観測してきた 230 GHz 帯 CO に、さらに高励起線である 345 GHz 帯 CO を加えた同位体 6 輝線の広帯域同時観測を目標とし開発を進めている。

広帯域観測のための受信機システムとして、200 GHz 帯/300 GHz 帯分離 導波管フィルタ (増井他 2019 年秋季年会) と、CO 輝線観測に焦点を当てた 2 種類の導波管フィルタを組み合わせた、4 帯域フィルタを開発中である。さらに、210-375 GHz 帯コルゲートホーン (山崎他 2020 年春季年会) や、広帯域 IF 出力を持った SIS-Mixer (Kojima et al. 2017) などを使用し、ミリ波サブミリ波帯において世界初の広帯域観測の実現を目指している。現在は上記の 4 帯域フィルタを使用する前段階として、200 GHz 帯/300 GHz 帯分離 導波管フィルタとそれぞれの周波数帯域に異なる SIS-Mixer を接続した DSB 受信機を立ち上げている。このような系にて、(1) 導波管フィルタの挿入損失による雑音温度上昇、(2) 200 GHz 帯 LO 電力が 300 GHz 帯へ、または、その逆方向へのクロストークの影響、(3) 300 GHz 帯 LO 信号に付随するスプリアスや雑音温度が広帯域 IF に与える影響、などを調査している。一方で、上記の CO に特化した導波管フィルタの製作が既に完了しており、現在 4 帯域フィルタとしての性能測定を進めている。

本講演では、上記の雑音温度や 4 帯域フィルタの測定結果を示し、さらに広帯域受信機で生じる問題とその低減方法について報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

## V102a 広帯域 IF(4–21GHz) 出力を持つ SIS 受信機に付加される LO 系起因の過剰雑音

横山航希, 大川将勢, 南大晴, 山崎康正, 増井翔, 上田翔汰, 長谷川豊, 西村淳, 大西利和, 小川英夫 (大阪府立大学), 小嶋崇文, 上水と典 (NAOJ)

我々は野辺山観測所に設置されている口径 1.85m 電波望遠鏡を用いて、230GHz 帯で CO 同位体 3 輝線を観測し、星形成過程を探ってきた。現在は、230/345GHz 帯の CO 同位体 6 輝線の同時観測へ向けた広帯域 RF + IF 受信機を開発を進めており、本実験でも広帯域 IF(4–21GHz) 出力の SIS Mixer (Kojima et al. 2017) を用いた。

LO 系では Gunn 発振器よりも信号発生器 (SG) と通倍器を用いたものが一般的であり、我々もこの通倍器系へのシフトを検討している。しかし、これらは Gunn 発振器と比べ、雑音温度を上昇させることが知られている (Fujii et al. 2017, e.g. Bryerton et al. 2008)。これが IF 帯域 4–21GHz の SIS Mixer にどう影響するのかを調査し、次の結果を得た。(1) SG の種類や LO 周波数の違いは雑音温度へ影響を及ぼすが、IF 帯域の高周波側 (12–21GHz) では雑音温度への影響が少ないことを確認した。ただし、SG の次段に BPF (Band Pass Filter) を接続することで、アルマ望遠鏡で使用されている LO 系と同程度の雑音温度まで低減できるという結果を得た。(2) 上記で示した BPF において、帯域幅の異なるもの (帯域幅 4GHz と 50MHz) を接続し比較すると、この 2 つの帯域幅では、どちらも同程度の雑音温度まで低減できることを確認した。これは今後 LO 周波数を変更する際、BPF の帯域幅に制限されない可能性を示している。これらの原因に関して現在調査を進めている。(3) 4–21GHz の IF 帯域では、源振の周波数と同じ周波数のスプリアスが混入することを確認した。これは SG 後の 6 通倍器で発生する高調波が原因であると考察し、6 通倍器の次段に BPF (帯域幅 12GHz) を接続することで低減できるという結果を得た。本講演では、これらの BPF を用いた雑音温度及び、スプリアスの低減についての測定結果を報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

## V103a デジタル分光計 XFFTS への 2.5–5 GHz 入力 of 検討

南大晴, 増井翔, 松本健, 近藤滉, 横山航希, 山崎康正, 大川将勢, 上田翔汰, 長谷川豊, 藤田真司, 西村淳, 大西利和, 小川英夫 (大阪府立大学)

我々は国立天文台野辺山に設置している 1.85m 望遠鏡を開発・運用しており、南米チリのアタカマに移設し 210–375 GHz に存在する CO 同位体 6 輝線 ( $J = 2-1, 3-2$ ) を観測する計画を進めている。加えて IF 帯域が従来の 4–8 GHz からより広帯域な 4–21GHz を出力する SIS mixer (Kojima et al. 2017) を導入し広帯域観測を実現する受信機の開発を推進している。チリの移設予定地では 0–2.5 GHz にかけて多く携帯電波や WIFI 等が混雑しており、現在の分光計に入力している帯域 0–2 GHz に影響が出る可能性がある。これを避け、逆サイドバンドが混入しやすい 0 GHz 付近も避けるために、分光計帯域 0–2.5 GHz のエイリアシングを利用して 2.5–5 GHz を性能を損なわず分光可能か検討し、分光計まで導く 3–5 GHz の IF 回路の設計・評価を行っている。

我々はこれまで 0–2 GHz の信号を XFFTS 分光計に入力し運用してきたが、2.5–5 GHz の入力帯域においてこの分光計で性能に問題なく運用できるかを確認するために以下の実験を行った。(1) SG を用いた 0–20 GHz にわたる分光計への入力強度と出力強度の線形性調査、(2) 連続性の信号を用いた 0–5GHz までの線形性調査。(1) の実験では 0–6 GHz まで線形性を確認したが、3 GHz を境に 5 GHz まで徐々に強度の減衰が見られた。(2) の実験においては入力強度が  $-5$ – $-40$  dBm までの線形性を確認した。これらの結果から 3–5 GHz にかけての減衰を補正するために分光計へ入力する前のアナログ回路でイコライザーを用いて強度の平坦化を検討している。今後、XFFTS 分光計で 2.5–5 GHz 入力の性能が保証できれば、本望遠鏡への搭載も検討していく。本講演ではこれらの測定結果及び XFFTS の性能を比較・検討しその結果を報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

## V104a 導波管の周波数帯域限界に迫る 210–375 GHz 帯コルゲートホーン of 開発進捗

山崎康正, 大川将勢, 南大晴, 横山航希, 増井翔, 上田翔汰, 長谷川豊, 西村淳, 大西利和, 小川英夫 (大阪府立大学), 木村公洋 (ISAS/JAXA), Alvaro Gonzalez, 小嶋崇文, 金子慶子, 坂井了 (NAOJ)

近年、ミリ波・サブミリ波帯受信機開発においてフィードを広帯域化する研究が進められている (A. Gonzalez et al. 2017)。ALMA や 1.85m 望遠鏡のようなミリ波・サブミリ波望遠鏡で広く使用されるフィードは、溝の効果により軸対称な電界モードを合成することで軸対称なビームを放射するコルゲートホーンであり、それらの比帯域は通常 30–40% である。広帯域化を制限するのは、出力部である導波管である。導波管を伝搬する固有のモードはそれぞれカットオフ周波数を持ち、基本モードが単独で存在出来る周波数帯域は比帯域 60% 程度となるため、コルゲートホーンの帯域はそれに制限される。我々は導波管限界に近い 210–375 GHz 帯 (比帯域 56%) に渡って、ビームパターンが軸対称性を持ち、反射損失  $-25$  dB 以下、交差偏波損失  $-30$  dB 以下であることを目標に開発を進め、設計及び製作は完了した (山崎他 2020 春季年会)。

国立天文台 先端技術センター内の近傍界ビーム測定装置を用いてビームパターンを測定した結果、主偏波はシミュレーションとほとんど一致した。一方、交差偏波はシミュレーションと異なる分布結果となり最大強度は 10 dB 程度大きい値となった。交差偏波の測定で重要となるのがコンポーネントの偏波軸の傾きであるが、ホーンに接続する円角変換の偏波軸の傾きが約 3 deg のずれを持つことを確認した。主偏波の強度は交差偏波と比べて 30 dB ほど大きいため、そのずれにより主偏波の成分が交差偏波へ漏れ込むことでパターンが変化し強度が強くなっていると考えられる。それらを改善するため、円角変換を再製作しビームパターンを再測定する予定である。

本講演では測定結果と今後の展望について報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

## V105a 1.85m 電波望遠鏡に搭載する 210-375 GHz 帯光学系の開発

大川将勢, 山崎康正, 南大晴, 横山航希, 増井翔, 上田翔汰, 長谷川豊, 西村淳, 大西利和, 小川英夫 (大阪府大), 木村公洋 (ISAS/JAXA)

我々はこれまで、国立天文台野辺山宇宙電波観測所にある口径 1.85 m 電波望遠鏡を開発・運用し、230 GHz 帯 CO 同位体 3 輝線の観測を進めてきた。現在、さらに高励起線である 345 GHz 帯 CO を加えた同位体 6 輝線の広帯域同時観測を目指した光学系の開発を進めている。そのため、Frequency Independent Matching 理論を考慮して副鏡とフィードにおいてビームの形状を周波数に依存せず一定にし、210 – 375 GHz の帯域をカバーするフィードが必要である。フィードに採用した 210 – 375 GHz 帯 コルゲートホーン、上記帯域で最適化されたビーム伝送系設計は完了している。望遠鏡を含む全系でのシミュレーションで開口能率 0.7 以上の結果を得ている (山崎他 2019 年秋季年会)。

現在、上記光学素子の望遠鏡への搭載準備を進めている。シミュレーションにより従来の光学系の開口能率と同程度の 0.7 を目指した設置誤差の許容範囲を求めた。その結果、我々の観測目標である 230 及び 345 GHz 帯にて設置誤差を理想値から 1 mm 以下に抑えると十分性能を発揮できる。新光学系実現のため、楕円鏡 2 枚と平面鏡 1 枚を取り替え、許容誤差内設置のため精密なアライメントを行う。精度よく設置するため以下を予定している。(1) レーザーによる各光学素子 (楕円鏡・平面鏡) の傾き調整 (2) 半月黒体による受信機 (ホーン) の位置調整 (3) ナイフエッジ法による光学素子の位置調整 (4) 基準天体観測による副鏡 (ピント) 調整 (5) 基準天体観測によるアンテナパターン測定 (6) アンテナ能率測定 を行い、上記周波数で低損失かつ高効率な光学系実現を目指す。本公演では、上記アライメントの位置調整の結果やアンテナパターンなどについて報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

## V106a 1.85m 電波望遠鏡の新制御システムの開発：性能評価と試験観測

松本健, 川下紗奈, 小西亜侑, 中尾優花, 西本晋平, 米山翔, 近藤滉, 小西諒太郎, 上田翔汰, 西村淳, 長谷川豊, 藤田真司, 大西利和, 小川英夫 (大阪府立大学)

我々は、1.85 m 電波望遠鏡を国立天文台野辺山に設置し、受信機、光学系、制御システムなど様々な技術の実用化や CO ( $J = 2-1$ ) の広域観測を推進してきた。現在、さらに本望遠鏡を南米チリに移設することで、210-375 GHz 帯の広帯域受信機の実証試験ならびに CO ( $J = 2-1, 3-2$ ) の同時・広域観測を目指している。

移設に伴い新制御システムには、旧システムと同等の駆動性能をもつことに加え、(1) 海外で運用するための徹底的な監視と遠隔操作、(2) 観測の完全自動化、(3) 将来の新装置等に柔軟に対応できる拡張性、が求められる。自動化などの新規機能の実装に注力するために、ソフトウェアプラットフォームとして、装置群の分散処理通信を容易に構築できる ROS (Robot Operating System) を採用した。これまで ROS を使用した受信機・駆動の新制御システムの設計・実装が概ね完了し、駆動性能の確認を進めている (上田他 2020 年春季年会)。

2020 年春には、新システムでの望遠鏡性能評価、試験観測を引き続き実施した。太陽、木星、IRC+10216 を用いた電波ポインティング試験を行い、その結果から指向誤差  $20''$  を実現した。これは、旧システムと同等の駆動性能をもち、345 GHz 帯での分解能  $2'$  に比べて十分な精度である。試験観測では、230 GHz 帯での標準天体の PS 観測、Orion-KL の OTF 観測を実施した。得られたスペクトルデータの解析ツールも新たに作成し、旧システムでの観測結果と比較すると、観測誤差の範囲で一致することがわかった。今後は自動化などの新規機能の実装を進めていく予定である。本講演では、1.85 m 電波望遠鏡での性能評価および試験観測の結果を報告するとともに、新規機能の開発状況を紹介する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

## V107a FITSWebQL SE (Supercomputer Edition) の開発状況

ザパート クリストファー、白崎 裕治、大石 雅寿、水本 好彦、川崎 渉、小杉 城治、森田 英輔、吉野 彰、林 洋平

The authors present the latest developments around FITSWebQL: the software/service offered online by the Japanese Virtual Observatory (<https://jvo.nao.ac.jp/portal/top-page.do>) to users all over the world. The purpose of FITSWebQL is to enable users to preview in a web browser astronomical FITS data cubes, all without having to download the actual FITS files. The new version 5 is now being developed in response to the supported FITS files reaching sizes in excess of 1TB.

In order to preview smoothly terabyte-class data cubes, FITSWebQL has been undergoing a re-design from the ground up. On the client side (web browser) users can see instant improvements in the image manipulation area. All images are sent from the server in a High Dynamic Range OpenEXR compressed format as 32-bit floating point pixels, which enables instantaneous image manipulations (for example adjusting the black/white histogram levels) in a web browser without awaiting any further responses from the server. Server-side the underlying FITS data cubes are being aggressively compressed with ZFP (<https://github.com/LLNL/zfp>) to reduce the storage I/O bandwidth requirements (effectively trading storage speed for computing power). Apart from running on a multi-core single computing node, the new FITSWebQL SE (Supercomputer Edition) also supports a distributed execution across a supercomputing cluster. In a distributed mode the compressed data cubes are sub-divided into smaller chunks to be operated-on in parallel by cluster compute nodes.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

## V108a 北半球最高感度ミリ波サブミリ波ヘテロダイン受信システム LMT-FINER I. デジタルサイドバンド分離広帯域分光計ファームウェアの開発

田村陽一、萩本将都、谷口暁星、山本宏昭 (名古屋大)、川邊良平、鎌 剛、小嶋崇文 (国立天文台)、酒井剛 (電気通信大)、原田健一、谷口達、小関研介 (エレクトクス工業)、田中邦彦 (慶応大)、廿日出文洋、竹腰達哉、河野孝太郎、吉村勇紀 (東京大)、井上昭雄 (早稲田大)、橋本拓也 (筑波大)、他 FINER チーム

近年、遠赤外線輝線の ALMA 観測による宇宙再電離「前期」(赤方偏移  $z > 8$ ) の開拓が目覚ましい (橋本他 2018, 田村他 2019 等)。また、こうした科学的要求に応える広帯域中間周波数を備える受信機フロントエンド (小嶋他 2017) など、「ALMA2」を支える要素技術が着々と実現している。ところが、それを十分に活かす広帯域バックエンド (分光計や相関器) が存在せず、事実上分光赤方偏移探査の効率を制限している。

本講演では、大型ミリ波望遠鏡 LMT 50 m と組み合わせることで北半球で最高感度を実現する、120–360 GHz 帯ヘテロダイン受信機「FINER」のための分光計ファームウェアの開発を報告する。LMT-FINER は、ALMA に比して 40% の集光面積、同等の標高 (4600 m)、4.5 倍広い分光帯域をもたらす。これにより、ALMA と同等の分光探査効率を、ALMA ではアクセスが困難な北天 ( $\delta > +30^\circ$ ) で達成し、未分光のまま残された北天の  $z \sim 8-11$  の「前」再電離期候補天体を [O III]  $88 \mu\text{m}$ ・[C II]  $158 \mu\text{m}$  輝線で分光同定しその星間物理を探る計画である。

本分光計では、2 チャンネルの高速 (20.48 Gbps) 3 ビット A/D 変換器と FPGA を採用し、アナログハイブリッドの複素ゲインのアンバランスをデジタル的に補正する。この結果、位相と振幅の補正精度がそれぞれ  $< 2^\circ$  と  $< 0.4 \text{ dB}$  を満たし、 $> 25 \text{ dB}$  というサイドバンド分離比 (SRR) を達成しうる演算性能を示すことがわかった。これは、SRR が A/D 変換器の spurious-free dynamic range によって制限されるレベルに到達していることを示す。

[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](#)

## V109a スパースモデリングを使ったサブミリ波分光観測の高感度化

谷口暁星, 田村陽一, 萩本将都, 戸上陽平 (名古屋大学), 池田思朗 (統計数理研究所), 竹腰達哉, 吉村勇紀 (東京大学), 川邊良平 (国立天文台)

我々は、天体信号が観測データに占める割合が小さいという性質（疎性＝スパース性）に着目することで、サブミリ波単一鏡によるポジションスイッチ観測を高感度化する解析手法を開発した。観測の感度を制限する最大の要因は、天体信号の  $10^4 - 10^6$  倍ものパワーを持ち、最大数 Hz で時間変動する地球大気放射の雑音付加である。ポジションスイッチ観測では天体と大気の空間 2 点を交互に観測することで、大気放射の時間変動をキャンセルしている。ところが、スペクトル同士の減算によって感度が  $\sqrt{2}$  倍悪化するだけでなく、スイッチングより高速な時間変動をキャンセルできないため、達成可能な感度は観測装置が本来持つそれを下回る。

提案する解析手法は、スイッチングより高周波 ( $10^0 - 10^1$  Hz) に取得した時系列分光データ (2 次元行列) を使用することで、観測手法に手を加えることなく大気の時変動をモデルするものである。この際、大気の時変動は行列上で低ランクな成分として近似できる。一方、天体信号は、観測帯域に占める割合が極端に大きくなければ行列上ではスパースな成分となる。この 2 つの成分は GoDec アルゴリズム (Thou & Tao 2011) で行列分解することが可能であり、感度を悪化させることなく大気放射の時変動モデルと除去を達成する。

提案手法の最大の利点は、過去の観測も含め時系列分光データが取得可能な分光観測であれば、即座に感度を改善できる可能性を秘めていることである。本講演では、メキシコの LMT 50 m 鏡に搭載した 2 mm 帯受信機 (川邊他 2020 年春季年会) で観測した、 $z = 2.55$  のサブミリ波銀河の CO 輝線分光データに提案手法を適用し、実際に  $\sqrt{2}$  倍以上の感度の向上が得られた実証例を紹介する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

## V110a 火星周回機を想定した THz ヘテロダイン分光による放射輸送シミュレーション

濱口優輝, 前澤裕之 (大阪府立大学), 佐川英夫 (京都産業大学)

現在、火星の大気散逸の過程や、水循環や気候・気象メカニズムの解明を目指すべく、国内では周回機による火星宇宙天気・気候・水環境探査 Mars Aqueous environment and Space Climate Orbiter (MACO) 計画の WG が立ち上がっている。そこでの観測手法の 1 つとして THz 分光器などを用いたリムサウンディング/ナディアの観測なども検討されている。この波長域ではダストの吸収・散乱の影響を受けにくく、火星のダストストーム時でも表層付近の大気環境を見通しやすい強みをもつ。また、周波数分解能が高いために、ドップラーシフトから、大気の流れ場を計測することも可能である。我々は、ショットキーバリアダイオードミキサ検出素子を用いた常温のヘテロダイン受信機の 2 偏波のリムサウンディングを想定し、微量分子とその同位体 ( $\text{CO}$ ,  $^{13}\text{CO}$ ,  $\text{C}^{18}\text{O}$ ,  $\text{C}^{17}\text{O}$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{HDO}$ ,  $\text{H}_2^{18}\text{O}$ ,  $\text{H}_2^{17}\text{O}$ ,  $^{18}\text{OCO}$ ,  $\text{H}_2\text{O}_2$ ,  $\text{HO}_2$ ,  $\text{O}_3$ ,  $\text{O}_2$  など) について放射輸送シミュレーションを実施し、900 GHz 帯に観測の良い組み合わせがあることが分かった。温度や圧力などの基本的な物理パラメータには Mars Climate Database を利用している。ダストストーム発生時の 40 km 付近での氷雲からの水の昇華の様子や、季節・日照の変化による水蒸気量や同位体の変動を、4 km 以内の高度分解能で十分に捉えられることも分かった。また、積分により 140 km 付近までの水蒸気も捉えられることが分かった。本観測手法は、背景光源を不要とするため、昼夜や太陽との位置関係を気にせず、こうした微量分子を火星の全域を全ローカルタイムで 4 次元の (時間、緯度、経度、高度) に捉えることを可能にし、火星大気物質循環と化学反応ネットワークの実態や大気の変遷について重要な知見を与えるものと期待される。本公演では、これらの結果について紹介・報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

## V111a Update on ALMA Operations and Development Program - Autumn 2020

A. Gonzalez, M. Fukagawa, D. Iono, T. Minamidani, G. Kosugi, T. Kojima, K. Kikuchi, M. Hiramatsu (NAOJ), and the ALMA Project team

In this presentation, we will offer an update on ALMA Operations and Development Program.

Operations: Cycle 7 observations, which started in October 2019, and planning of Cycle 8 operations have been heavily affected by the COVID-19 situation worldwide. Due to the spread of the virus in Chile, the ALMA site remains shut down from late March 2020. The Cycle 8 Call for Proposals was originally opened in March as planned, but suspended afterwards due to the impossibility to offer Cycle 8 as expected. An update on the situation and future plans will be presented in this talk. The status of Cycle 7 observations before the site shutdown and data delivery will also be summarized.

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 Assembly Integration and Verification (AIV) Project, to integrate all band 1 receivers in the array, started at the ALMA site in March 2020. For band 2 (67-116 GHz), ESO has established a pre-production consortium to design, integrate and test all pre-production units of the receivers. NAOJ will contribute the full receiver optics subsystem. In terms of studies, highlights are in wideband and multibeam receivers.

Future Planning: Planning for the implementation of the ALMA Development Roadmap continues. A Digitizers/Backend/DTS workshop is currently scheduled in Mitaka in October 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](#)

## V112a ALMA, 野辺山データ解析パイプラインの開発と 2020 年秋リリースのハイライト

杉本 香菜子, 中里 剛, 島尻 芳人, 島居 和史, 宮本 祐介, 立松 健一, 小杉 城治, 吉野 彰, 江澤 元, 林 洋平, Kim Gwanjeong, 前川 淳, 高橋 茂 (国立天文台) ほかパイプライン開発チーム

ALMA および野辺山 45-m 鏡のデータ解析パイプラインは、電波観測データの処理・解析ソフトウェア、Common Astronomy Software Applications (CASA) を基に開発された、Python ベースのソフトウェアである。観測データの性質や品質によって自動的に適切な処理パラメータを決定し、データの較正から FITS 画像の生成までを行うのが、データ解析パイプラインの特徴である。このデータ解析パイプラインは、日本の国立天文台、米国国立電波天文台 (NRAO)、および欧州南天天文台 (ESO) を中心とした国際協力によって開発が進められており、ALMA のデータ処理での高い運用実績を誇る。電波観測データの処理に共通の部分と各望遠鏡に特有の処理部分を分離して構造化する事によって、一つのソフトウェアで、ALMA, VLA, VLA Sky Survey, Science Ready Data Product といった複数のプロジェクトのデータ処理のサポートを、効率的に実現している。さらに、2020 年秋リリースは、野辺山 45-m 鏡のデータ処理にも利用が可能になる予定である。このリリースは、1 年延長が決まった ALMA Cycle7 の途中から ALMA 望遠鏡のデータ処理にも投入されることが決まっており、パイプラインによって干渉計の偏波観測データの較正を補助する機能、単一鏡分光データのベースライン機能の改善などの新機能を提供予定である。

本講演では、CASA をベースにしたデータ解析パイプラインの 2020 年秋リリースに向け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](#)

## V113a ALMA データ解析ソフト CASA の開発 11

中里 剛, 川崎 渉, Renaud Miel, 西江 純教, 宮本 祐介, 西合 一矢, Nick Indriolo (国立天文台), 他  
CASA 開発チーム

Common Astronomy Software Applications (CASA) は国立天文台、米国国立電波天文台 (NRAO)、および欧州南天天文台 (ESO) を中心とした国際協力のもと開発が進められている電波望遠鏡向けのデータ解析アプリケーションである。CASA は干渉計、単一鏡いずれのデータ解析もサポートしており、現在主に ALMA, VLA のデータ解析で活用されている。また、将来的には野辺山 45m 望遠鏡および ASTE 望遠鏡のデータ解析をサポートする予定である。

前回の報告 (2018 年春季年会 V137a, 2019 年春季年会 V117a) 以降、我々は Python 2.7 系の CASA 5.5, 5.6 に加え、Python 3 移行後初のリリースとなる 6.0 を公開した。現在は 6.1 と 6.2 のリリースに向けた開発を並行して進めている。なお、6.1 と 6.2 は Python 3.6 系だが、Python 2.7 系で同等の機能を持つ 5.7 および 5.8 も同時にリリースされる予定である。さらに今年度より、我々は ALMA の機能拡張と ngVLA や SKA といった次世代大型電波望遠鏡の要求に応えることを目的として、次世代版 CASA (ngCASA) の開発に着手した。

本講演では、CASA 5.5 以降のリリースにおける主な改善点、Python 3.6 系リリース (CASA 6) の概要と Python 2.7 系リリース (CASA 5) の今後のサポート予定、そして ngCASA の概要と開発計画について述べる。また野辺山 45m 望遠鏡と ASTE 望遠鏡に関する開発の状況も報告する。

[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](#)

## V114a 高速デジタイザを用いた 4-21 GHz 広帯域 IF 受信機システムの構築とその評価

小嶋崇文, 木内等, 上水和典, 鶴澤佳徳, Alvaro Gonzalez (国立天文台), Matthias Kroug (University of British Columbia), 陰浦 俊則, Thomas Dippon (Keysight Technologies)

国立天文台では ALMA 望遠鏡の将来計画に資する技術開発を目的として、広帯域受信機の開発研究を推進している。これまで、我々は RF: 275-500 GHz (ALMA Band 7+8)、IF: 3-22 GHz をカバーする受信機フロントエンドを対象として技術開発を進めてきた。高臨界電流密度接合をベースに SIS ミキサを開発し、上記周波数帯に対して、 $h\nu/k_B$  の 3 倍以下の DSB 受信機雑音温度を達成している。今後、ALMA のように汎用性の高い望遠鏡への実装を検討するためには、フロントエンドの IF 帯を連続的にカバーするバックエンド系が必要である。

今回、我々は高速アナログ-デジタル変換器 (以下 ADC) を用いて、IF バックエンドも含めた広帯域受信機実験を実施したので報告する。使用した ADC は、Keysight Technologies 社製で 2 チャンネルを有する。1 チャンネル当たりの主な性能指数は、サンプリング速度 32 Gsps、入力帯域 12.5 GHz、有効ビット数は 6.5 以上である。実験では、受信機フロントエンドの IF 出力をフィルタ等を用いて 2 つのチャンネルに分割し、Ch.1: 4-11.5 GHz, Ch. 2: 11.3 GHz-21 GHz の 2 つの IF 系を用意した。また、Ch. 2 の IF 出力はミキサを用いて ADC の入力周波数に適合するようにダウンコンバートした。スペクトラムアナライザと ADC を用い、Y-factor 法による受信機雑音温度の測定結果を比較したところ、両者は非常によく一致していることを確認した。また、2 つのチャンネルのクロスオーバー周波数である 11.3-11.5 GHz の連続性を検証するために、広帯域な RF comb 発生器 (265-315 GHz、100 MHz 間隔) を用意し、その出力を RF 信号として受信機に入力した。その結果、両チャンネルのクロスオーバー周波数の範囲で振幅がよく一致していることを確認した。本講演では実験の詳細について報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

## V115a Progress in Device Fabrication at SIS Cleanroom in NAOJ

Wenlei Shan, Shohei Ezaki, Akihira Miyachi, Tomonori Tamura, Takafumi Kojima, Yoshinori Uzawa (NAOJ)

The SIS cleanroom at Advanced Technology Center of NAOJ is a superconducting device fabrication facility supporting ALMA-J project and other radio telescopes operated by NAOJ and universities. Two key research topics are currently focused aiming in significant breakthroughs in broadening the throughput of radio telescopes, namely broad frequency band (IF and RF) and focal plane arrays. For extra broad band receivers, SIS junctions of current density about ten times higher than conventional ones have been fabricated by using remote plasma nitridation of aluminum to form thin barriers. For compact SIS focal plane arrays, an innovative approach, hybrid planar integration, has been proposed and experimentally demonstrated. This technology has invoked various new methods and equipment in the SIS cleanroom, to name a few, deep RIE, PE-CVD and aligned wafer bonder. In addition to the research works for ALMA future development, standard highly producible SIS mixer fabrication process is being developed. The process is aimed to produce high-quality devices for operating radio telescopes.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

## V116a ALMA 受信機用広帯域光学系コンポーネントの開発 (IV)

金子慶子, 坂井了, 大田原一成, 小嶋崇文, 神澤富雄, 三ツ井健司, 勝本達夫, 福田武夫, 福嶋美津広, 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を開発している。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 (観測周波数 67-116 GHz) に対する貢献として、我々はプレ量産受信機搭載用光学系部品の製造評価と、誘電体レンズの設計評価に協力している。デュワー窓によるビームの蹴られに起因する雑音成分を軽減するため、コルゲートホーン位置の変更およびレンズの再設計を行った。レンズ径が大きくなることで開口効率が改善される一方、レンズの厚みが増し、材料の誘電損失により透過率は低下する。このトレードオフを検証し、レンズ径を今までの 96mm から 120mm に変更、解析により主に低周波側での開口効率が 1% 改善することを確認した。我々は設計に基づいてレンズを製造し、欧州の評価用受信機に搭載しての雑音測定を予定している。併せてレンズ材料の物性評価も進めている (坂井他、本年会)。一方、台湾中央研究院天文物理研究所 (ASIAA) が主導で進める ALMA Band1 受信機 (観測周波数 35-50GHz) は製造が開始されており、台湾での性能試験とチリでのアンテナ搭載試験が進められている。国立天文台では Band1 への貢献のひとつとして、コルゲートホーンの常温試験と、一部ホーンの製造を担当する。製造においては、先端技術センターに新規導入した金属 3D プリンタを用いることを検討しており、現在基本物性評価と試作を進めている。ここまでの評価において、改善すべき項目は有するものの一部仕様を満たすこと、個体別の歩留まりの高さを確認しており、製造方法最適化の後には短時間での供給が可能であると見込んでいる。本発表では、これら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](#)

## V117a ミリ波帯誘電体材料評価システムの構築と誘電率測定結果の妥当性検証

坂井了, 金子慶子, 大田原一成, 小嶋崇文, 鶴澤佳徳, Alvaro Gonzalez (国立天文台), 酒井剛 (電気通信大学)

国立天文台では、光学材料のミリ波・サブミリ波特性を正確に把握し、受信機光学系の設計精度を向上させることを目的として、誘電体材料評価システムの開発を推進している。ALMA Band2 (67 - 116 GHz) 受信機では、常温光学系に誘電体レンズを使用する予定であり、受信機雑音への影響を低減するために極めて低損失な材料を必要とする。また、レンズ設計に用いられる誘電率の誤差が開口能率に大きく影響することが知られている。これらの理由から、実測により正確な複素誘電率を得ることはレンズ材料の選定や光学系設計において大変重要である。構築した ALMA Band2 帯誘電体材料評価システムの詳細に関しては 2019 年秋季年会において報告した。今回、我々は作製した Band2 レンズの性能評価かつ誘電率測定結果の妥当性を検証するため、Band2 光学系のビームパターンの測定結果と、実測した誘電率を用いて電磁界解析ソフトウェア WASP-NET で計算した結果を比較した。Band2 帯域内においてビームパターンと開口能率の測定値はシミュレーションと良好に一致し、構築した誘電体材料評価システムによる誘電率の測定値が妥当であることを実証した。また、本解析結果により Band2 光学系においてもレンズの誘電率設計値の誤差が開口能率に大きく影響を与えることが示唆された。詳細は当日報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

## V118a 高感度サブミリ波マルチビーム受信機光学系開発に向けた収差が開口能率に及ぼす影響の調査

政井崇帆 (総合研究大学院大学), Alvaro Gonzalez (国立天文台)

ALMA の将来的なマルチビーム受信機開発の一貫として、高性能サブミリ波マルチビーム受信機光学系の設計方法の開拓を目指している。ALMA にマルチビーム受信機を搭載することによる観測視野拡大は ALMA Development Roadmap 及び ALMA2 プロジェクトで注目されている。ALMA マルチビーム受信機の実現に向けてコンパクトかつ高感度な超伝導混合器などのマイクロ波素子の研究は進みつつあるが、受信機光学系の設計については考察されていない。本研究では高性能マルチビーム受信機光学系の実現に向けて、マルチビーム受信機の中心ピクセルから外れているオフセットピクセルの収差による信号劣化の低減を調査している。

オフセットピクセルの信号劣化は光学的収差論と類似している。従来のマルチビーム受信機では、Strehl 比を用いて光学系の性能評価を行ってきた。Strehl 比とは、収差が光学素子の性能に及ぼす影響を示すパラメータである。光学望遠鏡の基準として Strehl 比の値は 0.80 以上と定められることが多い中、この値はマルチビーム受信機でも同じ値が採用されてきた。電波望遠鏡における Strehl 比の使用は正当化されていなく、受信機本来の性能を評価するためには Strehl 比を開口能率と結びつける必要がある。

我々は、光学と電波光学の両分野の先行研究の比較から Strehl 比を Ruze 能率と結びつけることができ、Strehl 比を開口能率と直結できた。この直結から、電波受信機における Strehl 比は入射波面の誤差による受信機能率の劣化として説明することができる。

本講演では、学術論文の比較から得られた、Strehl 比と開口能率の関係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](#)

## V119a 連続波を用いた W バンド SIS アップコンバータの利得測定

上月雄人, 酒井剛 (電気通信大学), 鶴澤佳徳, 小嶋崇文, 単文磊 (国立天文台)

超伝導体-絶縁体-超伝導体接合を利用した準粒子混合器 (SIS ミキサ) は、ミリ波・サブミリ波帯信号をマイクロ波帯信号に変換する低雑音の周波数ダウンコンバータとして電波天文や地球環境観測分野などで広く利用されている。特に SIS ミキサのダウンコンバージョン過程には正の変換利得 (0dB) が生じうことは理論的・実験的に既に確認されている。そこで我々はこの SIS ミキサの周波数変換利得に着目し、高周波増幅器への応用を検討している。すなわち、マイクロ波からミリ波への SIS アップコンバータと、これと逆過程の SIS ダウンコンバータのそれぞれが変換利得を有して接続することで、低雑音かつ低消費電力の高周波増幅器が実現できる。我々は SIS アップコンバータ単体の特性評価システムを構築し、既存の W バンド SIS (Nb/AlOx/Nb) ミキサを対象にアップコンバージョン利得の測定を行った。これまでは入力信号源としてマイクロ波帯雑音源を用いたが、今回はマイクロ波帯連続波源を用いた。これによって測定したアップコンバージョン利得が SSB となり、より直接的な特性評価となった。今回測定した W バンド SIS ミキサはダウンコンバータとして設計されたものであったが、両サイドバンドの DC-2GHz 帯において有意な正利得を確認することができた。本講演では実験手法と測定結果について報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

## V120a ASTE の運用 (5)

阪本成一, 鎌崎剛, 伊藤哲也, 木挽俊彦, 藤井泰範, 芦田川京子, 梅本智文, Andrea Silva, ほか ASTE 運用チーム (国立天文台)

ASTE (Atacama Submillimeter Telescope Experiment) は、チリ・アタカマ高地 (標高 4860 m) で国立天文台が運用中の口径 10 m サブミリ波望遠鏡である。2002 年にチリに移設され、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の特徴を生かした広域・広帯域観測、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、2019 年度の後半からは ALMA とは独立のプロジェクト (小規模望遠鏡運用) と位置づけ、当面 2021 年度までの科学目標として 890 GHz 帯受信機 (ASTE Band 10) と今後搭載予定のオンチップ型超伝導分光器 DESHIMA2 による研究をキーサイエンスとして運用している。

ASTE 2020 期の共同利用観測課題の公募は 3 月 7 日に締め切れ、15 件中 7 件 (部分採択 5 件を含む) が採択された。しかしながら、6 月上旬の時点でチリ国内で COVID-19 が蔓延しており、義務的外出制限や渡航制限のために望遠鏡の再稼働と科学評価活動の見通しが立たないため、7 月 1 日-8 月 31 日に予定していた共同利用観測の実行を来年度以降に繰り越すこととした。また、これと並行して実施する予定であった ASTE Band 10 の科学評価観測も状況が好転するまで延期する。

これらに加え、オランダで開発が進む DESHIMA2 の受け入れ準備を整えるとともに、2021 年に XFFTS 分光器を搭載すべく、IF 変換器の開発などの国内での試験を進めている。また、それ以降の拡張計画として、ASTE Band 8 の IF の広帯域 (4-18 GHz) 化計画 (PI: 岡) と XFFTS の増強計画 (PI: 濤崎) が科学研究費補助金の研究課題として新たに採択され、搭載に向けた検討と開発が進められている。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

## V121a The Next Generation Very Large Array

伊王野大介 (国立天文台), 百瀬宗武 (茨城大学), Alvaro Gonzalez (国立天文台), 立原研悟 (名古屋大学), 新沼浩太郎 (山口大学), 永井洋 (国立天文台), 深川美里 (国立天文台), 河野孝太郎 (東京大学), 坂井南美 (理化学研究所), 長谷川哲夫 (国立天文台)

We present an overview and the current status of the Next Generation Very Large Array (ngVLA), including the recent scientific and technical activities of the ngVLA study group which is managed by NAOJ along with the members of the science community. The ngVLA is a multi-disciplinary general-purpose facility that will significantly advance our understanding of the Universe and offer new physical insights to various phenomena observed in the sky. The telescope will be composed of 214 18-m antennas placed around the current JVLAsite in New Mexico, USA. This will provide large collecting surface with baselines up to 1000 km, which will translate into unprecedented sensitivity and milli-arcsecond angular resolution at frequencies from 1.2 to 116 GHz, covering the atomic hydrogen line to the lowest rotational transition of carbon monoxide, known as the best tracer of total molecular gas mass in galaxies. The array will be complemented with the Short Baseline Array, which will comprise 19 antennas of 6-meter diameter, and 4 antennas of 18-meter diameter operating as single dish telescopes. The highest angular resolution will be achieved by the Long Baseline Array, which will consist of 30 antennas of 18-meter diameter operating in VLBI mode with a longest baseline of 8860 km. According to the current plan, the construction led by NRAO begins in 2024 and full operation will begin in the mid 2030's.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

## V122a SKA プロジェクトへの参加計画 2

小林秀行, 赤堀卓也, 河野裕介, 廣田朋也, 小山友明, 寺家孝明, 砂田知良, 永山匠, 亀谷収, 本間希樹 (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の検討の進捗状況について報告する。SKA1 計画は、昨年 12 月に行われた System CDR の残項目も 3 月に完了し、建設計画の最終的な策定に進んでいる。SKA 観測所は、新型コロナウイルスの影響を受けて約半年ほどの遅延はあるが、国際機関として今年中に発足できる見込みである。それに対応し、SKA 観測所の意思決定組織としての SKA Observatory Council の設立準備が進んでおり、そこに建設提案書が提案され、承認後 2021 年から建設が開始される予定である。日本においては、日本の参加計画は学術会議マスタープラン 2020 において学術大型研究計画 (区分 1) として選定され、さらに文部科学省のロードマップ 2020 に名古屋大学から応募している。国立天文台においては、2019 年から 3 年間の計画で SKA1 検討グループが水沢 VLBI 観測所の下に設置され、日本の参加計画を具体化している。主にシステム統合、科学性評価 (AIV/SV) とデータアーカイブ、データ解析を行う Science Regional Center に対する貢献を柱に VLBI や 15GHz 以上の高周波広帯域受信システムの開発についても検討を進めている。2020 年度は、具体的に in-kind での参加を開始する予定である。また日本のユーザーコミュニティである SKA-JP の協同関係についても述べる。

[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](#)

## V123a 6-23 GHz 天文観測用超広帯域フィードアンテナの開発

○長谷川 豊, 山崎 康正, 小川 英夫 (大阪府立大学), 川上 泰輝, 米倉 覚則 (茨城大学), 木村 公洋 (JAXA), 赤堀 卓也 (NAOJ)

電波天文学における近年の開発課題の一つである比帯域 (帯域幅/中心周波数) 100% 超の広帯域観測装置の実現において、天文観測機器として求められる高性能フィードアンテナの実現は最難関の一つである。我々はこれを実現する候補として、センチ波帯標準ホーンなどで実績のある Quadruple-Ridged Antenna (QRA) に着目し、天文観測される頻度の高い 22, 43 GHz の 2 帯域にて  $-20$  dB 以下の反射損失を実現した帯域特化型 QRA を試作するなど研究開発を進めてきたが、顕著な共振の発生などが原因で比帯域 100% 超の全帯域での反射特性・ビームパターン改善・は困難であった。そこで近年、従来の問題を抑制する新たな工夫を設けた新型 QRA 開発を進めており、本講演ではこの設計進捗について報告する。

この新型 QRA では、根元部分に設けるリッジ導波管-同軸変換機構を非  $50 \Omega$  の同軸線路とし、その後に  $50 \Omega$  同軸整合器を設けることで、開口-同軸出力までのインピーダンス整合を最適化した。また 2 つの交差する同軸線路を限界まで近接させることにより、V/H 偏波間の特性差を抑制した。これらにより 6.5-22.5 GHz (110%) の全帯域にて  $-17$  dB 以下の良好な反射損失設計値を得た。さらに、QRA 開口部にワイドフレアコニカルホーン形状の導波管モード整合部を設けることで QRA 単体の放射ビームパターンの V/H 対称性が非常に改善されることが分かった。このモード整合部のさらに先にフレア角の調整部を設けることで、多様な電波望遠鏡光学伝送系にマッチさせることが可能になると考えており、前述の反射損失低減と併せて国内外 VLBI 観測網や SKA, ngVLA などの次世代観測機器開発などに大きく貢献できると期待している。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

## V124a 広帯域フィードの開発 (XVIII)

氏原秀樹, 関戸衛, 市川隆一 (情報通信研究機構)

NICT 鹿島では測地 VLBI の VGOS (VLBI2010) や SKA などへの応用を意識しつつ、VLBI による遠隔地間の光格子時計の精密周波数比較のための広帯域 VLBI システム「Gala-V」を開発した。アンテナ周辺の RFI 環境と周波数配列の 0 冗長条件を考慮しつつ設計したフィードと OMT は 3.2GHz から 15-17GHz 程度まで使用可能である。メタノール・メーザの 6.7GHz/12.2GHz 同時受信や人工衛星を利用した 34m アンテナのホログラフィなど幅広く運用され、プロジェクト開始時とは RFI 環境が異なっても周波数配列を変えて実験を継続できた。OMT は 3GHz 以下の RFI の遮断特性の急峻化とともに反射損失の低減と広帯域化などの改良を継続的に行っており、片側のポートは上限 17GHz 程度まで使用できる。34m の代わりに国土地理院の協力を得て主局を VGOS アンテナとし、現在も 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。今後の幅広い応用を目指してフィードと OMT は最大・最小周波数の比が 10 程度を目指して開発を続けている。

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 15-60GHz の広帯域受信系 1 本で小型化・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できる。2019 年度は VSOP2 用に設計したマルチモードホーンを NICT 沖縄 3.7m アンテナに搭載し、受信機系の試験を行なった。小金井の MARBLE2 を使用した試験も随時行っている。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](#)

## V125a Large Submillimeter Telescope (LST): 5

野野孝太郎, 廿日出文洋, 竹腰達哉, 江草美実 (東京大学), 田村陽一, 谷口暁星 (名古屋大学), 井上昭雄 (早稲田大学), 川邊良平, 大島泰, 石井峻 (国立天文台), 遠藤光 (デルフト工科大学), 唐津謙一 (SRON), 梅畑豪紀 (理化学研究所), 瀧崎智佳 (上越教育大学) ほか LST ワーキンググループ

LST は、ミリ波サブミリ波帯で広視野・広波長域を一挙に観測可能な大口径 (50m) 単一鏡を南米チリに建設し、アルマや ngVLA と相補的で新しいディスカバリー・スペースを開拓する計画である。超伝導検出器の劇的な技術的進展を活用した超広帯域分光撮像装置や超広視野多色カメラ等により、[OIII]88 $\mu$ m 輝線や long-GRBs からの逆行衝撃波をプローブとして赤方偏移が 12–15 という時代に至る宇宙最初期の星生成銀河候補を探索・発見するユニークな手段を実現する (Kohno et al. 2019, Astro2020 white paper)。LST 計画は日本発の構想であるが、その後、欧州主導の AtLAST 計画との仕様の共通化・統合が合意される (川邊他 2019 年春季年会 V101a) など世界的な潮流へと発展してきた。AtLAST 計画は Horizon 2020 の枠組みで Design study proposal が採択され、2021 年から 350 万ユーロを使い望遠鏡の設計などが進む見通しとなった。2020 年 5 月 26 日には、オンラインにて AtLAST 計画の説明会が行われ、日本の LST 関係者を含む 180 名以上が参加するなど、非常に高い注目を集めていることが改めて確認された。LST 計画としても、AtLAST 計画の他、南極テラヘルツ望遠鏡 ATT 計画や中国での 60m サブミリ波望遠鏡 SMST 構想、CCAT-prime、Greenland 望遠鏡等とも連携しつつ計画を推進していく予定である。関連してミリ波望遠鏡 LMT での焦点面観測装置 (川邊他, 田村他今年春季年会発表) や超広帯域分光器 DESHIMA (Endo, A., et al. 2019, Nature Astronomy, **3**, 989)、多色カメラに向けた要素技術開発 (Uno, S., et al. 2020, Applied Optics, **59**, 4143) の状況などにも言及する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

## V126a CMB 偏光観測衛星 LiteBIRD 計画の進展

羽澄昌史 (KEK) , ほか LiteBIRD Joint Study Group

LiteBIRD はインフレーションによる原始重力波を検出することを目指した国際共同ミッションであり、2019 年 5 月に、JAXA 宇宙科学研究所によって、戦略的中型 2 号機に選定された計画である。学術会議マスタープラン 2020 の重点大型研究計画の一つである。2020 年代に JAXA H3 ロケットで打ち上げ、太陽・地球ラグランジュ点の一つである L2 付近で 3 年間にわたり全天のサーベイ観測を行うことを目指している。宇宙マイクロ波背景放射 (Cosmic Microwave Background, CMB) の偏光を全天にわたって精密観測し、原始重力波の痕跡である B モード偏光を、テンソル・スカラー比  $r$  の誤差が 0.001 以下となる精度で検出する。この目的を達成するため、およそ 1 度角の分解能で視野  $20 \times 10$  度を持つ反射型低周波望遠鏡 (Low frequency telescope: LFT)、および透過型の中・高周波望遠鏡 (Middle High frequency telescope: MHFT) を搭載する。100mK のベース温度で運用する多色超伝導転移端検出器アレイ (Multi-chroic TES Array) により、34-448 GHz の周波数帯域にわたる多周波観測 (バンド数 15) を行い、銀河ダストやシンクロトロン放射等の前景放射と CMB を分離する。本講演では、直近 1 年間の LiteBIRD のサイエンスの開拓、概念検討の進捗、国際協力の進展について報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

## V127a Measurements of millimeter wave optical constants of black body materials for the CMB experiments

Makoto Hattori (Tohoku Univ.), Zhilei Xu, Mark Devlin (Univ. of Pennsylvania), Grace Cheshire (Univ. of Michigan), Jeff McMahon (Univ. of Chicago), Ed Wollack (NASA/GSFC), Charles Hills (UC Berkeley), Akito Kusaka (Univ. of Tokyo)

The next generation CMB polarization experiments require dramatic improvement of sensitivity and accuracy from ever performed CMB experiments. To realize the required performance, developments of new black body materials have been proceeded as millimeter wave absorber to prevent stray light caused by the reflection at the wall of the telescope barrel of the telescope.

We have been performing measurement of millimeter wave optical constants of the material in the laboratory of the Tohoku University to contribute the development of the high performance black body materials and to improve accuracy of the design of the optics. The measurement system is composed of Fourier Transform Spectrometer and high sensitive millimeter wave bolometers made from NTD-Ge thermistors constructed in our laboratory. In this presentation, we report the results for the black body material planed to install on the large telescope of the Simons observatory and several other examples. Current measurements are limited for room temperature and liquid nitrogen temperature. Status of the development of the optical constant measurement system at 1K is going to be reported. Status of the development of the reflectivity for the normal incident light beam will be also reported.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

## V128a Microwave Kinetic Inductance Detector の較正手法の開発

杵間 弘樹 (東北大・理研), 大谷 知行 (東北大・理研), 小栗 秀悟 (JAXA), 古谷野 凌 (埼玉大), 鈴木 惇也 (京大理), 末野 慶徳 (京大理), 田井野 徹 (埼玉大), 田島 治 (京大理), 服部 誠 (東北大), 美馬 寛 (理研)

MKID (Microwave Kinetic Inductance Detectors) は電波・赤外観測などの分野で注目されている最先端の超伝導検出器である。この検出器は、1つの読み出し線で100個以上の素子を同時に読み出すことができる。これにより配線からの入熱の制限から使用できる配線数が限られる場合でも検出器数を増やせ、高感度化が実現できる。

MKID は、アンテナで捉えた光により内部のクーパー対と呼ばれる超伝導電子対が解離し、準粒子と呼ばれる粒子が生成され、この変化を動的インダクタンスの変化として読み出すことで光の強度を測定する。吸収された光の強度と生成される準粒子の数の関係、すなわちゲインの較正精度が測定精度を決定づける。従来は MKID を加熱し、温度変化に対する応答を測定し、ゲインを評価する方法を採用している。しかし、この方法では温度計から得られる温度と MKID 自体の温度がどの程度一致しているのかという不定性から逃れることができない。また温度安定に時間がかかるため非効率的である。

そこで、MKID の読み出しに用いる高周波バイアスパワー (以下、RF パワー) を用いて入力信号強度を代替できることに着目し、これを利用した新しいゲインの較正手法を開発した。RF パワーを急激に下げることによって、MKID 内部の準粒子数が減少し、クーパー対を形成する。この時定数を測定し、理論式を用いて準粒子数に変換する。独立に応答を取得することで、応答性を導くことができる。また、本手法を発展させて MKID の超伝導転移温度を測定する手法の開発も行った。

[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](#)

## V129a POLARBEAR-2/Simons Array 実験 -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), 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), 藤野琢郎 (横国大), 松田フレドリック (Kavli IPMU), 松村知岳 (Kavli IPMU), 南雄人 (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、昨年 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較正・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、これまでの 1 台目の現地でのコミッショニング作業の現状と、今後の活動再開に向けた準備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](#)

## V130a POLARBEAR-2a における較正光源を利用した検出器の監視と評価

金子大輔 (Kavli IPMU), 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), 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), 長谷川雅也 (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

POLARBEAR は初期宇宙のインフレーションの解明などを目標とする、宇宙マイクロ波背景放射 (CMB) の地上偏光観測実験である。Simons Array はその後継として準備が進められており、観測に適した南米チリのアタカマ高地で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 台使用し、複数波長帯での観測を計画している。POLARBEAR-2a はその受信機のうち最初の 1 台で、2018 年に現地でのコミッショニング作業が開始した。講演のテーマは黒体放射を利用した較正光源、ステイミュレーターと検出器の較正についてである。本装置は望遠鏡に恒久的に設置されている較正装置であり、セラミックヒーターからの放射をチョッパーで変調し、副鏡にある小さい穴から受信器に放出する。これをもとに検出器の応答の大きさ、遅延時定数を評価することができる。観測の前後に較正を行って、本観測時の検出器の特性を較正する目的のほか、受信器の較正運転の際にステイミュレーター信号を常時入射することで、連続的に検出器の応答を監視することも可能である。

講演では本光源装置の基礎的な開発結果と、惑星観測と併用した試験との組み合わせによる受信器の性能評価。連続運転による検出器監視手法の開発状況について報告をおこなう。

[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](#)

## V201a 国立天文台共同利用 大規模観測データ解析システム III 計算ノード増設

磯貝 瑞希、古澤 久徳、山根 悟、田中 伸広、巻内 慎一郎、小澤 武揚、亀谷 和久、大倉 悠貴、高田 唯史、小杉 城治、岡本 桜子 (国立天文台)

国立天文台天文データセンターでは、ハワイ観測所すばる望遠鏡の超広視野カメラ Hyper Suprime-Cam (以下 HSC) など、解析処理に多くの計算資源を必要とする大規模観測データ用の解析システムを構築し、ハワイ観測所と共同で 2019 年 9 月より運用を開始している。本講演では、2020 年春に実施した計算ノードの増設と増設後の運用方針について報告する。

本システムはログインノードと管理ノード、計算ノード、5PB の容量と高速 I/O を持つストレージ、冗長構成のファイルサーバで構成される。運用開始時点での計算ノードは 5 台構成で、その計算資源は総 CPU コア数 280、総メモリ量 5TB であったが、昨年秋に本調達前の試験用に AMD EPYC を搭載したノードを 2 台、今春に AMD EPYC を搭載したノードを 24 台と Intel Xeon と swap 領域用に 2TB の SSD を搭載したノード 4 台の増設を実施した。この増設により、システムの計算資源は総 CPU コア数 1976、総メモリ量 18.5TB まで拡充されている。

2020 年 6 月現在、増設分は HSC-SSP の解析処理や解析に 1 プロセスで 1TB 超のメモリを必要とする一部ユーザへの試験提供に限定しているが、間もなく HSC 共同利用観測者へ開放する予定である。また、これまでは当該セメスターの HSC 共同利用観測者に制限していたシステム利用者を、過去の HSC 観測者やアーカイブデータ利用者、さらには HSC 以外のデータ解析などを希望するユーザまで広げることを検討中である。

[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](#)

## V202a すばる望遠鏡・観測提案書審査システム PRORES の開発

八木雅文 (国立天文台), 山野井瞳 (一橋大学), 竹田洋一, 今西昌俊, 吉田千枝 (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。観測提案の受付は共同利用開始当初は紙の郵送必須、2005 年から E-mail ベース (純電子投稿) に移行が行なわれ、2020 年春季年会 V201a で発表されたように、2011 年以降は、すばる望遠鏡・観測提案書管理システム (Subaru Telescope Proposal Management System; ProMS) を通してウェブベースで行われるようになった。一方、提案されたプロポーザルの審査も紙の郵送から E-mail ベースとなって行なわれてきたが、この審査プロセスもウェブベースのシステムに移行したい旨の要望があがっていた。我々は審査システムをウェブ化すべく 2018 年から検討を開始し、実際に開発担当者が割り当てられた 2019 年 5 月からすばる望遠鏡・観測提案書審査システム (PRORES; PROposal REfereeing System) として、設計開発を開始した。

PRORES が扱うプロポーザル審査は大きく分けて 3 つの段階、(a) 審査員への依頼、(b) 審査の入力および集計、(c) 審査結果の提案者への通知、に分けられる。PRORES では (b) 部分が最初に開発され、ダミーデータを用いて行なった関係者によるテストの結果を反映した後、2019 年 9-10 月に行なわれた S20A の審査で実際に運用された。この運用結果を踏まえた改良を加えつつ、新たに (a) 部分を加えた構成で 2019 年 3-4 月の S20B で利用された。本年会中に行なわれている S21A 審査でも S20B に改良を加えたバージョンが運用されている見込みである。本年度中の (c) 部分の設計と実装も計画されている。

本発表では PRORES の開発設計思想と実装方法や機器構成、および今後の課題や展望について述べる。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

## V203a SuMIRe-PFS[20]: プロジェクト概要と装置開発進捗状況まとめ 2020 年秋季

田村直之 (東京大学カブリ IPMU), PFS プロジェクトオフィス, PFS コラボレーション

PFS(Prime Focus Spectrograph) 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進められている。最近ではコロナ禍により多くの機関で特にハードウェアへの物理的アクセスに大きな制約が課せられる中、2021 年の試験観測開始と 2023 年の科学運用開始に向けベストエフォートで開発が進められている。メトロロジカメラは 2018 年のすばる山頂搬入後同年 10 月と翌年 8 月に望遠鏡に取り付けての夜間試験を通し性能確認を完了した。1 台目の分光器は 2019 年 12 月に山頂で組み上げられ、性能確認試験を完了したのち、装置やデータの安定性調査、パイプライン開発用データの取得が行われている。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と輸送前試験が完了し、スペアも含めた 44 個のモジュール全てが台湾中央研究院天文及天文物理研究所 (ASIAA) へ輸送された。現在 ASIAA では 9 個のモジュールの主焦点装置 (PFI) への搭載を完了し、試験を行っている。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状況と今後の展望を紹介する。

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

## V204a 木曾広視野 CMOS カメラ Tomo-e Gozen による広域動画サーベイ

酒向重行, 大澤亮, 諸隈智貴, 新納悠, 土居守, 茂山俊和, 小林尚人, 小西真広, 高橋英則, 近藤荘平, 森由貴, 青木勉, 紅山仁 (東京大学), 渡部潤一, 瀧田怜 (国立天文台), 富永望 (甲南大学), 田中雅臣 (東北大学), 奥村真一郎 (日本スペースガード協会), 池田思朗 (統計数理研), Tomo-e Gozen コラボレーション

東京大学木曾観測所 Tomo-e Gozen は、2fps の連続撮像が可能な視野 20 平方度の CMOS カメラと、それに直結した大規模データ処理部からなる 105cm シュミット望遠鏡用の広視野動画観測システムである。観測データは取得 10 日後に全て消去されるが、その間に逐次解析することで価値ある情報のみが長期保存用に抽出される。我々は 2019 年 10 月より 2fps の広域動画サーベイを開始した。各視野で 2fps の 12 枚からなるフレームセットを取得し、2x2 デイザにより直径 9 度の視野を覆う。これを 9 度ステップで繰り返すことで空の広域をスキャンする。1 回のスキャンで、1 天体あたり 0.5 秒分解能、6 秒継続の動画と、これを加算することで 6 秒露光、深さ 18 等級の静止画が得られる。2019 年 10-12 月には、高度 35 度以上 (7,000 平方度) を 1 晩に 3-5 回反復する観測を毎夜実施した。また、2020 年 1-6 月には、1 時間以下の短時間突発現象を捉えるために、高度 35 度以上の広域スキャンを 1 回のみとし、残りの時間で真夜中に南中する 2000 平方度を 30 分-1 時間の間隔で反復するプログラムを実施した。サーベイの開始から現在までの 8 か月間に計約 1.0PB の生データが取得され、加算静止画として約 100TB のデータが長期保存されている。機械学習を導入した高速移動・突発現象検出用パイプラインにより、このサーベイデータの中に 10 件以上の新規の地球接近小惑星や、多数の爆発早期の超新星などが検出されている。現在、木曾観測所と高速接続 (実効 4Gbps) された東京大学本郷キャンパス内に、サーベイデータを部分公開するためのサーバシステムを構築中である。

[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](#)

## V205a TAO 6.5 m 望遠鏡用中間赤外線観測装置 MIMIZUKU : 二視野合成機構 Field Stacker を用いたフラット作成とその効能

道藤翼, 宮田隆志, 上塚貴史, 酒向重行, 大澤亮, 浅野健太郎, 橘健吾, 左近樹 (東京大学)

東京大学アタカマ天文台 (TAO) の 6.5m 望遠鏡用の中間赤外線観測装置 MIMIZUKU には、世界初の二視野合成機構 Field Stacker が搭載されている。Field Stacker は TAO 望遠鏡の視野 25 分角の中から  $1' \times 2'$  の離れた二つの領域を切り取り、二天体同時観測を可能とする。これにより、観測対象と標準星を同時に観測することで大気透過率の時間変動の影響を取り除くことができ、良い測光精度を達成できると期待される。そのために重要になるのが精度の良いフラットの作成である。

中間赤外線観測では一般に大気の明るさは時間変動する。我々は、この大気放射の変動と検出器の局所的な線形性を活用することでフラットを作成する手法を開発した。この方法ではフラットの誤差は視野全体で約 0.3% と非常に小さい値となっていることが確認できた。解析を進めると、二つの天体の相対測光値はほぼ一定値を取り、またその誤差は約 2% となっていた。このことから、Field Stacker を用いると大気の時間変動の影響を実際に取り除けることが確認され、誤差数%での測光精度を達成できることがわかった。

Field Stacker で得られるもう一つの利点は暗い天体の解像度の向上である。従来、例えば N バンドでは、天体を高速撮像し、位置を合わせて足し合わせる手法 (シフト・アンド・アド) で解像度を改善していたが、暗い天体には適用できなかった。Field Stacker を用いれば、同時観測される明るい標準星の位置情報を用いたシフト・アンド・アドができるようになる。実際にこれを、明るい 2 天体の撮像データに対して行くと、通常のシフト・アンド・アドと同様にシーイングによる像の劣化を改善できた。今回はこれらの結果をまとめて発表する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

## V206a TMT 計画 – 進捗報告

白田知史, 岩田生, 青木和光, 齋藤正雄, 山下卓也, 早野裕, 遠藤立樹, 井口聖, 常田佐久 他 (国立天文台), Henry Yang, Ed Stone, Gary Sanders, Suijian Xue, Eswar Reddy, Luc Simard 他 (TIO)

TMT は日本が国際協力を実現を目指している次世代の地上超大型 30m 望遠鏡である。TMT 国際天文台 (TIO) は、2019 年 7 月にマウナケア山頂域現地建設工事再開を予定していたが、建設に反対する人々によるマウナケアへの道路の封鎖を含む抗議活動を受けて工事に着手できていない。状況の改善に向け、国立天文台や TIO 関係者や反対派の主要メンバーを含めた地元との協議が続けられている。ハワイ州議会でも先住民問題についての和解委員会の設置が提案され、NSF や先住民代表などを含む様々な関係者による協議が行われている。ハワイ大学では 2033 年に期限を迎えるマスターリース更新に向けて、マウナケア管理改善の検討を進めている。NSF の TMT 参加に向けては、米国の研究者が南北両半球での超大型望遠鏡による研究を可能にするために TMT と GMT を含めたプログラム (US-ELT プログラム) が Astro2020 に提出され、2021 年前半に結果が公表される。

TMT 計画の進捗状況としては、国内では主鏡は全 574 枚中 356 枚の鏡材を製作し、球面研削は 341 枚完了した。非球面研磨も進捗し、これまでに 33 枚完了した。望遠鏡本体は詳細設計を終え、製造のための図面作成を進めている。計画遅延の期間を活用し、試作試験を実施して完成度を高め、技術的リスクの低減に成功した。第一期観測装置 (IRIS, WFOS) は、日本の分担箇所の設計・検討・開発を先端技術センターで進めている。全国の多数の研究者に協力いただき、すばる望遠鏡と連携した科学研究の展望をとりまとめたサイエンスブックを 3 月に出版した。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](#)

## V207a せいめい望遠鏡用 可視光3色同時撮像 CMOS カメラ TriCCS の開発

松林 和也, 前田 啓一, 太田 耕司 (京都大学), 酒向 重行, 土居 守, 近藤 荘平, 小川 貴士, 紅山 仁 (東京大学)

近年の可視光広視野サーベイや、重力波望遠鏡などによるマルチメッセンジャー天文学の広がりにより、多種多様な変動天体が発見され、そのフォローアップ観測の重要性が増している。例えば、爆発直後の超新星爆発の明るさと色には親星の情報を含んでいると考えられ、フォローアップ多色測光観測をできる装置が求められている。また、電波の Fast Radio Burst (FRB) やマグネターなど高速変動天体に対して、可視光と他波長の光度変動を比較する研究も注目され始めている。そこで、我々はせいめい望遠鏡に取り付ける可視光3色同時撮像 CMOS カメラ (Tricolor CMOS Camera and Spectrograph: TriCCS) の開発を進めている。

TriCCS は以下の特徴を持った装置である。(1) 2枚のダイクロイックミラーを使った、可視光 *gri* の3バンド同時撮像装置である。別途開発中の近赤外線撮像装置と接続すると、最大5バンド同時撮像観測が可能となる。(2) 検出器に CMOS センサを使うことで、約 100 Hz での高速画像読み出しが可能である。(3) 東アジア最大口径 (3.8 m) かつ短時間で指向可能なせいめい望遠鏡に接続することで、暗い天体の即時フォローアップ観測が可能である。(4) アップグレードとして、 $R \sim 800$  の可視光分光機能が追加される予定である。

TriCCS のピクセルスケールは設計値で 0.34 arcsec / pixel、視野は  $11.3 \times 6.4$  arcmin である。限界等級は 1 秒積分で 19 mag 程度、10 分積分で 22 mag 程度 (どちらも  $10 \sigma$ ) となる見込みである。TriCCS 光学系はすでに完成し、現在は撮像モードの試験観測に向けて周辺機器の準備を進めている。本講演では TriCCS の概要と現在の装置ステータスを紹介する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

## V208a 1.8m 軸外し望遠鏡 PLANETS の開発状況

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 2021 年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。本研究では京都大、名古屋大と共同で開発を進めている望遠鏡と架台について、特に主鏡支持機構の設計と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 CLEARCERAM-Z HS である。軸方向支持構造には 36 点支持の whiffletree を採用し、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。軸方向支持構造の 1/3 に相当する whiffletree の試験器を用いて、支持点に組み込んだロードセルにより支持力制御の時間安定性と再現性を検証する試験を行った。その結果、各支持点の支持力 100 から 200N に対して生じる制御ヒステリシスは 0.1N 以下となり、支持力の変化による主鏡の変形を十分小さく抑えられることがわかった。本講演では、有限要素法を用いて検証した 24 点ラテラル支持機構の評価や、3.8m せいめい望遠鏡の技術を活かした光学系支持構造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](#)

## V209a EMCCD によるスペックル撮像データからの物体像最尤推定

鹿田諒太, 桑村進, 三浦則明 (北見工大), 馬場直志 (北大)

大気揺らぎによって劣化した天体像は、狭帯域かつ短時間露光において、その点広がり関数 (PSF) がスペックル状となり、空間周波数成分が回折限界の遮断周波数に至るまで非零の値を保つ。これにより、スペックル像から回折限界像の回復が可能となる。暗い天体像を狭帯域かつ短時間露光で撮影するには、光電子を増倍する必要があり、このため現在では、電子増倍型 CCD (EMCCD) がスペックル撮像に多く使用されている。通常の CCD で得られるデータはポアソン分布に従うが、EMCCD の場合、増倍後のデータはポアソン分布から外れ、データの雑音対信号比 (NSR) は増倍前の約 1.4 倍になってしまう。EMCCD によるスペックルデータから物体像を推定する場合、この点を考慮する必要がある。

本研究では、EMCCD の雑音統計モデルに基づく最尤推定法により、EMCCD によるスペックルデータから物体像推定を行うアルゴリズムを開発する。我々の EMCCD 雑音モデルでは、CCD 部で発生する暗電荷、電子増倍による雑音指数、検出器応答関数、読み出し雑音を考慮に入れている。また、増倍後の電荷数分布としてガンマ分布を仮定している。我々のアルゴリズムでは、尤度関数を最大化するような物体像画素値と瞳面上の波面位相を反復的に推定する。尤度関数値は、EMCCD データの確率分布の特性関数表式から数値的に求める。しかし、尤度関数を最大化するパラメータ値を直接推定するのは通常困難とされているので、今回我々は、EMCCD データから劣化光学像をまず最尤推定し、それから未知パラメータ値を推定する間接的手法を検討した。また、再生像の信頼性を高めるため、アルゴリズムのマルチフレーム化を行った。本講演では、連星のシミュレーションデータおよび観測データを用いた本方法による処理結果を報告する予定である。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

## V210a Development of micro-mirror slicer integral field spectroscopy for high-resolution solar observations

末松芳法 (国立天文台), C. Dominguez, A. Mato, M. Collados (IAC)

The optical design of the IFU with an image slicer employing only reflective optics was made for GRIS (GREGOR Infrared Spectrograph) at GREGOR. A diffraction-limited resolution of 1.5-m aperture GREGOR at the wavelength  $1.56 \mu\text{m}$  is 0.26 arcsec and the solar image formed on the slit plane with image scale of 0.13 arcsec per 35 mm. Then as a guideline, we tried to design the IFU in which a slicing mirror is 35  $\mu\text{m}$  wide and a collimator and camera mirror refocus the slicer without changing the image scale. As a result, we come to a stack of 16 narrow slicers of 35  $\mu\text{m}$  wide and 1.176 mm long; each 8 set of slicers is re-focused as two set of pseudo-slits. Each flat mirror slicer is set at a different angle so that the diverging beam from each slicer exits in two columns of collimator mirror array. Each beam is then reflected to a corresponding camera mirror and a following folding mirror. The overall effect is to rearrange the rectangular field of  $2.1 \times 4.4 \text{ arcsec}^2$  into two sets of a long thin field made up of all the slices arranged end to end, which forms two entrance slits of the spectrograph. It should be noted that the collimator and camera mirrors are oversized in the direction of diffraction to pick up a main lobe of diffracted beam in the longest observation wavelength of  $1.56 \mu\text{m}$ , reducing amount of the light vignetted by the collimator and camera mirrors. We present the optical design and the performance of manufactured thin metallic mirror slicers.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

## V211a 大型低温重力波望遠鏡 KAGRA における迷光雑音の対策 II

阿久津智忠, 平田直篤, 佐藤直久, 高橋竜太郎, 正田亜八香, 大淵喜之, 浦口史寛, 池之上文吾, 都築俊宏, 齊藤栄, 清水莉沙, 福嶋美津広, 麻生洋一, 鷺見貴生 (国立天文台), 苔山圭以子, 宮川治, 上泉眞裕, 中野雅之, 三代木伸二, 牛場崇文, 横澤孝章 (東大), KAGRA collaboration

大型低温重力波望遠鏡 KAGRA は、岐阜県神岡の地下にある基線長 3 km のレーザー干渉計である。微弱な重力波を地上の検出器でとらえるためには、あらゆる雑音源を想定して対策を施さねばならない。たとえば、干渉計を構成する鏡の地面振動によるゆらぎも雑音となるため、KAGRA では干渉計を地面振動の小さな神岡の地下に設置し、かつ多段の防振系を用いることで対策している。また、鏡の熱雑音によるゆらぎも問題となるため、メインの鏡を 20K 付近まで冷却する。これらの雑音源はいわば原理的なもので、その対策は望遠鏡の仕様そのものであるが、いっぽう、実装後の実際の運用上に問題になるのが迷光雑音である。

重力波望遠鏡における迷光雑音は、いまだ解明されていない点が多く、世界的な重力波望遠鏡 (アメリカの LIGO や欧州の Virgo など) でも、性能向上をはばむ課題の 1 つとなっている。また、世界でいくつか提案されている次世代の重力波望遠鏡計画においても必ず問題となるであろうことが認識されている。一般に重力波望遠鏡における迷光雑音は、主光軸に再結合してくる迷光の量のみならず、その相対位相の揺らぎが原因であり、特に後者を低減するために、バッフルだけでなく光検出器にまでも防振が必要になる。

KAGRA でも迷光対策のため、光学バッフルやダンブはもちろん、いくつかの光学素子にはこのための防振機構を用意している。本講演では、今年春の KAGRA の観測運転の直前に行われた迷光対策や、観測中に直面した問題をふまえ、今後の対策や現行物のアップグレードの予定について報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

## V212a むりかぶし望遠鏡/MITSuME を用いた Starlink DarkSat の等級の評価

堀内 貴史, 花山 秀和, 大石 雅寿 (国立天文台)

アメリカ合衆国のスペース X 社は 2019 年 5 月より Starlink 衛星の打ち上げを開始し、2020 年中頃までに総数約 12,000 基の運用を計画している。近年、それら Starlink 衛星の太陽光の反射による観測研究、天体画像などへの影響が指摘されている。Starlink 衛星の中にはアンテナ部分が黒色で塗装され反射光を低減させた試験機、DarkSat (Starlink-1130) があり、先行研究による等級の評価から影響が定量的に議論されている。しかしながら、多色かつ同時撮像による DarkSat などの Starlink 衛星の等級評価は報告されておらず、これを遂行することは観測研究への影響をより詳しく検証する上で重要である。

本研究では石垣島天文台の口径 105cm むりかぶし望遠鏡/MITSuME による DarkSat の観測を行い、3 バンド同時にその等級を評価した。MITSuME は Apogee 社 (現 Andor 社) 製の 3 つの CCD カメラを搭載しており 3 色同時撮像 ( $g'$ ,  $R_c$ ,  $I_c$  バンド) を可能にしている。DarkSat の観測可能日時・位置の調査には Heavensat を、等級評価に必要な天球面上の移動速度は HORIZONS Web-Interface での予報値を用いた。また衛星の CCD 画像は線分として撮影されるため、DS9 を用いた矩形測光により等級を測定する。DarkSat の観測は 2020 年 4 月 10 日及び、5 月 18 日に行うことができ、 $g'$ ,  $R_c$ ,  $I_c$  バンドそれぞれの等級は  $7.01 \pm 0.20$ ,  $7.20 \pm 0.15$ ,  $6.90 \pm 0.20$  mag (4 月 10 日),  $7.66 \pm 0.13$ ,  $7.33 \pm 0.09$ ,  $6.93 \pm 0.09$  mag (5 月 18 日) となった。測光精度の比較的高い 5 月 18 日に関しては、 $g'$  バンドの等級は先行研究で見積もられた値と同程度である。2020 年 6 月には庇が装着され、さらに反射光が低減される VisorSat が打ち上げられた。本研究で今後 DarkSat, VisorSat, 及びその他の Starlink 衛星との等級を比較し、観測研究に与える影響を引き続き検証する。

[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](#)

## V213a SPICA(次世代赤外線天文衛星): 日欧共同推進による概念検討・設計の進捗

山村一誠 (ISAS/JAXA), 金田英宏 (名古屋大, ISAS/JAXA), 小川博之, 中川貴雄, 松原英雄, 山田 亨 (ISAS/JAXA), 芝井 広 (大阪大), 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 10–350  $\mu\text{m}$  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) が搭載される。2020 年代後期の打上げを目指し、衛星寿命 5 年以上を目標に運用を行う。

SPICA は、欧州では ESA Cosmic Vision 中型クラス 5 号機の枠組みで、日本では JAXA 戦略的中型宇宙科学ミッションの枠組みの中で概念検討・設計が行われている。2020 年 4–6 月に、ESA 側の Mission Consolidation Review (MCR) が行われた。日本の SPICA チームは、担当するペイロードモジュール (PLM) の極低温冷却システム (CRYO)、および SMI について技術的検討の結果を提出し、ESA が担当するサービスモジュールと望遠鏡、また SAFARI, B-BOP を含めた衛星システムとしての成立性を確認した。この結果を基に、さらに概念検討・設計を続け、2021 年 3,4 月に予定されている M5 最終選抜審査 (Mission Selection Review; MSR) へ臨む。SPICA に必要な技術要素の開発も引き続き進めている。

科学研究検討では、ESA の組織する Science Study Team と分野ごとの Working Group に対応して、日本側では SPICA 研究推進委員会とサイエンス検討班が、多数の研究者の参加を得て活発に活動を進めており、MSR に提出する Yellow Book の完成に向けて SPICA の科学的価値をアピールしていく。

本講演では、SPICA の全体的な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](#)

## V214a SPICA 搭載中間赤外線観測装置: ESA 審査に基づく概念検討・設計の進捗

○大藪進喜 (徳島大学), 金田英宏 (名古屋大学, ISAS/JAXA), 和田武彦, 石原大助, 長勢晃一, 内山瑞穂, 伊藤哲司 (ISAS/JAXA), 國生拓摩, 平原靖大 (名古屋大学), 前嶋宏志 (東京大学, ISAS/JAXA), 笠羽康正, 坂野井健 (東北大学), 鈴木仁研, 中川貴雄, 松原英雄, 山岸光義 (ISAS/JAXA), Shiang-Yu Wang, 大山 陽一 (ASIAA), 他 SMI コンソーシアム

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  $\lambda = 10\text{--}36 \mu\text{m}$  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 の開発を担当し、2021 年春の ESA Cosmic Vision M5 の最終選抜に向けて、開発・検討を進めている。

2020 年 4–6 月に、ESA 側での Mission Consolidation Review (MCR) が行われ、MCR での議論に伴い観測装置設計の最適化を進めている。これらに加え、SMI 要素検討・開発として、検出器キャリアの熱構造設計の見直し、HR 用 Si:As 検出器メーカーの変更を行った。さらに光学素子については、自由曲面鏡、KRS-5 プリズム、CdZnTe 材料の光学特性の評価を進めている。観測装置のエレクトロニクス開発では、低温バッファアンプの冷却環境下における動作試験を進めるとともに、常温回路のブレッドボードモデルの開発を行っている。Beam Steering Mirror 開発に関しては、SAFARI チームとの議論を開始した。加えて観測時間を見積もるための Time Estimator のアップデートを実施し、サイエンス検討をサポートする活動も行っている。

[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](#)

## V215a 次世代赤外線天文衛星 SPICA: 極低温冷却システムの熱構造の詳細検討

○鈴木仁研, 中川貴雄, 小川博之, 篠崎慶亮, 竹内伸介, 内田英樹, 後藤健, 西城大, 佐藤洋一, 澤田健一郎, 東谷千比呂, 松原英雄, 松本純, 水谷忠均, 山田亨, 山村一誠 (JAXA), 芝井広 (大阪大)

SPICA の最大の技術的な特徴は、超高感度の赤外線観測を実現するために、口径 2.5 m の望遠鏡を含む観測装置全体 (Science Instrument Assembly, SIA) を 8 K 以下の極低温に冷却することである。SPICA は、ミッション部 (Payload Module, PLM) とバス部から構成される。PLM は、SIA と極低温冷却システム (Cryogenic Assembly, CRYO) から成り、CRYO が SPICA の技術的な成否の鍵を握る。

ESA Cosmic Vision M5 候補ミッションとして、一つのミッションベースラインの確立を確認する Mission Consolidation Review (MCR) が実施中である。これに向け、SPICA の成立性や実現性を高めるため、望遠鏡を縦置き (望遠鏡光軸が衛星機軸方向と平行) に配置した SIA 構成をベースラインとし、縦置き構成に対応する CRYO の熱・構造の詳細な検討を行った。特に注目すべき点は、1) 機械式冷凍機の冷凍能力と寿命の要求への成立性、2) 熱・質量要求を満たす熱・構造設計の成立性、および、3) PLM の試験検証の成立性である。

検討の結果、1) 観測装置を冷却するための 1.8 K 温度ステージの冷凍能力の向上 (~30%) が必要、スターリング冷凍機が冷却システム全体の寿命を決めており、長寿命化 (5 年) が必要、2) CRYO の質量削減 (~5%) が必要、3) PLM の試験において、フライト時の性能が予測可能な試験検証方法の具体化が必要であることが分かった。こうした課題点に対する具体的な解決の道筋を MCR で確立する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

## V216a 小型 JASMINE 計画の全体的概況

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 (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), 河原 創 (東大), ほか JASMINE チーム, exo-JASMINE チーム一同

小型 JASMINE は、2019 年 5 月に JAXA 宇宙科学研究所により、公募型小型計画 3 号機の唯一の候補として選ばれた。2020 年代中頃の打上げを目標とし、JAXA での開発フェーズの段階的アップを目指してプロジェクトを推進している。小型 JASMINE の科学目標は次の 3 つである。1. 赤外線による超高精度位置天文観測により、距離 2 万 6 千光年に位置する星の距離と運動を測定し、天の川銀河の中心核構造と形成史を明らかにする、2. 太陽系や惑星をもつ星の移動を引き起こす原因となる銀河構造の進化の過程を明らかにし、人類誕生にも関わる天の川銀河全体の形成史を探求する、3. 位置天文観測で達成される高精度な測光能力を活かした時間軸天文観測により、生命居住可能領域にある地球に似た惑星を探査する。これらの科学目標を達成するために、星の年周視差、固有運動等の必要な物理情報をカタログとして作成し、世界の研究者へ公開する。銀河中心核バルジ方向の 12,000 個程度の星に対して年周視差を  $25\mu$  秒角以内の精度 (固有運動精度は  $25\mu$  秒角/年以内) で、さらに 8 万 6 千個程度の星に対して、 $125\mu$  秒角/年 以内の固有運動精度で測定する。また、小型 JASMINE の測光能力を活かし、トランジット手法により低温星周りの生命居住可能領域にある地球型惑星を探査する。小型 JASMINE の実現を目指して、科学検討、および観測装置とデータ解析ソフトウェアの開発を進めている。科学検討に関する国内外での検討状況 (特に、国立天文台科学戦略委員会のもとに設置された「小型 JASMINE ワーキンググループ」での活動)、そして装置開発に対する米国チームとの国際協力の推進状況等、最近の全体的状況を報告する。

[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](#)

## V217a 星の高精度位置測定を行う JASMINE における実証実験

矢野太平, 郷田直輝, 上田暁俊, 辰巳大輔, 三好 真, 鹿島伸悟 (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、日本で開発を進めている位置天文観測衛星である小型 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。

まず、第一段階として、本当に星の高精度位置決定ができるのかという原理実証をおこなった。すなわち、1 列に並んだ疑似星像の 2 星間距離に着目し、検出器や光学系に備わる系統誤差を観測データから抽出し、撮像した枚数に応じて所定の割合で測定精度が向上することを確認できた。次に、より一般性を高めるため、2 つの星の距離という 1 次元に限定しコントロールされた状況から一歩進めて、検出器面の 2 次元面に存在する星の位置情報から互いの星の位置関係を導出する解析手法の開発および地上実験データを用いた実証を進めている。本公演ではこれまでの実験も含め整理して報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

## V218a 小型 JASMINE 衛星の要素技術検証 VI

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。予備的な解析を終え、熱数学モデル上で精密熱制御の為の条件設定を行っている。フィルタはテストピースの試作において良好な特性を示したため、エンジニアリングモデル相当品を作製しその特性評価を行っている。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。望遠鏡ジオメトリの計測は、フォトグラメトリの手法で行う予定であり、その方法の検証と高精度化を並行して進めている。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](#)

## V219a 小型 JASMINE の解析ソフトウェアの詳細化

山田 良透(京都大学), Wolfgang Löffler(ARI Heidelberg), 郷田 直輝(国立天文台), 矢野太平(国立天文台), 辰巳大輔(国立天文台), 片坐宏一(宇宙科学研究所), 吉岡諭(海洋大)

小型 JASMINE は現在公募型小型3号機の Pre Phase A2 にいるが、2019 年春に PrePhase A2 終了審査を通過し、2021 年内くらいには  $\Delta$ 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。これまで、基本的な要素プログラムの構築とパイプラインの実装を終了している。

位置天文解析では、誤差要因のモデル化を行って誤差を除去することが重要である。そこで、現在、より現実的な誤差を取り入れたシミュレーションと精度評価を行うための、プログラムの改良を進めている。ここ数カ月間で、WFIRST など他のミッションのために評価された検出器のノイズに関する評価の論文が出ており、これらを精査し、シミュレーションに取り入れることは、精度評価にとって重要である。本公演では、その進捗状況について報告する。

本講演では、開発状況と結果を報告する。

[スケジュール\(セッション毎\)に戻る](#)

[スケジュール\(全体\)に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

## V220a 高コントラスト観測システムテストベッド EXIST の開発

米田謙太, 村上尚史, 一圓光, 小池隆太, 須藤星路(北海道大), 西川淳(国立天文台/総研大/アストロバイオロジーセンター)

地球型系外惑星の直接観測を目指し、HabEx や LUVOIR などのスペースミッションが提案されている。系外惑星の直接観測には、明るい恒星光を除去する高コントラスト観測システムが必要である。高コントラスト観測システムは主に、コロナグラフとダークホール技術から構成される。コロナグラフは、恒星回折光を除去する技術である。また、ダークホール技術は、波面乱れが原因で生じるスペckル状の恒星散乱光を、波面制御によって除去する技術である(恒星散乱光が除去された観測領域を、ダークホールと呼ぶ)。我々は、独自の高コントラスト観測システムテストベッド EXIST (EXoplanet Imaging System Testbed) の開発を進めている。

テストベッド EXIST では、複数のタイプのコロナグラフの開発や、空間光変調器 (SLM) を用いたダークホール技術の開発などを旨とする。SLM の特長は、ダークホール技術開発に一般的に用いられる可変形鏡 (DM) に比べ、制御素子数が圧倒的に多いことである。この特長により、恒星の近傍から遠方にわたる広範囲でのダークホール形成が可能となる。我々は EXIST において、将来の多素子 DM を想定した技術開発を目指すとともに、SLM を用いた実観測の可能性についても追及する。現在、SLM の特長を活かした二つの要素技術の開発を行っている。一つは、印刷手法のハーフトーンの考え方を応用した、より高いコントラストを目指したダークホール技術である。もう一つは、広範囲ダークホール技術を応用した、連星系における系外惑星観測技術である。本講演では、テストベッド EXIST の開発状況、特に二つの要素技術の計算機シミュレーションによる原理実証について報告する。

[スケジュール\(セッション毎\)に戻る](#)

[スケジュール\(全体\)に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

## V221a PIXY2 を用いたスペースデブリ自動検出システムの開発

畠山拓也, 日南川英明, 秋山祐貴, 中村信一 (宇宙航空研究開発機構)

近年、宇宙開発が進むにつれて、スペースデブリが問題となっている。スペースデブリとは、運用終了した人工衛星や使用済みロケットの上段機体及びそれらの破片等を総称したものである。これらは、地球の周りを秒速 7km 以上の速さで飛びまわり、ひとたび運用中の宇宙機に衝突すると甚大な被害をもたらす。スペースデブリの脅威から宇宙機を守るため、その軌道を正確に把握する必要があり、『それらは』宇宙状況把握 (SSA; Space Situational Awareness) と呼ばれる。

宇宙航空研究開発機構 (JAXA) では、静止軌道帯のスペースデブリの軌道を把握するため、岡山県の美星スペースガードセンター (BSGC) に設置した光学望遠鏡を用いて日々観測を行っている。この BSGC は、国内唯一のスペースデブリ観測専用局である。一方、単局の観測では、天候や地理的要因、観測リソースの観点で十分な量の観測データは得られない。この課題に対して、JAXA では利用可能な光学観測データを拡張する、スペースデブリ自動検出システムの開発に着手した。スペースデブリ自動検出システムでは、光学画像から星とその他の天体を識別するため、天体画像自動検査システム PIXY2 (Practical Image eXamination and Inner-objects Identification system Version 2) を採用し、更にスペースデブリ検出の機能を付加する事で、光学画像からスペースデブリの検出を可能とした。このシステムを利用する事で、天文観測を目的とした光学画像から偶然写り込んだスペースデブリを発見する事ができ、『利用可能な観測データ数を飛躍的に向上させることができる』。

本講演では、システムの詳細な紹介および開発状況を報告する。また、天文観測を目的とした画像データ (サーベイデータ含む) 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](#)

## V301a 微小ピクセル CMOS センサによる X 線検出データ処理システムの開発

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 線撮像系 Multi Imaging X-ray Interferometer Module (MIXIM) を開発している。MIXIM では位置分解能が高く、光子ごとのエネルギー測定も可能な X 線検出器を用いることが必須である。我々は、可視光用にデザインされた微小ピクセル CMOS 検出器に着目し、X 線検出に流用することにした。その中でもグローバルシャッター搭載としては最小である  $2.5\ \mu\text{m}$  のピクセルサイズを持つ Gpixel 社 GMAX0505 が、常温動作で  $176\ \text{eV}@5.9\ \text{keV}$  というエネルギー分解能をもつことを見出し (Asakura et al., JATIS, 2019)、これを MIXIM の検出器として利用している。これにより、天文用 X 線撮像系として世界最高の  $0.1$  秒角をきる 2 次元撮像にも成功している (朝倉他、2020 年春季年会)。

ただし、これまでの地上実験で用いた Gpixel 社提供の評価ボードは、動作制約が大きく、将来の衛星搭載にも直結しない。そこで、ロケット実験などを想定したシマフジ電機製 ZDAQ ボードを用いたカメラ読み出しシステム (Ishikawa et al. 2018) に基づき、GMAX0505 専用駆動システムの開発を開始した (佐久間他、2020 年春季年会)。本講演では、まず、ZDAQ ボードと GMAX 専用ヘッドを合わせた駆動システム動作試験の状況を報告する。最終的に、ダークレベル推定、差し引き、X 線イベント検出、バックグラウンド除去といったデータ処理まで組み込むことを目標としている。X 線 CCD のデータ処理を基本にアルゴリズムを構築し、データ処理をしたところ、ダークレベルの変動に関し、CCD では見られない挙動を示すピクセルがあることがわかった。その特徴を考慮し、最適なダークレベル推定、差し引きのアルゴリズムを再検討している。この検討結果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](#)

## V302a 多重化コード化マスクの導入による MIXIM の有効面積拡大

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, 花岡真帆, 服部兼吾, 澤上拳明, 松下友亮, 峯田大靖, 松本浩典 (阪大)

我々は、格子とピクセル検出器を組み合わせた構成で、新たな原理の X 線撮像システム、多重像 X 線干渉計 (MIXIM; Multi Image X-ray Interferometer Module(Method,Mission)) を発案し、その実用化に向けた開発を進めている。放射光施設 SPring-8 BL20B2 における X 線照射実験の結果はこれまでの年会で報告してきたが、2020 年春季年会では、2 つの 1 次元格子を直交させた 2 次元格子にし、格子と検出器の距離を  $867\ \text{cm}$  に伸ばして  $12.4\ \text{keV}$  の単色光を撮像し、 $0.1$  秒角をきる像幅の 2 次元撮像を達成したことを報告した。これは天文用 X 線撮像システムとしては世界最高の分解能である。

MIXIM はタルボ干渉効果を利用するものの、基本原理はレンズを用いないスリットカメラ、ピンホールカメラと同じであるため、装置の有効面積は、検出器の幾何学面積、検出効率、格子の開口率で決まる。開口率  $0.2$  の格子を 2 枚直交させると開口率は  $0.04$  となり、集光力を持たない MIXIM にとって、この有効面積の減少は甚大である。そこで、我々は、単純なスリットやピンホールを用いた格子のかわりに、コード化マスクパターンを周期的に並べた多重化コード化マスクを発案、4 種類を実際に製作した。 $12.5\ \mu\text{m}$  周期の  $5 \times 5$  パターン 3 種類と  $27.5\ \mu\text{m}$  周期の  $11 \times 11$  パターン 1 種類で、設計上の開口率はおよそ  $0.5$  である。2020 年 2 月に、同じく BL20B2 で X 線照射実験を行い、このような複雑なパターンに対してもタルボ干渉像が得られることを、はじめて実証した。この実験結果を、入射 X 線エネルギーに対するコントラストの依存性や開口率の実測値、コード化パターンに対する像の再合成の試み、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](#)

### V303a CMOS イメージセンサを用いた硬 X 線撮像偏光計の開発 III

畠内康輔, 春日知明, 丹波翼, 高嶋聡, 鈴木寛大, 渡邊泰平, 南木宙斗, 谷本敦, 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 線帯域の偏光観測は、天体の磁場や散乱体の構造の強力な観測手段であり、ブラックホール周辺の時空構造や中性子星表面付近の強磁場環境、粒子加速メカニズムの解明に不可欠な情報を提供する。IXPE 衛星 (2021 年) や *PoGO+* (Chauvin et al. 2017) 等のミッションにより、X 線偏光観測の時代が始まろうとしているが、非熱的放射が卓越し、光子フラックスが十分な 10 – 30 keV 帯域における撮像を含めた偏光観測は実現の目処が立っていない。我々はこの 10 – 30 keV の帯域を狙い、2.5  $\mu\text{m}$  ピクセルサイズの半導体検出器を用いた撮像偏光計を開発している (小高 19 秋, 畠内 20 春)。偏光測定には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利用し、撮像系には符号化開口マスクを使用する。

2020 年春季年会では、昨年 11 月に SPring-8 の 10, 16, 24 keV の硬 X 線ビームを用いて実施した、偏光観測評価実験について速報した。本講演ではその詳細な解析結果を報告する。本研究では先行研究 (Asakura et al. 2019) より低い 10 keV のエネルギーでも、偏光観測が可能であることを確認した。詳細解析では、検出素子全面での無偏光ビームに対する角度応答を確認し、検出面上で場所ごとの不均一性がないことを確認した。またビームなし測定データを使用し、各ピクセルの検出器ノイズレベル評価や解析に使用するピクセル選定を行った。これらは検出器の特性を理解し、正確な空間分解偏光解析を行うために必要不可欠である。さらに、SPring-8 で同時に行った符号化開口マスクの撮像実験の結果を報告し、現在開発・試験中の、新しい読み出し系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](#)

### V304a 湾曲 Si 結晶を用いたブラッグ反射型偏光計の分光性能評価

井上諒大, 芳野史弥, 塚田晃大, 坪井陽子, 岩切渉 (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には、これまでにかに星雲のみしか成功しておらず、未開拓領域として残されている。例えば、ブラックホール近傍の幾何構造は、降着円盤からの偏光 X 線を高い分解能で分光観測することにより解明されること、などが期待されている。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 ( $\sim 10$  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) から成る反射鏡と、焦点付近に位置した X 線イメージセンサからなる、50 cm 立方程度の光学系を考案し、開発を行っている。ブラッグ反射は、反射する X 線のエネルギーと反射角が 1 対 1 で対応しているため、平面の結晶では分光観測を行うことができない。そこで、我々の反射鏡は 9 枚の台形の結晶を 1 つの回転放物面形状に成型し、焦点からイメージセンサをずらすことにより、エネルギーごとの検出位置の違いから分光観測をすることが可能となっている。また、その原理から、焦点からイメージセンサをずらした距離  $d$  によってエネルギー分解能が変化する。本研究では、宇宙科学研究所の標準 X 線ビームラインにおいて鉄ターゲットを用いて反射鏡に X 線を照射し、 $-10 \leq d \leq 40$  mm の範囲で分光性能評価を行なった。その結果、検出された Fe-K $\alpha$  と Fe-K $\beta$  間の距離は  $0.19 \times d$  mm となり、この式とエネルギー差から、エネルギー分解能は  $\Delta E/E = 5.6/|d|$  % @ 6.4 keV となる、という結論が得られた。実際に、 $d = 40$  mm において Fe-K $\alpha$ 1 と Fe-K $\alpha$ 2 (13 eV 差) を分離して検出することに成功した。この際の Fe-K $\alpha$ 1 の FWHM は 0.1 mm であった。今回の実験により、我々の反射鏡は偏光測定能力と同時に、高い分光能力 (0.14% @  $d = 40$  mm) を持ち得ることを実証した。これは、高い分光性能を持つ X 線検出器である、マイクロカロリメータに匹敵する性能である。

[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](#)

### V305a 硬X線偏光観測実験XL-Calibur 気球の2022年フライトへ向けた準備状況

高橋弘充、内田和海、内田悠介、深沢泰司、水野恒史 (広島大学)、林田清、松本浩典、常深博 (大阪大学)、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)、栗木久光 (愛媛大学)、石橋和紀 (名古屋大学)、北口貴雄、玉川徹、榎戸輝揚 (理化学研究所)、内山慶祐、武田朋志、吉田勇登 (東京理科大学)、郡司修一 (山形大学)、Henric Krawczynski (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、林多佳由 (NASA)、Mark Pearce (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。今回は日本製の大型 FFAST 望遠鏡を搭載した XL-Calibur 実験を、2022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。望遠鏡の他にも、CZT 検出器の厚みを2mmから0.8mmへと硬X線に最適化し、シールド部の回路定数を調整して不感時間を低減させるなどして、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 SPring-8 放射光を用いて反射鏡の位置調整を行っている。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](#)

### V306a 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軟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、山口友洋、柏倉一斗、田原譲 (名古屋大)、郡司修一、渡邊瑛理、寺島政伸、斎藤耀 (山形大)、林田清、朝倉一統 (大阪大)、内山慶祐 (東理大/理研)、岩切渉 (中央大)、Martin Weisskopf, Brian Ramsey, Stephen O' Dell (NASA/MSFC), Paolo Soffitta (IAPS), Luca Baldini (INFN), 他 IXPE チーム

Imaging X-ray Polarimetry Explorer (IXPE 衛星) は2021年に打ち上げ予定の2-10 keV 帯域の高感度軟X線偏光撮像衛星で、米伊日の国際協力で進められ、フライト品は全て米国に集まり、まもなく衛星へのインテグレーションが開始される。日本からはハードウェア提供に加え、専用の観測シミュレーター (ixpeobssim) を用いて打ち上げ前の解析手法の確立に貢献している。ixpeobssim は観測予想天体の偏光を含む物理情報を予め設定し、予想される装置の応答を考慮して擬似観測を行える。出力データ解析にはストークスパラメータを用い、任意の範囲でストークス Q, U の値を測定することで空間分解して解析できる。この手法をX線でも明るいかに星雲を想定した観測結果に適用した。春季年会では、過去の PoGO+ と OSO-8 の観測結果に基づいて、X線トーラスの内外の方位角をそれぞれ 124 deg、156 deg、偏光度 19 % は共通としたモデルで擬似観測を行い、パルサーの座標を中心にトーラスに沿ってドーナツ状に切り抜いた際の結果を報告した。今回はより現実的な 100 ksec で擬似観測を行い、イベント数の約 40 % を削除してパルサーの影響を除き星雲の偏光情報を再現できた。また超新星残骸の空間分解とスペクトル解析を合わせた偏光解析手法も検討している。本講演では IXPE の開発状況と、より現実的な状況での解析結果の報告、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](#)

### V307a 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 (7)

山口友洋, 瀧川歩, 柏倉一斗, 三石郁之, 田原謙, 大西崇文, 立花一志 (名古屋大学), 宮田喜久子 (名城大学), 田村啓輔 (NASA/GSFC, UMBC), 玉川徹 (理研), 立花正満, 村島健介 (株式会社カネカ)

NASA/MSFC が主導する X 線偏光観測衛星 IXPE は、2021 年に打ち上げが予定されている。我々は IXPE 搭載 X 線望遠鏡の軌道上での温度環境維持のため、あすか、すざく、ひとみ衛星と同タイプの受動型熱制御素子であるサーマルシールドを開発している。サーマルシールドの実体は、シールド本体のアルミ薄膜付きプラスチックフィルム、フィルムを支持するための金属メッシュおよび機械強度部材である金属棒からなる。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を 2018 年 5 月に NASA/MSFC に納品し、音響耐性をより高めたフライトモデルデザインへの評価までを完遂した。(三石他, 清水他, 二村他, 山口他, 日本天文学会 2017 年秋季年会, 2018 年春・秋季年会, 2019 年春・秋季年会, 2020 年春季年会)

その後我々はフライトモデル (FM) ユニットの製作を行い、スペア品を含めて計 12 台のサーマルシールドの納品を 2020 年 4 月に終えた。FM 品に対しても 110 °C で 12 時間のベーキングを施しており、軌道上で予想される熱負荷への耐性も熱サイクル試験 (−60 °C 40 分 ~ 110 °C 40 分, 4 サイクル) を行うことで確認している。本講演では FM 品製作の詳細と合わせて FM 品に対して行った各種キャリブレーション試験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](#)

### V308a 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 (3)

三石郁之, 柏倉一斗, 田原謙, 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), 土井聖将, 野本憲太郎, 小高大樹 (ウシオ電機株式会社 R&D 本部)

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 (~3Å 厚) にも関わらず耐熱性・機械強度に非常に優れたグラフェンに着目し、極端紫外から軟 X 線帯域において、超高透過率 (>95% @ 10–1000 eV) を実現しうる超薄膜光学素子の開発に着手した。これまで我々は転写工程の確立や緻密なアルミ成膜、音響試験や原子状酸素照射試験などを実施し、宇宙環境耐性評価試験を進めてきた (三石他, 中山他 日本天文学会 2020 年春季年会, 2019 年秋季年会)。現在は高性能化を図るため、より高い開口効率を実現するための基板デザインの検討、より大きなフリースタANDING面積を目指した新たな製作工程や複数層の検討を進めている。本講演では上記検討状況に加え、紫外線・X 線透過率評価試験や耐久性試験、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](#)

## V309a X線天文衛星 Athena 計画の現状

松本浩典 (大阪大), 山崎典子 (ISAS/JAXA), 満田和久 (国立天文台), 篠崎慶亮 (JAXA), 前田良知 (ISAS/JAXA), 栗木久光 (愛媛大), 坪井陽子 (中央大), 江副祐一郎 (都立大), 山口弘悦 (ISAS/JAXA), 佐藤浩介 (埼玉大), 中嶋大 (関東学院大), 深沢泰司 (広島大), 大橋隆哉 (都立大), 上田佳宏 (京大), 寺島雄一 (愛媛大), 太田直美 (奈良女子大), 馬場彩 (東大), 海老沢研 (ISAS/JAXA), 寺田幸功 (埼玉大), 鶴剛 (京大), 常深博 (大阪大)

European Space Agency が、大型衛星計画 2 号機として採択した Athena は、Silicon Pore Optics (SPO) に基づいた高角度分解能の超大型 X 線望遠鏡、高エネルギー分解能を誇る TES 型 X 線マイクロカロリメーター (X-IFU)、広視野の DEPFET 検出器 (WFI) を搭載し、大規模構造がどのように形成されたのか、巨大ブラックホールはどのように成長し周辺に影響を与えたか、という謎の観測的解明を目指す。2030 年代初頭の打ち上げを目指し、日米欧の国際協力で開発が行われている。2019 年 11 月に Mission Formulation Review をクリアし、Phase B がスタートした。2030 年代世界で唯一の大型 X 線天文衛星 Athena を成功に導くため、日本は ASTRO-H、XRISM 開発の経験を活かし、Athena 計画に参加する。特に、X 線マイクロカロリメーターの冷却系は、日本の参加が必須であり、ジュールトムソン冷凍機を始めとして、大きな貢献が期待されている。また、望遠鏡は X 線反射膜としてイリジウムを使用するが、イリジウムは  $E \sim 2$  keV に吸収端があるために、有効面積が減少する。この有効面積の減少を回復するため、我々は軽元素によるオーバーコートの研究を開始した。さらに、望遠鏡の迷光を削減するための軽量バッフルの開発研究を開始した。また、WFI の電源系の一部を日本が担当する可能性が浮上し、そのための基礎的な feasibility study を行った。本講演では Athena 計画の現状を説明する。

[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](#)

## V310a Athena 衛星に搭載する SPO 望遠鏡の DLC コーティング

芳野史弥, 坪井陽子, 岩切渉, 佐々木亮, 井上諒大 (中央大学), 前田良知 (JAXA/ISAS), Max Colton (cosine), 松本浩典 (大阪大学)

Athena (Advanced Telescope for High-Energy Astrophysics) は 2030 年代に ESA から打ち上げ予定の大型 X 線天文衛星である。Athena のミッションは (1) 宇宙の大規模構造がどのように形成されてきたか (2) 巨大ブラックホールがどのように成長してきたのか、の二つを X 線観測によって解明することである。Athena は X 線を集光する望遠鏡に Silicon Pore Optics (SPO) を搭載している。SPO とは、Ir コーティングした Si 基板を用いた、口径約 3 m、焦点距離 12 m の Wolter I 型望遠鏡である。この Si 基板を積層することで、角度分解能約 5 秒角、有効面積は 1 keV において  $1.4 \text{ m}^2$  を実現可能である。さらに、Ir 面上に 10 nm 以下の炭素膜をオーバーコートした二層膜にすることで積分反射率の向上を見込んでいる。当初炭素膜にはグラファイトを用いる計画だったが、SPO を化学洗浄する際にグラファイト膜が剥離してしまう問題が生じている。そこで代替素材として、グラファイトと同等の積分反射率を有しながら耐薬品性に優れる Diamond-Like Carbon が期待されている。

今回我々は中央大学プラズマ CVD 装置を用いて、10 nm 以下の DLC 薄膜を作成した。まず DLC を 10 nm 以下で蒸着できる成膜条件を見出すために、Si 基板上に DLC の蒸着を行った。AFM で膜厚を測定することで、 $\text{C}_2\text{H}_2$  ガスの流量を 10 SCCM、パルス電圧を 4 kV、蒸着時間を 2 分以下とすれば、膜厚を 10 nm 以下にできることがわかった。SPO に対しても同様の条件で蒸着を行い、膜厚 7.7 nm で表面粗さ (Ra) が 0.25 nm 及び膜厚 3.8 nm で Ra が 0.22 nm の DLC 薄膜の蒸着に成功した。さらに、作成した試料でラマン分光解析を行なった結果、DLC を由来とする  $1700 \sim 1100 \text{ cm}^{-1}$  にわたるブロードなピークを持つラマンスペクトルが得られた。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

### V311a 超小型 X 線衛星 NinjaSat に搭載のガス X 線検出器の開発

武田 朋志 (理科大/理研), 玉川 徹, 榎戸 輝揚, 北口 貴雄, 加藤 陽, 沼澤 正樹, 三原 建弘 (理研), 岩切 渉 (中央大), 内山 秀樹 (静岡大), 内山 慶祐, 吉田 勇登 (理科大/理研), 佐藤 宏樹 (芝浦工大/理研), Chin-Ping Hu (京都大), 高橋 弘充 (広島大), 小高 裕和 (東大)

我々は、明るい X 線天体の長期モニタや、全天 X 線監視装置 (MAXI) などが発見した明るい突発天体の追観測を主な目的とする、超小型 X 線衛星 NinjaSat の開発を行なっている。Sco X-1 をはじめとする明るい天体は、感度の良い大型衛星には明るすぎ、また長期にわたる観測も衛星運用上難しい。一方で、明るい天体であれば超小型衛星の限られた有効面積でも十分な統計が期待でき、長期観測も現実的なため、大型衛星に比べ格段に低コストかつ短期間で科学的成果を上げることが可能となる。衛星全体は 6U サイズ (30 cm × 20 cm × 10 cm) であり、視野角 2.3 度 (FWHM) のコリメーター、非撮像のガス X 線検出器、高電圧印加・アナログ信号処理ボード、及びデジタル信号処理ボードを収めたおよそ 10 cm 立方のサイエンスペイロードと、放射線帯モニターをそれぞれ 2 台ずつ搭載する。観測エネルギー帯域は 2-50 keV を想定しており、 $\mu\text{s}$  オーダーの時間分解能を持つ。

チェンバー部は直径 9.5 cm、高さ約 3.5 cm の円柱形で、内部に Xe/CO<sub>2</sub> = 95%/5% の混合ガスを 1.2 atm で封入する。光電効果により生じた電子は、ガス電子増幅フォイルで信号増幅され、直径 6.7 cm の円型電極から読み出される。電極は同心円状に内側と外側に分割されているため、X 線信号の読み出しに加え、飛跡の長い荷電粒子が入射した場合には、反同時計数法を用いることでバックグラウンドの低減が可能である。現在、チェンバー各要素のリークレートの確認、及び熱サイクル試験を行うのと並行して、センサー部に対する高電圧印加試験を進めている。本講演では、NinjaSat 衛星計画の概要と、ガス X 線検出器の開発状況について報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

### V312a 超小型 X 線衛星 NinjaSat に搭載の高電圧印加・アナログ信号処理ボードの開発

吉田勇登 (理科大/理研), 玉川徹, 榎戸輝揚, 北口貴雄, 加藤陽, 沼澤正樹, 三原建弘 (理研), 岩切渉 (中央大), 内山秀樹 (静岡大), 内山慶祐, 武田朋志 (理科大/理研), 佐藤宏樹 (芝浦工大/理研), Chin-Ping Hu (京都大), 高橋弘充 (広島大), 小高裕和 (東京大)

現在、我々は超小型 X 線衛星 NinjaSat の開発に取り組んでいる。NinjaSat は 30 cm × 20 cm × 10 cm の 6U 規格の衛星で、かに星雲やさそり座 X-1 の観測、全天 X 線監視装置 MAXI の発見した突発天体の追観測を目的としている。衛星にはガスと X 線の光電効果を利用するガス X 線検出器を 2 台搭載する。ガス X 線検出器は、光電効果によって生じる電子を、高電圧を利用した電子雪崩現象により増幅し、信号として検出する。NinjaSat では、高電圧印加とアナログ信号処理の役割を、大きさ 9 cm × 9 cm のフロントエンドカード (FEC) と呼ばれる 1 枚のボードが受け持つ。

FEC には素子の放射線耐性、安定した電圧印加、立ち上がり応答の速いアナログ信号処理が要求される。FEC に用いる素子は、若狭湾エネルギー研究センターで陽子を照射し地球低軌道 2 年分の耐性があることを確認した。高電圧印加は大きさ 1.27 cm 立方のモジュールを用いる。出力電圧は昇圧に伴う高周波数の電圧変動 (リップル) と温度特性による変動を持つ。電圧変動の許容値は 0.6% であり、出力電圧約 2 kV において、リップルは RC フィルタを用いて 0.2% 以下、温度特性による変動は運用温度範囲の 0~20°C で 0.4% で、許容値を満たす。アナログ信号処理は宇宙実績豊富な電荷アンプを用いる。X 線と荷電粒子の信号を、飛跡長に起因する信号の立ち上がり時間の違いを捉えることで区別するため、それぞれの信号の立ち上がり時間の 50 ns と 500 ns を区別できる電荷アンプを用いる。本講演では FEC の設計詳細、要素試験結果と製作したボードの性能評価について述べる。

[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](#)

### V313a 超小型X線衛星 Ninjasat に搭載のX線背景放射減衰シールドの最適化

佐藤宏樹(芝浦工大/理研), 玉川徹, 榎戸輝揚, 北口貴雄, 加藤陽, 沼澤正樹, 三原建弘(理研), 岩切渉(中央大), 内山秀樹(静岡大), 内山慶祐, 武田朋志, 吉田勇登(理科大/理研), Chin-Ping Hu(京成大), 高橋弘充(広島大), 小高裕和(東大)

現在、我々は超小型X線観測衛星 NinjaSat の開発に取り組んでいる。NinjaSat はかに星雲やさそり座 X-1 などの明るいX線天体の観測や、全天X線監視装置 MAXI が発見した突発天体の追観測を目的としている。サイエンスペイロードはガス電子増幅フォイルを用いたガスX線検出器とコリメータを組み合わせて構成される。チェンバーにはXe/CO<sub>2</sub> (95%/5%) の混合ガスを1.2 atm で封入し、観測エネルギー帯域は2-50 keV を想定している。衛星にはCubeSat の6U規格(30 cm×20 cm×10 cm)を採用し、サイエンスペイロードを2台搭載する。

X線検出器のバックグラウンドは、主に荷電粒子と宇宙X線背景放射(CXB)の2つに大別できる。荷電粒子は飛跡長が長いという性質を利用することで、光子イベントと比較的に容易に区別可能である。しかし、チェンバー外壁を透過して侵入するCXBと、視野内からのX線との区別は容易ではないため、CXBを遮蔽するシールドが必要となる。CXBによる影響とシールド設置の効果を調べるため、Geant4を用いたCXBシミュレーションを行った。シールドを設置しない場合、10 keV以下はチェンバー壁面(Al, 5.5 mm)により遮蔽されるが、Xe K吸収端(35 keV)以上のエネルギーを持つX線については、Xe K<sub>α</sub> エスケープイベントとなり、2-50keVの観測帯域に最も大きな影響を与えることがわかった。35 keV以上で光電効果の反応断面積が大きい重金属を選別し、質量150 g以内という制限の下、材質を変えてシミュレーションを行った。その結果、厚み1 mmの錫が最適であることがわかった。本講演では、シールドの最適化の結果、および実装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](#)

### V314a 超小型衛星 SONGS 搭載太陽中性子・ガンマ線検出器の積層プラスチックシンチレータ部の性能評価

宇佐見雅己、野橋大輝、山岡和貴、田島宏康(名古屋大)

本研究の目的は超小型衛星を用いて太陽中性子観測分野を開拓し、宇宙と地上の連携により太陽におけるイオンの加速機構に迫ることである。宇宙には超新星爆発、巨大ブラックホール近傍など様々な粒子加速源があることが知られており、地球に最も近い恒星である太陽でも、太陽フレアに伴ってイオンの加速が起きることが知られている。しかしながら、多くの波長帯で観測されている太陽でさえ、その加速機構はよくわかっていない。宇宙空間で太陽中性子観測を行うことにより、エネルギースペクトルを観測し、太陽フレアによるイオンの加速機構を解明する。そのために、太陽中性子観測用の超小型衛星を打ち上げるべく、検出器である積層プラスチックシンチレータの性能評価を行う。今回搭載予定の中性子検出器はプラスチックシンチレータの角棒を層状にして弾性散乱による反跳陽子の飛跡を捉え、同時にコンプトン散乱を利用してガンマ線を検出する原理である。中性子は太陽から来ていると仮定し、検出器で得られた反跳角とエネルギー損失からその入射エネルギーを決定する。プラスチックシンチレータの両側に光検出器としてSiPMを用いることにより、軽量小型化を実現しつつ、両側での光量の比から飛跡の位置を特定する。4 mm×4 mm×64 mmの1本について衛星搭載予定の集積回路(ASIC)を用いて評価し、60 keV起源のガンマ線の信号を検出した。複数本、多層に並べた時の影響を評価していく予定である。

本講演では、プラスチックシンチレータバーの両側読み出しによる位置依存性やスペクトルの確認、複数本のプラスチックシンチレータで実験を行った際の性能評価の結果について報告する。

[スケジュール\(セッション毎\)に戻る](#)

[スケジュール\(全体\)に戻る](#)

[講演者索引 TOPに戻る](#)

### V315a 突発天体位置決定に向けた超小型衛星 CAMELOT の開発現状

眞武寛人, 深沢泰司, 水野恒史, 高橋弘充, 内田悠介, 内田和海, 今澤遼, 廣瀬憲吾 (広島大学), 中澤知洋 (名古屋大学), 一戸悠人 (立教大学), 小高裕和 (東京大学), 榎戸輝揚 (理研), 大野雅功, Norbert Werner, Gábor Galgóczi (MTA-Eötvös University), András Pál, László Mészáros (Konkoly Observatory), Jakub Řípa (Charles University), CAMELOT team

3U サイズの超小型衛星 CAMELOT (Cubesats Applied for MEasuring and Localising Transients) はガンマ線バースト検出を目的とした、広島大学とハンガリーの研究機関との共同研究として開発を進めている衛星である。特に、重力波対応天体の同定を見据えたガンマ線バースト観測のため、従来の検出器が持ち合わせていなかった常に全天を観測しながらも、数十分角から度のスケールでの高い位置決定精度の両方を達成することが期待される。位置決定には triangulation 法を採用しており、複数機の衛星間で検出されたイベントのライトカーブから検出時間差を推定し、この時間差と衛星間の距離から位置を推定する。当衛星のガンマ線検出器は、超小型衛星のため低電圧であることと微弱な光量のために高いゲインが必要である。このため当衛星には小型でゲインの高い浜松ホトニクス社の Si-PM である MPPC (Multi-Pixel Photon Counters) と高エネルギーを検出できる無機シンチレータの CsI シンチレータを用いた検出器を搭載予定である。

広島大学ではこれまで MPPC の放射線耐性の性能評価を行ってきた。現在、気球実験に向けてプロトタイプの開発がほぼ完了し、キューブサットの打ち上げに向けたフライトモデルを開発中である。本講演では CAMELOT の開発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](#)

### V316a 地球磁気圏 X 線撮像計画 GEO-X (GEOspace X-ray imager) の現状 III

江副祐一郎 (都立大), 船瀬龍 (東京大), 永田晴紀 (北海道大), 三好由純 (名古屋大), 笠原慧 (東京大), 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, 藤本正樹, 川勝康弘, 岩田隆浩 (JAXA 宇宙研), 満田和久 (国立天文台), 平賀純子 (関西学院大), 小泉宏之 (東京大), 佐原宏典 (都立大), 金森義明 (東北大), 森下浩平 (九州大), 沼澤正樹 (理研) 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る (江副 天文月報 2018, Ezoe et al., 2018 JATIS など)。この X 線放射は月付近から見た場合、約  $10^\circ \times 20^\circ$  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 として活動しており、2022-25 年頃の打ち上げを目指している。

GEO-X 衛星は 12U CubeSat 約 20 kg に月付近までの高度に投入するための推進系 約 30 kg を加えて、合計約 50 kg の衛星とする。観測装置は 3U サイズと小型だが  $\phi 4$  deg の広視野によって、広がった軟 X 線に対する高い感度を実現する。Si 微細加工技術を用いた独自の超軽量望遠鏡の試作、CMOS センサの軟 X 線性能評価、可視光遮光フィルタの環境試験を実施し、良好な結果を得ており、EM 相当の観測装置製作に取りかかっている。衛星についても基礎検討を進めており、推進系も EM 相当品での燃焼試験を実施するなど順調に開発を進めている。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

## V317a 速報実証衛星 ARICA のプロジェクト進捗状況

渡辺智也, 段毛毛, 合摩裕貴, 畑泰代, 高橋暉, 坂本貴紀, 芹野素子 (青山学院大学), 榎戸輝揚, 和田有希 (理化学研究所), 谷津陽一 (東京工業大学)

AGU Remote Innovative Cubesat Alert system (ARICA) は民生用通信端末を用いて突発天体のための速報システムを構築し、機上運用実証を行う 1U CubeSat プロジェクトである。現行の速報システムでは観測衛星の周回軌道上に地上局を設置する方法や NASA のデータ中継衛星を利用する方法がとられている。しかし、これらの方法では多くの地上局設置やそもそも利用できるかという問題があり、小規模なプロジェクトでは困難である。そこで、我々は Iridium Communication 社と Globalstar 社の提供する二つの民生用衛星通信端末に注目した。これらが突発天体の速報システムとして適しているのかを実証することが ARICA の目的となる。また、コストと実現性を考慮し、宇宙空間での運用実証の手段として、超小型人工衛星 CubeSat (1U: 10cm 角) の導入に至った。ARICA は JAXA の革新的衛星技術実証 2 号機に採択され、2021 年度 (予定) の打ち上げが決定している。

本プロジェクトでは、民生通信端末を用いた速報システムの他に、通信の常時性を確認する目的で、GAGG シンチレータのガンマ線検出器を搭載し、そのデータを毎分ダウンリンクする。運用期間は半年を想定し、その間に、機上から地上速報までの遅延時間、コマンドの成功率、実行までの遅延時間等を検証する。これまでに民間用通信端末の地上性能評価試験やガンマ線検出器の性能評価等を実施した。ミッション機器を搭載する合計 5 枚の基板設計はほぼ最終段階に来ている。また、今回用いる通信端末は一度に通信できるデータサイズが限られており、すべての情報を送信するのは困難なため、必要な情報のみを抽出するデータ設計も行った。本発表ではミッション機器の評価試験、設計した基板の性能評価、そして、データ設計を含めた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](#)

## V318a 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 VI

佐藤浩介 (埼玉大)、大橋隆哉、石崎欣尚、江副祐一郎、藤田裕 (都立大)、山崎典子、石田学、前田良知 (ISAS/JAXA)、満田和久 (NAOJ)、三石郁之、田原諒 (名古屋大)、藤本龍一 (金沢大)、鶴剛 (京大)、太田直美 (奈良女子大)、大里健 (IAP)、永井大輔 (Yale 大)、吉川耕司 (筑波大)、河合誠之 (東工大)、松下恭子 (東京理科大)、山田真也、一戸悠人 (立教大)、内田悠介 (広島大)

次期衛星計画「XRISM」や「Athena」に搭載される X 線マイクロカロリメータの高エネルギー分光能力と空間的な高撮像能力によって、宇宙の高エネルギー現象の解明が飛躍的に進むと期待される。一方で、宇宙の大局的なエネルギーの流れや物質循環を明らかにするためには、空の広い領域をサーベイして、銀河、銀河団、ひいては宇宙の大規模構造に付随するバリオンを定量的に観測し、それらの存在形態、及び物理状態を明らかにする必要がある。我々は、宇宙の大局的なエネルギー流れと物質循環の解明を目的とする衛星計画の立案を見据えて、2020 年 2 月に JAXA 宇宙科学研究本部にリサーチグループの設置を申請し、受理された。

我々はサイエンスの実現性及び衛星設計要求を検討するため、宇宙論的シミュレーションデータベース「Illustris-TNG」を用いて議論を進めている。酸素輝線の感度マップや観測戦略の立案等を実際の多波長の観測データと比較しながら議論していくことを視野にしている。並行して、観測器の基礎技術開発を行っており、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読み出し用のマイクロ波多重 SQUID 技術の開発を JAXA/都立大/産総研/埼玉大/立教大で進めている。本講演では、衛星計画のサイエンス検討の現状とハードウェア開発の進捗状況とともに、NASA を中心とした海外協力体制について報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

### V319a 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 (3)

瀧川歩, 竹原佑亮, 叶哲生, 山口隆正 (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 (夏目光学株式会社), 三村秀和 (東京大学), 三石郁之 (名古屋大学)

我々は、地上 X 線結像系開発で構築した独自の小口径超高精度電鍍技術 (Mimura et al., Rev. Sci. Instrum., 2018) を用いて、高角度分解能かつ大有効面積を併せ持つ次世代宇宙 X 線望遠鏡開発を進めている。この実現には、地上電鍍鏡開発技術を用いた高精度反射鏡の一桁以上の大口徑化と、並進・回転方向に二段一体全周反射鏡の位置調整が行える支持機構開発の両方が必要となる。従来の実績値に対し口径が 6 倍もの  $\phi 60$  mm 円筒・円錐サンプルの試作の成功を受け、Wolter-I 形状の反射鏡製作に取り掛かった (竹原他 日本天文学会 2020 年春季年会)。また、支持機構については、簡素な試作品を製作し、一軸、一枚鏡での位置調整を行ったところ、 $< 1 \mu\text{m}$  程度の精度で調整が可能であることがわかった (瀧川他 日本天文学会 2020 年春季年会)。

現在、Wolter-I 形状原盤の高精度化を進めており、円周方向は円筒・円錐サンプルと同様に非常に高い形状精度 ( $\sim 0.3 \mu\text{m}(\text{rms})/\sim 0.03$  秒角 @ 焦点距離 2 m) を達成した。母線方向もより広範囲な領域で放物面/双曲面各々  $\sim 6$  秒角/ $\sim 8$  秒角の形状誤差 (5 mm スケール) を達成している。今後、形状補正を行うことで母線方向のさらなる高精度化を進め、反射鏡を製作し SPring-8 で評価予定である。支持機構については、二段一体全周鏡に合わせた支持機構の設計を行っている。今後、設計した支持機構の試作を行い、反射鏡固定方法の検討、振動耐性の評価を行っていく。本発表では、反射鏡製作と支持機構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](#)

### V320a 超伝導転移端 X 線検出器の技術成熟化と地球外試料分析に向けた SPring-8 実験

須田博貴, 早川亮大, 石崎欣尚, 大橋隆哉, 竜野秀行 (都立大理), 山田真也, 一戸悠人 (立教大理), 岡田信二 (中部大), 橋本直 (原研), 奥村拓馬, 東俊行, 玉川徹 (理研), 宇留賀朋哉, 関澤央輝, 新田清文 (JASRI), 神代暁 (産総研), 高橋嘉夫, 板井啓明, 田中雅人, 蓬田匠, 山口瑛子, 川島彰吾, 長澤真, 栗栖美菜子 (東大地惑), 柏原輝彦 (JAMSTEC), 坂田昂平 (国立環境研), 菅大暉 (JASRI), 野田博文 (阪大理), 林佑 (ISAS/JAXA), 今井悠喜 (埼玉大理), 田中桂悟, 田口昂宙 (金沢大), W. B. Droiese, J. N. Ullom, and D. S. Swetz (NIST)

宇宙 X 線観測において、非分散の X 線精密分光は、XRISM 衛星や、ダークバリオン探査 (sDIOS 計画) など、将来の X 線観測のキーテクノロジーの一つであるが、50 mK という極低温での安定動作の確立や、精密計測に向けた解析方法など、要求物理量を得るには高めるべき要素技術は多い。我々は、実践的な応用により、技術成熟度を高めるべく、宇宙と原子核の共同実験プロジェクト (HEATES) を立ち上げ、超伝導転移端 X 線検出器 (TES) を加速器ベースの過酷な電磁環境で動作させる精密実験を推進してきた ('14 春 W137a), 2014 年にはスイスのポールシェラー研究所の  $\pi$  中間子ビームライン ('15 秋 V309a), 2016-2018 年に茨城県の J-PARC で K 中間子実験 ('17 春 V328a, V329b, '18 春 V331a, '18 秋 V326a), 2019 年に  $\mu$  粒子原子実験で TES によるサイエンス創出に成功した。2019 年 7 月と 2020 年 2 月に兵庫県の SPring-8 BL37XU で TES を用いた X 線吸収微細構造測定を行った。SPring-8 では温度揺らぎ  $\Delta T \sim 5.0 \mu\text{K rms}$ , エネルギー分解能  $\Delta E \sim 5 \text{ eV} (@ 5.9 \text{ keV})$  を達成、隕石やレアアースなど、従来の半導体検出器では区別が困難だった軽元素の K 線と重元素の L 線を明瞭に分解し、高精度の計測に成功した。TES は地球外試料分析にも有効で、「はやぶさ 2」の試料分析も目指している。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

### V321a SOI技術を用いた新型X線撮像分光器の開発42:Double-SOI構造を導入したX線SOIピクセル検出器のX線に対する放射線耐性の評価

北島正隼, 幸村孝由, 萩野浩一, 大野顕司, 根岸康介, 鎌田敬吾, 林田光揮 (東京理科大学), 鶴剛, 田中孝明, 内田裕之, 佳山一帆, 児玉涼太 (京都大学), 森浩二, 武田彩希, 西岡祐介, 日田貴熙, 行元雅貴, 米村修斗, 三枝紀嵐 (宮崎大学), 新井康夫, 倉知郁生 (KEK)

我々は次世代X線天文衛星「FORCE」に搭載する目的で、X線半導体検出器「XRPIX」の開発を進めている。XRPIXはSOI技術を用いてセンサー層(Si)・絶縁層(SiO<sub>2</sub>)・CMOS回路層を一体とした構造を持つ。半導体検出器を軌道上で運用する際には、宇宙線の他、天体が放射するX線によっても放射線損傷が起これ、検出器の性能が劣化する。過去の研究より、絶縁層内に正の電荷が蓄積するTID効果が特に顕著であり、暗電流の増加やエネルギー分解能の劣化を引き起こすことが知られている。このTID効果の影響を抑えるため、我々は絶縁層内にミドルシリコンと呼ばれるシリコンの層を導入したDouble-SOI構造のXRPIX6Cを開発した。ミドルシリコンに負の電圧を印加することで、絶縁層に溜まった正電荷の影響を打ち消すことが狙いである。XRPIX6Cの放射線耐性を評価するため、宇宙線を模擬した陽子線照射実験を我々は既に行っているが、X線に対する放射線耐性はいまだに評価していない。そこで我々はXRPIX6Cに対してAuをターゲットとするX線発生装置を用いてAuL<sub>α</sub>, L<sub>β</sub>, L<sub>γ</sub> (9.7, 11.4, 13.4 keV)のX線を10kradまで照射する実験を行い、放射線損傷による性能の変化を評価した。その結果、10krad損傷時には損傷前と比較して暗電流が140.6 ± 1.8%増加し、エネルギー分解能は17.8 ± 3.2%変化した。本講演では、X線損傷による性能変化の原因の議論も含め、X線照射実験の結果について詳細を報告する。

[スケジュール\(セッション毎\)に戻る](#)

[スケジュール\(全体\)に戻る](#)

[講演者索引TOPに戻る](#)

### V322a SOI技術を用いた新型X線撮像分光器の開発43:新規構造を導入したX線SOIピクセル検出器の放射線耐性の評価(2)

林田光揮, 幸村孝由, 萩野浩一, 大野顕司, 根岸康介, 鎌田敬吾, 北島正隼, 高田吉基 (東京理科大学), 鶴剛, 田中孝明, 内田裕之, 佳山一帆, 児玉涼太 (京都大学), 森浩二, 武田彩希, 西岡祐介, 日田貴熙, 行元雅貴, 米村修斗, 三枝紀嵐 (宮崎大学), 新井康夫, 倉知郁生 (KEK), 濱野毅, 北村尚 (QST), 川人祥二, 安富啓太 (静岡大学)

我々は次世代X線天文衛星「FORCE」への搭載を目的とし、SOI技術を用いたX線半導体検出器「XRPIX」の開発を行なっている。半導体検出器を軌道上で運用した際、陽子線などの宇宙線による放射線損傷により性能が経時的に悪化するため、地上において、損傷による性能の変化を定量的に評価しておく必要がある。過去の研究から、XRPIXでは放射線損傷が進むと、Si-SiO<sub>2</sub>界面での界面準位や絶縁層にホールが溜まることで引き起こされるTID効果により、スペクトル性能が悪化することがわかっている。そこで、Si-SiO<sub>2</sub>界面からの暗電流やセンサー層と回路層間の電氣的干渉を抑え、スペクトル性能の向上を目的とした、Pinned Depleted Diode(PDD)構造を導入したXRPIX6Eという素子を開発した。我々は、このXRPIX6Eに対して、初めて陽子線照射実験を行い、軌道上約60年に相当する損傷を受けても、エネルギー分解能が3%以内で一定など、スペクトル性能に大きな悪化は見られず、これまでのXRPIXシリーズの中で、最も放射線耐性が高いことを明らかにした。本講演では、陽子線照射実験について、ピクセル間の個性も考慮した詳細な解析結果を報告し、陽子線照射による性能変化や放射線耐性の改善の要因についても議論する。

[スケジュール\(セッション毎\)に戻る](#)

[スケジュール\(全体\)に戻る](#)

[講演者索引TOPに戻る](#)

## V323a SOI 技術を用いた新型 X 線撮像分光器の開発 44: PDD 構造に改良を加えた X 線 SOI ピクセル検出器の性能評価

行元雅貴, 森浩二, 武田彩希, 西岡祐介, 三枝紀嵐, 米村修斗, 安藤大雅, 石田辰徳, 前野立樹 (宮崎大学), 鶴剛, 田中孝明, 内田裕之, 佳山一帆, 児玉涼太 (京都大学), 新井康夫, 倉知郁生 (KEK), 幸村孝由, 萩野浩一, 林田光揮, 北島正隼 (東京理科大学), 川人祥二, 安富啓太 (静岡大学), 亀濱博紀 (沖縄高専)

我々は、次世代の X 線天文衛星「FORCE」搭載に向けて、X 線 SOI-CMOS ピクセル検出器「XRPIX」の開発を行っている。XRPIX は Silicon-On-Insulator (SOI) 技術を用いることで、厚い空乏層を持つセンサ部と高速の CMOS 回路部の一体成型を実現する。最新の XRPIX では、センサ部と絶縁層界面を覆うように固定電位層を形成する Pinned Depleted Diode (PDD) 構造を採用している。この構造を初めて実装した XRPIX6E ではセンサ部の読み出しノードと読み出し回路間の容量結合の解消に成功し、分光性能を向上させることができた。しかし、画素領域外の電位が固定電位層を通じて画素領域に影響を与えるために大きな暗電流が生じるという問題が新たに生じた。この暗電流問題のために XRPIX6E は低温かつ高バックバイアス電圧という条件下での駆動が必要だった。今回、我々は暗電流問題の改善のために PDD 構造を再検討した素子として XRPIX8 を新規開発し、評価を行った。結果、XRPIX8 では暗電流問題が改善されており、低バックバイアス電圧、常温下での駆動が可能であるとわかった。また、分光性能においても XRPIX6E と同等の性能を有していることがわかった。本講演では XRPIX8 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](#)

## V324a SOI 技術を用いた新型 X 線撮像分光器の開発 45: X 線 SOI ピクセル検出器の軟 X 線性能

児玉涼太, 鶴剛, 田中孝明, 内田裕之, 佳山一帆, 天野雄輝 (京都大学), 森浩二, 武田彩希, 西岡祐介, 行元雅貴, 米村修斗, 三枝紀嵐 (宮崎大学), 新井康夫, 倉知郁生 (KEK), 幸村孝由, 萩野浩一, 林田光揮, 北島正隼 (東京理科大学), 川人祥二, 安富啓太 (静岡大学), 亀濱博紀 (沖縄高専)

我々は、次世代の X 線天文衛星「FORCE」搭載に向けて、SOI (Silicon On Insulator) 技術を用いた X 線ピクセル検出器「XRPIX」を開発している。XRPIX は各ピクセルにトリガ回路を実装しており、X 線が入射したピクセルのみを読み出す「イベント駆動読み出し」機能を有している。我々は、特にイベント駆動読み出しにおいて問題になっていた読み出しノイズを低減するべく、Pinned Depleted Diode (PDD) 構造を導入した XRPIX6E を開発し、読み出しノイズ  $\sim 20 e^-$  (rms) を実現した。この低い読み出しノイズにより、軟 X 線に対する検出効率向上が期待できる。トリガ情報を用いない読み出し方法では F-K (0.68 keV), Al-K (1.5 keV) の検出に成功したが、イベント駆動読み出しでは F-K は検出できないことが明らかになった。一方で、Al-K はペDESTAL の高さに相関して領域毎に検出効率が異なっており、これは  $\sim 0.8$  keV 相当の幅を持つペDESTAL の非一様性がトリガ性能に影響していることが原因だと判明した。比較的ペDESTAL の非一様性が無視できる領域で求めた検出可能なエネルギー閾値は  $\sim 1.1$  keV である。この閾値を決めていると考えられるトリガ回路由来のノイズを定量的に見積もると、 $\sim 22 e^-$  (rms) であることが明らかとなり、トリガ回路の更なるノイズ低減が必要であるという示唆を得た。本講演では XRPIX6E の軟 X 線性能に加え、PDD 構造とペDESTAL の非一様性を改良した XRPIX8 のトリガ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](#)

## V325a HiZ-GUNDAM に向けた次世代広視野 X 線検出器のイメージデータ処理

荻野直樹, 鈴木大晴, 後藤初音, ワンヒョンスン, 有元誠, 澤野達哉, 米徳大輔 (金沢大学), 李晋, 坂本貴紀 (青山学院大学), 平賀純子 (関西学院大学)

現在、赤方偏移  $z > 7$  の宇宙の物理状態についてはほとんど理解されていない。ガンマ線バースト (Gamma-ray Burst: GRB) は  $10^{53}$  erg ものエネルギーをガンマ線として放射する宇宙最大の爆発現象であり、初期宇宙を探る有力なプローブとして利用されている。HiZ-GUNDAM は、低エネルギー X 線帯 (0.4–4 keV) での GRB 観測を用いた初期宇宙・極限時空探査計画である。特に継続時間の短い GRB の検出および位置同定を主目的としており、0.1 s 程度の時間分解能と 5 arcmin 程度の角度分解能および  $10^{-10}$  erg/cm<sup>2</sup>/s (100 s 積分) の検出感度が要求される。そこで我々は、これらを同時に満足する検出器として Lobster-eye-optics (LEO) と呼ばれる特殊な X 線光学系と焦点面検出器に CMOS イメージセンサー (CMOS) を組み合わせた次世代広視野 X 線検出器の開発を進めている。本検出器では、(1) CMOS で取得したイメージから X 線イベントを抽出し、(2) LEO が焦点面に作る特徴的な十字の天体像を検出することで GRB の方向決定を行う。

我々が採用する予定の CMOS はピクセルサイズが小さく ( $\sim 10 \mu\text{m}$ )、イメージデータ量が非常に大きくなる傾向がある。そこで、我々は隣り合ったピクセル情報をビニングし、データ量を削減した上で、X 線イベントの抽出を行おうと考えている。この際、ビニングに伴う低エネルギー側での検出感度の劣化が最大の懸念点であり、本発表では定量的評価に基づいた検討結果を報告する。加えて、我々は LEO が焦点面に作る十字像の検出アルゴリズムを開発しており、軌道上での X 線バックグラウンドを考慮したシミュレーションを行うことで、GRB の誤検知率および検出効率を推定した。このアルゴリズムの詳細およびシミュレーション結果についても報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

## V326a GRAMS 計画 1: MeV ガンマ線観測・ダークマター探索気球実験

小高裕和, 高嶋聡 (東京大学), 井上芳幸, 米田浩基, 辻直美 (理研), 一戸悠人 (立教大学), Georgia Karagiorgi, Reshmi Mukherjee (Columbia 大学), Tsuguo Aramaki (Northeastern 大学/SLAC), GRAMS コラボレーション

観測天文学における未開拓の電磁波帯域である中間エネルギーガンマ線、すなわち 0.1–10 メガ電子ボルト (MeV) の帯域には、原子核が放出するラインガンマ線が存在し、超新星爆発や連星中性子星の合体、ブラックホールなどの高エネルギー天体における核反応の唯一の直接的プローブを提供する。このエネルギー帯域は、物質の起源を探るために極めて重要であるにもかかわらず、観測が技術的に困難であり、得られた科学的成果はきわめて限られているのが現状である。それは MeV ガンマ線光子の計測がそもそも技術的に難しいことに加え、光子統計が少ないこと、大気球高度や衛星軌道での高いバックグラウンドが理由である。しかし、重力波やニュートリノ観測も連携したマルチメッセンジャー天文学の進展と連動して、MeV ガンマ線の重要性も一段と高まりつつあり、国内外で高感度の MeV ガンマ線観測の実現に向けた研究が進んできている。

われわれは、MeV ガンマ線天文学開拓のため、液体アルゴン Time Projection Chamber (LArTPC) を気球搭載し、同一検出器で反重陽子検出によるダークマター間接探索とコンプトンカメラによる MeV ガンマ線観測を同時に行なう GRAMS 実験を推進している。検出器媒体に液体を用いることで、高密度かつ大容量の充填が可能となり、これまでにない有効面積の実現を目指す。本講演では、GRAMS 実験における LArTPC を用いた検出器コンセプトと実験計画の概要を述べ、宇宙元素合成や粒子加速の解明を含む目指すべきサイエンスをまとめる。そして、日米国際協力のもと進めている計画立ち上げのための現在の取り組みについて報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

## V327a Cherenkov Telescope Array (CTA) 計画: 全体報告 (18)

齋藤隆之, 手嶋政廣, 戸谷友則, 野田浩司, 吉越貴紀 (東京大学), 吉田龍生 (茨城大学), 井岡邦仁, 窪秀利 (京都大学), 山本常夏 (甲南大学), 田島宏康 (名古屋大学), 他 CTA Consortium

チェレンコフ望遠鏡アレイ (CTA) は、大、中、小の異なる口径のチェレンコフ望遠鏡数十台を広範囲に並べ、現行の望遠鏡に比べて約 10 倍の感度を実現する次世代の超高エネルギー観測装置である。日本からの約 130 名を含めた 31 か国約 1400 名の国際共同により計画が進められている。南北両半球に一つずつ (スペイン・ラパルマ島、チリ・パラナル) 建設され全天を観測し、20 GeV から 300 TeV の 4 桁以上のエネルギー帯をカバーする。これにより、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おり、宇宙線起源や極限天体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ている。北サイト、ラパルマ島においては、大口径望遠鏡の初号機が 2018 年 12 月にファーストライトを迎え、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 年までに大口径望遠鏡がさらに 3 台の建設され、大口径望遠鏡 4 台での観測が始まる予定である。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。日本グループは特に大口径望遠鏡に大きく貢献し、カメラや鏡の開発を行っている。本講演では稼働中の LST 初号機の観測状況や 2-4 号機の建設状況に加え、カメラ開発で日本が貢献している中・小口径望遠鏡の試験観測や国内外での準備状況を含めた CTA 計画全体について報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

## V328a CTA 大口径望遠鏡に用いる光電子増倍管の性能評価および 2-4 号機カメラ製作の現状

佐々木寅旭, 砂田裕志, 立石大, 寺田幸功 (埼玉大), 猪目祐介, 岩村由樹, 大岡秀行, 岡崎奈緒, 小林志鳳, 齋藤隆之, 櫻井駿介, 高橋光成, 手嶋政廣, 野田浩司, Daniela Hadasch, Daniel Mazin (東大宇宙線研), 今川要, 岡知彦, 梶原侑貴, 窪秀利, 野崎誠也 (京大理), 奥村暁 (名古屋大), 折戸玲子 (徳島大理工), 片桐秀明, 鈴木萌, 野上優人, 吉田龍生 (茨城大), 川村孔明, 塚本友祐, 山本常夏 (甲南大), 榊田淳子, 生天目康之, 西嶋恭司, 古田智也 (東海大理), 郡司修一, 中森健之 (山形大), 田中真伸 (KEK 素核研), 他 CTA-Japan Consortium, 池野正弘 (KEK 素核研, Open-It), Antonios Dettlaff (マックスプランク物理)

Cherenkov Telescope Array (CTA) 計画は、Very High Energy (VHE) ガンマ線を観測する国際計画である。そのうち大口径望遠鏡 (Large Sized Telescope; LST) の初号機が 2018 年 10 月に稼働し観測を開始している。LST の焦点面検出器には 1855 本の光電子増倍管 (Photomultiplier Tube; PMT) が用いられ、複数の PMT 信号を足し合わせるアナログサムトリガー方式を採用して、微弱なチェレンコフ光を検出する。正確な足し合わせのために PMT の電子走行時間のばらつき (Transit Time Spread; T.T.S.) は重要であり、ノイズ低減のために PMT 出力信号の幅は平均 3.0 ns (FWHM) 以下に抑える事が要求される。実際の運用時 PMT にはライトガイドが装着される。PMT の電子走行時間は PMT 管面の光子入射位置によって変化するためライトガイド装着により、光子の入射経路が変化し T.T.S. や出力信号の幅に影響を及ぼすことが分かった。本講演では、ライトガイド装着時の実験方法および結果、また LST2-4 号機用のカメラモジュール組立および品質管理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](#)

### V329a Schwarzschild-Couder 型の CTA 小・中口径望遠鏡の開発状況

奥村暁 (名古屋大学宇宙地球環境研究所, 名古屋大学素粒子宇宙起源研究所), 黒田裕介, 古田和浩, 田島宏康 (名古屋大学宇宙地球環境研究所), 片桐秀明 (茨城大学理学部), 他 CTA Consortium

チェレンコフ望遠鏡アレイ (Cherenkov Telescope Array, CTA) は超高エネルギーガンマ線を観測する次世代の天文台計画である。ガンマ線の引き起こす空気シャワーを大気チェレンコフ光を使って検出することで、20 GeV から 300 TeV のエネルギー範囲のガンマ線を地上から全天観測する。4桁にわたるエネルギー範囲を観測するため、大中小の異なる口径の望遠鏡を 100 台規模で南北両半球に建設する。これまでに複数のプロトタイプ望遠鏡とプロトタイプ焦点面カメラが製作済みであり、その一部で試験観測を開始した。

大中小の望遠鏡の中で、我々は特に Schwarzschild-Couder (SC) 光学系を用いた 4m 小口径望遠鏡 (5–300 TeV) と 10m 中口径望遠鏡 (200 GeV–10 TeV) の開発を進めている。SC 光学系は非球面の主鏡と副鏡を持つ光学系であり、小型の半導体光検出器を使った焦点面カメラと組み合わせることで、8度の広い観測視野と 5–10 分角程度のカメラ画素サイズを実現することができる。我々は SC 光学系用の焦点面カメラの開発にこれまで取り組み、小・中口径望遠鏡のプロトタイプそれぞれで「かに」星雲のガンマ線観測に成功した。

本講演では焦点面カメラと光学系の開発状況や試験観測について報告するとともに、小・中口径望遠鏡の観測で期待される PeV 宇宙線の加速源 (PeVatron) の探査や暗黒物質の間接探査の展望について述べる。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

### V330a 新型大気蛍光望遠鏡による極高エネルギー宇宙線の観測状況及び波形収集回路の開発

寺内健太, 藤井俊博, 窪秀利, 野崎誠也, 岡知彦, Seokhyun Yoo (京大理), 武多昭道 (東大地震研), Radomir Smida, Paolo Privitera, Xiaochen Ni, Max Malacari, John Farmer (KICP Univ. of Chicago), Justin Albury, Jose A. Bellido (Univ. of Adelaide), Petr Travnicek, Petr Schovanek, Miroslav Pech, Libor Nozka, Miroslav Palatka, Stanislav Michal, Dusan Mandat, Ladislav Chytka, Petr Hamal (Institute of Physics ASCR), Martin Vacula, Pavel Horvath, Miroslav Hrabovsky, Jiri Kvita (Palacky Univ.), Francesco Salamida, Massimo Mastrodicasa (Univ. of L'Aquila), John N. Matthews, Stan B. Thomas (Univ. of Utah)

Fluorescence detector Array of Single-pixel Telescopes (FAST) 実験は、極高エネルギー宇宙線への感度を飛躍的に高め、さらに極高エネルギー領域の中性粒子の初検出を目指した次世代の宇宙線観測実験である。FAST 実験では、直径 1.6 m の小型光学系と 4 本の口径 20 cm の光電子増倍管から成る、30 度×30 度の視野角を持つ低コスト型の新型大気蛍光望遠鏡を 20 km 間隔でアレイ状に展開し、現状よりも一桁多い極高エネルギー宇宙線の年間観測事象数を実現する。FAST 実験の開発研究として、これまでに米国ユタ州のテレスコープアレイ観測サイトに新型大気蛍光望遠鏡を 3 基、アルゼンチン・メンドーサのピエールオージェ観測所に 1 基設置し、日本からの遠隔操作により定常観測を続けている。現在ピエールオージェ観測所に 2 基目を建設する計画が進行中で、自立稼働に向け高速波形収集回路を新たに開発している。本講演では、両サイトでの観測状況及び現在開発中の高速波形収集回路について報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

### V331a X線分光撮像衛星 (XRISM) 搭載軟 X線撮像装置 (Xtend) の開発の現状 (4)

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), 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), 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, 吉田鉄生 (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 (近畿大学), 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。搭載する観測機器のひとつ、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、4 枚の素子を  $2 \times 2$  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。我々は搭載予定のフライトモデル (FM) 4 素子について、2019 年 8–9 月にかけて地上較正試験を実施し (2020 年度春季年会にて報告)、キャリブレーションに必要なゲイン・電荷転送非効率 (CTI) 等の各種パラメータの決定や応答関数の構築を進めている。また、Xtend チームでは、これと並行して、ハウジングやエレクトロニクスなど各コンポーネントの製作および機能検証試験を随時行っている。本講演までにコンポーネント毎の試験は概ね終了し、各部品の組み立ておよび噛み合わせ試験を順次進める予定である。そこで今回の講演では、Xtend の製作・試験・解析の最新状況および、衛星試験に向けた今後の見通しについて報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

### V332a X線分光撮像衛星 XRISM 搭載 X線望遠鏡 (XMA) 開発の現状 (4)

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, JAXA), 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: X-ray Mirror Assembly) 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: Soft X-ray Telescope) とほぼ同等であり、母線長 100 mm、厚さ 150–300  $\mu\text{m}$  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 口径ごとに開発し、これらを結合することで全口径の望遠鏡とする。我々は、2019 年 11 月と 2020 年 3 月に 1 台目と 2 台目の XMA 組み上げを完了し、順次、これらの環境試験を実施している。1 台目の XMA では全ての環境試験を終了しており、残すところは 2 台目の XMA の機械環境試験のみとなっている。拡散 X線を使った予備的な性能測定では 1.2–1.3 分角程度の結像性能を得ていることから、XMA の性能は「ひとみ」衛星の SXT とほぼ同等であると考えられるが、今後は、XMA の開発と並行して GSFC で整備を進めてきた 100m ビームラインで、擬似平行光を用いた最終的な性能測定を実施することとしている。本講演では、こうした 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](#)

### V333a XRISM 搭載 Xtend の応答関数の調査 (2)

花岡真帆, 林田清, 野田博文, 岡崎貴樹, 米山友景, 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, 寺田裕大, 住田知也, 森浩二 (宮崎大学), 齋藤真梨子 (奈良女子大学), 信川久実子 (近畿大学), 迫聖, 信川正順 (奈良教育大学), 天野雄輝, 尾近洗行, 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, 吉田鉄生 (ISAS/JAXA), 卜部夕希乃, 平賀純子 (関西学院大学), 村上弘志 (東北学院大学), 内山秀樹 (静岡大学), 小林翔悟, 萩野浩一, 幸村孝由 (東京理科大学), 山内誠, 廿日出勇 (宮崎大学), 山岡和貴 (名古屋大学), 尾崎正伸, 堂谷忠靖 (ISAS/JAXA), 常深博 (大阪大学) 他 XRISM/Xtend チーム

我々は 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 に単色 X 線が入射した際に得られる波高スペクトルの形状であるラインプロファイルを再現する応答関数の構築が本研究の目的である。Xtend フライト用素子は「ひとみ」SXI の設計を基本に一部改良しているため、「ひとみ」の応答関数を出発点に Xtend の応答関数を作成している。2019 年 8-9 月に行なった地上較正試験において  $^{55}\text{Fe}$ ,  $^{241}\text{Am}$  の密封線源と  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}$ ,  $\text{LiF}$  からの X 線を照射したデータを使用している。本講演では、2020 年春季年会講演 (V306b) で発表したイベントファイルの PI 付けの補正精度を向上させたスペクトルを使用し、4 素子全ての応答を調査した。その結果  $^{55}\text{Fe}$  スペクトルは、「ひとみ」の応答関数でおよそ再現可能であることを確認した。さらに X 線スペクトルに関しても詳細検討を実施し、 $^{241}\text{Am}$  スペクトルに関しては SDD, CdTe 検出器を用いて取得したスペクトルを合わせて解析し、入射 X 線由来の連続 X 線成分と、CCD 検出器での応答による一定 (テール) 成分の切り分けを実施する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

### V334a XRISM 搭載 Xtend のフライト用 CCD の電荷転送非効率の調査

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, 山内茂雄 (奈良女子大学), 信川久実子 (近畿大学), 迫聖, 信川正順 (奈良教育大学), 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, 吉田鉄生 (ISAS/JAXA), 樫村晶, 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 は、軟 X 線反射鏡と X 線 CCD カメラを組み合わせた軟 X 線撮像装置 Xtend を搭載する。空乏層厚  $200\ \mu\text{m}$  の裏面照射型 P チャンネル CCD を  $2 \times 2$  のモザイク状に配置することにより、 $0.4\text{--}13\ \text{keV}$  の帯域において  $38$  分角平方の広視野が達成される。CCD では、信号電荷の一部が電荷トラップに捕獲され、再放出されないまま電荷転送が行われると、読み出される信号電荷が実際の量よりも低下してしまう。信号電荷量の低下は CCD のエネルギー分解能に直結するため、1 転送あたりに失う電荷量の割合として定義される電荷転送非効率 (CTI) が CCD 較正の重要項目となる。我々は Xtend のフライト用 CCD の地上較正試験を行い、取得した高統計データで CCD の較正と CTI の調査を行った。その結果、フライト用 CCD には異なる時定数を持つ電荷トラップが少なくとも 3 種類存在し、捕獲する電荷量もそれぞれ異なることがわかった。また、CTI は入射 X 線フラックスに依存し、電荷注入機能とその影響度合いを変えることがわかった。本講演では、これら調査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](#)

## V335a 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 (2)

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/JAXA), 林田清 (大阪大学/JAXA), 寺田幸功 (埼玉大学/JAXA), 他 XRISM MOPT グループ

撮像型検出器を用いてフラックスの大きい光源を観測するとき、複数の光子が誤って1つのイベントとして統合されて処理されてしまう「パイルアップ」が起きる。その影響は、スペクトルのハードニングやカウントレートの減少など多岐にわたり、観測結果に大きな系統誤差を生む。2021 年度打ち上げ予定の XRISM 衛星搭載の CCD 検出器 Xtend-SXI では、 $\sim 1\text{mCrab}$  以上の天体の観測でその影響を考慮する必要があり、パイルアップは数多くの天体の観測において考慮すべき普遍的な問題であるため、新たなスペクトル解析手法の開発は急務である。

我々は、パイルアップのもたらす検出器応答の非線形性に対応するために、モンテカルロシミュレーションを用いている。X線衛星による観測を再現するシミュレータを構築し、それを用いてパイルアップの影響を含んだ観測スペクトルを再構成する手法を開発した。この枠組みを「すざく」XIS の観測データに適用し、パイルアップした観測データを正しく補正できたことは既に春季年会で報告済みである。しかし、これらの結果には用いた観測データの不定性やシミュレーションの系統誤差が存在し、問題となっていた。我々は、衛星の姿勢ゆらぎを独自に補正し、CCD 検出器の不感層の厚さや電場構造のパラメータチューニングを観測データになるべく頼らない手法に変更することで、シミュレータの精度向上を行った。さらに、モデル依存性による系統誤差が問題となっていたスペクトル解析手法を改良し、いかなる入力モデルにも対応できる解析手法を確立した。本講演では、XRISM 衛星のツール化に向けた展望についても報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

## W01a 相対論的衝撃波におけるシンクロトロンメーザー放射に伴う粒子加速

若本昌倫 (九州大学), 天野孝伸 (東京大学), 星野真弘 (東京大学), 松本洋介 (千葉大学)

衝撃波は宇宙空間に遍在しており、宇宙線の生成場所だと広く信じられている。特に高エネルギー天体では、亜光速のプラズマ流により形成された相対論的衝撃波が  $10^{20}$  eV にも達する超高エネルギー宇宙線を生成すると期待されているが、具体的な加速機構は未解明である。相対論的衝撃波に固有の特徴として、シンクロトロンメーザー不安定による高強度電磁波放射が挙げられる (Hoshino & Arons 1991)。近年では高速電波バーストの放射機構に応用され、宇宙物理学でも注目されているプラズマ素過程である (e.g., Margalit et al. 2020)。この高強度電磁波は衝撃波上流に伝搬し、輻射圧により電子を押しつけて航跡場 (静電波) を励起することが数値計算を用いて示されている (Lyubarsky 2006)。さらには、航跡場の伝播に伴い非熱的粒子が生成されることが示されており (Hoshino 2008)、相対論的衝撃波における加速機構の有力な候補の一つである。

相対論的衝撃波は主に 1 次元数値計算で研究されており、現実を即した多次元系では数値不安定に伴う数値計算の困難さから十分に研究されていなかった。さらにはシンクロトロンメーザー不安定は高調波を励起するため高解像度計算が必須であり、多次元系では高強度電磁波放射を正確に取り扱えていなかった。本研究では、数値不安定を抑制した高度に最適化された数値コード (Ikeya & Matsumoto 2015) を用いることで、高解像度計算を行い多次元系において高強度電磁波放射を初めて正確に評価した (Iwamoto et al. 2017; 2018)。さらには静電波の伝播に伴い非熱的な電子とイオンが生成されることも実証した (Iwamoto et al. 2019)。本講演では、このシンクロトロンメーザー放射と粒子加速をより詳細に議論し、相対論的衝撃波の物理をプラズマ素過程に基づいて考察する。

[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](#)

## W02a 非一様磁化プラズマ中を伝播する相対論的無衝突衝撃波の Particle-in-Cell simulation

富田沙羅 (東北大学), 大平豊 (東京大学)

ガンマ線バーストの残光は、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が、磁場増幅機構はまだわかっていない。一様な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ると、衝撃波面近傍でワイベル不安定性によって生成される磁場は、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。しかし現実の衝撃波が伝搬する星間/星周空間は非一様である。本講演では、2 次元の密度構造をもつ磁化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い、下流磁場の発展を調べた。本講演では非一様な磁化プラズマの下流磁場のエネルギースペクトル、粒子加速への影響について述べる。

[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](#)

## W03a 広帯域 GRB 残光での偏光の理論予測:磁場構造の観測的制限について

霜田治朗(名古屋大学), 當真賢二(東北大学)

ガンマ線バースト (GRB) は特にガンマ線帯域で宇宙最大級の明るさで輝く突発天体であり、発生の具体的な物理機構は未解明である。標準的なシナリオでは、コンパクト天体周りの降着円盤が相対論的な速度でジェットを駆動し、それに伴う衝撃波で加速される非熱的粒子が放射を担うと考えられている。特に残光の後期段階ではジェットの順行衝撃波で生成された非熱的電子からのシンクロトロン放射により、X 線から電波までの光度曲線の観測が説明されている。このとき、どのようにして観測を説明するだけの非熱的電子と磁場が生成されるかは未解明である。特に推定されるジェットの運動エネルギーは非熱的電子と熱的電子の量の比に依存する。この比を求めるために注目されてきたのが、熱的電子により高周波電波帯域で顕著になるファラデー消偏波効果である。これは衝撃波で生成・増幅された磁場が観測者視線方向成分を持つと顕在化するため、仮定する磁場モデルにも依存する。近年、ALMA 望遠鏡により初めて GRB の電波偏光が検出された (Urata et al. 2019)。その結果、可視光偏光度の典型値より 1 桁程度小さいことが分かり、消偏波効果が議論されている。本研究ではファラデー消偏波効果が大きくなりえない磁場構造を考え、電波から可視光までの様々な帯域での偏光度とその時間変化を標準的な残光モデルに基づいて理論計算した。相対論的ビーミング効果とスペクトルの形により電波と可視光の放射イメージが大きく異なるため、電波偏光度が可視光よりも小さくなりえることを明らかにした。ALMA 帯域と可視光の同時偏波観測が実現すれば、このファラデー消偏波なしのシナリオを検証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](#)

## W04a GRB170817A の非自明なジェット構造

高橋和也, 井岡邦仁

ガンマ線バースト (GRB) に付随する相対論的ジェットがどのような構造を持つかは、ジェットの生成・伝播メカニズムと関係するため興味深く、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。最近の観測的進展は、連星中性子星合体からの重力波信号に付随した GRB170817A である。この GRB の残光光度曲線は、一様構造のトップハット型ジェットでは説明できず、エネルギー分布が角度依存した構造を持つジェットを off-axis で観測したとすると説明可能である。従来の研究ではガウシアン型やベキ型のジェット構造を仮定したパラメタフィッティングを行っているが、実際のジェットがガウシアン型やベキ型の構造を有しているという確証はない。最近、我々は off-axis GRB の残光光度曲線を用いてジェットの構造を再構築する新しい手法を開発した。従来の手法とは異なり、本手法はジェット構造の関数形を仮定する必要がなく、非自明なジェット構造も再構築可能であるのが特徴である。本手法を GRB170817A に適用することで、ガウシアン型でもベキ型でもない非自明なジェット構造も観測された残光光度曲線と整合的であることがわかったので、これについて発表する。

[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](#)

## W05a GeV/TeV 帯域で検出されたガンマ線バーストの初期 X 線残光における緩慢減衰期の統計的性質

佐藤 優理, 山崎 了, 坂本 貴紀, 芹野 素子 (青学大)

ガンマ線バースト (GRB) では、即時放射に続いて X 線など多波長で残光放射が観測される。残光は、ジェット噴出物と周囲の星間物質との衝突することで外部衝撃波が起源であり、そこで加速された電子によるシンクロトロン放射であると考えられている。一般に X 線残光の光度曲線は複数の折れ曲がりを持ち、数千秒から数万秒ほどの間で  $T^{-0.5 \sim 0}$  程度のゆるやかな減衰が続くものがある (緩慢減衰期)。最もシンプルな標準理論では  $T^{-1}$  よりもゆるやかな減衰を説明するのは難しいため、未だ緩慢減衰期の理論的説明は未確立であり、X 線残光における最大の謎のひとつとなっている。本講演では、*Fermi Large Area Telescope (LAT)* や大気チェレンコフ望遠鏡で GeV/TeV の高エネルギーガンマ線が検出され、同時に、*Neil Gehrels Swift Observatory* に搭載された X-ray Telescope で発生後 400 秒以内に観測された 26 イベントの X 線残光のデータを解析した。その結果、上記 26 イベント中 9 イベントでは X 線残光の光度曲線は緩慢減衰期を持たないことがわかった。残りの 17 イベントでは GeV/TeV ガンマ線が検出されなかった GRB の緩慢減衰期と比べ光度曲線のべきが急な傾向にあった。さらに、GeV/TeV ガンマ線が検出されなかった GRB についても同様の解析を行なった。緩慢減衰期を持たない GRB の割合は、GeV/TeV ガンマ線が検出されなかった GRB では 3%、GeV/TeV ガンマ線が検出された GRB では 35% であった。これらの解析結果から、緩慢減衰期がない X 線残光を持つ GRB は、即時放射のエネルギーが大きく、初期に全てのエネルギーが衝撃波に注入されていると解釈できる。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

## W06a GRB 050820A: ガンマ線バーストの即時放射休止中の放射の起源

李 晋, 坂本 貴紀, 芹野 素子 (青学大)

ガンマ線バースト (GRB) とは宇宙のランダムな方向から突然 X 線やガンマ線が降り注ぐ天体現象である。広視野硬 X 線観測装置である *Swift/BAT (Burst Alert Telescope)* が捉えた GRB 050820A の光度曲線には、180 秒ほど離れた 2 つのピークが見られる。BAT ではこの 2 つのピークの間には有意な信号は見られないが、軟 X 線望遠鏡の *Swift/XRT (X-ray Telescope)* はこの間に単調に減光する放射を観測している。また、可視光から紫外領域の望遠鏡である *Swift/UVOT (Ultraviolet/Optical Telescope)* もこの間に何らかの放射を捉えている。時間変動の激しい GRB の即時放射は、大質量星の重力崩壊などによって飛び出した速度の異なるジェットの衝突によって起こると考えられているが、この時間変動の少ない軟 X 線放射は、ジェット本体からの放射とは考えにくく、この放射の解析は、ガンマ線バーストの即時放射が休止している時の状態を理解するのに重要である。

我々は、この放射の起源の解明のため、XRT のエネルギー帯域 (0.3 - 10 keV) を BAT のエネルギー帯域 (15 - 25 keV) に外装し、XRT と BAT のデータを繋げたライトカーブを作成した。GRB の急激に減光する初期の残光は、tail emission と呼ばれ、曲率を持ったジェットを様々な方向から見ているため遅れて観測される即時放射が起源であると考えられており、XRT のスペクトルのべき指数  $\Gamma_{XRT}$  と、ライトカーブの減光のべき  $\alpha$  との間に、 $\alpha = 1 + \Gamma_{XRT}$  の関係が成り立つ。しかしながら、この関係は成り立たず、この放射は tail emission では説明できなかった。また、XRT と UVOT のデータを用いてスペクトルを作成した結果、この放射は、ガンマ線バーストの残光の標準モデルである、sari et al.(1997) の synchrotron cooling model と矛盾しないことがわかった。本講演ではこれらの解析結果を発表し、この即時放射休止中の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](#)

## W07a MAXI による 11 年間のガンマ線バーストの観測

西田 宏幹, 芹野 素子, 坂本 貴紀 (青山学院大学), 他 MAXI チーム

ガンマ線バースト (GRB) は、短時間で大量のエネルギーを放出する天体現象であり、発生時には多くの X 線やガンマ線が観測される。全天 X 線監視装置 MAXI に搭載された Gas Slit Camera (GSC) は 2–30 keV に感度を持ち、GRB の低エネルギー領域を観測することができる。観測を開始した 2009 年 8 月から 2020 年 3 月時点まで、MAXI/GSC は 120 個の GRB 候補を検出している。

我々はその中でも、銀緯  $|b| > 10$  deg、S/N 比が 5.0 以上、GSC の視野内で発生したという条件を満たす 106 個のイベントについて解析を行った。位置、Flux、Hardness を再計算し、赤方偏移  $z$  が報告されている 14 個のイベントに対して光度を算出した。他の衛星と同期が取れているイベントと MAXI のみで観測されたイベントの Hardness を比較すると、低エネルギー成分が卓越した X-ray Flash (XRF) 様のイベントが多く観測されていることが確認された。また、MAXI のみで観測されたイベントは他の衛星と同期が取れているイベントに比べて Flux が低い傾向がある。加えて、MAXI のみで観測されたイベントの Flux の累積度数分布 ( $\log N - \log S$  分布) から、MAXI は他の衛星よりも比較的近傍で発生した GRB を捉えている可能性がある。これらの傾向は、2013 年までのデータを使った前解析 (Serino et al. 2014) でも示唆されており、解析対象が約 3 倍になった本解析はこれらの示唆をより確実なものにした。本講演では、MAXI/GSC が約 11 年間で観測した GRB の解析結果について報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

## W08a MAXI/GSC が検出した 2020 年度前半の突発現象: X 線連星系の短期長期活動と増光する矮新星 SS Cyg の検出

根来 均, 中島基樹, 青木真凜 (日大), 三原建弘, 松岡 勝 (理研), 岩切 渉, 北古賀智紀, 岡本 豊 (中央大), 志達めぐみ (愛媛大), 菅原泰晴 (JAXA), 庭野聖史, 河合誠之 (東工大) 他 MAXI チーム

全天 X 線監視装置 MAXI/GSC により、2020 年度前半に発見検出した突発現象について報告する。6 月 8 日現在までに新天体の発見はない。一方、4 月 11 日に中性子星 X 線連星 MAXI J0556–332 の 4 度目の、5 月 25 日にブラックホール X 線連星 Swift J1842.5–1124 の 2 度目のアウトバーストをそれぞれ検出した (ATel #13628, #13762, # は ATel 番号)。4 月 23 日には中性子星 X 線連星 XTE J1739–295 からの再増光を検出した (#13656)。Be X 線連星パルサー GRO J1008–57 の、MAXI で 4 度目の検出となるジャイアントアウトバーストの予兆的な活動を 5 月 6 日に、その本格的な活動の始まりを 5 月 22 日にそれぞれ ATel に報告した (#13544, #13750)。4 月 20 日には減光中のブラックホール X 線連星 GRS 1915+105 の増光を捉え (#13652)、5 月 22 日にはミリ秒 X 線パルサー MAXI J0911–655 からの 1 時間半以上続く X 線バーストを検出した (#13754)。4 月 15 日には dMe 型星 AU Mic から、5 月 1 日には RS CVn 型星 SS Boo からの明るい X 線フレアを検出した (#13635, #13730)。また、4 月 27 日に検出した、SGR 1935+2154 からの継続時間 50–100 ms の 2 つのバーストと、ガンマ線バースト GRB 200514A と 200517A を GCN にそれぞれ報告した (GCN Circ. 27661, 27735, 27750)。

これらの突発現象以外に、長らく GSC の 1 日の検出限界以下の強度であった、矮新星 SS Cyg の 2018 年 10 月からの長期にわたる X 線と可視光での増光現象についても報告した (Negoro et al. #13744)。講演では、これらのブラックホールと中性子星連星の活動と興味深い活動が続く SS Cyg 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](#)

## W09a X線観測による U Gem の矮新星爆発時および静穏時におけるプラズマ空間分布の解明

武尾舞, 中庭望, 大橋隆哉 (首都大), 林多佳由 (NASA's GSFC/UMBC), 石田學, 前田良知 (宇宙研)

代表的な矮新星はくちよう座 SS 星 (SS Cyg) とふたご座 U 星 (U Gem) では 2 keV 以上の X 線放射の振る舞いが大きく異なることが知られている。可視光での爆発時、SS Cyg では極端紫外線の増光が始まると X 線は減光するのに対し、U Gem では爆発時に X 線放射も数倍明るくなる (Mattei 2000)。我々は、X 線天文衛星「すざく」の 1-30 keV のスペクトルデータを用いて U Gem の爆発時および静穏時の X 線スペクトルを境界層からのプラズマ放射とその反射モデルで評価し、静穏時のみならず爆発時でも、質量降着率が、境界層が光学的に薄い状態から厚い状態に移移する臨界質量降着率 ( $10^{16} \text{ g s}^{-1}$ ) 以下であることを明らかにした。この結果は、U Gem で可視光の爆発時にも光学的に薄い硬 X 線放射が増光するという観測結果を説明する。これに加え、我々は、プラズマと反射体である白色矮星や降着円盤の位置関係を様々に変えた反射シミュレーションを取り入れ、硬 X 線放射領域の空間分布を精密に調べる研究を行なった。その結果、静穏時には白色矮星半径の 1.30-1.45 倍で光学的に厚い降着円盤が切れていて、硬 X 線を放射するプラズマはその内側にあり、その境目で中性の鉄の内核電離を引き起こすほど高温の成分が形成されていることが確かめられた。一方爆発時には、光学的に厚い降着円盤が白色矮星の表面付近まで迫っているという結果となった。ただし、統計的に評価すると、光学的に厚い円盤が白色矮星半径の数%程度のところで切れており、その内側には静穏時と同じように光学的に薄い高温プラズマが存在しているという描像も排除できない。本発表ではこれらの結果を詳述し議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

## W10a 矮新星 KIC 9406652 における、公転軌道面から傾いた降着円盤の性質の調査

木邑真理子 (理化学研究所), 尾崎洋二 (東京大学), 加藤太一 (京都大学)

矮新星は白色矮星 (主星) と低質量星 (伴星) から成る近接連星系で、主星の周囲に降着円盤 (以下「円盤」) を持つ。このような天体は、水素の部分電離に伴う熱不安定によりアウトバーストと呼ばれる突発的増光を示す (Osaki 1996)。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) と小規模な増光 (brightening) を繰り返す天体であり、quasi-standstill は常に brightening によって終了するという特徴を持つ (Kato 2019) が、このような光度変動のメカニズムは不明である。しかし近年、いくつかの IW And 型矮新星で negative superhumps が発見されたことにより、連星の公転軌道面から傾いた円盤の存在が示唆された (e.g., Gies et al. 2013)。Kimura et al. (2020) では、傾いた円盤を持つ矮新星では伴星から来るガス流が直接円盤の内側に流れ込むことがある点を考慮し、IW And 型矮新星の光度変動を説明する一つのモデルを提案した。

今回私達は、KIC 9406652 という IW And 型矮新星に着目し、およそ 1500 日もの間見え続けていた negative superhumps の frequency, amplitude, profile の時間変化を Kepler 衛星のデータを用いて詳細に調べた。その結果、frequency は quasi-standstill 中にゆっくり増加し、brightening 中に急激に減少することが分かった。また、amplitude は flux scale で時間的にほぼ一定であること、profile は single-peak で時間と共に激しく変化することが分かった。これらの結果から、quasi-standstill 中に円盤半径が緩やかに増加している可能性が浮上した。また、negative superhumps は伴星からのガス流が傾いた円盤表面を掃く効果で説明できることを再確認した。さらに、円盤の傾き角が低く、gas-stream overflow が定常的に起こっていることも示唆された。本講演ではこれらの結果を解説すると共に、IW And 型矮新星の光度変動に対する理論モデルの検証も含めて議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

## W11a 爆発的質量放出により駆動される突発天体モデル: 特異な突発天体 AT2018cow への適用

宇野 孔起, 前田 啓一 (京都大学)

突発天体とは数日～数ヶ月の間に急激な増光・減光を示す天体である。近年、観測機器の発達や大規模なサーベイ観測により多くの突発天体が日々発見される中、既存のモデルでは十分説明できない特異な光度曲線やスペクトル進化を示す天体が観測されている。このような特異な突発天体の理解は恒星進化の最終段階を解明する上で極めて重要である。

本研究では、恒星風のような定常的な outflow を仮定した ‘wind-driven model’ を新たに提案し、特異な突発天体である AT2018cow へ適用した。AT2018cow は ATLAS survsy により発見された、青く非常に明るい突発天体 ( $L_{\text{peak}} \sim 4 \times 10^{44}$  erg/s) である。power law で減少する Luminosity、後退する photosphere、color がほぼ一定という通常の超新星とは異なる特徴を持つと共に、観測初期にヘリウムの輝線、その後水素の輝線を放出するという特異なスペクトル進化を示す天体である。この天体の起源については現在も解明されていない。

我々は、AT2018cow の Optical/UV データに本モデルを適用し、光度曲線だけでなくスペクトル進化についても観測と良く一致する結果を得た。本モデルは AT2018cow が最大時で  $\sim 25 M_{\odot}/\text{yr}$  という爆発的な質量放出をしており、その outflow が放出される典型的半径は  $\sim 10^{13}$  cm であることを示した。 $10^{13}$  cm は赤色超巨星 (以下 RSG) の典型的半径であることから、AT2018cow は RSG が関係した系であると示唆される。加えて、モデルから導かれるエネルギースケール ( $\sim 10^{51}$  erg)、総放出質量 ( $\sim 0.6 M_{\odot}$ )、観測による時間スケールを考慮すると、AT2018cow はブラックホールによる低質量 RSG の潮汐破壊現象、または failed Supernova である可能性が高い。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

## W12a 電子捕獲型超新星におけるニュートリノ集団振動の観測への影響

佐々木宏和 (国立天文台), 滝脇知也 (国立天文台), 川越至桜 (東大), 堀内俊作 (ヴァージニア工科大), 石徹白晃治 (東北大)

重力崩壊型超新星や連星中性子星合体のように、ニュートリノが大量に生成される爆発的天体現象では、ニュートリノ同士の自己相互作用によりニュートリノ集団振動と呼ばれる非線形なニュートリノ振動が起こると示唆されるが、その観測的な証拠は未だに得られていない。また、電子捕獲型超新星は親星の質量が比較的小さいため、ニュートリノ集団振動が電子の物質効果によって抑制されず、集団振動の影響がニュートリノの観測に反映されやすいと考えられる。しかし、電子捕獲型超新星におけるニュートリノ集団振動の観測可能性はこれまで議論されてこなかった。

そこで本研究では電子捕獲型超新星の爆発モデルを用いてポストプロセスとしてニュートリノ集団振動の数値計算を行い、ハイパーカミオカンデや DUNE といった次世代ニュートリノ検出器において集団振動の影響がどのように観測されるのか調べた。ニュートリノ集団振動が起こると、ニュートリノの質量階層性に応じて、ニュートリノもしくは反ニュートリノの hardness ratio (高エネルギーのイベント数と低エネルギーのイベント数の比) の値が小さくなった。このような hardness ratio の振る舞いはニュートリノ集団振動を特徴づける。爆発がおおよそ 10kpc 以内で起これば、ハイパーカミオカンデと DUNE の観測結果を組み合わせることで、ニュートリノの質量階層性によらず、ニュートリノ集団振動の影響を観測で区別できることが明らかとなった。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

## W13a 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 (3)

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、 $\leq 10$  keV) と非熱的成分 (冪函数、 $\geq 10$  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 ( $\delta t$ ) 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 として光度曲線を作成した。その結果、バーストは  $\delta t \geq 5.6$  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。また、 $\delta t$  は、熱的成分が優勢であるバーストから推定しているため、熱的成分の放射時間と仮定して、マイクロバーストの本体であるファイアボールのローレンツ因子 ( $\gamma$ ) を計算したところ、 $\gamma \sim 1.3$  となった。これらの結果はマイクロバーストモデルからの予測とよく一致する。

[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](#)

## W14a Luminosity functions of repeating and non-repeating fast radio bursts

Tetsuya Hashimoto, Tomotsugu Goto, Ting-Wen Wang, Seong Jin Kim, Simon C.-C. Ho (NTHU), Alvina Y. L. On (UCL), Ting-Yi Lu, Daryl Joe D. Santos (NTHU)

Fast radio bursts (FRBs) are mysterious radio bursts with a time-scale of approximately milliseconds. Two populations of FRB, namely repeating and non-repeating FRBs, are observationally identified. However, the differences between these two and their origins are still cloaked in mystery. Here we show the time-integrated luminosity-duration ( $L_\nu$ - $w_{\text{int,rest}}$ ) relations and luminosity functions (LFs) of repeating and non-repeating FRBs in the FRB Catalogue project. These two populations are obviously separated in the  $L_\nu$ - $w_{\text{int,rest}}$  plane with distinct LFs, i.e. repeating FRBs have relatively fainter  $L_\nu$  and longer  $w_{\text{int,rest}}$  with a much lower LF. This result suggests essentially different physical origins of the two. The faint ends of the LFs of repeating and non-repeating FRBs are higher than volumetric occurrence rates of neutron star (NS) mergers and accretion-induced collapse (AIC) of white dwarfs (WDs), and are consistent with those of soft gamma-ray repeaters (SGRs), Type Ia supernovae (SNe Ia), magnetars, and WD mergers. This indicates two possibilities: either (i) faint non-repeating FRBs originate in NS mergers or AIC and are actually repeating during the lifetime of the progenitor, or (ii) faint non-repeating FRBs originate in any of SGRs, SNe Ia, magnetars, and WD mergers. The bright ends of LFs of repeating and non-repeating FRBs are lower than any candidates of progenitors, suggesting that bright FRBs are produced from a very small fraction of the progenitors regardless of the repetition. Otherwise, they might originate in unknown progenitors.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

## W15a ALMA による静穏期のガンマ線連星 PSR B1259-63/LS 2883 の観測

藤田裕 (東京都立大学), 永井洋, 赤堀卓也 (国立天文台), 河内明子 (東海大学), 岡崎敦男 (北海学園大学)

PSR B1259-63/LS 2883 はパルサーが大質量星の周囲を公転する連星で、ガンマ線を放射する。ガンマ線はパルサーが近星点付近で大質量星の星周円盤と相互作用することで放射されると考えられている。我々は2019年秋季年会で、ALMAによりミリ波/サブミリ波帯でこの連星を初めて検出したことを報告した。この観測時にはパルサーは近星点通過直後で、ALMAバンド3 ( $\lambda = 3$  mm) の放射はパルサーと星周円盤の相互作用によるシンクロトロン放射、バンド7 ( $\lambda = 0.9$  mm) の放射は星周円盤からの放射と解釈できた。

本講演では我々の新しいALMAの観測結果について報告する。この観測時にはパルサーは遠星点付近におり、星周円盤と相互作用はしていないと考えられる。この観測でもバンド3, 7の両方で放射を検出したが、前回の近星点付近の観測と比べると暗くなっていた。低周波数での他の電波観測と比較したところ、バンド3の放射はパルサーのパルス成分と考えると説明できることがわかった。また、このことはパルサーと星周円盤の相互作用によるシンクロトロン放射はこの観測時には十分暗くなっていたことを示す。バンド7の放射強度の低下は星周円盤の縮小による可能性がある。パルサーと星周円盤の相互作用により星周円盤が破壊される可能性は理論的に指摘されているが、今回の観測は相互作用の影響がなくなっているはずの遠星点付近で行われたので、星周円盤がパルサーと無関係に縮小した可能性がある。この自律的な星周円盤の変動は、連星の活動性がパルサーの近星点通過ごとに異なる理由かもしれない。イメージについても解析したが、点源と考えて矛盾しないことがわかった。そのためX線で観測されている連星からの物質放出は、本観測では確認できなかった。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

## W16a ガンマ線連星 LS 5039 の9秒パルスの検証とマグネター仮説

牧島一夫 (Kavli IPMU/東大理/理研), 米田浩基 (理研), 榎戸輝揚 (理研), Dmitry Khangulyan (立教大), 高橋忠幸 (Kavli IPMU/東大理), 松元崇弘 (東大理)

LS 5039 は、O型巨星とコンパクト天体からなる軌道周期3.9日の連星で、その非熱的な高エネルギー放射はX線~TeVガンマ線に及び、特にMeV帯で明るいという特異な天体である。我々はそのコンパクト天体が中性子星であるとの見通し [1,2] に立ち、硬X線でパルス探査を行い、周期  $P \sim 9$  秒のパルスの兆候を検出し、見通しを強化してきた [3,4]。その後の検証で、このコンパクト天体がマグネターである可能性が強まった。

2007年9月に「すざく」で1.5軌道周期にわたり得た10–30 keVのデータでは、軌道パラメータを探査しつつドップラー補正を行った結果、 $P = 8.95648(4)$  秒を含む連星軌道解を得た [3,4]。2016年9月にNuSTAR衛星が連星の1周期にわたり得た10–30 keVデータからは、軌道補正の後に  $P = 9.05381(3)$  秒を得た [5]。周期の変化率は  $\dot{P} = 3 \times 10^{-10}$  s/s である。まだ軌道解にやや不定性が残るが、光学データと合わせると、コンパクト天体の質量は  $1.23 - 2.35 M_{\odot}$  と求まるので、中性子星として矛盾なく [5]、ブラックホール説は否定される。

これによりLS 5039の光度 ( $\sim 10^{36}$  erg/s) の源として、中性子星の回転エネルギーは排除され、非熱的スペクトルや  $\dot{P} > 0$  から降着駆動説も成り立たず、主星からの星風のエネルギーも不十分である。よって中性子星が磁場  $\gtrsim 10^{14}$  Gをもつマグネターで、その磁気エネルギーが非熱的放射の駆動源である可能性が高まった [5]。降着の欠如も、Alfvén半径  $>$  Bondi半径として説明できる。粒子加速・ガンマ線放射の機構は、米田の講演に譲る。

[1] Takahashi, T.+09, *ApJ* **697**, 592. [2] Kishishita, T.+09, *ApJ* **697**, L1. [3] 松元崇弘 他 2017年秋季年会, W109a. [4] 米田浩基 他 2019年春季年会, W04a. [5] Yoneda, H. +20, *Phys. Rev. Lett.*, submitted

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

## W17a ガンマ線連星 LS 5039 の、NuSTAR 衛星と Fermi 衛星を用いた広帯域スペクトル解析

米田浩基 (理研), 牧島一夫 (Kavli IPMU/東大理/理研), 榎戸輝揚 (理研), Dmitry Khangulyan (立教大), 峰海里 (東大理/Kavli IPMU), 水野恒史 (広島大), 高橋忠幸 (Kavli IPMU/東大理)

大質量連星「ガンマ線連星」は、1 MeV 以上にピークを持つような非熱的放射を示し、顕著な粒子加速が起きていると考えられている。しかし、その放射機構・粒子加速の起源は、長らく大きな謎であった。近年、ガンマ線連星 LS 5039 から発見された強い MeV 放射は、統計加速では説明できないことが明らかになりつつあり、フェルミ加速とは異なる加速機構の存在が示唆されている。

そこで、我々は、LS 5039 の非熱的放射機構の解明に向け、NuSTAR 衛星と Fermi 衛星を用いた広帯域スペクトル解析を行った。その結果、X 線から GeV ガンマ線にかけて、ピークエネルギーや連星運動への依存性が異なる放射成分が3つあることが明らかになった。そのうち最も強い成分は、硬 X 線から数 GeV までに渡るシンクロトロン放射であり、これを説明するには、強磁場中での直接加速が起きていると考えるのが尤もらしい。さらに、LS 5039 から見つかっている硬 X 線パルスの兆候 (2017 秋 松元, 2019 春 米田, 本年会 牧島講演) も踏まえて考えると、この直接加速は、「LS5039 にマグネターが存在し、その近傍において磁気リコネクションが起きている」と仮定すると、よく説明できることが分かってきた。本講演では、広帯域スペクトル解析の詳細と、マグネター連星仮説のもとでの X 線ガンマ線放射機構について、報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

## W18a 周期的高速電波バーストの連星コムモデル

井岡邦仁 (京大基研), Bing Zhang (UNLV)

高速電波バースト (FRB) は、その名の通り、ミリ秒程度しか輝かない電波のバーストで、宇宙論的な距離からやってくる。その起源やメカニズムは全く分かっておらず、謎の天体である。その放射の輝度温度は  $10^{30}$  K を超え、極限的な物理状態が実現されていると考えられている。ミリ秒という短い時間からコンパクト星が関係している可能性が高く、バーストを繰り返すものに関しては、磁場の強い中性子星が有力な候補になっている。

最近、FRB 180916.J0158+65 からのバーストが周期的にやってくることが発見された。本講演では、この 16 日の周期性が中性子星の連星系における相互作用に起因する「連星コムモデル」を提案する。周期 16 日が、中性子星の自転周期やダイナミカル時間に比べて圧倒的に長いことから、連星を考えることは大変魅力的な考えである。ところが、連星系だと、伴星からの星風によって FRB が遮蔽されてしまう。これは FRB では誘導コンプトン散乱等、通常では働かない過程が重要になるからである。主星である中性子星からのパルサー風が、伴星からの星風に穴を開けることができれば、穴が地球に向かってる時に FRB が観測され、周期性が説明できる。穴ができる物理的条件を求め、マグネターを含む、強い磁場を持った若い中性子星がソースであればいいことが分かった。この連星モデルのもとで、イベントレートを求め観測と同程度になることを示す。また、FRB の周期に下限が予想されることも示す。もしかしたら、FRB になるには、内的因子 (強い磁場と若い年齢) と外的因子 (相互作用) の両方が必要になるのかもしれない。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

## W19a パルサーの距離情報より求めた天の川銀河内電離ガス密度分布

亀谷 収 (国立天文台)

パルサーの距離については、相対 VLBI 観測やパルサータイミング観測といった Astrometry 観測によって近年精確に求められてきている。その方法によって求められた距離とパルサーの Dispersion Measure (以下、DM) のデータを使って、パルサーと地球間の電離ガスの平均密度の 3 次元分布を求める研究を行っている。日本天文学会 2019 年春季年会の講演では、Deller 達が 2018 年に発表した論文の成果を使い、これまで Parallax が測定されたパルサーに更に 57 個の情報を使って解析を進めた結果についての一部を報告した。

本講演では、その結果の解析を進め、天の川銀河内の合計 129 個のパルサーの分布と密度分布について次のことが判明したのでその詳細を報告する。(1) Y-Z 平面のパルサーの投影分布をみると、HI ガス等にみられる天の川銀河のワープの傾向は見られない。(2) DM は 10 倍程度の分散がみられるが、距離との間でよい相関関係が見られる。(3) Z 軸方向に距離が増えると平均電子密度は減少するように見える。これらの結果は、これまでの研究結果をより補強する結果となった。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

## W20a 中性子星表面の定常的な磁気山の構造

藤澤幸太郎 (東大)

非軸対称的な構造をもって高速で回転している中性子星は、連続重力波の有力な候補である。連星系内の中性子星は、伴星からの降着で自転で自身の形状を保てる限界である臨界回転付近までスピニングアップされるはずであるが、実際に臨界回転付近で自転している中性子星は見つかっておらず、何らかのメカニズムで角運動量を失いスピニングアップが妨げられていると考えられている。中性子星が降着物質に由来する非軸対称的な構造の山を表面に持っていたとすると、連続重力波を放出し角運動量を失うと考えられる。そのため、自転進化や連続重力波を議論する上でこの山の構造は重要である。この山には様々なモデルが提案されているが、ここでは特に中性子星の磁場で支えられている磁気山モデルに着目する。

磁気山の定常的な構造を計算するためには、いくつかの仮定や定式化の途中で出てくる任意関数を決める必要がある。これまでの磁気山の先行研究 (例えば Priymak et al. 2014 など) ではエントロピーが一定で圧力が密度だけの関数であるというバロトロピックの仮定や特定の関数形の時のみに解を計算しており、系統的に磁気山の解の構造を調べているとは言えなかった。

そこで本研究では、より広い解を探索するために定式化や計算手法の開発を行い、どのような磁気山や磁場構造が実現されるかを系統的に調べた。その結果、これまで知られていなかった新しい磁気山の構造を得ることに成功した。この磁気山の構造とその物理的な状況に関して議論を行っていく。

[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](#)

## W21a Be/X線連星系において1周期の間に大きく方向を変える降着流

岡崎敦男 (北海学園大)

Be/X線連星系はBe星(星周円盤を持つ大質量星)とコンパクト天体(中性子星あるいはブラックホール)との連星系であり、大質量X線連星の約半数を占める。Be/X線連星系には軌道離心率の大きなものも多く、それらの系ではBe星の星周円盤が十分に成長すると近星点付近で星周円盤のガスがコンパクト天体に捕獲され、X線アウトバーストが見られる。X線アウトバーストには小規模なもの( $L_X \sim 10^{36-37} \text{ ergs}^{-1}$ )と大規模なもの( $L_X > 10^{37} \text{ ergs}^{-1}$ )があり、それらの解析から、Be/X線連星系には、Be星星周円盤の円盤面が連星の軌道面から大きく傾いている系も多いのではないかと考えられている。一般に、ガス円盤が大きく傾いた系では、コンパクト天体への降着が近星点の前後で1回ずつ起こるが、それぞれの回の降着流の角運動量ベクトルは連星の軌道ベクトルと大きな異なる角度をなすことが予想される。しかし、コンパクト天体の回りに時間差を持って異なる角度で入っていく降着物質が全体としてどのような降着流をつくるのかは調べられたことがなかった。

本研究では、Be星星周円盤が軌道面から大きく傾いている場合の中性子星への降着流の構造を数値シミュレーションで調べた結果について報告する。シミュレーションは約 $10^{5-6}$ 個のSPH粒子を用いて行った。ターゲットとして、観測的によく調べられているA0535+262( $25M_\odot$ のBe星と $1.4M_\odot$ の中性子星の連星系。軌道周期 $\sim 110$ 日、軌道離心率0.47)を採用し、Be星星周円盤の角度を何通りか変えてシミュレーションを実施した。その結果、Be星星周円盤が軌道の短軸まわりに大きく傾いている場合に、降着流の方向が軌道周期でもって大きく歳差運動する現象を見いだした。この大きな角度で起こる速い歳差運動は近星点の前と後に起こる2つの降着流が衝突することにより生じる現象である。他の角度の場合には、これほどはっきりした方向の変化は見られなかった。

[スケジュール\(セッション毎\)に戻る](#)

[スケジュール\(全体\)に戻る](#)

[講演者索引 TOPに戻る](#)

## W22a 超臨界中性子星降着流の降着率依存性および磁場強度依存性の研究

井上壮大(筑波大)、大須賀健(筑波大)、高橋博之(駒澤大)、朝比奈雄太(筑波大)

超高光度X線源(ULX)とは光度が $10^{39} \text{ erg/s}$ を超えるX線源であり、その中でX線パルスが観測されるものがULXパルサーである。パルスの存在は中心天体が中性子星であることを示唆しており、ULXパルサーのエネルギー源はエディントン限界降着率を超えた超臨界降着流と考えられる。このULXパルサーの構造を解明するべく、高橋らは中性子星への超臨界降着の一般相対論的輻射磁気流体力学シミュレーションを実施した(Takahashi et al. 2017)。これにより、円盤ガスが中性子星近傍で磁力線に沿って流れはじめ、最終的には中性子星の磁極に落下する様子が再現された。

しかしながら、中性子星への超臨界降着のシミュレーション研究は始まったばかりであり、多様なULXパルサーの諸現象を解明するためにはパラメータスタディが必要である。そこで我々は、Takahashi et al. (2017)で用いられた一般相対論的輻射磁気流体力学シミュレーションコード(UWABAMI)を駆使し、中性子星への超臨界降着によって形成されるアウトフローや磁気圏構造の質量降着率依存性と中性子星の磁場強度依存性を調査した。その結果、中性子星への降着率が時間変動することにより、磁気圏半径(降着円盤のtruncation半径)も激しく変動することがわかった。中性子星の磁場強度が $10^{11} \text{ G}$ で、平均的な質量降着率がエディントン限界降着率の400倍程度の場合、磁気圏半径は小さい時で約40km、大きい時で約60kmとなった。また、磁気圏半径は平均的には降着率の増加にともなって小さくなり、理論的予想である質量降着率の約 $2/7$ 乗という依存性と大きく矛盾しないことがわかった。講演では、アウトフローのパワーや構造、アウトフローによって決まる光球面の形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](#)

## W23a 中性子星の磁場進化へのクラスト（殻）の可塑性変形の効果

小島 康史 (広島大), 木坂 将太 (東北大), 藤澤 幸太郎 (東京大)

強磁場をもつマグネターはその磁場が変化することに活動の起源があるとされる。内部に表面以上のものが潜む可能性も考え、中性子星の磁場が強い場合の進化の一般的に議論されている。ホールドリフト効果や両極性拡散など磁場強度の2乗、3乗に依存する効果があり、それらが発現するか否かにより強磁場と弱磁場領域の現象に別れると考えられる。理論的な進化モデルとして、星のコア（芯）部分、またはクラスト（殻）部分での変化が考えられている。前者は星内部構造や理論枠組みの不定性などで議論がわかれるところである。後者は電子のみが移動可能で、比較的明確な系であり、本研究では、クラスト部分より外側にのみ磁場が存在すると仮定する。

中性子星の誕生時に、クラスト部分にあるイオンは重力、圧力や電磁氣的な力で静水圧平衡の状態に固定される。磁場進化とともに、磁場のストレスが蓄積され、変形の弾性限界を超えた場合にその状態は破壊される。その詳細な過程は未だ確定的でないが、可塑性な流れ（plastic flow）が生じるとの指摘がある。クラスト部分の磁場進化に、その考慮に入れた現実的なモデルも研究されている (Lander & Gourgouliatos 2019; Kojima & Suzuki 2020)。

この可塑性な流れはホール効果の時間尺度より短い尺度で効果的になり得るので、年齢が  $\sim 10^5 (B_{13})^{-1}$  年に相当する範囲で、磁場の変化によりもたらされる観測的可能性（示唆）を論じる。既に論じられている、マグネターの活動性や熱の超過分を含め、ここではその数値シミュレーションをもとに、四重極歪み、磁気双極子や表面の磁場の減衰を報告する。

[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](#)

## W24a X線単独中性子星における高温成分と吸収構造の性質

米山友景, 林田清, 野田博文, 松本浩典 (阪大)

X線単独中性子星 (X-ray Isolated Neutron Stars; XINS) は、電波放射を伴わない中性子星の一種である。現在までに ROSAT 衛星によって近傍 ( $< 500$  pc) の7天体が発見されている。自転から求められる磁場 ( $B$ ) と特性年齢 ( $\tau$ ) はそれぞれ  $B \sim 10^{13}$  G,  $\tau \sim 10^6$  年である。従来、XINS の X線スペクトルは単温度の黒体放射と幅の広いガウス関数状の吸収構造で近似できるとされてきた。前者は星表面からの放射と解釈されている。後者については陽子によるサイクロトロン共鳴散乱を起源とする仮説もあるが、吸収構造のエネルギー中心から求められる磁場が自転から求められるものと一致しないため、明確な起源とはいえない。

我々は、XINS の7天体全てについて更に高温の黒体放射成分を発見し、連続成分が二温度の黒体放射で再現されることを示した (Yoneyama et al., PASJ, 2019 他)。また、XINS の吸収構造は幅が広く、連続成分と強く相関する。そのため、連続成分として二温度モデルを用いると得られる吸収構造は大きく変化した。本発表では、XINS の高温連続成分と吸収構造の性質について議論する。

高温成分の光度は  $\sim 10^{29}$  erg s $^{-1}$  (2天体) と  $\sim 10^{31}$  erg s $^{-1}$  (5天体) の集団に分かれることが分かった。前者は spin-down luminosity で説明できる値であり、また対応する放射半径  $\sim 0.1$  km は古典的な中性子星の極冠モデル (Goldreich and Jurian 1969) と一致する。後者はそれらでは説明できず、むしろマグネターの同様の成分と類似した性質を示すことが分かった。また、吸収構造について、等価幅などのパラメータと磁場や X線パルス振幅などの観測量との間に従来見られなかった相関の兆候を発見した。これらの関係を通じて、吸収構造の物理的起源について考察する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

## W25a 中性子星中で出現する多様な超状態と中性子星の熱的進化

野田常雄(久留米工業大学), 安武伸俊(千葉工業大学), 橋本正章(九州大学), 丸山敏毅(原子力機構), 巽敏隆(大阪産業大学)

中性子星は星全体が1つの巨大な原子核と例えることが可能な高密度な天体である。これらを形作る高密度核物質では、通常の原子核では出現しない、メソン凝縮やハイペロン混合、核子の超流動やクォーク閉じ込め解放等の状態を取りうると考えられている。このような状態を地上の加速器実験で再現することは温度の面で困難であり、中性子星内部の物質の探求は理論計算と観測の突合せによって行われる。

中性子星の観測的発見から半世紀以上が経過した現在までに、様々な観測が行われてきた。 $2M_{\odot}$ を超える星や、重力波と電磁波のマルチメッセンジャー観測による中性子星合体の観測は、その内部状態を記述する状態方程式に強い制限を課した。また、高密度核物質の状態と密接な関係があるニュートリノ放射は、中性子星の表面温度の観測によって制限される。しかし、このような観測によっても、依然として中性子星内部の物質の状態は確定していない。

本研究では、クォーク物質を含む核を有し、様々な超状態(超流動、超伝導)をもつ中性子星の冷却計算を行った。超流動のクォーク・ハドロン連続性について考慮し、クォーク物質がカラー超伝導状態にあると仮定し、カラー超伝導のペアリング(CFL/2SC)が中性子星の冷却過程に及ぼす影響について調査した。

[スケジュール\(セッション毎\)に戻る](#)

[スケジュール\(全体\)に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

## W26a コンパクト連星合体直前の電磁場の解析解と合体前電磁波対応天体

和田知己, 柴田大, 井岡邦仁

中性子星を含むコンパクト連星の合体直前には、強力な磁場を持つ中性子星が光速の数十%で運動する。本研究ではベクトル球面調和関数展開の手法を用いて、合体直前の連星周りの電磁場を真空の場合に解析的に計算し、電磁波の放射強度を求めた。その結果、合体直前には公転の角速度の整数倍の振動数を持つモード(軌道角速度の高調波)により、スパイラルアーム状に電磁場が強い領域が現れること、放射強度が双極子放射の公式と比べて2-4倍増加することがわかった。また、連星合体の直前には中性子星の公転運動に由来する誘導電場が生じ、その誘導電場を遮蔽するために中性子星表面から剥ぎ取られた荷電粒子による磁気圏の形成が期待できることも明らかにした。この磁気圏の粒子数密度は連星合体の直前には中性子星の Goldreich-Julian 密度よりも桁で大きくなるため、合体直前の連星においては公転運動により誘導される磁気圏の効果を考える必要があることがわかった。以上の放射強度に対する補正、公転運動による磁気圏の形成を考慮して、連星合体前の電磁波対応天体の観測可能性を評価する。

[スケジュール\(セッション毎\)に戻る](#)

[スケジュール\(全体\)に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

## W27a キロノバのスペクトルで探る r-process 元素合成の痕跡

土本菜々恵、田中雅臣（東北大学）、和南城伸也（マックス・プランク重力物理学研究所）、川口恭平（東京大学）

連星中性子星合体が起こると中性子過剰な物質が放出され、r-process で合成された原子核の放射性崩壊によって、キロノバと呼ばれる電磁波放射が引き起こされる。2017 年に初めて連星中性子星合体からの重力波（GW170817）とそれに伴うキロノバが観測され、理論的予測との合致から r-process が起こったことが確認された。しかし、昨年同定が報告されたストロンチウムを除き、実際にどの元素がどれほど合成されたかは明らかになっていない。

我々は重元素の束縛遷移をまとめたデータベース（VALD）から最新のラインリストを構築し、様々な密度、温度における元素の吸収線の強さを系統的に計算した。VALD を用いたラインリストは実験データを基に作成されているため、元素ごとのラインの数は不完全だが、遷移波長が正確である点で同定に適している。この結果を GW170817 に付随して観測されたキロノバのスペクトルと比較して、合成された元素の同定を試みた。また、このラインリストを用いて、中性子星合体の放出物質における現実的な元素組成を考慮してキロノバの輻射輸送シミュレーションを行い、元素組成がスペクトルの形に与える影響を調べた。

その結果、昨年同定が報告されたストロンチウムの吸収線が確かに現れることを確認した。また、ストロンチウムと似た元素構造をもつカルシウムが、比較的電子割合の高い放出物質のトレーサーとして使えることが明らかになった。講演では、他の重元素の吸収線と組成についても議論する。

[スケジュール\(セッション毎\)に戻る](#)

[スケジュール\(全体\)に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

## W28a 連星中性子星合体後における質量放出

藤林 翔, 和南城 伸也, 木内 建太, 久徳 浩太郎, 関口 雄一郎, 柴田 大

連星中性子星合体は現在稼働中の地上重力波干渉計のターゲットであると同時に、合体に伴う質量放出により様々な電磁波天体が期待される。放出物質中の  $r$  過程によって合成される元素組成、及び不安定核の崩壊熱で輝く重力波の電磁波対応天体として重要な Kilonova の光学的性質は、放出物質中の電子-バリオン比  $Y_e$  に依存している。連星中性子星合体後に形成されるコンパクト天体-円盤系からの放出物質は、放出物質の多くを占める可能性があるため、その性質を理論的に調べる事は Kilonova の光学的性質の理解に欠かせない。近年発見された連星中性子星 PSR J1946+2052 は総質量が 2.5 太陽質量程度であり、宇宙時間内に合体するパラメータを持っている。これは、合体後に長寿命の大質量中性子星の形成が期待される連星合体が実際に存在することを意味している。我々は、低質量中性子星合体の結果形成される大質量中性子星-円盤系からの放出物質の性質を調べるため、ニュートリノ輻射輸送、磁気流体不安定性により成長した乱流による有効粘性を考慮した数値相対論流体コードを用いて、連星中性子星合体の 3 次元シミュレーションの結果を角度平均した現実的流体プロファイルを初期条件とし、2 次元軸対称計算を用いて中性子星-円盤系の長時間のシミュレーションを行った。我々は、長寿命の中性子星が存在する場合、0.1 から 0.3 太陽質量程度の大質量の円盤が形成され、その結果として 0.06-0.10 太陽質量の物質が主に粘性加熱によって放出されることを示した。また、円盤からの放出物質の  $Y_e$  は主に、物質の温度で決まる電子/陽電子捕獲反応の時間スケールが、円盤の膨張の時間スケールよりも長くなる（弱い相互作用が凍結する）ときの同反応の平衡値で決定されることを示した。そして現実的な粘性の時間スケールで質量放出が起こる限り、円盤  $Y_e$  は 0.3 程度と高くなり、強い  $r$  過程は起こらないことを示した。

[スケジュール\(セッション毎\)に戻る](#)

[スケジュール\(全体\)に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

## W29a Jet propagation and Cocoon Emission in Neutron Star Mergers and GW170817

Hamid Hamidani<sup>1</sup>, Kenta Kiuchi<sup>2</sup>, and Kunihito Ioka<sup>1</sup> <sup>1</sup> Yukawa Institute for Theoretical Physics, Kyoto University, Kyoto 606-8502, Japan <sup>2</sup> Max Planck Institute for Gravitational Physics (Albert Einstein Institute), Am Muehlenberg, Potsdam-Golm, D-14476, Germany

Here, we present a work that combines analytical modeling, numerical simulations, and numerical relativity, in order to solve jet and cocoon propagation in a given Binary Neutron Star (BNS) merger event. Our analytic solutions for jet head propagation show a good agreement with numerical simulations. We apply our model to GW170817 and successfully restrict the key parameters of the central engine, in particular we find that the engine isotropic luminosity should be in the range  $\sim 3 \times 10^{49} - 2.5 \times 10^{52}$  erg s<sup>-1</sup> erg/s. This implies that if observed on-axis, GRB 170817A would be as bright as any typical sGRB. Furthermore, we present an analytical modeling of the cocoon. As for GW170817, we show that in the first few hours after the merger, the bulk of the cocoon expands with an average velocity of  $\sim 0.3c - 0.4c$ , which is very comparable to the first photosphere velocity detections in GW170817. We estimate the cocoon in the prompt emission phase, as well as in typical late time engine activities, i.e. extended emission and plateau emission. Our findings show that the cocoon, in particular from late engine activities, is very bright in the first few hours, such as it shines over the early r-process powered macronova. We predict that future observation should be able to detect such cocoon component within the first few hours after the merger.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

## W30a NICER のデータを用いた X 線新星 MAXI J1810-222 のエネルギースペクトルとパワースペクトル解析

高城龍平, 根来均 (日本大学), 岩切 渉 (中央大学), Keith Gendreau (NASA/GSFC), 他 MAXI チーム

X 線新星 MAXI J1810-222 は、2018 年 12 月 1 日に全天 X 線監視装置 MAXI によって軟 X 線突発天体として発見された (Negoro+ ATel #12254, Maruyama+ ATel #12264, 根来他 日本天文学会 2019 年春季年会 No.W16a)。2018 年 12 月 9 日に、NuSTAR により追観測が行われ、 $\Gamma = 5.5 \pm 0.3$  の power-law と温度が 0.6-0.7 keV の blackbody または disk blackbody の和で表される、これまでにない特異なスペクトルが得られた (Negoro+ ATel #12283)。2019 年 7 月 3 日に、再増光が MAXI によって確認され (Negoro+ ATel #12910), 2020 年 3 月 3 日には、ハードなスペクトルが INTEGRAL によって検出された (Ducci+ ATel #13540)。

我々は、X 線望遠鏡 NICER の観測による同天体の全公開データを用いて、エネルギースペクトルとパワースペクトル解析を行なった。NICER によって観測が可能となった 2019 年 2 月 11 日から 9 月 6 日までのエネルギースペクトルは  $kT_{\text{in}}$  が 0.2-0.5 keV の disk blackbody と  $\Gamma = 2.5 \pm 0.7$  の power-law の和で表せ、パワースペクトルは 2-3 Hz に折れ曲りを持つ、強度で規格化したパワーが約 0.01 の flat-top 型を示した。同年 9 月 10 日から 24 日のエネルギースペクトルは  $\Gamma \sim 1.7$  の power-law 単一成分で表せ、パワースペクトルは約 0.1 Hz と約 1 Hz に折れ曲りを持つパワーが約 0.1 の flat-top 型を示した。これらの特徴の多くは、それぞれブラックホール連星系の中間状態とハード状態で見られるものであり、MAXI J1810-222 がブラックホール連星系であることを強く示唆する。その後、10 月 30 日から再び中間状態的な状態に遷移し、本年 2 月 8 日からはハード状態にある。講演では、NICER のデータを用いた両解析から見えてきた MAXI J1810-222 の特徴を報告する。

[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](#)

## W31a GX 339-4 の X 線と可視光光度曲線のタイムラグ解析：可視光が先行する順相関成分

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))

ブラックホールを中心天体として持つ X 線連星 (BHXR) を多波長で観測するとそれらの光度曲線が時間差 (タイムラグ) を伴って相関することが知られている。特に、X 線と可視光の数ミリ秒から数秒の短時間変動には、相互相関関数 (CCF) が  $\sim 0.1$  秒 X 線が先行した順相関と数秒のタイムラグの反相関を示す奇妙な形になることが知られている。このような形の CCF は、BHXR で数件報告されているがその詳細は分かっていない。我々は、タイムラグの推定、及びその相関した信号を抽出できるスパースモデリングを用いた手法を開発してきた。本解析手法は、光度曲線をフーリエ変換する際にパワースペクトルのスパース性を仮定することで両方の光度曲線に共通する信号のみを取り出すことができる利点がある。

本研究では GX 339-4 の X 線と可視光で観測された短時間変動の解析を行った。このデータでは先行研究で、X 線が 0.15 秒先行する順相関と、X 線が 1 秒先行する反相関、可視光が 4 秒先行する反相関が報告されている。我々の解析では、可視光が先行する反相関成分以外の 2 成分が検出された。この 2 つのラグ成分をそれぞれ抽出、光度曲線の再構成、CCF 解析を行ったところ、X 線が 1 秒先行して反相関する成分は、可視光が 1 秒先行する順相関と 4 秒先行する反相関を示すことを確認した。これは CCF に見られる 2 つの反相関が、実際は、可視光が先行する順相関成分が周期的なことによって作られている可能性を示唆している。このような変動を示す物理現象としては、例えば、円盤内で可視光を放射していた領域がブラックホール近傍に落ち込み X 線を放射するといった描像が考えられる。

[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](#)

## W32a 超臨界降着流におけるコロナモデルとその放射スペクトルの特徴

川中宣太、嶺重慎 (京都大学)

超高光度 X 線源や非常に明るい銀河系内マイクロクエーサー、狭輝線セイファート I 型銀河のような天体を説明するモデルとして、ブラックホールにエディントン降着率を超える量のガスが落ちている超臨界降着円盤が考えられている。これらの天体の X 線スペクトルは、降着円盤からの熱的放射成分とその降着円盤を取り囲む高温プラズマ (コロナ) 中の電子によって円盤からの熱的光子が逆コンプトン散乱されてできる成分とでしばしばフィットされるが、このときのコロナは超臨界降着円盤を持つ天体に比べて光学的に厚く ( $\tau \gtrsim 3$ )、温度は 1 桁以上低く ( $T \lesssim 10$  keV) なることが知られており、その起源は明らかになっていない。我々は超臨界降着円盤におけるコロナの生成および加熱の単純な理論モデルを構築した。このモデルではコロナは円盤から輻射圧によって駆動されるウィンドによって円盤上空に供給され、円盤内でガスや輻射と等分配まで強められた磁場が浮上してリコネクションすることにより加熱される。我々はこれらの単純な仮定から得られるコロナの光学的厚みおよび温度は観測とよく一致することを示した。またこのコロナモデルに基づいてモンテカルロ法による輻射輸送計算を行い放射スペクトルを求めたところ、上記の天体のスペクトルに見られるいくつかの特徴をよく再現することができた。

[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](#)

## W33a ブラックホール降着流の一般相対論的輻射磁気流体計算：質量降着率依存性

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)

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、活動銀河核や X 線連星などのコンパクト天体から噴出している様子が観測されている。ブラックホールへガスが降着する際に解放される重力エネルギーが、ジェットや輻射のエネルギー源であると考えられている。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おり、ジェット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。我々はブラックホール近傍の輻射輸送をより正確に解くために、近似手法である流束制限拡散近似や 1 次モーメント (M1) 法を用いる代わりに、輻射輸送方程式を解く一般相対論的輻射磁気流体 (GR-RMHD) コードを開発してきた。本発表ではこのコードを用いて、質量降着率を変化させたブラックホール降着流の GR-RMHD シミュレーションを実施し、アウトフローの質量流出率や光度の依存性を報告する。また、M1 法でも同様の計算を行い、輻射輸送の計算手法の比較も報告する。

初期条件は Fishbone & Moncrief (1976) で与えられる平衡トーラスを仮定し、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。初期のトーラスの密度を変えることでブラックホールへの質量降着率を変化させた。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、我々の解法の方が 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、アウトフローの質量流出率が質量降着率におおよそ比例するという結果を得ることができた。さらに、質量降着率と質量流出率の相互相関関数をとることで、質量降着率の上昇と、質量流出率の上昇に時間差があることを示した。本発表では、質量降着率と光度の時間変動などについても報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

## W34a Super-Eddington 天体に対する dusty-gas の Hoyle-Lyttleton 降着過程

尾形絵梨花 (筑波大学), 大須賀健 (筑波大学), 矢島秀伸 (筑波大学)

恒星質量ブラックホール (BH) は、X 線連星として発見されることが多いが、未だ発見されていない単独の BH が多数存在する可能性がある。単独の BH は星間空間を浮遊し、重力によって捕獲した星間ガスを吸い込んでいと考えられる (いわゆる Hoyle-Lyttleton 降着)。ただし、BH の周囲に降着円盤が形成され、そこで強力な輻射が生じると、重力だけでなく輻射力が星間ガスの運動に影響を与えることになる。このような背景のもと、Fukue & Ioroi (1999) は sub-Eddington 円盤からの輻射、Hanamoto, Ioroi, & Fukue (2001) は super-Eddington 円盤からの輻射による輻射力を考慮し Hoyle-Lyttleton 降着を調べた。ただし、いずれも星間ガスが光学的に薄いと近似されており、減光の効果は考慮されていない。BH が高密度ガス雲に突入する場合や、星間ガスがダストを含む場合、光学的厚みの効果が無視できない可能性がある。

そこで本研究では、dusty-gas の Hoyle-Lyttleton 降着率を定量的に調べた。具体的には、減光を考慮した輻射力と重力を取り入れた運動方程式を解くことで、Hoyle-Lyttleton 半径領域の定常構造を調べた。なお、光度が super-Eddington であっても解析できるように、細谷ら (2020 年春季年会) の方法を改良してある。この結果、super-Eddington の場合であっても、減光によって輻射力が弱まることで降着可能となることがわかった。例えば、Eddington ratio (光度/dusty-gas に対する Eddington 光度) が 1.1 の球対称光源の場合の降着率は、 $\tau_{\text{HL}} = 0.0033$  で Hoyle-Lyttleton 降着率の 17%、 $\tau_{\text{HL}} = 0.33$  では Hoyle-Lyttleton 降着率の 79% となった。ここで、 $\tau_{\text{HL}}$  は Hoyle-Lyttleton 半径での dusty-gas の典型的な光学的厚みである。講演では非等方な円盤放射の場合についても報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

## W35a 始原星団内の中間質量ブラックホールの星の潮汐破壊現象による成長

櫻井祐也 (IPMU, Georgia Institute of Technology), 吉田直紀 (東京大学, IPMU), 藤井通子 (東京大学)

始原星団内での星の暴走的衝突により中間質量ブラックホール (IMBH: intermediate mass black hole) が形成された後の星団進化を N 体計算を使い調査する。初期条件として Sakurai et al. (2017) の計算一宇宙論的に形成された始原星団が、動的に動くダークマターハロー中で進化し、星の暴走的衝突を起こし、IMBH を形成する過程を N 体計算により追った一を利用する。重い星が星団中心に集中する mass segregation により、大質量星が中心の IMBH に捕獲され、潮汐破壊現象が起きる。

我々の計算で、潮汐破壊率が  $\sim 0.3 \text{ Myr}^{-1} (M_{\text{IMBH}}/1000 M_{\odot})^2$  とスケールすることが分かった。星団のダークマター成分が星団の外側部分の星を剥ぎ取ること星団進化に影響を及ぼす。星団内でのダークマター密度が上昇すると、星の速度分散が上昇し、潮汐破壊率が減少する。星の潮汐破壊で IMBH が星を取り込むことで、IMBH は 15 Myr で 700 – 2500  $M_{\odot}$  まで成長する。このような IMBH は、後に銀河合体や大規模構造からのガス供給により  $z \gtrsim 6-7$  で観測されているような超巨大 BH に成長しうる。ガスが供給されない場合、現在まで IMBH のまま残っている可能性がある。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

W36a  $70M_{\odot}$  のブラックホールを持つとされる連星系 LB-1 の形成過程について

谷川衝, 衣川智弥, 熊本淳, 藤井通子 (東京大学)

LB-1 は我々の銀河にある連星系であり、うち 1 つの天体は  $70M_{\odot}$  のブラックホール (BH) だと報告された (Liu et al. 2019)。これは大変な驚きであった。標準的な連星進化論では、この連星の存在を説明できないからである。まずこの BH の伴星は太陽金属量で  $8M_{\odot}$  の B 型星である。従ってこの BH になった星も太陽金属量であったはずである。しかし、太陽金属量の星は強い恒星風で質量を失うため、せいぜい  $20M_{\odot}$  の BH にしかならない。一方、 $70M_{\odot}$  の BH が低金属量の星からできたあと B 型星を捕獲した可能性もある。しかし、このような連星系は高離心率を持つはずだが、LB-1 の離心率はほぼゼロである。また潮汐作用による円軌道化には  $10^{14}$  年かかる。

この報告後、 $70M_{\odot}$  の BH の存在には様々な反論がなされ (e.g. El-Badry, Quataert 2020)、報告者がさらに反論するという事態になっている。しかし、 $70M_{\odot}$  の BH の存在の是非はともかく、LB-1 のような天体が我々の銀河に存在する数を理論的に導出するのは有意義だと考え、我々は様々な LB-1 形成シナリオを検討した。

その結果、最も LB-1 を効率的に形成できるシナリオは以下であった。散開星団中の  $8M_{\odot}$  の B 型星と O 型星 ( $\sim 50M_{\odot}$ ) の連星系を考える。その O 型星に外層を失ったヘリウム星 ( $\sim 20M_{\odot}$ ) が衝突する。衝突して出来た星と B 型星が潮汐作用を起こし、連星系が円軌道化する。その後衝突して出来た星が BH となる。衝突率や潮汐作用の効率を見積った結果、LB-1 が我々の銀河に現在存在する数は 0.01 個であった。この他にも様々な星の衝突過程や、階層三体系における LB-1 の形成を考えたが、それらの形成効率は上記のシナリオに比べて 1 桁以上小さかった。これらの結果は、LB-1 に  $70M_{\odot}$  の BH が存在しないということを強く支持する。もし LB-1 が存在するならば、標準的な連星進化論に間違いがあることになる。

[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](#)

## W37a 濃い星周物質内でのブラックホール形成と突発天体

津名大地(東大), 石井彩子(マックスプランク研究所), 栗山直人(東大), 檜山和己(東大), 茂山俊和(東大)

近年の広視野・短いケーデンスの突発天体サーベイで、濃い星周物質との衝突を示唆する超新星が数多く見つかっている。濃い星周物質が形成される過程は未だ解明されていないが、重力崩壊の数年前というほんの直前に最大で太陽質量程度の物質が放出されることが観測からわかっている。重たく濃い星周物質は超新星爆発によって生じたイジェクタの運動エネルギーを効率よく輻射に変換するため、星周物質との衝突を経た超新星は一般的な超新星よりかなり明るく観測される。

このような重力崩壊直前の質量放出は、ブラックホールを形成するような親星でも起こりうる。一方ブラックホール形成の場合、普通の超新星とは定性的に異なるイジェクタが放出されると考えられている。まず親星の自転が無視できる場合、星のほとんどがブラックホールに落ち込むが、ブラックホールになる前の中心核がニュートリノ放出によって重力が弱まる分、外層の一部が弱く吹き飛ぶ。一方親星の自転がそれなりにあり星の外層が十分角運動量を持つ場合、ブラックホールの周りに降着円盤が形成され、その高い降着率によって高速の円盤風を放出すると考えられている。

本講演では、このようなブラックホール形成時のイジェクタと星周物質との衝突によりどのような突発天体が観測できるか、そしてこれまでの観測で見ついている特異な突発天体がこのモデルで説明できるかを議論する。

[スケジュール\(セッション毎\)に戻る](#)

[スケジュール\(全体\)に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

## W38a 散開星団で形成される連星ブラックホールのスピン

熊本淳, 藤井通子, 谷川衝(東京大学)

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。また、金属量が異なる散開星団について、重力  $N$  体シミュレーションコード NBODY6++GPU を用いて計算を行い、銀河の金属量進化史を考慮することで、近傍での合体率への寄与を推定した。これら結果から、散開星団起源の連星ブラックホールの合体は、重力波の観測から示唆される連星ブラックホール合体率密度、ブラックホール質量分布とよく一致することが分かった。

一方で、重力波の観測からはブラックホールのスピンの情報も得られる。実際にこれまでに観測された連星ブラックホール起源と思われる重力波から、ブラックホールのスピン分布も得られている。そこで、シミュレーションから得られた散開星団起源の連星ブラックホールは観測のようなスピン分布を説明しうるか解析を行った。シミュレーションでは、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。この星団内で形成される連星について、連星の軌道長半径、星の質量、半径を用いて連星ブラックホールのスピンの大きさを見積もった。

その結果、common-envelope を経た連星の内、より小さい軌道長半径( $\sim 0.01$  AU)の連星は大きいスピン( $\chi_{eff} > 0.1$ )を持ちうるということが分かった。その割合は宇宙年齢で合体する連星ブラックホールの 1 割程度であり、観測による見積もりとも矛盾しないことが分かった。本講演ではこれらの結果に加え、スピン持つような連星ブラックホールについて、ブラックホール質量とスピンの大きさの相関、近傍での合体率密度についても議論を行う。

[スケジュール\(セッション毎\)に戻る](#)

[スケジュール\(全体\)に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

### W39a Formation and evolution of compact object binaries in AGN disks

Hiromichi Tagawa (Tohoku University), Zoltan Haiman (Columbia University), Imre Bartos (Florida University), Bence Kocsis (Oxford University)

The astrophysical origin of gravitational wave (GW) events discovered by LIGO/VIRGO remains an outstanding puzzle. In active galactic nuclei (AGN), compact-object binaries form, evolve, and interact with a dense star cluster and a gas disk. An important question is whether and how binaries merge in these environments. To address this question, we have performed one-dimensional  $N$ -body simulations combined with a semi-analytical model which includes the formation, disruption, and evolution of binaries self-consistently. We point out that binaries can form in single-single interactions by the dissipation of kinetic energy in a gaseous medium. This “gas capture” binary formation channel contributes up to 97% of gas-driven mergers and leads to a high merger rate in AGN disks even without pre-existing binaries. We find that the distribution of  $\chi_{\text{eff}}$  predicted by our AGN model is similar to the distribution observed during LIGO/Virgo O1 and O2. We further suggest that high binary masses and the positive correlation between binary mass and the standard deviation of  $\chi_{\text{eff}}$  for chirp masses up to  $\approx 20 M_{\text{sun}}$ , can be possible signatures for mergers originating in AGN disks. Finally, hierarchical mergers in AGN disks naturally produce properties of the recent GW event GW190412, including a low mass ratio, a high primary black hole spin, and a significant spin component in the orbital plane.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

### W40a On the spin distribution of merging binary black holes from star clusters

Trani, A. Alessandro (The University of Tokyo); Tanikawa, Ataru (The University of Tokyo), Fujii, Michiko (The University of Tokyo)

The astrophysical origin of merging black hole binaries is still a mystery. Two main pathways are usually advocated: isolated binaries merging in the field, and dynamically interacting binaries formed in star clusters. The coarse localization of gravitational wave events cannot indicate the environment in which the binary formed, but discerning among these two scenarios can be possible via the progenitor binary parameters that are observable via gravitational wave interferometry, namely masses, eccentricity, and spin. However, present models of the aforementioned formation pathways do not indicate an appreciable difference in the mass distributions, and eccentricity is unlikely to be inferred with current ground-based detectors. On the other hand, the magnitude and orientation of black hole spins is a promising indicator of the formation history of merging binaries. Black hole binaries from isolated binaries will likely have spins aligned with the orbit due to tidal spin-up, while binaries ejected from star cluster will have some degrees of misalignment. We quantify the projected spin distributions of black hole binaries ejected from globular and open cluster by combining population synthesis and gravitational few-body simulations. The projected spin distribution of binaries ejected via strong three-body encounters correlates non-trivially with the eccentricity and ejection velocity distributions. Using such information, we can link the estimated black hole spin to the formation pathway, thus leading to a more detailed picture of their environments and origins.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

## W41a 超巨大 Kerr バイナリー・ブラックホールからの重力波について

大家 寛 (東北大・理)

1. 序 本研究の動機はこれまでデカメーター電波観測によって明らかにされてきた天の川銀河中心における SgrA(\*) が質量 227 万太陽質量および 194 万太陽質量をもち 2200 秒近くで公転する 2 重星ブラックホールであるという件にある (註 1) 即ちこの状態は従来のブラックホール・バイナリーに対する重力波発生理論に従う限り存在し得ないと結論される。本論はこの問題に対して超巨大 Kerr ブラックホール (BH) の内部のプラズマ分布モデルを検討し、BH が重力波源となり得ない状況があることを明らかにした。

2. Kerr 時空に接続する物質分布を定める時空 本論では、超巨大 Kerr ブラックホールに対し重力波発生源となる内部物質分布を決定する力学平衡を求めているが、エネルギーテンソル項を持つアインシュタイン方程式を自由落下観測系で解く形で進めた。従って、物質分布を支配する時空はミンコフスキー時空からの摂動として求めている。方程式のエネルギーテンソル項には物質核内の、等速回転モデルを設定している。これは共通回転軸周りの回転速度が全域で等しいとするもので、回転速度が光速に近い場合、物質核半径は事象限界半径より遙かに小さく集中することが示された。一例として、物質核内の全プラズマの 1/4 が Lorentz 効果によるガンマ比 22 に達する高速回転となる場合、物質半径は事象限界半径の 1/40 近くまで凝縮する事が示される。

3. 結論 従ってこの凝縮された物質核のバイナリーの公転運動によって発生する重力波は事象限界と物質限界の間の広い空間を事象限界に向かって伝搬するが、事象限界にて進行速度がゼロとなり、停止する。従って超巨大 Kerr バイナリー・ブラックホールからは重力波が事象限界を越えて外部に放射されることはない。

註 1) <https://www.terrapub.co.jp/e-library/9784887041714/index.html>

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

## X01a 原始銀河団中ガスの $\text{Ly}\alpha$ 放射と金属組成比分布

福島啓太, 長峯健太郎 (大阪大学)

$\text{Ly}\alpha$  で明るく広がった放射をする銀河 (LABs) が、高赤方偏移 ( $z \geq 2$ ) での銀河団の前駆体である原始銀河団領域で見つかってきている。 $\text{Ly}\alpha$  の放射機構にはガス降着駆動型と銀河風駆動型が考えられている。ガス降着駆動型は銀河に降着する冷たいガス内の中性水素と自由電子の衝突脱励起により、また銀河風駆動型は星形成銀河や AGN からのガス流出がダストを押し除け輻射により周囲を電離し、再結合により  $\text{Ly}\alpha$  を放射する物理過程である。近年  $z \sim 3.1$  にある原始銀河団領域のフィラメントからの  $\text{Ly}\alpha$  放射が直接観測され、その放射強度を説明する必要がある。超新星爆発によりガスが流出する際、生成された金属も共に拡散される。その種類によって金属組成比が異なることを用いて、流出の起源を調べることができる。そこで我々は、運動量フィードバックを考慮した超新星爆発モデルを取り入れた宇宙論的流体シミュレーションコード GADGET3-Osaka により、zoom-in 手法を用いて原始銀河団形成の計算を行った。多波長輻射輸送計算コード ART<sup>2</sup> をポストプロセスで用いて、 $\text{Ly}\alpha$  放射強度を原始銀河団中のフィラメント領域に対して計算した。II 型、Ia 型超新星爆発と Asymptotic Giant Branch (AGB) 星による金属生成は流体計算と同時に解いており、金属組成比進化を調べることで、 $z \geq 2$  では主に II 型超新星爆発が起きており、Ia 型超新星爆発と AGB 星の影響は  $z \sim 2$  から現れることを示した。また、 $\text{Ly}\alpha$  分布と金属組成比分布の比較を行った。主な放射機構やすばる超広視野分光器 PFS での観測可能性も議論する。

[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](#)

## X02a AGN Feedback Model in GADGET3-Osaka: Cosmological Simulation

Abednego Wiliardy, Kentaro Nagamine (Osaka U.), Renyue Cen (Princeton U.), Ikkoh Shimizu (Shikoku Gakuin U.)

As the most massive kind of celestial objects, supermassive black holes (SMBHs) in galactic nuclei play a significant role in galaxy evolution. Energy feedback released by an active galactic nucleus (AGN) is believed to be responsible for some observational issues, such as correlation of SMBH mass to its host galaxy's bulge velocity dispersion, star formation quenching, and the galaxy mass function. The process of how an AGN is actually involved remains unclear until now. Yet, some mechanism were proposed to explain how AGN rules those galactical processes, including heating up gas in circumgalactic medium (CGM), generating a strong outflow from the galactic center, emanating a collimated high energy jet, or simply heating up gas in the black hole vicinity. In our research, we introduce two kinds of AGN feedback schemes into our GADGET3-Osaka code, the quasar mode and radio mode. When the accretion rate is high, the AGN goes into the quasar mode by releasing an isotropic thermal feedback by using geodesic dome. In such a way, a strong outflow is produced through low density regions. In radio mode, we emulate the jet feedback that heats up the CGM preventing the hot gas from being recycled into the galaxy disk. We circumvent the necessity of very high resolution by creating ghost particles that carry feedback information from the AGN. On the other hand, we employ group finder in cosmological simulation to determine galaxies or clusters in which we may plant the SMBH seed.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

## X03a 高分解能シミュレーションに基づいた超新星フィードバックモデルの構築

奥裕理 (大阪大学), 富田賢吾 (東北大学), 長峯健太郎 (大阪大学), 清水一紘 (四国学院大学)

観測から得られる銀河での星形成効率を説明するためには、星形成活動を抑制する物理機構が必要である。超新星爆発が星形成領域のガスを吹き飛ばす働きは、星形成を抑制する主要なフィードバック機構であると考えられており、銀河形成の物理プロセスを理解する上で超新星フィードバックの働きを調べることは重要である。

従来の超新星フィードバックモデルで観測と統合的な星形成率を実現するためには、銀河円盤を破壊するほどの強いフィードバックが必要であり、 $z \sim 2$  の高赤方偏移宇宙にも円盤銀河が存在するという観測事実と非整合的であった。

本研究では、MHD シミュレーションコード Athena++ を用いた 3 次元流体シミュレーションの結果 (2020 年春季年会 Q29a) を応用することで、金属量依存性を考慮した超新星フィードバックモデルを構築する。超新星フィードバックは放射冷却によるエネルギー損失の影響を受けるため、超新星フィードバックが与える運動量は金属量に依存し、低金属量環境下では太陽金属量環境下と比べて 2 倍の運動量が与えられる。銀河の形成過程で星形成活動により金属量は増加するため、超新星フィードバックの金属量依存性を考慮することで、 $z \gtrsim 2$  では星形成を抑制しつつ  $z \lesssim 2$  での円盤形成を説明できる可能性がある。

本講演では、新たに構築した超新星フィードバックモデルを紹介し、このモデルを導入した銀河形成シミュレーションコード GADGET3-Osaka を用いた孤立銀河でのテスト計算の結果を報告する。

[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](#)

## X04a Synthetic Metal Observations of $z=2.0$ IGM within Osaka Feedback Model Simulations

Jackson M. Norris (Osaka University), Kentaro Nagamine (Osaka University), Ikko Shimizu (Shikoku Gakuin University)

Ongoing observations with the Subaru Prime Focus Spectrograph (PFS) and other future large telescopes will allow investigations of the relative distribution of HI gas and metals around galaxies. We use simulations of isolated galaxies from the Osaka feedback model (Shimizu et al. 2019) to investigate the limitations of such observations. The Osaka feedback model incorporates feedback from supernovae and uses the CELib chemistry library to provide time-dependent metal enrichment of gas from Type Ia and II supernovae. This provides us with a good understanding of metal enrichment, which allows us to generate synthetic observations of the high-redshift intergalactic medium, focusing on the effects of metals. In this presentation, we will showcase early results of our analysis regarding synthetic spectroscopic observations of metal absorption lines toward background quasars and 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](#)

## X05a The Uchuu simulations: Data release 1

石山智明 (千葉大学), Francisco Prada (Instituto de Astrofísica de Andalucía), Anatoly A. Klypin (New Mexico State University), and the Uchuu collaboration

宇宙論的  $N$  体シミュレーションは、宇宙初期の微小な密度揺らぎからはじまる、ダークマター分布の重力的な進化を計算する手法のひとつであり、大規模構造やダークマターハローの研究に広く用いられている。また準解析的銀河・銀河核形成モデル、halo occupation distribution モデル、abundance matching モデルなどと組み合わせ、ハローの中で誕生する銀河などの性質を推定し観測と比較するなど、その適用事例は枚挙にいとまがない。

近年の、そして計画されている大規模天体サーベイ観測と比較するためには、銀河スケールを十分表現できる分解能をもち、かつ  $1 \text{ Gpc/h}$  を大きく超えるスケールのシミュレーションをベースに模擬カタログを構築する必要がある。しかしこのスケールのシミュレーションはいまだ達成されていなかった。我々はこの状況を刷新するために、国立天文台のスーパーコンピュータ、アテルイ II を用いて大規模宇宙論的  $N$  体シミュレーションを行った。そしてそこから導出したハローカタログや、ハロー合体形成史、そして複数の異なる準解析的モデルや経験的モデルを用いて構築した、大規模模擬カタログを公開する国際プロジェクトを進めている。

ベースとなる最大のシミュレーションは Uchuu と名づけられ、粒子数  $12800^3$ 、ボックスサイズ  $2 \text{ Gpc/h}$ 、粒子質量  $3.27 \times 10^8 M_\odot/h$  であり、他のグループによって行われた同程度のボックスサイズ、かつハローの合体形成史のデータを利用できるシミュレーションよりも、1 桁以上良い質量分解能である。本講演では、シミュレーションや各種公開データ、提供する解析ツールの詳細について報告する。また、低輝度矮小楕円体銀河から銀河団スケールにわたって、ハローの中心集中度の進化を精度良く表現するモデルを紹介する。

[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](#)

## X06a ダークマターの自己相互作用を考慮した宇宙の構造形成シミュレーション

蛭子俊大, 石山智明 (千葉大学)

矮小銀河はサブハローと呼ばれるダークマターの局所密度が高い系に属しているため、その形成過程や進化の研究はダークマターの性質を理解するうえで重要であると考えられている。しかし、このような小スケールでは、従来の冷たいダークマター (CDM) モデルの予測と観測結果との間に幾つか矛盾点が存在する。例えば、観測で見積もられるダークマターハローの密度プロファイルはコア構造を示すのに対して、CDM シミュレーションで得られる密度プロファイルはカスプ構造を示すというカスプ-コア問題がある。また、銀河系周辺で観測された矮小銀河の数は CDM シミュレーションの予測より 1 桁程少ないというミッシングサテライト問題がある。これらの問題を解決するため、自己相互作用するダークマター (SIDM) モデルが提案されてきた。

本研究では、粒子数  $1024^3$ 、ボックスサイズ  $8 \text{ Mpc/h}$ 、質量分解能  $4.1 \times 10^4 M_\odot/h$  でハローの形成段階からダークマターの自己相互作用を考慮した宇宙論的  $N$  体シミュレーションを行った。このシミュレーションは、今まで行われてきた SIDM シミュレーションの中でも広範囲かつ高解像度なものである。そして得られた 9 個の天の川銀河サイズのホストハローに付随する矮小楕円体銀河サイズのサブハローの性質を、CDM シミュレーション及び観測と比較した。その結果、円運動速度の最大値をとる半径で面密度に大きな違いは確認できなかった。しかし、その  $1/4$ ,  $1/8$  の半径では、SIDM の面密度は CDM のおよそ 0.8 倍、0.7 倍になることが確認された。

本講演ではこれらの結果やサブハロー質量関数、空間分布の比較を発表するとともに、この比較からダークマターの性質に制限をつけられるかを議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

## X07a 銀河衝突によるダークマター欠乏銀河の形成：衝突速度依存性について

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モデルでは、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。しかし楕円銀河 NGC1052 に付随する衛星銀河 NGC1052-DF2 が、理論的に予測されるダークマター質量の 1/400 程度しかなく、ダークマター欠乏銀河であることが発表された (van Dokkum et al. 2018)。この銀河は、大きい effective 半径 ( $> 1.5 \text{ kpc}$ ) に対して、低い表面輝度 ( $> 24 \text{ mag arcsec}^{-2}$ ) を特徴とする Ultra Diffuse Galaxy (UDG) に分類されている。また DF2 近傍の NGC1052-DF4 にも同様な性質を持つことが報告された。さらに  $\text{H}_I$  輝線が観測された 6 つの UDGs の回転速度が、同程度のバリオン質量を持つ他の銀河に比べて約 3 倍遅いことが発見され、ダークマターをほとんど含まないことが確認された (Mancera Piña et al. 2019)。他にも赤方偏移  $z = 0.6\text{-}2.6$  の大質量星形成円盤銀河に対してスタックされた  $\text{H}_\alpha$  回転曲線が、半径とともに減少していることが発見された (Genzel et al. 2017)。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。我々は前回の発表で、ダークマター欠乏銀河の形成が、衝突速度  $100 \text{ km/s}$  のダークマターサブハロー同士の衝突によって説明できることを示した。

本研究では、一次元の流体モデルを用いた解析結果を報告するとともに、ダークマターサブハローの衝突速度や超新星フィードバックがダークマター欠乏銀河の形成可能性に与える影響を調べた。その結果、低速衝突の場合では通常の銀河が形成され、 $300 \text{ km/s}$  を超える速度の場合には、銀河は形成されないことがわかった。これらの解析結果とシミュレーションの詳細及ダークマター欠乏銀河の形成条件について、形成された銀河の質量などの物理量をもとに報告し、ダークマター欠乏銀河の形成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](#)

## X08a 宇宙論的シミュレーションを用いた CO 分子輝線疑似観測

井上 茂樹 (筑波大学/国立天文台)、吉田 直紀 (東京大学)、矢島 秀伸 (筑波大学)

水素分子 ( $\text{H}_2$ ) は星・銀河形成における根源的な素となっているガスである。しかしその直接観測はほぼ不可能であり、代替として二酸化炭素分子 (CO) の回転遷移輝線を観測する手法が採られている。しかし、CO 輝線強度と実際の  $\text{H}_2$  密度の関係は、銀河中の局所的な環境に依存しており一定ではないことがわかっている。一方、銀河形成シミュレーションにおいては、ダストや輻射場などが密接に関連する分子雲形成のモデルを取り込むことが出来ておらず、単純に「ガスはガス」として扱うような計算が一般的である。そのため、CO 分子輝線の観測とシミュレーションを直接的に比較することは現状不可能となっている。

本研究では、宇宙論的銀河形成シミュレーションの出力データを基にして、化学輻射輸送計算を組み合わせる手法を提案する。それにより、CO 輝線強度と実際の  $\text{H}_2$  存在度などの情報をシミュレーションデータに付加することで、現在の電波観測と直接比較可能な疑似観測モデルを作ることができ、変換係数を仮定することなく高次の回転遷移輝線についても調べることが出来る。またシミュレーションデータに基づいて計算されることから、シミュレーションの解像度で分解された情報を取り出すことが可能である。今回は、IllustrisTNG シミュレーションの公開データと分子雲化学輻射輸送計算コード DESPOTIC を用いた結果を紹介する。結果として、現在の宇宙の近傍銀河においては、CO(1-0) 輝線強度と推測される  $\text{H}_2$  量の分布を、現在の観測と非常に良い一致性で再現することができた。しかし、近傍銀河に適用したモデルをそのまま高赤方偏移銀河に用いると、観測される CO 輝線強度を大きく下回る結果となってしまう、この差異は赤方偏移とともに大きくなる。本講演では、こうした結果から、近傍銀河と高赤方偏移銀河の系統的な性質の違い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](#)

## X09a Resolved Kennicutt–Schmidt Law as Seen from COMING

竹内 努<sup>1,2</sup>, 依田 萌<sup>1</sup>, 施 文<sup>1</sup>, Cooray, Suchetha<sup>1</sup>, 大森 清顕 クリストファ<sup>1</sup>, 北條 妙<sup>1</sup>, COMING チーム (1 名古屋大学素粒子宇宙物理学専攻, 2 統計数理研究所統計的機械学習研究センター)

A log-linear relation between gas and star formation rate (SFR) surface densities in galaxies is known as Kennicutt–Schmidt (K-S law). Though the K-S law has been studied extensively, it still remains as a heuristic law. This is mainly because it takes much time for a radio imaging, which is necessary for the estimation of gas surface densities, and then it is difficult to obtain homogeneous dataset for many galaxies.

We examined the K-S law resolved to 1 kpc scale for about 100 nearby galaxies by using the data of COMING, a Nobeyama Radio Observatory 45 m Legacy Project, together with *GALEX* (ultraviolet), *WISE* (mid-infrared), and VLA (21 cm line) images. We note that how to estimate the slope of the log-linear relation is of vital importance. Actually this issue has introduced unnecessary confusion in the studies of the K-S law, since there has been no unique way to make a linear fit data with significant noise as well as the intrinsic dispersion. To address this problem, we introduced a Gaussian mixture model with the expectation–maximization (EM) algorithm. This enables to separate nuisance noise and physically meaningful data objectively by statistical estimation. We found that the SFR surface density is approximately proportional to that of the molecular gas, but with a slightly steeper slope than previous studies. In contrast, the SFR does not have a significant correlation to the atomic gas, leading to a nonlinear relation as the K-S law for total gas in logarithmic scale. We report these results and suggestions to the evolution of 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](#)

## X10a Analysis of the SFR–M relation for CANDELS GOODS-S data

施 文, 竹内 努 (名古屋大学)

The majority of star-forming galaxies follow a relatively tight relation between stellar mass and star formation rate (SFR) in a wide range of redshifts. This is known as the star-forming galaxy main sequence (SFMS). However, because of the difference in the estimation of SFR, sample selection, and adopted statistical method, the relation has not been quantitatively well determined.

In this work, we made an extensive analysis of the SFMS based on the CANDELS GOODS-S multi-wavelength photometric catalogue (Guo et al. 2013) with 17 wavebands from ultraviolet to mid-infrared wavelengths. We used the *LePhare* code (Ilbert et al. 2006) to obtain the photometric redshifts and the stellar mass of each galaxy. As mentioned, one of the largest uncertainty is the SFR estimation. We first adopted a commonly used method from the rest-frame UV continuum flux corrected for dust extinction according to the Calzetti et al. (2000) reddening law. We also used the GOODS-*Herschel* (Elbaz et al. 2011) catalogue to estimate the obscured SFR by dust. We then obtained the total SFR by combining the obscured SFR and UV-based SFR without dust extinction correction. For this analysis, we examined five different methods to obtain the total IR luminosity. Another source of uncertainty is the statistical method to determine the log-linear slope of the SFMS, as well as to classify galaxy populations on the SFR– $M_*$  plane. We adopted the Gaussian mixture model to the data plane, and inferred the number of subclasses on the SFR– $M_*$  and obtained the accurate slope of the relation at different redshifts. In this talk, we present these results.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

## X11a 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 many physical properties in/around a galaxy (e.g., stellar mass, gas mass, star formation rates, star formation histories, environment). It is still challenging to describe the entangled processes from just the fundamental theory entirely. The studies using observed data have given us the many galaxy scaling laws (e.g., star formation main sequence, Tully-Fisher relation, Faber-Jackson relation, Kennicutt-Schmidt). However, current galaxy surveys provide hundreds of physical quantities for up to hundreds of millions of galaxies, and characterizing the intricate nature through simple scaling laws is undesirable. There is a need for sophisticated multivariate analysis to simultaneously incorporate all these features if we want to build a unified picture of galaxy evolution. We have identified a universal two dimensional manifold (galaxy manifold) from a 12-dimensional space of luminosities measured at 11 wavelengths from far ultraviolet to infrared and cosmic age using the latest machine learning (manifold learning) techniques. The manifold explains the traditional evolutionary features (star formation rates and stellar mass) continuously, allowing us to parametrize the manifold to derive fundamental equations of galaxy evolution. The discovered galaxy manifold from nearby Universe will enable us to explore the evolution across cosmic time, up to its 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](#)

## X12a 機械学習を用いた銀河の可視光スペクトルの星種族分解

村田一心 (法政大学)

本研究では、可視域の銀河スペクトルの星種族分解に、機械学習を用いる方法を検討した。同スペクトルは、星スペクトルの重ね合わせで表されるため、個々の星種族に成分分離することで、年齢や形成時期、金属量などの物理量を取得できる。従来の研究では、星種族合成モデルを用いた最小カイ二乗法やベイズ推定により、銀河の物理量を推定してきた。これらの物理量の不定性は、観測スペクトルの不定性と非線形の関係にある。そのため、誤差の推定には多数の乱数シミュレーションによる分散を用いるのが理想的である。しかし、この方法は膨大な時間を要するため、大量のデータ解析には向いていない。そこで本研究では、物理量の推定に機械学習を用いる方法を検討した。この方法では、一度学習した重みデータを使えば、一瞬でモデルフィットを行うことができる。そのため、乱数を用いて多数回実行することも容易である。

機械学習を用いた手法の有効性は、シミュレーションで検証した。学習に用いたネットワークはデノイジング・オート・エンコーダをベースにした。すなわち、複数の層を通して入力スペクトルを圧縮させ、個々の星種族の存在比に変換し、それを用いたスペクトルを出力させるようにした。損失関数は本来のスペクトルとの平均二乗誤差とし、誤差逆伝播により学習を行なった。学習データにはCB07における0.1-10 Gyrの星種族をランダムに合成したスペクトルを用いた。波長分解能は $R = 2000$ とし、1-10%のノイズも加えた。学習データと独立に用意したテストデータで検証した結果、スペクトルの形状だけでなく、星種族の平均年齢も0.04 dex程度で再現できた。この結果は、銀河スペクトルの星種族分解に機械学習を用いる有効性を示している。

[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](#)

## X13a GAN を用いた輝線強度マップのシグナル分離

森脇可奈 (東京大学)

銀河や銀河間ガスからの輝線を観測することで、それらの三次元的な分布を明らかにすることができる。特に、個々の輝線光源を検出せずに輝線放射の空間的なゆらぎを検出する手法を輝線強度マッピングと呼ぶ。この手法では銀河サーベイに比べて低い角解像度・周波数解像度でサーベイを行うことで大領域を効率的に掃き、宇宙大規模構造を観測することが可能となる。例えば 2023 年に観測開始が計画されている SPHEREx 望遠鏡では、赤方偏移した可視光輝線のマッピング観測が行われ、得られる輝線ゆ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。しかし、こうした観測では同一の波長で観測される複数の輝線シグナルを分離できないという問題 (輝線の混在問題) が存在する。SPHEREx で観測される波長帯では、異なる赤方偏移からの H $\alpha$  輝線や [OIII]5007Å 輝線、[OII]3727Å 輝線が混在し、これは種々の推定における系統的な誤差の原因となる。輝線の混在問題に対して、相互相関などの統計的なシグナル分離の手法は考えられていたが観測マップそのものを分離する手法は提案されていなかった。

これまで我々は、敵対的生成ネットワーク (GAN) を用いることで、検出器ノイズなどがない場合に複数の輝線シグナルを分離できることを明らかにした。本研究では、より現実的な観測を想定して輝線マップにノイズが加わった場合を考える。ハロー分布をもとに生成した現実的な輝線銀河シグナルにノイズを加えて模擬観測マップを作成し、GAN に銀河シグナルとノイズの分離を学習させた。この結果、SPHEREx など想定した現実的なノイズレベルの場合にも各赤方偏移における銀河の大規模構造を再構築できることがわかった。講演では、他のノイズ除去法との比較結果も報告する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

## X14a The Mean Absorption Line Spectra of a Selection of Luminous $z \sim 6$ Lyman Break Galaxies

播金優一 (東京大学宇宙線研究所), Nicolas Laporte (University of Cambridge), Richard Ellis (University College London), 松岡良樹 (愛媛大学)

We examine the absorption line spectra of a sample of 31 luminous ( $M_{UV} \simeq -23$ ) Lyman break galaxies at redshift  $z \simeq 6$  using data taken with the FOCAS and OSIRIS spectrographs on the Subaru and GTC telescopes. For two of these sources we present longer exposure data taken at higher spectral resolution from ESO's X-shooter spectrograph. From maximum absorption line depths of SiII $\lambda$ 1260 and CII $\lambda$ 1334, we infer a mean covering fraction of  $\geq 0.85 \pm 0.16$  for our sample. This is larger than that determined using similar methods for lower luminosity galaxies at slightly lower redshifts, suggesting luminous galaxies do not play a prominent role in concluding reionization. Using various absorption lines we deduce gas-phase and stellar metallicities of  $\sim 1$  and  $0.4 Z_{\odot}$ , respectively. We discuss the implications of these metallicity estimates for the typical ages of our luminous 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](#)

## X15a LACES: 若い小質量星形成銀河からの電離光子脱出探査

中島王彦 (国立天文台), R. Ellis, T. Fletcher (UCL), 岩田生 (国立天文台), 井上昭雄 (早稲田大学), B. Robertson (UCSC), M. Tang, D. Stark (U. Arizona)

初期宇宙に起きたとされる宇宙再電離を理解する上で、星形成銀河が電離源として十分寄与できたかどうかを明らかにする必要がある。この議論の最大の不定性が、銀河内で生成された電離光子のうち銀河外へ脱出できる割合 (電離光子脱出率) である。とりわけ電離源として重要だと考えられる小質量銀河に対して、観測的に測定することが困難であることがその不定性の原因として挙げられる。そこで私たちは、赤方偏移  $z \sim 3$  の Ly $\alpha$  輝線銀河 (LAEs) に着目をし、非常に深い静止系極紫外 - 可視域の撮像・分光観測を行うことで、若い小質量の星形成銀河からの電離光子放射とその起源を探る探査を始めた (LymAn Continuum Escape Survey: LACES)。

私たちは HST/WFC3 の紫外チャンネルで約 50 時間の深い観測を行うことで、54 の LAEs のうち 12 個から電離光子放射の個別の検出に成功した。成長した大質量銀河と比べて、若い銀河のより大多数が高い電離光子脱出率 ( $f_{\text{esc}}=15\text{--}60\%$ ) を持つことが明らかとなった。その一方で、同程度に若い・小質量の LAEs において、電離光子脱出率が非常に低い銀河も多数存在することが顕在化した。

この電離光子脱出率の双峰性を理解するために、私たちは Keck/MOSFIRE の深い観測を行い、銀河の静止系可視の分光的性質との関係性を調べた。その結果、高い [O III]/[O II] 比 (星間物質の高い電離状態) が電離光子脱出の必要条件であることが実証された。同時に、高い [O III]/[O II] 比を持つ銀河の全てが高い電離光子脱出率を持つわけではないことも明らかとなった。他の分光的性質においても同様の双峰性が確認できることから、電離光子脱出は異方的に起きている可能性があり、その頻度が銀河の星や星間物質の性質に左右され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](#)

## X16a 輝線強度マッピングで探る $z \sim 2 - 7$ 星形成銀河周りの巨大 Ly $\alpha$ 構造

菊地原正太郎 (東京大学), 大内正己 (国立天文台), 澁谷隆俊 (北見工業大学), 伊藤凌平 (東京大学), 播金優一 (国立天文台), 小野宜昭 (東京大学), 井上昭雄 (早稲田大学), 鹿熊亮太 (東京大学), Subaru/HSC CHORUS members, and Subaru/HSC SSP members (Project 343, 260, 197)

本講演では、赤方偏移  $z \sim 2 - 7$  における Ly $\alpha$  輝線天体 (LAE) の周りに非常に淡く広がっている水素ガスの構造について示す。

LAE の周囲には Ly $\alpha$  ハロー (LAH) と呼ばれる Ly $\alpha$  で輝く水素ガスが広いスケールで付随している。さらに近年、 $z \sim 6$  で水素ガスが LAH よりも外側 (銀河のビリアル半径を超えるようなスケール) まで広がっている可能性が示されてきた (e.g., Kakuma et al. 2019)。しかしこういった巨大 Ly $\alpha$  構造の起源はまだ分かっていないだけでなく、近傍から遠方までの構造の進化がまだ議論されていない。

そこで我々は、すばる望遠鏡/Hyper Suprime-Cam (Subaru/HSC) で得られた広域・深撮像データ (FoV  $\sim 2 \text{ deg}^2$ ,  $m_{5\sigma} \sim 26 \text{ mag}$ ) 撮像データに対して機械学習を適用し、 $z = 2.2, 3.3, 5.7, 6.6$  に渡る計  $\sim 2,000$  個の LAE を選択した。これらの LAE の位置と、同じ赤方偏移での Ly $\alpha$  輝線をトレースする HSC 狭帯域画像のピクセル値との相関をとることで、LAE の周りから放たれる Ly $\alpha$  輝線の平均的な表面輝度を求めた (輝線強度マッピング)。その結果、 $z \sim 2 - 7$  の Ly $\alpha$  構造は銀河のビリアル半径  $\sim 200 \text{ comoving kpc}$  を超えるスケールまで広がっていることが分かった。さらに構造の広がり進化をプロットしたところ、いずれの赤方偏移における構造も似たような広がりをもっていることが示唆された。最後に、Ly $\alpha$  の輻射輸送モデルを取り入れた宇宙論的銀河形成シミュレーションと本研究の結果を比べることで、巨大 Ly $\alpha$  構造の形成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](#)

X17a Ly $\alpha$  haloes around UV-selected galaxies at  $z = 2.9-4.4$ 

Haruka Kusakabe <sup>( )</sup><sup>1</sup>, A. Verhamme<sup>1,2</sup>, J. Blaizot<sup>2</sup>, F. Leclercq<sup>1,2</sup>, J. Kerutt<sup>1,3</sup>, E. Vitte<sup>1</sup>, T. Garel<sup>1,2</sup>, R. Bacon<sup>2</sup>, J. Richard<sup>2</sup>, Sofia Gallego<sup>4</sup>, E. C. Herenz<sup>5</sup>, Lutz Wisotzki<sup>3</sup>, and MUSE collaboration. 1:Univ. of Geneva, 2: CRAL, 3: AIP, 4: ETH, 5: ESO Vitacura

While integral field units like Very Large Telescope/Multi-Unit Spectroscopic Explorer (VLT/MUSE) make it possible to study Lyman-alpha haloes (LAHs) around high-redshift Lyman-alpha emitters (high- $z$  LAEs) individually (e.g., Wisotzki et al. 2016; Leclercq et al. 2017, 2020), LAHs around UV-selected galaxies have been only studied with narrow-band stacks in overdense regions (e.g., Steidel et al. 2011; Xue et al. 2017). It is still unknown whether UV-selected galaxies ubiquitously have a Ly $\alpha$  halo, as seems to be the case for LAEs. In this project, we search for LAHs around UV-selected galaxies individually, using deep MUSE data with  $\approx 10-30$  hour integration time in MUSE HUDF and  $\approx 100-140$  hour integration time in MXDF with adaptive optics (Bacon et al. 2017, 2020 in prep.). The sample of UV-selected galaxies is constructed from spectroscopic/photometric redshifts (spec- $z$ /photo- $z$ ) in available catalogs (e.g., Rafelski et al. 2015; Bacon et al. 2020 in prep.). Among 14 spec- $z$  galaxies with UV magnitudes of  $M_{1600} \leq -18$  at  $z = 2.9-4.4$  in MXDF, 7 LAHs are significantly detected. In HUDF, among  $\approx 100$  photo- $z$  galaxies at  $z = 2.9-4.4$ , 20 LAHs are detected. We confirm that the detection is not affected by a continuum-like Ly $\alpha$  component. We will derive the LAH fraction around UV-selected galaxies considering surface brightness limits and completeness corrections, compare it with that around LAEs (Saust et al. 2020 in prep.), and discuss the origin of LAHs.

[スケジュール\(セッション毎\)に戻る](#)

[スケジュール\(全体\)に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

X18a Ly $\alpha$  halos around LAEs at  $z = 2.84$  across environments

菊田智史(筑波大学), 松田有一(国立天文台), Renyue Cen(Princeton), 斎藤智樹(兵庫県立大学)

銀河の周囲に存在する希薄なガス(Circumgalactic Medium; CGM)は銀河間物質から降着したガスと銀河の過去の活動により吹き飛ばされたガスが混ざり合う重要な場である。 $z > 2$ の星形成銀河のCGMは可視域に赤方偏移したLy $\alpha$ 輝線放射の撮像により観測が進んでおり、静止系紫外連続光で見たときの広がりよりも遠くまでLy $\alpha$ 輝線放射が分布していることが明らかになってきた(e.g., Wisotzki et al. 2016)。個別の銀河のCGMからのLy $\alpha$ 輝線は非常に暗いが、特定の赤方偏移からのLy $\alpha$ 輝線に感度の高い狭帯域フィルターで撮像した銀河の画像をスタッキングすることによりさまざまな物理量とCGMの広がりとの関係がこれまで議論されてきた(e.g., Momose et al. 2016)。特に、銀河の属する環境への依存性については少数の原始銀河団サンプルを用いて議論されてきたが、様々な結果が報告されており議論が収束していない(Matsuda et al. 2012, Xue et al. 2017)。

そこで我々はすばる望遠鏡 Hyper Suprime-Cam(HSC)の深い狭帯域撮像データを用いて $z = 2.84$ のLy $\alpha$ 輝線銀河のCGMの広がりの環境依存性を新たに調べた。HSCの広い視野により、視野中心に据えた同赤方偏移の原始銀河団から周囲に広がるボイド的な低密度環境までを同時に探ることができる。どんな環境においても広がったCGMの存在は確認できたが、先行研究でみられたCGMの広がりと同辺銀河密度との間のなめらかな相関は確認できず、原始銀河団環境でのみ広がりが特に大きくなるという結果が得られた。これらの結果に加え本講演では原始銀河団での銀河形成への示唆などを議論する。

[スケジュール\(セッション毎\)に戻る](#)

[スケジュール\(全体\)に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

## X19a すばるで探る近傍極金属欠乏銀河の統計的分光調査

磯部優樹, 大内正己, 中島王彦, 他 33 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機械学習を用いて選ばれた 27 個の近傍極金属欠乏銀河 (EMPG; Kojima et al. 2019) 候補天体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おり, これらの性質は遠方初期銀河と類似している。Kojima et al. 2019 ではパイロット観測として 27 天体中 4 個の EMPG 候補天体を分光し, その 4 天体全てがごく近傍 ( $z = 0.02 - 0.03$ ) の輝線銀河であると同定され, さらにそのうちの 2 天体は EMPG の条件である  $Z \leq 10\% Z_{\odot}$  を満たすことが確かめられた。また, 前回までの講演で, 我々の EMPG 候補天体の過半数には淡い銀河 (potential associated galaxy, 以下 PAG) が付随していることを報告した。さらに 1 組の EMPG-PAG の系に対し, 輝線の赤方偏移差から動力学を調査したところ, この EMPG は PAG 周りの回転運動だけでは説明できないほど大きな相対速度 ( $\sim 96 \text{ km s}^{-1}$ ) を持つことが判明し, EMPG が PAG 外部で形成されたことを示唆する結果となった (日本天文学会 2019 年秋季年会 X28b, 2020 年春季年会 X25b)。

本講演では, 残り 23 個 ( $= 27 - 4$ ) の EMPG 候補天体のうち Keck 望遠鏡の可視分光器 LRIS により新たに追観測された 12 天体の分光結果を報告する。これら 12 天体のうち 9 天体がごく近傍 ( $z = 0.01 - 0.06$ ) の輝線銀河であると同定された。また, 今回分光同定された 9 天体のうち 3 天体からは PAG からの輝線も検出できたため, 前回と同様の手法で動力学を調べたところ, 3 天体中 2 個が PAG の回転で説明できることを明らかにした。これにより, EMPG が PAG 外部で形成したとする描像が EMPG-PAG の系に普遍的なものではない可能性が高まった。本講演ではさらに, EMPG の化学組成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](#)X20a 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, 内山久和 (国立天文台), 久保真理子 (愛媛大学), Yongming Liang (総合研究大学院大学/国立天文台), 他 HSC Project96

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。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  $M_{UV} < -20.8$  でより平坦な形を持つ傾向が見られた。この結果は  $z \sim 4$  で既に原始銀河団銀河がより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。また光度関数をもとに原始銀河団領域における星形成率密度を推定した所, 原始銀河団は宇宙全体の星形成率密度の 6 - 20% を占め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](#)

## X21a すばる超広視野観測で解明する銀河形成最盛期以降の大規模構造形成と銀河進化

山本直明, 児玉忠恭 (東北大学), 林将央 (国立天文台), 鈴木智子 (東北大学), Jos ■ Perez (東北大学), 小山佑世 (国立天文台), 嶋川里澄 (国立天文台), 他 *HSC*<sup>2</sup> チーム

銀河の多様性がどのように生じてきたのか未解明な部分が多い。近傍宇宙の観測によると、銀河の特性（色、年齢、形態など）は銀河の周辺環境によって大きく異なっている。この銀河進化の環境依存性がいつどのように生じてきたのかについて過去に遡って理解を深めることは、銀河形成・進化の歴史を紐解く上で非常に重要なテーマである。しかしながら遠方宇宙における環境依存性の研究には銀河団のサンプル数が限られており統計的な調査が少ないという問題や、比較的形から十分に時間の経った銀河団にバイアスされているという問題があった。そこで従来よりも視野が広く深い観測データのある、すばる広視野撮像装置 HSC に着目した。私たちは HSC のレガシーデータ (HSC-SSP) を使って大規模な銀河団サーベイを行った。ここでは星形成を終えた赤い銀河と星形成が活発な輝線銀河の双方の銀河種族を手掛かりにハイブリッドな銀河団サーベイを行った (*HSC*<sup>2</sup>: HSC project 110)。サーベイの結果、様々な進化段階の銀河団候補を見つけることに成功した。さらに輝線銀河の密度超過領域の中で、輝線銀河が多く群れている領域を Blue dominated cluster、赤い銀河と青い銀河どちらも集まっている領域を Dual cluster と命名し、 $z \sim 0.84$  において銀河団の発達段階によるメンバー銀河の性質の違いを調べた (2019 年秋季年会)。本講演ではより広く深くなった HSC-SSP DR2 の新しい輝線銀河カタログを使用して、異なる赤方偏移スライスに探査を拡張した結果について報告する。このデータリリースでは狭帯域フィルター NB816 でも同様に約 16 平方度の探査が実現可能である。 $z \sim 0.63, 0.84, 1.19$  において赤方偏移進化について議論する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

## X22a CFHT Megaprime *u*-band Source Catalog of the *AKARI* North Ecliptic Pole Field

Ting-Chi Huang (SOKENDAI, ISAS/JAXA), Hideo Matsuhara (SOKENDAI, ISAS/JAXA), Tomotsugu Goto (NTHU), Tetsuya Hashimoto (NTHU), Seong-Jin Kim (NTHU), Nagisa Oi (TUS), Hyunjin Shim (KNU), Ho Seong Hwang (KASI), Yoshiki Toba (Kyoto Univ.), Daryl Joe D. Santos (NTHU), and Toshinobu Takagi (JSF)

*AKARI* infrared (IR) space telescope carried out a survey in the North Ecliptic Pole (NEP) field using its Infrared Camera (IRC), and detected more than 100,000 IR sources. *AKARI* IRC's 9 filters continuously cover the wavelength from near- to mid-IR, making *AKARI* unique in comparison with other IR space telescopes like *Spitzer* or *WISE*. However, the research in the *AKARI* NEP field was limited due to the lack of sufficient optical and ultraviolet (UV) observations. Recently, we have performed an observation in the *AKARI* NEP field using Subaru HSC, and obtained deep optical images. Now we further provide the near-UV (*u* band) catalog from Canada-France-Hawaii Telescope (CFHT) Megaprime to assist the precious *AKARI* data. The observation was conducted in 7 nights under the Queued Service Observations mode in 2015 and 2016, and covered a 3.6-deg<sup>2</sup> area. The data were processed by the ELIXIR pipeline, and the mosaic image was created by the ASTROMATIC software. Compared with previous work, this work not only extends the area coverage to the whole *AKARI* NEP field, but also reaches a deeper imaging, which is a significant improvement for us to estimate photometric redshifts of galaxies or study stellar populations.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

## X23a A constraint of [NII] 122 $\mu\text{m}$ and a new dust continuum detection of a $z = 7.15$ Lyman Break Galaxy with ALMA

Y. Sugahara, A. K. Inoue, S. Yamanaka (Waseda), T. Hashimoto (Tsukuba), S. Fujimoto (DAWN), Y. Tamura (Nagoya), H. Matsuo (NAOJ), C. Binggeli, E. Zackrisson (Uppsala)

The high sensitivity and high spatial resolution of ALMA has been providing new observational information about the ISM properties of galaxies in the reionization epoch. We present the latest ALMA Band 7 observational results for a Lyman break galaxy at  $z = 7.15$ , B14-65666, which is the first object detected in all [OIII] 88  $\mu\text{m}$ , [CII] 158  $\mu\text{m}$ , and dust continuum emission at  $z \gtrsim 6$  (“Big Three Dragons”, Hashimoto et al. 2019). The latest observation targets the [NII] 122  $\mu\text{m}$  emission line and the underlying dust continuum emission. While the dust continuum is detected with  $S/N \sim 18$ , the [NII] emission line is not detected and is constrained with the stringent upper limit. Given the [OIII] detection and [NII] non-detection, the galaxy seems not to have a high nitrogen-to-oxygen abundance ratio. The dust continuum flux densities at 90, 120, and 160  $\mu\text{m}$  are not well explained with modified black-body radiation with a single dust temperature. Therefore, as B14-65666 consists of two components, we assume two dust temperatures with a fixed dust emissivity index  $\beta$ . Our fitting results favor different dust temperatures of the two components with  $\beta > 1$ , albeit with large errors.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

## X24a Truth or Delusion? A Possible Gravitational Lensing Interpretation of the Ultra-luminous Quasar SDSS J0100+2802 at $z = 6.30$

S. Fujimoto (DAWN), M. Oguri (U. Tokyo), T. Nagao (U. Ehime), T. Izumi (NAOJ), and M. Ouchi (NAOJ/U. Tokyo)

Gravitational lensing sometimes dominates the observed properties of apparently very bright objects. We present recent ALMA high-resolution (FWHM $\sim 0.''15$ ) results of Fujimoto et al. (2020a) for an ultra-luminous quasar (QSO) at  $z = 6.30$ , SDSS J0100+2802, whose black hole mass  $M_{\text{BH}}$  is the most massive ( $\sim 1.2 \times 10^{10} M_{\odot}$ ) at  $z > 6$  ever known. We find that the continuum emission of J0100+2802 is resolved into a quadruple system within a radius of  $0.''2$ , which can be interpreted as either multiple dusty star-forming regions in the host galaxy or multiple images due to strong gravitational lensing. The MgII absorption and the potential Ly $\alpha$  line features have been identified at  $z = 2.33$  in the near-infrared spectroscopy towards J0100+2802, and a simple mass model fitting well reproduces the positions and flux densities of the quadruple system, both of which are consistent with the latter interpretation. Although a high-resolution HST/ACS map shows a morphology with an apparently single component, in our fiducial lens mass model it can simply be explained by a  $\sim 50$  pc scale offset between the ALMA and HST emission regions. In this case, the magnification factor for the observed HST emission is obtained to  $\sim 450$ , reducing the intrinsic  $M_{\text{BH}}$  estimate to even below  $10^9 M_{\odot}$ . We will also discuss recent views of the effect on the bright-end of the luminosity function and the possibility of the presence of additional extremely magnified QSOs at  $z \gtrsim 6$  (Pacucci & Loeb 2020a).

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

## X25a Serendipitous Discovery of an optically dark AGN host galaxy at $z = 3.4$

Natsuki H. Hayatsu (NAOJ, Bunkyo University), Zhi-yu Zhang (Nanjing University), et al.

宇宙で最も成長した銀河は、超大質量ブラックホール (SMBH) をもち、銀河衝突を経てクエーサーや楕円銀河になると考えられている。しかし、それらの部品に対応する銀河種族は見つかっていない。

我々はアルマ望遠鏡による観測データから、偶然 105.02 GHz 周辺に連続光を伴った新天体の輝線を捉えた。さらに追観測により 157.5 GHz 付近に輝線を検出し、それぞれが  $z = 3.39$  の CO  $J = 4-3$ ,  $6-5$  輝線であると結論した。この新天体は可視・近赤外で非常に暗く、一方で X 線と赤外線連続光で非常に明るい (それぞれ  $L_{2-10\text{keV}}^{\text{rest}} \sim 8 \times 10^{43} \text{ erg s}^{-1}$ ,  $L_{8-1000\mu\text{m}} \sim 10^{13} L_{\odot}$ )。X 線と赤外線連続光の明るさを、X 線が検出されているサブミリ波銀河やクエーサーと比較すると、ちょうどこの 2 種族の分布のあいだに位置することがわかった。つまり新天体は銀河からクエーサーへの進化の途中段階に対応する銀河であることが示唆される。さらに、*Spitzer* IRAC による追観測の結果と合わせると、星質量、BH 質量はそれぞれ  $< 10^{10} M_{\odot}$ , a few  $\times 10^8 M_{\odot}$  と見積もられる。これを典型的なホスト銀河と SMBH の相関と比較すると SMBH が二桁以上重いことになる。講演では、これらの発見に加え、CO 輝線の PV 図から得られた相互作用する銀河である可能性と、新天体の周囲にある原始銀河団候補の情報を組み合わせ、新天体の発見が SMBH をもつ銀河の形成シナリオにどのようなヒントを与えるか議論する。

また、新天体の周囲には 5 秒角隣にレンズ銀河があり、この視線方向には 36 個の水素吸収線系や銀河が検出されている。特に  $z = 0.9$  の銀河団と  $z \sim 1.44$  に密接する 3 つの高密度な水素吸収線系に加え、今回の  $z = 3.39$  の原始銀河団候補を考慮すると、少なくとも三層の高密度なレイヤーが視線方向に連なっていることになる。講演では、この非常に混み合った視線方向を用いて議論できる研究分野への広がりについても触れる。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

## X26a Physical Characterization of Serendipitously Uncovered mm-wave Line Emitting Galaxies behind the Local LIRG VV114

水越翔一郎, 河野孝太郎, 江草実, 廿日出文洋, 峰崎岳夫 (東京大学), 斎藤俊貴 (MPIA), 田村陽一 (名古屋大学), 伊王野大介, 植田準子, 松田有一, 川邊良平 (国立天文台), Minju Lee (MPE), Min S. Yun (UMASS), Daniel Espada (SKA)

近年, ALMA によりミリ波帯での輝線を示す遠方銀河が検出されるようになってきた。ミリ波輝線天体として検出される銀河種族の性質を調べるため, 我々は近傍の赤外線銀河 VV114 の近くで偶然発見された 2 つのミリ波輝線銀河 ALMA-J0107a (Tamura, Y. et al. 2014) および J0107b (Saito, T. 2017) について, ALMA Band3/4/6/7 のデータを解析した。連続波放射に加え CO(4-3), CO(3-2), [CI]( $^3P_1-^3P_0$ ) 輝線がいずれの天体においても検出され, 分光赤方偏移がそれぞれ  $2.4666 \pm 0.0002$  および  $2.3100 \pm 0.0002$  に特定された。また [CI] 輝線強度から  $X_{\text{CI}} = [\text{CO}]/[\text{H}_2] = 8.4 \pm 3.5 \times 10^{-5}$  を仮定して導出した分子ガス質量を元に CO-H<sub>2</sub> 変換係数  $\alpha_{\text{CO}} [M_{\text{H}_2} (\text{K km s}^{-1} \text{ pc}^2)^{-1}]$  を求めた結果, それぞれ  $0.80 \pm 0.34$ ,  $0.59 \pm 0.25$  となり, 近傍の ULIRGs で広く用いられている値 (0.8) と誤差の範囲で一致することが分かった。ALMA-J0107a については GalPak<sup>3D</sup> を用いた CO(4-3) 輝線の速度場解析の結果, 速度分散と回転速度の比  $\sigma/V_{\text{rot}}$  が 1 に近い ( $0.67 \pm 0.04$ ), いわゆる turbulent な回転ガス円盤であることが分かった。測定された星形成効率  $\text{SFE} = \text{SFR}/M_{\text{gas}} \sim 18 \text{ Gyr}^{-1}$  とあわせ, ALMA-J0107a は典型的なサブミリ波銀河が CO 輝線で検出されたものと考えられる。ただし, ALMA-J0107a は観測された CO 輝線速度幅-光度比の関係から, 重力レンズにより数倍 - 10 倍程度の増光を受けており, intrinsic な星質量が小さい (a few  $\times 10^9 M_{\odot}$ ),  $\text{SFR} \sim 10^2 M_{\odot} \text{ yr}^{-1}$  のスターバーストを捉えているとの解釈も可能である。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

X27a Molecular gas distribution in a main sequence galaxy with a UV clump at  $z = 1.45$ 

牛尾海登, 太田耕司, 前田郁弥 (京都大学), 矢部清人, 廿日出文洋 (東京大学)

$z = 1 - 3$  の時代は宇宙の星形成率密度が最も高く、バルジや円盤といった円盤銀河の主要な内部構造が発露した時代であると考えられている。この時代の星形成銀河の約半数以上は、rest UV で観測すると、中心部以外に 1 kpc スケールの星形成領域 (clump) を持つ。Clump はガス円盤の重力不安定性によって生まれ、星形成をしながら銀河中心へと移動し、バルジを形成すると考えられている。円盤銀河の進化・形成過程を理解するためには  $z = 1 - 3$  の星形成銀河内部における分子ガスの分布やその性質を調べる必要があるが、未解明な部分が多い。

そこで、我々は  $z = 1.45$  の大質量主系列銀河 ( $M_{\text{star}} \sim 1.2 \times 10^{11} M_{\odot}$ ,  $\text{SFR} \sim 130 M_{\odot} \text{ yr}^{-1}$ ) で、近傍の円盤銀河のような形態を示し、UV clump を 1 つ持つ銀河を対象として、ALMA を用いた CO(2-1) および CO(5-4) の観測をそれぞれ  $\sim 5$  kpc と  $\sim 6$  kpc の分解能で行なった。その結果、両輝線が検出され、銀河全体の CO(5-4)/CO(2-1) フラックス比 ( $R_{52}$ ) は  $\sim 1.1$  で銀河系の値に近い値であった。しかし、 $R_{52}$  の空間分布を見ると clump の位置でピークを示しており、ピークでの値は 2.2 であった。この結果は clump において分子ガスの密度が高い and/or 温度が高いことを示唆しており、数値シミュレーションから予想されている clump の分子ガスの性質と矛盾しない。また、3次元の円盤モデルフィットの結果、CO(2-1) の分布は回転運動が支配的な円盤で再現され、その半光度半径は  $\sim 2.3$  kpc と、rest 可視の半光度半径 ( $\sim 3.5$  kpc) と比較して、分子ガスの方が銀河中心に集中して分布していることがわかった。さらに、分子ガス質量割合 ( $f_{\text{gas}} = M_{\text{mol}} / (M_{\text{mol}} + M_{\text{star}})$ ) の動径分布を調べると、中心ほど高く ( $f_{\text{gas}} \sim 0.7$ )、外縁部では低くなっていた ( $r \sim 7$  kpc で  $f_{\text{gas}} \sim 0.2$ )。本講演では、得られた分子ガスの分布を星成分の分布と比較してより詳しく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](#)

## X28a SOFIA View of an Extremely Luminous Infrared Galaxy: WISE 1013+6112

Yoshiki Toba (Kyoto Univ.), Wei-Hao Wang (ASIAA), Tohru Nagao (Ehime Univ.), Yoshihiro Ueda (Kyoto Univ.), Junko Ueda (NAOJ), Chen-Fatt Lim (ASIAA), Yu-Yen Chang (NCHU), Toshiki Saito (MPIA), and Ryohei Kawabe (NAOJ)

We present far-infrared (FIR) properties of an extremely luminous IR galaxy (ELIRG) at  $z_{\text{spec}} = 3.703$ , WISE J101326.25+611220.1 (WISE1013+6112). This ELIRG is selected as an IR-bright dust-obscured galaxy (DOG) based on the photometry from the Sloan Digital Sky Survey (SDSS) and *Wide-field Infrared Survey Explorer (WISE)*. In order to derive its accurate IR luminosity, we perform follow-up observations at 89 and 154  $\mu\text{m}$  using the High-resolution Airborne Wideband Camera-plus (HAWC+) on board the 2.7-m Stratospheric Observatory For Infrared Astronomy (SOFIA) telescope. We conduct spectral energy distribution (SED) fitting with the Code Investigating GALaxy Emission (CIGALE) using 15 photometric data (0.4–1300  $\mu\text{m}$ ). We successfully pin down FIR SED of WISE1013+6112 and its IR luminosity is estimated to be  $L_{\text{IR}} = (1.62 \pm 0.08) \times 10^{14} L_{\odot}$ , making it one of the most luminous IR galaxies in the universe. We find that dust temperature of WISE1013+6112 is  $T_{\text{dust}} = 89 \pm 3$  K that is significantly higher than that of other populations such as SMGs and FIR-selected galaxies at similar IR luminosity. This indicates that WISE1013+6112 has a significant AGN and star-forming activity behind a large amount of dust (Toba et al. 2020, ApJ, 889, 76).

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

## X29a 近傍 LIRG の近赤外線複数輝線から探る銀河相互作用の影響

榎引洗佑 (東京大学), 本原顕太郎 (国立天文台, 東京大学), 小西真広, 高橋英則, 加藤夏子, 寺尾恭範, 中村洋貴, 陳諾 (東京大学), 沖田博文, 越田進太郎, 小山佑世, 田中壱 (国立天文台ハワイ観測所), 吉井讓 (東京大学, アリゾナ大学)

銀河同士の相互作用は銀河間でのガス輸送やディスク内の不安定性を引き起こすことで、星形成活動の急激な変化、空間的に広がった星形成ディスクからコンパクトな形態への変化、そして活動銀河核 (AGN) の発現などの原因となり、その後の銀河進化に大きな影響を与えると考えられている。そのため、相互作用が銀河に与える影響を理解することが銀河の進化を理解するうえで重要である。

近傍 U/LIRG (Ultra/Luminous Infrared Galaxies;  $\log(L_{IR}/L_{\odot}) > 11$ ) は特に高い赤外線光度 ( $\log(L_{IR}/L_{\odot}) > 11.5$ ) を持つものの多くが相互作用の兆候を示すため、相互作用の影響を探る良い研究対象となる。強いダスト減光 ( $A_V=2-6$  mag) が近傍 U/LIRG 観測では問題となるが、可視光に比べてダスト減光の影響を受けにくい近赤外線観測することで、空間分解能を保ちつつ、その課題を克服することができる。

我々は国立天文台すばる望遠鏡での試験観測で取得した近赤外線撮像分光装置 SWIMS の多天体分光機能評価用データで、相互作用の兆候を示す近傍 LIRG である IRAS 08206+3110 ( $\log(L_{IR}/L_{\odot}) = 11.9$ ) の分光データ解析を行った。SWIMS の近赤外線波長域 0.9–2.5 $\mu\text{m}$  を一度に分光することができる特徴によって、複数の水素再結合線 ( $\text{Pa}\alpha, \text{Pa}\beta, \text{Pa}\gamma, \text{Br}\delta$ ) や  $[\text{FeII}]1.257\mu\text{m}$ ,  $\text{H}_2(1-0)\text{S}(1)2.121\mu\text{m}$  等の輝線を検出した。本講演ではそこから得られる物理量と、IRAS 08206+3110 での銀河相互作用の状態を議論する。

[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](#)

## X30a Investigation of Galaxies with a Kinematically Distinct Core Using MaNGA Data

Kiyoaki Omori (Nagoya University), Tsutomu T. Takeuchi (Nagoya University)

Galaxy interactions and mergers can create disturbances in galaxies. Thus, we expect to find complex and disturbed kinematics in interacting galaxies, such as asymmetries and distortions. One particular disturbance is a kinematically distinct core (KDC), where the inner region of the galaxy has a distinctly different kinematic behaviour compared to the main outer body. Such a feature is thought to be a relic of an external gas accretion event (Bertola et al. 1992), such as a galaxy merger. We have identified, through visual inspection of two-dimensional galaxy kinematic maps, galaxies from the Mapping Nearby Galaxies at APO (MaNGA: Bundy et al. 2015) catalogue, and studied their spatially resolved physical properties and stellar populations. We have discovered that there is a relationship existing between galaxy properties and the source of ionisation of the galaxy. If the galaxy is an AGN-host, the stellar population gradients are consistent with that of previous works, such as Coccato et al. (2011, 2013, 2015), and the gas and main body of the galaxy were co-rotating. In contrast, if the galaxy is a starforming galaxy, we found that the stellar populations do not show a clear gradient, and the gas was co-rotating with the KDC. We will discuss this, other findings, and future prospects of galaxy classification using spatially resolved kinematics.

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

## X31a Millisecond Pulsars Modify the Radio-SFR Correlation in Quiescent Galaxies

須藤貴弘 (東京大学) , Tim Linden (Stockholm University), John Beacom (Ohio State University)

The observed correlation between the far-infrared (FIR) and radio luminosities of star-forming galaxies shows the close connection between star formation and cosmic-ray production. LOFAR recently extended radio observations of the related correlation with star formation rate to lower frequencies (150 MHz), finding a peculiar radio excess in galaxies with high stellar masses and low star-formation rates. We show that recycled/millisecond pulsars (MSPs) can dominate the non-thermal emission in these massive quiescent galaxies and explain the excess. This is supported by recent data suggesting that MSPs can efficiently convert a large fraction of their spin-down power to electron/positron pairs. We find that MSP-based models provide a significantly improved fit to LOFAR data. We discuss implications for the radio-FIR correlation and the observation of radio excesses in nearby 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](#)

## Y01a 小学校理科 組み立て式天体望遠鏡キットを用いた自宅での月観察学習の試み

縣 秀彦 (国立天文台), 瀧澤輝佳 (松本市立島内小学校)

児童一人一人が自宅に、組立式天体望遠鏡キットを持ち帰り、各自が自宅にて与えられた学習課題の解決が可能かを長野県の公立小学校において調査した。小学6年理科の単元「月と太陽」において「月の表面には何があるか」を課題として、3クラスの児童が自宅で国立天文台望遠鏡キット [1] を用いて月の観察を行った。その結果、児童全員が自宅にて同キットを用いて月を観察することが出来た。結果として観察を行った後の児童 (調査群) の約9割が月の表面の観察からクレーターが存在するや月が太陽光を反射して輝いていることを理解した。一方、観察を行っていない比較群の児童では、同一内容を学習後に約8割の理解に留まり、観察実施の有無によって有為な差が生じた。今後、全国で標準的にこの学習方法を小学校で導入しようとする際、望遠鏡と三脚の使い方に関する事前学習が不可欠であり、保護者の理解や協力も必要である。一方、開発した教具の改善点が本研究における観察体験から抽出され、改良が進められている。小中学校理科におけるアクティブラーニング的な課題解決学習において、COVID-19 予防の観点からも、自宅における天体望遠鏡を用いた観察の導入を提言する。

[1]: <https://www.nao.ac.jp/study/naoj-tel-kit/>

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

## Y02a 各国理科教科書・シラバスにおける天文学記述のアーカイブの重要性

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での天文学の利用を推進する」(日本語版より) ことが掲げられており、その中の例に学校のシラバスの修正提案をあげている。天文学側が知っておいてもらいたい内容の案としては2019年に出された Big Ideas in Astronomy、日本国内では学問分野ごとの「大学教育の分野別質保証のための教育課程編成上の参照基準」が2016年に物理学と天文学範囲として公表されている。一方で対象学年が若くなるにつれ、物理、地学、あるいは理科といったより大きなくりの一部として教えられていること、また教科書・シラバスが教育の現場でどの程度反映されているかを把握することの困難性など、教育現場で何が求められ、何が教えられているかの把握が難しい。第一段階として各国の教育状況調査、教科書やシラバスの記述などを比較したうえで、現場での教育状況とのずれを把握する必要があり、そのために基準作成としてアーカイブ作業が必須である。一例としてタンザニアで販売されていた中等教育の物理の教科書における天文学の記述を見ると、波や電磁気の初歩といった日本の高校物理の範囲に並列する形で初歩的な天文学が扱われている。具体的には太陽系のサイズや構造、銀河の形、星座、地球と月の関係などが扱われており、日本で学ぶ学年が分散されている内容をまとめて扱っている。この内容は2008年段階での教科書であり、シラバスでは2005年にいったん削除された天文学の内容がその後復活するなど、天文学の位置づけに苦心していることがうかがえる。各国の教育政策も照合しカリキュラムに天文学の内容を反映させるか戦略を立てる必要がある。

[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](#)

## Y03a 天文学のサポーターに対するアンケート調査報告

生田ちさと

宇宙に興味があるか、とアンケートで聞くと、多くの（我々の調査では約25%の割合）人が興味があると回答する。しかし、単に興味があることと、税金や寄付によって天文学や宇宙科学の研究活動を応援するというのは別の話である。天文学や宇宙科学の最先端研究は、多額の資金が必要となるいわゆる「ビッグプロジェクト」であり、研究活動は税金で支えられている。したがって、特に研究機関やプロジェクトの広報・アウトリーチ担当は、単に宇宙の魅力やプロジェクトによって得られる科学成果や獲得される技術のアピールだけではなく、一歩進んで納税者や未来の納税者とエンゲージし、サポートをもらえるようなアウトリーチ活動を求められる場合もある。そこで、どのターゲットに、どのような方法でアウトリーチするのがよいかを明らかにするため、天文学のサポーターを対象に行ったアンケート調査の結果を報告する。我々は、まずスクリーニング調査で、天文学や宇宙科学に対して税金によるサポートもしくは寄付すると答えた回答者を選び、その回答者を対象に本調査を行った。本調査では、宇宙に興味を持つようになったきっかけ、その時期、現在どのように宇宙に関する情報を得ているか、などを質問した。回答を集計した結果、宇宙に興味をもったきっかけで多かったのは、回答者全体では多い順に「テレビ番組」、「プラネタリウム、科学館などの展示」、と「夜空を見て」であった。しかし、若い層では、「プラネタリウム、科学館などの展示」がきっかけという回答のほうが「テレビ番組」との回答より多かった。宇宙に興味を持ち始めた時期は、小学生の頃という回答がどの世代でも多かった。一方、30歳代以上では、社会人になってからという回答者も多く（20%程度）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](#)

## Y04a すばる望遠鏡 HSC データを用いた小惑星検出アプリ COIAS の開発

浦川聖太郎(日本スペースガード協会)

すばる望遠鏡 HSC 用の小惑星検出アプリケーション COIAS(コイアス。Come On! Impacting Asteroids)の開発について報告する。これまで75万個を超える小惑星が発見されている。これらの小惑星の軌道分布を調べることで、同じような軌道要素をもつ「小惑星の族」や「小惑星の群」のサイズ分布や軌道の広がり分かってきた。一方、小惑星の直径は1km以下になると「ヤルコフスキー効果」と呼ばれる非重力効果の影響を受け、その軌道長半径が増減する。これまで発見された75万個の小惑星の多くは直径1km以上のメインベルト小惑星である。つまり「ヤルコフスキー効果」を受けるような小さな小惑星までを含んだ真の小惑星の軌道分布はいまだに分かっていない。本研究では、すばる望遠鏡 HSC のデータを用いて、直径300mクラス小惑星の軌道情報のカタログ化を行う。これまでもすばる望遠鏡を用いた小惑星研究はなされてきた。しかし、位置情報については、軌道情報を一元的に管理する MPC (Minor Planet Center) に効率よく報告されていなかった。そこで、GUI(Graphical User Interface)を用いて視覚的に小惑星の検出、位置測定、測光、報告を行うアプリケーション COIAS を開発した。試験的なデータ解析の結果、COIAS を用いることで黄道面付近を観測した HSC の約20平方度のデータから、約3500個の新小惑星候補天体を検出した。HSC の戦略枠データに適応させれば、発見数は数万に及ぶ。2023年頃には LSST(Large Synoptic Survey Telescope) の運用が開始される。HSC で発見された小惑星と LSST で検出した小惑星の軌道データがつながれば、直径300mクラス小惑星の軌道精度が格段に上昇し、後世の太陽系天文学のレガシーとなるデータの創出が行われる。また、視覚的な操作が可能な COIAS を用いることで、研究者以外も小惑星の発見体験を得られる。学生に対する教育的効果や市民天文学への波及効果も期待できる。

[スケジュール\(セッション毎\)に戻る](#)

[スケジュール\(全体\)に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

## Y05a キトラ古墳・天文図のダジック・アースによる球体投影

土井 正治, 田中 佳奈 (アクトパル宇治), 伊藤 忠 (国営飛鳥歴史公園), 玉澤 春史 (京都市立芸術大学/京都大学), 小田木 洋子, 齊藤 昭則 (京都大学)

国営飛鳥歴史公園 (奈良県明日香村) にある『特別史跡キトラ古墳』は、高松塚古墳に続き日本で2番目に発見された大陸風の壁画古墳である。石室の天井に描かれた天文図は、現存する世界最古の科学的な天文図である。一方、ダジック・アースは、京都大学大学院理学研究科の地球惑星科学輻合部可視化グループ (リーダー: 齊藤昭則) が進めているプロジェクトで、地球や惑星を球体面に投影することができる。

天文図は、天球を平面に展開したものである。ダジック・アースを用いて、天文図を天球のイメージとして再構築し、球体投影を行うことを検討した。キトラ古墳・天文図のトレース図 (キトラ天文図) を用い、極座標画像から正距円筒図法への変換プログラムにより画像変換を行うことにより、正距円筒図法の画像を作成することができ、「キトラ天文図」の球体投影が可能となった。

キトラ古墳壁画体験館内で、「キトラ天文図」の球体投影を行ったところ、来館者から、平面図では星の位置や星座などが理解しにくい、球体では感覚的に捉えられ、わかりやすいという意見をいただいた。また、ダジック・アースのコンテンツ「全天の星画像」等、全天の球体投影と星や星座の位置を容易に比較することができた。さらに、天文図の鏡像を用いることで、デジタル天球儀となり、他の天球儀との比較も可能となった。

このように、「キトラ天文図」のダジック・アースを用いた球体投影により、感覚的な理解を促進することで天文図への興味を高めることができ、また他の球体コンテンツとの比較が容易にでき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](#)

## Y06a 緯度観測所の集合写真に記録された袴姿の女性所員たち

馬場幸栄 (一橋大学)

緯度観測所 (岩手県奥州市水沢) 創立 100 年を記念して刊行された『思い出集』(国立天文台水沢友の会編、1999 年) には、戦前に撮影された 1 枚の集合写真が掲載されている。この写真には、前列に所長・木村栄と袴姿の 7 名の女性所員が、後列に背広や詰襟をまとった 17 名の男性所員が写っている。戦前の緯度観測所に勤務した女性所員らの写真を掲載している図書は管見ではこの『思い出集』のみであり、それゆえ同書の写真と本文はこれらの女性所員が緯度観測所で果たした役割を知るうえで貴重な史料のひとつだと言える。しかし、同書本文がこの写真の女性所員らについて語っている情報は極めて少なく、同書本文から名前が特定されるのは向かって右端の女性のみである。また、同書はこの写真の撮影時期についても明確な情報を示していない。そこで、これら 7 名の女性所員についてより詳しく調べるため、この写真についての情報提供を呼びかけた。すると、元所員・そのご遺族・市民から情報や資料が提供され、7 名全員を特定することができた。また、写真が撮影された時期も昭和 13 年 3 月下旬と判明した。さらに、国立天文台収蔵写真との照合や元所員・ご遺族への聴き取り調査によって、これら 7 名の女性所員が気象課や観測課等に配属されていたことや、計算業務などを担当していたことも明らかになってきた。

[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](#)

## Y07a IAU 教育のための天文学推進室 (OAE) 日本窓口 (NAEC) チームの立ち上げ

富田晃彦 (和歌山大学), 鴈野重之 (九州産業大学), 松本直記 (慶應義塾高等学校), 前田昌志 (三重大学教育学部附属小学校), 縣秀彦 (国立天文台)

国際天文学連合 (IAU) は戦略計画 2010-2020、2020-2030 を基礎として4つの天文学推進室を立ち上げてきた。それぞれ、社会発展のため (OAD; Office of Astronomy for Development; 南アフリカ・ケープタウンに本部)、若手支援のため (OYA; Office for Young Astronomers; ノルウェー・オスロに本部)、アウトリーチのため (OAO; Office for Astronomy Outreach; 国立天文台三鷹内に2012年に設置の国際普及室、室長: 縣秀彦)、そして教育のため (OAE; Office of Astronomy for Education; ドイツ・ハイデルベルグに本部) である。

OAE は、設置された2019年に各国に窓口担当 NAEC; National Astronomy Education Coordinator のチーム設置を呼びかけた。IAU の日本側窓口である日本学術会議天文学・宇宙物理学/IAU 分科会からの助言等を受けながら、日本天文教育普及研究会、日本天文学会天文教育委員会と意見交換の末、2020年5月に以下のように NAEC 日本チームを立ち上げた: 富田晃彦 (代表)<sup>1,2</sup>、鴈野重之<sup>1,2</sup>、松本直記<sup>2</sup>、前田昌志<sup>2</sup>; 1) 日本天文学会天文教育委員会委員、2) 日本天文教育普及研究会会員

NAEC は OAE と日本の天文教育をつなぐ世話の役が仕事であり、特に学校教育での天文教育について、国際連携を視野に入れた調査や資料収集を見込んでいる。拠点として日本天文教育普及研究会に WG を置いて始動し、日本天文学会と連携し、日本地学教育学会や学校教員の団体と連絡を取り、そして OAO と連携し、調査や資料収集を行う予定である。

[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](#)

## Y08a 国立天文台「市民天文学」プロジェクト GALAXY CRUISE の進捗状況

白田-佐藤功美子, 田中賢幸, 小池美知太郎, 柴田純子, 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 の日本語サイトを2019年11月1日に、英語サイトを2020年2月19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である。本サイト <https://galaxycruise.mtk.nao.ac.jp> に、2020年6月7日現在で、66の国と地域より4232名が「市民天文学者」として登録している (うち、日本からは3411名)。特に日本では、2020年3月2日から全国の多くの学校が臨時休校に入った後に10代の登録者が急増した。

登録者には各自、事前に三段階のトレーニングを行い、衝突銀河の見分け方や特徴についての基本知識を得た上で分類に参加いただいている。1052名による2020年1月10日までの分類結果を統計解析したところ、明るい銀河ほど楕円銀河の割合が高くなるという、過去の研究で知られている銀河の形態と明るさの関係がきれいに再現できた。また、大多数がリング銀河と判定したものが本当にリング銀河であるなど、概ね良い分類結果が得られているという感触を持っている。

本サイトでは、登録者に興味と銀河分類へのモチベーションを維持していただくため、毎月新しいNEWS記事を掲載している。より頻繁に情報発信を行うため、Twitter アカウントを開設した。さらに8月には、1人1ヶ月で1000個銀河を分類しようというキャンペーンを実施する。本講演では、GALAXY CRUISE の進捗状況とともに今後の展望についても言及する。

[スケジュール \(セッション毎\) に戻る](#)

[スケジュール \(全体\) に戻る](#)

[講演者索引 TOP に戻る](#)

講演者索引  
(50音順)

## 【A】 – 【Z】

Gianni Cataldi (Cataldi Gianni).....	P203a
Suchetha Cooray (Cooray Suchetha).....	X11a
Alvaro Gonzalez (Gonzalez Alvaro).....	V111a
Hamid Hamidani (Hamidani Hamid).....	W29a
Tilman Hartwig (Hartwig Tilman).....	P105a
Tetsuo Hasegawa (Hasegawa Tetsuo).....	P111a
Ting-Chi Huang (Huang Ting-Chi).....	X22a
Roberto Iaconi (Iaconi Roberto).....	N28a
Mingjie Jian (Jian Mingjie).....	N31a
Haruka Kusakabe (Kusakabe Haruka).....	X17a
Jackson M. Norris (Norris Jackson).....	X04a
Kiyooki Christopher Omori (Omori Kiyooki).....	X30a
Nirmit Deepak Sakre (Sakre Nirmit Deepak).....	P110a
Wenlei Shan (Shan Wenlei).....	V115a
Donguk Song (Song Donguk).....	M03a
Shigehisa Takakuwa (Takakuwa Shigehisa).....	P201a
Alessandro A. Trani (Trani Alessandro).....	W40a
Masato Tsuboi (Tsuboi Masato).....	Q11a
Wagner Alexander (Alexander Wagner).....	Z116a
Yikang Wang (Wang Yikang).....	M09a
Abednego Wiliardy (Wiliardy Abednego).....	X02a
Sarolta Zahorecz (Zahorecz Sarolta).....	P125a
Christopher Zapart (Zapart Christopher).....	V107a
Ziwei E. Zhang (Zhang Ziwei).....	P124a
Yu Zhou (Zhou Yu).....	Q25a

## 【あ】

青木和光 (あおき わこう).....	N34a
青山雄彦 (あおやま ゆうひこ).....	P224a
縣秀彦 (あがた ひでひこ).....	Y01a
赤堀卓也 (あかほり たくや).....	T09a
秋野大知 (あきの だいち).....	T04a
阿久津智忠 (あくつ ともただ).....	V211a
朝倉一統 (あさくら かずのり).....	Q24a
朝野哲郎 (あさの てつろう).....	R11a
朝比奈雄太 (あさひな ゆうた).....	W33a
阿左美進也 (あざみ しんや).....	P103a

安部大晟 (あべ だいせい).....	P116a
甘田溪 (あまだ けい).....	N24a

## 【い】

井岡邦仁 (いおか くにひと).....	W18a
伊王野大介 (いおの だいすけ).....	V121a
五十嵐太一 (いがらし たいち).....	Z120a
生田ちさと (いくた ちさと).....	Y03a
石川遼子 (いしかわ りょうこ).....	M16a
石川遼太郎 (いしかわ りょうたろう).....	M11a
石倉秋人 (いしくら あきと).....	M13a
石倉彩美 (いしくら あやみ).....	V302a
石田光宏 (いしだ みつひろ).....	N29a
石原昂将 (いしはら こうすけ).....	P120a
石村周平 (いしむら しゅうへい).....	P304a
石山智明 (いしやま ともあき).....	X05a
泉拓磨 (いずみ たくま).....	Z132a
磯貝瑞希 (いそがい みずき).....	V201a
磯部優樹 (いそべ ゆうき).....	X19a
伊藤慧 (いとう けい).....	X20a
伊東大輔 (いとう だいすけ).....	S03a
稲吉恒平 (いなよし こうへい).....	Z137a
井上壮大 (いのうえ あきひろ).....	W22a
井上開輝 (いのうえ かいき).....	U08a
井上茂樹 (いのうえ しげき).....	X08a
井上進 (いのうえ すすむ).....	S01a
井上芳幸 (いのうえ よしゆき).....	Z109a
井上諒大 (いのうえ りょうた).....	V304a
今井裕 (いまい ひろし).....	N25a
今澤遼 (いまざわ りょう).....	S11a
今田晋亮 (いまだ しんすけ).....	M01a
岩井一正 (いわい かずまさ).....	M06a
岩崎一成 (いわさき かずなり).....	P217a
岩本昌倫 (いわもと まさのり).....	W01a

## 【う】

上田暁俊 (うえだ あきとし).....	V218a
植田高啓 (うえだ たかひろ).....	P216a

植松亮祐(うえまつ りょうすけ).....S05a  
 宇佐見雅己(うさみ まさき).....V314a  
 牛尾海登(うしお かいと).....X27a  
 氏原秀樹(うじはら ひでき).....V124a  
 臼田知史(うすだ とものり).....V206a  
 臼田-佐藤功美子(うすだ-さとう くみこ).....Y08a  
 内田裕之(うちだ ひろゆき).....V331a  
 内海碧人(うつみ あおと).....Z119a  
 宇野孔起(うの こうき).....W11a  
 浦川聖太郎(うらかわ せいтарろう).....Y04a  
 浦郷陸(うらごう りく).....N23a

## 【え】

江副祐一郎(えぞえ ゆういちろう).....V316a  
 榎谷玲依(えのきや れい).....Q04a  
 蛭子俊大(えびす としひろ).....X06a

## 【お】

大川将勢(おおかわ まさなり).....V105a  
 大木平(おおぎ たいら).....Z135a  
 大小田結貴(おおこだ ゆき).....P132a  
 大島修(おおしま おさむ).....N19a  
 大城勇憲(おおしろ ゆうけん).....Q15a  
 大滝恒輝(おおたき こうき).....X07a  
 大野和正(おおの かずまさ).....P313a  
 大野峻宏(おおの たかひろ).....Q08a  
 大橋聡史(おおはし さとし).....P206a  
 大間々知輝(おおまま ともき).....W31a  
 大村匠(おおむら たくみ).....Z115a  
 大家寛(おおや ひろし).....W41a  
 大屋瑠子(おおや るこ).....P131a  
 大薮進喜(おおやぶ しんき).....V214a  
 岡崎敦男(おかざき あつお).....W21a  
 尾形絵梨花(おがた えりか).....W34a  
 岡部信広(おかべ のぶひろ).....T05a  
 岡本崇(おかもと たかし).....Z122a  
 岡本豊(おかもと ゆたか).....M23a  
 荻野直樹(おぎの なおき).....V325a

荻原大樹(おぎはら たいき).....Z113a  
 荻原正博(おぎはら まさひろ).....P316a  
 奥裕理(おく ゆうり).....X03a  
 奥住聡(おくずみ さとし).....P209a  
 奥村暁(おくむら あきら).....V329a  
 小高裕和(おだか ひろかず).....V326a  
 小野智弘(おの ともひろ).....P219a  
 尾上匡房(おのうえ まさふさ).....Z133a

## 【か】

甲斐達也(かい たつや).....M10a  
 鍵谷将人(かぎたに まさと).....V208a  
 柏木頼我(かしわぎ らいが).....P117a  
 春日知明(かすが ともあき).....N09a  
 片岡章雅(かたおか あきまさ).....P204a  
 勝川行雄(かつかわ ゆきお).....M05a  
 加藤ちなみ(かとう ちなみ).....N08a  
 金川和弘(かながわ かずひろ).....P220a  
 金子慶子(かねこ けいこ).....V116a  
 金子大輔(かねこ だいすけ).....V130a  
 金子岳史(かねこ たかふみ).....M28a  
 金子美由起(かねこ みゆき).....Q12a  
 金丸善朗(かねまる よしあき).....V334a  
 上塚貴史(かみづか たかふみ).....N27a  
 亀野誠二(かめの せいじ).....S10a  
 亀谷收(かめや おさむ).....W19a  
 鴨川弘幸(かもがわ ひろゆき).....P305a  
 川勝望(かわかつ のぞむ).....Z117a  
 川島朋尚(かわしま ともひさ).....Z111r  
 川手朋子(かわて ともこ).....M27a  
 川名好史朗(かわな こうじろう).....N06a  
 川中宣太(かわなか のりた).....W32a  
 川邊良平(かわべ りょうへい).....P126a  
 川室太希(かわむろ たいき).....Z126a

## 【き】

菊田智史(きくた さとし).....X18a  
 菊地原正太郎(きくちはら しょうたろう).....X16a

木坂将大(きさか しょうた)	Z114a
北島正隼(きたじま まさと)	V321a
北山哲(きたやま てつ)	T10a
紀基樹(きの もとき)	Z107a
木原孝輔(きはら こうすけ)	M07a
木村和貴(きむら かずたか)	P101a
木村成生(きむら しげお)	Z112a
木村なみ(きむら なみ)	M29a
木邑真理子(きむら まりこ)	W10a

## 【く】

草野完也(くさの かんや)	M20a
櫛引洗佑(くしびき こうすけ)	X29a
沓間弘樹(くつま ひろき)	V128a
工藤祐己(くどう ゆうき)	Z123a
國友正信(くにとも まさのぶ)	P221a
熊本淳(くまもと じゅん)	W38a
黒崎健二(くろさき けんじ)	P317a

## 【こ】

郷田直輝(ごうだ なおてる)	V216a
上月雄人(こうづき ゆうと)	V119a
河野海(こうの かい)	Z125a
河野孝太郎(こうの こうたろう)	V125a
古賀駿大(こが しゅんた)	P122a
古賀亮一(こが りょういち)	P306a
小嶋崇文(こじま たかふみ)	V114a
小嶋康史(こじま やすふみ)	W23a
児玉涼太(こだま りょうた)	V324a
小林秀行(こばやし ひでゆき)	V122a
小林浩(こばやし ひろし)	P214a
小林将人(こばやし まさと)	P109a
小堀しづ(こぼり しづ)	U09a
駒木彩乃(こまき あやの)	P223a
近藤依央菜(こんどう いおな)	P314a
近藤滉(こんどう ひろし)	R03a

## 【さ】

崔仁士(さい じんし)	P137a
雑賀恵理(さいが えり)	P135a
佐伯優(さいき ゆう)	P133a
齋藤隆之(さいとう たかゆき)	V327a
酒井大裕(さかい だいすけ)	Q14a
坂井了(さかい りょう)	V117a
阪本成一(さかもと せいいち)	V120a
阪本茉莉子(さかもと まりこ)	Q03a
作田皓基(さくた こうき)	T02a
佐久間翔太郎(さくま しょうたろう)	V301a
櫻井祐也(さくらい ゆうや)	W35a
酒向重行(さこう しげゆき)	V204a
佐々木寅旭(ささき のぶあき)	V328a
佐々木宏和(ささき ひろかず)	W12a
定成 健児エリック(さだなり けんじえりっく)	P102a
佐藤亜紗子(さとう あさこ)	P129a
佐藤景亮(さとう けいすけ)	R04a
佐藤浩介(さとう こうすけ)	V318a
佐藤宏樹(さとう ひろき)	V313a
佐藤佑樹(さとう ゆうき)	P315a
佐藤優理(さとう ゆり)	W05a
佐野栄俊(さの ひでとし)	Q19a
澤田涼(さわだ りょう)	N03a

## 【し】

施文(し ぶん)	X10a
鹿田諒太(しかた りょうた)	V209a
柴崎清登(しばさき きよと)	M30a
柴山良希(しばやま よしき)	P128a
島尻芳人(しまじり よしと)	P112a
清水里紗(しみず りさ)	T06a
志村拓馬(しむら たくま)	N13a
下井倉ともみ(しもいくら ともみ)	P118a
霜田治朗(しもだ じろう)	W03a

## 【す】

末松芳法(すえまつ よしのり).....	V210a
菅原悠馬(すがはら ゆうま).....	X23a
杉浦圭祐(すぎうら けいすけ).....	P303a
杉谷朱泉(すぎたに あやみ).....	P202a
杉村和幸(すぎむら かずゆき).....	Z138a
杉本香菜子(すぎもと かなこ).....	V112a
鈴木昭宏(すずき あきひろ).....	N05a
鈴木仁研(すずき とよあき).....	V215a
鈴木瞳(すずき ひとみ).....	Q17a
鈴木寛大(すずき ひろまさ).....	Q20a
須田拓馬(すだ たくま).....	N35a
須田博貴(すだ ひろたか).....	V320a
須藤貴弘(すどう たかひろ).....	X31a
須藤広志(すどう ひろし).....	Z108a

## 【せ】

銭谷誠司(ぜにたに せいじ).....	M18a
---------------------	------

## 【そ】

曾我健太(そが けんた).....	Z136a
空華智子(そらはな さとこ).....	N20a

## 【た】

高城龍平(たかぎ りょうへい).....	W30a
高田将郎(たかた まさお).....	N30a
高橋和也(たかはし かずや).....	W04a
高橋実道(たかはし さねみち).....	P213a
高橋弘充(たかはし ひろみつ).....	V305a
高橋光成(たかはし みつなり).....	S09a
高橋龍一(たかはし りゅういち).....	U13a
孝森洋介(たかもり ようすけ).....	Z110a
田川寛通(たがわ ひろみち).....	W39a
瀧哲朗(たき てつお).....	P210a
瀧川歩(たきがわ あゆむ).....	V319a
滝澤寛(たきざわ かん).....	M14a

竹内努(たけうち つとむ).....	X09a
武尾舞(たけお まい).....	W09a
武田朋志(たけだ ともし).....	V311a
竹村英晃(たけむら ひであき).....	P114a
田崎亮(たざき りょう).....	P215a
田嶋裕太(たしま ゆうた).....	R13a
橋健吾(たちばな けんご).....	N22a
立原研悟(たちばら けんご).....	P127a
立石大(たていし だい).....	N10a
田中桂悟(たなか けいご).....	T03a
谷川衝(たにかわ あたる).....	W36a
谷口暁星(たにくち あきお).....	V109a
谷口琴美(たにくち ことみ).....	P121a
谷口大輔(たにくち だいすけ).....	N33a
谷本敦(たにもと あつし).....	S04a
玉澤春史(たまざわ はるふみ).....	Y02a
田村直之(たむら なおゆき).....	V203a
田村陽一(たむら よういち).....	V108a
垂水勇太(たるみ ゆうた).....	R08a
丹波翼(たんば つばさ).....	V335a

## 【ち】

茅根裕司(ちのね ゆうじ).....	U03a
鄭昇明(ちよん すんみよん).....	Z139a

## 【つ】

柘植紀節(つげ きせつ).....	Q09a
辻直美(つじ なおみ).....	Q18a
土岡智也(つちおか ともや).....	Q16a
土川拓朗(つちかわ たくろう).....	Z124a
津名大地(つな だいち).....	W37a
経澤和見(つねざわ かずみ).....	P113a
恒任優(つねとう ゆう).....	Z104a

## 【て】

寺内健太(てらうち けんた).....	V330a
---------------------	-------

## 【と】

土井聖明(どい きよあき).....	P205a
土井正治(どい まさはる).....	Y05a
鴫田 翔哉(ときた しょうや).....	R06a
徳田一起(とくだ かずき).....	P138a
鳥羽儀樹(とば よしき).....	X28a
富田晃彦(とみた あきひこ).....	Y07a
富田沙羅(とみた さら).....	W02a
富原彩加(とみはら あやか).....	P307a
土本菜々恵(どもと ななえ).....	W27a
鳥海森(とりうみ しん).....	M02a

## 【な】

中川友進(なかがわ ゆうじん).....	W13a
中里剛(なかざと たけし).....	V113a
中澤佐穂(なかざわ さほ).....	P225a
長澤俊作(ながさわ しゅんさく).....	M24a
中島王彦(なかじま きみひこ).....	X15a
永田竜(ながた りょう).....	U07a
中西裕之(なかにし ひろゆき).....	Q01a
永野陽菜子(ながの ひなこ).....	U01a
中野龍之介(なかの りゅうのすけ).....	P222a
仲村佳悟(なかむら けいご).....	U04a
梨本真志(なしもと まさし).....	U06a
並河俊弥(なみかわ としや).....	U05a
行方宏介(なめかた こうすけ).....	N12a
成影典之(なるかげ のりゆき).....	M04a

## 【に】

西田宏幹(にしだ ひろき).....	W07a
西塚直人(にしづか なおと).....	M21a
西村信哉(にしむら のぶや).....	N02a
西本将平(にしもと しょうへい).....	M22a
西脇公祐(にしわき こうすけ).....	T11a
新田伸也(にった しんや).....	M19a

## 【ね】

根來均(ねごろ ひとし).....	W08a
-------------------	------

## 【の】

野田常雄(のだ つねお).....	W25a
野田博文(のだ ひろふみ).....	Z127a
野津翔太(のつ しょうた).....	P123a
野津湧太(のつ ゆうた).....	N15a
信川正順(のぶかわ まさよし).....	Z128a

## 【は】

橋本哲也(はしもと てつや).....	W14a
羽澄昌史(はずみ まさし).....	V126a
長谷川雅也(はせがわ まさや).....	V129a
長谷川幸彦(はせがわ ゆきひこ).....	P211a
長谷川豊(はせがわ ゆたか).....	V123a
秦和弘(はだ かずひろ).....	Z106a
畠内康輔(はたうち こうすけ).....	V303a
畠山拓也(はたけやま たくや).....	V221a
服部兼吾(はっとり けんご).....	S08a
服部公平(はっとり こうへい).....	R10a
服部誠(はっとり まこと).....	V127a
花岡真帆(はなおか まほ).....	V333a
馬場幸栄(ばば ゆきえ).....	Y06a
濱口優輝(はまぐち ゆうき).....	V110a
早川貴敬(はやかわ たかひろ).....	Q10a
林多佳由(はやし たかゆき).....	V332a
林利憲(はやし としのり).....	P301a
林田清(はやしだ きよし).....	Z130a
林田光揮(はやしだ みつき).....	V322a
早津夏己(はやつ なつき).....	X25a
原田直人(はらだ なおと).....	P107a
播金優一(はりかね ゆういち).....	X14a

## 【ひ】

日影千秋(ひかげ ちあき).....	U12a
--------------------	------

廣田朋也(ひろた ともや).....R01a

## 【ふ】

深沢泰司(ふかざわ やすし).....S12a

福井康雄(ふくい やすお).....Q05a

福江慧(ふくえ けい).....N32a

福島啓太(ふくしま けいた).....X01a

福島肇(ふくしま はじめ).....P106a

福原優弥(ふくはら ゆうや).....P212a

藤井通子(ふじい みちこ).....P108a

藤井悠里(ふじい ゆり).....P218a

藤澤幸太郎(ふじさわ こうたろう).....W20a

藤田孝典(ふじた たかのり).....P134a

藤田裕(ふじた ゆたか).....W15a

藤林翔(ふじばやし しょう).....W28a

藤本信一郎(ふじもと しんいちろう).....N01a

藤本征史(ふじもと せいじ).....X24a

藤本正行(ふじもと まさゆき).....P104a

藤本裕輔(ふじもと ゆうすけ).....Q22a

藤原ケイ(ふじわら けい).....U10a

船渡陽子(ふなと ようこ).....R09a

古荘玲子(ふるしょう れいこ).....P302a

## 【ほ】

星野遥(ほしの はるか).....P318a

堀田英之(ほった ひでゆき).....M15a

堀内貴史(ほりうち たかし).....V212a

本間希樹(ほんま まれき).....Z101r

## 【ま】

前澤裕之(まえざわ ひろゆき).....P308a

前田龍之介(まえだ りゅうのすけ).....Q07a

前原裕之(まえはら ひろゆき).....N16a

牧島一夫(まきしま かずお).....W16a

政井崇帆(まさい たかほ).....V118a

正木彰伍(まさき しょうご).....U11a

正木寛之(まさき ひろゆき).....M12a

増井翔(ますい しょう).....V101a

増田智(ますだ さとし).....M26a

眞武寛人(またけ ひろと).....V315a

町田真美(まちだ まみ).....Z118a

松岡良樹(まつおか よしき).....Z131r

松下祐子(まつした ゆうこ).....P130a

松永典之(まつなが のりゆき).....N21a

松林和也(まつばやし かずや).....V207a

松本光生(まつもと こうせい).....S06a

松本健(まつもと たける).....V106a

松本達矢(まつもと たつや).....N07a

松本達矢(まつもと たつや).....Z103a

松本浩典(まつもと ひろのり).....V309a

## 【み】

美里らな(みさと らな).....T08a

三澤浩昭(みさわ ひろあき).....M08a

三杉佳明(みすぎ よしあき).....P115a

水越翔一郎(みずこし しょういちろう).....X26a

水村好貴(みずむら よしたか).....Q21a

水本岬希(みずもと みさき).....S02a

道藤翼(みちふじ つばさ).....V205a

三石郁之(みついし いくゆき).....V308a

南大晴(みなみ たいせい).....V103a

峯田大靖(みねた たいせい).....S07a

宮川浩平(みやかわ こうへい).....P311a

三好隆博(みよし たかひろ).....M17a

三好真(みよし まこと).....Z105a

## 【む】

村岡和幸(むらおか かずゆき).....R02a

村上享平(むらかみ きょうへい).....M25a

村瀬洸太郎(むらせ こうたろう).....N17a

村田一心(むらた かずみ).....X12a

## 【も】

百瀬宗武(ももせ むねたけ).....P208a

百瀬莉恵子(ももせ りえこ).....	Z134a
森寛治(もり かんじ) .....	N11a
森浩二(もり こうじ).....	Z129a
森昇志(もり しょうじ).....	P136a
森万由子(もり まゆこ) .....	P312a
森井嘉穂(もりい かほ).....	P119a
森川雅博(もりかわ まさひろ).....	P309a
森川雅博(もりかわ まさひろ).....	Z140a
森山小太郎(もりやま ことろう).....	Z102a
森脇可奈(もりわき かな).....	X13a

## 【や】

八木雅文(やぎ まさふみ).....	V202a
八木雄大(やぎ ゆうた).....	R07a
矢島義之(やじま よしゆき).....	R05a
保田悠紀(やすだ ゆうき).....	N26a
矢野太平(やの たいへい).....	V217a
山口友洋(やまぐち とむひろ).....	V307a
山崎大(やまざき だい).....	U02a
山崎康正(やまさき やすまさ).....	V104a
山敷庸亮(やましき ようすけ).....	P310a
山下真依(やました まい).....	N18a
山田良透(やまだ よしゆき).....	V219a
山田麟(やまだ りん).....	Q02a
大和義英(やまと よしひで).....	P207a
山根悠望子(やまね ゆみこ).....	Q06a
山村一誠(やまむら いっせい).....	V213a
山本直明(やまもと なおあき).....	X21a
山本龍哉(やまもと りゅうや).....	V306a
山本涼一(やまもと りょういち).....	T07a

## 【ゆ】

行元雅貴(ゆくもと まさたか).....	V323a
----------------------	-------

## 【よ】

楊冲(よう ちゅう).....	T01a
横塚弘樹(よこづか ひろき).....	Q13a

横山航希(よこやま こうき).....	V102a
吉田敬(よしだ たかし).....	N04a
吉田雄城(よしだ ゆうき).....	R12a
吉田勇登(よしだ ゆうと).....	V312a
芳野史弥(よしの ふみや).....	V310a
米田謙太(よねた けんた).....	V220a
米田浩基(よねだ ひろき).....	W17a
米津鉄平(よねつ てっぺい).....	Q23a
米山友景(よねやま ともかげ).....	W24a

## 【り】

李晋(り しん).....	W06a
---------------	------

## 【わ】

鷺ノ上遥香(わしのうえ はるか).....	N14a
和田桂一(わだ けいいち).....	Z121r
和田知己(わだ ともき) .....	W26a
渡辺智也(わたなべ ともや).....	V317a

2020年8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 涉 (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 (東京大学)  
甘日出 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

浅田 秀樹 (弘前大学)