

東京大学 大学院理学系研究科
天 文 学 教 室
天文学教育研究センター

年次報告

2023 (令和 5) 年度

2024 (令和 6) 年 10 月

目次

第 1 部 天文学教室	5
1.1 天文学教室の沿革と現状	7
1.1.1 天文学教室の歴史	7
1.1.2 天文学教室の所在地	8
1.1.3 理学部卒業生	8
1.1.4 大学院修士課程修了者	8
1.1.5 大学院博士課程修了学位取得者	8
1.1.6 大学院博士課程修了学位取得者 (修業年限の特例による)	8
1.1.7 大学院博士課程退学後学位取得者 (1990 年度からの統計)	8
1.2 教員, 職員, および研究員	9
1.2.1 教員および職員	9
1.2.2 日本学術振興会特別研究員	9
1.2.3 日本学術振興会外国人特別研究員	9
1.2.4 特任研究員	9
1.2.5 客員共同研究員	9
1.2.6 名誉教授	10
1.2.7 学部・大学院教育に参加する関連研究機関の教員	10
1.3 学部学生, 大学院学生, および研究生	10
1.3.1 学部学生	10
1.3.2 大学院学生 ([] 内は指導教員)	11
1.3.3 博士論文, 修士論文および課題研究発表	12
1.4 授業	14
1.4.1 学部	14
1.4.2 大学院	15
1.5 研究活動	16
1.5.1 宇宙及び系外銀河	16
1.5.2 宇宙の高エネルギー現象	17
1.5.3 銀河系および星間物質	18
1.5.4 恒星	21
1.5.5 太陽	23
1.5.6 太陽系外惑星および星惑星形成	23
1.6 論文および出版物	26
1.6.1 英文報告	26
1.6.2 和文論文および解説記事	37
1.6.3 著書, 訳書, 編書	37
1.7 学会発表	37
1.7.1 日本天文学会 2023 年秋季年会, 名古屋大学 (2023/9/20-9/22)	37

1.7.2	日本天文学会 2024 年春季年会, 東京大学/オンライン (2024/3/11-3/15)	38
1.7.3	日本地球惑星科学連合 2023 年大会, 幕張メッセ (2023 年 5 月 21 日-26 日)	39
1.7.4	国際研究会	39
1.7.5	国内研究会	42
1.7.6	SOC/LOC	44
1.7.7	一般向け講演	44
1.7.8	記者会見, プレスリリース, 新聞報道	45
1.7.9	受賞	45
1.7.10	他大学での講義	45
1.7.11	委員その他	45
1.7.12	科研費等	46
1.7.13	出張記録	47
1.8	来訪者	50
1.9	教室談話会	51
第 2 部	天文学教育研究センター	53
2.1	天文学教育研究センターの沿革と現状	55
2.1.1	東京大学アタカマ天文台 – TAO 計画の経緯	57
2.2	教員, 職員, 名誉教授, 研究員等	58
2.2.1	教員及び職員	58
2.2.2	研究員及び客員	58
2.2.3	名誉教授	58
2.3	天文学教育研究センター運営委員会	59
2.4	敷地, 建物, 及び主な設備・備品	59
2.5	研究活動	60
2.5.1	宇宙および系外銀河	60
2.5.2	銀河系および星間物質	63
2.5.3	恒星および系外惑星	64
2.5.4	太陽及び太陽系	65
2.5.5	望遠鏡, 観測機器, ソフトウェアの製作と開発	65
2.5.6	TAO 計画	67
2.6	論文及び出版物	78
2.6.1	英文報告	78
2.6.2	和文その他の解説記事	86
2.7	学会, 研究会における発表	86
2.7.1	日本天文学会 2023 年秋季年会, 名古屋大学 (2023/09/20-09/22)	86
2.7.2	日本天文学会 2024 年春季年会, 東京大学 (2024/03/11-03/15)	87
2.7.3	日本地球惑星科学連合 2023 年大会, 幕張メッセ (2023/05/21-05/26)	87
2.7.4	国際研究会	87
2.7.5	国内研究会	89
2.7.6	その他の講演 (談話会等)	90
2.7.7	研究会の主催	90
2.8	天文センター談話会	91
2.9	広報普及活動・社会貢献	91
2.9.1	特別公開	91

2.9.2	東大オープンキャンパス	92
2.9.3	普及講演	92
2.9.4	プレスリリース	92
2.9.5	雑誌等取材記事	92
2.10	その他の活動	92
2.10.1	講義等 (学部)	92
2.10.2	講義等 (大学院)	93
2.10.3	各種委員	93
2.10.4	科研費等	93
2.10.5	PI 共同利用時間	94
2.10.6	国外出張	95
2.10.7	来訪研究者	98
第 3 部	天文学教育研究センター木曽観測所	99
3.1	沿革と現状	101
3.1.1	沿革	101
3.1.2	現状	101
3.2	木曽観測所の活動	103
3.2.1	木曽広視野動画カメラ Tomo-e Gozen の開発	103
3.2.2	Tomo-e Gozen を用いた研究	105
3.2.3	望遠鏡とドームの保守, 整備	119
3.2.4	計算機の保守, 整備	121
3.2.5	ネットワーク・通信機器の保守, 整備	121
3.2.6	データアーカイブ	122
3.2.7	所員の研究活動	123
3.2.8	論文および出版物	125
3.2.9	学会, 研究会等での報告	133
3.2.10	学生実習	138
3.2.11	地域貢献事業	146
3.2.12	教育 (パブリックアウトリーチ)・広報活動	149
3.3	施設, 設備	156
3.3.1	観測所	156
3.3.2	105cm シュミット望遠鏡	156
3.3.3	30cm 望遠鏡	157
3.3.4	広視野動画カメラ Tomo-e Gozen	158
3.3.5	遠隔自動観測システム	158
3.3.6	観測サポート機器: 気象観測機器と監視カメラ	159
3.3.7	計算機	160
3.3.8	観測所のネットワーク設備	164
3.3.9	外部機関管理機器	165
3.4	運用, 管理	168
3.4.1	他機関との協力	168
3.4.2	宿泊	168
3.4.3	日誌	168
3.4.4	役務, 営繕工事等	169

3.4.5	晴天率・観測統計	169
3.4.6	環境安全衛生	170
3.4.7	環境維持・環境整備	170
3.5	所員	172
3.5.1	教員および職員	172
3.5.2	外国人来訪研究者	172
3.5.3	木曾観測所共同利用相談会 (東京大学天文学教育研究センター, 2023/11/22)	172
3.5.4	記録事項	172

第1部

天文学教室

東京大学大学院理学系研究科天文学専攻 (天文学教室)

〒 113-0033 東京都文京区本郷 7-3-1

電話: 03-5841-4254

FAX: 03-5841-7644

ホームページ: <http://www.astron.s.u-tokyo.ac.jp/>

表 1.1: 天文学教室 (2024 年 3 月 31 日)

氏名	電子メールアドレス	研究者番号
理学系研究科・理学部 1 号館		
事務室 (藤枝)	fujieda.shin@mail.u-tokyo.ac.jp	
事務室 (櫻井)	sakurai.yuka@mail.u-tokyo.ac.jp	
事務室 (永山)	yamamura.etsuko@mail.u-tokyo.ac.jp	
戸谷	totani@astron.s.u-tokyo.ac.jp	90321588
田村	motohide.tamura@astron.s.u-tokyo.ac.jp	00260018
相川	aikawa@astron.s.u-tokyo.ac.jp	40324909
柏川	n.kashikawa@astron.s.u-tokyo.ac.jp	00290883
嶋作	shimasaku@astron.s.u-tokyo.ac.jp	00251405
梅田	umeda@astron.s.u-tokyo.ac.jp	60447357
藤井	fujii@astron.s.u-tokyo.ac.jp	90722330
高田	takata@astron.s.u-tokyo.ac.jp	20334245
左近	isakon@astron.s.u-tokyo.ac.jp	70451820
松永	matsunaga@astron.s.u-tokyo.ac.jp	80580208
Kwon	kwon.jungmi@astron.s.u-tokyo.ac.jp	60724094

1.1 天文学教室の沿革と現状

1.1.1 天文学教室の歴史

東京大学理学部天文学教室の歴史は1877年(明治10年)に東京大学の創設と同時に理学部第2グループの数学科、物理学科と共に星学科が発足した時にまで遡る。1886年(明治19年)に東京大学は帝国大学に改組され、分科大学として理科大学が制定されて東京大学理学部を継承したが、その7学科の一つとして星学科が開設された。当初星学科は他学科と同じく本郷にあったが、1888年(明治21年)星学科は、理学部天象台の理学部東京天文台への改組移転と共に本郷から麻布飯倉に移転した。1897年(明治30年)に帝国大学は東京帝国大学に改称し、1919年(大正8年)に理科大学をはじめとする分科大学は東京帝国大学に統合されて理科大学は東京帝国大学理学部に改められ、星学科は天文学科と改称された。その後、東京天文台は、1921年(大正10年)に理学部を離れて大学附置の研究所となり、1924年(大正13年)には三鷹に移転したが、天文学教室は麻布飯倉に留まった。第二次大戦中戦況の激化に伴い、天文学教室は1945年(昭和20年)3月上諏訪に疎開し、麻布飯倉の教室は同年5月空襲により消失した。同年10月に疎開先から戻った天文学教室は、一時本郷キャンパス内に仮教室を置いたが、1947年(昭和22年)4月再び飯倉に戻った。同年10月、東京帝国大学は東京大学と改称した。

1949年(昭和24年)に新制東京大学が発足し、1951年(昭和26年)天文学科は物理学科天文学課程と改称されたが、1967年(昭和42年)に再び天文学科に戻った。この間1960年(昭和35年)には、長く過ごした麻布飯倉の地を去り、東京大学本郷キャンパスの浅野地区に新築された理学部3号館に移転した。1995年(平成7年)、本郷キャンパス内に分散している理学部の学科や施設の集中化計画の中核となる理学系研究科・理学部1号館新設の第一期工事が着工され、1997年(平成9年)に安田講堂裏に12階建ての西棟が完成した。これに伴い同年12月に天文学科は、講義室や実験室などを3号館に残し、主要部分を新設された1号館西棟の11階に移転した。浅野地区の3号館は1999年(平成11年)に大規模な改修工事が行われた。2004年(平成16年)には理学系研究科・理学部1号館中央棟が完成し、3号館から講義室や実験室などが移転した。

1949年(昭和24年)に新制の東京大学が発足すると共に、1953年(昭和28年)修士課程2年、博士課程3年の新制東京大学大学院が発足した。天文学の課程は数物系研究科天文学専門課程とされた。その後1965年(昭和40年)に、数物系は理学系と工学系に改組され、天文学課程は大学院理学系研究科天文学専門課程となった。なお1987年(昭和62年)に専門課程は専攻と改称されたので、大学院理学系研究科天文学専攻として現在に至っている。大学附置研の東京天文台の多くの教員(20余名)も大学院天文学専攻の教育に参画していたが、1988年(昭和63年)7月に、東京天文台が東京大学を離れ大学共同利用機関の国立天文台として改組されたのに伴い、これに代わり、東京大学には木曾観測所を擁する理学部天文学教育研究センターが三鷹に新設され、3講座から成る本郷の天文学教室と協力して東京大学における天文学の教育と研究に当たることとなった。

新生東京大学の発足以来長らく、理学部天文学科の講座は天文学第1-第3講座の3講座であった。1993年(平成5年)度に理学部天文学科の3講座は、東京大学の大学院重点化構想に基づく大学院部局化により、大学院理学系研究科天文学専攻の「天文宇宙理学講座」という名前の大学院講座に改組された。これに伴い、教員・職員は大学院の天文学専攻が主務となり理学部の天文学科が兼務となった。5年遅れて1998年(平成10年)には、天文学教育研究センターも大学院部局化されて大学院理学系研究科附属天文学教育研究センターとなり、天文学専攻の協力講座「観測天文学講座」として大学院の教育と研究に当たることになった。1999年(平成11年)4月のビッグバン宇宙国際研究センター(大学院理学系研究科附属施設)の発足にあたり、天文宇宙理学講座のポストを一つ振り替えた。

2004年(平成16年)、東京大学をはじめとする国立大学は、それぞれ法人組織となり、東京大学は国立大学法人東京大学となった。この法人化に伴い様々な変革がなされた。大学院天文学専攻は、天文学教室から成る基幹講座(天文宇宙理学講座並びに広域理学講座)、天文学教育研究センターとビッグバン宇宙国際研究センター(一部)から成る協力講座(それぞれ観測天文学講座並びに初期宇宙データ解析講座)、それに独立行政法人宇宙航空研究開発機構宇宙科学研究本部並びに大学共同利用機関法人自然科学研究機構国立天文台(それぞれ一部)

の教員が参加する連携講座(それぞれ学際理学講座並びに観測宇宙理学講座)から成る体制に整備された。

1.1.2 天文学教室の所在地

天文学教室は本郷キャンパス内にある理学系研究科・理学部1号館(西棟, 中央棟)と浅野地区の3号館に以下の部屋を所有している。

1号館西棟(11階)	教員室(10室), 院生室(4室), 事務室, 名誉教授室・ビジター室, 研究員室, 会議室, 談話室, コピー室, 輪講室
1号館中央棟(10階)	教員室(2室), 客員研究員室, 研究員室, 講師控室, 学部学生控室, 学部学生端末室, 学部学生実習室, 大学院講義室, 学部講義室, 実験室(2室), 計算機室
1号館東棟(地下2階)	実験室
3号館(3階)	研究室(1室)

1.1.3 理学部卒業生

星学科	(1877年度-1918年度)	20名	
旧制天文学科	(1919年度-1953年度)	127名	
新制天文学科	(1953年度-2023年度)	541名	(うち2023年度12名)

1.1.4 大学院修士課程修了者

数物系研究科天文学専門課程	(1954年度-1964年度)	36名	
理学系研究科天文学専門課程/専攻	(1965年度-2023年度)	770名	(うち2023年度22名)

1.1.5 大学院博士課程修了学位取得者

数物系研究科天文学専門課程	(1957年度-1963年度)	3名	
理学系研究科天文学専門課程/専攻	(1967年度-2023年度)	420名	(うち2023年度13名)

1.1.6 大学院博士課程修了学位取得者(修業年限の特例による)

理学系研究科天文学専攻	(2003年度-2023年度)	7名	(うち2023年度0名)
-------------	-----------------	----	--------------

1.1.7 大学院博士課程退学後学位取得者(1990年度からの統計)

博士課程満期退学者・課程博士	(1990年度-2023年度)	23名	(うち2023年度1名)
博士課程退学者・論文博士	(1990年度-2023年度)	10名	(うち2023年度0名)
論文博士(天文以外の出身者)	(1990年度-2023年度)	8名	(うち2023年度0名)

1.2 教員, 職員, および研究員

1.2.1 教員および職員

教授	戸谷 友則	(とたに ともり)
	田村 元秀	(たむら もとひで)
	相川 祐理	(あいかわ ゆり)
	柏川 伸成	(かしかわ のぶなり)
准教授	嶋作 一大	(しまさく かずひろ)
	梅田 秀之	(うめだ ひでゆき)
	藤井 通子	(ふじい みちこ)
助教	高田 将郎	(たかた まさお)
	左近 樹	(さこん いつき)
	松永 典之	(まつなが のりゆき)
特任助教	Kwon Jungmi	(くおん じょんみ)
事務職員	藤枝 伸	(ふじえだ しん)
	櫻井 優香	(さくらい ゆうか)
臨時職員	永山 悦子	(ながやま えつこ)
	田淵 ゆかり	(たぶち ゆかり)
	帖佐 江里奈	(ちょうさ えりな)
派遣職員	棚田 真寿美	(たなだ ますみ)
	久綱 寛子	(くつな ひろこ)
	濱森 麻美	(はまもり あさみ)

1.2.2 日本学術振興会特別研究員

伊藤 慧 (PD) [嶋作]
 梨本 真志 (PD) [左近]

1.2.3 日本学術振興会外国人特別研究員

Germán Molpeceres De Diego [相川]

1.2.4 特任研究員

平野 信吾 [相川]
 西村 優里 [柏川]
 鈴木 大輝 [相川]
 FEENEY JOHANSSON ANTON FIACHARA GEORGE [相川]

1.2.5 客員共同研究員

百瀬 莉恵子 [嶋作]

1.2.6 名誉教授

海野 和三郎 尾崎 洋二 野本 憲一 岡村 定矩 柴橋 博資 尾中 敬

1.2.7 学部・大学院教育に参加する関連研究機関の教員

学部教育には上記の天文学教室教員のほかに、天文学教育研究センター教員(名簿は第2章参照)とビッグバン宇宙国際研究センターの茂山俊和教授が参加している。また、非常勤講師として国立天文台の関井隆特任教授、宇宙科学研究所の吉川真准教授、宇宙科学研究所の河原創准教授、東京大学カブリ数物連携宇宙研究機構のSILVERMAN John 教授が参加している。

大学院教育には上記の天文学教室教員のほかに、天文学教育研究センター教員(名簿は第2章参照)と、ビッグバン宇宙国際研究センターの茂山俊和教授、また、非常勤講師として国立天文台の関井隆特任教授、国立天文台の野村英子教授、大阪府立大学の大西利和教授、東北大学の千葉征司教授、東北大学の檜山和己准教授、デルフト工科大学の遠藤光准教授、東京大学カブリ数物連携宇宙研究機構の牧島一夫教授が参加している。さらに下記の関連研究機関の教員が加わっている。

1.2.7.1 兼任教員(東京大学)

教授 鈴木 建 (総合文化研究科)
教授 SILVERMAN John (カブリ数物連携宇宙研究機構)

1.2.7.2 兼任教員(国立天文台)

教授 小久保 英一郎 本原 顕太郎 阪本 成一 深川 美里

 本間 希樹 鹿野 良平 都丸 隆行 勝川 行雄

准教授 奥田 武志 中村 文隆

1.2.7.3 兼任教員(宇宙科学研究所)

教授 海老沢 研 関本 裕太郎

准教授 河原 創

1.3 学部学生, 大学院学生, および研究生

1.3.1 学部学生

4年	大塚翔生	折井一步	厚地 凧	嬉野大和	小口和真
	小島裕樹	兒玉エ門	清水駿太	田中健翔	千葉遼太郎
	根津正大	葉 与衡			
3年	大木亮吾	奥田伊武来	奥村珠希	菊地泰輝	近藤大航
	鯨島直人	鈴木はるか	安井佑一	米田 隼	渡辺恵文

1.3.2 大学院学生 ([] 内は指導教員)

D3	池内綾人 [嶋作]	康 浩然 [河野] (2019 年 9 月 20 日入学)	
	吉村勇紀 [河野]	張 也弛 [Silverman] (2020 年 9 月 24 日進学)	
	朝野哲郎 [藤井]	石本梨花子 [柏川]	
	宇野慎介 [河野]	木下真一 [中村]	桑田敦基 [田村]
	黄 燦 [河野]	高村美恵子 [本間]	橘 健吾 [宮田]
	富永愛侑 [海老沢]	NAGELE CHRISTOPHER [梅田]	
	紅山 仁 [酒向]	三橋一輝 [阪本]	吉田雄城 [小久保]
	張 天放 [土居] (2021 年 10 月 1 日進学)		
D2	足達洋亮 [深川]	小藤由太郎 [本間]	孫 東昇 [Silverman]
	陳 諾 [本原]	平島敬也 [藤井]	水越翔一郎 [峰崎]
	森井嘉穂 [中村]	大和義英 [相川]	吉岡岳洋 [柏川]
	DASH Prathamesh [梅田]	徐 弈 [Silverman] (2022 年 10 月 1 日進学)	
D1	栗原明稀 [海老沢]	黄 天銳 [茂山]	越諒太郎 [土居]
	武田佳大 [柏川]	辻田旭慶 [河野]	徳野鷹人 [鈴木]
	西野耀平 [都丸]	HAFIEDUDDIN Mohammad [本間]	
	林 祺紘 [藤井]	FARIYANTO Erika Prameswari [本間] (2022 年 10 月 1 日進学)	
	GU Ziyang [田村] (2023 年 10 月 1 日進学)		
	LIANG Zhuoxi [土居] (2023 年 10 月 1 日進学)		
	RAFI Sayyed Ali [田村] (2023 年 10 月 1 日進学)		
	YUN Jeung [本原] (2023 年 10 月 1 日進学)		
M2	西嶋 翔 [梅田]	森塚章恵 [勝川]	酒井勇輔 [梅田]
	有田淳也 [柏川]	井上修平 [河野]	生方すばる [土居]
	大木愛花 [本間]	小澤良樹 [深川]	神原祐樹 [小久保]
	小道雄斗 [相川]	篠田兼伍 [鈴木]	車 彩乃 [本原]
	津々木里咲 [酒向]	都築雄弥 [戸谷]	中島 健 [田村]
	成田佳奈香 [阪本]	成瀬日月 [宮田]	長谷川智也 [茂山]
	船越菜月 [小林]	松井思引 [嶋作]	三橋康平 [都丸]
	望月雄友 [海老沢]		
	CHEN Junling [戸谷] (2022 年 10 月 1 日入学)		
	DONG Chenze [Silverman] (2022 年 10 月 1 日入学)		
	LIU Zhaoxuan [Silverman] (2022 年 10 月 1 日入学)		
M1	石黒航平 [梅田]	大塚宗丈 [都丸]	柏崎未有 [海老沢]
	北村涼太 [小久保]	倉島啓斗 [酒向]	児玉瑠美 [藤井]
	笹岡大雅 [土居]	澤村真星 [奥田]	庄 芮 [深川]
	妹尾梨子 [宮田]	竹林 優 [相川]	田中 匠 [Silverman]
	藤森愛梨沙 [勝川]	星 宏樹 [柏川]	正岡滉翔 [本間]
	安田知明 [河原]	山中逸輝 [河野]	幸野友哉 [本原]
	吉野碧斗 [中村]	李 欣儒 [阪本]	和久井開智 [田村]
	和田空大 [小林]	范 𠄎 [戸谷] (2023 年 10 月 1 日入学)	

1.3.3 博士論文, 修士論文および課題研究発表

1.3.3.1 博士論文 (2023 年 5 月 31 日取得)

康 浩然 Studies on Feed Horns and Optics Towards Next-Generation Millimeter-Wave Multi-beam Receivers

1.3.3.2 博士論文 (2023 年 9 月 22 日取得)

張 也弛 Interplay of Gas, Stars, and Supermassive Black Holes in Galaxy Formation Studied by Optical and Near-Infrared Observations

1.3.3.3 博士論文 (2024 年 3 月 21 日取得)

朝野哲郎 Phase space structure in the Milky Way disc
石本梨花子 Observational Constraints on Cosmic Reionization by High-redshift Quasars and Galaxies
宇野慎介 Wideband Multichroic Detector Architecture for Millimeter and Submillimeter Imaging Observations
木下真一 Dynamics of Magnetized Prestellar Core
黄 燦 Probing the Evolution of Massive Galaxies with Millimeter-wave Emission Lines
高村美恵子 Multi-frequency VLBI Polarimetry of Active Narrow-line Seyfert 1 Galaxies
富永愛侑 Detailed X-ray Spectral Modeling of Circinus X-1 Based on Radiative Transfer
NAGELE General Relativistic Instability Supernovae
Christopher
Hastings
紅山 仁 Photometric Observations of Tiny Near-Earth Asteroids during the Close Approaches

三橋一輝 Dust-obscured star formation of the UV-selected galaxies at high-z
吉田雄城 Molecular dynamics simulations of dust monomer interactions

1.3.3.4 修士論文 (2023 年 9 月 22 日修了)

FARIYANTO Jet Collimation Profile Analysis and Core-Shift Measurement of Low-Luminosity AGN
Elika M84 using High-Resolution VLBI Observations
Prameswari
GU Ziyang Atmospheric Characterization of K2-100b in the Neptunian Desert with High-Resolution Spectroscopy
LIANG Zhuoxi The luminosity and mass functions of host galaxies from SDSS supernovae utilizing Subaru HSC WIDE field survey data
RAFI Sayyed Unveiling the Atmosphere of a Hot Saturn with High-Resolution Spectroscopy: Evidence
Ali of Water Vapor in the Atmosphere of HD 149026 b

1.3.3.5 修士論文 (2024 年 3 月 21 日修了)

西嶋 翔	Low-mass Pop III star formation due to the HD-cooling induced by weak Lyman-Werner radiation
森塚章恵	太陽縁近傍における光球ドップラー速度の高分解観測
酒井勇輔	初代星星団：個数・質量分布の Streaming Velocity の依存性
有田淳也	The Dark Matter Halo Mass of Quasars at $z \sim 6$
井上修平	ミリ波サブミリ波連続波撮像のための超広帯域かつ多素子化が容易な平面 Magic-T の設計
生方すばる	トモエゴゼンを用いた活動銀河核の変光の評価と銀河の諸性質
大木愛花	破局的進化段階にあるほうおう座銀河団の中心巨大楕円銀河からの AGN ジェット電波観測
神原祐樹	微惑星リングからの惑星形成
小道雄斗	Chemical evolution during molecular cloud formation triggered by an interstellar shock wave
篠田兼伍	親星水素外層と超新星フォールバックの相関性
津々木里咲	Tomo-e Gozen 広域サーベイの最適化システムの開発
都築雄弥	Resemblance of aftershock properties among fast radio burst, magnetars and earthquakes
中島 健	近赤外線視線速度法による系外惑星探索を目指した高安定モードスクランブラーの開発
成田佳奈香	QSO J1851+0035 方向の銀河系内分子ガスの物理状態・化学組成
成瀬日月	TAO/MIMIZUKU による中間赤外線モニタ観測の実現に向けた高精度フラット補正システムの開発
松井思引	X-ray stacking reveals average SMBH accretion properties of star-forming galaxies and their cosmic evolution over $4 < z < 7$
三橋康平	第三世代重力波望遠鏡用 2 段低周波防振装置の開発
望月雄友	XRISM 衛星搭載極低温検出器の地上・軌道上データを用いた X 線イベント処理最適化

1.3.3.6 課題研究発表

小島裕樹	[宮田]	TAO/MIMIZUKU のモニタ観測のための中間赤外線標準星探索
大塚翔生	[藤井]	超大質量星による周囲のガスの汚染
折井一步	[戸谷]	Pulsar Timing Array
厚地 風	[戸谷]	Circinus X-1 系の Fe XXV 輝線と系の構造についての XRISM での観測に向けた研究
嬉野大和	[藤井]	矮小銀河の遭遇によって引き起こされる棒渦巻銀河での radial migration
小口和真	[田村]	Keck/HISPEC・TMT/MODHIS のための回折格子の予備評価実験
兒玉エ門	[酒向]	TAO 望遠鏡光学調整用スクリーンカメラの開発
清水駿太	[柏川]	JWST とすばるによる輝線天体探索のための $z \sim 6.2$ における LAE の検出
田中健翔	[土居]	マイクロシャッタアレイ 光学評価
千葉遼太郎	[茂山]	大質量星における酸素殻フラッシュのモデル計算
根津正大	[小林]	Tomo-e Gozen による T Tauri 型星の短時間変動の検出

(次ページに続く)

葉 与衡 [峰崎] 活動銀河核 NGC4151 の XRISM 同時可視赤外線分光測光観測

1.4 授業

1.4.1 学部

1.4.1.1 教養学部主題科目

31472 (S セメスター) 全学自由研究ゼミナール「最新の宇宙像」 峰崎岳夫・他

1.4.1.2 理学部第2学年専門科目

0520002 (A セメスター第4学期) 天体物理学演習Ⅰ 高田将郎

0520003 (A セメスター第4学期) 天文学概論 戸谷友則・相川祐理・柏川伸成・田村元秀

1.4.1.3 天文学科3年

0520013	(S セメスター)	銀河天文学	柏川伸成・嶋作一大
0520015	(S セメスター)	天体観測学	土居 守・宮田隆志
0520046	(A セメスター)	太陽恒星物理学	今田晋亮・関井 隆
0520031	(S セメスター)	計算天文学Ⅰ	藤井通子
0520033	(A セメスター)	天体輻射論Ⅰ	相川祐理・小林尚人
0520034	(S セメスター)	天体物理学演習Ⅱ	小西真広
0520038	(A セメスター)	天文学ゼミナール	左近樹・江草実
0520040	(通年)	基礎天文学実験	左近樹・各教員
0520041	(通年)	基礎天文学観測	峰崎岳夫・各教員
0520042	(S セメスター)	位置天文学・天体力学	吉川 真
0520801	(S セメスター)	研究倫理	嶋作一大

1.4.1.4 天文学科4年

0520021	(S セメスター)	恒星進化論	梅田秀之
0520022	(S セメスター)	宇宙論	戸谷友則
0520028	(通年)	天文学課題研究Ⅰ	各教員
0520029	(通年)	天文学課題研究Ⅱ	各教員
0520036	(A セメスター)	天体輻射論Ⅱ	茂山俊和
0520043	(S セメスター)	星間物理学Ⅰ	相川祐理・酒向重行
0520044	(S セメスター)	星間物理学Ⅱ	河野孝太郎・峰崎岳夫
0520045	(S セメスター)	系外惑星	相川祐理・河原 創
0520047	(A セメスター)	天文学のための科学英語	SILVERMAN John
0590101	(A セメスター)	重力波物理学	都丸隆行・Cannon Kipp

1.4.2 大学院

35604-0013	(A セメスター)	光赤外線天文学特論Ⅲ	酒向重行
35604-0018	(A セメスター)	理論天体物理学特論Ⅲ	戸谷友則
35604-0022	(A セメスター)	太陽物理学特論Ⅱ	関井 隆
35604-0030	(S セメスター)	電波天文学特論Ⅴ	大西利和
35604-0034	(S セメスター)	銀河天文学特論Ⅳ	峰崎岳夫
35604-0037	(S セメスター)	恒星物理学特論Ⅱ	茂山俊和
35604-0039	(A セメスター)	恒星物理学特論Ⅳ	相川祐理・小林尚人
35604-0045	(S セメスター)	星間物理学特論Ⅴ	野村英子
35604-0056	(S セメスター)	系外惑星特論Ⅰ	相川祐理・河原 創
35604-0057	(A セメスター)	系外惑星特論Ⅱ	田村元秀
35603-0115	(A セメスター)	重力波物理学	都丸隆行・CANNON Kipp
35603-0083	(S2 ターム)	科学英語演習Ⅰ	MARTENS Kai
35604-0061	(A セメスター)	天文学のための科学英語	SILVERMAN John
35604-1004	(S セメスター)	観測天文学特別講義Ⅳ	遠藤 光
35604-1005	(S セメスター)	観測天文学特別講義Ⅴ	牧島一夫
35604-1015	(S セメスター)	理論天文学特別講義Ⅴ	檜山和己
35604-1020	(A セメスター)	理論天文学特別講義Ⅹ	千葉柁司
35604-3001	(通年)	論文輪講Ⅰ	各教員
35604-3002	(通年)	論文輪講Ⅱ	各教員
35604-3003	(通年)	天文学考究Ⅰ	各教員
35604-3004	(通年)	天文学考究Ⅱ	各教員
35604-2003	(通年)	天文学特別実習Ⅰ	各教員
35604-2004	(通年)	天文学特別実習Ⅱ	各教員
35604-2005	(通年)	天文学特別実習Ⅲ	各教員
35604-2006	(通年)	天文学特別問題考究Ⅰ	各教員
35604-2007	(通年)	天文学特別問題考究Ⅱ	各教員
35604-2008	(通年)	天文学特別問題考究Ⅲ	各教員
35604-2009	(通年)	天文学特別研究	各教員

1.5 研究活動

1.5.1 宇宙及び系外銀河

1. $z \sim 6$ におけるクェーサーのダークマターハロー質量に対する観測的制限 (有田, 柏川, 伊藤, 石本, 吉岡, 武田)

銀河の星質量と超巨大ブラックホール (SMBH) の質量の相関から両者の共進化が示唆されている。銀河と SMBH の質量はともにダークマターハロー (DMH) の質量と関係しているため、高赤方偏移においてクェーサーの DMH の質量を制限することは共進化の理解に重要である。天体の DMH の質量を推定する方法として一般的にクラスタリング解析が用いられるが、クェーサーは高赤方偏移では数密度が急激に減少するためこれまでは $z < 4$ の解析に限られていた。広視野・高感度の HSC を生かした大規模サーベイである HSC-SSP によって約 1,200 平方度にわたる深い撮像データが得られ、このデータを用いた高赤方偏移クェーサー探索プロジェクト (Subaru High- z Exploration of Low-Luminosity Quasars: SHELLQs) では $z \sim 6$ の低光度クェーサーの候補天体をバイズ統計を活用した手法によって効率的に選択し、分光追観測することでこれまでに 162 個のクェーサーを新たに発見してきた。これによりこれまで以上に暗いクェーサーも検出されることで高赤方偏移のクェーサーの数密度が飛躍的に増加した。われわれは SHELLQs で検出されたクェーサーおよび HSC-SSP 領域に存在する SDSS や Pan-STARRS で検出された明るいクェーサーを用いて $z \sim 6$ におけるクェーサーのクラスタリング解析を行った。本研究ではサンプルの一様性を考慮して 107 個のクェーサーを選択し、それらを用いた解析からクェーサーの典型的な DMH の質量を議論した。クラスタリング解析の結果、 $z \sim 6$ におけるクェーサーの典型的な DMH の質量として $M_{halo} = 5.0^{+7.4}_{-4.0} \times 10^{12} h^{-1} M_{\odot}$ を得た。この質量は当時の大質量ハローに相当し、拡張プレス・シェヒター理論でその質量進化を計算すると $z = 0$ で $2 \times 10^{14} h^{-1} M_{\odot}$ という銀河団の DMH に相当する質量にまで成長することが分かった。さらに、 $z < 4$ のクェーサーを用いてクラスタリング解析を行った先行研究と比較を行ったところ、クェーサーの DMH の質量は赤方偏移にほとんど依存せず、典型的に $10^{12-13} h^{-1} M_{\odot}$ の範囲に分布していることが分かった。本研究の以前にもクェーサーの DMH の質量は赤方偏移に依存しない傾向は $z < 4$ で指摘されていたが、本研究によってその傾向が $z \sim 6$ まで続いていることが初めて明らかになった。この結果は SMBH がクェーサーとして明るく輝くためには降着円盤へガスや星が十分降着するためには大質量の DMH を必要とする一方で、DMH の質量が大きくなりすぎるとクェーサーからのフィードバックが強くなることで降着が妨げられるというメカニズムがどの時代でも普遍的に作用していることを示唆している。

2. X 線スタッキングが明かす $4 \lesssim z \lesssim 7$ における星形成銀河の超大質量ブラックホール平均降着特性とその進化 (松井思引, 嶋作一大, 伊藤慧, 安藤誠, 田中匠)

Chandra Legacy Survey の画像を用いたライマン・ブレイク銀河 (LBG) 約 12000 個の X 線スタッキング解析により、 $4 \lesssim z \lesssim 7$ における星形成銀河 (SFG) の平均的な超大質量ブラックホール (SMBH) 降着特性を調べた。どのスタッキング画像でも X 線は検出されなかったが、星形成率 (SFR) の関数として、平均のブラックホール降着率 (BHAR) の 3σ の強い上限が得られた。 $z \sim 4$ (5) では、SFR に対する BHAR の 3σ 上限値は、局所的なブラックホール対恒星質量比よりも ~ 1.5 (1.0) dex 低く、不活性 (BHAR $\lesssim 1 M_{\odot} \text{ yr}^{-1}$) 期にある SFG の SMBH は、 $z = 0$ のマゴリアン関係から予想される足並みをそらえた進化よりもずっとゆっくりと成長していることを示している。ダークハロー降着率の HAR についても同様の結果が得られた。文献にある QSO は、同じダークハロー質量の LBG よりも SFR が 1 dex, BHAR が 2 dex 高いことがわかった。また、文献にある塵の多いスターバースト銀河と星形成をやめた銀河についても同様の比較を行った。その結果、同じダークハローであれば、QSO 期における SMBH の質量増加の方が不活性期の質量増加よりも大きいことがわかった。最後に、TNG300, TNG100, SIMBA100, EAGLE100 シミュレーションとの比較から、これらのシミュレーションは BHAR を 1.5 dex 以上高く予想していることがわかった。

3. $z = 3 - 5$ の星形成を終えた銀河の形態評価 (伊藤慧)

Francesco Valentino (ヨーロッパ南天天文台) らとの共同研究. James Webb Space Telescope (JWST) を用いて $z = 3 - 5$ の星形成活動を終えた銀河の静止系可視光の形態を系統的に調査した. NIRCam の高解像画像に対してセルシックプロファイルフィッティングを行ったところ, $z = 3 - 5$ の銀河は一般的に小さく (~ 0.6 kpc), $z \leq 3$ の星形成活動を終えた銀河の観測空期待されているサイズ進化に沿うことがわかった. また, サンプルのセルシック指数の中央値が $n \sim 3 - 4$ であることから星形成を終えた銀河の大部分は近傍の楕円銀河で見られるようなバルジ構造を $z \sim 3 - 5$ で既に持つことを示した. 本研究結果は Ito et al. (2024), ApJ, 964, 192 で報告された.

4. $z = 2.1$ の X 線で検出された星形成を終えた銀河の性質評価 (伊藤慧, 田中匠, 嶋作一大, 安藤誠, 松井思引)

大質量銀河が星形成活動を終える有望な原因として超大質量ブラックホールからのフィードバックが考えられる. 星形成を終えた銀河と超大質量ブラックホールとの関連を調べるため, 活動的な超大質量ブラックホールが存在すると考えられる, X 線で検出された星形成を終えた銀河を詳細に調査した. James Webb Space Telescope (JWST) で得られた近赤外スペクトルを用いて $H\alpha$ 広輝線からブラックホール質量を評価した. その結果, この天体は $z \geq 2$ においてすでに近傍宇宙のブラックホール質量-星の速度分散関係に沿うことを確認した. また JWST の近赤外画像からこの銀河にはコンパクトなバルジ的構造とディスクが存在することがわかった. これらの傾向はこの銀河の成長と超大質量ブラックホールが関連し, 星形成活動が低下した直後であると考えられる.

5. 市民による近傍銀河形態の目視分類の精度評価 (安藤誠, 伊藤慧)

銀河同士の相互作用は, 活発な星形成や大質量ブラックホールの成長に寄与する重要なイベントであることが示唆されている. 国立天文台主導の市民天文学プロジェクト「GALAXY CRUISE」は銀河進化と相互作用との関係をより深く理解することを目指し, すばる望遠鏡によって捉えられた近傍銀河を対象とした目視形態分類を一般市民と協力して行うことで, 相互作用銀河のカタログづくりに取り組んでいる. GALAXY CRUISE では市民の目視分類の精度評価を目的として, 2023 年 9 月から 2024 年 3 月にかけて, コンピュータシミュレーションにより再現された模擬銀河の画像を目視分類するキャンペーンを開催した. 現在, 期間中に集まったおよそ 30 万の目視分類を統計的に解析し, 目視分類によって「相互作用銀河」と選ばれたもののうち, 実際に相互作用を経験している銀河の割合を調べている.

1.5.2 宇宙の高エネルギー現象

1. 高速電波バーストの時間・エネルギー相関解析 (戸谷, 都筑, Fan)

高速電波バースト (FRB) の中には繰り返してバーストを起こすものがあり, いくつかのソースから,すでに数千を超えるバーストが検出されている. 我々はこのデータを用いて, 時間とエネルギーの二次元空間における相関関数を計算し, その性質を調べた. さらに, それを地震や太陽フレアのデータと比較したところ, 地震とは注目すべき類似性があるのに対し, 太陽フレアとは異なる点が多いことがわかった. FRB が, 中性子星の固体地殻に貯まったエネルギーによって生じることを示唆する結果で, 論文として出版済みである. さらに, FRB を起こした銀河系内のマグネターの周期電波パルスについて同様の解析を行ったところ, 面白いことに, 周期パルスにも一定の確率で相関した余震パルスが生じていて, その性質が FRB と地震に似ていることがわかった. こちらも論文として出版済みである. また, 地震の余震については, 自己組織化臨界現象での数値モデルを用いてよく研究されてきているが, そのシンプルな OFC モデルを用いて相関関数を解析し, FRB のパラメータを再現できるかどうか, 研究を開始している.

2. 星形成銀河からの宇宙ガンマ線背景放射への寄与 (戸谷, Chen)

宇宙ガンマ線背景放射には活動銀河核や星形成銀河などが寄与していると考えられるが、その正確な量はまだわかっていない。我々も含めて、多くの研究では、星形成銀河の寄与は比較的小さいと考えられてきたが、最近、ほぼ 100% を説明できると主張する論文が出版され、議論になっている。我々の理論モデルは近傍銀河のガンマ線光度に注意深く合うように検討されたモデルであり、それに最新の遠方銀河の星形成率データを組み合わせることで、最高精度の見積もりを行う研究を進めている。計算結果はほぼまとめ、100%説明できるという先行研究の結果には星形成率から宇宙線生成率に変換するファクターに問題があることを突き止め、我々の最新の計算結果を出したところ、多くのこれまでの研究と近い結果になった。このモデルはこれまでのモデルに比べてスペクトルなども精度良く予言できるため、フェルミ衛星のデータと詳細比較し、超過成分の起源について議論する予定である。

1.5.3 銀河系および星間物質

1. 星間分子の反応素過程 (Molpeceres, 相川)

学振研究員の Molpeceres は、量子化学計算によってダスト表面でのさまざまな化学反応について研究を行った。まず、氷表面での $P+H \rightarrow PH$ の反応について機械学習で作成した原子間力を用いて第一原理分始動力学計算を行った。低温な星間氷表面での化学反応において、生じた反応熱が周囲の水分子および反応生成物にどのように分配されるのかは、生成分子の気相への脱離率や氷表面の拡散率に直結する。計算の結果、反応後 50ps 以内に反応熱の 50–70% が散逸すること、反応生成物 (PH) のもつ運動エネルギーはほとんどの場合、反応熱の 1–5% であることが分かった。また重い同位体 (PD) の場合はよりエネルギー散逸が大きいことも分かった。 NH_2OH は星間分子のうち生命前駆体となり得る分子である。従来の反応ネットワークモデルではこの分子は比較的に星間で豊富に存在すると予想されていたが、最近の観測で初めて検出され、その存在量は予想よりも桁違いに小さかった。そこで Molpeceres 研究員は、氷表面での NH_2OH の破壊反応を量子化学計算によって調べ、 NH_2OH およびその前駆体に対する H, O, N 原子による水素引き抜き反応が NH_2OH 生成の妨げおよび破壊に大きな役割を果たすことを示した。星間氷表面での $CO+OH \rightarrow CO_2 + H$ の反応について量子化学計算を行った。この反応は主要な星間氷である CO_2 の生成経路であり、従来 H_2O 氷表面を用いた室内実験の結果から効率よく起こると考えられてきたが、CO 氷表面では反応経路上のバリアを超えるためにエネルギーを与える必要があることが分かった。また H_2O 氷表面でも従来考えられていなかった素反応が関与していることが分かった。星間氷で最も存在度が高い分子は H_2O である。しかし分子雲コアや原始惑星系円盤のような比較的高密度かつ低温な領域では氷表面に CO が多く存在すると考えられる。CO 氷表面での化学反応効率は H_2O 氷とは異なると予想されるが、その相互作用の弱さ故にモデル化が難しく研究例が限られている。Molpeceres 研究員は、まず CO 氷モデル作成を行った。DFT 計算において複数の関数を用いたベンチマークテストを行い、非結晶および結晶状態の CO 氷における CO 吸着エネルギーを求めた。その結果 ω B97M-V が計算に適した関数であること、吸着エネルギーは 200 – 1600 K と幅広い値をとることがわかった。次に、CO クラスタおよび H_2O クラスタ表面において有機分子生成の材料となるラジカルの吸着エネルギーを計算し、CO 氷と H_2O 氷表面での吸着エネルギーの比を求めた。この結果を分子雲コアにおける気相–固相の化学反応ネットワークモデルに取り入れることで、氷表面組成によって有機分子生成効率がどのように変化するかと調べた。すなわち、ネットワークモデルにおいて氷表面の CO 被覆度に応じてラジカル等の吸着エネルギーや拡散率を変えたモデルと、従来のようにこれらの値を変化させないモデルを計算し比較した。その結果、CO 氷の存在によって有機分子の存在度が増加することを示した。相川は学術変革研究「次世代アストロケミストリー」の理論班長として、化学素過程の実験、量子化学計算の研究者と共同研究を行った。その共同研究の1つとして、Molpeceres 研究員と相川は、北大低温研で行われた炭素原子の H_2O 氷表面での拡散、反応に関する実験に理論面で貢献した。

2. 分子雲形成（小道，相川）

分子雲は、質量放出星からの流れが星間空間で互いに衝突する衝撃後面で形成されると考えられている。星間衝撃波の挙動は磁場と流れの向きなどに大きく依存し、現在、国内外で盛んに数値シミュレーションを用いた研究が行われている。このような計算では、星間ガスの冷却が重要であるため、主要な冷却剤となる原子や分子の生成破壊反応は考慮されていることが多い。しかし、計算時間の都合で簡略化された反応ネットワークモデルが用いられており、星間雲の観測的指標となるさまざまな分子の進化は解かれていない。一方、星間化学の分野においては、分子雲形成過程を考慮した組成進化研究は、磁場と流れが平行な形状での定常次元衝撃波を用いたものしかない。そこで小道は、磁場と流れの向きもパラメタとして現代的な分子雲形成シミュレーションを行い、ポストプロセスで詳細な反応ネットワークモデルを解くことで、星間雲の観測指標となる分子の進化を明らかにする研究を進めている。まず、自己重力が効く前の A_V が数等以下の圧縮層形成までの計算を行った。その結果、特に炭素鎖分子の存在度が衝撃波パラメタに強く依存することが分かった。炭素鎖分子は炭素鎖を延ばすために複数の2体反応を経る必要があり、衝撃波後面の密度が高い場合により多く生成される。そのような衝撃波では酸素原子が水分子に変換され気相から減損する効率がよいことも炭素鎖生成に寄与する。また、diffuse cloud から molecular cloud にかけて変化すると考えられる宇宙線電離率、重元素の気相存在度、PAH 存在度への依存性も調べた。各分子の柱密度を求め、diffuse cloud や translucent cloud での観測と比較したところ、炭素鎖分子と HCO^+ の相関は観測と整合的であったが、CN は観測値よりも柱密度が高い値となった。このことはN原子の N_2 や NH_3 への変換がモデル計算よりも効率よく起きている、もしくは、低 A_V 領域における拡散現象等によって HCO^+ がモデルよりも効率よく生成されている可能性を示唆する。

3. 機械学習を用いた超新星フィードバックの高解像度化・高速化（平島敬也，藤井通子）

高解像度の天の川銀河形成シミュレーションの実現へ向け、超新星フィードバックの高速化手法を機械学習を用いて行なった。銀河形成シミュレーションは、恒星などを質点として表す「粒子系シミュレーション」などを用い、スーパーコンピュータ上の大規模並列計算により実行される。スーパーコンピュータの発展（CPU コア数の増大など）に伴い、シミュレーション内の粒子数が増加し、より微細な構造まで表現可能になってきた。そのため、低温高密度な星形成領域や超新星爆発による衝撃波まで分解可能になるが、そのような領域はタイムスケールが非常に短いため、短い時間刻みで数値積分する必要がある。このような領域は、銀河全体からすると非常に小さな領域であるが、全体の計算のボトルネックとなる。本年度は、このような短い時間刻みで計算する必要がある現象を機械学習を用いて高速に再現する手法を開発した。特に、銀河形成シミュレーション内で超新星爆発が起きた際に、10 万年後の超新星爆発のシェルの密度・温度3次元速度構造を予測するモデルを開発した（Hirashima et al. 2023b）。この機械学習モデルは実際に銀河形成シミュレーションに実装されており、矮小銀河のモデルを用いてフィードバックを適切に再現可能か評価を行なっている。

4. N 体シミュレーションと Gaia データを用いた銀河円盤動力学研究（朝野，藤井）

銀河系円盤の動力学構造、特に、円盤面に垂直方向 (z 方向) の振動に着目して研究を行なった。Gaia 衛星による位置天文観測によって、銀河系円盤に波のような構造が発見されている。このような構造の起源としては、外的摂動（伴銀河の近接遭遇）と内的摂動（渦状腕やバー）の二つの可能性が考えられている。本研究では、銀河の理論モデルとして大規模 N 体シミュレーションを用い、孤立銀河モデルと伴銀河による外的摂動有りのモデルの2種類の計算を行なった。外的摂動がある場合には、bending モードという z 方向の振動モードの一つが強く励起され、phase spiral と呼ばれる位相混合の痕跡を再現することができた。一方で、孤立銀河の場合には、bending モードは見られず、breathing モードという振動が渦状腕によって励起されていた。Gaia データを解析したところ、実際の銀河系円盤においても「局所腕」(Local arm) に沿って、breathing モードの痕跡が確認できた。シミュレーションと観測データの比較から、観測された breathing パターンは局所腕が成長段階にあることを示唆していることがわかった (Asano et al. 2024)。

5. The globular cluster VVV CL002 falling down to the hazardous Galactic centre (Matsunaga; Minniti D. (UNAB, Chile))

The Galactic centre is hazardous for stellar clusters because of the strong tidal force in action there. It is believed that many clusters were destroyed there and contributed stars to the crowded stellar field of the bulge and the nuclear stellar cluster. However, the development of a realistic model to predict the long-term evolution of the complex inner Galaxy has proven difficult, and observations of surviving clusters in the central region would provide crucial insights into destruction processes. Among the known Galactic globular clusters, VVV CL002 is the closest to the centre, at 0.4 kpc, but has a very high transverse velocity of 400 km s^{-1} . The nature of this cluster and its impact on Galactic astronomy need to be addressed with spectroscopic follow up. Here we report the first measurements of its radial velocity and chemical abundance based on near-infrared high-resolution spectroscopy. We find that this cluster has a counter-rotating orbit constrained within 1.0 kpc of the centre, and as close as 0.2 kpc at the perigalacticon, confirming that the cluster is not a passerby from the halo but a genuine survivor enduring the harsh conditions of the tidal forces of the Galactic mill. In addition, its metallicity and α abundance ($[\alpha/\text{Fe}] \simeq +0.4$ and $[\text{Fe}/\text{H}] = -0.54$) are similar to those of some globular clusters in the bulge. Recent studies suggest that stars with such α -enhanced stars were more common at 3-6 kpc from the centre around 10 Gyr ago. We infer that VVV CL002 was formed outside but is currently falling down to the centre, showcasing a real-time event that must have occurred to many clusters a long time ago.

6. Clues to growth and disruption of two neighbouring spiral arms of the Milky Way (Matsunaga, Fujii; Funakoshi, Kawada (UCL, UK); Baba (Kagoshima Univ))

Studying the nature of spiral arms is essential for understanding the formation of the intricate disc structure of the Milky Way. The European Space Agency's Gaia mission has provided revolutionary observational data that have uncovered detailed kinematical features of stars in the Milky Way. However, so far the nature of spiral arms continues to remain a mystery. Here we present that the stellar kinematics traced by the classical Cepheids around the Perseus and Outer spiral arms in the Milky Way shows strikingly different kinematical properties from each other: the radial and azimuthal velocities of Cepheids with respect to the Galactic centre show positive and negative correlations in the Perseus and Outer arms, respectively. We also found that the dynamic spiral arms commonly seen in an N-body/hydrodynamics simulation of a Milky Way-like galaxy can naturally explain the observed kinematic trends. Furthermore, a comparison with such a simulation suggests that the Perseus arm is being disrupted while the Outer arm is growing. Our findings suggest that two neighbouring spiral arms in distinct evolutionary phases - growing and disrupting phases - coexist in the Milky Way.

7. Metallicities of Classical Cepheids in the Inner Galactic Disk (Matsunaga; WINERED team)

Metallicity gradients refer to the sloped radial profiles of the metallicities of gas and stars and are commonly seen in disk galaxies. A well-defined metallicity gradient of the Galactic disk is observed particularly well with classical Cepheids, which are good stellar tracers thanks to their period-luminosity relation, allowing precise distance estimation and other advantages. However, the measurement of the inner-disk gradient has been impeded by the incompleteness of previous samples of Cepheids and the limitations of optical spectroscopy in observing highly reddened objects. Here we report the metallicities of 16 Cepheids measured with high-resolution spectra in the near-infrared YJ bands. These Cepheids are located at 3–5.6 kpc in Galactocentric distance, R_{GC} , and reveal the metallicity gradient in this range for the first time. Their metallicities are mostly between 0.1 and 0.3 dex in $[\text{Fe}/\text{H}]$ and more or less follow the extrapolation of the metallicity gradient found in the outer part, $R_{\text{GC}} > 6.5 \text{ kpc}$.

The gradient in the inner disk may be shallower or even flat, but the small sample does not allow the determination of the slope precisely. More extensive spectroscopic observations would also be necessary for studying minor populations, if any, with higher or lower metallicities that were reported in previous literature. In addition, the 3D velocities of our inner-disk Cepheids show a kinematic pattern that indicates noncircular orbits caused by the Galactic bar, which is consistent with the patterns reported in recent studies on high-mass star-forming regions and red giant branch stars.

1.5.4 恒星

1. General relativistic instability supernovae (Nagele, Umeda)

We continued research into general relativistic (GR) instability supernovae originating from supermassive stars. We first developed a rigorous GR stability analysis to determine when supermassive stars become unstable. We then applied that analysis to numerical models from our stellar evolution code. When the stars became unstable, we transferred them to a GR hydrodynamics code linked to a nuclear network. We performed a convergence study on the number of isotopes in the network and identified the importance of including aluminum isotopes. Then, we determined the mass range for the GR instability supernova as well as finding several pulsations, analogous to the pulsational pair instability. Finally, we transferred the exploding and pulsating models to SNEC, a 1D open source radiation hydrodynamics code, in order to compute the lightcurves from these events. We find that the pulsations are clearly visible (< 25 AB Mag) to JWST even above a redshift of thirty. We have also conducted preliminary research on analogous events from metal enriched supermassive stars which could be formed by gas rich galaxy mergers.

2. Metal-enriched Pair-instability Supernovae: Effects of Rotation (Umeda, Nagele)

We revisit metal-enriched rotating pair-instability supernovae (PISNe) models for metallicities consistent with the Small Magellanic Cloud, the Large Magellanic Cloud (LMC), and $0.1Z_{\odot}$. By calculating multiple models, we intend to clarify mass ranges and the ejected ^{56}Ni masses from the PISNe, and mass-loss histories for progenitors. We find that the choice of the Wolf-Rayet (WR) mass-loss rates is important, and we adopt the recently proposed rate of Sander & Vink, which covers the mass ranges for PISNe progenitors. We show that slow rotation lowers the PISN range because the core mass increases by rotational mixing. On the other hand, when we assume a typical rotation speed for observed OB stars, the mass-loss increase becomes more significant, and the final stellar masses are lower than in nonrotating models. As a result, the typical mass range for bright supernovae (SNe), with a ^{56}Ni mass higher than $10M_{\odot}$ for these fast-rotating models is more than 400 and $350M_{\odot}$ for LMC and $0.1Z_{\odot}$ metallicities, respectively. It is interesting that unlike in previous works, we find oxygen-rich progenitors for most cases. This O-rich progenitor may be consistent with the recently identified PISN candidate SN2018ibb. He-rich progenitors are seen only for relatively dim and metal-poor ($Z \lesssim 0.1Z_{\odot}$) PISNe. We also discuss the black hole mass gap for metal-enriched PISNe, and we show that the upper bound for the gap is lower than in the Population III case.

3. Inferring Coupling Strengths of Mixed-mode Oscillations in Red Giant Stars Using Deep Learning (M. Takata)

In collaboration with S. Dhanpal (Tata Institute of Fundamental Research, India) and others. Asteroseismology is a powerful tool that may be applied to shed light on stellar interiors and stellar evolution. Mixed modes, behaving like acoustic waves in the envelope and buoyancy modes in the core, are remarkable because they allow for probing the radiative cores and evanescent zones of red giant stars.

Here, we have developed a neural network that can accurately infer the coupling strength, a parameter related to the size of the evanescent zone, of solar-like stars in ~ 5 ms. In comparison with existing methods, we found that only $\sim 43\%$ of inferences were in agreement with a difference less than 0.03 in a sample of ~ 1700 Kepler red giants. To understand the origin of these differences, we analyzed a few of these stars using independent techniques such as the Monte Carlo Markov Chain method and echelle diagrams. Through our analysis, we discovered that these alternate techniques are supportive of the neural-net inferences. We also demonstrate that the network can be used to yield estimates of coupling strength and period spacing in stars with structural discontinuities. Our findings suggest that the rate of decline in the coupling strength in the red giant branch is greater than previously believed. These results are in closer agreement with calculations of stellar-evolution models than prior estimates, further underscoring the remarkable success of stellar evolution theory and computation. Additionally, we show that the uncertainty in measuring period spacing increases rapidly with diminishing coupling strength.

4. Detecting active latitudes of Sun-like stars using asteroseismic a -coefficients (M. Takata)

In collaboration with O. Benomar (NAOJ) and others. We introduce a framework to measure the asphericity of Sun-like stars using a_1 , a_2 , and a_4 coefficients and constrain their latitudes of magnetic activity. We evaluated systematic errors on the inferred coefficients in function of key physical and seismic parameters (inclination of rotation axis, average rotation, height-to-noise ratio of peaks in power spectrum). The measured a -coefficients account for rotational oblateness and the effect of surface magnetic activity. We used a simple model that assumes a single latitudinal band of activity. Using solar SOHO, VIRGO, and SPM data, we demonstrate the capability of the method to detect the mean active latitude and its intensity changes between 1999 and 2002 (maximum of activity) and 2006 and 2009 (minimum of activity). We further applied the method to study the solar-analogue stars 16 Cyg A and B using Kepler observations. In 16 Cyg A, we detected an equatorial band of activity exhibiting an intensity that could be comparable to that of the Sun. However, 16 Cyg B exhibits a bimodality in a_4 that is challenging to explain. We suggest that this could be a manifestation of the transition between a quiet and an active phase of activity. Validating or invalidating this hypothesis may require new observations.

5. Astrophysical calibration of the oscillator strengths of YJ-band absorption lines in classical Cepheids (Matsunaga; Elgueta (Univ Santiago de Chile)); WINERED team)

Newly-developed spectrographs with increased resolving powers, particularly those covering the near-IR range, allow the characterization of more and more absorption lines in stellar spectra. This includes the identification and confirmation of absorption lines and the calibration of oscillator strengths. In this study, we provide empirical values of $\log gf$ based on the abundances of classical Cepheids obtained with optical spectra to establish the consistency between optical and infrared abundance results. Using time series spectra of classical Cepheids obtained with WINERED spectrograph ($0.97\text{--}1.35\ \mu\text{m}$, $R \sim 28000$), we demonstrate that we can determine the stellar parameters of the observed Cepheids, including effective temperature (T_{eff}), surface gravity ($\log g$), microturbulence (ξ), and metallicity ($[M/H]$). With the newly calibrated relations of line-depth ratios, we can achieve accuracy and precision comparable to optical studies, with uncertainties of ~ 90 K and 0.108 dex for T_{eff} and $\log g$, respectively. Finally, we created a new atlas of absorption lines, featuring precise abundance measurements of various elements found in the atmosphere of Cepheids, including neutron-capture elements whose $\log gf$ values have been astrophysically calibrated.

1.5.5 太陽

1. The acoustic size of the Sun (M. Takata)

In collaboration with D. O. Gough (University of Cambridge, UK). Analysis of f-mode frequencies has provided a measure of the radius of the Sun which is lower, by a few hundredths per cent, than the photospheric radius determined by direct optical measurement. Part of this difference can be understood by recognizing that it is primarily the variation of density well beneath the photosphere of the star that determines the structure of these essentially adiabatic oscillation modes, not some aspect of radiative intensity. In this paper we attempt to shed further light on the matter, by considering a differently defined, and dynamically more robust, seismic radius, namely one determined from p-mode frequencies. This radius is calibrated by the distance from the centre of the Sun to the position in the subphotospheric layers where the first derivative of the density scale height changes essentially discontinuously. We find that radius is more-or-less consistent with what is suggested by the f modes. In addition, the interpretation of the radius inferred from p modes leads us to understand more deeply the role of the total mass constraint in the structure inversions. This enables us to reinterpret the sound-speed inversion, suggesting that the positions of the photosphere and the adiabatically stratified layers in the convective envelope differ non-homologously from those of the standard solar model.

1.5.6 太陽系外惑星および星惑星形成

1. 太陽系外惑星からの微粒子に生命の痕跡を探す (戸谷)

太陽系外の生命を探索する方法として、系外惑星の天文観測と SETI が考えられるが、前者は、生命の兆候を捉えてもそれが本当に生命起源であると証明するのが難しく、後者は知的生命体に限られる。本研究は、原始的な太陽系外生命を探索する新しい方法として、恒星間パンスペルミア説を発展させ、巨大隕石衝突で宇宙空間に放出された、太陽系外地球型惑星の砂や塵が太陽系そして地球までやってくるのを捉えることを考えた。様々なステップについて理論的に検討した結果、1 ミクロンサイズの粒子であれば、そのような太陽系外地球型惑星からの粒子が、年間 10 万個という量で地球に降り注いでいると見積もられた。太陽系外の原始的な生命の痕跡を直接サンプルする新しい可能性を示した。

2. 系外惑星および円盤の直接観測

すばる望遠鏡戦略枠 SEEDS および Post-SEEDS プロジェクトなどに基づく国際共同研究。超補償光学系 SCExAO/赤外面分光器 CHARIS/可視偏光器 VAMPIRES を用いた高コントラスト観測を行い、直接観測法による系外惑星・円盤の探査を行っている。その結果、これまでのようなブラインドサーベイ直接観測よりも惑星などの軽い伴星を効率的に発見する手法に基づく惑星の発見に成功した (HIP 99770 b)。さらに、JWST 宇宙望遠鏡による系外惑星の直接観測の初期科学プログラムに参画し、論文を出版した。

3. 赤外線高分散分光器 IRD による系外惑星の観測

すばる望遠鏡用赤外線高精度ドップラー装置 IRD を用いて地球型惑星等の戦略枠・集中・一般共同利用観測を推進した。これにより、IRD 戦略枠観測のターゲットの伴星の直接撮像、地球型惑星 GJ 486 b の相関大気分光、TESS 惑星の質量決定、CARMENES 分光器との共同研究を推進した。

4. 星惑星形成領域の偏光観測

独自の赤外線偏光装置 SIRPOL や JCMT の新偏光器 POL2 による国際共同観測。Kwon 博士らとの共同研究により、多数の星惑星形成領域の磁場構造および散乱放射場についての情報を得て、電波および可視光観測により星形成における磁場の役割を解明している

5. トランジット観測による惑星検出と系外惑星大気の研究

系外惑星のトランジット観測を進めた。とりわけ NASA の K2 および TESS 衛星の各種地上フォローアップ観測を進めた。その結果、ハビタブルゾーンにある地球型惑星を発見した。

6. 系外惑星研究のための観測装置の開発

系外惑星・円盤の直接観測のための系外惑星観測装置の開発・保守・運用に関与している (すばる超補償光学 SCExAO, すばる望遠鏡用面分光器装置 CHARIS)。地球型惑星探査のための、すばる望遠鏡用高精度視線速度分光器 IRD の開発・保守・運用に関与している。科研費新学術研究に基づき、若い惑星の探査のための高精度視線速度分光器の開発を行なった。TMT のための高コントラスト観測装置 PSI の開発を SCExAO チーム・京都大学・国立天文台・北海道大学等と進めている。また、TMT の第一期装置である赤外線高分散分光器 MODHIS の開発や第二期装置のための基礎開発も進めている。これら装置によって地球型惑星の観測や特徴づけを実現することを目指している。NASA が計画する Roman 宇宙望遠鏡のためのコロナグラフ用偏光素子の開発を Kwon 博士らと共同で東大主導で進めている。これによって前人未到のスペース高コントラスト偏光観測を実現する。南アフリカ天文台にある IRSF 望遠鏡のための広視野多色赤外線偏光器 SIRPOL (サーポール) の保守・運用も行っている。

7. デブリ円盤のガスの起源 (相川)

惑星系は前主系列星の星周円盤 (原始惑星系円盤) 内で形成されると考えられているが、主系列星でも周囲にダスト円盤を持つものがある。これはデブリ円盤とよばれ、従来は惑星系形成終了後に惑星系内の衝突現象で生成したダストに起因すると考えられてきた。しかし近年、複数のデブリ円盤で一酸化炭素 (CO) および炭素原子 (C) のガスが検出された。ガスは彗星衝突に起因する可能性 (secondary gas) もあるが、特に A 型星のデブリ円盤ではガスが多いため、原始惑星系円盤のガスが散逸しきらずに残っている可能性 (primary gas) も指摘されている。そこで Cataldi (2022 年 12 月まで ALMA 研究員, 現在は EA ARC 特任助教) は、2021 年 9 月段階で ALMA アーカイブにあるデブリ円盤の CO および C の輝線観測をすべて利用し、簡単な円盤モデルを用いて CO および C の柱密度を均一の手法で求めた。その結果、CO、C ともに柱密度の低い円盤と、ガス柱密度が高く CO の紫外線遮蔽条件を満たす円盤の 2 種に分けられることが分かった。得られた柱密度を先行研究で行われたデブリ円盤の population synthesis model (secondary gas) と比較すると、C 柱密度はモデルよりも低い。このことは、従来の secondary gas モデルで仮定されている定常状態が成り立っていないか、C 原子を減少させる何らかの過程を見逃していることを示唆する。一方、primary gas までカバーするように金属量をパラメタにしたデブリ円盤ガス組成モデル (Iwasaki et al. 2023) と観測結果を比較すると、ガス柱密度の高い複数の円盤については primary gas と矛盾しないという結果を得た。Cataldi と相川は、Iwasaki et al. (2023) にも共著者として貢献した。Natakani et al. (2023) では原始惑星系円盤のガス散逸過程をさまざまなスペクトル型の中心星について数値計算で調べることで、特に A 型星でガスが残り易くなる可能性を示した。

8. 低質量星原始星周囲の物理化学構造および惑星形成の開始 (大和, 野津, Feeney-Johansson, 相川)

Class II 円盤にはすでに惑星が存在する兆候が得られていることから、惑星系形成の現場として Class 0/I 円盤が注目されている。大和, 相川は、19 個の Class 0/I 円盤について均一なデータを取得し惑星系形成の兆候を探る ALMA 大型プロジェクト eDisk に参加し貢献している。大和は Class I 天体である L1489 のデータ解析を担当し、淡いリング-空隙構造、外側円盤と傾きの異なる inner disk などの構造を明らかにした。L1489 は eDisk 観測天体の中でも進化の進んだ天体であり、より若い天体ではリング-空隙構造が見られなかったことから、円盤の進化は Class 0 から Class I にかけて急激に進むことが示唆された。ALMA 研究員の Feeney-Johansson は eDisk で観測された ^{12}CO 輝線を解析し、outflow の特徴づけを行った。野津は、Class 0/I 天体についてのもう 1 つの ALMA 大型プロジェクト FAUST において、NGC1333 IRAS 4C の星周構造の解析を行い、フラットな構造のエンベロープが、原始惑星系円盤と類似した層状の化学構造を持つことを明らかにした。相川も FAUST に参加し、理論面での議論に貢献し

た。また、相川は星・惑星系形成のコミュニティで広く知られているレビュー集 *Protostars and Planets* 第7巻の co-editor を務めた。

9. アウトバースト天体 V883 Ori での有機分子およびその同位体比の観測 (大和, 野津, 相川)

V883 Ori は FU Ori 型星の1つであり、かつ ALMA で空間分解できる比較的大きなケプラー回転円盤を持つ。典型的な原始惑星系円盤では水のスノーラインは半径 1 au 程度に位置するが、V883 Ori は光度が $200L_{\odot}$ に達しているため、スノーラインは数 10au に位置し、実際、 CH_3OH や HDO が観測されている。また FU Ori のアウトバースト時間は円盤内での典型的な気相反応時間よりも短いため、観測されるさまざまな有機分子は静穏時の円盤内の氷に由来すると考えられる。野津は従来の観測よりも長い波長（つまりダストの光学的厚さが比較的低い）である Band3 での ALMA 観測時間を獲得し、大和が輝線解析を行った。その結果、10 種の大型有機分子を検出し（うち 5 種は初検出）、これらの有機分子の CH_3OH に対する存在量比がより若い進化段階である原始星エンベロープに比べて系統的に大きくなっていることを示した。また、有機分子の ^{13}C 同位体も初めて検出し、有機分子の $^{12}\text{C}/^{13}\text{C}$ 比が星間空間の元素組成比に比べて低い（つまり、有機分子が ^{13}C に富んでいる）ことを初めて示した。これは、円盤という構造化された環境下で、気相中の同位体交換反応により有機分子の原料である一酸化炭素が ^{13}C に富み、さらにその ^{13}C に富んだ一酸化炭素から円盤内で効率的に有機分子が生成されたことを示唆する。

10. 原始惑星系円盤内での有機分子生成 (鈴木, 相川)

近年、彗星 (67P/C-G) や FU Ori 型星周囲の円盤 (V883 ori) などの観測から原始惑星系円盤には大量の有機分子が存在することが明らかになってきた。これらの分子は原始星周囲でも観測されるため原始星コアから引き継がれた可能性もあるが、円盤内で破壊、再生成される可能性もある。室内実験では、星間水を模擬した水や一酸化炭素、アンモニアなどの混合氷に紫外線を照射するとさまざまな有機分子が生成することが示されており、円盤内でも分子雲から取り込まれた氷をもとに有機分子が生成される可能性がある。Ciesla & Sandford (2012) は、円盤内の乱流で拡散するダストをモンテカルロ法で追跡し、累積紫外線照射量を測ることで円盤内での有機分子生成量を推定した。しかしこの研究では有機分子の生成破壊の素過程は直接調べられておらず、有機物生成は累積紫外線照射量に比例すると仮定されている。そこで鈴木は、乱流拡散するダストの紫外線照射量だけでなく温度や周囲のガス密度も計算し、これをもとにガス-ダストの反応ネットワークモデルを解くことによって有機分子を含むさまざまな分子の存在量の時間進化を求めた。その結果、有機分子存在量は累積紫外線強度に比例しないことを示した。紫外線は有機分子生成のもとになるラジカルを生成するが、強すぎる紫外線は有機分子自体も解離させてしまうため、累積照射量が同じであっても、紫外線照射やダスト温度の履歴によってさまざまな有機分子存在量を取り得ることがわかった。また、O を含む有機分子は累積紫外線照射が一定量を超えると減少する傾向があることが分かった。これは、光解離およびその後の反応によって多くの炭素が CO_2 氷になるためである。

11. HD 冷却による初代星形成効率の低下 (西嶋, 平野 (神奈川大学), 梅田)

初代星形成において、水素分子を解離する外部からの Lyman - Werner (LW) 輻射は、ガス雲の熱進化を左右する。LW 輻射が一般的な初代星形成に与える影響を理解するためには、幅広い強度で包括的に調べる必要がある。我々は、3 次元の宇宙論的シミュレーションから取得した初代星形成ガス雲に対して、LW 輻射強度を $J_{\text{LW}}/J_{21} = 0$ (輻射なし) から 30 (水素原子冷却) の範囲で 18 通り変化させ、その影響を調べた。計算より、 $J_{\text{LW}}/J_{21} = 0.025 - 0.09$ で HD 冷却が有効になり、降着期 10 万年間にわたって密度 10^4 cm^{-3} 以上のガス温度を 200 K 以下に保つことがわかった。このとき、 10^8 cm^{-3} 以上のガス質量 (コア質量) は $1.2 - 16 M_{\odot}$ と予想に反して小さくなった。また、10 万年の時点でのコア質量とビリアル半径内のガス質量の比 ($f_{\text{III}} = M_{\text{core}}/M_{\text{vir,gas}}$; 星形成効率) は、輻射強度が強くなるに連れて減少する傾向が見られ ($J_{\text{LW}}/J_{21} = 0.003 \rightarrow 10$ の間に $f \sim 10^{-2} \rightarrow 10^{-4}$)、HD 冷却によってコア質量が小さくなる範囲では、さらに減少した ($f_{\text{III}} \sim 10^{-5.5} - 10^{-4.5}$)。LW 輻射によってハロー内のガス質量は増加する

が、初代星の総質量はそれに応じて増えるわけではない事を明らかにした。

12. 初代星形成における Streaming Velocity の影響 (酒井, 平野 (神奈川大学), 梅田)

初代星形成過程における Streaming Velocity の影響について、ハロー内部に形成される星の数や質量に着目した研究を行った。20 モデルのハローに対し 6 種類の SV を加えた初期条件についてジーンズ不安定性により重力収縮するような高密度ガス雲 (数密度 10^6cm^{-3} 以上) がハロー内で最初に生じてから 2.00 Myr の数値シミュレーションを行った。そのうち、高密度ガス雲の合体を merger tree を作成することにより調べ、初代星質量を見積もった。その結果、ハロー内部で形成される初代星について、SV が $1.5 - 3.0\sigma_{\text{SV}}$ と大きい領域における初代星形成では、1 つのハローにおいて 10 – 50 個程度の星形成ガス雲が形成される場合があることが示された。SV の大きさごとの星質量分布をまとめたところ、ハローがホストする初代星の合計質量はハロー内部の高密度ガス雲の合計質量と強い相関を持つが、ガス雲の分裂・合体を考慮すると、1 つ 1 つの平均星質量は SV によらず $\sim 200 M_{\odot}$ 程度であることが示された。

1.6 論文および出版物

1.6.1 英文報告

1.6.1.1 出版済 (2023 年)

1. Toshikawa Jun, Wuyts Stijn, Kashikawa Nobunari, Liu Chengze, Sawicki Marcin, Overzier Roderik, Kubo Mariko, Uchiyama Hisakazu, Ito Kei, Bremer Malcolm, Ono Yoshiaki, Kodama Tadayuki, Lin Yen-Ting, Saito Tomoki, 2023, “An enhanced abundance of bright galaxies in protocluster candidates at $z = 3 - 5$ ”, MNRAS, 527, 6276.
2. Ding Xuheng, Onoue Masafusa, Silverman John D., Matsuoka, Yoshiki, Izumi Takuma, Strauss Michael A., Jahnke Knud, Phillips Camryn L., Li Junyao, Volonteri Marta, Haiman Zoltan, Andika Irham Taufik, Aoki Kentaro, Baba Shunsuke, Bieri Rebekka, Bosman Sarah E. I., Bottrell Connor, Eilers Anna-Christina, Fujimoto Seiji, Habouzit Melanie, Imanishi Masatoshi, Inayoshi Kohei, Iwasawa Kazushi, Kashikawa Nobunari, Kawaguchi Toshihiro, Kohno Kotaro, Lee Chien-Hsiu, Lupi Alessandro, Lyu Jianwei, Nagao Tohru, Overzier Roderik, Schindler Jan-Torge, Schramm Malte, Shimasaku Kazuhiro, Toba Yoshiki, Trakhtenbrot Benny, Trebitsch Maxime, Treu Tommaso, Umehata Hideki, Venemans Bram P., Vestergaard Marianne, Walter Fabian, Wang Feige, Yang Jinyi, 2023, “Detection of stellar light from quasar host galaxies at redshifts above 6”, Nature, 621, 51.
3. Kikuta Satoshi, Ouchi Masami, Shibuya Takatoshi, Liang Yongming, Umeda Hiroya, Matsumoto Akinori, Shimasaku Kazuhiro, Harikane Yuichi, Ono Yoshiaki, Inoue Akio K., Yamanaka Satoshi, Kusakabe Haruka, Momose Rieko, Kashikawa Nobunari, Matsuda Yuichi, Lee Chien-Hsiu, 2023, “SILVER-RUSH. XIII. A Catalog of 20,567 $\text{Ly}\alpha$ Emitters at $z = 2 - 7$ Identified in the Full-depth Data of the Subaru/HSC-SSP and CHORUS Surveys”, ApJS, 268, 24
4. Arita Junya, Kashikawa Nobunari, Matsuoka Yoshiki, He Wanqiu, Ito Kei, Liang Yongming, Ishimoto Rikako, Yoshioka Takehiro, Takeda Yoshihiro, Iwasawa Kazushi, Onoue Masafusa, Toba Yoshiki, Imanishi Masatoshi, 2023, “Subaru High- z Exploration of Low-luminosity Quasars (SHELLQs). XVIII. The Dark Matter Halo Mass of Quasars at $z \sim 6$ ”, ApJ, 954, 210.
5. Yoshiki Matsuoka, Masafusa Onoue, Kazushi Iwasawa, Michael A. Strauss, Nobunari Kashikawa, Takuma Izumi, Tohru Nagao, Masatoshi Imanishi, Masayuki Akiyama, John D. Silverman, Naoko

- Asami, James Bosch, Hisanori Furusawa, Tomotsugu Goto, James E. Gunn, Yuichi Harikane, Hiroyuki Ikeda, Kohei Inayoshi, Rikako Ishimoto, Toshihiro Kawaguchi, Satoshi Kikuta, Kotaro Kohno, Yutaka Komiyama, Chien Hsiu Lee, Robert H. Lupton, Takeo Minezaki, Satoshi Miyazaki, Hitoshi Murayama, Atsushi J. Nishizawa, Masamune Oguri, Yoshiaki Ono, Taira Oogi, Masami Ouchi, Paul A. Price, Hiroaki Sameshima, Naoshi Sugiyama, Philip J. Tait, Masahiro Takada, Ayumi Takahashi, Tadafumi Takata, Masayuki Tanaka, Yoshiki Toba, Shiang Yu Wang, Takuji Yamashita, 2023, “Quasar Luminosity Function at $z = 7$ ”, *ApJL*, 949, L42.
6. Ken Mawatari, Akio K. Inoue, Toru Yamada, Tomoki Hayashino, J. Xavier Prochaska, Khee-Gan Lee, Nicolas Tejos, Nobunari Kashikawa, Takuya Otsuka, Satoshi Yamanaka, David J. Schlegel, Yuichi Matsuda, Joseph F. Hennawi, Ikuru Iwata, Hideki Umehata, Shiro Mukae, Masami Ouchi, Yuma Sugahara, Yoichi Tamura, 2023, “The SSA22 HI Tomography Survey (SSA22-HIT). I. Data Set and Compiled Redshift Catalog”, *AJ*, 165, 208.
 7. Tomonori Totani, 2023, “Solid grains ejected from terrestrial exoplanets as a probe of the abundance of life in the Milky Way”, *Int. J. Astrobio.*, 22, 347.
 8. Tomonori Totani and Yuya Tsuzuki, 2023, “Fast radio bursts trigger aftershocks resembling earthquakes, but not solar flares”, *MNRAS*, 526, 2795
 9. Uyama, Taichi; Beichman, Charles; Kuzuhara, Masayuki and 32 more, 2023, “Direct Imaging Explorations for Companions around Mid-Late M Stars from the Subaru/IRD Strategic Program”, *AJ*, 165..162
 10. Ridden-Harper, Andrew; Nugroho, Stevanus K.; Flagg, Laura and 11 more “High-resolution Transmission Spectroscopy of the Terrestrial Exoplanet GJ 486b”, *AJ*, 165, 170
 11. Ward-Thompson, Derek; Karoly, Janik; Pattle, Kate and 155 more, 2023, “First BISTRO Observations of the Dark Cloud Taurus L1495A-B10: The Role of the Magnetic Field in the Earliest Stages of Low-mass Star Formation”, *ApJ*, 946, 62
 12. Currie, Thayne; Brandt, G. Mirek; Brandt, Timothy D. and 31 more, 2023, “Direct imaging and astrometric detection of a gas giant planet orbiting an accelerating star”, *Science*, 380, 198
 13. Morello, G.; Parviainen, H.; Murgas, F. and 52 more, 2023, “TOI-1442 b and TOI-2445 b: Two potentially rocky ultra-short period planets around M dwarfs”, *A&A*, 673, 32
 14. Yang, Yi; Liu, Haoyu Baobab; Muto, Takayuki and 9 more, 2023, “Multiple Rings and Asymmetric Structures in the Disk of SR 21”, *ApJ*, 94, 110
 15. Krishnamurthy, Vigneshwaran; Hirano, Teruyuki; Gaidos, Eric and 20 more, 2023, “bsence of extended atmospheres in low-mass star radius-gap planets”, *MNRAS*, 521, 1210
 16. de Leon, J. P.; Livingston, J. H.; Jenkins, J. S. and 66 more, 2023, “A sub-Neptune transiting the young field star HD 18599 at 40 pc”, *MNRAS*, 522, 750
 17. González-Álvarez, E.; Zapatero Osorio, M. R.; Caballero, J. A. and 50 more, 2023, “Two sub-Neptunes around the M dwarf TOI-1470”, *A&A*, 675, 177
 18. Carter, Aarynn L.; Hinkley, Sasha; Kammerer, Jens and 108 more, 2023, “The JWST Early Release Science Program for Direct Observations of Exoplanetary Systems I: High-contrast Imaging of the Exoplanet HIP 65426 b from 2 to 16 μm ”, *ApJ*, 951, L20

19. Karoly, Janik; Ward-Thompson, Derek; Pattle, Kate and 155 more, 2023, “The JCMT BISTRO Survey: Studying the Complex Magnetic Field of L43”, *ApJ*, 952, 29
20. Wright, Sam O. M.; Nugroho, Stevanus K.; Brogi, Matteo and 26 more, 2023, “A Spectroscopic Thermometer: Individual Vibrational Band Spectroscopy with the Example of OH in the Atmosphere of WASP-33b”, *AJ*, 166, 41
21. Tanaka, Masaomi; Domoto, Nanae; Aoki, Wako and 14 more, 2023, “Cerium Features in Kilonova Near-infrared Spectra: Implication from a Chemically Peculiar Star”, *ApJ*, 953, 17
22. Terada, Yuka; Liu, Haoyu Baobab; Mkrtichian, David and 6 more, 2023, “Anisotropic Ionizing Illumination from an M-type Pre-main-sequence Star, DM Tau”, *ApJ*, 953, 147T
23. Kagetani, Taiki; Narita, Norio; Kimura, Tadahiro and 33 more, 2023, “The mass of TOI-519 b: A close-in giant planet transiting a metal-rich mid-M dwarf”, *PASJ*. 75, 713
24. Vievard, S.; Huby, E.; Lacour, S. and 20 more, 2023, “Single-aperture spectro-interferometry in the visible at the Subaru telescope with FIRST: First on-sky demonstration on Keho‘oea (α Lyrae) and Hokulei (α Aurigae)”, *A&A*, 677, A84
25. Triaud, Amaury H. M. J.; Dransfield, Georgina; Kagetani, Taiki and 40 more, 2023, “An M dwarf accompanied by a close-in giant orbiter with SPECULOOS”, *MNRAS*, 525, L98
26. Gorrini, P.; Kemmer, J.; Dreizler, S. and 36 more, 2023, “Planetary companions orbiting the M dwarfs GJ 724 and GJ 3988. A CARMENES and IRD collaboration”, *A&A*, 680, A28
27. Iwasaki, K., Kobayashi, H., Higuchi, A. E., Aikawa, Y., 2023, “A Constraint on the Amount of Hydrogen from the CO Chemistry in Debris Disks”, *The Astrophysical Journal*, 950, 36
28. Cataldi, G., Aikawa, Y., Iwasaki, K., Marino, S., Brandeker, A., Hales, A., Henning, T., Higuchi, A. E., Hughes, A. M., Janson, M., Kral, Q., Matrà, L., Moór, A., Olofsson, G., Redfield, S., Roberge, A. 2023, “Primordial or Secondary? Testing Models of Debris Disk Gas with ALMA”, *The Astrophysical Journal*, 951, 111,
29. Nakatani, R., Turner, N. J., Hasegawa, Y., Cataldi, G., Aikawa, Y., Marino, S., Kobayashi, H., 2023, “A Primordial Origin for the Gas-rich Debris Disks around Intermediate-mass Stars”, *The Astrophysical Journal Letters*, 959, L28
30. Molpeceres, G., Zaverkin, V., Furuya, K., Aikawa, Y., Kästner, J., 2023, “Reaction dynamics on amorphous solid water surfaces using interatomic machine-learned potentials. Microscopic energy partition revealed from the $P + H \rightarrow PH$ reaction”, *Astronomy & Astrophysics*, 673, 51
31. Molpeceres, G., Rivilla, V. M., Furuya, K., Kästner, J., Maté, B., Aikawa, Y., (2023), “Processing of hydroxylamine, NH_2OH , an important prebiotic precursor, on interstellar ices”, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 521, Issue 4, pp.6061–6074
32. Molpeceres, G., Enrique-Romero, J., Aikawa, Y., 2023, “Cracking the puzzle of CO_2 formation on interstellar ices. Quantum chemical and kinetic study of the $CO + OH \rightarrow CO_2 + H$ reaction”, *Astronomy & Astrophysics*, 677, A39
33. Tsuge, M., Molpeceres, G., Aikawa, Y., Watanabe, N., 2023, “Surface diffusion of carbon atoms as a driver of interstellar organic chemistry”, *Nature Astronomy*, 7, 1351–1358

34. Baek, G., Lee, J.-E., Evans, N. J., Hirota, T., Aikawa, Y., Kang, J., Kim, J., Jørgensen, J. K., 2023, “Spectral Survey of a Hot Core with an Eruptive Accretion in S255IR NIRS3 (SHEA): The Discovery of Class I and II Millimeter Methanol Maser Transitions”, *The Astrophysical Journal Letters*, 954, L25,
35. Lee, J.-E., Baek, G., Lee, S., Jeong, J.-H., Kim, C.-H., Aikawa, Y., Herczeg, G.J., Johnstone, D., Tobin, J.J., 2023 “Complex Organic Molecules in a Very Young Hot Corino, HOPS 373SW”, *The Astrophysical Journal*, 956, 43,
36. Galloway-Sprietsma, M., Bae, J., Teague, R., Benisty, M., Facchini, S., Aikawa, Y., Alarcón, F., Andrews, S. M., Bergin, E., Cataldi, G., Cleeves, L. I., Czekala, I., Guzmán, V. V., Huang, J., Law, C. J., Le Gal, R., Liu, Y., Long, F., Ménard, F., Öberg, K. I., Walsh, C., Wilner, D. J., 2023, “Molecules with ALMA at Planet-forming Scales (MAPS): Complex Kinematics in the AS 209 Disk Induced by a Forming Planet and Disk Winds”, *The Astrophysical Journal*, 950, 147
37. Waggoner, A. R., Cleeves, L. I., Loomis, R. A., Aikawa, Y., Bae, J., Bergner, J. B., Booth, A. S., Calahan, J. K., Cataldi, G., Law, C. J., Le Gal, R., Long, F., Öberg, K. I., Teague, R., Wilner, D. J., 2023, “MAPS: Constraining Serendipitous Time Variability in Protoplanetary Disk Molecular Ion Emission”, *The Astrophysical Journal*, 956, 103
38. Okoda, Y., Oya, Y., Francis, L., Johnstone, D., Ceccarelli, C., Codella, C., Chandler, C. J., Sakai, N., Aikawa, Y., Alves, F. O., Herbst, E., Maureira, M. J., Bouvier, M., Caselli, P., Choudhury, S., De Simone, M., Jiménez-Serra, I., Pineda, J., Yamamoto, S., 2023, “FAUST. VII. Detection of a Hot Corino in the Prototypical Warm Carbon-chain Chemistry Source IRAS 15398-3359”, *The Astrophysical Journal*, 948, 127
39. Mercimek, S., Podio, L., Codella, C., Chahine, L., López-Sepulcre, A., Ohashi, S., Loinard, L., Johnstone, D., Menard, F., Cuello, N., Caselli, P., Zamponi, J., Aikawa, Y., Bianchi, E., Busquet, G., Pineda, J. E., Bouvier, M., De Simone, M., Zhang, Y., Sakai, N., Chandler, C. J., Ceccarelli, C., Alves, F., Durán, A., Fedele, D., Murillo, N., Jiménez-Serra, I., Yamamoto, S. 2023. “FAUST - VIII. The protostellar disc of VLA 1623-2417W and its streamers imaged by ALMA”, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 522, 2384–2392
40. Ohashi, N., Tobin, J. J., Jørgensen, J. K., Takakuwa, S., Sheehan, P., Aikawa, Y., Li, Z.-Y., Looney, L. W., Williams, J. P., Aso, Y., Sharma, R., Sai, J. (Insa C.), Yamato, Y., Lee, J.-E., Tomida, K., Yen, H.-W., Encalada, F. J., Flores, C., Gavino, S., Kido, M., Han, I., Lin, Z.-Y. D., Narayanan, S., Phuong, N. T., Santamaría-Miranda, A., Thieme, T. J., van’t Hoff, M. L. R., de Gregorio-Monsalvo, I., Koch, P. M., Kwon, W., Lai, S.-P., Lee, C. W., Plunkett, A., Saigo, K., Hirano, S., Lam, K. H., Mori, S., 2023, “Early Planet Formation in Embedded Disks (eDisk). I. Overview of the Program and First Results”, *The Astrophysical Journal*, 951, 8.
41. Lin, Z.-Y. D., Li, Z.-Y., Tobin, J. J., Ohashi, N., Jørgensen, J. K., Looney, L. W., Aso, Y., Takakuwa, S., Aikawa, Y., van’t Hoff, M. L. R., de Gregorio-Monsalvo, I., Encalada, F. J., Flores, C., Gavino, S., Han, I., Kido, M., Koch, P. M., Kwon, W., Lai, S.-P., Lee, C. W., Lee, J.-E., Phuong, N. T., Sai, J. (Insa C.), Sharma, R., Sheehan, P., Thieme, T. J., Williams, J. P., Yamato, Y., Yen, H.-W., 2023, “Early Planet Formation in Embedded Disks (eDisk). II. Limited Dust Settling and Prominent Snow Surfaces in the Edge-on Class I Disk IRAS 04302+2247”, *The Astrophysical Journal*, 951, 9.

42. van't Hoff, M. L. R., Tobin, J. J., Li, Z.-Y., Ohashi, N., Jørgensen, J. K., Lin, Z.-Y. D., Aikawa, Y., Aso, Y., de Gregorio-Monsalvo, I., Gavino, S., Han, I., Koch, P. M., Kwon, W., Lee, C. W., Lee, J.-E., Looney, L. W., Narayanan, S., Plunkett, A., Sai, J. (Insa C), Santamaría-Miranda, A., Sharma, R., Sheehan, P. D., Takakuwa, S., Thieme, T. J., Williams, J. P., Lai, S.-P., Phuong, N. T., Yen, H.-W., 2023, “Early Planet Formation in Embedded Disks (eDisk). III. A First High-resolution View of Submillimeter Continuum and Molecular Line Emission toward the Class 0 Protostar L1527 IRS”, *The Astrophysical Journal*, 951, 10.
43. Yamato, Y., Aikawa, Y., Ohashi, N., Tobin, J. J., Jørgensen, J. K., Takakuwa, S., Aso, Y., Sai, J. (Insa C), Flores, C., de Gregorio-Monsalvo, I., Hirano, S., Han, I., Kido, M., Koch, P. M., Kwon, W., Lai, S.-P., Lee, C. W., Lee, J.-E., Li, Z.-Y., Lin, Z.-Y. D., Looney, L. W., Mori, S., Narayanan, S., Phuong, N. T., Saigo, K., Santamaría-Miranda, A., Sharma, R., Thieme, T. J., Tomida, K., van't Hoff, M. L. R., Yen, H.-W., 2023, “Early Planet Formation in Embedded Disks (eDisk). IV. The Ringed and Warped Structure of the Disk around the Class I Protostar L1489 IRS”, *The Astrophysical Journal*, 951, 11.
44. Kido, M., Takakuwa, S., Saigo, K., Ohashi, N., Tobin, J. J., Jørgensen, J. K., Aikawa, Y., Aso, Y., Encalada, F. J., Flores, C., Gavino, S., de Gregorio-Monsalvo, I., Han, I., Hirano, S., Koch, P. M., Kwon, W., Lai, S.-P., Lee, C. W., Lee, J.-E., Li, Z.-Y., Lin, Z.-Y. D., Looney, L. W., Mori, S., Narayanan, S., Plunkett, A. L., Phuong, N. T., (Insa Choi), J. S., Santamaría-Miranda, A., Sharma, R., Sheehan, P. D., Thieme, T. J., Tomida, K., van't Hoff, M. L. R., Williams, J. P., Yamato, Y., Yen, H.-W., 2023, “Early Planet Formation in Embedded Disks (eDisk). VII. Keplerian Disk, Disk Substructure, and Accretion Streamers in the Class 0 Protostar IRAS 16544-1604 in CB 68”, *The Astrophysical Journal*, 953, 190.
45. Sai, J., Yen, H.-W., Ohashi, N., Tobin, J. J., Jørgensen, J. K., Takakuwa, S., Saigo, K., Aso, Y., Lin, Z.-Y. D., Koch, P. M., Aikawa, Y., Flores, C., de Gregorio-Monsalvo, I., Han, I., Kido, M., Kwon, W., Lai, S.-P., Lee, C. W., Lee, J.-E., Li, Z.-Y., Looney, L. W., Mori, S., Phuong, N. T., Santamaría-Miranda, A., Sharma, R., Thieme, T. J., Tomida, K., Williams, J. P., 2023, “Early Planet Formation in Embedded Disks (eDisk). V. Possible Annular Substructure in a Circumstellar Disk in the Ced110 IRS4 System”, *The Astrophysical Journal*, 954, 67.
46. Sharma, R., Jørgensen, J. K., Gavino, S., Ohashi, N., Tobin, J. J., Lin, Z.-Y. D., Li, Z.-Y., Takakuwa, S., Lee, C. W., Sai (Insa Choi), J., Kwon, W., de Gregorio-Monsalvo, I., Santamaría-Miranda, A., Yen, H.-W., Aikawa, Y., Aso, Y., Lai, S.-P., Lee, J.-E., Looney, L. W., Phuong, N. T., Thieme, T. J., Williams, J. P., 2023, “Early Planet Formation in Embedded Disks (eDisk). IX. High-resolution ALMA Observations of the Class 0 Protostar R CrA IRS5N and Its Surroundings”, *The Astrophysical Journal*, 954, 69.
47. Aso, Y., Kwon, W., Ohashi, N., Jørgensen, J. K., Tobin, J. J., Aikawa, Y., de Gregorio-Monsalvo, I., Han, I., Kido, M., Koch, P. M., Lai, S.-P., Lee, C. W., Lee, J.-E., Li, Z.-Y., Lin, Z.-Y. D., Looney, L. W., Narayanan, S., Phuong, N. T., Sai, J. (Insa C), Saigo, K., Santamaría-Miranda, A., Sharma, R., Takakuwa, S., Thieme, T. J., Tomida, K., Williams, J. P., Yen, H.-W., 2023, “Early Planet Formation in Embedded Disks (eDisk). VI. Kinematic Structures around the Very-low-mass Protostar IRAS 16253-2429”, *The Astrophysical Journal*, 954, 101.
48. Thieme, T. J., Lai, S.-P., Ohashi, N., Tobin, J. J., Jørgensen, J. K., Sai, J. (Insa C), Aso, Y., Williams, J. P., Yamato, Y., Aikawa, Y., de Gregorio-Monsalvo, I., Han, I., Kwon, W., Lee, C. W., Lee, J.-E.,

- Li, Z.-Y., Lin, Z.-Y. D., Looney, L. W., Narayanan, S., Phuong, N. T., Plunkett, A. L., Santamaría-Miranda, A., Sharma, R., Takakuwa, S., Yen, H.-W., 2023, “Early Planet Formation in Embedded Disks (eDisk). VIII. A Small Protostellar Disk around the Extremely Low Mass and Young Class 0 Protostar IRAS 15398-3359”, *The Astrophysical Journal*, 958, 60.
49. Flores, C., Ohashi, N., Tobin, J. J., Jørgensen, J. K., Takakuwa, S., Li, Z.-Y., Lin, Z.-Y. D., van’t Hoff, M. L. R., Plunkett, A. L., Yamato, Y., Sai (Insa Choi), J., Koch, P. M., Yen, H.-W., Aikawa, Y., Aso, Y., de Gregorio-Monsalvo, I., Kido, M., Kwon, W., Lee, J.-E., Lee, C. W., Looney, L. W., Santamaría-Miranda, A., Sharma, R., Thieme, T. J., Williams, J. P., Han, I., Narayanan, S., Lai, S.-P., 2023, “Early Planet Formation in Embedded Disks (eDisk). XII. Accretion Streamers, Protoplanetary Disk, and Outflow in the Class I Source Oph IRS 63”, *The Astrophysical Journal*, 958, 98.
50. Tanaka, M., Koike, M., Naito, S., Shibata, J., Usuda-Sato, K., Yamaoka, H., Ando, M., Ito, K., Kobayashi, U., Kofuji, Y., Kuwata, A., Nakano, S., Shimakawa, R., Tadaki, K.-ichi., Takebayashi, S., Tsuchiya, C., Umemoto, T., & Bottrell, C., “Galaxy Cruise: Deep Insights into Interacting Galaxies in the Local Universe”, *PASJ*, 75, 986.
51. Arita, J., Kashikawa, N., Matsuoka, Y., He, W., Ito, K., Liang, Y., Ishimoto, R., Yoshioka, T., Takeda, Y., Iwasawa, K., Onoue, M., Toba, Y., & Imanishi, M., “Subaru High- z Exploration of Low-luminosity Quasars (SHELLQs). XVIII. The Dark Matter Halo Mass of Quasars at $z \sim 6$ ”, *ApJ*, 954, 210.
52. Kikuta, S. et al. (16 authors including Shimasaku, K.), 2023, “SILVERRUSH. XIII. A Catalog of 20,567 Ly α Emitters at $z = 2 - 7$ Identified in the Full-depth Data of the Subaru/HSC-SSP and CHORUS Surveys”, *ApJS*, 268, 24.
53. Ding, X. et al. (44 authors including Shimasaku, K.), 2023, “Detection of stellar light from quasar host galaxies at redshifts above 6”, *Nature*, 621, 51.
54. Hirashima, K., Moriwaki, K., Fujii, M., Hirai, Y., Saitoh, T., Makino, J. 2023. “3D-Spatiotemporal Forecasting the Expansion of Supernova Shells Using Deep Learning toward High-Resolution Galaxy Simulations”, *MNRAS*, 526, 3
55. Hirashima, K., Moriwaki, K., Fujii, M., Hirai, Y., Saitoh, T., Makino, J., Ho, S. 2023. “Surrogate Modeling for Computationally Expensive Simulations of Supernovae in High-Resolution Galaxy Simulations”, *NeurIPS 2023 AI for Science Workshop*
56. Arimoto, M., Asada, H., Cherry, M. L., Fujii, M. S., et. al., 2023, “Gravitational Wave Physics and Astronomy in the nascent era”, *Progress of Theoretical and Experimental Physics*, 10, id.10A103,83pp
57. Dhanpal, S., Benomar, O., Hanasoge, S., Takata, M., Panda, S. K., Kundu, A., 2023, “Inferring Coupling Strengths of Mixed-mode Oscillations in Red Giant Stars Using Deep Learning”, *ApJ*, 958, id.63, 14pp.
58. Benomar, O., Takata, M., Bazot, M., Sekii, T., Gizon, L., Lu, Y., 2023, “Detecting active latitudes of Sun-like stars using asteroseismic a -coefficients”, *A&A*, 680, id.A27, 26pp.
59. da Silva, R., D’Orazi, V., Palla, M., Bono, G., Braga, V. F., Fabrizio, M., Lemasle, B., Spitoni, E., Matteucci, F., Jonsson, H., Kovtyukh, V., Magrini, L., Bergemann, M., Dall’Ora, M., Ferraro, I., Fiorentino, G., Francois, P., Iannicola, G., Inno, L., Kudritzki, R., Matsunaga, N., Monelli, M., Nonino, M., Sneden, C., Storm, J., Thevenin, F., Tsujimoto, T., Zocchi, A., 2023, “Oxygen, sulfur,

and iron radial abundance gradients of classical Cepheids across the Galactic thin disk”, *A&A*, 678, A195

60. Matsunaga, N., Taniguchi, D., Elgueta, S. S., Tsujimoto, T., Baba, J., McWilliam, A., Otsubo, S., Sarugaku, Y., Takeuchi, T., Katoh, H., Hamano, S., Ikeda, Y., Kawakita, H., Hull, C., Albarracín, R., Bono, G., D’Orazi, V., 2023, “Metallicities of Classical Cepheids in the Inner Galactic Disk”, *ApJ*, 954, id. 198
61. Kovtyukh, V., Lemasle, B., Nardetto, N., Bono, G., da Silva, R., Matsunaga, N., Yushchenko, A., Fukue, K., Grebel, E. K., 2023, “Effective temperatures of classical Cepheids from line-depth ratios in the H-band”, *MNRAS*, 523, 5047–5063
62. Sanders, J. L., Matsunaga, N., 2023, “Hunting for C-rich long-period variable stars in the Milky Way’s bar-bulge using unsupervised classification of Gaia BP/RP spectra”, *MNRAS*, 521, 2745–2764

1.6.1.2 出版済 (2024 年)

1. Matsuoka Yoshiki, Izumi Takuma, Onoue Masafusa, Strauss Michael A., Iwasawa Kazushi, Kashikawa Nobunari, Akiyama Masayuki, Aoki Kentaro, Arita Junya, Imanishi Masatoshi, Ishimoto Rikako, Kawaguchi Toshihiro, Kohno Kotaro, Lee Chien-Hsiu, Nagao Tohru, Silverman John D., Toba Yoshiki, 2024, “Discovery of Merging Twin Quasars at $z = 6.05$ ”, *ApJL*, 965, L4.
2. He Wanqiu, Akiyama Masayuki, Enoki Motohiro, Ichikawa Kohei, Inayoshi Kohei, Kashikawa Nobunari, Kawaguchi Toshihiro, Matsuoka Yoshiki, Nagao Tohru, Onoue Masafusa, Oogi Taira, Schulze Andreas, Toba Yoshiki, Ueda Yoshihiro, 2024, “Black Hole Mass and Eddington-ratio Distributions of Less-luminous Quasars at $z \sim 4$ in the Subaru Hyper Suprime-Cam Wide Field”, 2024, *ApJ*, 962, 152.
3. Zhang Haibin, Cai Zheng, Liang Yongming, Ma Ke, Kashikawa Nobunari, Li Mingyu, Wu Yunjing, Li Qiong, Johnson Sean D., Ouchi Masami, Fan Xiaohui, 2024, “MAMMOTH-Subaru. III. $\text{Ly}\alpha$ Halo Identified by Stacking ~ 3300 $\text{Ly}\alpha$ Emitters at $z = 2.2 - 2.3$ ”, *ApJ*, 961, 63.
4. Ma Ke, Zhang Haibin, Cai Zheng, Liang Yongming, Kashikawa Nobunari, Li Mingyu, Wu Yunjing, Li Qiong, Fan Xiaohui, Johnson Sean D., Ouchi Masami, 2024, “MAMMOTH-Subaru. V. Effects of Cosmic Variance on $\text{Ly}\alpha$ Luminosity Functions at $z = 2.2 - 2.3$ ”, *ApJ*, 961, 102.
5. Takahashi Ayumi, Matsuoka Yoshiki, Onoue Masafusa, Strauss Michael A., Kashikawa Nobunari, Toba Yoshiki, Iwasawa Kazushi, Imanishi Masatoshi, Akiyama Masayuki, Kawaguchi Toshihiro, Noboriguchi Akatoki, Lee Chien-Hsiu, 2024, “Subaru High- z Exploration of Low-luminosity Quasars (SHELLQs). XVII. Black Hole Mass Distribution at $z \sim 6$ Estimated via Spectral Comparison with Low- z Quasars”, *ApJ*, 960, 112.
6. Yuya Tsuzuki, Tomonori Totani 2024, “Similarity to earthquakes again: periodic radio pulses of the magnetar SGR 1935+2154 are accompanied by aftershocks like fast radio bursts”, *MNRAS*, 530, 1885
7. Doi, Yasuo; Nakamura, Kengo; Kawabata, Koji S. and 16 more, 2024, “Tomographic Imaging of the Sagittarius Spiral Arm’s Magnetic Field Structure”, *ApJ*, 961, 13
8. Wang, Jia-Wei; Koch, Patrick M.; Clarke, Seamus D. and 154 more, 2024, “Filamentary Network and Magnetic Field Structures Revealed with BISTRO in the High-mass Star-forming Region NGC 2264: Global Properties and Local Magnetogravitational Configurations”, *ApJ*, 962, 136

9. Kang, H.; Chen, G.; Pallé, E. and 28 more, 2024, “Simultaneous multicolour transit photometry of hot Jupiters HAT-P-19b, HAT-P-51b, HAT-P-55b, and HAT-P-65b”, *MNRAS*, 528, 1930
10. Parviainen, H.; Murgas, F.; Esparza-Borges, E. and 59 more, 2024, “TOI-2266 b: A keystone super-Earth at the edge of the M dwarf radius valley”, *A&A*, 683, A170
11. Hasegawa, Yasuhiro; Uyama, Taichi; Hashimoto, Jun and 7 more, 2024, “Testing Magnetospheric Accretion as an H α Emission Mechanism of Embedded Giant Planets: The Case Study for the Disk Exhibiting Meridional Flow Around HD 163296”, *AJ*, 167, 105
12. Sallum, Steph; Ray, Shrishmoy; Kammerer, Jens and 120 more, 2024, “The JWST Early Release Science Program for Direct Observations of Exoplanetary Systems. IV. NIRISS Aperture Masking Interferometry Performance and Lessons Learned”, *ApJ*, 963, L2
13. Mori, S., Aikawa, Y., Oya, Y., Yamamoto, S., Sakai, N., 2024, “Synthetic Observations of the In-falling Rotating Envelope: Links between the Physical Structure and Observational Features”, *The Astrophysical Journal*, 961, 31
14. Encalada, F. J., Looney, L. W., Takakuwa, S., Tobin, J. J., Ohashi, N., Jørgensen, J. K., Li, Z.-Y., Aikawa, Y., Aso, Y., Koch, P. M., Kwon, W., Lai, S.-P., Lee, C. W., Lin, Z.-Y. D., Santamaría-Miranda, A., de Gregorio-Monsalvo, I., Phuong, N. T., Plunkett, A., Sai (Insa Choi), J., Sharma, R., Yen, H.-W., Han, I., 2024, “Early Planet Formation in Embedded Disks (eDisk). XIII. Aligned Disks with Nonsettled Dust around the Newly Resolved Class 0 Protobinary R CrA IRAS 32”, *The Astrophysical Journal*, 966, 32.
15. Takakuwa, S., Saigo, K., Kido, M., Ohashi, N., Tobin, J. J., Jørgensen, J. K., Aikawa, Y., Aso, Y., Gavino, S., Han, I., Koch, P. M., Kwon, W., Lee, C. W., Lee, J.-E., Li, Z.-Y., Lin, Z.-Y. D., Looney, L. W., Mori, S., Sai, J. (Insa C.), Sharma, R., Sheehan, P. D., Tomida, K., Williams, J. P., Yamato, Y., Yen, H.-W., 2024, “Early Planet Formation in Embedded Disks (eDisk). XIV. Flared Dust Distribution and Viscous Accretion Heating of the Disk around R CrA IRS 7B-a”, *The Astrophysical Journal*, 964, 24.
16. Yamato, Y., Notsu, S., Aikawa, Y., Okoda, Y., Nomura, H., Sakai, N., 2024, “Chemistry of Complex Organic Molecules in the V883 Ori Disk Revealed by ALMA Band 3 Observations”, *The Astronomical Journal*, 167, 66.
17. Lee, S., Lee, J.-E., Johnstone, D., Herczeg, G. J., Aikawa, Y., 2024, “Multiple Jets in the Bursting Protostar HOPS 373SW”, *The Astrophysical Journal*, 964, 34
18. Muñoz-Romero, C. E., Öberg, K. I., Banzatti, A., Pontoppidan, K. M., Andrews, S. M., Wilner, D. J., Bergin, E. A., Czekala, I., Law, C. J., Salyk, C., Teague, R., Qi, C., Bergner, J. B., Huang, J., Walsh, C., Guzmán, V. V., Cleaves, L. I., Aikawa, Y., Bae, J., Booth, A. S., Cataldi, G., Ilee, J. D., Le Gal, R., Long, F., Loomis, R. A., Menard, F., Liu, Y., 2024, “JWST-MIRI Spectroscopy of Warm Molecular Emission and Variability in the AS 209 Disk”, *The Astrophysical Journal*, 964, 36
19. Sabatini, G., Podio, L., Codella, C., Watanabe, Y., De Simone, M., Bianchi, E., Ceccarelli, C., Chandler, C. J., Sakai, N., Svoboda, B., Testi, L., Aikawa, Y. et al. 2024, “FAUST. XIII. Dusty cavity and molecular shock driven by IRS7B in the Corona Australis cluster”, *Astronomy & Astrophysics*, 684, L12

20. Lee, J.-E., Kim, C.-H., Lee, S., Lee, S., Baek, G., Yun, H.-S., Aikawa, Y., Johnstone, D., Herczeg, G. J., Cieza, L., 2024, “ALMA Spectral Survey of an Eruptive Young Star, V883 Ori (ASSAY). I. What Triggered the Current Episode of Eruption?”, *The Astrophysical Journal*, 966, 119,
21. Zhang, Z. E., Sakai, N., Ohashi, S., Murillo, N. M., Chandler, C. J., Svoboda, B., Ceccarelli, C., Codella, C., Cacciapuoti, L., O'Donoghue, R., Viti, S., Aikawa, Y., Bianchi, E., Caselli, P., Charnley, S., Hanawa, T., Jiménez-Serra, I., Liu, H. B., Loinard, L., Oya, Y., Podio, L., Sabatini, G., Vastel, C., Yamamoto, S., 2024, “FAUST. XIV. Probing the Flared Disk in L1527 with Sulfur-bearing Molecules”, *The Astrophysical Journal*, 966, 207
22. De Simone, M., Podio, L., Chahine, L., Codella, C., Chandler, C. J., Ceccarelli, C., López-Sepulcre, A., Loinard, L., Svoboda, B., Sakai, N., Johnstone, D., Ménard, F., Aikawa, Y., Bouvier, M., Sabatini, G., Miotello, A., Vastel, C., Cuello, N., Bianchi, E., Caselli, P., Caux, E., Hanawa, T., Herbst, E., Segura-Cox, D., Zhang, Z., Yamamoto, S., 2024, “FAUST. XV. A disc wind mapped by CH₃OH and SiO in the inner 300 au of the NGC 1333 IRAS 4A2 protostar”, *Astronomy & Astrophysics*, 686, L13,
23. Chahine, L., Ceccarelli, C., De Simone, M., Chandler, C. J., Codella, C., Podio, L., López-Sepulcre, A., Sakai, N., Loinard, L., Bouvier, M., Caselli, P., Vastel, C., Bianchi, E., Cuello, N., Fontani, F., Johnstone, D., Sabatini, G., Hanawa, T., Zhang, Z. E., Aikawa, Y. et al. 2024, “Multiple chemical tracers finally unveil the intricate NGC 1333 IRAS 4A outflow system. FAUST XVI”, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 531, pp.2653–2668
24. Ito, K., Valentino, F., Brammer, G., Faisst, A. L., Gillman, S., Gómez-Guijarro, C., Gould, K. M. L., Heintz, K. E., Ilbert, O., Jespersen, C. K., Kokorev, V., Kubo, M., Magdis, G. E., McPartland, C. J. R., Onodera, M., Rizzo, F., Tanaka, M., Toft, S., Vijayan, A. P., Weaver, J. R., Whitaker, K. E., & Wright, L., “Size – Stellar Mass Relation and Morphology of Quiescent Galaxies at $z \geq 3$ in Public JWST Fields”, *ApJ*, 964, 192.
25. Tanaka, T. S., Shimasaku, K., Tacchella S., Ando, M., Ito K., Yesuf H. M., Matsui, S., 2024, “HINOTORI I: The nature of rejuvenation galaxies”, *PASJ*, 76, 1.
26. Shimakawa, R., Tanaka, M., Ito, K., & Ando, M., “GALAXY CRUISE: Spiral and ring classifications for bright galaxies at $z = 0.01 - 0.3$ ”, *PASJ*, 76, 191.
27. Matsui, S., Shimasaku, K., Ito, K., Ando, M., & Tanaka, T. S., “X-ray stacking reveals average SMBH accretion properties of star-forming galaxies and their cosmic evolution over $4 \lesssim z \lesssim 7$ ”, *MNRAS*, 529, 926.
28. Wright, L., Whitaker, K. E., Weaver, J. R., Cutler, S. E., Wang, B., Carnall, A., Suess, K. A., Bezanson, R., Nelson, E., Miller, T. B., Ito, K., & Valentino, F., “Remarkably Compact Quiescent Candidates at $3 < z < 5$ in JWST-CEERS”, *ApJ*, 964, L10.
29. Kakimoto, T., Tanaka, M., Onodera, M., Shimakawa, R., Wu, P.-F., Gould, K. M. L., Ito, K., Jin, S., Kubo, M., Suzuki, T. L., Toft, S., Valentino, F., & Yabe, K., “A Massive Quiescent Galaxy in a Group Environment at $z = 4.53$ ”, *ApJ*, 963, 49.
30. Toshikawa, J., Wuyts, S., Kashikawa, N., Liu, C., Sawicki, M., Overzier, R., Kubo, M., Uchiyama, H., Ito, K., Bremer, M., Ono, Y., Kodama, T., Lin, Y.-T., & Saito, T., “An enhanced abundance of bright galaxies in protocluster candidates at $z \sim 3 - 5$ ”, *MNRAS*, 527, 6276.

31. Chris Nagele, Hideyuki Umeda, 2023, “Multiple Channels for Nitrogen Pollution by Metal-enriched Supermassive Stars and Implications for GN-z11”, *ApJ*, 949L, 16.
32. Chris Nagele, Hideyuki Umeda, Koh Takahashi, 2023, “Evolution and explosions of metal-enriched supermassive stars: proton rich general relativistic instability supernovae”, *MNRAS*, 523, 1629.
33. Hideyuki Umeda, Chris Nagele, 2024, “Metal-enriched Pair-instability Supernovae: Effects of Rotation”, *ApJ*, 961, 146.
34. Shingo Hirano, Youcheng Shen, Sho Nishijima, Hideyuki Umeda, 2023, “Formation of first star clusters under the supersonic gas flow - I. Morphology of the massive metal-free gas cloud”, *MNRAS*, 525, 5737.
35. Asano, T., Kawata, D., Fujii, M. S., Baba, J., 2024, “Growing local arm inferred by the breathing motion”, *MNRAS: Letters*, 529, L7
36. Tanikawa, A., Cary, S., Shikauchi, M., Wang, L., Fujii, M. S., “Compact binary formation in open star clusters – I. High formation efficiency of Gaia BHs and their multiplicities”, 2024, *MNRAS*, 527, 2
37. Takata, M., Gough, D. O., 2024, “The acoustic size of the Sun”, *MNRAS*, 527, 1283–1300.
38. Di Criscienzo, M., Leccia, S., Braga, V., Musella, I., Bono, G., Dall’Ora, M., Fiorentino, G., Marconi, M., Molinaro, R., Ripepi, V., Girardi, L., Mazzi, A., Pastorelli, G., Trabucchi, M., Matsunaga, N., Monelli, M., Saha, A., Vivas, K. A., Zanmar Sanchez, R., 2024, “Light-curve Recovery with Rubin-LSST. II. Unveiling the Darkness of the Galactic Bulge (VESTALE) with RR Lyrae”, *ApJS*, 273, id. 35
39. Jian, M., Fu, X., Matsunaga, N., D’Orazi, V., Bragaglia, A., Taniguchi, D., Fang, M., Sanna, N., Lucatello, S., Frasca, A., Alonso-Santiago, J., Catanzaro, G., Oliva, E., 2024, “Stellar Population Astrophysics (SPA) with the TNG. Measurement of the He I 10 830 Å line in the open cluster Stock 2”, *A&A*, 687, A189
40. Elgueta, S. S., Matsunaga, N., Jian, M., Taniguchi, D., Kobayashi, N., Fukue, K., Hamano, S., Sameshima, H., Kondo, S., Arai, A., Ikeda, Y., Kawakita, H., Otsubo, S., Yasui, C., Tsujimoto, T., “Astrophysical calibration of the oscillator strengths of YJ-band absorption lines in classical Cepheids”, *MNRAS*, 532, 3694–3712
41. Kawata, D., Kawahara, H., Gouda, N., Secrest, N. J., Kano, R., Kataza, H., Isobe, N., Ohsawa, R., Usui, F., Yamada, Y., Graham, A. W., Pettitt, A. R., Asada, H., Baba, J., Bekki, K., Dorland, B. N., Fujii, M., Fukui, A., Hattori, K., Hirano, T., Kamizuka, T., Kashima, S., Kawanaka, N., Kawashima, Y., Klioner, S. A., Kodama, T., Koshimoto, N., Kotani, T., Kuzuhara, M., Levine, S. E., Majewski, S. R., Masuda, K., Matsunaga, N., Miyakawa, K., Miyoshi, M., Morihana, K., Nishi, R., Notsu, Y., Omiya, M., Sanders, J., Tanikawa, A., Tsujimoto, M., Yano, T., Aizawa, M., Arimatsu, K., Biermann, M., Boehm, C., Chiba, M., Debattista, V. P., Gerhard, O., Hirabayashi, M., Hobbs, D., Ikenoue, B., Izumiura, H., Jordi, C., Kohara, N., Löffler, W., Luri, X., Mase, I., Miglio, A., Mitsuda, K., Newswander, T., Nishiyama, S., Obuchi, Y., Ootsubo, T., Ouchi, M., Ozaki, M., Perryman, M., Prusti, T., Ramos, P., Read, J. I., Rich, R. M., Schonrich, R., Shikauchi, M., Shimizu, R., Suematsu, Y., Tada, S., Takahashi, A., Tatekawa, T., Tatsumi, D., Tsujimoto, T., Tsuzuki, T., Urakawa, S., Uruguchi, F., Utsunomiya, S., Van Eylen, V., van Leeuwen, F., Wada, T., Walton, N. A., 2024, “JASMINE: Near-infrared astrometry and time-series photometry science”, *PASJ*, 76, 386

42. D’Orazi, V., Storm, N., Casey, A. R., Braga, V. F., Zocchi, A., Bono, G., Fabrizio, M., Sneden, C., Massari, D., Giribaldi, R. E., Bergemann, M., Campbell, S. W., Casagrande, L., de Grijs, R., De Silva, G., Lugaro, M., Zucker, D. B., Bragaglia, A., Feuillet, D., Fiorentino, G., Chaboyer, B., Dall’Ora, M., Marengo, M., Martinez-Vazquez, C. E., Matsunaga, N., Monelli, M., Mullen, J. P., Nataf, D., Tantaló, M., Thevenin, F., Vitello, F. R., Kudritzki, R., Bland-Hawthorn, J., Buder, S., Freeman, K., Kos, J., Lewis, G. F., Lind, K., Martell, S., Sharma, S., Stello, D., Zwitter, T., 2024, “The GALAH survey: tracing the Milky Way’s formation and evolution through RR Lyrae stars”, *MNRAS*, 531, 137–162
43. Sanders, J. L., Kawata, D., Matsunaga, N., Sormani, M. C., Smith, L. C., Minniti, D., Gerhard, O., 2024, “The epoch of the Milky Way’s bar formation: dynamical modelling of Mira variables in the nuclear stellar disc”, *MNRAS*, 530, 2972–2993
44. Katoh, H., Yasui, C., Ikeda, Y., Kobayashi, N., Matsunaga, N., Kondo, S., Sameshima, H., Hamano, S., Mizumoto, M., Kawakita, H., Fukue, K., Otsubo, S., Takenaka, K., 2024, “[N I] 10400/10410 Å Lines as Possible Disk Wind Tracers in a Young Intermediate-mass Star”, *ApJ*, 965, id. 70
45. Minniti, D., Matsunaga, N., Fernandez-Trincado, J. G., Otsubo, S., Sarugaku, Y., Takeuchi, T., Katoh, H., Hamano, S., Ikeda, Y., Kawakita, H., Lucas, P. W., Smith, Leigh C., Petralia, I., Rita Garro, E., Saito, R. K., Alonso-Garcia, J., Gomez, M., Gabriela Navarro, M., 2024, “The globular cluster VVV CL002 falling down to the hazardous Galactic centre”, *A&A*, 683, A150
46. Vissapragada, S., McCreery, P., Dos Santos, L. A., Espinoza, N., McWilliam, A., Matsunaga, N., Redai, J. A., Behr, P., France, K., Hamano, S., Hull, C., Ikeda, Y., Katoh, H., Kawakita, H., Lopez-Morales, M., Ortiz Ceballos, K. N., Otsubo, S., Sarugaku, Y., Takeuchi, T., 2024, “A High-resolution Non-detection of Escaping Helium in the Ultrahot Neptune LTT 9779b: Evidence for Weakened Evaporation”, *ApJL*, 962, id. L19
47. Jian, M., Matsunaga, N.; Jiang, B., Yuan, H., Zhang, R., 2024, “Exploring Be phenomena in OBA stars: A mid-infrared search”, *A&A*, 682, A59
48. Hamano, S., Ikeda, Y., Otsubo, S., Katoh, H., Fukue, K., Matsunaga, N., Taniguchi, D., Kawakita, H., Takenaka, K., Kondo, S., Sameshima, H., 2024, “WARP: The Data Reduction Pipeline for the WINERED Spectrograph”, *PASP*, 136, id. 014504
49. Mizumoto, M., Sameshima, H., Kobayashi, N., Matsunaga, N., Kondo, S., Hamano, S., Yasui, C., Fukue, K., Arai, A., Kawakita, H., Otsubo, S., Bono, G., Saviane, I., 2024, “Shock Excitation in Narrow-line Regions Powered by AGN Outflows”, *ApJ*, 960, id. 41

1.6.1.3 印刷中

1. Molpeceres, G., Furuya, K., Aikawa, Y., 2024, “Enhanced formation of interstellar complex organic molecules on carbon monoxide ice”, *A&A*, in press
2. Suzuki, T., Furuya, K., Aikawa, Y., Shibata, T., Majumdar, L., 2024, “Chemical Evolution of Complex Organic Molecules in Turbulent Protoplanetary Disks: Effect of stochastic UV irradiation”, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, in press
3. Sho Nishijima, Shingo Hirano, and Hideyuki Umeda. 2024. “Low-Mass Population III Star Formation due to the HD Cooling Induced by Weak Lyman – Werner Radiation.” *The Astrophysical Journal* 965 (2): 141.

4. Funakoshi, N., Matsunaga, N., Kawata, D., Baba, J., Taniguchi, D., Fujii, M., 2024, “Clues to growth and disruption of two neighbouring spiral arms of the Milky Way”, MNRAS, in press

1.6.2 和文論文および解説記事

1. 野津翔太, 相川祐理, 「Large Submillimeter Telescope (LST) 科学白書 2023」, 7章 星間化学 (アストロケミストリー) 執筆担当者, 2023 年 10 月発行
2. 相川祐理, 大和義英, Gianni Cataldi, 野津翔太, 「小質量星周囲の円盤における化学」天文月報, 2024 年 4 月号
3. 朝野哲郎, 馬場淳一, 「高精度位置天文観測時代の棒状構造・渦状腕研究」天文月報, 2023 年 5 月号

1.6.3 著書, 訳書, 編書

1. 戸谷友則, 「宇宙になぜ、生命があるのか 宇宙論で読み解く「生命」の起源と存在」, 2023, 講談社ブルーバックス
2. 田村元秀 (天文部, 分担執筆), 高田将郎 (天文部, 分担執筆), 松永 (暦部, 分担執筆), 「理科年表 2024」, 2023, 丸善
3. Inutsuka, S., Aikawa, Y., Muto, T., Tomida, K., Tamura, M. 「Protostars and Planets VII」, ASP Conference Series, Vol. 534
4. 相川祐理, 「現代の天文学 11 巻第 2 版, 2.4 節星間化学」(改訂)

1.7 学会発表

共同発表者が多数の場合、天文学教室所属でない発表者名は、筆頭発表者以外は省略した。

1.7.1 日本天文学会 2023 年秋季年会, 名古屋大学 (2023/9/20–9/22)

1. M. Tamura ほか: 「直接撮像とアストロメトリによる加速する恒星まわりの惑星の検出: HIP 99770 b」
2. 川島由依ほか: 「すばる望遠鏡 IRD による T 型褐色矮星の高分散分光観測と高分散スペクトルモデル ExoJAX による大気特性の調査」
3. 葛原昌幸ほか: 「すばる望遠鏡近赤外線高分散分光器 IRD のためのスペクトル抽出パイプラインの開発とその適用」
4. 小谷隆行ほか: 「高効率・回折限界を目指したゲルマニウム製エシェル回折格子の開発」
5. 成田憲保ほか: 「2m 望遠鏡 Faulkes Telescope South 用の 4 色同時撮像カメラ MuSCAT4 の開発」
6. 米田謙太ほか: 「高コントラスト観測法 Coherent Differential Imaging on Speckle Area Nulling (CDI-SAN) の開発 3」
7. 大和義英, 相川祐理, 野津翔太, 他 7 名: 「原始惑星系円盤 MWC 480 におけるジメチルエーテルの検出」星・惑星形成 (原始惑星系円盤) セッション, P223a

8. 野津翔太, 大和義英, 相川祐理, 他 12 名: 「ALMA 観測による FU Ori 型星 V883 Ori の円盤における $^{13}\text{C}^{17}\text{O}$ 輝線の検出」, 星・惑星形成 (原始惑星系円盤) セッション, P224a
9. 小道雄斗, 相川祐理, 他 2 名: 「3 次元磁気流体計算に基づく、分子雲形成初期における化学進化過程」, 星・惑星形成 (星形成) セッション, P118b
10. 鈴木大輝, 古家健次, 相川祐理, 他 2 名: 「乱流状態にある原始惑星系円盤での複雑有機分子の化学進化」, 星・惑星形成 (原始惑星系円盤) セッション, P222a
11. Feeney-Johansson, Anton: 「A high-resolution radio study of the L1551 IRS 5 binary jets」, センチ波・メートル波天文学の進展セッション, Z202a
12. 西嶋: 「HD 冷却による初代星形成効率の低下: Lyman – Werner 輻射強度依存性」
13. 藤井通子: 「球状星団形成期の星の暴走的合体からの中質量ブラックホール形成」
14. 朝野哲郎, 藤井通子ほか: 「伴銀河からの外的摂動に起因する銀河系円盤の振動」
15. 平島敬也, 藤井通子ほか: 「Star-by-star 銀河形成シミュレーションに向けた超新星フィードバックのサロゲートモデリング」
16. 松永ほか: 「V257a Las Campanas 天文台における WINERED 近赤外線高分散分光器の運用開始」

1.7.2 日本天文学会 2024 年春季年会, 東京大学/オンライン (2024/3/11–3/15)

1. 星宏樹ほか: 「スリット分光データを用いた $z \sim 4$ クエーサーにおける $\text{Ly}\alpha$ ハローの解析」
2. 武田佳大ほか: 「大規模測光観測データからの原始銀河団検出深層学習技術」
3. 西村優里ほか: 「分子の存在比を考慮したモデルによる様々な分子輝線と星形成率の関係」
4. 吉岡岳洋ほか: 「ニューラルネットワークを用いた遠方銀河からの $\text{Ly}\alpha$ 輝線放射の予測」
5. 増田賢人ほか: 「すばる望遠鏡 IRD/REACH による twin binary の高分散分光観測」
6. 山口正行ほか: 「Taurus-Auriga 領域における原始惑星系円盤の ALMA 超解像サーベイ: II. ギャップ・リング構造の統計的性質」
7. 寺田由佳ほか: 「型前主系列星 DM Tau からの非等方性電離放射」
8. 鵜山太智ほか: 「視線速度長周期トレンドを利用した直接撮像による M 型星周りの伴星探査」
9. 田中匠, 伊藤慧, 嶋作一大, 安藤誠, 松井思引ほか: 「Evolution of a quenched galaxy at $z \sim 2$ hosting a low- λ_{Edd} AGN」, X08a
10. (招待講演) 平島敬也, 藤井通子ほか: 「超新星フィードバックのサロゲートモデルを用いた銀河形成シミュレーションの高速化」
11. 高田将郎 (東大理), D. O. Gough (University of Cambridge), M40a: 「太陽 5 分振動の音波モードを用いた光球半径の測定」

1.7.3 日本地球惑星科学連合 2023 年大会, 幕張メッセ (2023 年 5 月 21 日–26 日)

1. 野津翔太, 他 5 名, 「The molecular composition and elemental abundance ratios of shadowed proto-solar disk midplanes beyond the water snowline」, セッション: 系外惑星 PEM11-P02

1.7.4 国際研究会

1. Yoshihiro Takeda et al. “PCFNet: Deep learning approach for protocluster detection at $z \sim 4$ from the HSC-SSP photometric dataset”, A journey through galactic environments, Italy, 9/2023
2. Yuri Nishimura et al. “ALMA Band 3 line survey toward the Cloverleaf quasar at $z \sim 2.56$ ”, 2023 Kavli-IAU Astrochemistry Symposium: Astrochemistry VIII - From the First Galaxies to the Formation of Habitable Worlds, Japan, 11/2023
3. Yuri Nishimura et al. “Relations between molecular line emission and star formation rate: Exploring variations across different molecules and transitions”, Dense GAS in Nearby Galaxies - ALMA Workshop, US, 1/2024
4. Takehiro Yoshioka et al. “Predict $\text{Ly}\alpha$ Emission Lines from Distant Galaxies with Machine Learning Technique”, Reionization in the Summer, German, 6/2023
5. Tomonori Totani, “Emergence of life in an inflationary universe”, International Symposium on Advanced and Sustainable Science and Technology, National Chung Hsing University (NCHU), Taiwan, September 11–13, 2023.
6. Tomonori Totani, “Fast radio bursts trigger aftershocks resembling earthquakes, but not solar flare”, Fast radio bursts 2023, online, Nov. 6–10, 2023
7. Tomonori Totani, “Fast radio bursts trigger aftershocks resembling earthquakes, but not solar flare”, 32nd Texas symposium on relativistic astrophysics, Shanghai, China, Dec 11–15, 2023
8. Yuri Aikawa, “Astrochemistry in low-mass star forming regions”, The Physics of Star Formation, From Stellar Cores to Galactic Scales, Lyon, France, June 26–30, 2023 (invited)
9. Yuri Aikawa, “Astrochemistry of disks around low-mass young stellar objects”, ALMA at 10 years: Past, Present, and Future, Puerto Varas, Chile, Dec 4–8, 2023 (invited)
10. Yuri Aikawa, “Observation and modeling of complex organic molecules in protoplanetary disks”, Celebrating 30 years of protoplanetary disk chemistry: past, present, and future, Ringberg, Germany, Feb 19–23, 2024 (invited)
11. Yoshihide Yamato, Yuri Aikawa, “Early Planet Formation in Embedded Disks (eDisk): The Ringed and Warped Structure of the Disk around the Class I Protostar L1489 IRS” Protostars and Planets VII, Kyoto, 2023 年 4 月 (poster)
12. Shota Notsu, “The Molecular Composition of Shadowed Proto-solar Disk Midplanes Beyond the Water Snowline”, Protostars and Planets VII (PPVII), Kyoto International Conference Center, Kyoto, Japan, 10–15th April 2023 (poster)
13. Yuto Komichi, Yuri Aikawa, “Chemistry of Forming Molecular Clouds: Comparison with Molecular Absorption Lines”, Protostars and Planets VII, Kyoto, 2023 年 4 月 10 日–15 日 (poster)

14. Taiki Suzuki, Kenji Furuya, Yuri Aikawa, Takashi Shibara, Liton Majumdar, “Chemical Evolution of COMs in the Turbulent Disks”, Protostars and Planets VII, Kyoto, 2023 年 4 月 10 日–15 日 (poster)
15. Feeney-Johansson, A. “A high-resolution radio study of the L1551 IRS 5 and L1551 NE jets”, Protostars and Planets VII, Kyoto, 2023 年 4 月 (poster)
16. Cataldi, G., Aikawa, Y., et al., “Testing models of debris disk gas using ALMA observations of C and CO”, Protostars and Planets VII, Kyoto, 2023 年 4 月 (poster)
17. Yoshihide Yamato, Yuri Aikawa, Shota Notsu, “ALMA Observations of the Young Bursting Star V883 Ori: Chemistry of Complex Organic Molecules in the Protoplanetary Disk”, Workshop on Interstellar Matter 2023, Hokkaido University, 8-10th November 2023 (contributed)
18. Shota Notsu, “Detection of $^{13}\text{C}^{17}\text{O}$ line emission in the disk around the young outbursting protostar V883 Ori by ALMA observations”, Contributed Poster, Workshop on Interstellar Matter 2023, Institute of Low Temperature Science, Hokkaido University, Japan, 8–10th November 2023 (poster)
19. Yuto Komichi, Yuri Aikawa, “Chemistry of Forming Molecular Clouds: Comparison with Molecular Absorption Lines”, Workshop on Interstellar Matter 2023, Hokkaido University, 8–10th November 2023 (poster)
20. Taiki Suzuki, Kenji Furuya, Yuri Aikawa, Takashi Shibara, Liton Majumdar, “Chemical Evolution in Turbulent Disks: Stochastic Effect by UV photons”, Workshop on Interstellar Matter 2023, Institute of Low Temperature Science, Hokkaido University, Japan, 8–10th November 2023 (poster)
21. Anton Feenev-Johansson, Yuri Aikawa, and eDisk team, “Studying Shell Structure in CO Outflows in the eDisk Survey”, Workshop on Interstellar Matter 2023, Institute of Low Temperature Science, Hokkaido University, Japan, 8–10th November 2023 (poster)
22. Shota Notsu, “The Molecular Composition of Shadowed Proto-solar Disk Midplanes Beyond the Water Snowline”, 2023 Kavli-IAU Astrochemistry Symposium — Astrochemistry VIII - From the First Galaxies to the Formation of Habitable Worlds, Traverse City, Michigan, USA, 10–14th July 2023 (poster)
23. Taiki Suzuki, Kenji Furuya, Yuri Aikawa, Takashi Shibara, Liton Majumdar, “Chemical Evolution of COMs in the Turbulent Disks”, Contributed Poster, 2023 Kavli-IAU Astrochemistry Symposium — Astrochemistry VIII - From the First Galaxies to the Formation of Habitable Worlds, Traverse City, Michigan, USA, 10–14th July 2023 (poster)
24. Shota Notsu, “FAUST: Chemical layered structures in the disk around a low-mass Class 0 protostar NGC 1333 IRAS 4C”, Contributed talk, FAUST 8th plenary meeting at Univ. of Tokyo, Hongo Campus, The University of Tokyo, Tokyo, Japan, 5–7th April 2023 (talk)
25. Yuto Komichi, Yuri Aikawa, “Chemistry of Forming Molecular Clouds: Comparison with Molecular Absorption Lines”, Star at Lyon, Lyon, France 2023 年 6 月 26 日–28 日 (poster)
26. Yuri Aikawa, “Chemical and Physical Evolution of Protoplanetary Disks”, The 14th RESCEU symposium: “From Large to Small Structures in the Universe”, Oct 30–Nov 2, 2023, Koshiba Hall, Univ. of Tokyo (contributed)

27. Anton Feeney-Johansson, Yuri Aikawa, and eDisk team, “Studying the velocity and angular momentum structure of protostellar outflows in the eDisk survey”, The 14th RESCEU symposium: “From Large to Small Structures in the Universe”, Oct 30–Nov 2, 2023, Koshiba Hall, Univ. of Tokyo (contributed)
28. Kei Ito, “A JWST view of the morphology of quiescent galaxies at $z \geq 3$ ”, Resolving Universe, Japan, November 2023
29. Kei Ito, “Protocluster of Quiescent Galaxies at $z = 2.77$ in the COSMOS field”, A journey through galactic environments, Italy, September 2023
30. Kei Ito, “Galaxy Evolution at the Cosmic Noon with Euclid and H20 survey”, Subaru in the era of Euclid, Japan, September 2023
31. Kei Ito, “Discovery of a protocluster of quiescent galaxies at $z = 2.77$ in the COSMOS field”, GALAXY TRANSFORMATION ACROSS SPACE AND TIME, Australia, September 2023
32. Kei Ito, “Discovery of a Protocluster of Quiescent Galaxies at $z = 2.77$ ”, COSMOS 2023 team meeting, USA, May 2023
33. M. Ando, K. Shimasaku, K. Ito, “Anisotropic quenching...”, Journey through Cosmic Environment, Italy, September, 2023
34. Suin Matsui, Kazuhiro Shimasaku, Kei Ito, Makoto Ando, Takumi S.Tanaka, “The average SMBH accretion properties of star-forming galaxies and their cosmic evolution over $4 \lesssim z \lesssim 7$ ”, HSC-AGN collaboration meeting 2023, Ehime, 11 2023
35. Tanaka, T. S., Shimasaku, K. et al.: “Image-based deep anomaly detection using Subaru Hyper Suprime-Cam data” The CD3 x Simons Foundation workshop “AI-driven discovery in physics and astrophysics”, Japan, Jan. 2024
36. Chris Nagele, “GR Instability Supernovae” (poster), First Light @ MIT, USA, June 2023
37. Chris Nagele, “Testing the direct collapse scenario with general relativistic instability supernovae” (oral), AAS meeting 242, USA, June 2023
38. Tetsuro Asano, “N-body simulations of the Milky Way perturbed by a dwarf galaxy”, 5th symposium on Discovery, Fusion, Creation of New Knowledge by Multidisciplinary Computational Sciences, Japan, Sep 2023
39. Tetsuro Asano, “Bending and breathing waves of the Galactic disc”, Surveying the Milky Way: The Universe in Our Own Backyard, US, Oct 2023
40. Tetsuro Asano, “Vertical oscillation of the Galactic disc”, Dark Matter in the Universe: The Present and Future of Galactic Archaeology and Near-field Cosmology, Japan, Mar 2024
41. Keiya Hirashima, “Forecasting the expansion of SN shells toward high resolution galaxy simulations”, Cosmic Connections: A ML X Astrophysics Symposium, USA, May 2023
42. Keiya Hirashima, “Surrogate modeling for supernova feedback in galaxy simulations”, The 8th Japan-US Science Forum in Boston, USA, Nov 2023
43. Keiya Hirashima, “Surrogate Modeling for Computationally Expensive Simulations of Supernovae in High-Resolution Galaxy Simulations”, NeurIPS 2023 AI for Science Workshop, USA, Dec 2023

44. Keiya Hirashima, “Surrogate Modeling for Supernova Feedback toward High-Resolution Galaxy Simulations”, AI-driven discovery in physics and astrophysics, Kavli IPMU, The University of Tokyo, Chiba, Japan, Jan 2024
45. Takata, M., “Mixed modes”, PLATO Stellar Science Conference 2023, Italy, June 2023
46. Takata, M., “Dip seismology of γ Dor stars”, workshop on γ Dors pulsations, Meudon, July 2023
47. Takata, M., “Mixed modes in γ Dor stars”, MIAPbP program on Stellar Astrophysics, Garching, August 2023
48. Matsunaga, N., “Thousands of Cepheids revealing the disk structure”, Abundance Gradients in the Local Universe (ADONIS), Germany, Mar 2024
49. Matsunaga, N., “Rapid chemical evolution of the early-epoch Galaxy traced by bulge RR Lyrae variables” (invited), Formation and Evolution of the Galaxies with Subaru PFS: Satellite workshop, Tokyo (Japan), Mar 2024

1.7.5 国内研究会

1. 星宏樹, 「スリット分光データを用いた $z \sim 4$ クエーサーにおける $\text{Ly}\alpha$ ハローの検出」, 第53回天文・天体物理若手夏の学校, 2023年7月
2. 戸谷友則, 「生命の起源/FRBの時間相関解析」新世紀における銀河宇宙観測の方向, 伊豆・下田市, 2023年6月14–16日
3. 戸谷友則, “Fast radio bursts trigger aftershocks resembling earthquakes, but not solar flares”, FF5E中性子星の観測と理論FF5E研究活性化ワークショップ2023, 京都大学, 2023年9月6–8日
4. 戸谷友則, “Fast radio bursts trigger aftershocks resembling earthquakes, but not solar flares”, FF5E中性子星の観測と理論FF5E研究活性化ワークショップ2023, 京都大学, 2023年9月6–8日
5. 戸谷友則, “A new messenger of extrasolar biosignatures/FRBs trigger aftershocks resembling earthquakes”, Annual Meeting on Multi Messenger Astrophysics, 岐阜県下呂市, 2023年12月4–6日
6. Junling Chen, “Contribution to the cosmic γ -ray background radiation from star-forming galaxies”, 「高エネルギーガンマ線でみる極限宇宙2023」, 東大宇宙線研, 2023年2月19–20日
7. 相川祐理, 「理論班モデルグループ現状報告」, 次世代アストロケミストリー全体集会2023, 立教大学, 2024年3月(口頭講演)
8. 大和 義英, “ALMA Observations of Complex Organic Molecules in Protoplanetary Disks”, Astrochemistry Get-together Workshop, 東京大学, 2023年7月(招待講演)
9. 大和 義英, 「V883 Oriの原始惑星系円盤における大型有機分子の観測」, 惑星科学若手研究会, オンライン, 2024年3月(contributed)
10. 大和 義英, “ALMA Observations of Complex Organic Molecules in the Disk around the Outbursting Star V883 Ori”, 宇宙電波懇談会シンポジウム, 国立天文台, 2024年3月(招待講演)
11. 大和 義英, “ALMA Observations of the Disk around the Young Bursting Star V883 Ori: Spatial Distributions and Chemistry of Complex Organic Molecules”, ALMA-J seminar, 2023年10月25日(invited)

12. Yoshihide Yamato, “ALMA Observations of Complex Organic Molecules in the Disk around the Outbursting Star V883 Ori”, 次世代アストロケミストリー全体集会 2023, 立教大学, 2024 年 3 月 (contributed)
13. 鈴木大輝, 「乱流状態にある原始惑星系円盤での複雑有機分子の化学進化」, 次世代アストロケミストリー全体集会 2023, 立教大学, 2024 年 3 月 (contributed)
14. 相川祐理, 「惑星系形成円盤の化学」, 宇宙天体形成史-初代星から生命の起源まで-, 筑波大学計算科学研究センター, 2023 年 9 月 2 日 (poster)
15. 野津翔太, 「Detection of $^{13}\text{C}^{17}\text{O}$ emission line in the disk around the young outbursting protostar V883 Ori by ALMA Observations」, mini-workshop with Ruobing Dong, 国立天文台 三鷹キャンパス, 2023 年 10 月 31 日 (contributed)
16. 野津翔太, 「原始惑星系円盤の化学進化とスノーライン - 水・有機分子の起源」, 日本惑星科学会 2023 年秋季講演会, 最優秀研究者賞受賞記念講演, SB-01, 広島市文化交流会館, 2023 年 10 月 11 日-13 日 (招待講演)
17. 野津翔太, 「 H_2O スノーライン以遠に影構造を持つ原始惑星系円盤の赤道面化学構造 - 彗星化学組成との比較」, Comet Interceptor + 次世代小天体 SR 合同サイエンス会合 FY2023, 東京大学 本郷キャンパス 理学系研究科 1 号館 + オンライン (ハイブリッド開催), 2023 年 9 月 12 日-13 日 (contributed)
18. 野津翔太, 「系外惑星大気における揮発性元素同位体観測・円盤観測との比較」, 系外惑星大気研究会 2023, 下関市営国民宿舎 海峡ビューしものせき, 2023 年 8 月 20 日-23 日 (contributed)
19. 野津翔太, 「星間化学 (Astrochemistry) 分野の最近の進捗」, 天文学ワークショップ 2023 @北杜市, 甲斐駒センターせせらぎ, 2023 年 8 月 16 日-17 日 (招待講演)
20. 野津翔太, “FAUST: Chemical layered structures in the disk around a low-mass Class 0 protostar NGC 1333 IRAS 4C”, Astrochemistry Get-together Workshop Summer 2023, Hongo Campus, Department of Astronomy, Graduate School of Science, The University of Tokyo, 28th July 2023 (contributed)
21. 野津翔太, 「理論モデル計算とアルマ望遠鏡観測で探る原始惑星系円盤の化学構造と水・有機分子の起源」, 第 11 回 山田研究会「宇宙における降着現象 ～活動性・多様性の源～」, 2023 年 6 月 3 日-5 日, 京都大学 百周年記念時計台 国際交流ホール, 2023 年 6 月 3 日-5 日 (招待講演)
22. 小道雄斗, 相川祐理, 「分子雲形成初期における化学進化過程」, 星・惑星形成: これまでの 20 年間とこれから, みんなの貸会議室 那覇泉崎店, 2023 年 11 月 20 日-22 日 (contributed)
23. 鈴木大輝, “原始惑星系円盤内で乱流拡散するダスト上での有機物生成”, Astrochemistry Get-together Workshop, 東京大学, 2023 年 7 月 28 日 (contributed)
24. 伊藤慧, 「High-redshift quiescent galaxies and their connection to AGNs - a brief review of recent observational studies-」 Ehime AGNxALMA Workshop, 愛媛, 2023 年 6 月
25. 田中匠, 嶋作一大, 伊藤慧, 安藤誠, 松井思引ほか: “Detecting rejuvenation galaxies from large data utilizing SED fittings”, Debriefing Session of Initiative on Promotion of Supercomputing for Young or Women Researchers, online, Jun. 2023
26. 藤井通子, 「星一つ一つを再現した球状星団形成シミュレーション」, 天の川銀河研究会 (Milkey Way Galaxy Workshop) 2024

27. 朝野哲郎, 「天の川銀河の N 体シミュレーション」, シミュレーション天文学のこれまでとこれから -ハードウェア・アプリケーション・サイエンス-, 神戸, 2023 年 9 月
28. 朝野哲郎, 「Vertical oscillation of the Galactic disk」第 36 回 理論懇シンポジウム「高赤方偏移のフロンティア」, 弘前, 2023 年 12 月
29. 朝野哲郎, 「銀河円盤の鉛直振動から示唆される渦状腕の成長・崩壊」天の川銀河研究会 2024, 鹿児島, 2024 年 3 月
30. 平島敬也, 「超新星フィードバックのためのサロゲートモデルの開発」シミュレーション天文学のこれまでとこれから -ハードウェア・アプリケーション・サイエンス-, 神戸, 2023 年 9 月
31. 平島敬也, 「Accelerating SN simulations using deep learning toward star-by-star galaxy simulations」Astro AI with Fugaku workshop, 東京, 2023 年 9 月
32. 平島敬也, 「高解像度銀河形成シミュレーションに向けた超新星フィードバックのサロゲートモデリング」「成果創出加速」基礎科学合同シンポジウム, 東京, 2023 年 12 月
33. 平島敬也, 「Surrogate Modeling for Supernova Feedback toward Star-by-star Galaxy Simulations」第 3 回「富岳」成果創出加速プログラム研究交流会, 東京, 2024 年 3 月
34. 松永, 「セファイド変光星を用いた銀河系円盤の元素組成分布の研究」天の川銀河研究会 2024, 鹿児島, 2024 年 3 月
35. 松永, 「リンの存在比の銀河間比較」第 12 回 宇宙における生命ワークショップ 令和 5 年度 ABC 公募研究成果発表会, 東京, 2023 年 5 月
36. 松永, 「チリ・マゼラン望遠鏡における WINERED 分光器の運用」2023 年度光赤天連シンポジウム, 東京, 2023 年 9 月
37. 松永, 「セファイド変光星の近赤外線分光観測で探る銀河系のリン組成分布」第 2 回 リンと生命の起源研究会, 東京, 2023 年 9 月
38. 松永, 「Long period variables towards the Galactic center region: IRSF, VVV, PRIME, JASMINE」JASMINE Consortium Meeting 2023, 東京, 2023 年 8 月

1.7.6 SOC/LOC

1. 藤井 通子, 国立天文台将来シンポジウム 2023 「国立天文台のサイエンスロードマップ」2023.11
2. 藤井 通子, MODEST23JM, 2023.4

1.7.7 一般向け講演

1. 柏川伸成「宇宙のなぞ」“宇宙の謎, 東大の研究室を覗いてみよう”, オンライン, 2024/03
2. 相川祐理「星と惑星系の誕生」東大理学部 高校生のための冬休み講座, 小柴ホール, 2023 年 12 月 27 日
3. 野津翔太「電波天文学で迫る惑星形成とアストロケミストリー」国立天文台野辺山 特別公開 2023 オンライン企画 ヨンゴー研究ポスター発表会, オンライン開催, 2023 年 7 月 22 日
4. 嶋作一大「銀河の世界」第 36 回東京大学理学部公開講演会, 東京大学, 2024/03/08

1.7.8 記者会見，プレスリリース，新聞報道

1. 有田淳平, 柏川伸成ほか：「クェーサーの光, ダークマターの影 —130 億光年先のブラックホールを包み込むダークマターの質量を初めて測定—」東京大学理学系研究科プレスリリース, 2023 年 9 月 9 日
2. 戸谷友則：「中性子星でも地震が起きている？」東京大学理学部プレスリリース, 2023 年 10 月 12 日
3. 相川祐理, 平野信吾, 大和義英：「惑星はいつ誕生するのか〜惑星形成の最初期段階を捉える」東京大学理学部プレスリリース, 2023 年 6 月 28 日
4. 松井思引, 嶋作一大, 伊藤慧, 安藤誠, 田中匠：「銀河が頑張って星を作っていた時、ブラックホールは休んでいた……120 億年以上昔の宇宙における銀河とブラックホールの意外な関係——」東京大学理学部プレスリリース, 2024 年 3 月 9 日
5. 平島 敬也, 藤井通子, 森脇 可奈, 平居悠, 斎藤貴之, 牧野淳一郎：「AI が描く超新星爆発の広がり——深層学習を用いた超新星爆発シミュレーションの高速再現技術——」東京大学理学部プレスリリース, 2023 年 10 月 23 日
6. 松永：「意外と単純そうな天の川の金属量勾配—高感度赤外線分光観測で探る天の川円盤最内縁部の化学組成—」東京大学理学部プレスリリース, 2023 年 9 月 8 日

1.7.9 受賞

1. 野津翔太, 日本惑星科学会 2022 年度最優秀研究者賞, 2023 年 5 月 22 日
<https://www.wakusei.jp/news/prize/bestpr-2022/review-research.html>
2. 小道雄斗, 令和 5 年度 東京大学大学院理学系研究科 研究奨励賞, 2024 年 3 月
<https://www.s.u-tokyo.ac.jp/ja/info/10252>

1.7.10 他大学での講義

1. 伊藤慧: 物理学概論第一 電気通信大学・情報理工学域後学期

1.7.11 委員その他

柏 川	学 内	天文学専攻専攻長
	学 内	進学指導担当教員
	学 内	ハラスメント防止委員会委員
	学 内	学生支援室運営委員
	学 内	天文学教育研究センター運営委員
	他機関	日本天文学会・代議員
戸 谷	学 内	天文学専攻入試実施委員長, 理学系研究科入試実施委員会委員
	学 内	企画調整分科会委員 (全学)
	学 内	理学系研究科人事 WG 委員
	学 内	学生懲戒委員会教員団員 (全学)
	他機関	国立天文台科学戦略委員会委員
	他機関	京都大学基礎物理学研究所運営協議会委員

田村	他機関	京都大学基礎物理学研究所将来計画委員会委員
	学内	宇宙地球国際卓越委員
	学内	宇宙惑星科学機構運営委員
相川	他機関	自然科学研究機構・アストロバイオロジーセンター長
	他機関	神戸大学・CPS 運営委員会委員
	学内	理学系研究科天文学教育研究センター運営委員
	学内	理学系研究科宇宙地球国際卓越委員
	学内	男女共同参画委員
	他機関	国際天文学連合 Steering Committee Member of Division H Interstellar Matter and Local Universe
	他機関	神戸大学・CPS 運営委員会委員
嶋作 梅田	他機関	日本天文学会代議員
	他機関	日本学術会議連携会員地球惑星科学委員会委員
	他機関	日本学術会議連携会員物理学委員会委員
	他機関	アルマ科学諮問委員会 (JSAC, EASAC)
	他機関	ALMA Advisory Committee (ASAC)
	学内	天文学専攻教務委員
	学内	理学系研究科キャリア支援室運営委員
藤井 藤井 高田	学内	理学系研究科国際交流委員会委員
	学内	理学系研究科キャンパス計画委員
	学内	理学系研究科3号館運営委員
	学内	図書委員
松永	他機関	国立天文台 TMT 科学諮問委員
松永	他機関	The good vibrations seminar series (International community of asteroseismologists), steering committee member
	学内	理学系研究科ネットワーク委員
	他機関	すばる望遠鏡 TAC 委員会 委員

1.7.12 科研費等

柏川	基盤研究 (A) [21H04490]	遠方宇宙における銀河密集領域の徹底解明
	基盤研究 (B) (分担)	キューサーから噴き出すガス流の加速機構とフィードバック効率の解明
戸谷	基盤 C [18K03692]	課題名 高速電波バーストとガンマ線バーストで探る宇宙進化
田村	新学術研究計画研究 [18H05442]	赤外線による若い惑星とハビタブル惑星の観測の新機軸
相川	学術変革領域研究 (A) 計画研究 [20H05847]	気相・固相の反応素過程に基づく中間温度における分子進化モデル
	学術変革領域研究 (A) (分担) [20H05844]	次世代アストロケミストリー：素過程理解に基づく学理の再構築
	国立天文台 ALMA 共同科学研究事業 [2019-13B]	原始惑星系円盤の化学
	基盤研究 A (分担) [21H04495]	ALMA 大型観測プログラムによる原始星円盤における惑星形成の解明
	特別研究員奨励費 [22KF0103]	非極性水中の弱い相互作用：星間大型有機分子の新たな生成経路
Gérman Molpeceres		

野津	若手研究 [23K13155] 原始星円盤・原始惑星系円盤・系外惑星大気の化学構造研究から迫る惑星系形成過程
大和	特別研究員奨励費 [23KJ0636] ALMA 高解像度観測による若い惑星形成円盤の物理・化学構造の解明
嶋作	基盤研究 (C) [19K03924] 原始銀河団の系統的探査に基づく銀河団銀河の進化の研究
伊藤	特別研究員奨励費 [22J00495] 広域多波長探査で解き明かす銀河進化における宇宙大規模構造の役割
伊藤	若手研究 [23K13141] 深多波長データと JWST による遠方宇宙における星形成活動の終焉の解明
安藤	特別研究員奨励費 [22J11975] 原始銀河団の系統的探査に基づく宇宙の高密度環境における銀河進化の解明
梅田	基盤研究 (B) [21H01123] 初期宇宙の大質量星から生まれるブラックホールの性質の解明
藤井	科研費基盤 (B) [22H01259] 星一つ一つを分解したシミュレーションで探る大質量星団形成過程 文部科学省スーパーコンピュータ「富岳」成果創出加速プログラム, 「シミュレーションと AI の融合で解明する宇宙の構造と進化」 文部科学省次世代計算基盤に係る調査研究事業システム調査チーム 科研費基盤 (C) [21K03614] 「球状星団の元素組成異常の起源の解明」
朝野	特別研究員奨励費 (DC2) [22KJ0829] 数値シミュレーションと位置天文学観測データを用いた銀河動力学の研究
平島	特別研究員奨励費 (DC1) [22KJ1153] 深層学習による映像予測を用いた銀河形成シミュレーションの高解像度化の研究
高田	基盤研究 (C) [18K03695] 赤色巨星における抑圧された双極子振動モードの謎 — 漸近理論による究明 基盤研究 (C) [22K03672] 星震学によるかじき座ガンマ型変光星の内部自転構造の推定と角運動量輸送機構の探求
松永	国際共同研究加速基金 (国際共同研究強化 (B)) [19KK0080] 近赤外線高分散分光観測で探る銀河系円盤の未開拓領域における中性子捕獲元素の合成 二国間交流事業 (共同研究・オープンパートナーシップ枠) [JPJSBP 120239909] マゼラン望遠鏡と WINERED 分光器を用いた赤色星の高精度分光観測 令和 5 年度アストロバイオロジーセンタープロジェクト研究 [AB0518] 生命のカギを握るリンの存在比の銀河間比較

1.7.13 出張記録

戸谷友則	2023 年 6 月 14 日–16 日, 伊豆・下田市, 研究会出席
戸谷友則	2023 年 6 月 14 日–16 日, 伊豆・下田市, 研究会出席
戸谷友則	2023 年 9 月 7 日–8 日, 京都大学, 研究会出席
戸谷友則	2023 年 9 月 10 日–15 日, 台湾・台中市, 研究会出席
戸谷友則	2023 年 12 月 4 日–5 日, 岐阜県下呂市, 研究会出席
戸谷友則	2023 年 12 月 10 日–14 日, 中国・上海, 研究会出席
相川祐理	2023 年 4 月 7 日–15 日, 京都, 京都国際会議場および京都市サーチパーク, Protostars and Planets VII および eDisk 打ち合わせ会議への参加 (世話人)

(次ページに続く)

大和義英	2023年4月8日-15日, 京都, 京都国際会議場および京都リサーチパーク, Protostars and Planets VII および eDisk 打ち合わせ会議での研究成果発表
野津翔太	2023年4月8日-15日, 京都, 京都国際会議場, Protostars and Planets VII での研究成果発表
鈴木大輝	2023年4月9日-15日, 京都, 京都国際会議場, Protostars and Planets VII での研究成果発表
Anton	2023年4月9日-15日, 京都, 京都国際会議場, Protostars and Planets VII での研究成果発表
Feeney- Johansson	
小道雄斗	2023年4月9日-15日, 京都, 京都国際会議場, Protostars and Planets VII での研究成果発表
相川祐理	2023年5月22日-5月28日, バージニア大学 (米国), ALMA Large Program DECO 打ち合わせ会議
野津翔太	2023年6月2日-6日, 京都大学, 山田研究会「宇宙における降着現象 活動性・多様性の源」での研究成果発表 および 京都大学宇宙物理学教室での研究議論
相川祐理	2023年6月25-7月1日, リヨン (フランス), リヨン大学, 国際研究集会 The Physics of Star Formation での講演
小道雄斗	2023年6月25-7月6日, リヨン (フランス), リヨン大学, 国際研究集会 The Physics of Star Formation での研究成果発表
野津翔太	2024年7月9日-16日, Park Place Hotel (トラバースシティ, アメリカ), IAU Astrochemistry Symposium Astrochemistry VIII での研究成果発表
鈴木大輝	2024年7月9日-16日, Park Place Hotel (トラバースシティ, アメリカ), IAU Astrochemistry Symposium Astrochemistry VIII での研究成果発表
野津翔太	2024年8月15日-17日, 甲斐駒センターせせらぎ (山梨県北杜市), 天文学ワークショップ 2023@北杜市での研究成果発表
野津翔太	2024年8月19日-23日, 下関市営国民宿舎 海峡ビューしものせき (山口県下関市), 系外惑星大気研究会 2023 での研究成果発表
野津翔太	2023年9月29日-23日, 名古屋大学, 日本天文学会秋季年会での研究成果発表
鈴木大輝	2023年9月20日-22日, 名古屋大学, 日本天文学会秋季年会での研究成果発表
Anton	2023年9月21日-22日, 名古屋大学, 日本天文学会秋季年会での研究成果発表
Feeney Johansson	
小道雄斗	2023年9月20日-22日, 名古屋大学, 日本天文学会秋季年会での研究成果発表
野津翔太	2024年10月10日-16日, 広島市文化交流会館 (広島県広島市), 日本惑星科学会 2023 年秋季講演会での研究成果発表 (最優秀研究者賞受賞記念講演)
相川祐理	2023年11月7日-10日, 北海道大学低温科学研究所, 国際会議 ISM workshop 2023 への参加 (世話人)
Gérman Molpeceres	2023年11月7日-10日, 北海道大学低温科学研究所, 国際会議 ISM workshop 2023 での研究成果発表および世話人
野津翔太	2023年11月7日-10日, 北海道大学低温科学研究所, 国際会議 ISM workshop 2023 での研究成果発表
鈴木大輝	2023年11月7日-10日, 北海道大学低温科学研究所, 国際会議 ISM workshop 2023 での研究成果発表
Anton	2023年11月7日-10日, 北海道大学低温科学研究所, 国際会議 ISM workshop 2023 での研究成果発表
Feeney- Johansson	

(次ページに続く)

- 大和義英 2023年11月7日-10日, 北海道大学低温科学研究所, 国際会議 ISM workshop 2023 での研究成果発表
- 小道雄斗 2023年11月7日-10日, 北海道大学低温科学研究所, 国際会議 ISM workshop 2023 での研究成果発表
- 小道雄斗 2023年11月20-22日, みんなの貸会議室 那覇泉崎店, 研究会「星・惑星形成: これまでの20年間とこれから」での研究成果発表
- 相川祐理 2023年12月2日-12月12日, Puerto Varas (Chile), 国際研究集会 ALMA at 10 years: Past, Present, and Future での講演
- 相川祐理 2024年2月18日-2月24日, Ringberg (Germany), 国際研究集会 Celebrating 30 Years of Protoplanetary Disk Chemistry: past, present, and future での講演
- 嶋作一大 2023/10/25-27, 木曽観測所, 基礎天文学観測
2024/2/28-3/1, 静岡県御殿場市, 御殿場高原時之栖, 「ブラックホール大研究会」, 参加
- 伊藤慧 2023/5/22-29, ニューヨーク州, Rochester Institute Technology, 研究会参加
2023/5/31-6/2, 宮城県, 東北大学, 談話会での講演
2023/6/11-13, 宮城県, 東北大学, 談話会での講演
2023/6/26-28, 愛媛県, 愛媛大学, 研究会参加
2023/9/2-9, キャンベラ, オーストラリア国立大学, 研究会参加
2023/9/10-17, カリフォルニア, TMT International Observatory, 研究会参加
2023/11/6-10, 東京, 早稲田大学, 研究会参加
- 安藤誠 2023/9/7-17, Pasadena, TMT International Office, 次世代大口径望遠鏡に関する研究集会「TMT-ACCESS」に参加
- 松井 思引 2023/9/2, 茨城県つくば市, 筑波大学 計算科学研究センター, 研究会「宇宙天体形成史」, 参加
2023/11/13-16, 愛媛県松山市, 愛媛大学 総合情報メディアセンターメディアホール, 国際研究会「HSC-AGN 2023」, 参加
2024/2/28-3/1, 静岡県御殿場市, 御殿場高原 時之栖, 「ブラックホール大研究会」, 参加
2024/3/4, 東京都新宿区, 早稲田大学 西早稲田キャンパス, PFS-AGN タウンミーティング, 参加
2024/3/24-26, 東京都三鷹市, 国立天文台 すばる棟, すばる望遠鏡の三鷹リモート観測補助「S24A-036」, 参加
- 西嶋 2023/9/20-22, 名古屋市, 名古屋大学, 天文学会秋季年会への参加
- 梅田 2023/3/12-19, 25-30 京都市, 京都大学, 研究打ち合わせ
- 高田 2023年6月23日-30日, Milazzo, Eolian Milazzo Hotel, 国際会議「PLATO Stellar Science Conference 2023」で研究発表
2023年7月1日-30日, Meudon, Paris Observatory, 研究打ち合わせ
2023年7月30日-8月12日, Cambridge, University of Cambridge, 研究打ち合わせ
2023年8月12日-26日, Garching, Munich Institute for Astro-, Particle and BioPhysics, 滞在型研究集会プログラム「Stellar Astrophysics in the Era of Gaia, Spectroscopic, and Asteroseismic Surveys」に参加, 研究発表
- 松永 2023/5/30-6/14, チリ・ラスカンパナス観測所他, マゼラン望遠鏡に WINERED を設置して行う観測
2023/10/25-11/5, チリ・ラスカンパナス観測所他, マゼラン望遠鏡に WINERED を設置して行う観測
2024/3/24-4/7, ドイツ・MIAPbP, 研究会 Abundance Gradients in the Local Universe (ADONIS)

1.8 来訪者

氏名	所属	受入	期間	備考
Sheng-Jun Lin	ASIAA	相川	2023 年 4 月 19 日	研究成果の議論
Ewine van Dishoeck	Leiden Observatory	相川	2023 年 10 月 3 日	談話会および研究成果の議論
坂井南美	理研	相川	2023 年 10 月 3 日	研究打ち合わせ
Hubert Klahr	Max-Planck-Institute for Astronomy	柴橋, 高田	2023 年 4 月 19 日	研究打ち合わせ
Alexander Kosovichev	New Jersey Institute of Technology	高田	2023 年 9 月 29 日	研究打ち合わせ
Irina Kitiashvili	NASA Ames Research Center	高田	2023 年 9 月 29 日	研究打ち合わせ

1.9 教室談話会

回	日付	講演者 (所属)	講演タイトル
1752	2023/4/11	西村優里 (天文学教室) / Vincenzo SAPIENZA (University of Palermo, staying at Department of Physics, UTokyo)	X-ray study on the synchrotron emission in Kepler's SNR
1753	2023/4/18	German Molpeceres (天文学教室)	Atomistic insights on the chemistry of the interstellar medium
1754	2023/4/25	Long Wang (Sun Yat-sen University 中山大学, 中国)	Initial mass function and star cluster dynamics: the impact of massive stars
1755	2023/5/9	Daisuke Taniguchi 谷口大輔 (National Astronomical Observatory of Japan 国立天文台)	Chemical abundances of red supergiants over a large area of the Galactic disk
1756	2023/5/16	Shota Notsu 野津翔太 (Department of Astronomy 天文学教室)	The molecular composition of shadowed protosolar disk midplanes beyond the water snowline
1757	2023/5/23	Makoto Ando 安藤誠 (Department of Astronomy 天文学教室)	Star Formation Quenching in Galaxy Clusters and Their Progenitors
1758	2023/5/30	鈴木大輝 Taiki Suzuki (天文学教室)	Chemical Evolution of Complex Organic Molecules in Turbulent Disks
1759	2023/6/20	Ross Burns (理化学研究所 Riken)	A Keplerian disk with a four-arm spiral birthing an episodically accreting high-mass protostar
1760	2023/6/27	Kisetsu Tsuge 柘植 紀節 (物理学専攻)	Evolution of the Interstellar Medium Explored by X-ray and Radio Observations
1761	2023/7/4	Kazuhiro Hada 秦 和弘 (NAOJ 国立天文台・水沢 VLBI 観測所)	First M87 imaging results from the Global Millimeter VLBI Array connected to ALMA and GLT
1762	2023/7/11	Koh Takahashi 高橋 亘 (NAOJ 国立天文台)	Developing a stellar evolution code HOSHI and application to the magnetic stellar evolution 恒星進化コード HOSHI の開発と磁気回転星への応用
1763	2023/7/18	Dang-thanh-nhan Nguyen (University of Tuebingen ドイツ・Tuebingen 大学)	Revealing the cosmic ray activities at the site of the TeV-discovered SNR HESS J1534-571
1764	2023/7/25	Daisuke Kawata 河田 大介 (英・University College London)	The formation epoch of the Galactic bar and JASMINE
1765	2023/8/1	Matt Malkan (米 UCLA)	New Surprises in Extragalactic Astronomy from JWST, a Personal Account
1766	2023/9/29	Ellis Owen (Osaka University)	Exploring the signatures of cosmic ray feedback effects in galaxy ecosystems
1767	2023/10/3	Ewine van Dishoeck (Leiden Observatory, the Netherlands)	Protostars and protoplanetary disks with JWST: first results from the JOYS and MINDS programs

(次ページに続く)

回	日付	講演者 (所属)	講演タイトル
1768	2023/10/17	Haruka Kusakabe 日下部晴香 (NAOJ/JSPS 特別研究員)	CGM observations in emission
1769	2023/11/7	朝野哲郎 (天文学教室)	N-body galaxies as theoretical counterparts of the Milky Way
1770	2023/11/14	津久井崇史 Takafumi Tsukui (オーストラリア国立大 ANU)	Disk driven galaxy transformation at $z \sim 4$: insights from spatially resolved 4D (?) ALMA data
1771	2023/11/17	檜山和己 Kazumi Kashiya (東北大学 Tohoku University)	A double degenerate merger and its remnant
1772	2023/11/28	Andrea Ciardi (Sorbonne University and Paris Observatory)	Jets, shocks and cosmic rays: computer simulations and laboratory plasmas experiments
1773	2023/12/5	Alexander Ebenbichler (University of Innsbruck)	Band profile alignment of diffuse interstellar bands
1774	2023/12/12	Yutaka Hirai 平居悠 (University of Notre Dame/Tohoku University)	Galactic Archaeology with Cosmological Simulations
1775	2023/12/14	Masashi Chiba 千葉柁司 (Tohoku University 東北大)	Deciphering the nature of dark matter from stellar systems in the Galaxy
1776	2023/12/19	Masa Sakano 坂野正明 (Wise Babel Ltd ワイズバベル)	AI 時代の理系英語コミュニケーション: 論文執筆、履歴書からレフェリー交渉まで
1777	2023/12/21	Henry Best (City University of New York and American Museum of Natural History)	Quasar modeling and parameter extraction from time variable light curves
1778	2024/1/16	Doris Arzoumanian (国立天文台)	The role of hub-filament systems in the formation of star-clusters with low- to high-mass stars
1779	2024/1/30	安井千香子 Chikako Yasui (国立天文台)	Substellar mass function of young open clusters in low-metallicity environments with JWST
1780	2024/3/26	Laia Barrufet (University of Edinburgh)	HST-dark galaxies: Unveiling the Nature of Infrared Bright, Optically Dark Galaxies with Early JWST Imaging and Spectroscopy

第2部

天文学教育研究センター

東京大学 大学院理学系研究科附属 天文学教育研究センター

〒181-0015 東京都三鷹市大沢 2-21-1

TEL : 0422.34.5021

FAX : 0422.34.5041

ホームページ : <http://www.ioa.s.u-tokyo.ac.jp/>

表 2.1: 天文学教育研究センター (三鷹)

氏名	mail address (@ioa.s.u-tokyo.ac.jp)	研究者番号
事務室 (橋口 剛)	t-hashii	
土居 守	doi	00242090
河野 孝太郎	kkohno	80321587
宮田 隆志	tmiyata	90323500
小林 尚人	naoto	50280566
峰崎 岳夫	minezaki	60292835
酒向 重行	sako	90533563
江草 芙実	fegusa	30644843
左近 樹	sakon	70451820
小西 真広	konishi	50532545
上塚 貴史	kamizuka	30613509
松林 和也	kazuya	60622454
鮫島 寛明	hsameshima	10748875
諸隈 佳菜	kanamoro	70649467
加藤 夏子	natsuko	

2.1 天文学教育研究センターの沿革と現状

東京大学 大学院理学系研究科 附属天文学教育研究センター (通称天文センター, 英訳は Institute of Astronomy, The University of Tokyo 略して IoA-UT) は, 1988 年 (昭和 63 年) 7 月に旧東京天文台が国立天文台に改組された機会に, 東京大学における天文学の教育を拡充し, 特に観測面での教育・研究を推進する目的で発足した。独自の観測装置及び大学共同利用機関における諸大型観測装置を用いた天文学研究を行うとともに, 木曽観測所およびアタカマ観測所を有し大学天文台としての機能を果している。

教育面においては, 東京大学大学院理学系研究科及び理学部における大学院生, 学部学生の研究指導と教育を天文学教室と協力して行い, 次世代の研究者の養成にあたっている。

研究面においては, 現代天文学の主要分野, 主として光学赤外線天文学と電波天文学の分野で, 観測的宇宙論, 銀河構造・活動・進化, 恒星物理学, 星間物理学の先端的な研究を行っている。装置開発を含む萌芽的基礎的な研究も進めると同時に, 国立天文台及び宇宙科学研究所などの大学共同利用機関と密接な関係を保ち, 地上観測装置及びスペース天文学において共同研究を推進し, 諸大型装置の建設と計画に積極的に参画している。また, 国内はもとより, 諸外国の研究機関とも国際共同研究を進めている。

平成 10 年度には東京大学の大学院重点化構想に基づく大学院部局化にともない, 大学院理学系研究科附属天文学教育研究センターとして大学院化した。これに伴い, 教官・職員は大学院が主務となり学部が兼務となった。

平成 10 年度の補正予算により実現した三鷹キャンパスの新教育研究棟は平成 12 年 3 月に竣工した。

平成 31 年度には天文学専攻と合同で外部評価を受け, 全般的に現在の研究・教育の両面において高く評価された。また TAO 計画 (詳しくは後述) をはじめとして将来の活動に対して様々な観点からの期待が示された。

天文センターは, 三鷹に本部を置く 3 分野 (銀河天文学, 電波天文学, 恒星物理学) と長野県木曽郡に置かれた木曽観測所により構成されていた。その後 TAO 計画推進のため平成 29 年度よりアタカマ観測所が設置され, また令和 4 年度より時間軸天文学部門が新設された。

[1] **銀河天文学分野**は, 従来からの銀河系構造・系外銀河の研究に加えて観測的宇宙論の研究を推進しつつあり, 主な研究テーマは以下の如くである。

- 銀河・銀河系の構造と進化: 星の計数観測による銀河系の構造及び表面測光による銀河構造の研究。銀河内に於ける元素合成, 星とガスの循環, 銀河の化学・スペクトル進化モデルの構築と, それに基づいた観測的な銀河系及び系外銀河の形成, 進化, 星の生成史の研究。
- 観測的宇宙論: 銀河進化モデルに基づく銀河計数解析, 宇宙モデルの研究。赤外線衛星 ISO の遠赤外線観測による銀河形成ならびにクエーサーの研究。Ia 型超新星を標準光源として用いた宇宙膨張測定と宇宙モデルの研究。可視光広視野サーベイによる銀河と銀河核・クエーサーの研究。

[2] **電波天文学分野**は, ミリ波・サブミリ波での電波観測を中心として次のような研究を行っている。

- 銀河・銀河団の形成と進化: ALMA 等を使ったミリ波サブミリ波帯銀河探査と多波長追及観測。大質量銀河やクエーサー, 電波銀河, 銀河団, 大規模構造の形成と進化の研究。天の川銀河を含む渦状銀河・棒渦状銀河の分子雲, 星間物質と星形成, 星間物理学の探究。星間化学の手法に基づく活動銀河核と爆発的星形成の研究。ガンマ線バーストや超高光度超新星, 高速電波バーストなどミリ波突発天体/時間変動天体とその母銀河の研究。
- 電波観測装置の開発と次世代計画の検討: ASTE10m 望遠鏡や Large Millimeter Telescope (LMT) 50m 望遠鏡, Green Land Telescope (GLT) 12m 望遠鏡等へ搭載するミリ波サブミリ波観測装置, 観測技術の開発。アルマの長期開発計画 (アルマ 2) への貢献, 次世代センチ波ミリ波干渉計 (ngVLA) 計画や次世代大型サブミリ波望遠鏡 (LST/AtLAST) 計画の科学的・技術的検討。

[3] **恒星物理学分野**は、主として可視光・赤外線観測による次のような各種の銀河系内及び近傍銀河内天体の観測的研究を行っている。

- 星形成領域・高温度星：赤外二次元素子等を実用化した赤外カメラ、赤外分光装置の開発、及びこれらを用いた大質量星の進化、星形成領域・分子雲などにおける物理過程の研究。
- 低温度星：地上及びスペースからの可視・赤外線観測による、赤色(超)巨星、炭素星、AGB星、晩期型(準)矮星、褐色矮星等の大気構造、質量放出、化学組成、進化などの研究。

[4] **時間軸天文学分野**は、木曾シュミット望遠鏡・TAO望遠鏡およびアリゾナ大学と共同で再立ち上げを行いつつある口径2mのMAGNUM望遠鏡を連携させ、時間軸天文学を推進するということで令和4年度に新設された。3名の教員ポストが新たに措置され、特任教授、准教授および助教が着任した。

木曾観測所(詳しくは第3部参照)ではシュミット望遠鏡による観測を中心に、大きく分けて以下の2つのグループで研究が行われている。

- 銀河系内天体の分布と進化及び銀河系構造の研究。
- 系外銀河の構造と進化及び観測的宇宙論の研究。

アタカマ観測所については東京大学アタカマ天文台を参照のこと。

以上のように、当センターは上記4分野及び2観測所において、可視光・赤外線、サブミリ波から電波にわたる広いスペクトル領域における観測的研究を中心に、恒星、星形成、銀河系、銀河から宇宙論にいたる幅広い観測的研究を行って成果をあげている。さらに関連する実験的研究においても成果をあげている。

当センターには所員に加え、約30名の大学院生・研究員が所属しこれらの研究に参加しており、研究の上で大きく貢献すると同時に教育的にも大きな効果が得られている。

2.1.1 東京大学アタカマ天文台 – TAO 計画の経緯

天文センターでは平成10年(1998年)度より、南米チリ北部アタカマ砂漠地域の5,640mの地点に口径6.5mの赤外性能に最適化した天体望遠鏡を建設運用する計画を推進してきた。これが東京大学アタカマ天文台(TAO)である。ここでは計画の経緯について述べる。

2.1.1.1 計画開始当初の経緯

TAO計画は平成10年度から検討をスタートした計画である。有志での検討、センター内での議論を経て、平成12年11月のセンター所員会議で、天文センターの計画として承認された。関連研究者、コミュニティとも対話を重ねてきており、日本学術会議天文県連では平成14年10月には天文研連委員長談話という形で、平成15年には特別議事録という形で強い支持が表明された。また平成13年および平成20年に行われた天文専攻全体の外部評価でもTAO計画はその独自性及び科学目的の斬新性で高く評価された。光学赤外線天文連絡会からも平成17年に運営委員会声明という形で指示が表明された。

チリ側での建設運用体制構築については以下のような経緯をたどった。まずチリで学術活動をする際の窓口となるチリ大学と、学術協定及び科学協定が平成15年に締結された。平成17年には、チリ法令15172号に基づく現地法人として認可をうけた。

2.1.1.2 miniTAO 望遠鏡の建設

サイトにおける活動は以下の通りである。平成13年に最初の山頂登頂に成功し、その後断続的にサイト調査を進めてきた。平成18年には山頂アクセス道路の仮設建設を行った。これを用い、山頂に1mのminiTAO望遠鏡の建設が平成21年に行われた。最初は近赤外線カメラANIRによる観測、続いて中間赤外線カメラMAX38による観測にも成功した。平成22年には、miniTAOの完成記念式典もサンチャゴで開催した。チリ共和国の記念切手も式典当日に発行された。miniTAOの運用は平成26年まで続いた。

2.1.1.3 TAO6.5m 望遠鏡の建設

TAO6.5m望遠鏡の制作予算は平成25年末に措置された。それを受け、望遠鏡部品やその付帯部品の制作が開始された。現地工事は平成30年から開始した。工事第一段階として、望遠鏡6.5m主鏡を含む大型部品輸送のため、産直アクセス道路の拡張を行った。標高5,500m以上の地域はチリ法令では超高高度領域に当たり、そこでの活動には特別な許可が必要である。TAOプロジェクトはこの許可を令和1年8月に取得した。令和2年には新型コロナウイルスの蔓延を受け、すべての山頂工事を停止した。チリ大統領令による入国禁止令が続いたこともあり、工事の本格的再開は令和3年となった。

再開後は基礎工事を完成、施設の建築工事を進めてきた。山頂運用棟の建設は令和4年度内に完成した。エンクロージャーは円筒形をしているため構造が複雑であり、また高さが高いため建設は難航したが、令和5年度内に建設を完了させることができた。

より詳細については [2.5.6 TAO 計画参照のこと](#)。

2.2 教員, 職員, 名誉教授, 研究員等

2.2.1 教員及び職員

土居	守	(どい まもる, 教授)
河野	孝太郎	(こうの こうたろう, 教授)
宮田	隆志	(みやた たかし, 教授)
峰崎	岳夫	(みねざき たけお, 特任教授)
小林	尚人	(こばやし なおと, 准教授)
酒向	重行	(さこう しげゆき, 准教授)
江草	芙実	(えぐさ ふみ, 2023.6 より准教授)
左近	樹	(さこん いつき, 2023.9 より准教授)
小西	真広	(こにし まさひろ, 助教)
高橋	英則	(たかはし ひでのり, 助教)*
上塚	貴史	(かみづか たかふみ, 助教)
松林	和也	(まつばやし かずや, 助教)
新納	悠	(にいのう ゆう, 助教)*
鮫島	寛明	(さめしま ひろあき, 助教)
諸隈	佳菜	(もろくま かな, 2023.10 より助教)
加藤	夏子	(かとう なつこ, 技術専門職員 旧姓 三谷)
近藤	莊平	(こんどう そうへい, 技術職員)*
橋口	剛	(はしぐち つよし, 事務職員, 副課長)

*印は木曽観測所勤務. 木曽観測所に関しては第3章に詳述.

2.2.2 研究員及び客員

山岸	光義	(やまぎし みつよし, 特任助教, 2021.4–2024.3)
瀧田	怜	(たきた さとし, 特任助教, 2020.7–2024.3)
今井	正亮	(いまい まさたか, 特任助教, 2023.4 – -2024.3)
小山	舜平	(こやま しゅうへい, 特任研究員, 2021.4–2024.3)
堀内	貴史	(ほりうち たかし, 特任研究員, 2022.3–2024.3)
藤田	真司	(ふじた しんじ, 特任研究員, 2022.7–2024.1)
有馬	宣明	(ありま のりあき, 特任研究員, 2022.11–2024.3)
平尾	優樹	(ひらお ゆうき, 特任研究員, 2023.4–2024.3)
櫛引	洸佑	(くしびき こうすけ, 特任研究員, 2023.4–2024.3)
前田	郁弥	(まえだ ふみや, 日本学術振興会特別研究員, 2021.4–2024.3)
沼田	瑞樹	(ぬまた みずき, 特任専門員, 2019.3–2024.3)

2.2.3 名誉教授

石田	蕙一	(いしだ けいいち, 1994.4–2013.1)
辻	隆	(つじ たかし, 1998.4–)
祖父江	義明	(そふえ よしあき, 2006.4–)
中田	好一	(なかだ よしかず, 2009.4–)
吉井	譲	(よしい ゆずる, 特別科学顧問・宇宙線研究所特任教授, 2017.4–)

2.3 天文学教育研究センター運営委員会

第16期委員(2022年4月より2024年3月まで):

大越	慎一	(理学系研究科研究科長 化学専攻)
常田	佐久	(国立天文台台長)
横山	順一	(ビッグバン宇宙国際研究センター)
相川	祐理	(理学系研究科 天文学専攻)
杉田	精司	(理学系研究科 地球惑星科学専攻)
柏川	伸成	(理学系研究科 天文学専攻)
河野	孝太郎	(理学系研究科 天文学教育研究センター)
宮田	隆志	(理学系研究科 天文学教育研究センター)
土居	守	(理学系研究科 天文学教育研究センターセンター長, 委員長)

2.4 敷地, 建物, 及び主な設備・備品

天文学教育研究センターの敷地, 建物, 及び主な設備の現状は下記のとおり(木曾観測所に関しては第3章参照).

敷地... 天文センター発足時に旧東京天文台の敷地(三鷹市大沢 2-21-1)が国立天文台と東京大学の敷地に区分された. 東京大学の敷地は総面積 34,855 m² である.

建物... 三鷹キャンパスの新教育研究棟は平成 12 (2000) 年 3 月に竣工した. 三鷹東大敷地内に, 2 階建て 2,138 m² の楕円形をした瀟洒な建物である. 大型実験棟は平成 23 年に竣工した. 1 階建て 268 m² の建設面積に, 大型実験室, 精密実験室, 遠隔実験室を備えた建物である.

主な設備・備品... 木曾観測所(3章参照), 学生実習用 30 cm 光学望遠鏡(三鷹構内敷地内), アタカマ 1 m 望遠鏡.

2.5 研究活動

2.5.1 宇宙および系外銀河

1. 超新星の母銀河の性質 (Liang; 土居; 安田直樹; 鈴木 尚孝 (フロリダ州立大); 田中賢幸 (国立天文台))
スローン・デジタル・スカイ・サーベイで発見された超新星の母銀河の性質をすばる望遠鏡 HSC 画像の解析も行って調べた。超新星は分光によって赤方偏移が測られているもので、Ia 型が 273 個 ($z \leq 0.3$)、重力崩壊型が 44 個 ($z \leq 0.1$) である。母銀河の多色データの SED フィットし、星生成の活発な銀河と不活発な銀河に分類し、明るさ及び星質量の分布を調べた。Ia 型超新星の母銀河は明るい大質量の側は星生成の不活発な銀河が、また暗い小質量の側は星生成の活発な銀河が多くを占めた。また重力崩壊型超新星の母銀河は星生成の活発な銀河が大部分であった。重力崩壊型超新星の母銀河は中程度の質量の銀河が多かった。一方 Ia 型超新星では母銀河の質量が大きくなるほど超新星の出現率が高くなった。超新星の出現率を母銀河の質量で規格化すると、Ia 型超新星では質量依存性が小さかったのに対し、重力崩壊型超新星では母銀河の質量が大きくなるほど出現率は減少した。これは重力崩壊型超新星の出現率は星生成率にほぼ比例していることを示唆する。(Liang et al., in prep).
2. SWIMS 中帯域フィルタ撮像データを用いた $z \sim 2$ 輝線銀河の研究 (陳諾, 本原 (東京大学); Spitler (Macquarie University); 小西)
星形成活動のロバストな指標と考えられる $H\alpha$ 輝線を効率良く観測する手法として、我々は中帯域フィルターを用いて輝線によるフラックス超過を検出する方法を確立し $z \sim 2$ 銀河の探査を進めてきた。2018 年にすばる望遠鏡で行った SWIMS 試験観測で取得した K バンド中帯域フィルターデータを ZFOURGE サーベイ多色測光カタログと組み合わせ、 $H\alpha$ や $[OIII]$ 輝線の輝線強度を抽出し、 $z \sim 2$ 銀河の星質量、年齢や星形成率、電離状態などとの関係性を調べた。その結果、 $H\alpha$ 輝線銀河という種族には星質量が小さい一方で非常に大きな輝線等価幅を示すものが多く存在することが明らかとなった。これらの性質は $[OIII]$ 輝線銀河や $Ly\alpha$ 輝線銀河といった宇宙再電離に影響を及ぼすと考えられている銀河種族に近いことから、今後は化学進化に加えて宇宙再電離との関係についても調査していく (Chen et al. 2023).
3. NRO 45m による近傍 U/LIRGs の分子ガスに関する研究 (小山; 本原 (東京大学); 高橋, 小西, 櫛引; 陳諾, 幸野友哉, 安田彩乃, Jeung Yun (東京大学), 小山 (国立天文台))
非常に高い赤外線光度をもつ銀河である U/LIRGs は、活発な星形成活動を行っており、銀河進化にとって重要な銀河種族と考えられている。我々は U/LIRGs の活発な星形成活動の起源を探るため、2017 年に近傍 U/LIRGs に対して NRO45m による CO(1-0) 観測 (PI: 本原) を実施した。データ解析の結果、星形成活動の増大には分子ガス質量比と星形成効率の両方が関わっていること、銀河形態の分類 (衝突の傾向の有無) による分布傾向の違いが見られないこと (Yasuda et al. in prep) などが分かってきている。また現在、これまでの観測で CO(1-0) を検出できなかった U/LIRGs や、SWIMS で近赤外線分光を取得した U/LIRGs に対して、追加の NRO45m による CO(1-0) 観測 (PI: 小山) を実施しているところである。今後、この新たなデータも加えて、U/LIRGs の星形成活動をより詳しく探っていく予定である。
4. ダスト減光量とガス柱密度の比較による AGN 近傍 dusty/dust-free gas 構造の性質調査 (水越翔一郎, 峰崎, 鮫島; 小久保充 (国立天文台); 野田博文 (大阪大); 川室太希, 山田智史 (理研); 堀内)
活動銀河核 (AGN) で観測される視線方向のダスト減光量 (A_V)、中性ガス柱密度 (N_H) を比較すると、一般的に銀河系星間物質のダスト-ガス比を仮定した場合に比べて N_H に大きな超過が見られる。これは従来、AGN 近傍にダストを含むガス (dusty gas) に加え、ダストを含まないガス (dust-free gas) が多く存在する、という仮説で説明されてきたが (e.g. Burtscher et al. 2016)、この dust-free gas を分離して調査する手法はこれまで提案されていなかった。そこで本研究では、 A_V と銀河系星間物質のダスト-ガス比から求まる N_H を dusty gas 由来、そこからの N_H の超過分を dust-free gas 由来として両者を成分分離し、それらと Eddington 比 (f_{Edd}) との関係性を調査した。まず、 A_V と f_{Edd} を比較した結果、dusty gas

が輻射圧で飛ばされる光度 (有効 Eddington 光度) に対応する f_{Edd} 付近で天体数が急激に減少し、それより大きな Eddington 比を持つ天体が全体の約 4% と非常に少なかった。これは、Eddington 比の大きな obscured AGN では輻射圧による dusty gas outflow が生じ、dusty gas の量が大きく減少するというシナリオ (Ricci et al. 2022) と無矛盾である。次に、dust-free gas 成分の N_{H} と f_{Edd} を比較した結果、dusty gas とは異なり、dust-free gas の有効 Eddington 光度より暗い領域からすでに緩やかに天体数の減少が見られることがわかった。これは、活発な AGN では dusty gas と同様に dust-free gas も outflow を生じる一方、その発生機構は輻射圧以外である可能性を示す結果である (Mizukoshi et al. submitted)。

5. 輻射流体シミュレーションと観測の比較に基づく AGN ガス柱密度分布のばらつきの起源調査 (水越翔一郎; 工藤祐己 (東北大学); 和田桂一 (鹿児島大); 峰崎, 鮫島; 小久保充 (国立天文台); 野田博文 (大阪大))
活動銀河核 (AGN) は、同じダスト減光量をもつ場合でも天体ごとに中性ガス柱密度 (N_{H}) に 2 桁程度のばらつきが見られる。これは、AGN 近傍のダストを含まないガス (dust-free gas) 構造に由来すると解釈されてきた (e.g. Burtscher et al. 2016)。本研究では、AGN 近傍 sub-pc スケールのガス運動、アウトフローを調査した輻射流体シミュレーション (Kudoh et al. 2023) に基づく N_{H} の時間変動データと X 線 AGN サンプルにおける A_{V} , N_{H} の観測データとを比較し、天体ごとにみられる N_{H} のばらつきが dust-free gas 構造の時間変動で説明できるかを調べた。シミュレーションの結果、円盤面に近い視線 (仰角 $\theta \lesssim 20^\circ$) ではダストの有無によらず N_{H} の時間変動はあまり見られなかった一方、仰角 $\theta \gtrsim 20^\circ$ では最長数十年スケールで dust-free gas に由来する N_{H} が 2 桁以上の変動が見られた。dusty gas に由来する N_{H} は、トーラス表面付近に相当する狭い仰角範囲でのみ大きな変動を見せた。次に、シミュレーションと AGN サンプルの観測データとを比較した結果、sub-pc スケールのモデル単体では N_{H} の分布に対して A_{V} が観測より典型的に小さくなった一方、outer torus 成分として Wada (2015) のトーラスモデルを加味すると、 N_{H} のばらつきを含む観測データ点の分布がよく再現された。本研究の結果は、 A_{V} vs N_{H} 図における N_{H} の天体ごとのばらつきが確かに dust-free gas の時間変動で説明できることを示唆する。
6. 近傍棒渦巻銀河 NGC 3627 における分子雲衝突に関する研究 (前田郁弥, 江草実実; 太田耕司 (京都大学); 藤本裕輔 (会津大学); 羽部朝男 (北海道大学); 小林将人 (ケルン大学/NAOJ))
近傍棒渦巻銀河 NGC3627 を対象に分子雲衝突と星形成の関係を調べた。NGC3627 は Bar-end で非常に活発な星形成活動が見られる一方で、棒部では星形成活動が弱く、星形成の多様性がはっきり見えるため、分子雲衝突によって星形成が誘発 (抑制) されるための物理条件を解明するのに適している。さらに、この銀河は近傍 (10 Mpc) に位置しており、分子ガスも豊富であるため、ALMA 望遠鏡を用いて分子雲衝突の直接観測が比較的容易でもある。分子雲のカatalogを用いて、ランダム運動の仮定のもと分子雲同士の衝突速度を求め、星形成率と比較した。その結果、分子雲衝突の星形成効率 ϵ_{CCC} (衝突した分子ガスのうち星に転換される質量割合) は銀河の内部構造に依存し、Bar-end に比べて棒部で低いことがわかった。どちらの領域でも、衝突速度が大きいほど ϵ_{CCC} は小さくなる傾向があるが、bar-end のほうが棒部に比べて分子雲面密度が高いため、同じ衝突速度でも bar-end のほうが ϵ_{CCC} が高いことが確認された。この結果は、分子雲衝突シミュレーションで報告されている傾向と定性的に一致している。分子雲衝突の現場を更に詳しく調べるため、ALMA 望遠鏡に高角分解能分子ガス観測を提案中である。
7. 潮汐矮小銀河と潮汐尾の分子ガスに関する研究 (前田郁弥, 江草実実, 河野孝太郎, 辻田旭慶, 井上修平; 廿日出文洋 (NAOJ); 他)
潮汐矮小銀河 (Tidal Dwarf Galaxy; TDG) は銀河同士の衝突の際にガスの一部が潮汐力によって放出されてできる潮汐尾 (Tidal Tail) に沿って誕生した低質量銀河である。TDG には分子ガスの素となる HI ガスが豊富に存在する。TDG は渦巻銀河の渦状腕のような構造が存在しないだけでなく、潮汐力の影響で暗黒物質もほとんど存在しないことが、普通の渦巻銀河とは全く異なる環境であるが HII 領域が見られ大質量星形成が起きている。このような特異環境の分子ガス観測は進んでおらず、分子ガスの性質は未解明である。そこで、我々は野辺山 45m 望遠鏡を用いて、近傍の典型的な衝突銀河であるアンテナ銀

河の潮汐尾に属する TDG を対象に CO(1-0) 観測を行った。その結果, TDG において星形成が見えているところだけではなく, 星形成が見えていないところにも 大量の分子ガスが存在することを明らかにした (Maeda et al., 2024, ApJ, 962, 4). 更に詳しく分子ガスの性質を調べるため, ALMA 望遠鏡でのフォローアップ観測が実行されている。

8. ALMA による近傍棒渦巻銀河 M 83 の全面 CO マッピング (江草英実, 前田郁弥; 幸田仁 (Stony Brook); 廣田晶彦 (国立天文台/JAO); Amanda Lee (UMass); 長田真季, 徳田一起 (九州大学))

M 83 は典型的な棒渦巻銀河であり, 非常に近傍 (距離約 4.5 Mpc) にあるため, これまでに非常に多くの研究がなされてきた。ALMA でも, 運用開始直後の Cycle 0 から CO(1-0) の観測 (PI: 廣田) が実施されてきた。ただし, これら初期の観測は, 感度や観測時間の制限から銀河の一部分に限られていた。そこで我々は, Cycle 5 で CO(1-0) 輝線の全面観測を提案して採択され (PI: 幸田), 空間分解能 40 pc, 質量感度 $10^4 M_{\odot}(3\sigma)$ のデータを得た (Koda et al., 2023, ApJ, 949, 108). このデータと HI や遠赤外線のだストマップを利用して, ダストガス比と CO-to-H₂ 変換係数 (α_{CO}) を銀河中心からの距離ごとに決定した (Lee et al., 2024, ApJ, accepted). 分子雲同定では約 5000 もの GMC が検出され, 質量による分布の違いや空間分解能以下の分子雲の filling factor についての調査を実施した (Hirota et al., submitted). さらに GMC の中には, 周囲のガスとは大きく異なる速度で運動するもの (High velocity clouds; HVCs) があることを発見した。これらの分子雲は他の GMC と比較して速度幅がやや広い傾向をもつこと, HII 領域や SNR 候補天体との比較から星形成フィードバックの影響は小さいと考えられることがわかった (Nagata et al., in prep).

9. Super-MAGNUM プロジェクト及び反響マッピングによる遠方活動銀河核の距離測定の検討 (吉井 (東京大学, アリゾナ大学); 峰崎, 鮫島; 野田 (大阪大学); 小久保 (国立天文台); 越田, 小林 (国立天文台); 岩室 (京都大学))

MAGNUM プロジェクトは活動銀河核のダスト反響探査法を応用した独自の距離測定法を提案し, 口径 2m MAGNUM 望遠鏡による赤方偏移 $z < 0.6$ の活動銀河核の観測により, 標準的な加速膨張宇宙モデルを支持する結果を得た (Yoshii et al. 2014; Minezaki et al. 2019). そこで本手法をさらに遠方の活動銀河核に拡大し, 膨張宇宙モデルやダークエネルギーの性質を明らかにするため, 東京大学 TAO 望遠鏡による高赤方偏移クエーサーの広幅輝線反響探査 Super-MAGNUM Legacy 計画の検討をしている。本研究は種ブラックホール問題や銀河形成期の銀河との共進化など初期宇宙研究の多彩な研究テーマについても重要な知見をもたらすと期待される。

今年度とはとくに, 2023 年に打ち上げ成功した X 線天文衛星 XRISM や現在建設中で近年中に運用開始予定の Vera Rubin 天文台 LSST 望遠鏡との連携研究の検討を進めた。観測領域を問わない XRISM など衛星望遠鏡との連携研究において TAO 望遠鏡は南天をカバーする日本の光赤外線大型望遠鏡として極めて重要であり, また LSST との連携研究においても高い分光感度, 常時搭載する赤外線観測装置, LSST と同じく南半球に位置するなどの優れた特長をもつ。とくに LSST は大規模可視時間軸天文学を展開するため, その観測データは活動銀河核時間軸研究を追求する Super-MAGNUM 計画との親和性は高い。

10. 近傍活動銀河核 NGC 4151 の最高エネルギー分解能 X 線観測との同時可視赤外線分光測光モニター観測 (峰崎, 葉, 鮫島, 水越, 堀内; 野田 (大阪大学); 小久保, 柳澤 (国立天文台); 斎藤 (兵庫県立大学); 岩室, 及川, 呼子 (京都大学); 松下, 小林, 平田, チョウ (東京理科大学); 山田 (理化学研究所); 永山 (鹿児島大学))
- 活動銀河核に観測される中性鉄蛍光輝線 ($K\alpha$ 線, $E=6.4$ keV; 以下, 中性 Fe $K\alpha$ 輝線) は, ブラックホール近傍からの一次 X 線放射を周辺物質中の鉄が光電吸収・再放射して生じる。中性 Fe $K\alpha$ 輝線は物質の状態 (ダストの有無や電離度) によらず物質の分布を忠実に反映し, ダスト層に遮蔽された活動銀河核でも観測できるため, 中性 Fe $K\alpha$ 輝線は活動銀河核の内部構造の研究に極めて有用である。

2023 年 9 月 7 日に打ち上げ成功した XRISM 衛星の観測装置 Resolve はこれまでより約一桁上回る最高のエネルギー分解能を実現し, 速度場情報も加えて中性 Fe $K\alpha$ 輝線研究に飛躍的な進展が期待される。一

方で活動銀河核中で働く物理機構には各構造を構成する物質の状態もまた大きな影響を持っており、このため中性 FeK α 輝線の放射領域を活動銀河核の各内部構造に比較・同定することが重要である。しかしながら、中性 FeK α 輝線の放射源には諸説あって未だ確立されていない。

そこで我々は XRISM 衛星による NGC 4151 の合計 5 回実施される予定の X 線観測と同時に、国内各大学・組織の地上望遠鏡によって可視赤外線分光測光モニター観測を開始した。得られた観測データに対して時間変動のタイムスケール、反響探査法や多波長変動光度相関、輝線プロファイルおよびその時間変動比較など様々な手法を用いて、中性 FeK α 輝線放射領域を活動銀河核の各内部構造と比較・同定し、活動銀河核中の物質分布と運動の状態を明らかにする。

11. 周期的光度変動を示す極高光度キューサーのモニター観測 (堀内; 鳥羽 儀樹 (国立天文台); 三澤 透 (信州大学); 他 OISTER collaboration)

キューサーは宇宙最大規模の光度をもつ活動銀河核の一種である。キューサーの性質の 1 つに光度変動が挙げられるが、一般にはランダムに変動する。しかしながら、キューサー PG 1302-102 に見られるような周期光度変動を示す稀な天体が近年次々と報告されてきた。このような変動の原因は詳しく解明されていないが、有力候補として大質量ブラックホールバイナリーの軌道運動が挙げられる。

本研究では、extremely luminous infrared galaxy (ELIRG) としても同定されている非常に明るいキューサー、WISE J0909+0002 ($z = 1.87$) が周期光度変動を示すことが Catalina Real-time Transient Survey (CRTS), Zwicky Transient Facility (ZTF) 等のアーカイブデータからわかったため、より測光精度の高いデータを取得すべく、光赤外大学間連携 (OISTER) に継続的なモニター観測を提案した。周期解析の結果、WISE J0909+0002 の周期光度変動は継続している可能性が高いこと (静止系での周期 ~ 670 days) がわかった。また、バイナリー天体の運動により、観測されるフラックスが相対論的効果を受ける現象、すなわち相対論的ドップラーブーストから予測される振幅-フラックスのべき比と概ね一致することがわかった。その一方で、SED は circumbinary disk model から予想されるものと不一致であることもわかったため、継続的な観測で新たな知見が得られる可能性がある (Horiuchi et al., in prep).

2.5.2 銀河系および星間物質

1. 2.45GHz マイクロ波を用いた有機物合成装置及び分析系の設計製作 (左近 樹, 尾中 敬)

これまでの研究から、新星の生み出す有機物の塵の性質を極めてよく再現する急冷窒素含有炭素質物質 (QNCC) を、マイクロ波加熱を利用したプラズマガスの凝縮によって合成することに成功し、その有機物に生命の前駆物質の観点で重要な窒素が「アミン」の形態で含まれることを特定した。星間有機物との物性の比較を行い、星間有機物の物質同定に繋げるためには、さらなる有機物の合成実験と分析が必要であるが、現在使用している有機物の塵の合成実験装置は、製作から 50 年近くが経過し老朽化が進んでいる。このため、新たに同手法で、さらにプラズマの組成や物理状態を特定できるように分析系を充足させた実験装置を新たに製作し、天文学教育研究センター精密実験室にて組み上げた。現在調整を進めている。

2. 昇温脱離 (TPD) 分析に基づく急冷窒素含有炭素質物質の化学構造の特定 (妹尾梨子, 左近 樹, 尾中 敬; 羽馬哲也 (東京大学大学院総合文化研究科), 吉井丈晴、清水俊介、川口遼 (東北大学))

新星周囲で合成される有機物の塵の模擬物質として生成した急冷窒素含有炭素質物質 (QNCC) の化学構造を特定する目的で、東北大学の吉井助教らが開発した真空高温昇温脱離 (TPD) 分析装置を用いて、QNCC および filmy QCC (急冷炭素質物質) の高温真空 TPD 分析および X 線光電子分光分析を実施した。その結果、filmy QCC および QNCC の炭素は sp³ 結合を多く含む形態で存在し、アルキル基は少なく水素で終端された状態にあり、窒素は pyloric のほか、pyridinic またはアミン修飾ナノダイヤモンドなどに含まれるアミンの形態で存在することを明らかにした。

3. LHD プラズマを利用した有機物塵の変成実験 (左近 樹、宮田隆志、尾中 敬; 小林政弘、中村浩章 (核融合研); 小林憲正 (横浜国立大); 癸生川陽子 (東工大))

マイクロ波を用いて生成するプラズマとは異なる条件で合成される窒素や水素・重水素のプラズマが炭化水素の塵と相互作用をする際に得られる有機物の塵の物性を探る目的で、核融合学研究所の大型ヘリカル装置 (LHD) プラズマの外縁部の希薄で比較的低エネルギーのプラズマを炭化水素の塵に照射する実験を実施した。観測される未同定赤外バンドの特徴を再現する担い手の物質同定とその特徴を生む物理要因の特定を目的として、2024 年の LHD プラズマ変成実験の提案を新たに行った。

2.5.3 恒星および系外惑星

1. JWST で得られた WR140 周りに見られる未同定赤外バンドの観測データ解析 (妹尾梨子, 尾中 敬; G.C. Sloan(STScI); R. Lau(NSF's NOIRLab); 谷口琴美 (国立天文台); C. Russell(University of Delaware); 松原 (ISAS)

大質量星の終焉の姿である Wolf-Rayet(WR) 星は、そのライフサイクルの短さから、宇宙初期の物質供給において重要な役割を持つと考えられている。そのため、WR 星が生成する物質がどの程度変性に対して強いのかを知ることは、初期宇宙の物質供給源を知る上で重要である。WR140 という天体は C-rich な WR 星と O 型星の、軌道がよく知られた連星系で、JWST の観測により、WR140 で 17 個のダストシェルが検出され、ダストシェルからは炭素質ダストに由来すると考えられる未同定赤外バンドも検出された (Lau et al. 2021)。WR140 では約 7.93 年の周期で定期的にダストを生成していると考えられており、内側のダストシェルほど新しく作られたダスト、外側のダストシェルほど昔作られたダストが存在していると考えられる。そこで本研究では WR140 周りで、生成されたダストの赤外線フィーチャーにどのような変化が見られるかを調べることで、WR140 周りのダストがどのように変性しているかどうかを明らかにすることを目的として、JWST の MIRI/LRS で得られたダストシェル (Shell 2-7) の分光データ解析に着手した。

2. 褐色矮星の近赤外線高分散分光観測 (鯨島)

チリ・ラスカンパナス天文台のマゼラン望遠鏡に近赤外線高分散分光器 WINERED を搭載し、褐色矮星の近赤外線高分散分光観測を継続的に行っている。本年度は 6 月と 10 月に計 2 回の観測ランが設けられ、うち後半はラスカンパナス天文台に赴いて主体的に観測を実施した。昨年度の試験観測期間中に取得した L0 型褐色矮星 1 天体に加え、今年度は L7+T0 の褐色矮星連星、更には可視光スリットビューアーには写らないためスリット導入にブラインドオフセットが必要な T4.5 型褐色矮星の高品質なスペクトルを取得することにも成功した。これにより、データセットがカバーする温度範囲の拡張を達成した。

3. 近赤外線狭帯域フィルター撮像観測による大質量星クラスター形成・進化の観測的研究 (高橋; 奥村真一郎 (日本スペースガード協会))

Ib/c 型超新星の母天体である Wolf-Rayet 星 (WR) の他、LBV, YHG, RSG などを含む大質量星クラスターの形成・進化過程および年齢、さらにその空間分布や星間物質への寄与などの解明を目的とした研究を行っている。観測データは近赤外線波長連続的なデータ取得が可能なチリ・チャナントール山頂の miniTAO/近赤外線カメラ ANIR に搭載された、大質量星の検出に有効な 2 枚の狭帯域フィルター ($N187=1.875\mu\text{m}$, $N207=2.07\mu\text{m}$) と Ks バンドフィルターで得られたものである。N187 は通常地上からは検出が非常に困難な電離水素 $\text{Pa}\alpha$ 輝線や He 輝線が観測でき、WR・LBV などの検出に有効である。N207 は WC 型 WR 星に特徴的な [CIV] 輝線を効率的に検出できる。このフィルターセットから得られる 2 色図は、輝線星の検出や減光量の見積もりのみでなく、減光の大きな領域での減光量を補正した Ks 等級とカラー情報を精度良く与えるため、若い天体も含めた大質量星の形成から終末に至るあらゆる進化段階の天体の検出に有効である。

これまでに、天の川銀河とは金属量が異なる LMC について詳細解析を進めている。観測領域は LMC の中でも大質量星が多く存在し、星形成が活発な 30Doradus 周辺の R136 から分子雲が卓越している N160–N158 にかけての複数領域である。特に R136 領域は 150 太陽質量を超える超巨大質量星が存在するとされ、星の誕生や進化過程に銀河系内クラスターと違いがあると考えられるが、2 色図からは多くの大質量星が同定された。また 2 色図が領域によって異なる特徴を示すことも明らかにした。2 色図の領域ごとの分布の違いはクラスターの IMF や年齢に依存する他、周辺環境や金属量にも関係する可能性がある。他波長での観測結果も併せて考えると、R136 領域から N160–N158 領域に向けて星形成が空間・時間的に連続的に変化していることが示唆される。他の観測結果との比較を行い、我々の観測結果の整合性の確認およびこの領域の星形成の進化シナリオの構築中である。

2.5.4 太陽及び太陽系

1. 金星探査機「あかつき」による惑星規模大気波動の観測 (今井; 神山徹 (産総研); 堀之内武 (北大); 田口真 (立教大); 杉本憲彦 (慶應大))

金星探査機「あかつき」に搭載された紫外イメージャー (UVI) と $10\mu\text{m}$ 中間赤外カメラ (LIR) の観測から、金星の $\sim 70\text{km}$ 雲頂高度における風速と温度を変化を解析し、約 4–5 日の周期擾乱変動を引き起こす惑星規模の大気波動 (Kelvin 波や Rossby 波といった惑星波) の水平風速・温度構造を捉えることに成功した。これによって、惑星波による南北方向の熱・運動量輸送を初めて定量的に評価することが可能となり、金星大気スーパーローテーションの変動と惑星波の消長を結びつけた金星大気大循環の理解が大きく前進した。本成果は現在、金星大気大循環モデル (GCM) と観測結果の比較から波の励起源に関する考察をまとめ、アメリカ地球物理学連合の学会誌 (JGR-Planet) への投稿を準備中である。

2. AFES-Venus GCM による金星夜面 $2\mu\text{m}$ で観測されたメソスケール渦の再現 (今井; 高木征弘, 安藤紘基 (京産大))

金星夜面の $2\mu\text{m}$ CO_2 吸収帯を使った赤外線撮像観測から、金星の雲層内 (高度 $\sim 50\text{--}60\text{km}$) に $\sim 5000\text{km}$ サイズの渦状雲構造が出現する様子が捉えられている。本研究では、この渦の形成メカニズムや成長と減衰のライフサイクルに関する理解を深めるために、AFES-Venus GCM (金星大気大循環モデル) を用いて雲層内で見られる渦構造を大気力学の観点から解析した。シミュレーションの結果、この渦は高度 60km の南北半球緯度 30° 付近に ~ 30 日の時間スケールで交互に出現するジェットが種となり、順圧不安定 (南北シアア不安定) によって形成される可能性を捉えた。また、渦周辺の鉛直流から予想される雲分布は、観測されている雲構造 (下層からの熱放射が雲によって遮蔽されたシルエット) と整合的であることを明らかにした (投稿準備中)。現在、この渦の構造や時間発展の詳細を観測的に理解すべく TAO を含めた地上望遠鏡観測の計画を立案中である。

2.5.5 望遠鏡、観測機器、ソフトウェアの製作と開発

1. せいめい望遠鏡 可視 3 色高速撮像分光装置 TriCCS の開発 (松林, 土居, 酒向, 新納; 前田, 太田, 村田, 川端 (京都大学); 都築, 池之上, 小原, 尾崎, 本原 (国立天文台))

木曽観測所 Tomo-e などによる可視光広視野サーベイや重力波を含む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年々増している。我々は突発天体のフォローアップ観測を目的とした可視 3 色高速撮像分光装置 TriCCS を開発し、京都大学 3.8m 望遠鏡 (せいめい望遠鏡) に接続して観測運用を行っている。TriCCS は検出器に CMOS を採用し、最速秒間約 98 フレームでの観測が可能であり、高速変動減少の解明に威力を発揮する装置である。

TriCCS はスリット分光機能を有しているが、シーイングによる天体像の広がりや天体像位置のずれにより、スリットを通る天体光の割合が減少し、観測の効率が下がってしまうことがある。そこで、コンパクト

なイメージスライサー型面分光ユニットを開発して TriCCS に組み込むことで、天体像サイズが広がったり天体像位置がスリット幅方向に動いたりしても、天体光損失を減らして観測効率が下がらないようにすることを計画している。国立天文台 先端技術センターと共同で開発を行い、2023 年度に光学系製作と機械系の設計と製作を進め、面分光ユニットを完成させた。2024 年度に面分光ユニットをせいめい望遠鏡に輸送し、試験観測を行う予定である。

2. FUJIN 気球望遠鏡の科学観測計画の立案と天体導入システムの開発 (今井; 田口真, 河野大輔 (立教大); 莊司泰弘 (金沢大); 中野壽彦 (大分高専))

地球成層圏 32 km から広い波長域と高い空間分解能の観測を可能とする新たなプラットフォームとして大気球望遠鏡 FUJIN-2 の開発を進めている。FUJIN-2 を活用した科学観測課題として、金星の雲頂高度で特徴的な模様を作る原因ともなっている未知の紫外線吸収物質の同定を掲げ、FUJIN-2 のシステム概要とまとめて立案した計画をまとめた (Imai et al. 2023)。FUJIN-2 では、ゴンドラの姿勢制御や望遠鏡経緯台による天体捕捉と追尾、二軸可動鏡 (TTM) によるリアルタイム追尾エラー補正の3段階のポインティング制御によって目標天体を追尾する。このうち3段階目では、望遠鏡で集光された光の一部をハーフミラーによって位置検出用の光電子増倍管 (PMT) に導き、PMT で検出された天体像位置の中心からの偏差をフィードバックして TTM をリアルタイムで制御する。2023 年度はこの PMT - TTM の制御プログラムの開発と TTM の性能評価実験を行い、2024 年夏に予定している地上試験の準備をすすめている。

3. グリーンランド望遠鏡搭載用多色サブミリ波カメラの開発 (井上修平, 宇野慎介, 河野孝太郎; 大島泰, 都築俊宏 (国立天文台); 竹腰達哉 (北見工業大学); 長沼桐葉, 山村亮介, 酒井剛 (電通大); 渡邊一輝 (総研大); 丹羽佑果 (東京工業大学); 美馬寛 (情報通信研究機構); 藤田和之, 森章一, 木村勇氣 (北大); 中坪俊一 (宇宙科学研究所))

ミリ波およびサブミリ波帯の撮像観測は、宇宙大規模構造や銀河形成の進化史をたどるうえで欠かせない手法である。近年の光子直接検出器アレイを用いた高感度なサーベイ観測は、運動学的スニヤエフ・ゼルドビッチ効果を用いた銀河団の運動状態の推定に重要な手法であり、宇宙最大の天体である銀河団の動的な進化過程の解明を可能にする。この波長帯の観測は、これまで南極やチリ・アタカマ砂漠など、大気吸収の影響が少ない環境下で推進されているが、すばる望遠鏡をはじめとする観測データが広く利用可能な天体に対する、北天での観測が不足している。そこで我々は、デンマーク領グリーンランドに設置されているサブミリ波望遠鏡、グリーンランド望遠鏡に、広視野かつ多色撮像可能なサブミリ波カメラを設置し、大規模な銀河団サーベイを行うことを計画している。そこで、これまで ASTE 望遠鏡用に開発してきたサブミリ波カメラシステムをベースにして、130–700 GHz の大気の窓を3色以上で同時撮像観測が可能な観測システムの構築を推進している。

2023 年度は、多色観測を実現する検出器チップの各コンポーネントの設計、製造、性能評価を推進した。設計においては、平面ハイブリッドカップラー、多色オンチップフィルター、簡便な製造・性能評価に向けたシリコンレンズ結合型広帯域平面アンテナに注力した。平面ハイブリッドカップラーでは、電磁界・回路シミュレーションを併用した効率的な手法により、ミリ波で広帯域 (130–295 GHz) かつ検出器のアレイ化に適した単層の平面解を得る設計手法を確立し、最適解の試作を行った。結果は修士論文 (井上) にまとめ、6–14 GHz のスケールモデルに関して、国際会議 (LTD20, 井上他, 2023 年 7 月) で報告した。多色オンチップフィルターでは、後段の光子検出器 MKID に高効率で結合できる新たな回路設計の最適化を行い、ミリ波3色 (150, 220, 270 GHz) のバンドパスフィルターの設計解を得た。この成果は、国際会議 (ISS2023, 宇野他, 招待講演, 2023 年 11 月) 等で報告した。広帯域アンテナに関しては、天文学応用が進んでいなかった平面のダブルボウタイスロットアンテナに着目し、設計最適化を行い、ミリ波の広帯域解 (130–290 GHz) を得た。上記を含む検出器素子群の設計の成果を統括し、博士論文 (宇野) にまとめた。製造・性能評価に関しては、アンテナ・MKID を結合した検出器パターンを製造し、実験室で冷却試験を行い、共振周波数の応答を確認するなど、今後の検出器チップの統合試験に向けて着実に進展している。今

後は引き続き、サブミリ波帯も含む多色検出器チップに関して、各々のコンポーネントの設計・製造・性能評価を進め、新しい多色検出器技術の確立を目指す。

4. あかり衛星近中間赤外線カメラ MIR-L チャンネルのスリット分光データの解析手法の開発 (左近)

高橋葵 (ISAS/JAXA), 大坪貴文 (産業医科大学) らとの共同研究で、あかり衛星近中間赤外線カメラの MIR-L チャンネルの LG2 スリット分光モードで取得した 16–26 μm 帯の黄道光の分光観測により、黄道光ダストの性質の研究を進めている。この過程で、信頼できる黄道光スペクトルを本データから得るためには、さまざまな artifacts を精度よく除去する必要がある。その見積もりや解析手法を整備する目的で、2 次光の 1 次光に対する効率の波長依存性を精度よく求め、2 次光成分がスリット分光領域に作るパターンを精度よく差し引き、精度よく LG2 スリット分光による拡散光のスペクトルを取得する手法の開発を進めている。

5. JASMINE ミッション検討に向けた観測シミュレータの開発と観測位置決定精度の検証 (上塚, 福井; 郷田, 鹿野, 和田, 大澤, Ramos, 宮川, 矢野, 辰巳, 三好, 泉浦 (国立天文台); 山田 (京都大学); 河田 (UCL); 片坐, 河原, 磯部, 臼井 (JAXA); 逢澤 (SJTU); 平野, 大宮 (ABC); 立川 (高知高専); 服部 (統数研); 吉岡 (海洋大); Löffler, Biermann (University of Heidelberg))

JASMINE ミッションは JAXA 宇宙科学研究所の公募型小型三号機に選定されたプロジェクトで、近赤外線観測による位置天文観測とトランジット観測の実施により、天の川銀河の中心領域の構造形成史の解明と生命存在可能な地球型惑星の発見を目指す。観測は二次元アレイ検出器を用いて実施するが、それによりミッション目標から要求される精密な天体位置計測および測光観測が実現可能かを検討することは、ミッション定義審査を控えた本プロジェクトにおいて非常に重要である。この検討のため、実観測を模擬する観測シミュレータ jasmine-imagesim を開発し、これを用いた天体位置計測精度の評価を実施した。検討の結果、衛星の姿勢制御誤差と検出器のローリングリセット/読み出し運用の組み合わせにより、天体位置計測精度が悪化する可能性があることがわかった。今後この問題への対処方法を検討する。これらの結果について、国際光工学会 (SPIE) の国際研究会 Astronomical Telescopes and Instrumentation において講演および集録論文の発表を予定している。

2.5.6 TAO 計画

天文センターでは南米チリアタカマ砂漠の標高 5,640 m の地点に赤外線観測に最適化した口径 6.5 m の大型望遠鏡を建設・運用する計画 (TAO 計画) を推進中である。

2.5.6.1 TAO 計画全体進捗

1. TAO 計画全体進捗 (宮田, 吉井, 土居, 河野, 峰崎, 酒向, 甘日出, 江草, 小西, 上塚, 高橋, 松林, 鮫島, 山岸, 今井, 小山, 堀内, 平尾, 櫛引, 加藤, 沼田; 本原顕太郎 (国立天文台/東京大学))

TAO 計画は平成 10 年度より計画が開始、平成 30 年度には現地工事が開始されている。令和 5 年 (2023 年) 度は現地工事の最終年にあたった。建設の成果については以下を参照のこと。建設は日本人ワーカーとチリ人ワーカーが協力してあたり、最も多いときには 1 日当たり 90 名のワーカーが山頂工事に従事した。チリの超高高度作業の法令に則り、救急車やレスキュー隊の配備、酸素の常時吸入、年に一度の健康診断の義務化などを行った結果、大きな事故を出さずに工事を終えることができた。今後の望遠鏡組み立てフェーズでも引き続き安全に気を付けていく予定である。

これら現地建設工事に加え、来るべく科学観測運用に向けた準備も進めている。観測時間のうち国内枠と呼ばれる共同利用観測時間に向けては、科学諮問委員会などで議論を深め、方式を確定させている。これを受け、2023 年 12 月には国内枠説明会を開催、現地オンラインを合わせて 120 名程度の参加を得た。ま

た日本天文学会 2024 年春季年会でも特別セッションを開催し、観測時間枠の説明のほか科学観測に関する期待を外部研究者から講演頂いた。チリ時間についてもチリ大学担当者と連絡を取りながら実施体制やルールのかめを進めている。

また、令和 4 年度に発足したサポート室では、前年度に引き続き、渡航サポート、安全講習、文書翻訳、輸送、現地雇用者のサポート、チーム内情報共有サービスの管理、広報活動補助などを行った。令和 5 年度からは TAO 山麓施設関連の業務も業務内容に加わり、令和 6 年 4 月 30 日にサンチャゴで開催される TAO 望遠鏡サイト完成記念式典の準備も行った。

現地では、3 人目になる現地職員をカトリカ大学との協定に基づき雇用した。また、サイトエンジニアリングチームを発足し、電気機械設備の運用管理のほか、望遠鏡組み立ての準備などもすすめた。

2. TAO 望遠鏡本体等の製作 (峰崎、吉井、土居、河野、宮田、酒向、廿日出、小西、江草、高橋、上塚、松林、鯨島、堀内、加藤、青木、沼田; 本原顕太郎 (国立天文台/東京大学))

TAO 6.5m 望遠鏡は、主鏡口径 6.5m、赤外線背景放射低減のため光学系瞳を副鏡に置いた視野 $\phi 25$ 分角直径の広視野リッチ・クレチエン系を採用し、観測装置搭載焦点としてナスミス焦点 2 ヶ所とペントカセグレン焦点 2 ヶ所を備える。各焦点部に取り付けた観測装置は第三鏡の回転により運用装置を迅速に切り替えることができる。TAO サイトの良好なシーイングに対応して星像の 80% encircled energy 直径 $\theta_{80} = 0.33$ 秒角、半値全幅 FWHM = 0.22 秒角を結像性能の仕様としている。赤外線だけでなく紫外線大気透過率にも優れた観測条件を活かすべく主鏡・副鏡・第三鏡はいずれもアルミニウムコーティングを採用する。焦点面の最終 F 値をすばる望遠鏡と同じ 12.2 とすることで、同望遠鏡との観測装置の相互運用を可能にしている。このような仕様のもと、主鏡、副鏡、第三鏡およびそれらの支持機構をアリゾナ大学シュワート天文台リチャード・F・カリス・ミラーラボ (旧 SOML) が、望遠鏡鏡筒および架台を西村製作所が、追尾補正・波面測定装置と望遠鏡制御ソフトウェアを LLP 京都虹光房が、主鏡蒸着装置を三光精衡所が分担して製作を進めることとなった。

アリゾナ大学構内に梱包・保管されていた望遠鏡光学系および関連部品は 2022 年末に日本通運によりチリへ輸送され、24 時間の監視体制のもとカラマ郊外の倉庫に保管中である。これらの貨物の輸送および長期保管の影響を調べるため、2023 年末にカラマ倉庫内の各貨物を一時的に開梱し、アリゾナ大学のエンジニアとともにそれらの状態を検査した。主鏡・副鏡・第三鏡、主鏡セルおよび内蔵部品など主要な貨物について外観上まったく問題がないことを確認した。またこれに先立ち 2023 年 10 月に TAO チリエンジニアがアリゾナ大学に訪問し、空力アクチュエータ・ハードポイント・熱制御システムなど主鏡セルシステムの研修を行った。今後はサンペドロ・デ・アタカマ山麓施設において主鏡真空吊具の試験、主鏡セルアクチュエータなどの輸送後検査・校正、副鏡・第三鏡アセンブリの組み立て練習などを実施する予定である。

望遠鏡架台はトライポッド・ディスク型式の経緯台である。巨大重量物を滑らかかつ精密に駆動するため、望遠鏡方位軸・高度軸ともに流体静圧軸受とフリクションドライブによる駆動機構を採用している。また高い結像性能を達成するため、架台の姿勢変化に伴って生じる鏡筒の重力変形や主鏡形状の変化を副鏡位置制御機構や主鏡支持機構によって能動的に補正する手法を採用している。このため観測中の望遠鏡指向方向や温度のほか、波面測定装置により観測装置の視野外の参照星を使って望遠鏡光学系の波面誤差を測定し、能動光学補正の情報として利用する。望遠鏡本体部品の大型貨物はチャナントール山麓の標高 5000m にある中間保管場所に、小型貨物はカラマ郊外の倉庫に保管中である。中間保管場所では定期的な保管状況の点検と積雪強風対策のための貨物梱包の追加・修理の対応を適宜に行っている。

望遠鏡主鏡の形状は空力アクチュエータによって精密に制御される。また主鏡上の空気の乱流による星像悪化を防ぐため、主鏡は冷却水で熱交換された空気によって冷却される。これら、主鏡を観測運用するために必要な冷却水設備および高圧空気設備のエンクロージャー内設置が完了した。現在は東京大学の現地エンジニアによって保守管理されている。国内では望遠鏡本体に組み付ける追加の配管類が設計・

製作中であり、望遠鏡本体の組立が終了した段階で、これらの配管作業を行う予定である。

3. MAGNUM 望遠鏡再建 (左近, 峰崎, 鮫島, 土居, 吉井)

MAGNUM プロジェクトでは米国ハワイ州ハレアカラ観測所において口径 2m の可視赤外線多波長モニター観測専用望遠鏡を運用していたが、プロジェクト観測終了に伴い MAGNUM 望遠鏡は解体ののち国内に輸送・保管されていた。その後アリゾナ大学と協定を締結し、東京大学・アリゾナ大学ほかの様々な科学研究、学生教育、アウトリーチなどの目的のため、MAGNUM 望遠鏡はアリゾナ大学マウントレモン観測所において再び運用されることとなった。望遠鏡の全主要部品はアリゾナ大学に輸送済みであり、アリゾナ大学により MAGNUM 望遠鏡は再組み立て・調整ののちマウントレモン観測所に設置される予定である。

MAGNUM 望遠鏡に取り付ける観測装置についても東京大学・アリゾナ大学双方で検討を進めている。東京大学は近赤外線多波長測光装置、アリゾナ大学は可視低分散面分光分光装置と相補的な観測装置を提案しており、両者を同時に搭載・運用することによりシナジー効果が期待できる。東京大学では近赤外線多波長測光装置で使用する近赤外線検出器の選定のための情報収集を行ったほか、近赤外線波長域の Y, J, H, Ks バンドを同時にカバーする撮像装置をベース案とする装置の概念設計に着手した。また将来的な可視波長への拡張も検討している。観測装置の検討と平行して、これを利用した天文学研究計画について検討を進めている。

4. TAO 6.5m 蒸着装置 (高橋, 吉井, 土居, 河野, 宮田, 峰崎, 酒向, 小西, 江草, 上塚, 鮫島, 松林, 加藤, 沼田, 山岸, 今井, 堀内, 平尾, 櫛引; 本原顕太郎 (国立天文台))

蒸着とは、経年劣化などによって反射率が低下した鏡面の金属膜を一旦剥離した後、再成膜することで、望遠鏡としての光学性能を再生・維持する一連の作業を指す。TAO 望遠鏡は高山というサイトの特殊性から、再蒸着は現場で行われる。さらに、主鏡は主鏡セルから取り出されることなく、蒸着チャンバーにサンドイッチされる、つまり主鏡セルが真空チャンバーの一部として用いられるという特徴がある。また、高地での作業の安全性・信頼性を確保するため、これらの一連の作業はシーケンサーにより半自動的に行われる。

蒸着プラント一式は 2020 年度までに国内に納品され、組み立て試験および蒸着試験が行われた。結果、ほぼ仕様を満たす性能を有していることが確認されている。その後、装置は一旦分解・梱包され、2021 年 4 月に横浜港よりチリに向けて出荷された。およそ 1 ヶ月の船旅の後、無事にチリ・アンガモス港に到着、チャンバーなど大型物品は港近辺に、その他電源や制御盤等はアラマ市内にある倉庫に保管された。チャンバーは 2021 年 6 月に 5000m ベースに輸送され、山頂設置までの間保管されている。TAO 望遠鏡プロジェクトの中で、蒸着上部チャンバーは単体としては最大物品であり、その輸送において安全性・技術的な面で細心の注意が払われる。アンガモス港から 5000m ベースへの輸送は問題の洗い出しや手順の確認のために、大きさを模擬したダミーを使った試走も行われ、その後本体は無事に 5000m ベースへ輸送された。

蒸着プラントは山頂の観測運用棟の完成を待って棟内への組み立て設置作業が開始される。その設置は複雑で、一度設置されると場所の移動や調整はほぼ不可能である。そのため一連の設置手順を予め作成しておく必要があり、人員体制や重機・工具などを含めた詳細な工程表の再検討・作成が必須となる。そのため 2023 年 12 月には事前視察にチリに渡航し確認作業を行った。そこでは観測運用棟の現状調査をはじめ、クレーンなどの重機の設置場所の検討、5000m ヤードに保管されている物品の確認の他、工具や重機の入手性、設置作業渡航時の業者の宿泊場所、生活環境の調査も含まれる。また 2023 年度末には 5000m ヤードから山頂までの重量物・大型物品搬送のための試走が行われ、最重量物である蒸着装置の搬送が問題なく行われることを確認している。山頂設備の完成後、天候状況を鑑みながら速やかに蒸着設備の設置作業を開始する予定である。

5. TAO 山頂施設と山麓実験棟の建設 (酒向, 沼田, 吉井, 土居, 河野, 宮田, 峰崎, 小西, 江草, 左近, 高橋, 上塚, 鮫島, 松林, 加藤, 今井, 堀内, 平尾, 山岸, 櫛引, 小山, 益原, 笠原, 上原; 本原 (国立天文台))

TAO6.5m 望遠鏡用エンクロージャと観測運用棟からなるチャナントール山山頂施設の建設をインテレクト社のコーディネートの下に進めた。川田工業社の主導の下に進められてきた観測運用棟の建設は2023年4月に完了となった。その後、チリ OASIS 社により6月に各部屋の天井工事, 7月に犬走の工事と各部屋の床補修, 2024年3月に各部屋の床の防塵塗装などが実施された。エンクロージャ下部も2023年4月に完成し, REC 社とチリ前川製作所社によりチラーとコンプレッサーの設置と運転試験も同月に完了した。12月には桜井工業社と OASIS 社によりエンクロージャ下部に接続する排気用コルゲート管と大型ファンの設置が実施された。

西村製作所社と三陽鉄工サービス社の主導の下にエンクロージャ上部の建設が進められた。2023年4-7月にはエンクロージャの方位角回転の駆動装置の設置工事が実施された。また, 4-5月にはエンクロージャ上部のリングビームの組み立てと回転試験が実施された。5月にはチリ AKSIOM 社により建設足場の設置が実施され, 6月にはエンクロージャ上部の大部分の構造体の組み立てが完了した。また, ブリッジの壁と屋根の設置も実施された。冬季休業を挟み, 9月にはスリットの両扉の設置が完了, 10月にエンクロージャ上部の回転試験に成功した。その後, 建設足場を追加して11-12月にエンクロージャの壁パネルの設置を実施した。並行してスリット等の駆動部の組み立ても進めた。正月休業を挟み, 2024年2-3月にはエンクロージャの屋根と大扉の設置が実施された。また, 音羽電機工業社によりエンクロージャ上部への避雷導体の設置が実施された。3月に建設足場を解体した後外部キャットウォークの設置とスリットの開閉試験を実施した。

山頂施設の建設作業が進む中, 2023年4-6月と10-12月に京浜電設社により建物内の強電設備の工事が実施された。また, 10月には昭和テクノ社により断熱材の壁への吹き付け工事が実施された。2023年6-7月に, チリ H2M 社の主導の下に観測運用棟の発電機室内に, 2機の発電機と関連する配管, 制御盤の設置が行われた。また, チリ El Roble 社により5-10月に燃料タンクの埋設工事と関連するコンクリート工事, 配管工事が行われた。燃料タンクと発電機をつなぐ工事は2024年2-3月に実施された。2023年7月と11月には発電機単体の動作試験が実施された。

山頂アクセス道路の Pk3700m 地点の補強工事は2023年5-7月に実施され, 関連する補修工事は2024年2-3月に実施された。これにより6.5 m 望遠鏡の鏡および蒸着装置を山頂へ輸送することが可能になった。

サンペドロ・デ・アタカマの TAO 山麓施設に実験棟を増設する作業を進めた。チリ OASIS 社の主導の下, 2023年4月から9月に鉄骨の組み立てとコンクリートの打設を実施した。2024年1月には屋根の設置が, 3月には壁の設置が完了した。

6. TAO 観測統合制御システム (TAO-OCS) の開発 (小西, 酒向, 鮫島, 山岸, 加藤, 峰崎, 上塚, 高橋, 吉井, 土居, 河野, 宮田, 江草, 左近, 松林, 今井, 小山, 堀内, 平尾, 櫛引, 沼田, 益原, 笠原, 上原; 本原顕太郎 (国立天文台, 東京大学))

観測において制御が必要なハードウェアは望遠鏡・エンクロージャと観測装置の2系統に分けられるが, 目的の観測データを取得するためにはこれらを連携させて統合的に制御しなければならない。そのためのソフトウェアのことを観測制御系 (Observation Control System, OCS) と呼ぶ。TAO の OCS (TAO-OCS) は国立天文台ハワイ観測所のシステム (Gen2) をベースに TAO 独自の機能 (各焦点の AG/SH 制御等) を組み込んだ設計となっている。

本年度は, TAO-OCS への機能追加の一つとして, アラームハンドラーの設計・実装を行った。Gen2 には観測中や望遠鏡メンテナンス中の望遠鏡・観測装置・環境データなどの異常を作業員・観測者に通知する仕組み (アラームハンドラー) が備わっている。TAO 望遠鏡向けに実装するために調査した結果, 多くの機能はそのまま利用できるが一方で TAO では不要な機能やより簡素化できる部分が含まれていることが分かった。検討の結果, 警告閾値や警告継続時間, 深刻度などを単純な YAML 形式で定義し, アラーム

発動時には自動的に OCS ステータス画面 (statmon) に表示する (手動で一時停止することも可能) 仕組みを実装した。また継続事項として、AG/SH 光学系を制御しながら観測を行うための観測装置用スケルトンコマンドの開発を NICE チームを中心に進めている。

7. 無線アンテナ・気象観測装置の運用、遠隔制御の実現に向けた検討 (山岸、酒向、小西、鮫島、加藤、TAO チーム)

2023 年 11-12 月に、mini-TAO 時代に使われていた無線アンテナの設備を再稼働させ、TAO 山頂に安定的なインターネット環境を構築するべく作業を行った。このシステムでは、山頂と山麓施設に対向アンテナを設置し、周波数 2.4 GHz の Wi-Fi 電波を用いて長距離通信を行う。運用初期においては、この無線アンテナを用いた通信がメインのインターネット回線として用いられる予定であり、観測運用を支える重要な通信インフラとなっている。設置作業の結果、設計仕様通りの通信速度が達成できることが確かめられた。なお、2024 年 2 月ごろから無線機の経年劣化と思われる不具合が多発するようになったため、その後の運用は一時的に休止している。早期の運用再開に向けて、故障した部品の交換を予定している。

気象データは、TAO を用いた科学観測や山頂エリアの安全のための基礎となる情報として有用である。気象観測装置は、2022 年に日本で組み立て・試験を行ったものをチリに輸送しており、2023 年 12 月には、山頂のブリッジ通路の屋根の上にて組み立て作業を行った。その結果、気温、湿度、風速などといった気象情報や全天カメラの映像が無事に取得でき、TAO weather monitor 上でそれらを集約した情報が見られることが確認できた。2024 年 2 月には、さらに山頂ネットワークに VPN ルーターを設置した。これにより、日本を含む遠隔地からでも山頂の気象観測データをリアルタイムに確認することが可能となった。なお、2024 年 3 月に雷によるものと思われる山頂ネットワーク機材の故障が発生した。上記の無線アンテナの不具合もあり、3 月以降は一時的に気象観測装置の運用は停止している。

TAO は、将来的に山頂エリアが無人状態でのリモート観測を目標にしている。そのため、TAO で使われている発電機やファン、電灯などの建物設備には、リモートで稼働状況を確認し、必要に応じてリモート制御できるようなものが採用されている。今年度は、建物設備の遠隔制御実現に向けて、まず全ての建物設備がイーサネット経由で管理用サーバーと通信可能となるよう、追加で必要となる設備の検討作業を行った。次年度は、製作図面の作成および製作作業に進む予定である。

8. データ転送・データ配布アーカイブ (鮫島、酒向、小西、山岸、加藤、TAO チーム)

TAO 望遠鏡で取得されるデータを日本へ高速に転送するため、光ファイバーによるネットワーク構築に取り組んでいる。TAO 望遠鏡が位置するアタカマではチリの学術ネットワークを司る REUNA (Red Universitaria National) が光ファイバーネットワークを構築しており、既存のネットワーク網から光ファイバーを新たに延ばして隣接する CCAT 計画と TAO で分配する計画となっている。昨年度に引き続き REUNA や CCAT と定期的にオンライン会議を開催して情報共有を図っており、今年度は新たに TAO に分配される光ファイバー信号の仕様 (通信プロトコルと波長) が決定した。また 2023 年 12 月には、REUNA や本学理学系研究科情報システムチームの協力のもと、アタカマにあるアクセスポイントと本郷に設置したサーバーの間で通信テストを行い、日本・チリ間でのダウンロードおよびアップロード速度の実測に成功した。

TAO 取得データの観測者への配布は、本郷に設置した TAO 計画所有のサーバーを用いて行う。データ配布を円滑かつ半自動的に行うためには、その前段階である観測提案や実際に行われた観測の情報を組み合わせたシステムを構築することが望ましい。そこで本年度は TAO-OCS 開発チーム、観測提案書管理システム担当者、更には観測所での事務経験者を交えて情報交換する場を設け、協力してデータ配布システムの要求仕様をまとめる作業に着手した。TAO 取得データのアーカイブ化に関しては国立天文台・天文データセンターが運用する SMOKA を利用する方向で話を進めており、天文データセンターとは定期的に打ち合わせの場を設けて情報共有を図っている。

9. ネットワークシステム (加藤, 酒向, 小西, 鮫島, 山岸, TAO チーム)

令和5年度は, TAO 山頂施設に設置する L2 スイッチの予備機3台と不足していた PoE スイッチ2台, 山麓施設に設置する UTM1 台の調達を行った. 1月から4月にかけて TAO の基幹ネットワーク機器を当センターに集約し, 全機器の設定と各機器間の通信試験, リンクアグリゲーションの動作確認, VPN によるリモート接続試験等の動作試験を実施した. VPN は ID/PW と証明書を組み合わせた認証方式を採用し, 証明書発行用の PC を用意し証明書発行アプリ設定も終えた. また, バックアップ回線として想定している衛星ネットワーク BGAN と接続して主回線とバックアップ回線との切り替え試験も実施した. 遠隔地から TAO サイトへリモートアクセスできるように BGAN 機にグローバル IP を付与する設定を行い, VPN リモートログインに成功することを確認できた. 全ての試験を終えて令和5年5月にチリに向けて出荷した. TAO 望遠鏡内外を敷設する光ファイバーと望遠鏡のナスミス台に設置する 19 インチラックの選定も進めた. 光ファイバーは屋外用の製品で丈夫で湿気にも強いことに加え, 繰り返し曲げ伸ばしするような箇所でも使用可能なものを選定中である.

TAO 山頂ネットワークの本格稼働を見据えて, TAO 山麓施設のネットワーク契約を見直し, 固定 IP の契約数を8個から32個に追加, 400Mbps に通信速度を上げる手続きを行った. 三鷹から TAO 望遠鏡での遠隔観測が行えるように当センター内に設置する予定となっている遠隔室のレイアウト検討も行っている.

令和6年度は, 現地設置に向けて業者と配線やラックの設置場所の相談, 機器の設置契約を進める他, TAO サイトへの有線ネットワークの敷設に向けた TAO ネットワークの設定変更について業者との相談を行う.

2.5.6.2 TAO 6.5 m 望遠鏡用近赤外線観測装置 SWIMS

1. TAO 6.5m 望遠鏡用近赤外線観測装置 SWIMS の開発 (小西; 本原 (国立天文台, 東京大学); 高橋, 小山, 加藤, 櫛引; 陳諾, Jeung Yun, 安田彩乃, 幸野友哉 (国立天文台, 東京大学), 吉井, 土居, 河野, 宮田, 峰崎, 酒向, 江草, 左近, 上塚, 松林, 鮫島, 山岸, 今井, 堀内, 平尾)

TAO 6.5m 望遠鏡が建設される南米チリ・アタカマ高地のチャナントール山 (標高 5,640 m) では赤外線観測の妨げとなる水蒸気が極めて少ないことが実証されており, これにより近赤外線波長域 (0.9–2.5 μm) のほぼ全域において透明度の高い大気を通した観測が可能となる. この利点を活かすために, 我々は近赤外線観測装置 SWIMS (Simultaneous-color Wide-field Infrared Multi-object Spectrograph) の開発を 2009 年度から進めている.

本装置の最大の特長は広視野多色観測である. 平行光中に挿入されるダイクロイックミラーによって光路を 0.9–1.45 μm (blue) と 1.45–2.5 μm (red) の2つに分割し, 0.126 秒角/pixel という高い空間分解能で 9.6 分角 ϕ の広い視野を2波長域同時に観測する. これにより撮像モードでは2色同時観測を, また分光モードでは 0.9–2.5 μm のスペクトルを切れ目無く一度に取得することを可能とする. 「近赤外線波長域のほぼ全域において大気の吸収をほとんど受けない」という TAO サイトの強みと2波長域同時観測を組み合わせることで, 均質な観測データを高い観測効率で得ることができる.

国立天文台ハワイ観測所すばる望遠鏡において実施してきた共同利用観測を昨年度で終え, TAO 望遠鏡搭載のための調整に向けて本年度9月に三鷹キャンパスの TAO 大型実験棟に返送された. TAO 望遠鏡ではナスミス焦点に搭載されるため, すばる望遠鏡搭載時に経験していない重力方向で運用されることになる. そのため, 分光用スリットマスクが設置される望遠鏡焦点面にマスク落下防止のための支持部品を設置する検討を進めるとともに, 落下防止が正しく機能することを確認するための装置回転機構も設計を進めている. 外部資金により新たに2台の検出器を調達でき, 来年度以降ハードウェアとソフトウェアの更新を行う予定である. また, TAO の観測統合制御系に接続するために装置制御系のアップデートも進めている.

2. SWIMS-IFU の開発 (櫛引; 本原 (国立天文台, 東京大学); 高橋, 小西; 竹田, 細畠, 山形 (理化学研究所); 森田 (東京電機大学); 大竹, 中川, 佐伯 (東京大学); 尾崎, 都築, 三ツ井, 沖田 (国立天文台), 他)

SWIMS-IFU は TAO 6.5m 望遠鏡用近赤外線撮像分光装置 SWIMS に面分光機能を追加するイメージライサー方式の面分光ユニットである。その最大の特長は既存の近赤外線面分光装置と比べて広い視野と広い同時観測波長帯域であり、それにより空間的に広がった天体の近赤外線分光情報を一度に効率良く取得することが出来る。SWIMS-IFU は理化学研究所との共同で超精密加工を活用して開発が進められ、2021 年に完成し、2022 年 3 月と 12 月には国立天文台ハワイ観測所すばる望遠鏡での試験観測を実施した。その際に測定された SWIMS-IFU 単体のスループットは 50–75% であり、 H バンド帯付近にピークを持ち、 J バンド、 K バンド帯ではやや低い値となるものであった。 J バンド帯での低い効率はコーティングなしアルミミラーの反射率によって説明できたが、 K バンド帯での振る舞いの原因は観測時点では不明であった。しかし、詳細に確認を進めたところ、 K バンド帯での効率の低下は SWIMS-IFU 内で使用された PO1 レンズの反射防止コーティングによるものであることが今年度明らかになった。TAO 6.5m 望遠鏡に向けては PO1 レンズのコーティングの変更やレンズを用いない光学系の可能性などを検討している。けられや迷光などの不具合も修正すべく新しい光学系の設計を進めていく。また、SWIMS-IFU のこれまでの開発を投稿稿論文としてまとめ、投稿中である。

3. マイクロシャッタアレイの開発 (小西; 本原 (国立天文台, 東京大学); 年吉, 高橋 (東大生産研); 土居, 田中健翔)

近年の観測天文学においてマルチスリット多天体分光器はもはや欠かせないがその運用には、スリットマスクを視野毎に製作してインストールしなければならないなど、多くの労力を必要とする。この欠点を一気に克服するものとして MEMS (Micro Electro Mechanical Systems) 技術を用いたマイクロシャッタアレイの開発を東大生産技術研究所の年吉洋教授のグループと共同で行っている。

本年度は、昨年度製作したシャッタデバイスの冷却試験および光学評価試験を実施した。冷却試験では、実際の使用環境に近い 120K まで冷却したところ、シリコン基板とアルミ成膜の熱膨張率の違いによる応力変形のため庇構造が剥離することが分かった。光学評価試験では、望遠鏡からの入射光を模した F/12.2 の可視光を入射し、シャッタ構造の遮光性能を調査した。その結果、現在のシャッタと庇の重なり (幅 5 μm) では遮光が不十分であるという示唆を得た。今後、庇のメッキ厚や形状・構造の再検討を中心に、遮光性能を考慮したシャッタ製造プロセスを検討していく。

2.5.6.3 TAO 6.5 m 望遠鏡用中間赤外線観測装置 MIMIZUKU

1. TAO 6.5 m 望遠鏡用中間赤外線観測装置 MIMIZUKU の開発 (宮田, 酒向, 上塚, 平尾, 左近, 橘健吾, 成瀬日月, 妹尾梨子, 小島裕樹, 尾中, 吉井, 土居, 河野, 峰崎, 小西, 高橋, 江草, 松林, 鮫島, 小山, 今井, 堀内, 山岸, 櫛引, 加藤; 本原 (国立天文台/東京大学); 大澤, 西村 (国立天文台); 軸屋, 近藤智也, Hort Jonathan (金沢大学); 木下凌太, 坂野井, 鍵谷 (東北大学); 本田 (岡山理科大学); 長谷川, 白井, 内山, 片埜 (ISAS/JAXA); 海老塚, 細畠 (理化学研究所))

MIMIZUKU は TAO 6.5 m 望遠鏡に搭載する第一期中間赤外線撮像分光装置である。この装置は光学系内部に NIR・MIR-S・MIR-L チャンネルという異なる波長帯をカバーする光学チャンネルを搭載することで、1–38 μm という広い波長域をカバーする。これにより天体を構成する恒星および星周ダストの準同時観測を可能にする。さらに、赤外線観測を行う上で問題となる大気透過率の影響を高精度に補正するための装置「フィールドスタッカー」を搭載し、この装置を用いて高精度の測光・分光観測を実現する。これらの機能を利用し、これまで実現が難しかった中間赤外線の長期時間変動観測を実現することで、時間変動現象を切り口として星周ダストの形成・成長・破壊プロセスを明らかにし、宇宙における物質循環の理解を深めることを目指している。MIMIZUKU は 2018 年度にすばる望遠鏡での試験観測を実施し、当時完成していた MIR-S チャンネルのファーストライトを達成した。その後 2019 年度に MIMIZUKU

を日本に返送し、以後 TAO 望遠鏡における科学運用に向けての未実装チャンネルの実装などを進めている。今年度は、各光学チャンネルの整備、冷却チョッパーの開発、フラット補正ユニットの開発、および中間赤外線標準星リストの整備を行った。これらの進捗について、以下の各項目にて報告する。

2. MIMIZUKU NIR ch の開発 (上塚, 宮田, 酒向, 平尾, 左近, 橘健吾, 成瀬日月, 妹尾梨子, 小島裕樹; 長谷川, 白井 (ISAS/JAXA); 海老塚, 細畠 (理化学研究所))

MIMIZUKU の NIR ch は波長 $1\text{--}5\text{ }\mu\text{m}$ において撮像・分光観測を実施する。本年度はこのチャンネルの整備として、KL バンド分光用のグリズムの高効率化を進めた。これまで本モードの分散素子として、片面のみに反射防止コートを適用したシリコングリズムを使用していたが、さらなる高効率化をはかるため、切削加工で製作して両面に反射防止コートを適用したゲルマニウムグリズムを理化学研究所にて開発し、これを MIMIZUKU に搭載した。結果、KL バンド分光モードの効率がおよそ 30% 向上したことを確認した。また、NIR ch の分光モードでは冷却時に反射スリットが曲がってしまい、スリットの全域を使用することができないという問題も起きていた。これを解決すべくスリットの抑え方の改善を図った。その結果スリットの曲がりを改善することはできたが、完全に解消することはできなかった。曲がりの解消を図るためにはスリットの構造を根本的に見直す必要があるものと考えられ、今後検討を進めて解消を図る。

3. MIMIZUKU MIR-S ch の開発 (上塚, 宮田, 酒向, 平尾, 左近, 橘健吾, 成瀬日月, 妹尾梨子, 小島裕樹)

MIMIZUKU MIR-S ch は波長 $7\text{--}26\text{ }\mu\text{m}$ をカバーするチャンネルで、Raytheon 社製の Aquarius 検出器を使用している。本検出器の動作および観測利用はすでに実現しているが、出力信号に不安定な点がみられていた。この問題を解決すべく調査を進めたところ、極低温部に搭載したバッファ回路に原因があるようであることがわかった。本回路は本検出器の高速読み出しを実現するために実装していたものであるが、本回路を取り除くよう改良して動作試験を実施した結果、現状の運用では本回路が無くとも正常に動作することを確認し、出力信号の不安定性を解消することができた。

4. MIMIZUKU MIR-L ch 検出器システムの開発 (成瀬日月, 平尾, 上塚, 宮田, 酒向, 左近, 橘健吾, 妹尾梨子, 小島裕樹; 大澤 (国立天文台))

MIMIZUKU MIR-L チャンネルは波長 $24\text{--}38\text{ }\mu\text{m}$ をカバーすべく、検出器として DRS 社製 Si:Sb 検出器を搭載する。本検出器を駆動しデータを読み出すための検出器システムの開発を行った。本検出器は約 5 K の極低温で動作させる必要があるが、その試験環境において温度が下がりきらないことが問題となっていた。これを配線からの熱流入の遮断や熱パスの強化により解決した。また、電子回路ボードの不良を発見・修復し、全読み出しチャンネルの正常な動作を実現した。さらに、検出器に光を照射する実験を行い感光機能が正常に働いていることが確認できたため、検出器を MIMIZUKU 本体にインストールしての試験を開始した。本実験では、ショットノイズが支配するカウントレンジで観測を行うには読み出しノイズが大きすぎることで、仕様から推定されるゲインを仮定すると装置効率が 20% 程度であることを確認した。今後は結像性能の評価等を行う。

5. MIMIZUKU MIR-L ch 光路切り替え機構の開発 (平尾, 上塚, 宮田, 左近, 橘健吾, 成瀬日月, 妹尾梨子, 小島裕樹)

MIMIZUKU 内部において MIR-L ch に光を導くためには、極低温の光学系内において光路を切り替える冷却駆動機構が必要である。その機構として、台形ネジをモーターで回転させ、台形ネジに取り付けたナットとリニアガイド上を駆動するステージを繋ぎ、その上に平面鏡 (FOLD8) を載せ前後に動かす機構を設計・製作した。また、FOLD8 を治具でマウントすることで生じる鏡の形状変化を国立天文台・先端技術センターの Zygo GPI を使用して測定し、問題がないことを確認した。初期の設計ではステンレス製のリニアガイドを使用していたが、冷却動作試験を行うと熱収縮の影響によって動作しなかった。そこで、リニアガイドを PBC 社のアルミ製のものに変更した。また、台形ネジに固体潤滑材である PTFE のショット処理を適用することで、極低温環境下での動作実現を図った。その結果、極低温環境におけるステージの動作を実現できたが、一部で引っ掛かりが生じることが判明した。その後、ショット処理に使用

する固体潤滑剤を MoS_2 に変更し、組み立て・調整を行ったところ、極低温環境下で引っ掛かりなく動作することを確認した。熱サイクル後の動作試験でも正常動作を確認した。今後、MIMIZUKU 本体へ搭載し、冷却実験を行い、問題無く動作することを確認する。

6. フラット補正ユニットの開発 (成瀬日月, 上塚, 宮田, 酒向, 左近, 橘健吾; 大澤 (国立天文台); 西村 (国立天文台))

近年赤外線領域においても変光星や突発天体が発見されつつあり、中間赤外線の時間変動観測を1%の測光精度で実現することが重要になってきている。その達成にあたっては、装置の光学特性や検出器の各ピクセルの応答曲線の相違によって引き起こされる感度むらが問題となる。そのため、測光精度1%を実現するには1%よりも良い精度でフラット補正を行わなければならない。シリコンレンズ、小型黒体炉、2枚の折り畳み鏡からなるフラット補正ユニットの開発を行った。続いて本ユニットのプロトタイプを用いてフラット画像を作成し、原理実証のための試験を行った。その結果、7.6, 9.8, 11.6, 20.8 μm の4つの波長帯で1%より良い精度でフラット補正をすることに成功した。また、フラット画像は29時間にわたり1%より良い精度で安定していたため、フラット補正は一晚に一回で十分であることを明らかにした。これらの結果をまとめた査読論文を JATIS にて出版した。

7. 冷却チョッパーの開発 (上塚, 宮田, 酒向, 平尾, 左近, 橘健吾, 成瀬日月, 妹尾梨子, 小島裕樹; 軸屋, 近藤智也, Hort Jonathan (金沢大学); 木下凌太, 坂野井, 鍵谷 (東北大学); 本田 (岡山理科大学))

冷却チョッパーは MIMIZUKU の低温光学系に搭載する高速可動鏡である。本機構を搭載することで観測視野の高速切り替えが可能となり、切り替えた視野それぞれで取得したデータを減算することで、大気起因の背景光を精度よく除去することが可能となる。地上観測では背景光が非常に強く、このような手法を用いることで初めて天体からの微弱な光の検出が可能となる。このため本機構は MIMIZUKU にとって必須となる重要なシステムである。また、本偽ゆつは次世代大型望遠鏡用地上中間赤外線観測装置を開発する際にも有用となるキー技術である。これまでは試作機を用いた開発を進めてきたが、本年度は MIMIZUKU に実際に搭載するモデルを完成させ、さらに MIMIZUKU に搭載した実運用条件下での動作試験を実施した。搭載モデルの開発では、動作機構中のねじりばねのゆるみやギャップセンサーの破損などのトラブルが発生したが、適切な接着剤を選定してねじりばねおよびギャップセンサー配線を固定することでこれらのトラブルを解消して完成させた。MIMIZUKU 内部での動作試験においては、二自由度モデルマッチング型 PD 制御・微分先行型 PD 制御といったこれまで開発してきた制御則による動作試験に加え、繰り返し制御による動作試験も実施した。結果、どの制御則も動作要求を満たす性能を確認することができた。一方、MIMIZUKU 内部では冷凍機振動に起因する動作性能の劣化も確認できた。これらへの対応や、装置の姿勢に依存した動作性能の変化などは今後の試験において確認を進める。以上の成果については、SPIE の国際研究会 Astronomical Telescopes and Instrumentation において講演および集録論文の発表を予定している。

8. TAO/MIMIZUKU のモニタ観測のための中間赤外線標準星探索 (小島裕樹, 宮田, 上塚, 平尾, 左近, 成瀬日月, 妹尾梨子)

MIMIZUKU はフィールドスタッカー機構を用い、最大 25 分角離れた 2 視野で目標天体と標準星を同時に観測することで、目標天体の較正を高精度で行うことができる。ここで用いる標準星が、中間赤外線領域 (MIR) では十分な数が整備されていないため、MIMIZUKU での観測の準備として MIR 標準星の探索を行った。標準星の探索の初期段階として、まず MIR で明るい、明るさが大きく変化しない、数が多い、という特長を持つ K 型巨星に焦点を当てて探索することとした。Gaia 衛星で得られた星の有効温度と半径のデータを用いて K 型巨星候補を抽出し、さらに MIMIZUKU で観測できる明るさのものを選り、標準星候補とした。その結果、約 58,000 個の標準星候補天体を得た。次に、二つの MIR バンド W1 (3.4 μm), W2 (4.6 μm) で 10 年間観測を行った NEOWISE のデータを用い、標準星候補の明るさの時間変化を調べた。これらの標準星候補が銀河面上でどのように分布しており、どの範囲であれば MIMIZUKU で目標

天体を観測する際にこれらを同時に観測できると期待されるかを確かめると、 $-2 < b$ (銀経) < 2 の範囲であれば観測の際 25 分角以内に変動が 0.5mag 以下の星を見つけられると期待されるとわかった。ただし、抽出した標準星候補の K 型巨星のうち 9 割ほどの星が W1, W2 で飽和の影響を受ける明るさであったことから、これらの W1, W2 の明るさの時間変化もほとんどが信頼できない可能性がある。そのため、今後は飽和の影響を受けない明るさの星に対して時間変化を調べ、標準星の探索を進める。

2.5.6.4 TAO 6.5 m 望遠鏡用近赤外線エシェル分光撮像装置 NICE

1. 近赤外線エシェル分光撮像装置 NICE の概要と開発 (高橋, 今井, 鮫島, 吉井, 土居, 河野, 宮田, 峰崎, 酒向, 小西, 江草, 上塚, 松林, 加藤, 山岸, 堀内, 平尾, 櫛引; 本原, 西村淳 (国立天文台))

NICE (Near-Infrared Cross-dispersed Echelle spectrograph) は分光素子にエシェル回折格子, クロスディスペルザを採用し, 波長分解能 $\sim 2,600$ で, 近赤外の幅広い波長域 (0.9– $2.5\mu\text{m}$) をカバーする近赤外線中分散分光装置である。加えて適切な光学素子を選択するモードで撮像も行うことができる。2000 年に設計・製作が開始された NICE は, これまでに国立天文台 1.5m 赤外シミュレータや北海道大学 1.6m ピリカ望遠鏡に搭載され, 様々なタイプの恒星や金星などの近赤外分光観測を実施してきた。星の大気から得られる物理情報と大気モデルと詳細比較することで, 質量放出や大気の運動に関する知見が得られた。NICE が TAO6.5m 望遠鏡第一期観測装置として設置された際は, サイトの大気透過率の高さと, 0.9– $2.5\mu\text{m}$ 近赤外線波長帯において切れ目ないデータ取得が可能となるため, 前述の研究以外にも多くの研究が一層進む事が期待される。NICE は TAO 6.5m 望遠鏡稼働初期の搭載を念頭に置き, チリへの輸送を前にソフト, ハード両面でのアップデートを継続して進めている。

2. TAO 運用に向けた機械系改修 (高橋, 今井, 鮫島; 山室智康 (オプトクラフト))

(1) NICE は開発されてからかなりの年月が経っている。そのため経年劣化が進んでいる箇所もみられる。アレイフォーカスモータ周りのトラブルがあり, これはリミットスイッチの不具合であることが判明, 交換および固定方法の修繕を行った。

(2) TAO に移設した場合視野サイズが変化するが, それに合わせたスリットサイズの最適化も行う必要がある。これは運用やサイエンスにも関わるため, 多方面からの意見の集約・検討を行い, 結果として TAO6.5m で分散方向のスリット幅を 0.5 秒, 1.0 秒, 1.5 秒にすることとした。空間方向のスリット長については, スペクトル再生 (解析) の最適化・効率化のために最終的な値の検討を続けている。

(3) 今後, TAO 望遠鏡への NICE 以外の観測装置搭載も鑑み, 汎用型望遠鏡インターフェースが導入されている。このインターフェースに NICE を取り付け, 天文学教育研究センター大型実験棟にある望遠鏡シミュレータに搭載, 観測運用を模擬した動作試験を行った。レーザー変位計 FARO を用い装置回転を行った結果, 方向の違いによる機械的な撓みが想定内であることを確認した。またこの試験の際にはチリでの電源仕様を模擬したトランスから専用分電盤から NICE へ電源を供給する形で行われ, 問題なく動作することを確認した。

3. TAO/NICE の制御系システムリプレイス (今井, 高橋, 鮫島; 西村淳 (NAOJ); 吉川智裕 (Edechs))

近赤外線エシェル分光器 NICE は, TAO 6.5m 望遠鏡のファーストライト用, また第 1 期観測装置として搭載される予定であり, 従来の装置制御系を Windows 2000 PC GUI ソフトから TAO が採用するソフトウェアフレームワーク (G2CAM) に切り換えるシステムリプレイスが進行していたが, 2023 年度末をもってこのタスクを完了した。NICE の装置制御システム (ICS) と望遠鏡・観測装置統合制御ソフトウェアシステム (OCS) の間で, 装置依存コマンドの受信と各種処理・動作の実行, 装置・OCS ステータスの送受信, FITS ファイルの送信・アーカイブ, といった基本機能仕様が仕様通り実装されていることを確認済みである。今後チリ輸送までの国内開発期間を使い, 装置の安定運用とユーザビリティ向上のために, 望遠鏡と装置依存コマンドを組み合わせた複雑な制御を可能とするマクロ (スケルトン) コマンドと

機能の追加, 装置ステータス DB と可視化 Web サービスの開発, FITS ヘッダー仕様の更新といった作業を実施する。

4. 観測・解析関係 (鮫島, 今井, 高橋)

性能評価試験の結果をもとに装置の最終(現状)の仕様を洗い出すための解析作業を進めている。具体的にはバッドピクセルの経年変化と現状, エシエルフォーマットの安定性や初期設定値の決定, フォーカスのデフォルト値決定, Ks 撮像モードの効率などである。FITS の仕様については国立天文台情報センター SMOKA チームへの情報提供と議論を継続している。他に観測計画を立てる上で必要な ETC (Exposure Time Calculator) の作り込みを進めている。また公開データ種類についても議論を継続している。

2.5.6.5 TAO 6.5 m 望遠鏡用可視光装置

1. TAO 6.5 m 望遠鏡用可視光装置の検討 (酒向, 松林, 櫛引, 高橋, 土居, 紅山仁, 越諒太郎, 倉島啓斗, 笹岡大雅, 兒玉丱門, 田中健翔)

TAO 6.5 m 望遠鏡のベントカセグレン焦点に搭載する可視光装置の検討をおこなった。現在, 中型・大型望遠鏡にて運用されている可視光装置や, 様々な形式の面分光装置・多天体分光装置について情報を集め, TAO 6.5 m 望遠鏡の特長を活かすことができる新観測装置の仕様について議論した。

2.5.6.6 TAO 6.5 m 望遠鏡用近赤外線 Y-バンド高分散分光器 TARdYS

1. TARdYS InGaAs カメラシステムの開発 (平尾, 笠原; 本原顕太郎, 鎌田有紀子, 岡田則夫 (国立天文台); Leonardo Vanzi, Rafael Ormazábal (PUC-AIUC))

TARdYS(TAO AIUC high resolution(d) Y-band Spectrograph) は TAO6.5m 望遠鏡の第二期観測装置として計画されている, $0.843\text{--}1.117\ \mu\text{m}$ をカバーする, Y-バンドに特化した $R = 66,000$ のファイバーフィード型高分散赤外線分光器である。その焦点面検出器には国立天文台と浜松ホトニクスが共同開発した $1,280 \times 1,280$ フォーマットの InGaAs 検出器が, 駆動とデータ取得には Messia6 が用いられており, それも含めた焦点面デューシステムの開発を進めている。

2023 年度は カトリカ大の AIUC の大学院生である Rafael Ormazábal が三鷹に来訪し、ソフトウェアの確認を行なった。また、検出器デューにリークが存在することが確認されたため、国立天文台先端技術センターの協力のもとその修理を行なった。

年度末にカメラシステム一式の梱包を行い、2024 年度初頭に現地輸送を行う準備が完了した。

2.6 論文及び出版物

2.6.1 英文報告

●Main journal

1. Arimoto, M., Asada, H., Cherry, M. L., Fujii, M. S., Fukazawa, Y., Harada, A., Hayama, K., Hosokawa, T., Ioka, K., Itoh, Y., Kanda, N., Kawabata, K. S., Kawaguchi, K., Kawai, N., Kobayashi, T., Kohri, K., Koshio, Y., Kotake, K., Kumamoto, J., Machida, M. N., Matsufuru, H., Mihara, T., Mori, M., Morokuma, T., Mukohyama, S., Nakano, H., Narikawa, T., Negoro, H., Nishizawa, A., Ohgami, T., Omukai, K., Sakamoto, T., Sako, S., Sasada, M., Sekiguchi, Y., Serino, M., Soda, J., Sugita, S., Sumiyoshi, K., Susa, H., Suyama, T., Takahashi, H., Takahashi, K., Takiwaki, T., Tanaka, T., Tanaka, M., Tanikawa, A., Tominaga, N., Uchikata, N., Utsumi, Y., Vagins, M. R., Yamada, K., and Yoshida, M., “Gravitational wave physics and astronomy in the nascent era”, 2023, PTEP 2023, 10A103
2. Bendo, G. J., Urquhart, S. A., Serjeant, S., Bakx, T., Hagimoto, M., Cox, P., Neri, R., Lehnert, M. D., Dannerbauer, H., Amvrosiadis, A., Andreani, P., Baker, A. J., Beelen, A., Berta, S., Borsato, E., Buat, V., Butler, K. M., Cooray, A., De Zotti, G., Dunne, L., Dye, S., Eales, S., Enia, A., Fan, L., Gavazzi, R., González-Nuevo, J., Harris, A. I., Herrera, C. N., Hughes, D. H., Ismail, D., Jones, B. M., Kohno, K., Krips, M., Lagache, G., Marchetti, L., Massardi, M., Messias, H., Negrello, M., Omont, A., Pérez-Fournon, I., Riechers, D. A., Scott, D., Smith, M. W. L., Stanley, F., Tamura, Y., Temi, P., van der Werf, P., Verma, A., Vlahakis, C., Weiß, A., Yang, C., and Young, A. J., “The bright extragalactic ALMA redshift survey (BEARS) - II. Millimetre photometry of gravitational lens candidates”, 2023, MNRAS 522, 2995
3. Beniyama, J., Ohsawa, R., Avdellidou, C., Sako, S., Takita, S., Ishiguro, M., Sekiguchi, T., Usui, F., Kinoshita, S. W., Lee, K., Takumi, A., Ferrais, M., and Jehin, E., “Multicolor Photometry of Tiny Near-Earth Asteroid 2015 RN₃₅ across a Wide Range of Phase Angles: Possible Mission-accessible A-type Asteroid”, 2023, AJ 166, 229
4. Beniyama, J., Sako, S., Ohtsuka, K., Sekiguchi, T., Ishiguro, M., Kuroda, D., Urakawa, S., Yoshida, F., Takumi, A., Maeda, N., Takahashi, J., Takagi, S., Saito, H., Nakaoka, T., Saito, T., Ohshima, T., Imazawa, R., Kagitani, M., and Takita, S., “Photometry and Polarimetry of 2010 XC₁₅: Observational Confirmation of E-type Near-Earth Asteroid Pair”, 2023, ApJ 955, 143
5. Beniyama, J., Sekiguchi, T., Kuroda, D., Arai, T., Ishibashi, K., Ishiguro, M., Yoshida, F., Senshu, H., Ootsubo, T., Sako, S., Ohsawa, R., Takita, S., Geem, J., and Bach, Y. P., “Simultaneous multicolor photometry of the DESTINY⁺ target asteroid (3200) Phaethon”, 2023, PASJ 75, 297
6. Chen, N., Motohara, K., Spitler, L., Nakajima, K., Momose, R., Kodama, T., Konishi, M., Takahashi, H., Kushibiki, K., Kono, Y., and Terao, Y., “Multiple Emission Lines of H α Emitters at $z \sim 2.3$ from the Broad- and Medium-band Photometry in the ZFOURGE Survey”, 2024, ApJ 964, 5
7. Cubuk, K. O., Burton, M. G., Braiding, C., Wong, G. F., Rowell, G., Maxted, N. I., Eden, D., Alsaberi, R. Z. E., Blackwell, R., Enokiya, R., Feijen, K., Filipović, M. D., Freeman, M. S. R., Fujita, S., Ghavam, M., Gunay, B., Indermuehle, B., Hayashi, K., Kohno, M., Nagaya, T., Nishimura, A., Okawa, K., Rebollo, D., Romano, D., Sano, H., Snoswell, C., Tothill, N. F. H., Tsuge, K., Voisin, F., Yamane, Y., and Yoshiike, S., “The Mopra Southern Galactic Plane CO Survey - data release 4-complete survey”, 2023, PASA 40, e047

8. de la Fuente, E., Toledano-Juárez, I., Kawata, K., Trinidad, M. A., Yamagishi, M., Takekawa, S., Tafoya, D., Ohnishi, M., Nishimura, A., Kato, S., Sako, T., Takita, M., Sano, H., and Yadav, R. K., “Evidence for a gamma-ray molecular target in the enigmatic PeVatron candidate LHAASO J2108+5157”, 2023, *A&A* 675, L5
9. Ding, X., Onoue, M., Silverman, J. D., Matsuoka, Y., Izumi, T., Strauss, M. A., Jahnke, K., Phillips, C. L., Li, J., Volonteri, M., Haiman, Z., Andika, I. T., Aoki, K., Baba, S., Bieri, R., Bosman, S. E. I., Bottrell, C., Eilers, A.-C., Fujimoto, S., Habouzit, M., Imanishi, M., Inayoshi, K., Iwasawa, K., Kashikawa, N., Kawaguchi, T., Kohno, K., Lee, C.-H., Lupi, A., Lyu, J., Nagao, T., Overzier, R., Schindler, J.-T., Schramm, M., Shimasaku, K., Toba, Y., Trakhtenbrot, B., Trebitsch, M., Treu, T., Umehata, H., Venemans, B. P., Vestergaard, M., Walter, F., Wang, F., and Yang, J., “Detection of stellar light from quasar host galaxies at redshifts above 6”, 2023, *Natur* 621, 51
10. Furtak, L. J., Mainali, R., Zitrin, A., Plat, A., Fujimoto, S., Donahue, M., Nelson, E. J., Bauer, F. E., Uematsu, R., Caminha, G. B., Andrade-Santos, F., Bradley, L. D., Caputi, K. I., Charlot, S., Chevallard, J., Coe, D., Curtis-Lake, E., Espada, D., Frye, B. L., Knudsen, K. K., Koekemoer, A. M., Kohno, K., Kokorev, V., Laporte, N., Lee, M. M., Lemaux, B. C., Magdis, G. E., Sharon, K., Stark, D. P., Su, Y., Suess, K. A., Ueda, Y., Umehata, H., Vidal-García, A., and Wu, J. F., “A variable active galactic nucleus at $z = 2.06$ triply-imaged by the galaxy cluster MACS J0035.4-2015”, 2023, *MNRAS* 522, 5142
11. Garratt, T. K., Geach, J. E., Tamura, Y., Coppin, K. E. K., Franco, M., Ao, Y., Chen, C.-C., Cheng, C., Clements, D. L., Dai, Y. S., Dannerbauer, H., Greve, T. R., Hatsukade, B., Hwang, H. S., Jiang, L., Kohno, K., Koprowski, M. P., Michałowski, M. J., Sawicki, M., Scott, D., Shim, H., Takeuchi, T. T., Wang, W.-H., Xue, Y. Q., and Yang, C., “The SCUBA-2 Large eXtragalactic Survey: 850 μ m map, catalogue and the bright-end number counts of the XMM-LSS field”, 2023, *MNRAS* 520, 3669
12. Guerrero, A., Nagar, N., Kohno, K., Fujimoto, S., Kokorev, V., Brammer, G., Jolly, J.-B., Knudsen, K., Sun, F., Bauer, F. E., Caminha, G. B., Caputi, K., Neumann, G., Orellana-González, G., Cerulo, P., González-López, J., Laporte, N., Koekemoer, A. M., Ao, Y., Espada, D., and Arancibia, A. M. M., “ALMA Lensing Cluster Survey: average dust, gas, and star-formation properties of cluster and field galaxies from stacking analysis”, 2023, *MNRAS* 526, 2423
13. Hagimoto, M., Bakx, T. J. L. C., Serjeant, S., Bendo, G. J., Urquhart, S. A., Eales, S., Harrington, K. C., Tamura, Y., Umehata, H., Berta, S., Cooray, A. R., Cox, P., De Zotti, G., Lehnert, M. D., Riechers, D. A., Scott, D., Temi, P., van der Werf, P. P., Yang, C., Amvrosiadis, A., Andreani, P. M., Baker, A. J., Beelen, A., Borsato, E., Buat, V., Butler, K. M., Dannerbauer, H., Dunne, L., Dye, S., Enia, A. F. M., Fan, L., Gavazzi, R., González-Nuevo, J., Harris, A. I., Herrera, C. N., Hughes, D. H., Ismail, D., Ivison, R. J., Jones, B., Kohno, K., Krips, M., Lagache, G., Marchetti, L., Massardi, M., Messias, H., Negrello, M., Neri, R., Omont, A., Perez-Fournon, I., Sedgwick, C., Smith, M. W. L., Stanley, F., Verma, A., Vlahakis, C., Ward, B., Weiner, C., Weiß, A., and Young, A. J., “Bright extragalactic ALMA redshift survey (BEARS) III: detailed study of emission lines from 71 Herschel targets”, 2023, *MNRAS* 521, 5508
14. Han, C., Zang, W., Jung, Y. K., Bond, I. A., Chung, S.-J., Albrow, M. D., Gould, A., Hwang, K.-H., Ryu, Y.-H., Shin, I.-G., Shvartzvald, Y., Yang, H., Yee, J. C., Cha, S.-M., Kim, D., Kim, D.-J., Kim, S.-L., Lee, C.-U., Lee, D.-J., Lee, Y., Park, B.-G., Pogge, R. W., Monard, B., Qian, Q., Liu, Z., Maoz, D., Penny, M. T., Zhu, W., Abe, F., Barry, R., Bennett, D. P., Bhattacharya, A., Fujii, H.,

- Fukui, A., Hamada, R., Hirao, Y., Ishitani Silva, S., Itow, Y., Kirikawa, R., Kondo, I., Koshimoto, N., Matsubara, Y., Miyazaki, S., Muraki, Y., Olmschenk, G., Ranc, C., Rattenbury, N. J., Satoh, Y., Sumi, T., Suzuki, D., Tomoyoshi, M., Tristram, P. J., Vandenrou, A., Yama, H., and Yamashita, K., “KMT-2021-BLG-1547Lb: Giant microlensing planet detected through a signal deformed due to source binarity”, 2023, *A&A* 678, A101
15. Han, C., Jung, Y. K., Bond, I. A., Chung, S.-J., Albrow, M. D., Gould, A., Hwang, K.-H., Lee, C.-U., Ryu, Y.-H., Shin, I.-G., Shvartzvald, Y., Yang, H., Yee, J. C., Zang, W., Cha, S.-M., Kim, D., Kim, D.-J., Kim, S.-L., Lee, D.-J., Lee, Y., Park, B.-G., Pogge, R. W., Abe, F., Barry, R., Bennett, D. P., Bhattacharya, A., Fujii, H., Fukui, A., Hamada, R., Hirao, Y., Ishitani Silva, S., Itow, Y., Kirikawa, R., Koshimoto, N., Matsubara, Y., Miyazaki, S., Muraki, Y., Olmschenk, G., Ranc, C., Rattenbury, N. J., Satoh, Y., Sumi, T., Suzuki, D., Tomoyoshi, M., Tristram, P. J., Vandenrou, A., Yama, H., and Yamashita, K., “Brown dwarf companions in binaries detected in the 2021 season high-cadence microlensing surveys”, 2023, *A&A* 678, A190
 16. Hashiguchi, A., Toba, Y., Ota, N., Oguri, M., Okabe, N., Ueda, Y., Imanishi, M., Yamada, S., Goto, T., Koyama, S., Lee, K., Mitsunishi, I., Nagao, T., Nishizawa, A. J., Noboriguchi, A., Oogi, T., Sakuta, K., Schramm, M., Shibata, M., Terashima, Y., Yamashita, T., Yanagawa, A., and Yoshimoto, A., “AGN number fraction in galaxy groups and clusters at $z < 1.4$ from the Subaru Hyper Suprime-Cam survey”, 2023, *PASJ* 75, 1246
 17. Horinouchi, T., Kouyama, T., Imai, M., Murakami, S.-ya., Lee, Y. J., Yamazaki, A., Yamada, M., Watanabe, S., Imamura, T., Peralta, J., and Satoh, T., “Long-Term Variability of Mean Winds and Planetary-Scale Waves Around Venusian Cloud Top Observed With Akatsuki/UVI”, 2024, *JGRE* 129, e2023JE008221
 18. Horiuchi, T., Hanayama, H., Ohishi, M., Nakaoka, T., Imazawa, R., Kawabata, K. S., Takahashi, J., Onozato, H., Saito, T., Yamanaka, M., Nogami, D., Tampo, Y., Kojiguchi, N., Ito, J., Shibata, M., Schramm, M., Oasa, Y., Kanai, T., Oide, K., Murata, K. L., Hosokawa, R., Takamatsu, Y., Imai, Y., Ito, N., Niwano, M., Takagi, S., Ono, T., and Kouprianov, V. V., “Multicolor and multi-spot observations of Starlink’s Visorsat”, 2023, *PASJ* 75, 584
 19. Huang, K.-Y., Viti, S., Holdship, J., Mangum, J. G., Martín, S., Harada, N., Muller, S., Sakamoto, K., Tanaka, K., Yoshimura, Y., Herrero-Illana, R., Meier, D. S., Behrens, E., van der Werf, P. P., Henkel, C., García-Burillo, S., Rivilla, V. M., Emig, K. L., Colzi, L., Humire, P. K., Aladro, R., and Bouvier, M., “Reconstructing the shock history in the CMZ of NGC 253 with ALCHEMI”, 2023, *A&A* 675, A151
 20. Huang, K.-Y., Viti, S., Holdship, J., Mangum, J. G., Martín, S., Harada, N., Muller, S., Sakamoto, K., Tanaka, K., Yoshimura, Y., Herrero-Illana, R., Meier, D. S., Behrens, E., van der Werf, P. P., Henkel, C., García-Burillo, S., Rivilla, V. M., Emig, K. L., Colzi, L., Humire, P. K., Aladro, R., and Bouvier, M., “Reconstructing the shock history in the CMZ of NGC 253 with ALCHEMI (Corrigendum)”, 2023, *A&A* 678, C2
 21. Huang, S., Umehata, H., Kawabe, R., Kohno, K., Lee, M., Tamura, Y., Hatsukade, B., and Mawatari, K., “Characterizing CO Emitters in the SSA22-AzTEC26 Field”, 2023, *ApJ* 953, 75

22. Huang, S., Kawabe, R., Kohno, K., Saito, T., Mizukoshi, S., Iono, D., Michiyama, T., Tamura, Y., Hayward, C. C., and Umehata, H., “J0107a: A Barred Spiral Dusty Star-forming Galaxy at $z = 2.467$ ”, 2023, *ApJL* 958, L26
23. Imai, M., Taghchi, M., Shoji, Y., Nakano, T., Takahashi, Y., Sato, M., Ohno, T., Tanaka, K., Mori, S., Kohno, D., Hamamoto, K., and Takagi, S., “Spectroscopic and Imaging Observation of the Venus Atmosphere by a Balloon-Borne Stratospheric Telescope FUJIN-2”, 2023, *J. Evolv. Space Activ.* 1, 83
24. Inoue, K. T., Minezaki, T., Matsushita, S., and Nakanishi, K., “ALMA Measurement of 10 kpc Scale Lensing-power Spectra toward the Lensed Quasar MG J0414+0534”, 2023, *ApJ* 954, 197
25. Isobe, Y., Ouchi, M., Nakajima, K., Ozaki, S., Bouché, N. F., Wise, J. H., Xu, Y., Emsellem, E., Kusakabe, H., Hattori, T., Nagao, T., Chiaki, G., Fukushima, H., Harikane, Y., Hayashi, K., Hirai, Y., Kim, J. H., Maseda, M. V., Nagamine, K., Shibuya, T., Sugahara, Y., Yajima, H., Aoyama, S., Fujimoto, S., Fukushima, K., Hatano, S., Inoue, A. K., Ishigaki, T., Kawasaki, M., Kojima, T., Komiyama, Y., Koyama, S., Koyama, Y., Lee, C.-H., Matsumoto, A., Mawatari, K., Moriya, T. J., Motohara, K., Murai, K., Nishigaki, M., Onodera, M., Ono, Y., Rauch, M., Saito, T., Sasaki, R., Suzuki, A., Takeuchi, T. T., Umeda, H., Umemura, M., Watanabe, K., Yabe, K., and Zhang, Y., “EMPRESS. IX. Extremely Metal-poor Galaxies are Very Gas-rich Dispersion-dominated Systems: Will the James Webb Space Telescope Witness Gaseous Turbulent High- z Primordial Galaxies?”, 2023, *ApJ* 951, 102
26. Iwashita, R., Kataoka, J., and Sofue, Y., “Broadband Radio Study of the North Polar Spur: Origin of the Spectral Turnover with Insights into the X-Ray and Gamma-Ray Spectra”, 2023, *ApJ* 958, 83
27. Kitayama, T., Ueda, S., Okabe, N., Akahori, T., Hilton, M., Hughes, J. P., Ichinohe, Y., Kohno, K., Komatsu, E., Lin, Y.-T., Miyatake, H., Oguri, M., Sifón, C., Takakuwa, S., Takizawa, M., Tsutsumi, T., van Marrewijk, J., and Wollack, E. J., “Galaxy clusters at $z \sim 1$ imaged by ALMA with the Sunyaev-Zel’dovich effect”, 2023, *PASJ* 75, 311
28. Koda, J., Hirota, A., Egusa, F., Sakamoto, K., Sawada, T., Heyer, M., Baba, J., Boissier, S., Calzetti, D., Donovan Meyer, J., Elmegreen, B. G., Gil de Paz, A., Harada, N., Ho, L. C., Kobayashi, M. I. N., Kuno, N., Lee, A. M., Madore, B. F., Maeda, F., Martín, S., Muraoka, K., Nakanishi, K., Onodera, S., Pineda, J. L., Scoville, N., and Watanabe, Y., “Diverse Molecular Structures across the Whole Star-forming Disk of M83: High-fidelity Imaging at 40 pc Resolution”, 2023, *ApJ* 949, 108
29. Kohno, M. and Sofue, Y., “The CO-to-H₂ conversion factor of Galactic giant molecular clouds using CO isotopologues: high-resolution X_{CO} maps”, 2024, *MNRAS* 527, 9290
30. Kohno, M., and Sofue, Y., “The CO-to-H₂ Conversion Factor in the Central Molecular Zone of the Milky Way using CO isotopologues”, 2024, *PASJ*, in press.
31. Kushibiki, K., Ozaki, S., Takeda, M., Hosobata, T., Yamagata, Y., Morita, S., Tsuzuki, T., Nakagawa, K., Saiki, T., Ohtake, Y., Mitsui, K., Okita, H., Kitagawa, Y., Kono, Y., Motohara, K., Takahashi, H., Konishi, M., Kato, N., Koyama, S., and Chen, N., “Development of a near-infrared wide-field integral field unit by ultra-precision diamond cutting”, 2024, *JATIS* 10, 015004

32. Maeda, F., Egusa, F., Tsujita, A., Inoue, S., Kohno, K., Komugi, S., Ohta, K., Asada, Y., Fujimoto, Y., Habe, A., Hatsukade, B., Inoue, S., Kaneko, H., Kobayashi, M. I. N., and Tosaki, T., “Detection of CO(1 - 0) Emission at the Tips of the Tidal Tail in the Antennae Galaxies”, 2024, *ApJ* 962, 4
33. Maeda, K., Jiang, J.-an., Doi, M., Kawabata, M., and Shigeyama, T., “Initial flash and spectral formation of Type Ia supernovae with an envelope: applications to overluminous SNe Ia”, 2023, *MNRAS* 521, 1897
34. Matsuoka, Y., Onoue, M., Iwasawa, K., Strauss, M. A., Kashikawa, N., Izumi, T., Nagao, T., Imanishi, M., Akiyama, M., Silverman, J. D., Asami, N., Bosch, J., Furusawa, H., Goto, T., Gunn, J. E., Harikane, Y., Ikeda, H., Inayoshi, K., Ishimoto, R., Kawaguchi, T., Kikuta, S., Kohno, K., Komiyama, Y., Lee, C.-H., Lupton, R. H., Minezaki, T., Miyazaki, S., Murayama, H., Nishizawa, A. J., Oguri, M., Ono, Y., Oogi, T., Ouchi, M., Price, P. A., Sameshima, H., Sugiyama, N., Tait, P. J., Takada, M., Takahashi, A., Takata, T., Tanaka, M., Toba, Y., Wang, S.-Y., and Yamashita, T., “Quasar Luminosity Function at $z = 7$ ”, 2023, *ApJL* 949, L42
35. Mawatari, K., Inoue, A. K., Yamada, T., Hayashino, T., Prochaska, J. X., Lee, K.-G., Tejos, N., Kashikawa, N., Otsuka, T., Yamanaka, S., Schlegel, D. J., Matsuda, Y., Hennawi, J. F., Iwata, I., Umehata, H., Mukae, S., Ouchi, M., Sugahara, Y., and Tamura, Y., “The SSA22 H I Tomography Survey (SSA22-HIT). I. Data Set and Compiled Redshift Catalog”, 2023, *AJ* 165, 208
36. Mizumoto, M., Sameshima, H., Kobayashi, N., Matsunaga, N., Kondo, S., Hamano, S., Yasui, C., Fukue, K., Arai, A., Kawakita, H., Otsubo, S., Bono, G., and Saviane, I., “Shock Excitation in Narrow-line Regions Powered by AGN Outflows”, 2024, *ApJ* 960, 41
37. Mou, G., Wu, J., and Sofue, Y., “Cosmic-ray electrons and the magnetic field of the North Polar Spur”, 2023, *A&A* 676, L3
38. Murai, Y., Tanaka, M., Kawabata, M., Taguchi, K., Teja, R. S., Nakaoka, T., Maeda, K., Kawabata, K. S., Nagao, T., Moriya, T. J., Sahu, D. K., Anupama, G. C., Tominaga, N., Morokuma, T., Imazawa, R., Inutsuka, S., Isogai, K., Kasuga, T., Kobayashi, N., Kondo, S., Maehara, H., Mori, Y., Niino, Y., Ogawa, M., Ohsawa, R., Okumura, S.-ichiro., Saito, S., Sako, S., Takahashi, H., Uno, K., and Yamanaka, M., “Intermediate-luminosity Type IIP SN 2021gmj: a low-energy explosion with signatures of circumstellar material”, 2024, *MNRAS* 528, 4209
39. Muraoka, K., Konishi, A., Tokuda, K., Kondo, H., Miura, R. E., Tosaki, T., Onodera, S., Kuno, N., Kobayashi, M. I. N., Tsuge, K., Sano, H., Kitano, N., Fujita, S., Nishimura, A., Onishi, T., Saigo, K., Yamada, R. I., Demachi, F., Tachihara, K., Fukui, Y., Kawamura, A., and AAS Journals Data Editors, “ACA CO(J = 2-1) Mapping of the Nearest Spiral Galaxy M33. I. Initial Results and Identification of Molecular Clouds”, 2023, *ApJ* 953, 164
40. Nakajima, T., Takano, S., Tosaki, T., Taniguchi, A., Harada, N., Saito, T., Imanishi, M., Nishimura, Y., Izumi, T., Tamura, Y., Kohno, K., and Herbst, E., “Molecular Abundance of the Circumnuclear Region Surrounding an Active Galactic Nucleus in NGC 1068 Based on an Imaging Line Survey in the 3 mm Band with ALMA”, 2023, *ApJ* 955, 27
41. Naruse, A. C., Kamizuka, T., Miyata, T., Sako, S., Ohsawa, R., Asano, K., Nishimura, A., Sakon, I., Tachibana, K., Iida, H., “Development of a flat calibration unit for accurate flat fielding in the mid-infrared region”, 2023, *JATIS* 9, 038004

42. Ohgami, T., Becerra González, J., Tominaga, N., Morokuma, T., Utsumi, Y., Niino, Y., Tanaka, M., Banerjee, S., Poidevin, F., Acosta-Pulido, J. A., Pérez-Fournon, I., Muñoz-Darias, T., Akitaya, H., Yanagisawa, K., Sasada, M., Yoshida, M., Simunovic, M., Ohsawa, R., Tanaka, I., Terai, T., Takagi, Y., and J-GEM Collaboration, “Follow-up Survey for the Binary Black Hole Merger GW200224.222234 Using Subaru/HSC and GTC/OSIRIS”, 2023, *ApJ* 947, 9
43. Oshikiri, K., Tanaka, M., Tominaga, N., Morokuma, T., Takahashi, I., Tampo, Y., Hamidani, H., Arima, N., Arimatsu, K., Kasuga, T., Kobayashi, N., Kondo, S., Mori, Y., Niino, Y., Ohsawa, R., Okumura, S.-. ichiro ., Sako, S., and Takahashi, H., “A search for extragalactic fast optical transients in the Tomo-e Gozen high-cadence survey”, 2024, *MNRAS* 527, 334
44. Satoh, Y. K., Koshimoto, N., Bennett, D. P., Sumi, T., Rattenbury, N. J., Suzuki, D., Miyazaki, S., Bond, I. A., Udalski, A., Gould, A., Bozza, V., Dominik, M., Hirao, Y., Kondo, I., Kirikawa, R., Hamada, R., Abe, F., Barry, R., Bhattacharya, A., Fujii, H., Fukui, A., Fujita, K., Ikeno, T., Ishitani, Silva, S., Itow, Y., Matsubara, Y., Matsumoto, S., Muraki, Y., Niwa, K., Okamura, A., Olmschenk, G., Ranc, C., Toda, T., Tomoyoshi, M., Tristram, P. J., Vandenbroucke, A., Yama, H., Yamashita, K., MOA Collaboration, Mróz, P., Poleski, R., Skowron, J., Szymański, M. K., Poleski, R., Soszyński, I., Pietrukowicz, P., Kozłowski, S., Ulaczyk, K., Rybicki, K. A., Iwanek, P., Wrona, M., Gromadzki, M., OGLE Collaboration, Albrow, M. D., Chung, S.-J., Han, C., Hwang, K.-H., Kim, D., Jung, Y. K., Kim, H. W., Ryu, Y.-H., Shin, I.-G., Shvartzvald, Y., Yang, H., Yee, J. C., Zang, W., Cha, S.-M., Kim, D.-J., Kim, S.-L., Lee, C.-U., Lee, D.-J., Lee, Y., Park, B.-G., Pogge, R. W., KMTNet Collaboration, Jørgensen, U. G., Longa-Peña, P., Sajadian, S., Skottfelt, J., Snodgrass, C., Tregloan-Reed, J., Bach-Møller, N., Burgdorf, M., D’Ago, G., Haikala, L., Hitchcock, J., Hundertmark, M., Khalouei, E., Peixinho, N., Rahvar, S., Southworth, J., Spyros, P., and Mindstep Collaboration, “OGLE-2019-BLG-0825: Constraints on the Source System and Effect on Binary-lens Parameters Arising from a Five-day Xallarap Effect in a Candidate Planetary Microlensing Event”, 2023, *AJ* 166, 116
45. Shimajiri, Y., Kawanishi, Y., Fujita, S., Miyamoto, Y., Ito, A. M., Arzoumanian, D., André, P., Nishimura, A., Tokuda, K., Kaneko, H., Takekawa, S., Ueda, S., Onishi, T., Inoue, T., Nishimoto, S., and Yoneda, R., “Predicting reliable H₂ column density maps from molecular line data using machine learning”, 2023, *MNRAS* 526, 966
46. Sofue, Y., “Face-on map of the molecular disc and 3-kpc expanding ring of the Galaxy based on a high-accuracy rotation curve”, 2023, *Ap&SS* 368, 74
47. Sofue, Y., Kataoka, J., and Iwashita, R., “On the H α faintness of the North Polar Spur”, 2023, *MNRAS* 524, 4212
48. Sofue, Y., “Giant molecular cloud G18.1-0.3+51 associated with H II regions and supernova remnant in the 3-kpc expanding ring”, 2023, *MNRAS* 525, 4540
49. Sofue, Y., “Stochastic star formation in the Milky Way inferred from the unity index of the Kennicutt-Schmidt law”, 2024, *PASJ.* in press.
50. Sofue, Y., “Dark supernova remnant buried in the Galactic-Centre “Brick” G0.253+0.016 revealed by an expanding CO-line bubble”. 2024, *PASJ*, in press.
51. Sumi, T., Koshimoto, N., Bennett, D. P., Rattenbury, N. J., Abe, F., Barry, R., Bhattacharya, A., Bond, I. A., Fujii, H., Fukui, A., Hamada, R., Hirao, Y., Silva, S. I., Itow, Y., Kirikawa, R., Kondo, I.,

- Matsubara, Y., Miyazaki, S., Muraki, Y., Olmschenk, G., Ranc, C., Satoh, Y., Suzuki, D., Tomoyoshi, M., Tristram, P. J., Vandorou, A., Yama, H., and Yamashita, K., “Free-floating Planet Mass Function from MOA-II 9 yr Survey toward the Galactic Bulge”, 2023, *AJ* 166, 108
52. Tachibana, K., Miyata, T., Kamizuka, T., Ohsawa, R., Takita, S., Nakagawa, A., Ita, Y., and Uchiyama, M., “Investigation of mid-infrared long-term variability of dusty AGB stars using multi-epoch scan data of AKARI and WISE”, 2023, *PASJ* 75, 489
53. Takagi, M., Ando, H., Imai, M., Sugimoto, N., and Matsuda, Y., “Formation and Quasi-Periodic Variation of Equatorial Jet Caused by Planetary-Scale Waves in the Venusian Lower Cloud Layer”, 2023, *JGRE* 128, e2023JE007922
54. Tamura, Y., C. Bakx, T. J. L., Inoue, A. K., Hashimoto, T., Tokuoka, T., Imamura, C., Hatsukade, B., Lee, M. M., Moriwaki, K., Okamoto, T., Ota, K., Umehata, H., Yoshida, N., Zackrisson, E., Hagimoto, M., Matsuo, H., Shimizu, I., Sugahara, Y., and Takeuchi, T. T., “The 300 pc Resolution Imaging of a $z = 8.31$ Galaxy: Turbulent Ionized Gas and Potential Stellar Feedback 600 Million Years after the Big Bang”, 2023, *ApJ* 952, 9
55. Tanaka, K., Mangum, J. G., Viti, S., Martín, S., Harada, N., Sakamoto, K., Muller, S., Yoshimura, Y., Nakanishi, K., Herrero-Illana, R., Emig, K. L., Mühle, S., Kaneko, H., Tosaki, T., Behrens, E., Rivilla, V. M., Colzi, L., Nishimura, Y., Humire, P. K., Bouvier, M., Huang, K.-Y., Butterworth, J., Meier, D. S., and van der Werf, P. P., “Volume Density Structure of the Central Molecular Zone NGC 253 through ALCHEMI Excitation Analysis”, 2024, *ApJ* 961, 18
56. Taniguchi, K., Rayalacheruvu, P., Yonetsu, T., Takekoshi, T., Hatsukade, B., Kohno, K., Oshima, T., Tamura, Y., Yoshimura, Y., Gómez-Rivera, V., Rojas-García, S., Gómez-Ruiz, A. I., Hughes, D. H., Schloerb, F. P., Majumdar, L., Saito, M., Rodríguez-Montoya, I., Sánchez-Arguelles, D., and Kawabe, R., “Large-scale Mapping Observations of DCN and DCO⁺ toward Orion KL”, 2024, *ApJ* 963, 12
57. Xiao, M.-Y., Elbaz, D., Gómez-Guijarro, C., Leroy, L., Bing, L.-J., Daddi, E., Magnelli, B., Franco, M., Zhou, L., Dickinson, M., Wang, T., Rujopakarn, W., Magdis, G. E., Treister, E., Inami, H., Demarco, R., Sargent, M. T., Shu, X., Kartaltepe, J. S., Alexander, D. M., Béthermin, M., Bournaud, F., Ciesla, L., Ferguson, H. C., Finkelstein, S. L., Giavalisco, M., Gu, Q.-S., Iono, D., Juneau, S., Lagache, G., Leiton, R., Messias, H., Motohara, K., Mullaney, J., Nagar, N., Pannella, M., Papovich, C., Pope, A., Schreiber, C., and Silverman, J., “The hidden side of cosmic star formation at $z \sim 3$. Bridging optically dark and Lyman-break galaxies with GOODS-ALMA”, 2023, *A&A* 672, A18
58. Xu, Y., Ouchi, M., Isobe, Y., Nakajima, K., Ozaki, S., Bouché, N. F., Wise, J. H., Emsellem, E., Kusakabe, H., Hattori, T., Nagao, T., Chiaki, G., Fukushima, H., Harikane, Y., Hayashi, K., Hirai, Y., Kim, J. H., Maseda, M. V., Nagamine, K., Shibuya, T., Sugahara, Y., Yajima, H., Aoyama, S., Fujimoto, S., Fukushima, K., Hatano, S., Inoue, A. K., Ishigaki, T., Kawasaki, M., Kojima, T., Komiyama, Y., Koyama, S., Koyama, Y., Lee, C.-H., Matsumoto, A., Mawatari, K., Moriya, T. J., Motohara, K., Murai, K., Nishigaki, M., Onodera, M., Ono, Y., Rauch, M., Saito, T., Sasaki, R., Suzuki, A., Takeuchi, T. T., Umeda, H., Umemura, M., Watanabe, K., Yabe, K., and Zhang, Y., “EMPRESS. XII. Statistics on the Dynamics and Gas Mass Fraction of Extremely Metal-poor Galaxies”, 2024, *ApJ* 961, 49
59. Yamagishi, M., Furuya, K., Sano, H., Izumi, N., Takekoshi, T., Kaneda, H., Nakanishi, K., and Shimonishi, T., “Cosmic-ray-driven enhancement of the C⁰/CO abundance ratio in W 51 C”, 2023, *PASJ* 75, 883

60. Yasuda, A., Kuno, N., Sorai, K., Muraoka, K., Miyamoto, Y., Kaneko, H., Yajima, Y., Tanaka, T., Morokuma-Matsui, K., Takeuchi, T. T., and Kobayashi, M. I. N., “CO multi-line imaging of nearby galaxies (COMING). XII. CO-to-H₂ conversion factor and dust-to-gas ratio”, 2023, PASJ 75, 743
61. Zhong, Y., Inoue, A. K., Sugahara, Y., Morokuma-Matsui, K., Komugi, S., Kaneko, H., Fudamoto, Y., “Revisiting the Dragonfly galaxy - I. High-resolution ALMA and VLA observations of the radio hotspots in a hyper-luminous infrared galaxy at $z = 1.92$ ”, 2023, MNRAS 522, 6123
62. Loni, A., Serra, P., Sarzi, M., Józsa, G. I. G., Anta, P. M. G., Zabel, N., Kleiner, D., Maccagni, F. M., Molnár, D., Ramatsoku, M., Loi, F., Corsini, E. M., Pisano, D. J., Kamphuis, P., Davis, T. A., de Blok, W. J. G., Dettmar, R. J., Falcon-Barroso, J., Iodice, E., Lara-López, M. A., Loubser, S. I., Morokuma-Matsui, K., Peletier, R., Pinna, F., Poci, A., Smith, M. W. L., Trager, S. C., van de Ven, G., “NGC 1436: the making of a lenticular galaxy in the Fornax Cluster”, 2023, MNRAS 523, 1140

●Proceedings

1. Taniguchi, A., Tamura, Y., Ikeda, S., Takekoshi, T., Kawabe, R., Kohno, K., and Sakai, T., “Data science based efficient and automated spectroscopy for submillimeter single-dish telescopes”, 2023, 2023 XXXVth General Assembly and Scientific Symposium of the International Union of Radio Science (URSI GASS), held 19-26 August 2023 in Sapporo, Japan, Published by IEEE. ISSN: 2642-4339, ISBN: 978-9-4639-6809-6., id.334

●Circulars & Telegrams

1. Author1, A., Author2, B., Author3, C., “Title of the paper”, Year, Circular name, First page

[in press]

●Main journal

1. Yamada, S., Kawamuro, T., Mizumoto, M., Ricci, C., Ogawa, S., Noda, H., Ueda, Y., Enoto, T., Kokubo, M., Minezaki, T., Sameshima, H., Horiuchi, T., Mizukoshi, S., “X-ray Winds In Nearby-to-distant Galaxies (X-WING) - I: Legacy Surveys of Galaxies with Ultrafast Outflows and Warm Absorbers in $z \sim 0-4$ ”, 2024, ApJS in press
2. Kawata, D., Kawahara, H., Gouda, N., Secrest, N. J., Kano, R., Kataza, H., Isobe, N., Ohsawa, R., Usui, F., Yamada, Y., Graham, A. W., Pettitt, A. R., Asada, H., Baba, J., Bekki, K., Dorland, B. N., Fujii, M., Fukui, A., Hattori, K., Hirano, T., Kamizuka, T., Kashima, S., Kawanaka, N., Kawashima, Y., Klioner, S. A., Kodama, T., Koshimoto, N., Kotani, T., Kuzuhara, M., Levine, S. E., Majewski, S. R., Masuda, K., Matsunaga, N., Miyakawa, K., Miyoshi, M., Morihana, K., Nishi, R., Notsu, Y., Omiya, M., Sanders, J., Tanikawa, A., Tsujimoto, M., Yano, T., Aizawa, M., Arimatsu, K., Biermann, M., Boehm, C., Chiba, M., Debattista, V. P., Gerhard, O., Hirabayashi, M., Hobbs, D., Ikenoue, B., Izumiura, H., Jordi, C., Kohara, N., Löffler, W., Luri, X., Mase, I., Miglio, A., Mitsuda, K., Newswander, T., Nishiyama, S., Obuchi, Y., Ootsubo, T., Ouchi, M., Ozaki, M., Perryman, M., Prusti, T., Ramos, P., Read, J. I., Rich, R. M., Schönrich, R., Shikauchi, M., Shimizu, R., Suematsu, Y., Tada, S., Takahashi, A., Tatekawa, T., Tatsumi, D., Tsujimoto, T., Tsuzuki, T., Urakawa, S., Uraguchi, F., Utsunomiya, S., Van Eylen, V., van Leeuwen, F., Wada, T., and Walton, N. A., “JASMINE: Near-infrared astrometry and time-series photometry science”, 2024, PASJ in press

●Proceedings

1. Author1, A., Author2, B., Author3, C., “Title of the paper”, 2020, 書名, ed. 編者名, (出版社名, 所在地), in press

2.6.1.1 投稿中のもの

●Main journal

1. Mizukoshi, S., Minezaki, T., Sameshima, H., Kokubo, M., Noda H., Kawamuro, T., Yamada S., Horiuchi, T., “Updated Picture of the Active Galactic Nuclei with Dusty/Dust-free Gas Structures and Effects of the Radiation Pressure”, 2023, submitted to MNRAS
2. Yamada, S., Kawamuro, T., Mizumoto, M., Ricci, C., Ogawa, S., Noda, H., Ueda, Y., Enoto, T., Kokubo, M., Minezaki, T., Sameshima, H., Horiuchi, T., Mizukoshi, S., “X-ray Winds In Nearby-to-distant Galaxies (X-WING) - I: Legacy Surveys of Galaxies with Ultrafast Outflows and Warm Absorbers in $z \sim 0 - 4$ ”, ApJS submitted
3. Tsujita, A., Kohno, K., Egusa, F., Nishimura, Y., et al., “ALMA Lensing Cluster Survey: Physical characterization of near-infrared-dark intrinsically faint ALMA sources at $z=2-4$ ”, 2024, submitted to ApJ

2.6.2 和文その他の解説記事

1. 水越 翔一郎：「赤外線光度変動を用いた活動銀河核を隠すダスト分布調査」, 2023 年, 天文月報, 407-414

2.7 学会, 研究会における発表

2.7.1 日本天文学会 2023 年秋季年会, 名古屋大学 (2023/09/20-09/22)

1. Q12b : 前田郁弥, 江草芙実, 太田耕司, 藤本裕輔, 羽部朝男, 小林将人, 「棒渦巻銀河 NGC3627 における銀河の内部構造と分子雲衝突, 星形成の関係」
2. Q21a : 妹尾梨子, 左近 樹, 尾中 敬 ほか, 「高温真空昇温脱離法 (TPD) を用いた模擬星間有機物ダストの化学構造の分析」
3. R22a : 前田郁弥, 江草芙実, 河野孝太郎, 辻田旭慶, 井上修平 ほか, 「潮汐矮小銀河の分子ガスの性質 1」
4. S16a : 水越 翔一郎, 峰崎 岳夫, 鮫島 寛明, 小久保 充, 野田 博文, 工藤 祐己, 「ダスト減光に基づく AGN 近傍 dusty/dust-free gas 構造の性質調査」
5. S34a : 堀内貴史, 鳥羽儀樹, 三澤 透, 「光度変動が周期的な超高光度クェーサーの測光モニター観測」
6. V253a : 宮田隆志ほか, 「東京大学アタカマ天文台 TAO6.5m 望遠鏡計画進捗報告 2023 秋」
7. V254a : 木下凌太, 上塚貴史ほか, 「TAO/MIMIZUKU 用冷却チョッパーの開発: 搭載機の製作と冷却動作試験」
8. Z303a : 上塚貴史, 宮田隆志, 松尾太郎, 「宇宙赤外線干渉計が解明する漸近巨星分枝星の星風駆動機構」

2.7.2 日本天文学会 2024 年春季年会, 東京大学 (2024/03/11–03/15)

1. R15a : 長田真季, 前田郁弥, 江草芙実, 諸隈佳菜, 河野孝太郎, 徳田一起, 幸田仁, 「棒渦巻銀河 M83 における大局的速度場から逸脱した高速度分子雲の発見」
2. R17a : 松坂怜, 半田利弘, 柴田洋佑, 天野諒, 池田智喜, 笠井梨名, 山口智輝, 江草芙実, 前田郁弥, 藤本裕輔, 村瀬建, 「棒渦巻銀河 M83 における希薄分子ガスの空間分布とその集積機構」
3. S14a : 水越翔一郎, 工藤祐己, 和田桂一, 峰崎岳夫, 鮫島寛明, 小久保 充, 野田博文, 「シミュレーションとの比較による AGN ガス柱密度分布のばらつきの起源調査」
4. X29a : 諸隈佳菜, 矢島秀伸, 安部牧人, 「Clustering properties of galaxies in protoclusters at the epoch of reionization」

2.7.3 日本地球惑星科学連合 2023 年大会, 幕張メッセ (2023/05/21–05/26)

1. PCG20-10 : 左近 樹, 遠藤 いずみ, 妹尾 梨子, 尾中 敬, 宮田 隆志, 癸生川 陽子, 小林 憲正, 矢野 創, 三田 肇, 木村 勇気, 中村 正人, 小林 政弘, 中村 浩章, 「宇宙の有機物の塵の性質と役割の理解」(招待講演)
2. PPS04-P11 : 今井 正堯, 梶田 剛太, 安藤 紘基, 高木 征弘, 「Correlation analysis of Venus mesoscale UV features between 283 nm SO₂ and 365 nm unknown absorber bands」

2.7.4 国際研究会

1. Kohno, K.: “Investigating the Physical and Chemical Properties of Dust-Enshrouded High-redshift Galaxies Via the Help of Gravitational Lensing” (invited), 2023/07/10–14, “2023 Kavli-IAU Astrochemistry Symposium, Astrochemistry VIII - From the First Galaxies to the Formation of Habitable Worlds”, Traverse City, MI, USA
2. Egusa, F., Gao, Y., Morokuma-Matsui, K., Liu, G., and Maeda, F. : “CO Excitation and its Connection to Star Formation and Dynamics in NGC 1365”, 2023/08/07–11, “2023 Asia-Pacific Regional IAU Meeting”, Fukushima Prefecture, Japan
3. Horiuchi, T., Hanayama, H., Ohishi, M. : “How efficient is the sunshade on the Visorsat ?”, 2023/08/07–11, “2023 Asia-Pacific Regional IAU Meeting”, Fukushima Prefecture, Japan
4. Maeda, F., Egusa, F., Ohta, K., Fujimoto, Y., Habe, A.: “Statistical Study of the Star Formation Efficiency in Bars: Is Star Formation Suppressed in Gas-rich Bars?”, 2023/08/07–11, “Asia-Pacific Regional IAU Meeting”, Koriyama, Fukushima, Japan
5. Kohno, K., et al.: “The Large Submillimeter Telescope: Overview and revised requirements for science cases”, 2023/08/19–26, “URSI General Assembly and Scientific Symposium 2023”, Sapporo, Japan
6. Kohno, K.: “The Large Submillimeter Telescope (Project overview)” (invited), 2023/08/28, “One-day workshop on structural engineering for sub/millimeter telescopes”, Nagoya University, Japan
7. Mizukoshi, S. : “Analyses of AGN Dusty/Dust-free Gas Structure based on Dust Extinction Measurement”, 2023/09/25–27, “East-Asia AGN Workshop 2023”, Kagoshima Prefecture, Japan

8. Kohno, K.: “Radio to infrared observations with synergies between UNAM and U. Tokyo” (invited), 2023/09/26-28, “3rd International Colloquium of Mexican and Japanese Studies: Global Challenges and Divided Societies”, University of Tokyo, Komaba, Japan
9. Kana Morokuma-Matsui, Alexander Wagner, Paolo Serra, Filippo M. Maccagni, Bi-Qing For, Jing Wang, Kenji Bekki, Tomoki Morokuma, Fumi Egusa, Kouichiro Nakanishi, Daniel Espada, Rie, E. Miura, Baerbel Koribalski, Tsutomu T. Takeuchi: “AGN radio-mode feedback onto giant-molecular cloud associations in Fornax A”, 2023/11/06-10, “Resolving the Extragalactic Universe with ALMA and JWST”, Waseda University, Tokyo, Japan
10. Kohno, K., and ALCS collaboration: “Unveiling faint millimeter-wave sources: the ALMA lensing cluster survey and its synergies with JWST”, 2023/11/06-10, “Resolving the Extragalactic Universe with ALMA and JWST”, Waseda University, Tokyo, Japan
11. Tsujita, A.: “ALMA Lensing Cluster Survey: Physical characterization of near-infrared-dark intrinsically faint ALMA sources at $z=2-4$ ”, 2023/11/06-10, “Resolving the Extragalactic Universe with ALMA and JWST”, Waseda University, Tokyo, Japan
12. I. Sakon, T. Onaka, T. Miyata et al. : “Understanding of the properties of cosmic organic dust based on combined approaches among astronomical observations, experiments and numerical simulations” (invited), 2023/11/14, “the 7th Asia-Pacific Conference on Plasma Physics (AAPPS-DPP2023)”, Port Messe Nagoya, Japan
13. Mizukoshi, S. : “Analyses of AGN Dusty/Dust-free Gas Structure based on Dust Extinction Measurement”, 2023/11/14-16, “HSC-AGN collaboration meeting 2023”, Ehime Prefecture, Japan
14. Matsubayashi, K., Sako, S., Doi, M., Kushibiki, K., Kurashima, K., Kodama, E., Tanaka, K., TAO project team : “Conceptual Design of TAO Optical Instrument”, 2023/12/04-06, “Annual Conference on Multi Messenger Astrophysics”, Gero Hot Spring Suimeikan, Japan
15. Maeda, F. : “Statistical Study of the Star Formation Efficiency in Gas-rich Bars”, 2023/12/04-08, “ALMA at 10 years: Past, Present, and Future”, Puerto Varas, Chile
16. Tsujita, A.: “ALMA Lensing Cluster Survey: Physical characterization of near-infrared-dark intrinsically faint ALMA sources at $z=2-4$ ”, 2023/12/04-08, “ALMA at 10 years: Past, Present, and Future”, Puerto Varas, Chile
17. Maeda, F. : “Detection of CO(1 – 0) emission at the tips of the tidal tail in the Antennae galaxies with NRO 45m”, 2023/12/21-22, “ALMA/45m/ASTE Users Meeting 2023”, NAOJ, Mitaka, Japan
18. Kohno, K., and ALCS collaboration: “ALMA Lensing Cluster Survey: unveiling faint millimeter-wave sources and synergies with JWST”, 2023/12/21-22, “ALMA/45m/ASTE Users Meeting 2023”, NAOJ, Mitaka, Japan
19. Kohno, K., et al: “Submillimeter-wave [CII]-line intensity mapping using TIFUUN on ASTE”, 2023/12/21-22, “ALMA/45m/ASTE Users Meeting 2023”, NAOJ, Mitaka, Japan
20. Kohno, K.: “Key science questions in the next decade and roles of radio, sub/mm, and far-IR observations” (invited), 2024/03/26-28, “Kavli-IAU Workshop on Global Coordination Probing the Universe From Far-infrared to Millimeter Wavelengths: Future Facilities and their Synergies”, Caltech, Pasadena, USA

2.7.5 国内研究会

1. 土居 守：「広視野・高速撮像による系外天体観測」, 2023/06/14–16, 新世紀における銀河宇宙観測の方向, ホテル伊豆急
2. 河野孝太郎：「ALMA+JWST時代におけるダストに隠された銀河進化の研究と TAO の役割」, 2023/06/14–16, 新世紀における銀河宇宙観測の方向, ホテル伊豆急, 静岡県下田市
3. 峰崎岳夫：「多波長観測による活動銀河核の時間軸天文学」, 2023/06/14–16, 新世紀における銀河宇宙観測の方向, ホテル伊豆急
4. 河野孝太郎：「Future plan of DESHIMA2.0 and beyond (TIFUUN)」, 2023/07/17–18, DESHIMA2.0 meeting, 野辺山グレイスホテル, 長野県南牧村
5. 前田 郁弥：「棒渦巻銀河における分子雲衝突現象について」, 2023/08/03–04, 銀河中心研究会 2023, NAOJ
6. 前田 郁弥：「潮汐矮小銀河の分子ガス観測」, 2023/08/16–17, 天文学ワークショップ 2023 @北杜市, 甲斐駒センターせせらぎ
7. 河野孝太郎：「JWST+ALMA era: 銀河と AGN に関する最近の話題」(招待講演), 2023/08/16–17, 天文学ワークショップ 2023 @北杜市, 甲斐駒センターせせらぎ, 山梨県北杜市
8. 小西真広：「TAO/SWIMS for high- z galaxy science」, 2023/08/30–31, 銀河激進化期研究会 2023, 早稲田大学
9. 宮田隆志：「CI+NGSR と地上望遠鏡 TAO との連携協力」, 2023/09/12–13, Comet Interceptor + 次世代小天体 SR 合同サイエンス会合 FY2023, 東京大学
10. 峰崎岳夫：「近傍セイファート銀河 NGC 4151 の最高エネルギー分解能 X 線観測との同時赤外線モニター観測」, 2023/09/14, なゆた望遠鏡ユーザーズミーティング, オンライン
11. 宮田隆志：「TAO 計画進捗」2023/09/27–29, 2023 年度光学赤外線天文連絡会シンポジウム「光赤天連のロードマップ策定に向けて」, 国立天文台三鷹
12. 前田 郁弥：「野辺山 45m と ACA を用いた近傍銀河の CO 観測」, 2023/11/29–30, ACA 研究会 アタカマコンパクトアレイで探る星間ガス: 星・惑星形成から銀河まで, 大阪公立大学 I-site なんば
13. 河野孝太郎：「集積超伝導分光器技術を用いたサブミリ波分光撮像の展望」, 2024/02/05–07, 次世代のサブミリ波観測とシミュレーションの計画検討会, フォレスト箱根, 神奈川県箱根町
14. 辻田旭慶：「高角分解能 [CII] 輝線観測による $z=6$ のサブミリ波銀河の運動状態の解析」, 2024/02/05–07, 次世代のサブミリ波観測とシミュレーションの計画検討会, フォレスト箱根, 神奈川県箱根町
15. 江草英実：「遠赤外線観測が切り拓く近傍銀河サイエンス」, 2024/02/19–20, 遠赤外線天文学の将来サイエンス検討会, 宇宙科学研究所
16. 上塚貴史：「TAO/MIMIZUK と将来 FIR 宇宙ミッションのシナジー」, 2024/02/19–20, 遠赤外線天文学の将来サイエンス検討会, 宇宙科学研究所
17. 前田 郁弥：「棒渦巻銀河 NGC3627 における銀河の内部構造と分子雲衝突、星形成の関係」, 2024/02/27–28, 分子雲衝突が駆動する巨大分子雲の進化と星形成, 名古屋大学
18. 河野孝太郎：「国立天文台サイエンスロードマップについて」(招待講演), 2024/03/04–05, 宇宙電波懇談会シンポジウム, 国立天文台

19. 辻田旭慶: 「A massive bulge in a dynamically cold disk at $z=6$ 」, 2024/03/04–05, 宇宙電波懇談会シンポジウム, 国立天文台
20. 前田 郁弥: 「棒渦巻銀河 NGC3627 における銀河の内部構造と分子雲衝突、星形成の関係」, 2024/03/06–08, 天の川銀河研究会 2024, 鹿児島大学

2.7.6 その他の講演 (談話会等)

1. 河野 孝太郎: 「UTokyo Atacama Observatory (TAO), Kiso Observatory, and research highlight: Exploring “dark” side of galaxy evolution in the early Universe」, 2023/04/17, マンチェスター大学来訪, 東京大学
2. 宮田 隆志: 「Challenges of the World’s highest astronomical telescope TAO」, 2023/04/23, Special Lecture in Universidad Católica de la Santísima Concepción (Chile)
3. 松林 和也: 「Data Reduction for Optical and Near-infrared Data」, 2023/07/10, 学術変革領域「マルチメッセンジャー宇宙物理学」第1回天文ビギナーズワークショップ, 東北大学青葉山キャンパス
4. 宮田 隆志 & Joaquin Collao: 「Challenges of the World’s highest astronomical telescope TAO」, 2023/10/10, Special Lecture in Antofagasta University (Chile)
5. 峰崎 岳夫: 「活動銀河核の時間軸天文学」, 2023/11/02, 鹿児島大学物理・宇宙専攻談話会, 鹿児島大学
6. 峰崎 岳夫: 「セイファート銀河・クエーサーの時間軸天文学」 2023/12/01, OISTER 談話会, オンライン
7. 堀内 貴史: 「活動銀河中心核で確認された周期光度変動の Overview」, 2023/12/26, 今週の物理 (物質基礎科学セミナー), 信州大学松本キャンパス
8. 諸隈 佳菜: 「ALMA CO surveys of the Fornax cluster and the Eridanus supergroup」, 2024/01/17, CSIRO colloquium, CSIRO/ATNF (Australia)
9. 河野 孝太郎: 「ALMA and JWST observations of emission-line galaxies in the early Universe」, 2024/03/20, ASIAA colloquium, ASIAA, Taipei

2.7.7 研究会の主催

1. “Resolving the Extragalactic Universe with ALMA and JWST”, SOC (Caitlin Casey, Pratika Dayal, Miroslava Dessauges-Zavadsky, Akio K. Inoue, Nissim Kanekar, Kana Morokuma, J. Xavier Prochaska, Rhythm Shimakawa), 2023/11/06–11, Waseda University
2. “国立天文台の将来シンポジウム”, SOC (井口 聖, 今田晋亮, 大朝由美子, 大内正己, 大西利和, 岡本桜子, 河野孝太郎, 高橋慶太郎, 田中雅臣, 都丸隆行, 富田賢吾, 竝木則行, 新沼浩太郎, 藤井通子, 本原顕太郎 (委員長)), 2023/11/07–08, 国立天文台
3. “次世代のサブミリ波観測とシミュレーションの計画検討会”, SOC (梅畑 豪紀, 江草 芙実, 桐原 崇亘, 河野 孝太郎, 田村 陽一, 橋本 拓也, 廿日出 文洋, 諸隈 佳菜, 矢島 秀伸), 2024/02/05–07, 四季倶楽部 フォレスト箱根
4. “宇宙電波懇談会シンポジウム”, SOC (大西利和 (委員長), 田村陽一, 久野成夫, 藤澤健太, 百瀬宗武, 江草芙実, 赤堀卓也, 泉拓磨, 河野孝太郎, 小嶋崇文, 坂井南美, 高橋慶太郎, 新沼浩太郎, 秦和弘, 渡邊祥正), 2024/03/04–05, 国立天文台

2.8 天文センター談話会

回	月日	講演者 (所属)	題目
400	2023/4/6	Doug Johnstone (National Research Council Canada)	What the Variability of Embedded Protostars Tells Us about Accretion: Past, Present, and Future
401	2023/4/20	Yao-Lun Yang (RIKEN)	Complex chemistry in the era of JWST and ALMA
402	2023/5/25	藤田 真司 (天文学教育研究センター)	Distance determination of molecular clouds in the Galaxy using deep learning
403	2023/6/8	今井 正亮 (天文学教育研究センター)	Observations of planetary-scale waves on Venus atmosphere
404	2023/6/29	谷口 琴美 (NAOJ)	Chemical complexity around massive young stellar objects revealed by ALMA
405	2023/10/3	Ewine van Dishoeck (Leiden Observatory)	Protostars and protoplanetary disks with JWST: first results from the JOYS and MINDS programs
406	2023/10/26	平尾優樹 (天文学教育研究センター)	The latest findings and future prospects in exoplanet studies through gravitational microlensing
407	2023/11/7	浅山信一郎 (SKAO)	電波天文観測装置と情報通信技術
408	2023/11/16	日下部晴香 (NAOJ)	CGM observations in emission
409	2023/12/14	坂野正明 (ワイズバベル (英文校閲・日英翻訳))	AI時代の理系英語コミュニケーション: 論文執筆、履歴書からレフェリー交渉まで
410	2023/12/25	幸田 仁 (Stony Brook Univ.)	近傍銀河の分子ガス進化 - 星形成や銀河進化を理解する第一歩として
411	2024/2/2	竹内望 (千葉大)・瀬川高弘 (山梨大)	氷河や積雪、永久凍土に生息する雪氷生物の世界と地球外生命探査への期待
412	2024/3/21	植田稔也 (デンバー大)	目標天体の輝線分光データを自家減光補正しつつ輝線ガスの電子温度・密度を一括同定する新手法について
413	2024/3/26	Navin Chaurasiya (Inter-Univ. Centre for Astronomy and Astrophysics)	Galaxy-dark matter connection from the Subaru Hyper Suprime-Cam survey weak lensing observations

2.9 広報普及活動・社会貢献

2.9.1 特別公開

自然科学研究機構国立天文台、アストロバイオロジーセンター、総合研究大学院大学物理科学研究科天文科学専攻、および本センターの共催で例年秋に行われている、三鷹キャンパスの特別公開“三鷹・星と宇宙の日”(講演テーマ: スーパーコンピュータとAIで探る宇宙)が、2023年10月28日(土)に開催された。これまで新型コロナウイルス感染症の影響により現地の活動を制限してきたが、今年度は現地開催をメインとしてオンライン企画は補助的な位置づけとする形態が取られた。但し昨年度に続き感染拡大防止の観点から、事前申し込み抽選方式による入場者数制限が設けられ、一般参加者1000名(10時、12時、13時半の3枠)に対して3000名を超える申し込みがあった。最終的に、本センターへの来場者数は計300名であり、総入場者数に対する比率はコロナ禍前と同程度であった。

本センターでは、ポスター・動画・インタラクティブツール・ジオラマによる研究成果・施設紹介や角錐ホーンアンテナによる宇宙電波観測の実演、大学院生による5件のミニ講演会(整理券での講義室聴講およびオンライン配信)、および新納助教によるメイン講演「トモエゴゼンによる広視野と時間軸の天文学」(講義室聴講お

よびオンライン配信)を実施した。講演会のオンライン配信は理学系研究科情報システムチームの協力のもと、YouTubeの東京大学大学院理学系研究科・理学部チャンネルで行った。

来年度は木曽観測所開所50周年の節目として特別な企画を催したいと考えている。

2.9.2 東大オープンキャンパス

毎年夏に行われている東大オープンキャンパスであるが、本年度は「高校生のためのオープンキャンパス2023」という名称で、8月2日(水)、3日(木)の2日間にわたってオンラインで開催された。目的は、東京大学においてどのような教育や研究が行われ、どのように社会とつながっているのかを、高校生などこれから大学に進もうとしている方々に知って頂くことである。天文学科の企画としては、学生によるライブ講演会や参加者からの相談・質問コーナーが行われた。また本センターからは、オンデマンド附属施設紹介の一環として、木曽観測所紹介動画のYouTube配信を行った。

2.9.3 普及講演

1. 江草 実：「渦巻銀河を作るには」、2023/07/22, 東大理学部で考える 女子中高生の未来 2023, Online
2. 土居 守：「星の爆発で宇宙の膨張を測る」、2023/11/10, 高校生と大学生のための金曜特別講座, Online

2.9.4 プレスリリース

1. 橘 健吾, 宮田 隆志, 上塚 貴史, 瀧田 怜：「星の鼓動とダストの不思議な相関関係」2023/04/07, ウェブリリース
2. 前田 郁弥：「星の材料があるのに星が誕生しない!?：棒渦巻銀河における星形成抑制現象」2023/06/30, 野辺山宇宙電波観測所 ウェブリリース
3. 吉井 譲, 宮田 隆志, 相原 博昭, 大越 慎一; Justo Zuleta Santander (サンペドロ・デ・アタカマ市)：「東京大学アタカマ天文台 (TAO) 完成式典に先立つ記者発表について」2024/01/12, 文部科学省記者会見室

2.9.5 雑誌等取材記事

1. 堀内 貴史：「スターリンク衛星が天体観測に与える影響は?」、子供の科学

2.10 その他の活動

2.10.1 講義等 (学部)

土居, 河野, 宮田, 小林, 峰崎, 酒向, 江草, 高橋, 小西, 上塚, 松林, 鮫島	教養学部 1, 2 年	全学自由研究ゼミナール (S セメスター)
土居, 宮田	天文学科 3 年	天体観測学 (S セメスター)
土居, 河野, 峰崎, 酒向, 江草, 松林, 嶋作, 左近 (天文教室)	天文学科 3 年	基礎天文学観測 I・II (S A セメスター)
左近, 上塚	天文学科 3 年	基礎天文学実験 (S A セメスター)
左近, 江草	天文学科 3 年	天文学ゼミナール (A セメスター)
河野, 峰崎	天文学科 4 年	星間物理学 II (S セメスター)

2.10.2 講義等 (大学院)

峰崎

天文学専攻

銀河天文学特論 IV (S セメスター)

2.10.3 各種委員

土居	日本天文学会	代議員
土居	日本天文学会	天文教育普及賞選考委員長 (-2023/6)
土居	広島大学	宇宙科学センター客員教授
土居	東京大学	理学系研究科宇宙惑星科学機構 運営委員会委員
土居	東京大学	理学系研究科ビッグバン宇宙国際研究センター 運営委員会委員
河野	日本天文学会	代議員
河野	国立天文台	科学戦略委員会 委員
河野	国立天文台	日本 ALMA 科学諮問委員会 (JSAC) 委員
河野	国立天文台	東アジア ALMA 科学諮問委員会 (EASAC) 委員
河野	東京大学	総長補佐
河野	東京大学	学術推進支援室 室員
河野	東京大学	研究設備機器の共用推進に関する検討 WG 委員
河野	東京大学	研究組織評価委員会 委員
河野	東京大学	リサーチ・アドミニストレーター推進室 委員
河野	東京大学	職員人事雇用制度改革 WG 委員
河野	東京大学	業務改革総長賞選考委員会 委員
河野	東京大学	男女共同参画室 委員
河野	東京大学	男女共同参画室 進学促進部会 委員
河野	東京大学	理学系研究科 企画室会議 オブザーバー
河野	宇宙電波懇談会	運営委員
河野	宇宙電波懇談会	電波天文将来計画検討 WG 委員
峰崎	東京大学	理学系研究科男女共同参画委員会委員
峰崎	国立天文台	大学院教育委員会委員 (オブザーバー)
峰崎	総合研究大学院大学	総合研究大学院大学特別研究員審査委員会委員
峰崎	総務省	「情報通信技術の研究開発の評価に関する会合」評価検討会委員
江草	日本天文学会	天文月報 編集委員長 (2023.05 まで)
江草	日本天文学会	代議員
江草	国立天文台	すばる望遠鏡プログラム小委員会 委員
江草	国立天文台	日本アルマ科学諮問委員会 (JSAC) 委員
江草	国立天文台	東アジア ALMA 科学諮問委員会 (EASAC) 委員
江草	東京大学	理学系研究科ネットワーク委員会 委員
江草	東京大学	GSGC ファカルティー委員
江草	宇宙電波懇談会	運営委員
江草	宇宙電波懇談会	電波天文将来計画検討 WG 委員
左近	東京大学	環境安全管理室 委員

2.10.4 科研費等

土居	科研費基盤研究 (S) (課題番号 23H05432), (2023–2027) 第1年度, 142,100 千円
(代表者)	課題名: 世界最高地点の望遠鏡で解明かす中性子星合体の元素合成
河野	国際共同研究加速基金 (国際先導研究) (課題番号 23K20035), (2023–2029) 第1年度, 46,900 千円

(代表者)	課題名：超伝導工学・大規模数値計算・データ科学で解明する宇宙最初期の重元素生成過程
河野	科研費基盤研究 (S) (課題番号 22H00150), (2022–2027) 第2年度, 1600 千円
(分担者)	課題名：遠赤外線酸素原子輝線の分光観測による前・宇宙再電離期の開拓
宮田	科研費基盤研究 (B) (課題番号 20H01943) (2020–2024) 第4年度, 900 千円
(代表者)	課題名：高精度熱赤外線モニタ観測の実現とそれによる系外微惑星の研究
峰崎	科研費基盤研究 (C) (課題番号 22K03673), (2022–2024) 第2年度, 2,900 千円
(代表者)	課題名：地表大気層におけるレーザレーザガイド星実験
峰崎	科研費基盤研究 (B) (課題番号 20H02359), (2023–2024) 第1年度, 200 千円
(分担者)	課題名：位相変位点回折素子の創成による大強度大気擾乱下での 1/100 波長精度望遠干渉計測
酒向	科研費基盤研究 (A) (課題番号 21H04491), (2021–2024) 第3年度, 6,600 千円
(代表者)	課題名：広視野高頻度測光観測と異常検知による秒スケールで変動する宇宙の探査
江草	科研費基盤研究 (A) (課題番号 20H00172), (2020–2023) 第4年度, 6,890 千円
(分担者)	課題名：ALMA 受信機を活用した中性炭素原子輝線の広域分光撮像による低金属量分子雲の研究
左近	科研費基盤研究 (B) (課題番号 23K22532), (2022–2024) 第3年度, 3,380 千円
(代表者)	課題名：急冷窒素含有炭素質物質の合成・変性実験に基づく星間有機物の一生の理解
鯨島	科研費基盤研究 (C) (課題番号 19H03917) (2019–2023) 第5年度, 1,862 千円
(代表者)	課題名：近赤外線高分散分光器 WINERED を用いたスペクトルライブラリーの構築
鯨島	科研費基盤研究 (C) (課題番号 22K03683), (2022–2026) 第2年度, 800 千円
(代表者)	課題名：高赤方偏移キューサーの近赤外線分光観測で探る初期宇宙の化学進化
高橋	科研費基盤研究 (C) (課題番号 23K03447), (2023–2025) 第1年度, 2,000 千円
(代表者)	課題名：近赤外線波長走査型分光器による様々な空間スケールでの星形成活動の3次元分光観測
新納	科研費基盤研究 (B) (課題番号 20H01942), (2020–2024) 第4年度, 2,000 千円
(代表者)	課題名：可視光広域高速撮像による高速電波バースト対応天体探査
今井 正亮	科研費特別研究員奨励費 (PD) (課題番号 22KJ2987), (2021 – 2023) 第3年度, 900 千円
(代表者)	課題名：惑星波と紫外雲アルベドが引き起こす金星大気スーパーローテーション変動の解明
前田 郁弥	科研費特別研究員奨励費 (PD) (課題番号 21J00108), (2021–2023) 第3年度, 1,200 千円
(代表者)	課題名：近傍銀河内の分子雲衝突現象から解明する星形成が起きるための物理条件
前田 郁弥	科研費若手研究 (課題番号 23K13142), (2023–2026) 第1年度, 1,200 千円
(代表者)	課題名：潮汐矮小銀河中の分子雲衝突現象から解明する星形成が起きるための普遍的な物理条件
宇野 慎介	科研費特別研究員奨励費 (DC1) (課題番号 21J20742), (2021–2023) 第3年度, 700 千円
(代表者)	課題名：サブミリ波帯多色観測による銀河団プラズマダイナミクスの解明
紅山 仁	科研費特別研究員奨励費 (DC2) (課題番号 23KJ0640), (2023–2024) 第1年度, 1,000 千円
(代表者)	課題名：ALMA ガス観測で探る銀河団環境下での実は多様な銀河星形成抑制機構
水越 翔一郎	科研費特別研究員奨励費 (DC2) (課題番号 23KJ0450), (2023–2024) 第1年度, 900 千円
(代表者)	課題名：赤外線多波長変光データに基づく活動銀河核周囲の物質分布の推定と銀河共進化の解明

2.10.5 PI 共同利用時間

氏名	望遠鏡または計算機, 共同利用期間 「課題名」
諸隈 佳菜	すばる望遠鏡, S24A 「FOCAS-IFU pilot study of the best local analog of EoR galaxies」
諸隈 佳菜	すばる望遠鏡, S24A 「What makes massive galaxies passive in a protocluster at $z \sim 6$ 」

2.10.6 国外出張

1. 土居 守：

2023/4/26–2023/5/6, 日本大使館、チリ外務省、TAO サイト、北カトリカ大、アントファガスタ大、サンティアゴ（チリ）、TAO 望遠鏡式典案内、山頂視察、TAO 望遠鏡の運用について打ち合わせ、チャナントールワーキンググループ出席・発表

2023/8/10–2023/8/20, ローレンスバークレイ研究所、カーネギー研究所、サンフランシスコ（アメリカ合衆国）、TAO の検出器についてうちあわせ、TMT についての研究うちあわせ

2. 河野 孝太郎：

2023/7/8–2023/7/13, Park Place Hotel, トラバースシティ（アメリカ合衆国）、国際会議「From the First Galaxies to the Formation of Habitable Worlds」への参加・講演

2024/3/17–2024/3/20, 中央研究院天文及天文物理研究所（ASIAA）、台北（台湾）、セミナーにおける講演及び研究打ち合わせ

2024/3/26–2024/3/30, カリフォルニア工科大学、パサデナ（アメリカ合衆国）、国際会議「Kavli-IAU Workshop on Global Coordination」への出席、発表

3. 宮田 隆志：

2023/4/21–2023/4/30, アンデス商事、TAO サイト、カトリカ・デ・ラ・サンティシマコンセプシオン大学、コンセプシオン大学、サンペドロ・デ・アタカマ（チリ）、TAO プロジェクトに関するミーティング

2023/6/1–2023/6/7, TAO サイト、サンペドロ・デ・アタカマ（チリ）、TAO 山麓施設および TAO 山頂サイト視察

2023/7/26–2023/8/5, TAO サイト、アンデス商事、チリ大学、カトリカ・デル・ノルテ大学、カトリカ大学、サンティアゴ、サンペドロ・デ・アタカマ（チリ）、TAO プロジェクトに関する打ち合わせ、TAO サイト現地視察

2023/10/4–2023/10/14, TAO サイト、アントファガスタ大学、サンペドロ・デ・アタカマ（チリ）、TAO プロジェクトに関する打ち合わせ

2023/11/15–2023/11/23, TAO サイト、サンペドロ・デ・アタカマ（チリ）、TAO プロジェクトに関する打ち合わせ

2023/12/3–2023/12/13, BuenosAires Marriott, ColumbusTheatre, アンデス商事、TAO サイト、ブエノスアイレス、TAO プロジェクト協賛事業に関する打ち合わせ・現地対応、TAO プロジェクトに関する現地視察

2024/2/3–2024/2/11, Marriott ホテル、TAO サイト、サンティアゴ、TAO プロジェクトに関する打ち合わせ

2024/3/20–2024/3/28, アンデス商事、TAO サイト、サンティアゴ、TAO プロジェクトに関する打ち合わせ

4. 峰崎 岳夫：

2023/4/20–2023/4/30, TAO サイト、Holiday inn Las Condes, サンペドロ・デ・アタカマ（チリ）、TAO プロジェクトに関するミーティング

2023/10/21–2023/10/27, アリゾナ大学、ツーソン、TAO プロジェクトに関する打ち合わせ

2023/12/8–2023/12/16, アンデス商事、TAO サイト、サンペドロ・デ・アタカマ（チリ）、TAO 望遠鏡に関する作業・打ち合わせ

2024/3/4–2024/3/9, アリゾナ大学スチュワード天文台、アリゾナ大学レモン山天文台、ツーソン（アメリカ合衆国）、MAGNUM 望遠鏡のレモン山天文台設置に関する打ち合わせ

5. 左近 樹：

2024/3/5-2024/3/9, アリゾナ大学 Mt. Lemmon Observatory, ツーソン (アメリカ合衆国), MAGNUM 望遠鏡に関する技術会合及び調整のため

6. 松林 和也:

2023/10/21-2023/10/27, アリゾナ大学, ツーソン, TAO プロジェクトに関する打ち合わせ

2024/3/15-2024/3/26, アンデス商事, TAO サイト, サンティアゴ, TAO プロジェクトに関する打ち合わせ、ペラ・C・ルービン天文台主鏡セルインストール視察、TAO 蒸着装置の試走立ち合い

7. 鯨島 寛明:

2023/10/25-2023/11/8, ラスカンパナス天文台, ラ・セレナ (チリ), マゼラン望遠鏡に近赤外線高分散分光器 WINRED を搭載し恒星の分光観測を行なう

8. 諸隈 佳菜:

2024/1/11-2024/1/28, Australia Telescope National Facility, パークス (オーストラリア), ALMA 望遠鏡を用いた近傍銀河団サーベイに関する打ち合わせ (ALMA Japan Publication Support #267)

9. 高橋 英則:

2023/11/23-2023/12/4, TAO サイト, サンペドロ・デ・アタカマ (チリ), TAO 望遠鏡蒸着装置設置前事前視察

2024/3/2-2024/3/25, TAO サイト, サンペドロ・デ・アタカマ (チリ), TAO 望遠鏡設備の輸送についての打ち合わせ、試走立ち合い

10. 山岸 光義:

2023/11/15-2023/12/20, TAO サイト, サンペドロ・デ・アタカマ (チリ), TAO サイトネットワーク設備工事に関する用務

2024/2/4-2024/2/20, TAO サイト, サンペドロ・デ・アタカマ (チリ), TAO サイトネットワーク設備工事に関する用務

11. 今井 正堯:

2024/3/9-2024/3/14, Observatorio Astronomico de Lisboa, リスボン (ポルトガル), 金星大気研究会参加、発表

12. 堀内 貴史:

2023/12/8-2023/12/16, アンデス商事, TAO サイト, サンペドロ・デ・アタカマ (チリ), TAO 望遠鏡に関する作業・打ち合わせ

13. 藤田 真司:

2023/6/8-2023/7/5, ASTE 望遠鏡, サン・ペドロ・デ・アタカマ (チリ), 望遠鏡の整備及び試験観測

14. 平尾 優樹:

2023/6/4-2023/7/7, 南アフリカ天文台サザーランド観測所, サザーランド (南アフリカ), PRIME 望遠鏡のカメラメンテナンスおよび光学調整

15. 櫛引 洗佑:

2023/5/21-2023/5/27, 国立天文台ハワイ観測所, ヒロ (アメリカ合衆国), SWIMS の輸送作業 (日通) 立ち合い

16. 前田 郁弥:

2023/12/2-2023/12/11, Hotel Cumbres, プエルトバラス (チリ), 研究会「ALMA at 10 years: Past, Present, and Future」への参加、成果発表 (ポスター) 及び情報収集 (12/4-8)

17. 吉井 譲：

2023/5/31–2023/6/8, Columbus Theatre 他, アルゼンチン (ブエノスアイレス)、サンティアゴ (チリ), TAO サイト山麓用地活用に関する打合せおよび TAO 国際広報に関する情報収集

2023/10/25–2023/10/30, 在亜日経団体連合会 他, アルゼンチン (ブエノスアイレス), TAO サイト山麓用地活用および TAO 国際広報に関する情報収集

2023/12/2–2023/12/10, Buenos Aires Marriot, Columbus Theatre, アルゼンチン (ブエノスアイレス), 東京大学アタカマ天文台 (TAO) 計画協賛事業に関する打合せ・現地対応

18. 沼田 瑞樹：

2023/4/21–2023/5/16, TAO サイト, サンペドロ・デ・アタカマ (チリ), 大型赤外線望遠鏡建設に向けた現地作業スケジュール調整等

2023/9/25–2023/12/10, カトリカデルノルテ大学, El Loa 病院, TAO サイト, ラ・セレナ (チリ), 低酸素試験、山頂作業のための健康診断、TAO 望遠鏡建設管理業務

2024/1/28–2024/2/27, TAO サイト, サンペドロ・デ・アタカマ (チリ), TAO 望遠鏡建設管理業務

19. 益原 愛子：

2023/12/3–2023/12/9, Buenos Aires Marriott, Columbus Theatre, ブエノスアイレス (アルゼンチン), 東京大学アタカマ天文台 (TAO) 計画協賛事業に関する打合せ・現地対応

20. 笠原 のり子：

2023/9/20–2023/10/11, アンデス商事, TAO サイト, サンティアゴ (チリ), TAO プロジェクトに関する打ち合わせ、TAO 山麓施設管理引継ぎ業務

21. 上原 隆広：

2023/6/1–2023/6/7, TAO サイト, サンペドロ・デ・アタカマ (チリ), TAO 山麓施設および TAO 山頂サイト視察

2023/12/3–2023/12/13, Buenos Aires Marriott, Columbus Theatre, アンデス商事, TAO サイト, ブエノスアイレス, TAO プロジェクト協賛事業に関する打ち合わせ・現地対応、TAO プロジェクトに関する現地視察

2024/3/3–2024/3/12, TAO サイト, サンペドロ・デ・アタカマ (チリ), TAO プロジェクトに関する打ち合わせ

22. 宇野 慎介：

2023/11/26–2023/12/2, Takina Wellington Convention and Exhibition Centre, ウェリントン (ニュージーランド), 国際会議「36th International Symposium on Superconductivity (ISS2023)」への参加および口頭発表

23. 紅山 仁：

2023/5/22–2023/6/7, コートダジュール天文台, ニース (フランス), 地球接近小惑星に関する研究打ち合わせ、セミナー発表

2023/6/17–2023/6/26, High County Conference Center, フラッグスタッフ (アメリカ合衆国), 国際研究会「Asteroids, Comets, Meteors (ACM) Conference」参加

24. ZHANG T I A N F A N G：

2023/10/8–2023/10/20, Chateau de Valrose, ニース (フランス), 研究会「Multi-wavelength AGN Structure and Cosmological Applications」への参加、発表

25. 水越 翔一郎：
2023/9/10–2023/9/17, TMT International Observatory, パサデナ（アメリカ合衆国）, 研究会「TMT eArly Career Centered, Engineers-Scientists Synergy」への参加
26. 辻田 旭慶：
2023/11/25–2023/12/11, ASTE、Hotel Cumbres, サン・ペドロ・デ・アタカマ(チリ), ASTE:DESHIMA2.0 の試験観測、Hotel Cumbres: 研究会「ALMA at 10 years: Past, Present, and Future」への参加
27. LIANG ZHUOXI：
2024/1/27–2024/2/3, Swinburne University of Technology, メルボルン（オーストラリア）, 国際会議「Transients Down Under」への参加
28. 橋口 剛：
2023/5/31–2023/6/8, Columbus Theatre 他, ブエノスアイレス（アルゼンチン）, TAO 国際広報に関する情報収集および TAO サイト山麓用地活用に関する打合せ
2023/10/25–2023/10/30, 在亜日系団体連合会 他, ブエノスアイレス（アルゼンチン）, TAO サイト山麓用地活用および TAO 国際広報に関する情報収集
2023/12/2–2023/12/10, Buenos Aires Marriott, Columbus Theatre, ブエノスアイレス（アルゼンチン）, 東京大学アタカマ天文台（TAO）計画協賛事業に関する打合せ・現地対応
29. 赤岩 久美子：
2023/12/2–2023/12/10, Buenos Aires Marriott, Columbus Theatre, ブエノスアイレス（アルゼンチン）, 東京大学アタカマ天文台（TAO）計画協賛事業に関する打合せ・現地対応

2.10.7 来訪研究者

1. Michael Richmond（ロチェスター工科大学、教授）：[土居 守], 2023/5/24–2023/6/28

第3部

天文学教育研究センター木曽観測所

- 木曽観測所 〒 397-0101 長野県木曽郡木曽町三岳 10762-30 番地
- 電話 0264-52-3360, FAX 0264-52-3361
- 上松連絡所 〒 399-5607 長野県木曽郡上松町大字小川 1935 番地

表 3.1: 天文学教育研究センター木曽観測所

氏名	Internet e-mail
小林 尚人	naoto@ioa.s.u-tokyo.ac.jp
酒向 重行	sako@ioa.s.u-tokyo.ac.jp
高橋 英則	nori@ioa.s.u-tokyo.ac.jp
新納 悠	yuuniino@ioa.s.u-tokyo.ac.jp
近藤 莊平	kondo@ioa.s.u-tokyo.ac.jp
瀧田 怜	takita@ioa.s.u-tokyo.ac.jp
森 由貴	moriyuki@ioa.s.u-tokyo.ac.jp
中地 紀子	

- 木曽観測所ホームページ <http://www.ioa.s.u-tokyo.ac.jp/kisohp/>

3.1 沿革と現状

3.1.1 沿革

木曽観測所は1974年（昭和49年）4月11日に東京大学東京天文台の5番目の観測所として開設された。設置目的は次の通りである：

木曽観測所は105cmシュミット望遠鏡による銀河系内外の諸天体の観測的研究を行う。木曽観測所は、全国の天文学研究者の観測研究にも供する。木曽観測所の共同利用に関する事項を審議するために、「木曽観測所共同利用相談会」が設けられている。

木曽観測所は1974年の設立以来、全国の関連研究者に門戸を開放し、実質的な共同利用に供する形で運営されてきた。1988年（昭和63年）7月1日に東京天文台が国立天文台に改組されたのに伴い、木曽観測所は東京大学大学院理学系研究科附属天文学教育研究センターの観測所となった。2004年（平成16年）4月1日、東京大学は独立法人となった。

これらの変化を通じても共同利用の運営方針は堅持され、全国の天文学者、大学生、延いては中高生や一般社会に対する協力を続けてきた。しかし独立法人となって以来、木曽観測所の運営にも旧来の方式を踏襲するだけでなく、責任と自由のバランスの上に新たな活動の方向を目指す必要が生じた。また、日本の天文コミュニティにおける木曽観測所の位置付けも徐々に変化した。その結果、40年以上に亘った従来の共同利用ならびにそれを中心とした運営は2016年（平成28年）度をもって終了し、2017年（平成29年）度からは木曽という優れた天文サイトとシュミット望遠鏡を特に活かすための新しい運営を開始した。

3.1.2 現状

現在の木曽観測所は、以下の3事業を柱として運営されている：

(1) 観測的天文学の国内拠点

木曽観測所では開所以来長い間、写真乾板が観測の主流であった。しかし、微光天体を高感度かつ精密に測定する必要からCCDを用いた固体撮像技術を導入し、2017年度までは、8K×8Kの木曽広視野カメラ（KWFC: Kiso Wide Field Camera, 2012年度公開）がシュミット望遠鏡の主力観測装置として使われてきた。並行して、CCD素子に変わりうる高性能なCMOS素子を用いた次世代の装置として超広視野CMOSカメラ「Tomo-e Gozen」の開発を進めてきた。本装置は2019年度10月より本格運用を開始し、大量の“天文ビッグデータ”を安定的に生み出しているが、全国の共同研究者による様々な天文プロジェクトがそれを活用して科学的成果を着実にあげている。

木曽観測所では、2017年度までKWFCを用いた共同利用を続けてきたが、法人化以降全国共同利用の役割は国立天文台に十分移行しており、また国内でも西はりま天文台など中小望遠鏡の基本的な共同利用を実施する施設が整備された。そのような状況を鑑みて、木曽観測所の共同利用機関としての役割を終了し、木曽という優れたサイトと広視野シュミット望遠鏡を活かした東大独自の天文学研究ならびに装置開発のための機関とすることにした。ただし、全国の天文学者には望遠鏡と装置を今まで通りオープンにし、「大学間共同研究」として自由に参加していただく形態をとることとした。2018年度から、この新しい形態を新装置Tomo-e Gozenを用いて実施しているが、学外の数多くの研究機関・大学からの積極的な参加を迎え、天文コミュニティによる木曽観測所を用いた天文学・装置開発が活発に進められている。

2023度は特に大きな成果として、木曽観測所のネットワークがSINET6と無事つながり、通常山間部にある天文台としては考えられない超高速のデータ転送が可能となったことが挙げられる。これにより木曽山中にある天文台が、大都市圏にある研究機関と同等のデータ転送力を持つことになり、木曽観測所が本格的な“ビッグデータ天文台”へと移行する道筋ができた。

木曽観測所の観測の成果と新しい観測計画等を討議するため、毎年「木曽シュミットシンポジウム」をシュミットを用いた天文学の交流の場として開催している。今年度は、2023年5月30-31日の2日間にわたり、木曽郡民会館とオンライン（Zoom）によるハイブリッド形式で開催した。現地とzoomを合わせて計100名近い多数の参加者を得て、成果発表および議論が活発に行われた。

(2) 学生教育の拠点

観測実習を中心とする天文教育は、研究と並んで大学観測所としての最も重要な任務である。木曽観測所は、実際に観測研究を行う施設を体験できるというだけでなく、国内望遠鏡としては大人数の宿泊が可能なほぼ唯一の施設であり、ユニークかつ効率的な実習が実施できる点に大きな特徴がある。東大の学生はもちろんのこと、日本全国の大学から学生実習を受け入れている。木曽観測所では毎年東京大学理学部天文学科3年生の観測実習が実施されている。今年度も秋に2回の実習が行われ、3年生9名が実際に望遠鏡を用いた観測、データ解析、ならびに考察までの一連の流れを経験するコースを履修した。また東大以外でも、データ解析を含む大学実習を、三重大学、文教大学、東京学芸大学、大妻女子大学が合同で学生31名に対して、また甲南大学が学生12名に対して夏季に行った。さらに昨年度からの新しい大学グループとして、今年度は東京電機大学の学生3名、法政大学の学生7名が夏季に、また法政大学8名と工学院大学1名が冬に実習を行った。さらに新しい試みとして昨年度からスタートした、名古屋柳城女子大学による保育実践演習プログラムが今年度も実施され、学生16名が木曽観測所の自然環境において初等教育プログラムを作成する実習を行った。コロナ禍以前の実施体制が完全に復活し、新しい大学も問題なく迎えることができた。

木曽観測所は、東大の天文教育施設としての価値はもとより、自前の望遠鏡を持たない全国の大学の貴重な合宿型の天文教育施設としてもその価値を増しており、観測所の最も大切な役割の1つとして実習の受け入れを続けている。

(3) 地域連携ならびに社会還元

最先端の研究の成果を社会に還元することは、広い意味での教育活動として大学に課された重要な任務である。またフィールドに位置する東大の施設として、その活動を円滑に進めるためには地域との密接な連携は欠かせない。木曽観測所では青少年に対する科学教育を活動の柱の一つとし、「地域特別授業」、「銀河学校」、「星の教室」などのアウトリーチ事業を長年行ってきた。また2004年には、観測所をサポートする形で地域有志から成る「木曽星の会」、2020年には「木曽観測所サポーターズクラブ」が結成され、これらの団体を通じた教育普及活動も活発に行われるようになった。木曽観測所ではこのように一般向けのアウトリーチを国内の天文コミュニティに先駆けて行い、さまざまなイベント等を通じてそのパイオニアとしての役割を果たしてきた。

近年、こういった活動の枠組みが「地域連携」や「社会還元」として広く認識されるようになり、大学事業におけるその重要性が年々謳われるようになってきている。木曽観測所は開所以来さまざま形で全所員が地域連携/社会還元の努力を続けてきたが、2017-2021年度まで続いた地元県町村との「木曽星の里づくり推進協議会」を通じてその活動を公式に整理し、現在はそれを発展させる形で、地元木曽郡を代表する公的機関である木曽広域連合や県町村との連携を進めている。

本年度は特に、4/1に木曽観測所サポーターズクラブの設立総会が実施され、クラブが正式に発足した。今後の観測所の地域連携・社会還元活動を強力にサポートしてくれると期待している。また、「長野県は宇宙県」連絡協議会との連携に加え、木曽星の会、木曽文化公園、おんたけ観光局、松本市教育文化センター等多方面と連携した活動を進めた。

昨今の日本の経済状況などの境界条件の変化により、大学の多くの施設、とくに地方の小施設はその運営の効率化や省力化を強く求められている。木曽観測所ではこの15年間さまざまな努力を行い、観測の完全自動化も含めた効率的な運営体制への移行に成功した。

3.2 木曽観測所の活動

ここでは、木曽観測所事業の3つの柱に沿って、今年度の活動内容についてまとめる。

まず「観測的天文学の拠点」としての活動について、主力装置 Tomo-e Gozen の開発についてまとめ (§3.2.1), Tomo-e Gozen を用いた研究について紹介する (§3.2.2)。こういった観測天文研究を支えるベースとして、望遠鏡とドームの保守ならびに整備 (§3.2.3) は常に観測所運営の要であり、毎年度数多くの作業等が着実に実行されている。さらに、Tomo-e Gozen では多くの計算機が運用されており、計算機の保守・整備 (§3.2.4) やネットワーク・通信機器の保守・整備 (§3.2.5) も重要な項目となっている。木曽観測所で得られた観測データ等はアーカイブされ、広く一般に公開されている (§3.2.6)。観測所とその所員による成果を、所員の研究活動 (§3.2.7)、論文および出版物 (§3.2.8)、そして学会・研究会等での報告 (§3.2.9) にまとめた。

次に「学生教育の拠点」としての活動については、例年通りに順調に実施された東大ならびに他大学による観測解析実習 (§3.2.10) を簡潔にまとめた。

最後に、「地域連携ならびに社会還元」として、さまざまな地域貢献事業をまとめて紹介し (§3.2.11)、また主に中高向けの教育 (パブリックアウトリーチ)・広報活動について (§3.2.12) にまとめた。

3.2.1 木曽広視野動画カメラ Tomo-e Gozen の開発

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。84 台の高感度 CMOS センサがシュミット望遠鏡の視野 ($\phi 9^\circ$) を覆う。センサを常温常圧下で用いることで装置の軽量化と省スペース化を実現し、シュミット望遠鏡の主焦点への大型カメラの搭載を可能にしている。これにより、最大 2fps の超広視野高速観測を世界で初めて実現する。Tomo-e Gozen は 2019 年 9 月に完成し、翌 10 月より定常的なサーベイ観測を開始した。以下に今年度に行った Tomo-e Gozen の開発の詳細をまとめる。

- **Tomo-e Gozen 広域サーベイにおける Convolutional GRU を用いた雲分布の未来予測**

(津々木里咲, 酒向重行, 瀧田怜, 紅山仁, 高橋英則, 近藤莊平, 森由貴 (東京大学), 富永望 (国立天文台), 田中雅臣 (東北大学), 高橋一郎 (東京工業大学), 池田思朗 (統計数理研究所), Joao Pedro Pedrosa (ポルト大学))。Tomo-e Gozen は、2 fps の動画サーベイ観測により突発天体や移動天体を検出している。効率の良い検出には単位時間内に取得する有効データの量を増やすことが求められるが、地上観測では雲による遮蔽がその妨げとなる。既存の Tomo-e Gozen のシステムでは、全天赤外線カメラにより 1 分間隔で雲分布を把握することで雲を避けたサーベイ経路を決定している。しかし雲分布の測定から最適化計算、望遠鏡の指向およびデータ取得までに 5-10 分かかるため、この間に雲分布が変化すると観測領域の最適化が阻害されることが問題であった。そこで本研究ではサーベイ経路の選定の性能向上のために、深層学習を用いて近未来の雲分布予測を実施した。過去 10 分間のデータから未来 10 分間のデータを予測するために、Convolutional GRU ネットワークを用いて連続する 10 フレーム (10 分に相当) からその後に続く 10 フレームを予測するモデルを構築した。過去 1 年間に取得した計 46 万フレームの時系列画像データを訓練データとし、NVIDIA A100 GPU を用いて 191 時間計算した結果、突発的な雲の出現や消失の予測は難しい一方で現存する雲の近未来の動きを捉えることに成功した。予測画像から作成した最大値画像を基に 10 分以内に雲が存在する可能性の高い領域分布を導出し、サーベイ経路の選定システムに反映させた。

- **木曽観測所からの SINET 接続**

(森, 酒向, 小林, 瀧田, 大澤, 高橋, 近藤; 本城剛毅 (理学系情報システムチーム))。Tomo-e Gozen で得られる大量のデータを共同研究者と迅速にシェアするため、木曽観測所のネットワークの高速化は Tomo-e Gozen 開始時からの重要な課題であった。2019 年からは、木曽福島市街地までの木曽広域連合の光ファイバ専用線 (10Gbps) とその先の商用回線を借りて、上り 最大 6 Gbps (実効 3 Gbps)、下り 最大 50 Mbps

のアップロード専用のネットワークを利用して本郷キャンパスや SMOKA へのデータ転送を行っていた。ただし、このネットワークは木曽福島から先が共用線となり、木曽地域の一般データ通信を圧迫する懸念があったため、SINET への接続を目指して検討を続けていた。

2022 年 4 月に SINET6 の運用が開始し、松本ノードが新設された。木曽観測所から松本ノードまでの専用線の確保については 2021 年度に検討を行っており、本年度は実際に塩尻～松本ノードの間の専用線（ダークファイバ）を借りる契約手続きを木曽広域連合木曽広域情報センターに実施していただいた。2 月～3 月にかけて、新たに借りたダークファイバの接続工事と SINET6 松本ノードへの機器設置・局内配線工事を実施してもらい、3 月 20 日に木曽観測所から松本ノードまでの専用線が開通した。

専用線の準備と並行して、SINET の利用申請と学内ネットワークの構成変更手続きを実施した。ネットワーク構成については理学系情報システムチームと相談し、木曽観測所と本郷キャンパスを SINET の L2VPN サービスを利用して接続し、理学系のルーターでルーティングを行う構成とした。また、これまでの商用回線の IP アドレスは使用できなくなるため、大学へ新たに /26 の IP アドレスを申請し、割り当てを受けた。

木曽観測所から SINET への接続は、木曽広域連合の多大な協力を得て実現することができた。今後はネットワークの速度性能を確認し、Tomo-e Gozen での新ネットワーク活用を進めていく。

● mdx 上での Tomo-e Gozen データプラットフォームの開発

（瀧田、酒向、森、高橋、近藤、土居、小林、新納；Tomo-e Gozen 開発チーム）。東京大学・柏キャンパスにある mdx（データ活用社会創成プラットフォーム；<https://mdx.jp>）は、従来のスパコンのような単一環境（OS、ソフトウェア）の時間利用とは異なり、ユーザが自分自身で専用の環境を構築する仮想マシンとして利用可能である。また木曽観測所と SINET との接続が 2023 年 4 月になされたことで、木曽観測所から mdx まで理論上最大 10 Gbps の速度でデータ転送が可能となった。そこで mdx に仮想環境を構築し、そこで Tomo-e Gozen のデータプラットフォームの開発を始めた。mdx では使用リソース（CPU、ストレージ等）に応じて使用料が発生するが、JHPCN 共同利用課題に採択されたことで、今年度の使用料は全額補助（無償での利用）となった。

まず最初の課題として、スタック画像のリアルタイム転送の実現があった。木曽観測所が SINET に接続されたものの、当初は転送速度が 10 Mbps 程度しか出ない状態が続いており、データ転送がほとんど出来ない状態であった。最終的には SINET への接続工事で導入された機器の不良であることが判明し、該当機器の交換により 10 月以降は安定して数 Gbps での転送が実現している。

スタック画像のリアルタイム転送は tomoered 系の redis 通知を利用することで実現を試みたが、mdx から木曽観測所へのネットワーク接続が無反応になる問題が発生した。これは以下の二つの要因が考えられ、1) mdx は柏キャンパスにあるもののネットワーク的には東大外であること、2) 観測データは夜間のみ発生し日中は無通信状態になること、つまり長時間の無通信状態が発生することで東大の全学ファイアウォールによって遮断されている可能性があげられる。そこで、無通信状態を発生させないように tomoered 系の redis 通知に定期的なダミーシグナルを追加することで接続を維持し、無事にデータ転送を続けることが確認できた。以上により Tomo-e Gozen で取得されたスタック画像をリアルタイムで mdx に転送することが実現した。この転送されたデータをもとに、データアーカイブ・公開に向けたウェブサービスを構築中である。

これと平行して、Tomo-e Gozen の動画データを生かした「秒スケール」の測光データベースの構築も開始している。これは動画データからの高速移動天体検出で利用されている、フレーム単位での点源の測光値を利用する。Tomo-e Gozen の動画サーベイでは、通常 2 fps で 12 or 18 フレームを連続で取得しており、各フレームで検出された天体のグルーピング作業によって、恒星等の移動しない天体について数秒間の時系列測光データ（ライトカーブ）が得られる。またグルーピング時のパラメータ次第では、地球からの距離が十分離れていて、見かけ上ゆっくり移動する小惑星もターゲットとなる。これらのデータを Gaia

カタログや小惑星の天体暦とマッチングさせることで、数秒間だけのライトカーブにとどまらず、長期的な測光データベースを実現する。試験として 1 exposure 分のデータを利用してデータベースを作成し、公開に向けて必要なデータの洗い出しを行っている。

- **Tomo-e Gozen Sky Atlas の更新**

(瀧田, 酒向, 森, 高橋, 近藤, 土居, 小林, 新納; Tomo-e Gozen 開発チーム). Tomo-e Gozen Sky Atlas は毎晩の観測データを即時公開することで、天文学の教育普及にも活用可能なサービスである。この改良・機能強化は随時行っている。

Sky Atlas では毎晩の観測データに合わせて、その時に観測可能な小惑星や彗星 (の一部) の位置を表示する機能を持っている。一方で小惑星は対象となる天体数が多く、目的の天体があっても探すのが困難であった。そこでこれらの天体について、リスト表示の導入と、そこから目的の天体へのジャンプ機能を実装した。

- **突発天体サーベイ用データベースの整備**

(瀧田, 酒向, 土居, 新納, 森, 高橋, 近藤, 小林; 富永望 (国立天文台); 田中雅臣 (東北大学); 諸隈智貴 (千葉工大); Tomo-e Gozen 開発チーム). Tomo-e Gozen の突発天体サーベイでは超新星爆発等の発見を目的として毎晩の観測データを即時に解析し、その結果をデータベースに登録している。解析パイプラインからの書き込みとウェブからの閲覧という用途に合わせる形で、データベースサーバ二台 (gwdata, gwdata2) によるデータ複製 (Logical Replication) と負荷分散を行っている。しかしこのデータ複製において、PostgreSQL の機能であるログ先行書き込み (WAL) ファイルが貯まり続けるという問題があることが判明した。調査の結果、複製が完了したものについては正常に WAL は削除されていることは確認された。一方で膨大なデータの書き込み (追記や削除) が発生することで、複製が追いつかず結果として WAL が増え続けていると推測される。この問題を根本的に解消するためには、解析パイプラインからデータベースへのアクセス部分を整備する必要がある。

3.2.2 Tomo-e Gozen を用いた研究

Tomo-e Gozen は 2019 年 10 月の本格運用開始以来安定して観測を続けている。突発天体サーベイ (§3.2.2.1) では突発天体の早期発見のために Tomo-e Gozen の広視野撮像能力と高い観測効率を活かした広域探査が続けられており、取得したデータから突発天体を探し出す自動解析ソフトウェアのアップデートによって新天体の独自発見も恒常的に行えるようになった。広域探査のデータは地球接近小惑星サーベイにも活用されており、新天体発見の自動化に向けて現行パイプラインの改善が進められており (§3.2.2.4)、さらにこれまでの探査よりも暗い小惑星を検出するためのソフトウェア開発も行われている (§3.2.2.5)。また、ブレーザーの日々の光度変光を追跡することによってその変動性を調べる研究も進んでいる (§3.2.2.8)。

サーベイ運用に加えてさまざまなサイエンスプログラムをキャンペーン的に実施している。電波観測所と連携した Fast Radio Burst (FRB) の電波-可視同時観測 (§3.2.2.6)、重力波イベントの可視光対応天体を探す自動追観測 (§3.2.2.7)、MU レーダとの流星同時観測 (§3.2.2.10)、全天 X 線監視装置 MAXI の発見した X 線変動天体の即時可視光追観測 (§3.2.2.9) や X 線望遠鏡 NICER と連携した X 線連星や矮新星の高速同時観測 (§3.2.2.14) といった様々な多波長・マルチメッセンジャー連携観測プログラムを推進中である。秒スケールでの天体の可視光光度変動を調べるためのプロジェクトも行われており、白色矮星や M 型矮星、T-Tauri 型星をターゲットとしたモニタリング観測 (§3.2.2.11, §3.2.2.12) や極めて短時間の突発天体を探査する地球影領域観測 (§3.2.2.15) が実施中であり、異常検知のアルゴリズムを利用して天体ライトカーブから特異なイベントを抽出するソフトウェア (§3.2.2.17) や、物体検出アルゴリズムを使用して動画の中に突発的に現れる天体を高い効率で検出する手法 (§3.2.2.16) の開発も進められている。20 平方度という Tomo-e Gozen の広視野を活かした金属欠乏星探査計画においては前年度の試験観測で見つかった候補星の追観測や更なる観測に向けたフィルターの作成が行われた (§3.2.2.13)。

さらに, Tomo-e Gozen の観測データは人工天体の調査にも利用されており, 地球低軌道の人工物体を動画から迅速に検出するために GPU を活用して計算を加速させる技術開発や (§3.2.2.18), 地球接近小惑星サーベいの解析によって発見された移動天体候補データに基づいたスペースデブリ等の軌道決定とカタログ化 (§3.2.2.19), 機械学習モデル ConvLSTM を用いたデブリと人工衛星の判別 (§3.2.2.20) も進められている。

3.2.2.1 突発天体探査

富永望 (国立天文台); 田中雅臣, 押切翔, 村井裕太 (東北大学); 諸隈智貴 (千葉工業大学); 酒向重行, 瀧田 怜, 新納悠, 張天放, 越諒太郎, 津々木里咲, 笹岡大雅, 小林尚人, 青木勉, 征矢野隆夫, 樽沢賢一, 森由貴, 高橋英則, 近藤莊平 (東京大学); 大澤亮, 土居守 (国立天文台); 高橋一郎 (東京工業大学); 星野龍一 (電気通信大); 有馬宣明 (日本大学); Jian Jiang (中国科学技術大学); 前田啓一, 川端美穂, 田口健太 (京都大学); 川端弘治, 中岡竜也 (広島大学); 山中雅之 (鹿児島大); 池田思朗 (統計数理研究所); Joao Pedro Pedrosa (University of Porto)

Tomo-e Gozen の広視野撮像能力と, 読み出し時間がほぼゼロであることによる高い観測効率を活かした突発天体広域探査観測を実施している。1 晩の間に同じ領域を数時間あけて複数回観測することにより, 超新星ショックブレイクアウト等の超新星爆発の早期発見を主目的とし, 同時に他の種の突発現象の早期発見も実現する。特に, 光赤外線大学間連携内の望遠鏡群と連携し, 発見後速やかに即時追観測観測を行っている。

1 視野あたり 2 Hz のデータを 12, 18 枚連続 (計 6, 9 秒間) 取得し, 2×2 dithering でセンサ間ギャップを埋めるような観測をベースとしている。「ある時間 cadence で望遠鏡の移動量を最小かつ 3 回以上の観測が行われる領域の面積を最大にする観測順序の決定スクリプト (Pedroso et al. in prep.), さらにそのスクリプトを改善したもの (§3.2.1) を用いて, 1) 夜の最初に各領域 1 回ずつの観測 (約 3 時間, 18 枚連続, 9 秒間), 2) 真夜中に南中する領域の周辺約 2,000 平方度を約 30 分-1 時間 cadence で観測の 2 つのサーベイモードから構成されている。これらのデータは, 早期超新星の探査以外にも, 地球接近小惑星サーベイ (§3.2.2.4), 小惑星の位相角曲線の研究, Fermi γ 線源未同定天体の対応天体同定, 矮新星, 新星の研究等に用いられている。

超新星探査専用データ解析は, 観測所計算機室に置かれている専用サーバ (shinohara1-shinohara12) で行っている。またデータベース用計算機 gwdata, gwdata2 を導入している。1 次処理されたデータに対し引き算を行い, その引き算画像に対して天体検出を行っている。

2023 年度には, これまでに取得されたデータを用いた系外高速突発天体探査や 2021 年に発見された IIP 型超新星 SN2021gmj に関する論文が出版された。また, 機械学習による分類のアップデートや即時天体発見システムがアップデートされ (§3.2.2.2), Tomo-e による超新星の発見が続いた。そのうち SN 2024acn に対して, MITSuME 望遠鏡, せいめい望遠鏡を用いた継続追観測が行われている (§3.2.2.3)。また, 東大オンキャンパスジョブで情報理工学研究科の学生に協力頂き, SQL の検索および web の表示が大きく高速化された。

3.2.2.2 突発天体の即時アラートシステムの導入

星野龍一, 酒井剛 (電気通信大学); 酒向重行, 瀧田 怜, 新納悠, 有馬宣明, 紅山仁, 津々木里咲, 越諒太郎, 笹岡大雅 (東京大学); 富永望 (国立天文台); 田中雅臣 (東北大学); 高橋一郎 (東京工業大学); 田口 健太 (京都大学)

Tomo-e Gozen の突発天体探査において, 画像を用いた畳み込みニューラルネットワーク (CNN) モデルが導入されたことにより, 突発天体候補の検出数は毎晩 数 100 件にまで絞り込まれている。しかし, CNN モデルの導入後においても本物の突発天体が候補の中に占める割合は 10 %程度であり, Tomo-e Gozen が発見する突発天体に対して即時自動追観測を実現するには, 誤検出の除去の性能を更に 1 桁以上改善する必要がある。

本研究では, 天体の座標, 測光的な情報, 外部のカタログ情報等を特徴量とした, 本物の天体と誤検出を分類するランダムフォレスト機械学習モデルを構築した。Tomo-e Gozen が過去 1 年 7 ヶ月間に取得し, CNN を通

過した突発天体候補の中で、人手で本物と誤検出の判定をしてラベルとした 3170 件を訓練データにした。結果、実際のサーベイデータに対して、本モデル導入前と比べて突発天体候補を 10%程度まで減らし、より確実な突発天体候補を抽出することに成功した。さらに、本物と判定されたサンプルに対して、超新星か超新星以外の天体かを判別するランダムフォレストモデルも構築した。高スコアのものはアラートとして通知するシステムを作成し、2024/1/15(SN2024acn)、2024/1/16(SN2024ahe)の二件の超新星発見報告に繋げた。

3.2.2.3 II 型超新星 SN 2024acn の早期発見

越諒太郎, 酒向重行, 笹岡大雅 (東京大学); 富永望, 土居守, 小久保充 (国立天文台); 高橋一郎 (東京工業大学); 田口 健太 (京都大学)

II 型超新星 (SNe II) は、8 太陽質量以上の恒星の重力崩壊により引き起こされる爆発現象である。そのスペクトルには数十日間にわたって広い H α 輝線が見られ、爆発前の親星に水素の外層があったと考えられている。しかし近年では、一部の SNe II の H α 輝線が爆発後数日間だけ細い形状をしていることが明らかになった。細い輝線は星周物質等の低速な物質に由来するため、これは SNe II が爆発直前に激しい質量放出を行っていることを示唆する。これは親星に対して強力な制約を与えるため、さまざまな SNe II に対してその爆発前の質量放出率を求める試みが行われてきたが、その値に多様性が見られることが分かってきた。この多様性の原因を理解するためにも、より多くの SNe II について早期から撮像・分光観測する必要がある。そして超新星を早期で発見するにあたって、Tomo-e Gozen で行われているような広域探査の担う役割は極めて重要である。

2024 年 1 月 13 日、Tomo-e Gozen によって SN 2024acn が 17.57 ± 0.11 mag の明るさで発見された。翌 14 日に観測を行ったところ、 17.47 ± 0.15 mag と増光が確認され、15 日にせいめい望遠鏡による分光観測の結果これが 130Mpc 離れた早期の II 型超新星であることが分かった。以降、国内の 4 つの望遠鏡と共に木曾観測所でも SN 2024acn の追観測を実施している。

SN 2024acn は最大光度時の絶対等級が -19.7 mag と、SN II の中でもかなり明るい。また通常の SN II と違い数十日間にわたり細い H α 輝線を見せているが、発見 50 日後程度から細い輝線と同時に青方偏移された広い成分も見せ始めている。これらは SN 2024acn の親星が他の SN II とは異なる質量放出をしてきた可能性を示唆しており、これは今後の解析における主な焦点の一つとなる。今後も超新星が見えなくなるまで、撮像観測・分光観測共に継続する予定である。

3.2.2.4 地球接近小惑星サーベイ

紅山仁, 和田空大, 大澤亮, 酒向重行, 瀧田怜 (東京大学); 諸隈智貴 (千葉工業大学/東京大学); 浦川聖太郎, 奥村真一郎 (日本スペースガード協会); 吉川真, 柳沢俊史, 白井文彦 (宇宙航空研究開発機構); 吉田二美 (産業医科大学, 千葉工業大学); 佐藤英貴 (東京警察病院)

近日点距離が 1.3 au 未満で定義され地球に接近する軌道をもつ小惑星を地球接近小惑星 (Near-Earth Object, 以下 NEO) と呼ぶ。地球に接近する NEO であれば火星-木星間のメインベルト小惑星では観測が難しい直径が小さい天体を観測することができ、微小天体の強度や組成を知るための好観測対象となる。また NEO は地球への小惑星衝突被害を抑制するプラネタリーディフェンスの観点からも重要な観測対象である。

昨年度に引き続き Tomo-e Gozen サーベイ観測データからの NEO の探索を行った。2023 年度は新たな天体の発見に至らなかったが (昨年度は 11 天体)、新天体発見の自動化に向けて現行パイプラインの改善を行った。2019 年の Tomo-e Gozen の本格稼働開始後から実施してきた、Tomo-e Gozen 含む世界のサーベイ観測で発見される小惑星の光度曲線観測結果を含む内容が博士論文としてまとめられた。博士論文の内容について以下の研究会で招待講演を行った。

- 第 25 回 惑星圏研究会 (SPS2024), 東北大学, 2024 年 2 月 20-22 日,
「Photometric Observations of Tiny Near-Earth Asteroids during the Close Approaches」(招待講演)
紅山仁 <https://www.iauga2022.org/>

3.2.2.5 重ね合わせ法による高速移動微小天体検出

奥村真一郎, 浦川聖太郎 (日本スペースガード協会); 柳沢俊史, 吉川真 (宇宙航空研究開発機構); 大澤亮 (国立天文台); 酒向重行, 高橋英則 (東京大学); 紅山仁 (東京大学/コートダジュール天文台); 吉田二美 (産業医科大学); 阿部新助 (日本大学)

直径 10 m 前後の微小天体を詳しく調査し、力学的特性や鉱物学的特性を明らかにして宇宙風化との関係を探る事によりその物理的・力学的、鉱物学的進化が明らかとなる。加えてその起源天体である族、さらにその起源となる太陽系小天体の進化や形成過程を探る上でも重要な情報となる。このサイズの天体を観測するには、地球に近づいてきた微小な地球接近小惑星 (以下、NEO) を狙うしか選択肢がないが、このような微小サイズの NEO は地球に近づいたタイミングでないと詳細な観測は実施できず、観測対象としての数は多くない。太陽系小天体の進化過程を明らかにするためにも、プラネタリーディフェンスの観点からも、微小サイズの NEO をさらに多く発見することが重要である。

Tomo-e Gozen の動画データを用いた解析から微小な NEO がすでに 50 個以上発見されており (§3.2.2.4), 発見された NEO には 10 m 前後のサイズのものも含まれているが、2 fps (0.5 秒露出) のデータから移動天体を抽出しているため検出限界は約 17 等にとどまっている。われわれはさらに暗い、さらに小さいサイズまで含めて NEO を大量発見できるシステムを開発中である。本システムは、様々な移動方向・移動速度を仮定してずらしながら重ね合わせることで検出限界を深め、0.5 秒露出の動画からは検出が難しい微小な高速移動 NEO の大量検出を目指すものである。

これまでに専用計算機を木曾観測所に導入、プログラムの改修・最適化を進め、84 チップのうち半分の 42 チップ分に限定すればリアルタイムに近い速度で処理が実施できるまでになった。大量に検出される人工天体については、カタログを参照し既知のものはすぐに同定できるシステムを組み込んだ。また本研究課題の最も重要な部分となる、検出した候補天体の軌道を定めるための即時追跡観測については美星スペースガードセンターを用いて従来より試行錯誤を繰り返していたところ 2022 年 5 月に追跡観測に成功した。

2023 年度は重ね合わせ処理能力補強のため、GPU 搭載マシンを木曾観測所に導入する作業を進めてきた。84 枚全チップのデータ処理がリアルタイムで可能となる予定であるが、年度末に一次処理兼データ取り込み用 PC に不具合が出たため、その修復を優先して急いでいる。また多数枚重ねた場合の移動天体検出に対するシステムパフォーマンスのデモンストレーションのため、Tomo-e Gozen による 2022 年 12 月のふたご座流星群出現時の観測データを使用した解析も進めている。

3.2.2.6 Fast Radio Burst の可視光対応天体探査

新納悠, 土居守, 酒向重行, 松林和也, 有馬宣明, 茂山俊和, 戸谷友則 (東京大学); 富永望, 大澤亮, 小久保充 (国立天文台); 田中雅臣, 櫻山和己 (東北大学); 新沼浩太郎 (山口大学); 太田耕司, 前田啓一, 川端美穂, 野上大作 (京都大学); 諸隈智貴 (千葉工業大学); Jian Jiang (中国科学技術大学); Di Li, Chao-Wei Tsai, Pei Wang, Chen-Hui Niu (National Astronomical Observatories of China); 橋本哲也 (National Tsing Hua University); Michael Richmond (Rochester Institute of Technology)

起源や発生メカニズムの解明されていない天体電波突発現象である Fast Radio Burst (以下 FRB) の正体にせまる手がかりを得るため、Tomo-e Gozen を用いた FRB 可視光対応天体の探査を進めている。FRB からの可視光放射成分探査には短時間放射を捉えるための高い時間分解能が求められる。FRB には繰り返し電波バーストを起こす repeating FRB と一回限りの non-repeating FRB があることが知られており、Tomo-e Gozen は可視光において秒以下の時間スケールの放射に感度を持つと同時に広い視野で一回限りの突発現象を探すことにも長けた稀有な装置である。

Non-repeating FRB の可視光放射を探査するため、カナダの広視野電波観測装置 Canadian Hydrogen Intensity Mapping Experiment (CHIME) との電波-可視同時広視野観測による FRB 探査を推進中であるが、現地の子午線上に固定された視野で北天のドリフトスキャンを行う装置である CHIME の視野を Tomo-e Gozen

でカバーする観測を行う際は望遠鏡のポインティングを動かす頻度が20分程度と長くなるため、FRB探査観測中にはToO観測等の緊急の観測への対応が遅くなってしまう問題がある。これはLIGO-Virgo-KAGRA Collaborationによる重力波検出器の第四期観測ラン(O4)の実施期間 (§3.2.2.7) にあたる2023–2024年度にはとりわけ大きな問題である。これに対処するため、ポインティング間隔の長い観測の最中にも迅速にToO観測に移行することを可能にするための望遠鏡運用ソフトウェア改修を進めている。

3.2.2.7 重力波イベントの可視光対応天体探査

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

2023年5月よりLIGO-Virgo-KAGRA Collaborationによる重力波検出器の第四期観測ラン(O4)が開始された。O4は現在も実施中であり、2025年6月まで行われる予定である。現在の重力波検出器による重力波イベントの決定精度は典型的に数100–1000平方度程度となっており、対応天体の探査には高い広域走査能力が求められる。Tomo-e Gozenは20平方度におよぶ視野と速い読み出し速度によって重力波イベントの広い誤差領域を素早く探査するのに適した性能を持っており、木曽観測所では重力波イベント発生の際にアラートに自動で即応して誤差領域を観測するシステムを運用して重力波イベントの追観測を行なっている。

このシステムにより、O4の開始から2024年3月までの期間に17件の重力波イベントアラートに対して追観測を実施した。追観測で取得したデータは通常の突発天体探査 (§3.2.2.1) と共通の解析パイプラインによって自動的に処理されており、2019–2020年にかけて行われた第三期観測ラン(O3)以降に進められた解析パイプラインのアップグレードによって重力波追観測データの解析速度もO3時に比べて大幅に向上した。O4で発生した重力波イベントの大半はブラックホール同士の連星(BBH)の合体でありTomo-e Gozenによるものを含めあらゆる追観測で有力な電磁波対応天体は見つかっていないが、自動システムによる追観測およびデータ解析が円滑に行われることを確認している。

3.2.2.8 Tomo-e Gozen によるブレーザーの変光観測

張天放, 土居守, 酒向重行 (東京大学・天文学教育研究センター); 富永望, 小久保充, 大澤亮 (国立天文台); 田中雅臣 (東北大学)

Tomo-e Gozen 北天変光源サーベイのデータを使用して、4LACカタログに含まれる262個のBL Lacと233個の均一スペクトル電波クエーサー(FSRQ)の光変動性を研究している。結果、BL LacとFSRQの γ -線光子指数と光度変動性との間に相関があることが明らかになりました。具体的には、 γ -線光子指数が2.6より大きいFSRQは非常に低い光変動性を示し、 γ -線光子指数が2未満のBL Lacも低い光変動性を示す一方、 γ -線光子指数が2から2.6の間のBlazar(166個のFSRQと145個のBL Lac)は最も強い光度変動性を持つ。また、我々が測定した構造関数 $sf(\tau)$ もこれらの結果を裏付けた。さらに分析を行ったところ、 γ -線光子指数が高いFSRQの構造関数の振幅は、 γ -線光子指数が低いFSRQのものよりも有意に低く、その特徴変動時間は降着円盤の特徴変動時間と似ていることが分かった。Kools-IFUのスペクトル観測と合わせて、 γ -線光子指数が2.6より大きいFSRQは降着円盤によって主導されているのに対し、 γ -線光子指数が2から2.6の間のBlazarの光変動はジェットのスィンクロトロン放射によって主導されていることが結論付けられた。スィンクロトロン放射が引き起こす光度変動をさらに詳しく研究するために、今後もFSRQのスペクトル観測を続け、光変動の時間尺度を明確にする計画である。この研究により、FSRQにおける降着円盤とジェットの構造についてより包括的な理解が得られ、活動銀河核の進化と物理過程についてさらなる手がかりを提供できることが期待される。

3.2.2.9 MAXI と Tomo-e Gozen の連携観測と静穏期のブラックホール天体の Tomo-e 観測データ解析の進展

根来均, 田中雅泰, 小林浩平 (日本大学); 新納悠, 瀧田怜, 酒向重行 (東京大学・天文学教育研究センター); 三原建弘 (理化学研究所)

2023 年度, 新たな明るい X 線新星が 3 つ現れたが (Swift J1727.8-1613, SRGA J144459.2-604207, Swift J151857.0-572147), 新天体が明るい天体の近傍であったり, 観測条件が悪かったため, MAXI の速報による Tomo-e との連携観測には至らなかった. また, MAXI は 11 個のガンマ線バーストを検出したが, Tomo-e の観測に適した時間, 領域ではなかった. 2023 年 7 月 20 日には MAXI は X 線での増光が数時間続いた突発天体を検出し (ATel #16144), その約 1.5 日後に行われた Swift/XRT の追観測により突発現象の正体が HD 220096 からのフレアである可能性が示された (ATel #16145). しかし, 本イベントについても惜しくも木曾での最高高度が約 27 度であったため, サーバイデータを用いた Tomo-e での確認はできなかった.

一方, 2022 年 3 月に Tomo-e で観測された静穏期中のブラックホール X 線新星 A 0620-00 (V616 Mon) と XTE J1118+480 (KV UMa) のデータ解析は田中雅泰により (木曾シュミットシンポジウムでの発表を通じた Tomo-e 関係者の指導による Tomo-e データの特性の理解を含め) 進展した. 天体像の動径方向の輝度分布をモファット関数を用いてフィッティングすることにより, 精度良く等級を算出するとともに, 2 Hz での光度曲線を作成し, 過去の KV UMa の観測でも検出されたような数十秒のタイムスケールの強度変動が検出された. それらの結果は, 田中雅泰の日本大学大学院理工学研究科の修士論文としてまとめられた. より定量的な評価などは, 以前より課題であった MAXI (日大等) 側での Tomo-e の解析環境の整備とともに進める予定である.

3.2.2.10 MU レーダ と Tomo-e Gozen を用いた 2020, 2022 年ふたご座流星群の同時観測

長谷川まり, 阿部新助 (日本大学); 大澤亮 (国立天文台); 酒向重行 (東京大学); Daniel Kastinen, Johan Kero (Swedish Institute of Space Physics); 藤原康德 (日本流星研究会); 西村耕司 (京都大学生存圏研究所); 中村卓司 (国立極地研究所); 渡部潤一 (国立天文台)

本研究では, 直径数 $10\ \mu\text{m}$ ~ 数 $10\ \text{cm}$ のメテオロイド (meteoroid) のうち, 直径数 $10\ \mu\text{m}$ - 数 $100\ \mu\text{m}$ (質量 $1\ \mu\text{g}$ - $1\ \text{mg}$ 程度) を精度良く決定し, 微小メテオロイドのサイズ 分布を明らかにすることを目的としている. また, 電波 (波長: $6.4\ \text{m}$, 周波数: $46.5\ \text{MHz}$) と光学 (波長: $400\text{--}800\ \text{nm}$) の異なる 2 つの電磁波領域の観測を同時に行うことで取得される物理パラメーターの関係を導出して, 特定の流星群のサイズ分布導出だけでなく, 流星発光の物理メカニズムそのものの理解に繋げることも考えている. ターゲット (流星ヘッド・プラズマ) が完全導体球の場合は, 照射された電波エネルギーが 100% 等方的に散乱される. この完全導体球の断面積に換算したものがレーダー反射断面積 (RCS: Radar Cross Section) である. しかし実際に RCS は, ターゲットの大きさだけでなく, 突入速度, 形状, 密度, 構成物質など, 複雑な要因に関連すると考えられている. 京都大学生存圏研究所が滋賀県信楽に所有する Middle and Upper Atmosphere レーダ (MU レーダ: $330\ \text{Hz}$) と東京大学木曾観測所の Tomo-e Gozen ($2\ \text{Hz}$) を用いて, これまで散在流星に関するサイズ分布関数を導出してきた (Ohsawa et al. 2020).

「ふたご座流星群」の母天体である活動小惑星ファエトン (3200 Phaethon) をフライバイ探査する「DESTINY+」は, 2025 年度にイプシロン-S ロケットで打ち上げられ, 約 4 年後に Phaethon をフライバイし, 搭載ダスト検出器による μm サイズのダストの計測と組成分析およびフライバイ撮影探査を行う計画である. MU レーダーと Tomo-e Gozen を用いた「ふたご座流星群」の同時観測から得られる微光流星のサイズ (質量) 分布関数は, 直接計測に比べると 1-2 桁大きいサイズのダストであるが, 活動小惑星の起源と進化に関する知見を探究することにつながり, DESTINY+探査機搭載ダスト検出器を用いたダスト検出量を推定する上でも重要なデータとなる. 本研究では「ふたご座流星群」をターゲットにした同時観測を 2020 年 12 月 12 日~14 日に約 16 時間, 2022 年 12 月 14~15 日に約 14 時間の合計 30 時間 実施した. Tomo-e と MU で同時観測が成立した流星数は, 2020 年: 散在流星 98 個, ふたご座流星群 53 個 (うち MU レーダー単体では散在流星 6392 個, ふたご座

流星群 347 個), 2022 年: 散在流星 193 個, ふたご座流星群 60 個 (うち MU レーダー単体では散在流星 6036 個, ふたご座流星群 180 個) となった. Tomo-e で測光した 2020 年, 2022 年ふたご座流星群の等級分布を Fig. 3.1 に, Tomo-e の測光等級と MU レーダーで得られた RCS 関係図を Fig. 3.2 にまとめる. ふたご座流星群は, 2020 年より 2022 年の方が暗い流星が多いことが分かる (Fig. 3.1). また, 約 9 等級よりも暗い流星では, ふたご座流星群に比べて散在流星の方がレーダーで明るく (RCS が大きい), 約 9 等級よりも明るい流星では, ふたご座流星群の方が散在流星に比べてレーダーで明るく (RCS が大きい) なる傾向がある. これは, ふたご座流星群の方が, 低速流星で RCS に寄与する電子を生成する揮発性成分の含有量が散在流星よりも多い傾向が, 比較的大きなサイズの明るい流星で見られることを意味する (Fig. 3.2). 以上の関係から, 5-12 等級 (質量 10^{-4} - 10^{-2} g) 範囲の「ふたご座流星群」の質量分布関数 s とサイズ分布関数 d は, それぞれ, $s = 3.34 \pm 0.08$, $d = 7.32 \pm 0.11$ となり, ふたご座流星群は, 散在流星に比べて小さいダストが比較的多いことが分かった (Fig. 3.3).

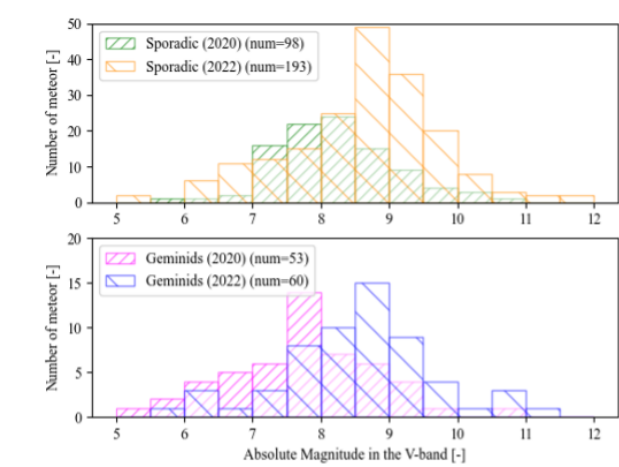


図 3.1: Tomo-e と MU レーダーの同時観測が成立した 2020 年・2022 年の等級分布.

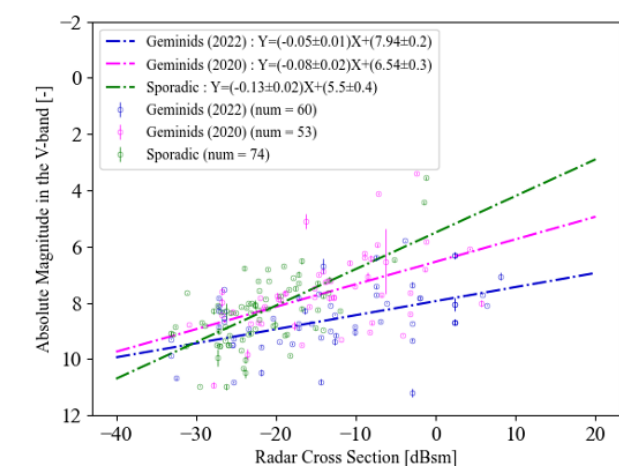


図 3.2: 2020・2022 年ふたご座流星群 (35km/s) および低速散在流星 (対地速度 30-40km/s) の RCS(MU) - 等級 (Tomo-e) 関係.

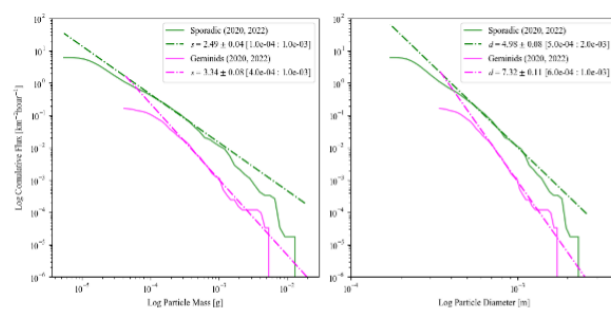


図 3.3: 2020・2022 年 ふたご座流星群と散在流星のサイズ分布 (右) と質量分布 (左).

3.2.2.11 白色矮星および M 型矮星の秒スケール変動探査

直川史寛 (東京大学); 逢澤正嵩 (茨城大学); 檜山和己 (東北大学); 大澤亮 (国立天文台); 河原創 (JAXA); 有馬宣明 (日本大学); 藤澤幸太郎 (東京工科大); 茂山俊和 (東京大学); Hanchun Jiang (東京大学); 酒向重行 (東京大学);

太陽質量の約 8 倍以下の天体の最期に形成される天体である白色矮星は、地球サイズ程度の非常にコンパクトな天体である。白色矮星には、現在もなおその形成・進化において観測的に不明な点が数多く存在する。連星白色矮星合体による高速回転、p モード振動、白色矮星を周る系外惑星 (特に岩石惑星) 等の信号などである。これらは分あるいはサブ分のタイムスケールを持つ現象であり、従来の CCD センサによる光学観測では検出が難しく、読み出し時間の短い CMOS センサの威力が発揮されるサイエンスターゲットとなる。

同様に、秒スケールでの高速撮像が必要な天体現象として恒星フレアが挙げられる。恒星フレアは多種多様で、そのタイムスケールは数秒のものもあれば数時間に及ぶものもある。近年は Kepler 宇宙望遠鏡や TESS 宇宙望遠鏡の活躍により、太陽以外の恒星のフレアに関する観測的研究も大いに進展している。しかしながら、これらの観測装置では積分時間の関係で、短時間に増光する恒星フレアの検出は難しかった。こちらも CMOS センサによる高速撮像が活用できるターゲットとなる。

シュミット望遠鏡の広大な焦点面を埋めるように CMOS センサが配置された Tomo-e Gozen は、上記の信号検出に必要な動画観測が行えるのみならず、その視野の広さから、夜空にあまねく分布する白色矮星や M 型星を無バイアスかつ効率的に観測できる。実際に我々は過去に Tomo-e Gozen を用いて超高速な M 型星フレアを 22 件検出した (Aizawa *et al.*, 2022, PASJ, psac056)。

今年度は、上記観測の対象を北天全域に広げるべく、昨年度に引き続いて広域動画サーベイ観測の検討を進めた。一晩のどのタイミングでどの天域を観測するか等を検討した。また、信号の検出可能性の確認のため、既知の現象のターゲット観測も試験的に開始した。

また今年度は、現在行われている定常サーベイ (All-sky 及び High-Cadence) のデータを本プロジェクトに活用できないかどうか検討した。毎日取得されるサーベイデータから光度曲線を作成するパイプラインを作成し、その品質などを調べた。このような総露光時間の短い動画では、本プロジェクトのターゲットの検出は容易ではないと現在は考えている。ただし短時間の動画では、長時間の動画観測では安定しない 2 fps データも取得できるため、こちらのデータ活用法も引き続き検討したい。

3.2.2.12 YSOs の秒スケール変動探査

根津正大, 新納悠, 小林尚人 (東京大学)

星形成領域に見られる若い星 (YSOs: Young Stellar Objects) は様々な変光を示すことが昔から知られているが、秒スケールの時間変動を系統だって調べた研究は未だ存在しない。そこで Tomo-e Gozen の時間分解能お

よび視野を活かした YSOs の系統的かつ統計的な観測研究を開始した。最も代表的な YSO であり、また可視光で見える「T-Tauri 型星 (TTS)」(前主系列段階にある低質量星：太陽質量の約 2 倍以下)を対象とし、広がった近傍星形成領域に分布する多数の TTSs の時系列データを同時に取得する手法で観測を進める。今年度は課題研究のテーマとして、手始めに高銀緯にある近傍の星形成領域 MBM12 の 7 個の TTSs を 2fps で観測し、高精度な光度曲線を得ることができた。データのクォリティコントロール、増光イベントの検出法を検討し解析を進めた結果、参照星と比較して 30sec スケールでは明確に増光現象が起こっていることがわかった。

冬には主ターゲットである牡牛座分子雲の大規模なサーベイを行い、多数の TTSs の 1fps データを取得することに成功した。今後はまず、MBM12 での解析や考察の経験を活かしながら牡牛座分子雲のデータ解析を進めていく。

3.2.2.13 狭帯域フィルターを用いた金属欠乏星探査および中分散分光追観測

岡田寛子 (兵庫県立大学); 富永望 (国立天文台); 本田敏志, 古塚来未 (兵庫県立大学); 青木和光 (国立天文台); 諸隈智貴 (千葉工業大学); 高橋英則, 酒向重行 (東京大学); 岩下光, 神澤富雄, 福田武夫, 三ツ井健司, 金子慶子, 福嶋美津広 (国立天文台)

H, He 以外の元素を指す金属が太陽と比べて少ない恒星は金属欠乏星と呼ばれる。金属欠乏星は宇宙開闢直後のまだ金属が少なかった時代に形成された小質量星であり、形成された当時の元素組成を現在に伝えている。金属欠乏星の観測研究は、探査観測での候補星の同定、高中分散分光追観測での詳細な元素組成の決定、の順で行われる。そのため、金属欠乏星を用いた宇宙初期の化学進化の解明には高分散分光追観測が容易な明るい候補星の選出が重要となるが、従来の探査観測は遠方の活動銀河核などの観測と並行して行われたため、選出される候補星は暗く、特に追観測の容易な 9–12 等級の明るい星の探査は不十分であった。

金属欠乏星の探査法として近年注目を集めているのが、Skymapper survey や CFHT を用いた Pristine survey に代表される狭帯域フィルターを用いる方法である。狭帯域フィルターを用いることで視野内の星全てについて情報を得られるため、有力な金属欠乏星探査法として注目されている。Skymapper survey は v バンドと呼ばれる少し広めの CaH&K (396.85 nm, 393.37 nm) に対応した狭帯域フィルターを用いて現在最も金属量の低い $[Fe/H] < -7.1$ の金属欠乏星を発見しており、Pristine survey はより CaH&K に特化した狭帯域フィルターを用いて銀河ハローだけでなくバルジ方向の探査も進め多数の成果を挙げている。そこで、我々は Tomo-e Gozen と狭帯域フィルターを用いた明るい金属欠乏星探査観測を立案した。

2023 年度には、2022 年度に行った試験観測の結果と Gaia DR3 の結果を組み合わせ、65 天体の金属欠乏星候補星を選択し、なゆた望遠鏡 Medium And Low-dispersion Long-slit Spectrograph (MALLS) を用いて中分散分光追観測し、30 天体の金属欠乏星を同定した。また、せいめい望遠鏡 GAOES-RV を用いた高分散分光観測を行い、Mg, Ca, Sc, Ti, Cr, Fe, Ni, Ba の組成を測定した。さらに、Gaia XP スペクトルと他望遠鏡による狭帯域観測の結果の比較を行い、製作する狭帯域フィルターを決定し、CaH&K(395 nm)、その reference (411 nm)、CH(433 nm)、H α (656 nm) に対応する狭帯域フィルターを製作した。2022 年度に製作した狭帯域フィルターも含めて合計 84 枚の狭帯域フィルターを用いた試験観測を 2024 年 5 月に行う予定である。

3.2.2.14 Tomo-e Gozen と NICER による可視光・X 線高速同時観測

木邑真理子 (金沢大学); 酒向重行 (東京大学); 根来均 (日本大学); 山田真也 (立教大学); 岩切渉 (千葉大学)

2023 年度は、2018 年にアウトバーストを起こしたブラックホール X 線連星 MAXI J1820+070 について、アウトバースト前半の Tomo-e Gozen の 67Hz の可視光ライトカーブ、NICER 望遠鏡の 0.015 秒積分の X 線ライトカーブの解析を行った。この天体では、アウトバースト中、ミリ秒スケールのスパイク状のフレアが多波長域で発生していた。完全同時観測はなかったものの、同日に観測されたデータが 8 日分あることから、可視光・X

線それぞれでフレアの重ね合わせショット解析を行い、フレアの形状・振幅・継続時間などの時間進化を比較した。その結果、可視光のショットはX線のショットより細く、可視光放射の起源がブラックホール近傍の降着流やジェットの流れで起こるシンクロトロン放射である可能性が高いことが分かった。可視光ショットとX線ショットの振幅と継続時間の時間進化は相関しておらず、X線領域ではジェットからの放射の寄与は少ないと考えられる。ショットのタイムスケールは数百ミリ秒であり、円盤内縁部での磁気活動がミリ秒スケールのフレアの原因ではないかと予想できる。可視光ショットよりもX線ショットの方が形状の非対称性が高く、同時発生していた準周期振動(QPOs)のコンタミによりショットの形状が変化している可能性もある。これらの解析結果と物理的解釈を論文にまとめ、現在投稿準備中である。

加えて、2023年1月から2月にかけてアウトバーストを起こした矮新星 GK Per の Tomo-e Gozen・NICER による高速同時観測データを解析した。この天体の白色矮星の磁場は強く、降着円盤の内側は磁場によって途切れており、円盤内縁からのガス流が磁場を伝って白色矮星に自由落下速度で降着する。そのため、白色矮星表面で衝撃波が形成され、X線光度が高くなっている。X線では白色矮星の自転周期に相当する351.3秒のパルスが検出できた。一方、可視光では5700秒程度の周期を持つQPOsが観測された。Tomo-e Gozenのデータはアウトバースト終了間際に取得され、パルスやQPOsを検出できなかったものの、比較星よりも光度変動の幅が大きかった。このGK Perの変動は、過去にも観測されていたflickeringである可能性がある。可視光とX線の同時観測のライトカーブの相関は弱く、円盤や伴星のX線照射由来と考えられる数秒程度の可視光変動の遅れは検出できなかった。QPOsの原因として、円盤の一部が鉛直方向に広がり、その領域が白色矮星近傍からの高エネルギー光子により加熱され、周期信号が見えるという可能性があるが、その照射のソースはX線を放射する降着柱ではなく、紫外線を放射する白色矮星や円盤内縁部ではないかと考えられる。これらの解析結果と物理的解釈を論文にまとめ、現在投稿準備中である。

3.2.2.15 地球影領域での秒スケール突発天体探査観測

有馬宣明, 土居守, 酒向重行, 新納悠 (東京大学); 富永望, 大澤亮 (国立天文台); 田中雅臣 (東北大学); Michael Richmond (Rochester Institute of Technology); 阿部新助 (日本大学)

我々はCMOSセンサの秒の時間分解能と約20平方度の広視野の両方を活かしたTomo-e Gozenによる毎秒1フレーム(1-fps)による地球影領域に向けた定点動画観測を行っている。地球影領域とは、人工衛星やスペースデブリといった人工天体が太陽光の反射によって短時間(〜0.1 s)で光る誤検出数を最小化する、静止軌道(地球表面から高度35,786 km)上における地球の影となる領域(直径 $\phi \sim 18$ deg)である。この観測により典型的に十秒以上の読み出し時間を要するCCDを用いた従来の可視光観測では捉えることのできなかった、秒やそれ以下の未開拓なタイムスケールの可視光突発天体の発見を目指している。

2019年11月から2020年3月にかけて本プロジェクト観測“Earth Shadow Survey”を実施し、120フレーム1セットの動画データ約50時間分を取得した。その動画データから一部のフレームのみで光る突発天体候補を見つけるためのPythonベースの解析パイプライン(TomoePipe)を開発し、約50時間分のデータから連続した2フレームのみ(=2秒以下)で写る突発天体候補(以降、Tomo-e flashと呼ぶ)を1天体発見した。Tomo-e flashはGaia G-band等級で約16.8 magであり、発見座標には北天のPan-STARRSカタログ(PS1 DR2)には $\lesssim 23$ magまでの可視光対応天体は存在していなかった。また、Tomo-e flashの画像上での星像の広がり(PSF)は1フレーム目では観測時のseeing(約3秒角)程度であるが、2フレーム目では北東方向に約10秒角の広がった輝度分布が見られた。今年度はこの星像の広がりについて(1)大気揺らぎによるPSFの歪みによる可能性と(2)小天体同士の衝突による発光というシナリオについて考察した。

(1)について、まずTomo-e flashの検出画像内に写る星を使って2フレーム間での検出天体のパラメータ(面積比、有効半径比、重心座標のオフセット量など)を調べたところ、Tomo-e flashは同一視野内の星には見られない有意な外れ値を取ることが分かった。またTomo-e flashの発光の継続時間が1 sよりも十分短い場合に大気揺らぎを受けてPSFが歪んだ可能性を調べるため、Tomo-e GozenのCMOSセンサの部分読み出しモ-

ド (400×24 pixels のストライプ状の視野) による 57-fps (= 約 17.4 ms) の 1000 フレーム連続高速観測をブレイデス星団のいくつかの星へ向けて実施した. 通常の星の PSF が ~ 20 ms の積分時間の場合に受ける大気揺らぎによる影響を天体の楕円率 e (長軸 a と短軸 b の比を用いて $e = 1 - b/a$) などをもとに異なる S/N の星 ($S/N \sim 10, 20, 30, 50$) で評価した. Tomo-e flash と似た明るさの星 ($S/N = 11 \sim 15$) で比較的シーイングの良い日 (~ 4.0 arcsec) のデータを用いると $e = 0.11 \pm 0.05$ であった (検出閾値は background rms の 1.5 倍). 大気条件を完全に揃えることはできないが, Tomo-e flash の 2 フレーム目に見られる $e \sim 0.50$ は 20 ms の継続時間の星では難しいことが分かった.

(2) については PSF の伸びと短時間発光 (2 秒以下) を説明するために, ここでは 2 つの天体の衝突によって生じる衝突閃光を考えた. cm サイズの流星体が秒速数十 km で月に衝突すると, その運動エネルギーの一部が光エネルギーに変換され可視光から近赤外光として観測される. この現象は月面衝突閃光と呼ばれ, 通常 1 秒以下の発光となる. ここでは月を地球近傍小惑星 (NEA) に置き換えて, NEA のサイズ分布モデルと NELIOTA プロジェクトによる月面衝突閃光の観測結果を用いて流星体と NEA の衝突確率を計算した. その結果, PSF の伸びの角度から制限される Tomo-e flash までの距離 ($\sim 31,000$ km) 以内で起こりうる衝突を我々の観測で捉える期待値は $\lesssim 10^{-20}$ となり, 確率の観点からこのシナリオも考えにくいことが分かった.

統計的な性質を探る上でも今回発見された Tomo-e flash と同様な突発天体の複数検出が重要であり, 地球影動画データを 2024 年度中に現在の 2 倍 (計 100 時間) に増やす計画である. 2024 年 2 月から 3 月にかけても観測を実施し約 15 時間分のデータを新たに取得した.

3.2.2.16 動画データ解析による短時間突発現象の探査

田中雅臣 (東北大学); 畑中駿平, 渡邊隆 (仙台高等専門学校); 上田修功 (NTT コミュニケーション科学基礎研究所); 吉田直紀, 酒向重行, 有馬宣明, 土居守, 森由貴, 新納悠, 津々木里咲 (東京大学); 大澤亮, 富永望 (国立天文台); 諸隈智貴 (千葉工業大学); 押切翔, 檜山和己 (東北大学)

Tomo-e Gozen の動画観測は, 宇宙における秒スケールの突発天体現象を探査するための非常にユニークな手法である. 我々はこれまで物体検出アルゴリズム Single Shot Multibox Detector (SSD) と EfficientDet を用いた動画データ解析手法を開発し, 秒スケールの突発現象を多数発見してきた. 多くの現象は小さな (1 cm 程度) スペースデブリが太陽光を反射することで発光していると思われ, そのような現象を動画データに映り込む他の移動物体と画一的に取り扱う必要が浮き彫りになった. そこで, 動画データに映る物体を形状に関わらず検出する手法の開発を行った. 具体的には, 全時間フレームに映る既知天体からなるマスター画像を作成し, それぞれの時間フレームにのみ映る天体を浮かびあがらせ, 天体の形状に関わらず連結成分を抽出する手法を採用した. この手法を 2000 程度の動画データに適用したところ, これまでの手法で検出されていた点状の天体以外に, 線状の物体や大きく歪んだ物体を検出できていることが確認できた. 今後は検出された全ての天体・物体に対して画一的な分類を行い, 動画データに映る天体・物体の理解を試みる.

3.2.2.17 異常検知によるライトカーブ突発現象解析

Phungtua-eng Thanapol, 西川侑志, 山本泰生 (静岡大学); 酒向重行 (東京大学)

タイムドメイン天文学において観測される高時間分解能のライトカーブデータから, 天体由来の突発現象を高速かつ高精度に検出する異常検知法を開発している. 近年, 観測系の変化や異常をいち早く検出するリアルタイム処理技術の期待が高まっている. その反面, 解析対象のデータ量が莫大となる場合, リアルタイム処理に不可欠なインメモリ管理が原理的に困難となる問題が生じる. このようなビッグデータのインメモリ管理に資するソリューションとして, データベースの分野において, データ要約 (Summary, サマリ) の研究が活発に行われている (G. Cormode, 2021). サマリは, 特殊な問い合わせ (Query, クエリ) に応答可能なデータ構造のことで, クエリの種類によって管理すべきデータ量を削減できることが知られている. この中でも特にリッチ

な関係式で表現される条件をクエリとし、その条件を満たすデータの出現頻度を答えるタイプのサマリを頻度サマリと呼ぶ。頻度サマリに関しては、近年の研究 (G. Wang et al., 2021) によりデータ量に依存しない空間計算量で動作する確率アルゴリズムが見出されている。

本研究では、軽量の頻度サマリを用いてライトカーブを要約し、解析対象データ上の出現頻度を高速に求めることで突発現象をリアルタイム検知する課題に取り組んでいる。ケーススタディとして、昨年提供いただいた M dwarf のライトカーブデータを用いて、過去の出現頻度をもとにフレアの検出が可能かどうか予備実験を行った。下図に示す通り、フレアの発生区間において出現頻度が相対的に低下していることがわかる。左図は元のライトカーブデータを表し、右図は各時刻の出現頻度（その時刻を起点とする部分系列の出現頻度）を表している。すなわち、頻度が低下する区間は過去に出現していない部分系列に相当しており、このような区間において新種の突発現象が発生している可能性が示唆される。技術シーズとしてのサマリの可用性を明らかにするため、今後クエリの条件設定（例：測定誤差や検索対象のパターン長）やライトカーブのデータ標準化法を検討し、どの程度の精度で突発現象を検出できるか実証実験を進める予定である。

[1] G. Cormode: Current trends in data summaries, *SIGMOD Record*, 2021

[2] G. Wang et al.: A synopsis based approach for itemset frequency estimation over massive multi-transaction stream, *ACM Trans. on Knowl. Disc. from Data*, 2021

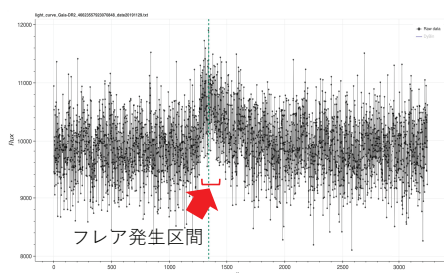


図 3.4: フレアを含むライトカーブ

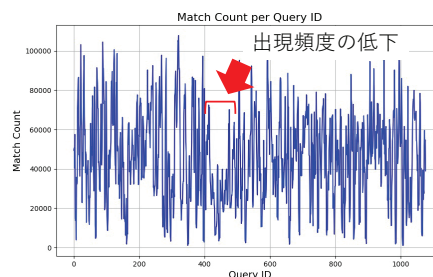


図 3.5: 出現頻度の推移

3.2.2.18 低軌道デブリ検出用 GPU 解析システムの開発

Manuel CegarraPolo, 柳沢俊史, 黒崎裕久, 神谷 浩紀 (宇宙航空研究開発機構); 大澤亮, 酒向重行 (東京大学)

JAXA has developed a processing pipeline using GPU hardware acceleration, to detect space debris in LEO with high sensitivity and short latency. The system has been installed at Kiso Observatory and its software has been integrated with the Tomo-e Gozen survey databases, so after proper schedule, each night the pipeline can detect objects in LEO imprinted as streaks in the CMOS sensors of the Tomo-e camera. Since its installation, several observation campaigns have been conducted, and results show that our processing pipeline can detect streak-shaped objects on them, corresponding to artificial satellites and space debris in LEO orbit. The pipeline also tries to identify these streaks through matching with an updated database of catalogued objects. After the detection stage, the pipeline consistently detects between uncatalogued objects in around 5.66% and 7.84% of the images with streaks, provided that both streak ends are contained within each individual CMOS sensor bounds, and streaks are no longer than two arcmin in length.

Currently we added new capabilities and also improved existing ones. Kiso Observations form part of an overall JAXA effort to detect and characterize space debris in LEO orbit. For our purpose is crucial

that a high accuracy in the streak ends coordinates is obtained, therefore proper orbit parameters of the objects can be extracted from them, so objects can then be re-observed in follow-up observatories. For that reason, we have improved the algorithm for its detection, so now a much higher percentage of uncatalogued objects can be followed up. In figure 3.6 is shown an example of the improved accuracy (blue crosses) against previous one (red crosses). We have also developed an analysis tool to measure the accuracy of the propagated orbit of objects detected at Kiso for follow-up observatories. From this analysis, we detected the influence in the rolling shutter feature of Tomo-e image sensors in fast moving objects, which was creating inaccuracies in the calculation of the streak ends. We corrected for this effect, which drastically improved their accuracy and further orbit determination. In figure 3.7 is shown an analysis of a sample image, where green marks represent the coordinates at Kiso observatory (left of figure) and SPG4-propagated coordinates in the follow-up observatory (right of figure). In the same figure, green marks represent actual observations at Kiso observatory (left of figure) and SGP4- propagated coordinates in the follow-up observatory. Finally, we developed an automatic script that improves the full automation of the Kiso observation and re-observation in the follow-up observatory. With this automation, uncatalogued objects that have certain features are automatically selected, its orbital parameters calculated and sent to the follow-up observatory, which facilitates the entire process to be executed regularly without human intervention.

This work has been published in Publications of the Astronomical Society of Japan (PASJ), Volume 74, Issue 4, August 2022, Pages 777 – 790, <https://doi.org/10.1093/pasj/psac035>.

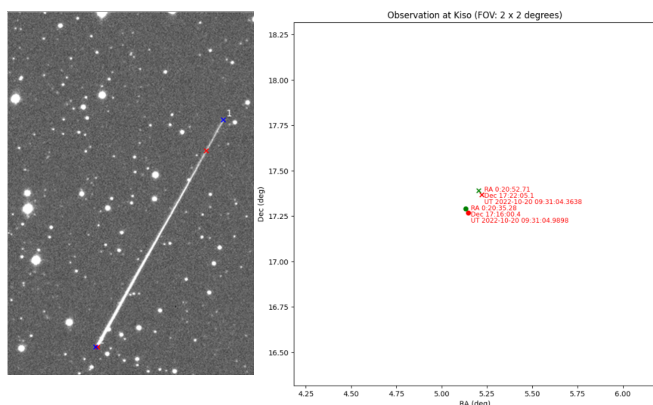


図 3.6: Streak ends detection

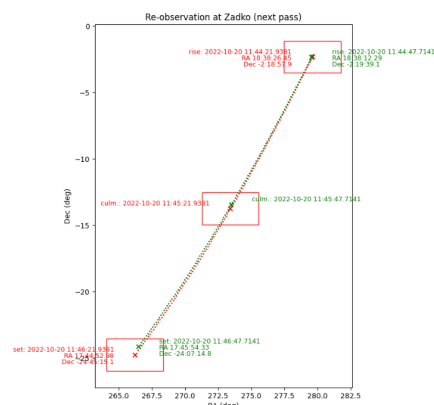


図 3.7: Analysis software

3.2.2.19 Tomo-e Gozen の観測データを活用した人工天体の検出・カタログ化

満田和真 (デロイト トーマツ リスクアドバイザー); 酒向重幸 (東京大学); Tomo-e Gozen プロジェクト

東京大学とデロイトトーマツリスクアドバイザーは2020年より産学連携共同研究を実施している。本共同研究では、Tomo-e Gozen の観測データを解析することで、スペースデブリなどの人工天体を検出・カタログ化し、得られた人工天体の軌道等のデータを活用することで、宇宙の持続可能な開発・利用に貢献することを目指す。

Tomo-e Gozen の2 Hz 全天サーベイにおいて、人工天体と考えられる天体がサイエンスターゲットへのコンタミネーションとして検出されている。人工天体自体は科学的対象としての価値は乏しい。一方で、持続的な宇

宙の開発・利用の促進といった産業的な側面においては、スペースデブリなどの人工天体の発見、観測、カタログ化を行い、軌道等のデータとして整備する価値がある。

本共同研究では、地球近接小惑星 (Near Earth Object, NEO) サーベイにおける NEO 候補天体のデータを対象とし、観測された RA, Dec から軌道決定を行い、カタログ化することを計画している。これまでの取り組みでは、高度約 1 万 km 以上の人工天体については、Space-Track[1] にカタログ化されたものについての検出効率の調査を実施し、高度約 1 万 km 以上の人工天体が Tomo-e Gozen の CMOS チップの視野に入った場合、~60 % の確率で NEO 候補天体として検出されることがわかった [2, 3]。また、木曽観測所におけるシーイングによる星像揺らぎ (seeing dance) の移動天体検出への影響を調査し、星に対しても seeing dance によって ~1—3"/s の移動速度が生じ、移動天体の検出効率に影響を与えることがわかった [4]。現在、2 Hz のサーベイ観測で得られた RA, Dec から人工天体をカタログ化するシステム開発に取り組んでおり、人工天体の検出 (誤検出の除去)、軌道推定・軌道決定アルゴリズムの精緻化を進めている [5]。

1. <https://www.space-track.org/>
2. 満田, 酒向, Tomo-e Gozen プロジェクト, 東京大学木曽観測所モザイク CMOS カメラ「トモエゴゼン」による人工天体の検出効率と性質について, 第 9 回 スペースデブリワークショップ, オンライン, 2021/2/24–2021/2/26
3. 満田, 酒向, Tomo-e Gozen プロジェクト, Tomo-e Gozen によるスペースデブリの検出について, 木曽シュミットシンポジウム 2021, 2021/10/4–2021/10/6
4. 満田, 酒向, Tomo-e Gozen プロジェクト, 移動天体検出への Seeing Dance の影響, 木曽シュミットシンポジウム 2023, 2023/5/30–2023/5/31
5. 満田, 酒向, Tomo-e Gozen プロジェクト, Tomo-e Gozen NEO サーベイデータを活用したスペースデブリのカタログ化, 木曽シュミットシンポジウム 2024, 2024/5/15–2024/5/16

3.2.2.20 ConvLSTM を用いたスペースデブリと人工衛星の識別

千葉慎一郎, 長尾光悦, 大井渚 (北海道情報大学); 瀧田 怜, 酒向 重行 (東京大学)

スペースデブリ (以下, デブリ) は使用済みロケット部品や故障した人工衛星などのことを指す。地球を周回する一定以上の大きさのデブリは、地上からの観測によって情報がカタログに登録されている。しかし、現在登録されていないデブリも多く存在しており、衝突事故などのリスクが増加している。

そこで本研究では、木曽シュミット望遠鏡/トモエゴゼンカメラで撮影された動画像を用い、機械学習モデルの一つである ConvLSTM を基にデブリと人工衛星の識別を行った。その結果、96.7%の精度で人工衛星とスペースデブリの識別が可能であることを確認した。ConvLSTM の性能比較のため、VGG16 を用いた静止画像からの識別、および VGG16 を用いた動画像からの識別精度との比較を行った結果、静止画像からの識別精度は 69.9%と有意に低く、一方で動画像からの識別精度は 97.4%と ConvLSTM とほぼ同じか僅かに高いことがわかった。動画像から VGG16 及び ConvLSTM に基づき識別を行った場合、VGG16 を用いた場合の方が識別精度が若干高い値となった理由として、移動天体の画像は白黒の動画像であり、その単純さから VGG16 で既に識別性能を有しており、一方で時間及び空間の両要素を考慮する ConvLSTM では、そのモデルの複雑さから識別精度が若干低くなったものと推察される。さらに追加実験として位置情報や移動速度の 2 つの情報を追加することで、ConvLSTM での識別精度が 98.7%まで向上することを確認した。

今後の課題としては、学習過程における過学習の問題が挙げられる。これは、学習データの増強やモデルの改善によって改善可能であると考えられる。また、ConvLSTM がどのようにデブリと人工衛星を識別しているのかがブラックボックスであるため、識別の可視化を行うことでその要因を検証する必要がある。本研究成果は

2024年3月に公立はこだて未来大学で開催された第23回複雑系マイクロシンポジウム（CSMS24）で口頭発表を行った。

3.2.3 望遠鏡とドームの保守、整備

3.2.3.1 105cm シュミット望遠鏡とドーム

2023年度のシュミット望遠鏡及びドームの保守、整備項目は以下の通りである。

- 木曾シュミット望遠鏡の Tomo-e Gozen 観測データによるポインティング精度モニタと維持

前日の観測のポインティング精度を Tomo-e Gozen の観測結果から計算、その結果をレポートに作成、それを slack に自動投稿させるように実装をおこない、ポインティング精度の情報を観測グループと共有出来るようにした。ポインティング精度をモニタリングすることで、何らかの影響でポインティングが悪化するとすぐに分かるようになり、ポインティング補正パラメータを修正することで精度を 10arcsec 程度に維持し続けることが出来ている。

- ドームスリット制御系改修

観測時、ドームスリットが開いているときに停電が起これば、そのままスリットが閉められなくなり、雨に曝される危険が存在していた。そのため 2021 年 3 月にドームスリット開閉の電源部分に UPS を設置することで、停電時に自動でドームスリットが閉まるように改修された。その一方で、改修前はスリットの上下左右にある 4 台のモーターは直接商用電源につながって駆動していたが、改修によってそれぞれのモーターをコントロールする合計 4 台のインバータによる制御に変更された。その際に、従来の制御回路を経由しなくなったことで、ドームスリット開閉に関するロジックも変更された。さらに、駆動開始時にパワー不足が生じていると考えられ、過負荷でインバータが止まる場合や、ドームスリットを開閉する度に、ドームスリット間隔が僅かに ($\lesssim 1$ cm) が広がるという問題が発生していた。その後、インバータのパラメータを調整することで、エラーで止まるという不測の事態は起きなくなったが、依然として隙間が広がる問題は残っていた。これを解決するため次のような変更を考えている。ドームスリットの上下左右の端がリミットスイッチに当たることで、ドームスリットの正しい停止位置が把握出来るようになっていく。現在は、特定の 1 つのリミットスイッチが入ると 4 台のモーターが同時に停止する。そこで、リミットスイッチが入るタイミングでそれに対応するモーターが独立に停止するようにロジックを変更する。初めに、リミットスイッチが建設時のままであり、以前厳冬期に不具合が発生したことがあったため、リミットスイッチの交換と開閉時のドームスリットとの接触具合を確認した。次に、昨年から引き続き制御回路の調査を進めた。建設時に作られた部分に度重なる変更が加えられていることは分かっていたが、本来の機能から逸脱した使い方をしていた機器も存在していることも分かった。そのため、今まで考えていた変更予定のロジックを追加修正、用いる機器の再選定と改修方法と手順をまとめた。本年は、機器の逸脱した使い方を修正、UPS200V と商用 200V を基準としたロジックが混在する状況であったため、UPS200V をスリット制御、商用 200V をその他の制御に分離、UPS 設置時に機能停止した機器や回路をロジックから切り離し、かつそれらの機器や回路の取り外しをおこなった。

- ドーム回転不具合対処

ドームを回転させるために 8 台のモーターが設置されている。観測時にその 1 台のモーターのサーマルリレーが落ちる現象が短期間に度々発生した。そのため、モーター部分に何らかの過負荷がかかっていると考えられ、対応するモーター周りの確認をおこなった。すると問題のモーターに付随するベベルギアに破損があることが分かった。予備のギアと交換したが、サーマルリレーが落ちる状況は変わらなかった。そこ

でモーターを取り外し、ギアヘッド部分を確認したところ、ギアヘッドに経年疲労で発生したと見られる亀裂が入っていることが分かった。現在、問題のモーターを外し、モーターが1台少ない7台で運用を継続している。建設時に設置されたモーターやギアヘッドがそのまま使われ、形式が古すぎるため、修理や交換はほとんど不可能であることが分かった。そのため、他のモーターなどを含め8台をすべて同時に交換する必要がある、そのタイミングを待つことになる。

- 実習用フィルタ

銀河学校開催前の予備データ取得のため、実習用フィルタアームを動かしたが、光軸方向に定位置から少しずれた位置で停止、ソフトウェアでエラーが表示され、フィルタアームの動作が出来なくなってしまう。調査したところ、本来の位置と判断するリミットスイッチが正常に機能せず、さらに先にある安全対策用のリミットスイッチが動作したためと分かった。フィルタアームを手動で動かすことで、コントロール可能となり、必要なフィルタを別のアームに交換することで使用可能になった。建設時のリミットスイッチがそのまま使われており、問題を起こしたリミットスイッチを含め、リミットスイッチ内部のバネなどが経年劣化していることが考えられるため、順次交換予定である。

- その他

2023年度に行ったその他のメンテナンスは以下の通りである。

- － ドームスリット間の隙間確認と手動による増し締め
- － RA, DEC 軸ギアの定期的なグリスアップ
- － フラット位置確認と修正
- － シュミット補正板清掃
- － ドームの信号用トロリー点検
- － ドーム回転用レールへのグリスアップ
- － 乾燥空気供給用のコンプレッサーメンテ
- － ドーム回転モーターのオイル交換 (3台)
- － ミラーカバーモーターのギアヘッド交換

3.2.3.2 30cm 望遠鏡

夜天光観測棟横にある 30cm 望遠鏡 (K.3T : Kiso 0.3m Telescope) は高橋製作所製の Dall-Kirkham 式の望遠鏡で、架台は SHOWA 機械の E25 を使用している。2012 年導入以来使用してきた制御系は、2020-2021 年度に赤道儀制御機構 (ATLASTER + ステラナビゲータ) の刷新、温度制御ファン付き主鏡セルや汎用の通信・電源ユニットの設置など望遠鏡の機能追加、駆動ドライバの更新を行い、より安定した高速駆動を可能とした。またより高度な天文学実習に対応するための CMOS センサーの導入をはじめ、効率的な運用を行うため望遠鏡駆動に同期したドームの回転制御、雨を検知して自動にスリットを閉じるための雨滴センサーの導入なども行った。さらに望遠鏡およびドームスリット監視用のカメラを設置し、遠隔制御も行うことができるようなシステムになっている。また、整備や観測・観望準備や実際の運用時に望遠鏡各所にアクセスしやすいように専用脚立を導入し、利便性が向上した。2023 年度は 30cm 望遠鏡のさらなる利用拡大のために、利用マニュアルの更新をはじめ、直角プリズムや接眼部でフォーカス調整を行うことができるようなフォーカサーを導入した。これにより眼視観望の際の利便性が向上した。

30cm 望遠鏡に実際の利用としては、ブルックス・ポン彗星などの天体イベントの撮影の他、木曾観測所サポーターズクラブでの利用、一般向けの観望会の開催、先端物理・数学プログラム (FoPM) での実習、持ち込み装置による金星大気の観測など、利用形態が広がっている。

3.2.4 計算機の保守, 整備

本年度は観測所への新規計算機の受け入れは行われなかった。既存計算機に対して設備の拡充・障害対応を実施した。

- Tomo-e Gozen アーカイブシステム
tomoearv-node3 でハードディスク障害が発生し、ハードディスクを交換した (6 月 19 日)。
- Tomo-e Gozen データ取得用計算機
UPS のバッテリーが寿命を迎えたため交換した (8 月 22 日)。tomoedaq-slave0 でメモリエラーが発生したため、該当のメモリを交換した (12 月 11 日)。
- Tomo-e Gozen 一時保存用バッファ計算機
ハードディスク障害がtomoebuf-node3で発生し、ハードディスクを交換した (9 月 4 日)。tomoebuf-node2 で電源関係のエラーが発生したため、電源モジュール 2 台を交換した (2 月 6 日)。
- 突発天体サーベイ用計算機
ラック#3 の UPS が故障したため交換した (5 月 1 日)。lustre でハードディスク障害が発生し、ハードディスクを交換した (6 月 15 日)。
gwdata2 のストレージ容量を確保するために 4 台の 8 TB HDD を 18 TB HDD に交換し RAID10 で組み直した (1 月)。
- 国立天文台アーカイブシステム SMOKA 計算機
panda3 の起動時にエラーが出て OS が起動しなくなったため、panda2 への切り替えを行うとともに、SMOKA から代替機を送ってもらって交換した (3 月)。panda1 のマザーボードが故障して起動しなくなったため、RAW データ転送をネットワーク経由に切り替えるとともに、SMOKA から代替機を送ってもらって交換した (3 月)。

3.2.5 ネットワーク・通信機器の保守, 整備

- セキュリティ対策
VPN サーバーのアップデート, 10 Gbps 外部ネットワークスイッチのファームウェアアップデートを実施した (4 月, 5 月, 12 月)。
- 接続協定の更新
SINET 接続に伴い、木曽広域連合との間の「木曽地域高度情報化網接続協定」の内容を見直し、4 月 1 日付で更新した。
- 10 Gbps 所内ネットワークの SINET 接続
所内での Tomo-e Gozen 観測データ転送用に運用していた 10 Gbps のプライベートネットワークを 7 月 26 日に SINET へ接続した。各計算機の IP アドレスをクラス C のプライベート IP アドレスから SINET へ接続するグローバル IP アドレスへ変更し、各計算機が 10 Gbps の速度で観測所外と通信できるようになった。
- SINET 速度改善
2023 年 3 月に木曽観測所から SINET6 松本ノードまで 10 Gbps の専用線が開通したが、木曽からの上り方向で期待した速度が出なかったため原因調査・改善活動を行った。

速度の日変化や時間帯依存を調べるため、木曽観測所にある計算機と本郷キャンパスに設置した計算機の間で iperf3 による速度計測を 10 分おきに実施して速度のモニターを行った。当初は 数 100 Mbps 程度の速度しか出ず 4 月下旬には 10 Mbps 以下まで低下したが、その後徐々に 1 Gbps 前後まで回復し、5 月 11 日から突然 5 Gbps の速度（1 コネクションでの測定）が出るようになった。5 月上旬には昼間に速度が改善する傾向が見られたが、5 月 11 日以降は時間依存は見られなくなった。その後暫くは数 Gbps の速度が出る状況が続いていたが、6 月 26 日に再び 100 Mbps 程度まで速度が低下した。その後、7 月中旬から 1 Gbps 程度まで回復、9 月にまた 100 Mbps 程度まで低下と、数週間おきに変動を繰り返す状況が続いた。速度変化のタイミングにおいてネットワーク設定の変更や工事が行われたこともなく、原因は不明であった。

速度モニターと並行して、新しく整備した木曽福島～松本間のネットワーク設備を中心に調査・改善活動が行われた。5 月 9 日に SINET 松本 DC にて光ファイバの端面研磨を実施し、6 月 2 日には NTT DF の両端の接続ポイントで端面研磨を実施した。それぞれの作業後にはパケットロスの減少や受光レベルの改善が少し見られたものの、大幅な改善には至らなかった。6 月 30 日には再び SINET 松本 DC にて光ファイバの端面研磨を行うとともに OTDR 計測を実施したが、原因解明には至らなかった。

7 月 26 日に所内計算機の IP アドレス変更を行って SINET 経由の接続に切り替えた後は、各計算機のネットワーク設定やスイッチ設定の見直しも行った。理学系情報システムチームや情報基盤センターの方々にも相談して助言をいただき、速度が低下していた 9 月に SINET へ問い合わせたところ、松本 DC のスイッチで CRC エラーが発生していることがわかった。これを受けて 10 月 20 日に松本 DC と塩尻の拠点間で負荷試験を行い、松本 DC に 3 月に設置した光モジュールを交換したところ、速度が大幅に改善した。これ以降は上り方向も安定して 5 Gbps の速度が出るようになり、安定した運用ができるようになった。

3.2.6 データアーカイブ

3.2.6.1 SMOKA (Subaru Mitaka Okayama Kiso Archive)

- KWFC 以前の観測データ

木曽観測所で観測された KWFC, 2KCCD, 1KCCD 及び KONIC の観測データはアーカイブされ、公開規則に則り広く一般に公開されている。2023 年度内に SMOKA を介して木曽観測所関連のデータ利用申請は延べ 17 件あり、1KCCD のデータは 0 フレーム、2KCCD のデータは 374 フレーム、KWFC のデータは 275,102 フレームの利用があった。

- 気象データ

2012 年以降の気象データと全天カメラの画像が SMOKA でアーカイブされている。データはカレンダー検索の結果からリンクされ、観測データの取得時の気象状況が確認できるようになっている。また、全天カメラの画像は 2020 年 10 月より SMOKA の全天モニタ画像公開システム (OZSKYMON) で公開されている。UT の区切りで 1 日 1 回データを転送し、前日分までのデータを公開している。なお、2023 年 7 月は全天カメラの故障のため 1 か月にわたってデータが欠損している。

- 写真乾板デジタルデータ

木曽観測所に保存されている写真乾板のデジタルデータは、2019 年 9 月より写真乾板デジタルアーカイブ「SMOKA Photographic Plate Archive」で公開されている。公開データは、写真乾板をスキャンした TIFF データに加えて FITS ファイルも用意されている。TIFF データから FITS ファイルへの変換は SMOKA スタッフにより行われ、観測記録から収集した観測日時や座標などの情報がヘッダに書きこまれ

ている他, WCS も加えられ, 利便性の高いデータとなっている。2021 年 7 月からは 132 枚のカラーフィルムのデジタルデータも公開している。データはフィルムをスキャンしたネガ画像のままで公開し, 利用者にカラー画像に変換してもらう方式をとっている。

- Tomo-e Gozen 観測データ

Tomo-e Gozen で取得した観測データの一次処理済みの FITS データを 2021 年 11 月 1 日より SMOKA で公開している。公開対象は観測日が 2019 年 10 月 1 日（定常運用開始）から 2020 年 3 月 31 までの「Supernova Survey」, 「All-Sky Survey」, 「High-Cadence Survey」の 3 プロジェクトの解析済みデータのうち, 観測後 2 年が経過したデータである。2020 年 4 月以降のデータはデータ占有期間を 3 年としたため, 2022 年度は新たなデータの公開がなかったが, 2023 年 4 月 1 日から新たなデータ公開が再開された。3 プロジェクト以外のデータについても原則として 3 年後のデータ公開を行うこととし, Tomo-e Gozen 側で指定したブロックリストに掲載のあるデータを除いて順次公開を進めている。

Tomo-e Gozen アーカイブシステムに保存された解析済みデータは, 国立天文台に設置された SMOKA の計算機へ SINET を経由して転送している。ネットワークが安定したため, 2024 年 1 月からは観測終了後の昼の時間帯に日次転送する方式に切り替えた。

2022 年 3 月からは SMOKA への RAW データの転送も行っている。RAW データは 1 晩あたり最大 30TB に及ぶため全てを保存することは現実的ではなく, 一部のデータのみ転送している。転送するデータは下記の内容で, 1 日あたり約 1.8 TB である。通常は 5.5 日で捨てられる RAW データを保存しておき, 解析済みデータの検証を可能とすることを目的としている。

1. 最後に撮影した DARK (2Hz, 2000 × 1128 サイズのもの)
2. 最後に撮影した FLAT
3. 上記 DARK・FLAT より後に撮影した, プロジェクト名が「All-Sky Survey」または「High-Cadence Survey」であるオブジェクトデータ 100 exposure 分

データは Tomo-e Gozen 一時保存用バッファ計算機から観測所内に設置された SMOKA の磁気ディスクユニットへ観測時間外に転送し, 約 2 か月ごとに書き込み済みのハードディスクを SMOKA へ郵送していたが, 2024 年 3 月からは SINET を経由して国立天文台の SMOKA 計算機へ直接データ転送を行う方式へ切り替えた。RAW データの公開についても, 観測後 3 年での公開を目指して準備を進めている。

3.2.6.2 Tomo-e Gozen Public Archive

Tomo-e Gozen で取得した観測データの一次処理済みの FITS データは, Tomo-e Gozen のウェブページからも公開を行っている。データは取得後 6 か月で公開するが, プロジェクトメンバが研究のために公開したくないデータについてはブロックリストに登録し, 公開しないようになっている。

3.2.7 所員の研究活動

1. 近赤外線狭帯域フィルター撮像観測による大質量星クラスター形成・進化の観測的研究

高橋英則 (東京大学・木曽観測所); 奥村真一郎 (日本スペースガード協会)

Ib/c 型超新星の母天体である Wolf-Rayet 星 (WR) の他, LBV, YHG, RSG などを含む大質量星クラスターの形成・進化過程および年齢, さらにその空間分布や星間物質への寄与などの解明を目的とした研究を行っている。観測データは近赤外線で波長連続的なデータ取得が可能なチリ・チャナントル山頂の miniTAO/近赤外線カメラ ANIR に搭載された, 大質量星の検出に有効な 2 枚の狭帯域フィルター

(N187=1.875 μ m, N207=2.07 μ m) と Ks バンドフィルターで得られたものである。N187 は通常地上からは検出が非常に困難な電離水素 Pa α 輝線や He 輝線が観測でき、WR・LBV などの検出に有効である。N207 は WC 型 WR 星に特徴的な [CIV] 輝線を効率的に検出できる。このフィルターセットから得られる 2 色図は、輝線星の検出や減光量の見積もりのみでなく、減光の大きな領域での減光量を補正した Ks 等級とカラー情報を精度良く与えるため、若い天体も含めた大質量星の形成から終末に至るあらゆる進化段階の天体の検出に有効である。これまでに、天の川銀河とは金属量が異なる LMC について詳細解析を進め、2 色図が領域によって異なる特徴を示すことを明らかにした。観測領域は LMC の中でも大質量星が多く存在し、星形成が活発な 30Doradus 周辺の R136 から分子雲が卓越している N160–N158 にかけての複数領域である。特に R136 領域は 150 太陽質量を超える超巨大質量星が存在するとされ、星の誕生や進化過程に銀河系内クラスターと違いがあると考えられる。2 色図からは多くの大質量星が同定された。2 色図の領域ごとの分布の違いはクラスターの IMF や年齢に依存する他、周辺環境や金属量にも関係する可能性がある。他波長での観測結果も併せて考えると、R136 領域から N160–N158 領域に向けて星形成が空間・時間的に連続的に変化していることが示唆される。他の観測結果との比較を行い、我々の観測結果の整合性の確認およびこの領域の星形成の進化シナリオの構築中である。

2. 金星紫外アルベドと未同定物質の吸収スペクトルの時空間変動観測

高橋英則, 今井正亮 (東京大学); 田口真, 江口倫太郎 (立教大)

金星の ~ 365 nm を中心とする紫外波長域でのアルベドは 10 年スケールで約 40 % も変動し、金星上層大気の加熱率が変化することで大気大循環に大きな影響を与えることが示唆されている。しかし、この紫外線吸収物質は未同定であり、紫外線吸収スペクトルの観測例も極めて限定的である。現在、金星の紫外分光観測を実現するために、地球成層圏からの金星観測を実現する FUJIN-2 気球望遠鏡が開発が進んでいるが、FUJIN-2 に搭載予定のファイバー分光器 (波長範囲 200 – 550 nm, ~ 0.5 nm 分解能)、可視 CCD、ビームスプリッターで構成される分光・撮像ユニットの性能評価と金星紫外分光撮像観測を行うために、東京大学木曾観測所 30cm 望遠鏡を利用した金星観測を 2023/10/30-11/3 の期間実施した。得られた分光データは現在解析中であり、今後赤道域と中緯度の間でアルベドのコントラストとその時間変化を調べ、惑星波による移流の効果に対応して紫外吸収スペクトル形状がどのように変化するかを調査するとともに、この観測を地球成層圏で実施することでどのような分光的な改善が見込まれるかを評価する。

3. 近赤外線波長走査型冷却狭帯域フィルターの開発

高橋英則 (東京大学・木曾観測所); 長野県飯田市共同受注・開発グループ (NESUC-IIDA)

本申請の目的は、赤外線観測用波長走査型フィルター (チューナブルフィルター) を実運用装置として完成させること、および大口径望遠鏡の観測装置の前置光学モジュールとして搭載し、大規模星形成領域の物理状態を銀外系内の星団レベルから近傍・遠方銀河までの広い空間ダイナミックレンジを、近赤外線波長全域に渡って連続的に高空間分解能の観測を行い、星形成活動の物理過程を調査、大質量星や銀河の進化を解明することである。本科研費の初年度は前半に、2 枚の干渉光学素子の平行度を保持しつつ、微小距離の走査するための圧電素子 (ピエゾ素子) や光学素子のギャップ間の測定、光学素子間隔調整フィードバックのための静電容量センサー等を組みあわせた試作モデルの組み上げを行い、さらに測距と駆動をクローズドループで制御し、常にエタロンの間隔・平行性を維持しながら波長走査を行う制御系の設計を進めた。年度後半にはまずアクチュエータと測距センサーを組み合わせた 1 軸駆動評価試験を行い、想定される駆動距離や微小駆動制御に必要な電圧値と実際の変位距離の相関を測定した。変位距離の測定にはナノレベルでの測定が可能なレーザー変位計を用いた。その結果、駆動最小ビットで 25nm の制御が可能であることがわかった。これは分光性能を左右する 2 枚の光学素子の平行性を維持できる値を満たしている。一方、波長走査のための光学素子の移動に関して、必要な距離を駆動するためのアクチュエータ駆動電圧と実測距離との関係を測定したところ、想定よりも短い距離の変位に留まっている。これは物理的

な負荷があるため、印加電圧を制御することで対応が可能である。次年度には、試作モデルを用いた3軸での制御試験を計画しており、今年度得られた結果を基に最終的な制御系パラメータの調整を行っている。さらに真空・冷却下での試験を行う予定で、そのためのクライオスタットの準備も進めた。

4. せいめい望遠鏡/TriCCSによる repeating Fast Radio Burst の可視光対応天体探査

新納悠, 土居守, 酒向重行, 松林和也 (東京大学天文学教育研究センター); 太田耕司, 前田啓一, 川端美穂, 野上大作 (京都大学); Jian Jiang (中国科学技術大学); 富永望, 小久保充 (国立天文台); 新沼浩太郎 (山口大学); 橋本哲也 (National Tsing Hua University); Di Li, Chao-Wei Tsai, Pei Wang, Chenhui Niu (National Astronomical Observatories of China, China);

Fast Radio Burst (以下FRB) は1 GHz 前後の周波数帯の電波で観測される数ミリ秒間という非常に短時間の突発現象で銀河系外に起源を持つと考えられている。FRBの発生源や放射のメカニズムは未だ解明されていない。一部のFRBは繰り返しバーストを発生させるrepeating FRBであることが知られているが、発見後の長時間の監視にもかかわらず一切の反復性を見せないFRB (non-repeating FRB) もあり、それらのFRBが同一種族の天体なのかどうかは不明である。様々な観測波長で対応天体を発見することは正体のわからない突発天体の起源を突き止める重要な手がかりである。

京都大学岡山天文台のせいめい望遠鏡に搭載されたTriCCSは木曾観測所のTomo-e Gozenと同様にCMOSセンサーを用いた可視光高速観測装置であり、その開発にはTomo-e Gozenの開発メンバーも参加している。TriCCSはTomo-e Gozenほどの広い視野は持たないものの、せいめい望遠鏡の3.8m主鏡の集光能力による高い感度とTomo-e Gozenを上回る98 fpsもの高い時間分解能、そして3バンドの同時観測能力を持つ。TriCCSではTomo-e Gozenで実施されているnon-repeating FRBの対応天体探査 (§3.2.2.6) の様に広大な視野を必要とする観測は難しいが、あらかじめ座標のわかっているrepeating FRBの観測など広い視野を必要としない高速観測においてはTriCCSの高い感度と時間分解能を活かすことができる。Repeating FRBからの可視光放射を捉えるため、山口大学の山口32m電波望遠鏡や中国の500メートル開口球面電波望遠鏡 (FAST) の観測チームと協力関係を築いて電波-可視同時観測を行い、TriCCSによって取得される大容量の98 fps高速観測データを効率的に処理するためのソフトウェア開発を進めた。

3.2.8 論文および出版物

以下に木曾所員及び共同利用研究者が本年度に発表した研究論文、報告、著述、紹介記事等を載せる。編集にあたってはできるだけ広く共同利用研究者に呼びかけて資料を送っていただいたが、若干の遺漏はあることと思う。昨年度の年次報告で、submitted, in-pressとなっていたもので、巻号がその後決定したものについては再掲した。

3.2.8.1 欧文論文

1. Beniyama, J.; Sekiguchi, T.; Kuroda, D.; Arai, T.; Ishibashi, K.; Ishiguro, M.; Yoshida, F.; Senshu, H.; Ootsubo, T.; Sako, S.; Ohsawa, R.; Takita, S.; Geem, J.; Bach, Y. P.
“Simultaneous multicolor photometry of the DESTINY+ target asteroid (3200) Phaethon”
Publications of the Astronomical Society of Japan, Volume 75, Issue 2, pp.297-310 (04/2023)
2. Hiramatsu, D.; Berger, E.; Metzger, B. D.; Gomez, S.; Bieryla, A.; Arcavi, I.; Howell, D. A.; Mckinven, R.; Tominaga, N.
“Limits on Simultaneous and Delayed Optical Emission from Well-localized Fast Radio Bursts”

The Astrophysical Journal Letters, Volume 947, Issue 2, id.L28, 17 pp. (04/2023)

3. Sarugaku, Y.; Ikeda, Y.; Kobayashi, N.; Kondo, S.; Otsubo, S.; Yasui, C.; Kawakita, H.
 “Wavefront accuracy of mechanically assembled all-cordierite reflective optical system for cryogenic applications”
Applied Optics, vol. 62, issue 11, p. 2827 (04/2023)

4. Ohgami, T.; Becerra González, J.; Tominaga, N.; Morokuma, T.; Utsumi, Y.; Niino, Y.; Tanaka, M.; Banerjee, S.; Poidevin, F.; Acosta-Pulido, J. A.; Pérez-Fournon, I.; Muñoz-Darias, T.; Akitaya, H.; Yanagisawa, K.; Sasada, M.; Yoshida, M.; Simunovic, M.; Ohsawa, R.; Tanaka, I.; Terai, T.; Takagi, Y.; J-GEM Collaboration
 “Follow-up Survey for the Binary Black Hole Merger GW200224_222234 Using Subaru/HSC and GTC/OSIRIS”
The Astrophysical Journal, Volume 947, Issue 1, id.9, 17 pp. (04/2023)

5. Tachibana, K.; Miyata, T.; Kamizuka, T.; Ohsawa, R.; Takita, S.; Nakagawa, A.; Ita, Y.; Uchiyama, M.
 “Investigation of mid-infrared long-term variability of dusty AGB stars using multi-epoch scan data of AKARI and WISE”
Publications of the Astronomical Society of Japan, Volume 75, Issue 3, pp.489-498 (06/2023)

6. Thanapol Phungtua-Eng, Yoshitaka Yamamoto and Shigeyuki Sako
 “Elastic Data Binning for Transient Pattern Analysis in Time-Domain Astrophysics”
 SAC '23: Proceedings of the 38th ACM/SIGAPP Symposium on Applied Computing, Pages 342 – 349. (06/2023)

7. Thanapol Phungtua-Eng, Yoshitaka Yamamoto and Shigeyuki Sako
 “Elastic Data Binning: Time-Series Sketching for Time-Domain Astrophysics Analysis”
 ACM SIGAPP Applied Computing Review, Volume 23, Issue 2, pp 5 – 22 (07/2023)

8. Naruse, A. C.; Kamizuka, T.; Miyata, T.; Sako, S.; Ohsawa, R.; Asano, K.; Nishimura, A.; Sakon, I.; Tachibana, K.; Iida, H.
 “Development of a flat calibration unit for accurate flat fielding in the mid-infrared region”
Journal of Astronomical Telescopes, Instruments, and Systems, Volume 9, id. 038004 (2023). (07/2023)

9. Arimoto, M.; Asada, H.; Cherry, M. L.; Fujii, M. S.; Fukazawa, Y.; Harada, A.; Hayama, K.; Hosokawa, T.; Ioka, K.; Itoh, Y.; Kanda, N.; Kawabata, K. S.; Kawaguchi, K.; Kawai, N.; Kobayashi, T.; Kohri, K.; Koshio, Y.; Kotake, K.; Kumamoto, J.; Machida, M. N.; Matsufuru, H.; Mihara, T.; Mori, M.; Morokuma, T.; Mukohyama, S.; Nakano, H.; Narikawa, T.; Negoro, H.; Nishizawa, A.; Ohgami, T.; Omukai, K.; Sakamoto, T.; Sako, S.; Sasada, M.; Sekiguchi, Y.; Serino, M.; Soda, J.; Sugita, S.; Sumiyoshi, K.; Susa, H.; Suyama, T.; Takahashi, H.; Takahashi, K.; Takiwaki, T.; Tanaka, T.; Tanaka,

- M.; Tanikawa, A.; Tominaga, N.; Uchikata, N.; Utsumi, Y.; Vagins, M. R.; Yamada, K.; Yoshida, M.
“Gravitational wave physics and astronomy in the nascent era ”
Progress of Theoretical and Experimental Physics, Volume 2023, Issue 10, id.10A103, 83 pp. (10/2023)
10. Beniyama, J.; Sako, S.; Ohtsuka, K.; Sekiguchi, T.; Ishiguro, M.; Kuroda, D.; Urakawa, S.; Yoshida, F.; Takumi, A.; Maeda, N.; Takahashi, J.; Takagi, S.; Saito, H.; Nakaoka, T.; Saito, T.; Ohshima, T.; Imazawa, R.; Kagitani, M.; Takita, S.
“Photometry and Polarimetry of 2010 XC15: Observational Confirmation of E-type Near-Earth Asteroid Pair”
The Astrophysical Journal, Volume 955, Issue 2, id.143, 16 pp. (10/2023)
11. Beniyama, J.; Ohsawa, R.; Avdellidou, C.; Sako, S.; Takita, S.; Ishiguro, M.; Sekiguchi, T.; Usui, F.; Kinoshita, S. W.; Lee, K.; Takumi, A.; Ferrais, M.; Jehin, E.
“Multicolor Photometry of Tiny Near-Earth Asteroid 2015 RN35 across a Wide Range of Phase Angles: Possible Mission-accessible A-type Asteroid ”
The Astronomical Journal, Volume 166, Issue 6, id.229, 13 pp. (12/2023)
12. Oshikiri, K.; Tanaka, M.; Tominaga, N.; Morokuma, T.; Takahashi, I.; Tampo, Y.; Hamidani, H.; Arima, N.; Arimatsu, K.; Kasuga, T.; Kobayashi, N.; Kondo, S.; Mori, Y.; Niino, Y.; Ohsawa, R.; Okumura, S.; Sako, S.; Takahashi, H.
“A search for extragalactic fast optical transients in the Tomo-e Gozen high-cadence survey”
Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, Volume 527, Issue 1, pp.334-345 (01/2024)
13. Mizumoto, M.; Sameshima, H.; Kobayashi, N.; Matsunaga, N.; Kondo, S.; Hamano, S.; Yasui, C.; Fukue, K.; Arai, A.; Kawakita, H.; Otsubo, S.; Bono, G.; Saviane, I.
“Shock Excitation in Narrow-line Regions Powered by AGN Outflows ”
The Astrophysical Journal, Volume 960, Issue 1, id.41, 15 pp. (01/2024)
14. Hamano, S.; Ikeda, Y.; Otsubo, S.; Katoh, H.; Fukue, K.; Matsunaga, N.; Taniguchi, D.; Kawakita, H.; Takenaka, K.; Kondo, S.; Sameshima, H.
“WARP: The Data Reduction Pipeline for the WINERED Spectrograph ”
Publications of the Astronomical Society of the Pacific, Volume 136, Issue 1, id.014504, 17 pp. (01/2024)
15. Kushibiki, K.; Ozaki, S.; Takeda, M.; Hosobata, T.; Yamagata, Y.; Morita, S.; Tsuzuki, T.; Nakagawa, K.; Saiki, T.; Ohtake, Y.; Mitsui, K.; Okita, H.; Kitagawa, Y.; Kono, Y.; Motohara, K.; Takahashi, H.; Konishi, M.; Kato, N.; Koyama, S.; Chen, N.
“Development of a near-infrared wide-field integral field unit by ultra-precision diamond cutting”
Journal of Astronomical Telescopes, Instruments, and Systems, Volume 10, id. 015004 (01/2024)
16. Murai, Y.; Tanaka, M.; Kawabata, M.; Taguchi, K.; Teja, R. S.; Nakaoka, T.; Maeda, K.; Kawabata, K. S.; Nagao, T.; Moriya, T. J.; Sahu, D. K.; Anupama, G. C.; Tominaga, N.; Morokuma, T.; Imazawa,

R.; Inutsuka, S.; Isogai, K.; Kasuga, T.; Kobayashi, N.; Kondo, S.; Maehara, H.; Mori, Y.; Niino, Y.; Ogawa, M.; Ohsawa, R.; Okumura, S.; Saito, S.; Sako, S.; Takahashi, H.; Uno, K.; Yamanaka, M.

“Intermediate-luminosity Type IIP SN 2021gmj: a low-energy explosion with signatures of circumstellar material ”

Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, Volume 528, Issue 3, pp.4209-4227 (03/2024)

17. Chen, N.; Motohara, K.; Spitler, L.; Nakajima, K.; Momose, R.; Kodama, T.; Konishi, M.; Takahashi, H.; Kushibiki, K.; Kono, Y.; Terao, Y.

“Multiple Emission Lines of H α Emitters at $z \sim 2.3$ from the Broad- and Medium-band Photometry in the ZFOURGE Survey”

The Astrophysical Journal, Volume 964, Issue 1, id.5, 19 pp. (03/2024)

3.2.8.2 国際会議集録等

1. De Simone, B.; Dainotti, M.; Fathima, R.; Levine, D.; Kido, D.; Gangula, S. B.; Li, L.; Saha, N.; Das, U.; Caligula, A. C.; Gendre, B.; Kalinowski, K.; Fraija, N.; Becerra, R.; Watson, A.; Niino, Y.; Oates, S.; Butler, N.; González, J.; Kutyrev, A. S.; Lee, W. H.; Prochaska, X.; Ramirez-Ruiz, E.; Richer, M.; Cenko, B.; Zola, S.; Pozanenko, A.; Volnova, A.; Svinkin, D.; Castro-Tirado, A.; Hu, Y.; Orange, B.; Siegel, M. H.; Misra, K.; Behrozi, P.; Tominaga, N.; Moriya, T.; Lambiase, G.

“The most complete catalog of optical Gamma-ray Bursts with measured redshift”

242nd Meeting of the American Astronomical Society, id. 115.02. Bulletin of the American Astronomical Society, Vol. 55, No. 6 e-id 2023n6i115p02 (09/2023)

3.2.8.3 天文電報等

1. Leonini, S.; Conti, M.; Rosi, P.; Tinjaca Ramirez, L. M.; Dainotti, M. G.; Niino, Y.; Kalinowski, K.; De Simone, B.

“GRB 230414B: Montarrenti Observatory late time optical afterglow detection ”

GRB Coordinates Network, Circular Service, No. 33634 (04/2023)

2. Quadri, U.; Strabla, L.; Dainotti, M. G.; Niino, Y.; Kalinowski, K.; De Simone, B.

“GRB 230427A: Bassano Bresciano Observatory upper limit ”

GRB Coordinates Network, Circular Service, No. 33698 (04/2023)

3. Ruocco, N.; Dainotti, M. G.; Niino, Y.; Kalinowski, K.; De Simone, B.

“GRB 230427A: Osservatorio Astronomico Nastro verde upper limit ”

GRB Coordinates Network, Circular Service, No. 33705 (04/2023)

4. Jian, M.; Taniguchi, D.; Matsunaga, N.; Kobayashi, N.; Ikeda, Y.; Yasui, C.; Kondo, S.; Sameshima, H.; Hamano, S.; Fukue, K.; Arai, A.; Otsubo, S.; Kawakita, H.

“VizieR Online Data Catalog: Effect of surface gravity on line-depth ratios (Jian+, 2020) ”

VizieR On-line Data Catalog: J/MNRAS/494/1724. Originally published in: 2020MNRAS.494.1724J (05/2023)

5. Jiang, J. -A.; Maeda, K.; Kawabata, M. ; Doi, M.; Shigeyama, T.; Tanaka, M.; Tominaga, N.; Nomoto, K.; Niino, Y.; Sako, S.; Ohsawa, R.; Schramm, M.; Yamanaka, M.; Kobayashi, N.; Takahashi, H.; Nakaoka, T.; Kawabata, K. S.; Isogai, K.; Aoki, T.; Kondo, S.; Mori, Y.; Arimatsu, K.; Kasuga, T.; Okumura, S. -I.; Urakawa, S.; Reichart, D. E.; Taguchi, K.; Arima, N.; Beniyama, J.; Uno, K.; Hamada, T.

“VizieR Online Data Catalog: Follow-up phot. & sp. of SNIa 2020hvf (Jiang+, 2021)”

VizieR On-line Data Catalog: J/ApJ/923/L8. Originally published in: 2021ApJ...923L...8J (06/2023)

6. Ruocco, N.; Dainotti, M. G.; Niino, Y.; Kalinowski, K.; De Simone, B.

“GRB 230618A: Osservatorio Astronomico Nastro verde upper limit ”

GRB Coordinates Network, Circular Service, No. 34024 (06/2023)

7. Quadri, U.; Strabla, L.; Dainotti, M. G.; Niino, Y.; Kalinkowski, K.; De Simone, B.

“GRB 230723B: Bassano Bresciano Observatory upper limit ”

GRB Coordinates Network, Circular Service, No. 34250 (07/2023)

8. Ruocco, N.; Dainotti, M. G.; Niino, Y.; Kalinowski, K.; De Simone, B.

“GRB 230723B: Osservatorio Astronomico Nastro Verde upper limit ”

GRB Coordinates Network, Circular Service, No. 34253 (07/2023)

9. Pavoni, E.; Moretti, L.; Dainotti, M. G.; Niino, Y.; Kalinowski, K.; De Simone, B.

“GRB 230723B: Leavitt Observatory upper limit ”

GRB Coordinates Network, Circular Service, No. 34254 (07/2023)

10. Lopresti, C.; Dainotti, M. G.; Niino, Y.; Kalinowski, K.; De Simone, B.

“GRB 230723B: GAD Observatory, La Spezia, Italy upper limit ”

GRB Coordinates Network, Circular Service, No. 34259 (07/2023)

11. Quadri, U.; Strabla, L.; Dainotti, M. G.; Niino, Y.; Kalinowski, K.; De Simone, B.

“GRB 230805B: Bassano Bresciano observatory upper limit ”

GRB Coordinates Network, Circular Service, No. 34349 (08/2023)

12. Scarfi, G.; Dainotti, M. G.; Niino, Y.; Kalinowski, K.; De Simone, B.

“GRB 230805B: Iota Scorpis Observatory, La Spezia, Italy upper limit ”

GRB Coordinates Network, Circular Service, No. 34377 (08/2023)

13. Ruocco, N.; Dainotti, M. G.; Niino, Y.; Kalinowski, K.; De Simone, B.
“GRB 230812B: Osservatorio Astronomico ”Nastro Verde” optical observation ”
GRB Coordinates Network, Circular Service, No. 34415 (08/2023)

14. Quadri, U.; Strabla, L.; Dainotti, M. G.; Niino, Y.; Kalinowski, K.; De Simone, B.
“GRB 230812B: Bassano Bresciano Observatory optical observations ”
GRB Coordinates Network, Circular Service, No. 34417 (08/2023)

15. Moretti, L.; Pavoni, E.; Dainotti, M. G.; Niino, Y.; Kalinowski, K.; De Simone, B.
“GRB 230812B: Leavitt Observatory optical observations ”
GRB Coordinates Network, Circular Service, No. 34419 (08/2023)

16. Quadri, U.; Strabla, L.; Dainotti, M. G.; Niino, Y.; Kalinowski, K.; De Simone, B.
“GRB 230812B: Further Bassano Bresciano Observatory optical observations ”
GRB Coordinates Network, Circular Service, No. 34430 (08/2023)

17. Scarfi, G.; Dainotti, M. G.; Niino, Y.; Kalinowski, K.; De Simone, B.
“GRB 230812B: Iota Scorpil Observatory, La Spezia, Italy ”
GRB Coordinates Network, Circular Service, No. 34436 (08/2023)

18. Lopresti, C.; Dainotti, M. G.; Niino, Y.; Kalinowski, K.; De Simone, B.
“GRB 230812B: GAD Observatory optical observations (upper limit) ”
GRB Coordinates Network, Circular Service, No. 34445 (08/2023)

19. Ruocco, N.; Dainotti, M. G.; Niino, Y.; Kalinowski, K.; De Simone, B.
“GRB 230816A: Osservatorio Astronomico ”Nastro Verde” optical observations”
GRB Coordinates Network, Circular Service, No. 34469 (08/2023)

20. Pavoni, E.; Moretti, L.; Dainotti, M. G.; Niino, Y.; Kalinowski, K.; De Simone, B.
“GRB 230818A: Leavitt Observatory upper limit ”
GRB Coordinates Network, Circular Service, No. 34490 (08/2023)

21. Quadri, U.; Madurini, P.; Strabla, L.; Dainotti, M. G.; Niino, Y.; Kalinowski, K.; De Simone, B.
“Swift J1727.8-1613 (GRB 230824A): Bassano Bresciano Observatory optical observations ”
GRB Coordinates Network, Circular Service, No. 34562 (08/2023)

22. Lopresti, C.; Dainotti, M. G.; Niino, Y.; Kalinowski, K.; De Simone, B.
“Swift J1727.8-1613 (GRB 230824A): GAD Observatory La Spezia - optical observations”
GRB Coordinates Network, Circular Service, No. 34566 (08/2023)

23. Pavoni, E.; Moretti, L.; Dainotti, M. G.; Niino, Y.; Kalinowski, K.; De Simone, B.
“Swift J1727.8-1613 (GRB 230824A): Leavitt Observatory optical observations ”
GRB Coordinates Network, Circular Service, No. 34570 (08/2023)
24. Ruocco, N.; Dainotti, M. G.; Niino, Y.; Kalinowski, K.; De Simone, B.
“Swift J1727.8-1613 (GRB 230824A): Osservatorio Astronomico ”Nastro Verde” optical observations ”
GRB Coordinates Network, Circular Service, No. 34577 (08/2023)
25. Ruocco, N.; Dainotti, M. G.; Niino, Y.; Kalinowski, K.; De Simone, B.
“GRB 231111A: Osservatorio Astronomico ”Nastro Verde” optical observations with detection of an optical counterpart ”
GRB Coordinates Network, Circular Service, No. 34997 (11/2023)
26. Moretti, L.; Pavoni, E.; Dainotti, M. G.; Niino, Y.; Kalinowski, K.; De Simone, B.
“GRB 231111A: Leavitt Observatory optical observations ”
GRB Coordinates Network, Circular Service, No. 35003 (11/2023)
27. Lopresti, C.; Dainotti, M. G.; Niino, Y.; Kalinowski, K.; De Simone, B.
“GRB 231215A: GAD Observatory, La Spezia, Italy upper limit; ”
GRB Coordinates Network, Circular Service, No. 35370 (12/2023)
28. Sorrento, N. R.; Dainotti, M. G.; Niino, Y.; Kalinowski, K.; De Simone, B.
“GRB 231215A: Osservatorio Astronomico Nastro Verde upper limit ”
GRB Coordinates Network, Circular Service, No. 35392 (12/2023)
29. Sorrento, N. R.; Dainotti, M. G.; Niino, Y.; Kalinowski, K.; De Simone, B.
“GRB 231216A: Osservatorio Astronomico Nastro Verde upper limit ”
GRB Coordinates Network, Circular Service, No. 35394 (12/2023)
30. Taguchi, K.; Koshi, R.; Hoshino, R.; Takahashi, I.; Sako, S.; Sasaoka, T.; Tominaga, N.
“Transient Classification Report for 2024-01-16 ”
Transient Name Server Classification Report, No. 2024-172 (01/2024)
31. Koshi, R.; Hoshino, R.; Takahashi, I.; Sako, S.; Sasaoka, T.; Tominaga, N.; Taguchi, K.
“Tomo-e Gozen Transient Discovery Report for 2024-01-15 ”
Transient Name Server Discovery Report, No. 2024-155 (01/2024)
32. Koshi, R.; Hoshino, R.; Takahashi, I.; Sako, S.; Sasaoka, T.; Tominaga, N.; Taguchi, K.
“Tomo-e Gozen Transient Discovery Report for 2024-01-16 ”

Transient Name Server Discovery Report, No. 2024-166 (01/2024)

33. Leonini, S.; Conti, M.; Rosi, P.; Tinjaca Ramirez, L. M.; Bellizzi, L.; Dainotti, M. G.; Niino, Y.; Kalinowski, K.; De Simone, B.
“GRB 240204A: Montarrenti Observatory optical observations ”
GRB Coordinates Network, Circular Service, No. 35672 (02/2024)
34. Ruocco, N.; Dainotti, M. G.; Niino, Y.; Kalinowski, K.; De Simone, B.
“GRB 240204A: Osservatorio Astronomico Nastro Verde upper limit ”
GRB Coordinates Network, Circular Service, No. 35677 (02/2024)
35. Ruocco, Nello ; Daniotti, M. G.; Niino, Y.; Kalinowski, K.; De Simone, B.
“Swift J1727.8-1613 (GRB 230824A): Madrona Peak Observatory - optical follow-up ”
GRB Coordinates Network, Circular Service, No. 35823 (02/2024)
36. Leonini, S.; Conti, M.; Rosi, P.; Tinjaca Ramirez, L. M.; Dainotti, M. G.; Niino, Y.; Kalinowski, K.; De Simone, B.
“X-ray transient EP240315a: Montarrenti Observatory optical upper limit ”
GRB Coordinates Network, Circular Service, No. 35944 (03/2024)

3.2.8.4 学位論文

1. 紅山 仁
“Photometric Observations of Tiny Near-Earth Asteroids during the Close Approaches”
東京大学 令和5年度 博士論文, 2024年3月
2. 津々木 里咲
「Tomo-e Gozen 広域サーベイの最適化システムの開発」
東京大学 令和5年度 修士論文, 2024年3月
3. 生方 すばる
「トモエゴゼンを用いた活動銀河核の変光の評価と銀河の諸性質」
東京大学 令和5年度 修士論文, 2024年3月
4. 根津 正大
「Tomo-e Gozen による T Tauri 型星の短時間変動の検出」
東京大学 令和5年度 卒業研究, 2024年3月
5. 川北 祐太郎
「木曽シュミット望遠鏡・Tomo-e Gozen を用いた Heart Nebula の観測研究 - 星の自動検出ツールの開

発」

東京電機大学 令和5年度 卒業論文, 2024年3月

6. 千葉慎一郎

「ConvLSTM を用いたスペースデブリと人工衛星の識別」

北海道情報大学 令和5年度 卒業論文, 2024年3月

3.2.9 学会、研究会等での報告

3.2.9.1 国際研究会

1. Asia Pacific Regional IAU meeting 2023 (郡山, 2023/8/7-11)

“Launch and management of an astronomy laboratory at Tokyo Denki University”

樋口あや (東京電機大学)

3.2.9.2 日本天文学会 2023 年秋季年会 (名古屋大学, 2023/09/20-22)

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

N43a 「低輝度超新星の初期観測で探る大質量星の爆発と星周物質の性質」

2. 山中逸輝 (東京大学), 河野孝太郎 (東京大学), 甘日出文洋 (国立天文台), 江草芙実 (東京大学), 橋本哲也 (國立中興大學), 新納悠 (東京大学), Tzu-Yin Hsu (國立清華大學)

R21a 「ALMA による分子ガス観測で探る FRB191001 母銀河の性質」

3. 笹岡大雅, 有馬宣明, 土居守 (東京大学), 富永望, 小久保充 (国立天文台)

V227a 「突発天体サーベイの差分解析における候補天体絞り込み手法の開発」

4. 有馬宣明, 土居守, 酒向重行, 瀧田怜 (東京大学)

V234b 「Tomo-e Gozen 動画データの光度曲線解析へ向けた天体マッチング法の検討と処理速度評価」

5. 高橋英則 (東京大学), NESUC-IIDA 分光器開発プロジェクトチーム (南信州・飯田産業センター)

V235b 「3次元面分光観測のための近赤外線波長走査型ファブリ・ペロー分光器の開発」

6. 宮田隆志 (東京大学), 吉井譲 (東京大学, アリゾナ大学), 土居守, 河野孝太郎, 峰崎岳夫, 酒向重行, 江草芙実, 小西真広, 上塚貴史, 高橋英則, 松林和也, 加藤夏子, 沼田瑞樹, 鯨島寛明, 山岸光義, 今井正亮, 小山舜平, 堀内貴史, 平尾優樹, 櫛引洸佑 (東京大学), 本原顕太郎 (国立天文台, 東京大学)

V253a 「東京大学アタカマ天文台 TAO 6.5m 望遠鏡計画 進捗報告 2023 秋」

7. 木下凌太 (東北大学), 上塚貴史, 宮田隆志 (東京大学), 軸屋一郎, 近藤智也 (金沢大学), 本田充彦 (岡山理科大学), 坂野井健, 鍵谷将人 (東北大学), 酒向重行, 橘健吾, 成瀬日月, 左近樹, 妹尾梨子 (東京大学)

V254a 「TAO/MIMIZUKU 用冷却チョッパーの開発: 搭載機の製作と冷却動作試験」

8. 柳澤広登, 松本明訓, 大内正己 (東京大学), 中島王彦, 本原顕太郎 (国立天文台), 播金優一, 川崎雅裕, 村井開, 小西真広, 小山舜平, 高橋英則 (東京大学), EMPRESS 3D Team

U16a 「EMPRESS 3D 計画の全データを用いた原始 He 存在比と宇宙論への示唆」

9. 押切翔, 田中雅臣 (東北大学), 富永望 (国立天文台), 諸隈智貴 (千葉工業大学), 高橋一郎 (東京工業大学), 反保雄介 (京都大学), Tomo-e Gozen コラボレーション
W29a 「Tomo-e Gozen 高頻度サーベイデータに基づく銀河系外 Fast Optical Transient の発生率への制限」
10. 柳澤顕史, 渡部潤一 (国立天文台)
Y10b 「木曾シュミット乾板を対象とした太陽系天体プレカバリーの試み」
11. 村田勝寛, 太田耕司, 野上大作 (京都大学), 高橋幸弘, 齊藤大晶 (北海道大学), 大朝由美子 (埼玉大学), 土居守, 瀧田怜 (東京大学), 谷津陽一, 高橋一郎 (東京工業大学), 金田英宏, 楠根貴成 (名古屋大学), 伊藤洋一, 高橋隼 (兵庫県立大学), 川端弘治, 中岡竜也 (広島大学), 永山貴宏 (鹿児島大学), 泉浦秀行, 花山秀和, 早津夏己 (国立天文台), 光赤外線大学間連携 OISTER
Z119b 「光赤外線大学間連携 OISTER によるマルチメッセンジャー天文学」
12. 新納悠, 土居守, 酒向重行, 松林和也, 有馬宣明, 津々木里咲, 茂山俊和, 鹿内みのり (東京大学), 諸隈智貴 (千葉工大), 富永望, 大澤亮 (国立天文台), 田中雅臣 (東北大学), Tomo-e Gozen コラボレーション
Z127a 「木曾超広視野高速 CMOS カメラ Tomo-e Gozen による重力波フォローアップ観測」

3.2.9.3 日本天文学会 2024 年春季年会 (東京大学 / オンライン, 2024/03/11-15)

1. 岡田寛子 (兵庫県立大学), 富永望, 青木和光 (国立天文台), 本田敏志 (兵庫県立大学), 松野允郁 (Heidelberg University), 須田拓馬 (東京工科大学), 石垣美歩 (国立天文台), 古塚来未 (兵庫県立大学), 諸隈智貴 (千葉工業大学), 高橋英則, 酒向重行 (東京大学), 金子慶子, 岩下光, 神澤富雄, 福嶋美津広, 三ツ井健司, 福田武夫 (国立天文台), 前田啓一 (京都大学), 佐藤文衛 (東京工業大学), 大宮正士 (アストロバイオロジーセンター), 田實晃人, 泉浦秀行 (国立天文台)
N06a 「狭帯域測光+中分散分光による明るい金属欠乏星探索および高分散分光による組成解析」
2. 森由貴, 酒向重行, 本城剛毅, 下見淳一郎, 玉造潤史, 瀧田怜, 高橋英則, 近藤莊平, 新納悠, 小林尚人 (東京大学)
V202a 「Tomo-e Gozen 高速データ転送のための木曾観測所からの SINET 接続」
3. 木邑真理子 (金沢大学), 岩切渉 (千葉大学), 林多佳由 (NASA's GSFC & UMBC), 和田有希 (大阪大学), 酒向重行 (東京大学)
W35a 「強磁場激変星 GK Per の 2023 年のアウトバースト中の X 線・可視光同時観測」
4. 西浦慎悟, 村松沙紀, 細田龍, 土橋一仁 (東京学芸大学・教育)
Y12c 「狭帯域撮像画像を用いた科目横断型学習教材の開発」
5. 和田空大, 紅山仁, 酒向重行, 瀧田怜, 有馬宣明, 津々木里咲, 倉島啓斗 (東京大学)
Z218a 「Tomo-e Gozen NEO サーベイにおける高速移動天体検出システムの改善」
6. 津々木里咲, 酒向重行, 瀧田怜, 紅山仁, 高橋英則, 近藤莊平, 森由貴 (東京大学), 富永望 (国立天文台), 田中雅臣 (東北大学), 高橋一郎 (東京工業大学), 池田思朗 (統計数理研究所), Jo 〓 ao Pedro Pedrosa (ポルト大学)
Z219a 「Tomo-e Gozen 広域サーベイにおける Convolutional GRU を用いた雲分布の未来予測」
7. 星野龍一, 酒井剛 (電気通信大学), 酒向重行, 瀧田怜, 新納悠, 有馬宣明, 紅山仁, 津々木里咲, 越諒太郎, 笹岡大雅 (東京大学), 富永望 (国立天文台), 田中雅臣 (東北大学), 高橋一郎 (東京工業大学), 田口健太 (京都大学), Tomo-e Gozen コラボレーション
Z220a 「Tomo-e Gozen 広域サーベイにおける突発天体の即時アラートシステムの開発」

3.2.9.4 日本天文学会第26回ジュニアセッション(東京大学+オンライン, 2024/3/12)

1. 銀河学校 2023 A 班：塩地裕大（高2）（北海道旭川北高等学校）、竹之内龍（高2）（灘高等学校）、片山哩（2023年卒）（岡山白陵高等学校）、市川晴花（2023年卒）（宮城県仙台第二高等学校）、池田奈央（高3）（大阪教育大学附属高等学校（天王寺校舎））、河野旺実（高3）（海城高等学校）、近藤典雅（高3）（日本大学豊山高等学校）、佐藤安佑夏（高2）（麻布高等学校）、原詞美（高2）（杉並学院高等学校）
「減光を補正した $H\alpha$ 線による M42 の星形成率の推定」
2. 銀河学校 2023 B 班：村尾和紀、花房瞬星（2023年卒）（海城高等学校）、市川まどか（高2）（四天王寺高等学校）、西村友葉（高2）（関西創価高等学校）、水城光太（高2）（早稲田大学系属早稲田実業学校高等部）、藤澤千聖（高3）（東京都立小金井北高等学校）、石垣咲季（高2）（沖縄県立八重山高等学校）、ダブシラトエルムーン（高2）（麻布高等学校）、吉澤溪太（高2）（大宮開成高等学校）
「銀河のマルチバンド観測から探るバルジの性質」

3.2.9.5 木曾シュミットシンポジウム 2023

木曾シュミットシンポジウム 2023 を5月30日-31日に木曾郡民会館大ホールとオンライン（Zoom）によるハイブリッド形式で開催した。現地参加 48 名、オンライン参加 44 名、合計 92 名という多数の参加申し込みがあり、35 件の口頭発表と 2 件のポスター発表が行われた。



図 3.8: 木曾シュミットシンポジウム 2023 集合写真

口頭講演とポスター講演のリストを次に示す。

口頭講演

- | | |
|----------------------|---|
| 1. 新納 悠・近藤 荘平 (東京大学) | 木曾観測所報告 |
| 2. 酒向 重行 (東京大学) | Tomo-e Gozen の1年と高速ネットワーク |
| 3. 森 由貴 (東京大学) | 木曾観測所からの SINET 接続 |
| 4. 瀧田 怜 (東京大学) | Tomo-e Gozen と mdx |
| 5. 和田 空大 (東京大学) | Tomo-e Gozen NEO 探査の3年と Lessons Learned |
| 6. 菊地 啓太 (日本大学) | 木曾観測所における高感度カメラを用いた流星の撮像・分光観測 |
| 7. 長谷川 まり (日本大学) | MU レーダーと Tomo-e Gozen による「ふたご座流星群」の同時観測 |

8.	小野里 宏樹 (国立天文台)	SMOKA の現状と今後の計画
9.	招待講演：本城 剛毅 (東京大学)	ネットワークを支える技術と使う技術
10.	高橋 英則 (東京大学)	3D プリンターを用いた Tomo-e Gozen 新枠体の製作
11.	富永 望 (国立天文台)	狭帯域金属欠乏星探査
12.	岡田 寛子 (兵庫県立大学)	Tomo-e Gozen と Nayuta による明るい金属欠乏星探査
13.	佐藤 大仁 (総合研究大学院大学)	電子捕獲型超新星と鉄コア崩壊型超新星の多色光度曲線
14.	倉島 啓斗 (東京大学)	超低雑音イメージセンサーによる高速観測
15.	満田 和真 (デロイトトーマツリスクアドバイザリー)	移動天体検出への Seeing Dance の影響
16.	直川 史寛 (東京大学)	Tomo-e Gozen の時間分解能を空間分解へ活かす
17.	Phungtua-eng Thanapol (静岡大学)	Exploring the utilization of elastic data binning for time-series representation for Tomo-e light curve data
18.	鈴木 尚孝 (Lawrence Berkeley National Laboratory)	Searching for Close Binary Systems in the Milky Way Galaxy as Potential Gravitational Wave Sources II
19.	新納 悠 (東京大学)	Tomo-e Gozen による突発天体マルチメッセンジャー観測
20.	河野 樹人 (名古屋市科学館)	プラネタリウムにおける多波長広域サーベイデータの投影とその活用
21.	富永 望 (国立天文台)	突発天体探査
22.	津々木 里咲 (東京大学)	晴れ間を狙った広域サーベイシステムの開発
23.	笹岡 大雅 (東京大学)	Tomo-e transient survey における 新たな即時天体検出手法の導入
24.	反保 雄介 (京都大学)	矮新星 MASTER OT J030227.28+191754.5 の観測
25.	田中 雅臣 (東北大学)	Tomo-e Gozen による秒スケール突発現象の探査
26.	押切 翔 (東北大学)	Tomo-e Gozen の高頻度サーベイデータを用いた Fast Optical Transient 探査
27.	有馬 宣明 (東京大学)	広視野動画観測で迫る秒スケールで変動する可視光突発天体探査
28.	樋口 あや (東京電機大学)	Tomo-e Gozen による星団形成領域のモニター観測
29.	中岡 竜也 (広島大学)	かなたでの tomo-e 超新星候補天体の即時観測計画
30.	前原 裕之 (国立天文台)	ToO 自動観測に向けたせいめい望遠鏡のキュー観測システム開発状況
31.	川端 美穂 (兵庫県立大学)	せいめい望遠鏡による近傍超新星の追観測
32.	田口 健太 (京都大学)	広視野・高頻度サーベイと京都大学せいめい望遠鏡による新星初期の観測可能性
33.	宇野 孔起 (京都大学)	Light-curve Modeling for The Initial Rising Phase of Rapidly-evolving Transients Powered by Continuous Outflow
34.	武井 勇樹 (東京大学)	大質量星の爆発間際の大規模な質量放出とその後の超新星の光度曲線の研究
35.	村井 結太 (東北大学)	低輝度超新星の初期観測で探る大質量星の爆発と星周物質の性質
ポスター		
1.	田中雅泰 (日本大学)	Tomo-e Gozen のデータを用いた系内ブラックホール天体の可視光での活動調査
2.	敏蔭星治 (東北大学)	Exploration of rapidly evolving transients with the Subaru/HSC transient survey

3.2.9.6 その他の国内研究会・発表

1. 日本地球惑星科学連合 2023 年大会 (幕張メッセ, 2023/5/21-26)

「東京大学木曾シュミット望遠鏡搭載広視野動画カメラ Tomo-e Gozen と地球接近小惑星探索」

高橋英則, 土居守, 小林尚人, 酒向重行 (東京大学), 大澤亮 (国立天文台), 新納悠, 瀧田怜, 近藤莊平, 森由貴 (東京大学), 田中雅臣 (東北大学), 諸隈智貴 (千葉工業大学), 富永望 (国立天文台), 池田思朗 (統計数理

- 研究所), 山本泰生 (静岡大学), 奥村真一郎 (日本スペースガード協会), 紅山仁, 津々木里咲 (東京大学)
2. 新世紀における銀河宇宙観測の方向 (ホテル伊豆急, 2023/6/14-16)
「木曾トモエゴゼンから TAO へ」
酒向重行 (東京大学)
 3. PC クラスタワークショップ in 大阪 2023 「ビッグデータと HPC」 (ホテル伊豆急, 2023/6/21-22)
「激動の宇宙の姿をもとめて 木曾トモエゴゼンとビッグデータ天文学」
酒向重行 (東京大学)
 4. 日本物理学会 2024 年春季大会宇宙線・宇宙物理領域 次世代のマルチメッセンジャー天文学 (オンライン, 2024/3/19)
「木曾 Tomo-e Gozen による可視光広視野タイムドメイン観測」
酒向重行 (東京大学)
 5. JHPCN 第 15 回シンポジウム (東京コンファレンスセンター・品川, 2023/07/06-07)(ポスター)
「Tomo-e Gozen データプラットフォームの開発」
瀧田怜, 酒向重行 (東京大学)
 6. プラネタリウムで俯瞰する多波長全天/広域サーベイ (名古屋市科学館, 2023/07/19-20)(招待講演)
「Tomo-e Gozen データプラットフォームの開発」
瀧田怜 (東京大学)
 7. 2023 年度第 53 回天文・天体物理若手夏の学校 (東京大学本郷キャンパス, 2023/08/01-03)
「Tomo-e Gozen と Nayuta による明るい金属欠乏星探索」
岡田寛子 (兵庫県立大), 富永望, 青木和光 (国立天文台), 本田敏志, 古塚来未 (兵庫県立大), 諸隈智貴 (千葉工大)
 8. 2023 年度せいめいユーザーズミーティング (京都大学理学部セミナーハウス + オンライン, 2023/09/12-13)
「東京大学木曾シュミット望遠鏡 赤外線全天雲モニタの運用」
津々木里咲, 酒向重行, 瀧田怜, 紅山仁, 高橋英則, 近藤荘平, 森由貴 (東京大学), 大澤亮, 富永望 (国立天文台), 田中雅臣 (東北大学), 諸隈智貴 (千葉工業大学), 池田思朗 (統計数理研究所), João Pedro Pedrosa (ポルト大学)
 9. 初代星・初代銀河研究会 2023 (北海道大学札幌キャンパス, 2023/11/20-22)
「超金属欠乏星で探る weak r-process の起源」
岡田寛子 (兵庫県立大), 青木和光, 富永望 (国立天文台), 本田敏志 (兵庫県立大)
 10. GAOES-RV 研究会 (東京工業大学大岡山キャンパス, 2023/11/30-12/01)
「金属欠乏星の高分散分光観測」
岡田寛子 (兵庫県立大), 他 10 名
 11. Transient & Supernova WS 2023 (ホテルウェルビューかごしま, 2023/12/18-21)
「The origin of extremely metal-poor star with weak r-process signature」
岡田寛子 (兵庫県立大), 青木和光, 富永望 (国立天文台), 本田敏志 (兵庫県立大)
 12. ALMA/45m/ASTE Users Meeting 2023 (国立天文台+オンライン, 2023/12/21-22)
“Educational effects of observation experiences: The case of Tokyo Denki University”
樋口あや (東京電機大学)

13. 第14回光赤外線天文学大学間連携(OISTER)ワークショップ(東京工業大学+オンライン, 2024/03/07-09)
「東京大学・木曾観測所の活動報告」
瀧田 怜 (東京大学)
14. 第14回光赤外線天文学大学間連携(OISTER)ワークショップ(東京工業大学+オンライン, 2024/03/07-09)
「早期で発見されたII型超新星SN2024acnの可視光追観測」
越諒太郎 (東京大学)

3.2.9.7 普及講演

1. NESCU-IIDA2023 年度年次総会での講演(60名, 2023/05/30)
「天文学と装置開発 ー天文学はものづくりー」
高橋英則(木曾観測所)
2. 野辺山宇宙電波観測所特別公開ミニ講演会(野辺山宇宙電波観測所, 2023/08/26)
「東京大学木曾観測所はこんなところ〜シュミット望遠鏡とトモエゴゼンと観測と〜」
高橋英則(木曾観測所)
3. 天文学教育研究センター特別公開講演会(天文学教育研究センター, 2023/10/28)
「トモエゴゼンによる広視野と時間軸の天文学」
新納悠(木曾観測所)
4. うすだスタードーム 星空特別講座(うすだスタードーム, 40名, 2024/02/03)
「長野の山中から星空の変化をとらえる」
新納悠(木曾観測所)
5. 上田市丸子教育事務所講演会(信州国際音楽村, 30名, 2024/03/01)
「最新観測技術で探る”重たい星”の誕生から進化, そして最期。」
高橋英則(木曾観測所)

3.2.10 学生実習

1. CMOS 撮像と画像解析

嶋作一大(東京大学理学部天文学科)

本実習は東京大学理学部天文学科の「基礎天文学観測」のテーマの1つであり, Tomo-e Gozen を用いて可視光の撮像観測とデータ整約の基礎を学ぶことを目的としている。2023年度は, 学部3年生5名に代表者を加えた合計6名で2023年10月18日-20日に実施した。

まず10月18日の前半夜に近傍銀河団 Abell 2634 を B と I バンドで観測した。天気は快晴だった。学生は, 近藤荘平さんの指導のもと, 望遠鏡と Tomo-e Gozen の操作, 観測ログへの記入, 天気のチェックをローテーションで分担した。観測に先立ち, 高橋英則さんにドーム内で望遠鏡と Tomo-e Gozen の解説をしていただいた。

翌日からの解析では, 観測所の計算機群を用いて, IRAF による一次処理, 画像のつなぎ合わせ, 天体検出ソフト SExtractor による天体の自動検出, $B-I$ に基づく早期型銀河の選び出しまでを行なった。画像のつなぎ合わせまでは近藤さんに指導していただいた。

図 1: Abell 2634 銀河団 (B バンド)

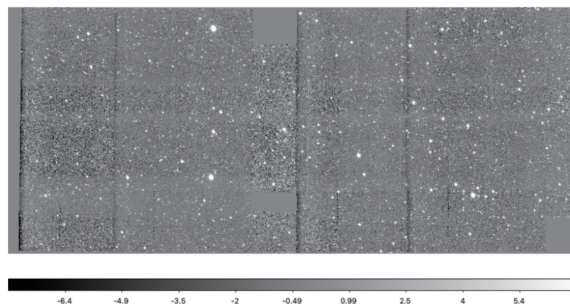


図 2: Abell 2634 銀河団 (I バンド)

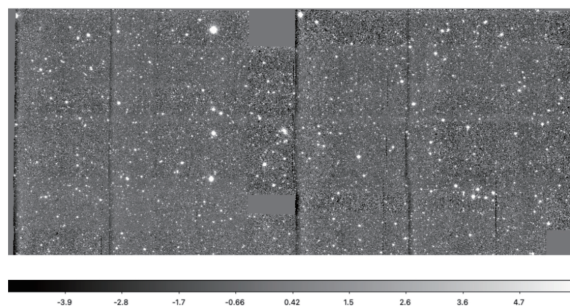


図 3.9: 解析の結果得られた B (上) と I (下) のモザイク画像 (鈴木はるか氏のレポートより)

2. CMOS 撮像と時系列解析

酒向重行 (天文学教育研究センター)

東京大学理学部天文学科の選択必修科目の一つ「基礎天文学観測」では、学生がテーマ別に少人数の班に分かれて各地の天文台に出向き、観測とデータ解析を実地に学ぶ。「CMOS 撮像と時系列解析」は木曾観測所で行われるテーマの一つである。

2023 年度は、学部 3 年生 4 名と TA1 名に代表者を加えた合計 6 名が 2023 年 12 月 5 日–12 月 7 日の 2 泊 3 日の日程で木曾観測所に滞在して、Tomo-e Gozen を用いた動画データの観測と解析、観測装置の開発に関する実習を行った。

1 日目は 14:30 より実習の概要を説明した後、望遠鏡施設の見学を行った。天候の回復が難しい状況にあったため 1 日目の観測は断念し、室内にて偏光シートを使った対物偏光装置の製作を実施した。

2 日目は、過去に取得したデータを用いて解析実習を行った。用いたデータは Tomo-e Gozen で 2 フレーム/秒で取得した地球接近小惑星 (NEO) の動画データである。最初に各フレームに検出されている NEO を測光しライトカーブを作成した。午後に天候が回復したため、対物偏光装置を用いた観測の計画を立案し、日没後に観測データの取得を実施した。

3 日目はライトカーブを 1 周期ごとに重ねることでフェーズカーブを作成した後、NEO の回転運動に関

して議論した。また、2日目に取得した偏光データの解析も実施した。11:30 に実習を終え、まとめの講義を行った。

3. FoPM 実習

高橋, 新納, 土居

先端物理・数学プログラム (FoPM) は、基礎科学の専門人材に科学技術や社会イノベーションに広く影響を与えるためのスキルを提供することで、彼らのポテンシャルを最大化するプログラムである。木曽観測所は昨年度から実習生の受け入れを行っている。

今年度の FoPM 実習は、銀河のカラーを観ることで銀河内の星形成の空間的な違いや銀河毎の違いを探るというテーマで実習を行った。参加者は化学専攻修士1年の学生で天文学は専門外であるため、基礎的な銀河による色の違いや画像処理について事前の座学から始めた (土居)。現地での実習は7月26~28日に渡って行われた (高橋, 新納)。観測には30cm 望遠鏡 + CMOS (ASI294MC/Pro) を使用した。観測した天体は NGC5921 という face-on の銀河である。その後の画像処理にはまず「すばる画像解析ソフト: マカリィ」を用いた。検出器に流れる微弱な電流に起因する暗電流やバイアス、あるいは光検出の感度ムラなどの影響を取り除くため基準ダーク画像および基準フラット画像を作成し、生画像から差し引くなどの処理を行った。ところで CMOS センサーは GBGR のベイヤーフィルターを内部に持っているが、今回は解析のため RGB の三色に画像を分ける必要があったため、Python を用いたプログラミングを構築して色分別を行った。さらに複数枚の画像を重ねて一瞬の光の影響を取り除き目的の天体がよりはっきりとした画像を得るために、時間経過と共に天体は動き画像にも位置ずれが起こるため位置補正と足し合わせを行った。最後に測光解析として、NGC5921 の中心と腕 (2 か所) の RGB それぞれの色における等級を既知の等級がある近隣の天体と比較することで算出し、最終的に中心と腕部分での色の違いを決定した。



図 3.10: CMOS で撮影された NGC5921.

今回参加した学生は化学専攻で異分野であるが、画像処理に関して暗電流やフラットの補正の仕方など、顕微鏡を用いる研究に活かすことができそうな技術が多くあったという点で有用な実習であったと思われる。

4. 天文学観測による天文学教育の実践と教材開発 (4 大学合同実習)

伊藤信成 (三重大大学教育学部), 山縣朋彦 (文教大学教育学部), 下井倉ともみ (大妻女子大学社会情報学

部), 西浦慎悟 (東京学芸大学自然科学系)

2023年8月16日(水)から19日(土)の3泊4日で, 三重大学教育学部, 文教大学教育学部, 大妻女子大学社会情報学部, 東京学芸大学教育学部の4大学共同の天体観測実習を行った。参加者は, 文教大学が3年生5名(男子2名, 女子3名), 東京学芸大学が3年生7名(男子4名, 女子3名), 大妻女子大学が3名(女子3名), 三重大学が16名(男子8名, 女子8名)の計31名(男子14名, 女子17名)と, 本研究代表者・共同研究者の教員4名であった。

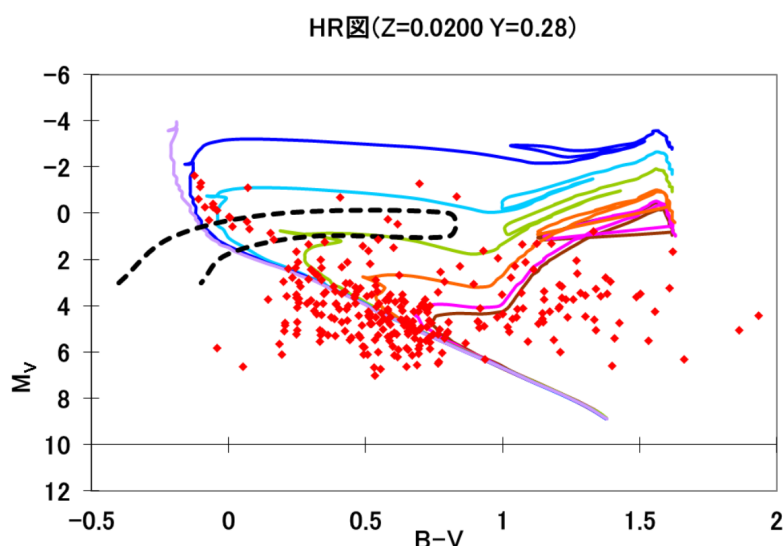


図 3.11: 散開星団 M39 の色等級図。縦軸は絶対等級 M_V , 横軸は $B-V$ 。7つの実線は, Bertelli et al. (1994, A&AS, 106,275) による, 3000 万年, 1 億年, 3 億年, 10 億年, 30 億年, 100 億年, 150 億年の等時曲線 ($Z=0.02$)。点線は典型的な水平分枝星の分布を示す。

実習初日は, 15 時 30 分頃に観測所に到着。事務手続きと諸注意連絡の後, 観測所本館と 105cm シュミット望遠鏡ドーム (105 cm シュミット望遠鏡, Tomo-e Gozen, 一般見学用展示), そして, 併設されている名古屋大学太陽電波望遠鏡を見学した。初日の晩には, 105 cm シュミット望遠鏡と Tomo-e Gozen による天体観測を行う予定であったが, 悪天候のため, 以前, Kiso Wide Field Camera (=KWFC) で取得した予備データを用いたデータ解析実習を行った。

データ解析実習は, 全参加者をランダムに分けて 2-3 名を 1 班とし, まず, KWFC による M31 の B, V, R 画像から, 疑似カラー画像を作成する作業を行った。その後, 各班に一つずつテーマと実習用サンプルを割り当てた。各班に割り当てたテーマ・サンプルは, a) 小惑星の検出および距離導出, b) 散開星団 M39 の色・等級図, c) 球状星団 M15, M56 の色・等級図, d) RR Lyr 型星を用いた球状星団 M15, M56 までの距離導出, e) 楕円銀河 M110, 渦巻銀河 M101 の表面測光, f) 銀河団 Abell 2151, Abell 2666 の銀河の光度関数と距離導出, である。

実習二日目は, 引き続き予備データの解析実習を行い, 班毎に中間発表を行った。晩には, 晴れ間が雲の隙間から覗くことがあり, データ解析の合間に簡単な観望を行うことができたが, 観測データを取得するには至らなかった。

実習三日目は, 解析結果のまとめと実習の結果報告会を行った。発表は 1 班 10 分 (別途質疑応答 5 分) を目安とした。

最終日は午前 09 時頃に退所した。

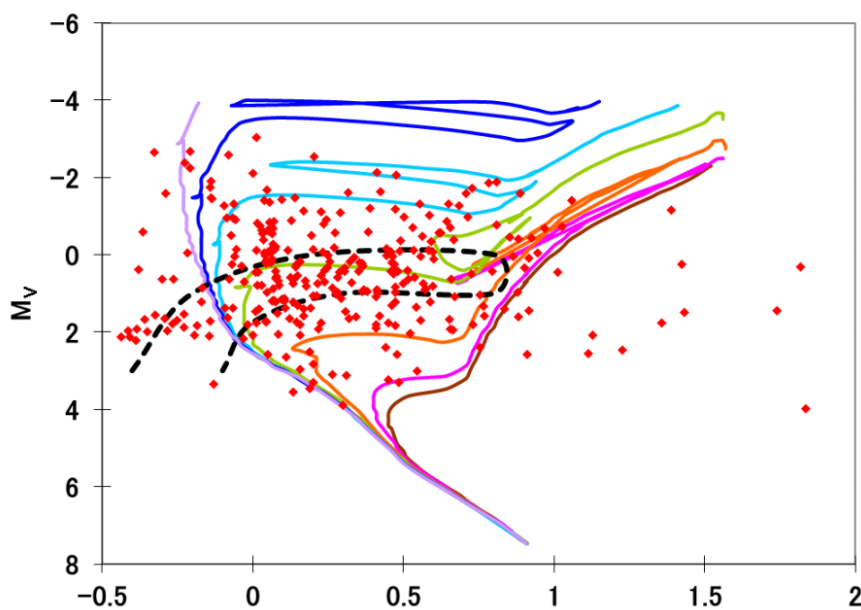


図 3.12: 球状星団 M56 の色等級図. 7つの実線と点線は図 3.11 と同じ.

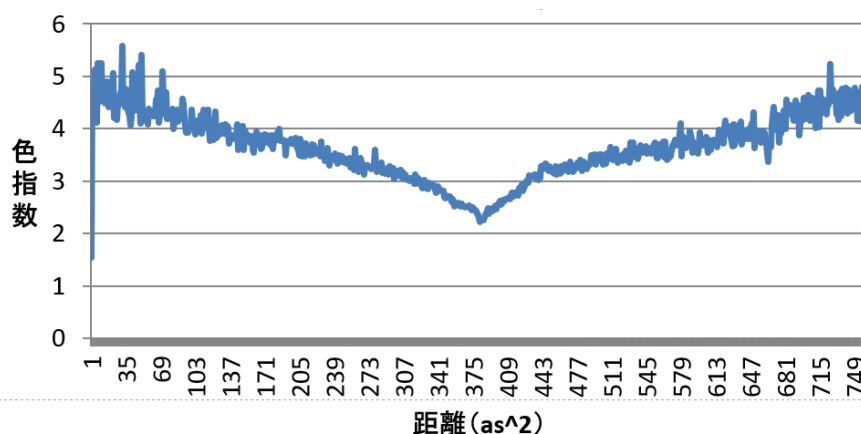


図 3.13: 楕円銀河 M110 のカラー・プロファイル.

各テーマの結果の概要は次の通りである. a) KWFC の CCD チップ #2, #3, #4, #5 から, それぞれ, 小惑星を 2 個, 3 個, 4 個, 2 個を検出した. これらの太陽からの距離は 1.9-3.2 au であり, その平均は 2.3 au であった. b) 色・等級図と等時曲線を用いて散開星団 M39 の星間吸収を補正し, 星団を構成する恒星の年齢を約 3 億年, 重元素量を $Z=0.02$ と見積もった (図 3.11). c) 色・等級図と等時曲線から, 球状星団を構成する恒星について, M15 では年齢が 3-10 億年, $Z=0.001$, M56 では年齢が 10 億年, $Z=0.001$ が得られた. どちらの球状星団についても, 恒星の年齢がかなり若い, 色・等級図中での恒星のばらつきが大きく, 年齢を特定できなかったようである (図 3.12 参照). d) RR Lyr 型星の絶対等級を $M_V=0.7$ mag. として, M15, M56 までの距離を, それぞれ, 13.9 kpc, 21.0 kpc と得た. e) 楕円銀河 M110, 渦巻銀河 M101 とともに銀河中心から外側に向かって暗くなる, また, 可視カラー B-V が青くなることが見出された (図 3.13). f) Abell 2151, Abell 2666 の銀河の光度関数を作成し (図 3.14), M^* を担う銀河の実サイズを 30 kpc と仮定して, 見かけのサイズから銀河団までの距離を, Abell 2151 で 651 Mpc, Abell 2666 で

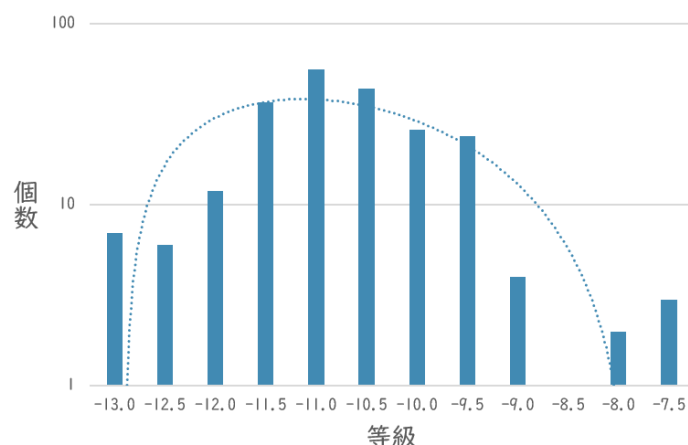


図 3.14: 銀河団 Abell 2666 の銀河の光度関数. 明記されていないが V バンドのものと思われる. 点線については不明.

434 Mpc と得た. 銀河団の後退速度に既知の値を用いて, これらから, 宇宙年齢を求めると 551-568 億年が得られた. これは, 現在考えられている宇宙年齢の 4 倍もの値である. これは観測画像から抽出した銀河の中に, 銀河系内の恒星が相当数混入していたためかも知れない.

なお, 本報告で示した図は全て, 三日目の結果発表で参加学生達が用いたものである.

5. 甲南大学大学実習

富永望, 大澤亮 (国立天文台)

2020 年度から単位を取得できる「天体観測ワークショップ」としての開催となった. 2023 年度には甲南大学理工学部物理学科の 2 年生 12 名, 講師 2 名が参加した. 甲南大学において事前学習を行った後に, 木曽観測所に滞在しこれまで学部生が触れたことのない天体望遠鏡を用いた観測研究の一端を経験してもらった.

本実習は, 学生自身で観測目的を考え, 観測プランを立て, 観測を遂行し, データ解析を行うことを重視している. 事前学習に基づき, 学生自身がどの天体の画像を取得したいのかを, visibility を確認して選択し, finding chart を作る等の観測準備を行って観測実習に臨んだ. 到着当日には望遠鏡を見学させていただいた. また, 昼間には観測, データ解析を行うにあたっての基礎知識の座学を行った. 9/11-14 の 3 晩観測の予定であったが, 2 日目に少しと最終日に観測データを取得することができ, 各自の観測した天体のデータ解析を行った. 今年度は例年と同様に銀河 (M101, M31) や星雲 (M20, M27, M57, NGC6543, NGC6826, NGC7635, NGC7662) の観測を希望した学生が多かった. データ解析では, IRAF を用いて, ダーク引き, フラット割り, 座標合わせ, 複数露出のスタック, 観測した星雲や銀河の 3 色合成を行った. また, 夜天光施設の 30cm 望遠鏡を用いて目視観測を行わせていただいた. 今回の実習を通して, 学生たちは天体観測・データ解析の実感をつかみ, 天体観測の楽しさを知ったと考えられる.

旅費等の実費がかかるのにもかかわらず, 定員 50 名の物理学科で 12 名が参加を希望する人気科目となっている. 今回の経験を活かして卒業研究や大学院に進んでももらえると期待している. また観測所の方々にはお忙しい中多数の学生を受け入れていただき大変感謝している.

6. トモエゴゼンを用いた観測実習 (3 大学合同実習)

樋口あや (東京電機大学), 小宮山裕 (法政大学), 小麦真也 (工学院大学)

東京電機大学天文学研究室主催の学部4年生向けの観測実習を行った。東京電機大学としては2回目の実習を2023年8月22日(火)から25日(金)の3泊4日で実施し、4年生2名、3年生1名が参加した。今年度から法政大学と合同での実習を開始した。法政大学は8月22日(火)から26日(土)の4泊5日で実施し、4年生7名とTAとして大学院生2名が参加した。

さらに3年生を対象とした実習を、2024年3月4日(火)から7日(金)の3泊4日で実施し、3年生3名、4年生1名が参加した。こちらは、法政大学と工学院大学との合同で行った。法政大学は3月4日(火)から8日(土)の4泊5日で実施し、3年生8名とTAとして大学院生3名が参加した。工学院大学は3月4日(火)から6日(木)の2泊3日で実施し、4年生1名が参加した。

東京電機大学

105cm シュミット望遠鏡と Tomo-e Gozen を用いて、若い星団内の天体に対し秒刻みの高速観測を行い、数10秒の短時間に増光するフレア現象の検出を目的とする観測提案を行った。8月は若い星団形成領域W3, 4, 5領域を、3月はオリオン座分子雲の観測を行った。具体的な実習の流れは以下である。

1. 事前講義
2. 望遠鏡・観測装置・一般見学室などの見学
3. 観測テーブル作成
4. データ解析・発表資料作成
5. 成果報告会

観測で得られた動画データを用いて、それぞれの領域で星の光度曲線を導出した。およそ30分間の動画データにおいては、明らかなフレア現象を示す結果は得られていないが、星の自動検出プログラムと光度曲線を自動で作成する解析ツールを作成するなど、実習期間中に研究が大きく進展した。3年生は卒業研究が始まる前に観測実習を経験し、自らの研究テーマを決める判断材料となったようである。観測データは大学に持ち帰って詳細な解析を行い、一部は卒業論文としてまとめた。

工学院大学

工学院大学は日程の都合上、上記の1.から4.までのみ実施した。オリオン星雲近傍のブランクスカイ領域を用いて、積分時間に対して画像上のノイズがどのように減衰するかを調査した。Tomo-e Gozen は最小積分時間が短く連続的にデータ取得が可能であるため、大気変動を最小化した上で観測システムの応答を調査するのに最適である。積分時間に対する雑音(rms)は純粋な熱雑音から期待される-0.5の冪乗関係よりは浅く-0.35程度となった。今後、観測システム理解に関する教育的効果と研究への波及を目指して行く。

法政大学

1回目：8月22日～8月26日

7月より学生各自が観測日時や観測条件を勘案し、木曾シュミット+トモエゴゼンの特長を生かした観測を考えて観測計画を立てていった。「どのような目的でその天体を観測するのか？」を考えて観測天体を選択し、いつ最適な観測ができるか、どれくらいの積分時間、総観測時間が必要なのか、といった具体的な観測計画を立てていった。しかし、観測前日にドーム回転が故障したことが判明し、ある一定の方位角範囲しか観測できないことが分かり、急遽観測計画を練り直すこととなった。このため、観測対象や時間割の変更も行う事となり、必ずしも観測がうまく行かなかった例や、銀河面付近や透過率の問題でパイプラインが動かなかった例もあった。

具体的には下記のような観測を行った。

- ・ペルセウス座流星群（極大から9日）・はくちょう座流星群（極大から5日）
- ・高速移動人工衛星：Cosmos 1151r
- ・動きの速い低軌道衛星：oneweb-0370
- ・小惑星ファエトンの速度の計算・変光の観測
- ・こと座 RR 型の変光星：TU Per
- ・変光星の観測：V1191 Cygni

実習1日目に観測レシピの作成や観測順の調整を行い、夜間に観測を行った。そして、実習2日目と3日目はデータ解析を行った。トモエゴゼンのデータは巨大なのでデータが手元に届くまでは事前に取得されていたデータを用いてソフトウェアの製作など観測準備を進め、データを入手した後は本格的にデータ解析を進めた。実習4日目には観測研究発表会を行い、木曽観測所所員の皆さんから質問やコメントをいただいた。



図 3.15: 法政大学 集合写真

2回目：3月4日～3月8日

1回目の実習と同様に、1月より学生各自が観測計画を立てていった。3月の観測は途中で雲により観測が中断したこと以外は問題がなく、観測を行うことができた。具体的に下記のような観測を行った。

- ・ポン・ブルックス彗星の時間変化
- ・ガリレオ衛星の時間変化
- ・星団の質量光度関係：M67
- ・オリオン星雲の形状
- ・不規則変光星の観測：オリオン座 V372 星（HD 36917）
- ・こと座 RR 型星の変光の検出：AQ Leo
- ・球状星団 M3 の輝度プロファイル測定
- ・球状星団と矮小銀河の輝度プロファイルの比較

1回目の実習と同様な日程で観測やデータ解析を進め、最終日に観測研究発表会を行い、木曽観測所所員

の皆さんから質問やコメントをいただいた。また、観測のうちの3例については、5月に開催された木曽シュミットシンポジウムでポスター発表を行った。

7. 科学の芽/目を育む保育実践演習プログラム開発の試み

豊田明子 (名古屋柳城女子大学こども学部)

2023年8月29-31日の日程で、名古屋柳城女子大学・名古屋柳城短期大学の教員6名、学生16名の計22名が参加し、観測所施設の見学と観測所前庭での各種研修活動を実施した。本研修の目的は、保育者志望の学生が天文学や観測施設に興味をもち、各種自然体験活動から感得した自然に対する畏怖や驚嘆の気持ちを子どもとの関わりに活かすことにある。2年目の試みである今回は、前年度1泊でおこなった日程を2泊に増やしたうえで、基本的には昨年度の内容（保育内容5領域（表現・言葉・健康・人間関係・環境）の専門性をもつ教員によって企画された各種プログラムの実施）を踏襲しつつ、参加者の状況や課題に配慮して各プログラム内およびプログラム間の自由度を高めることとした。

観測所の設備や立地を存分に活かしたプログラムとしては、星の観測だけでなく、その「暗さ」を活かしたアイスブレイク、「言葉」の教員による木曾にまつわる素話、「表現（音楽）」の教員によるミュージックベルを用いた音遊びなどを企画した。また初日に木曽おもちゃ美術館、2日目にこども園見学等を盛り込み、観測所周辺で育つ子どもの環境についての学びを深めることができた。全ての活動は参加者満足度の高いものであり、保育資格・幼稚園教諭免許取得のための課題に追われる本学のカリキュラムの中では大変貴重なリトリートのひとときとなった。

帰校後のアンケート調査では、参加者の全員が観測所員による親切で丁寧な施設案内、仲間とともに星を見上げた時間のありがたさに言及していた。時間の感覚が揺らいだことや、遠くて難しいイメージを抱いていた天文学が近しくて優しく感じられるようになったことを挙げる者、これまで開けなかったカーテンを開き、夜空を見上げて星を探すようになったという者もいた。

次年度はさらに、対象と目的に応じたプログラムの精査をおこない、効果的な事前事後学習のあり方を検討することと並行して、参加しなかった学生に対しても、参加した学生を通して、本研修での学びが届くような仕掛けを創発していきたい。

3.2.11 地域貢献事業

木曽観測所は開所以来シュミット望遠鏡を用いた観測と観測データを元に研究を進めながら、同時に観望会や講演会、理科教育プログラム等、様々な社会貢献活動を積極的に行っている。このような活動を継続して実施するためには地域との連携が不可欠であり、様々な協力関係・連携体制を育むことにも力を入れている。「長野県は宇宙県」連絡協議会や木曽星の会との連携を続けるとともに、新たに「木曽観測所サポーターズクラブ」が正式に発足した。本年度の活動について以下にまとめる。

3.2.11.1 「長野県は宇宙県」連絡協議会

2016年7月14日、阿部 守一長野県知事が木曽観測所を視察された際に、「長野県の特徴である素晴らしい星空を地域の関連協力団体と連携して、天文教育や地域の観光振興拠点として活かしていくことはできないか検討して欲しい」との依頼を受けた。そこで、2016年に国立天文台野辺山宇宙電波観測所や木曽観測所などが中心となり、長野県内の研究施設や天文関連団体および個人などが参加する「長野県は宇宙県」連絡協議会を起ち上げた。

本年度も長野県の星空環境の観察や保全活動、長野県の天文文化研究、各観測所の特別公開や星フェスでの「長野県は宇宙県」の紹介などの活動を継続して行った。8月には木曽観測所も協力している企画展「信州天文

文化100年」とプラネタリウム番組「トモエゴゼンは眠らない」の上映が、木曽地域からもアクセスの良い伊那文化会館で行われた。9月には国立天文台で星空環境保護研究会が開催され、夜空の明るさに関する科学的な研究や他地域での星空環境保護の取り組みなどの多様な発表が行われ、今後の活動に向けて視野が広がった。11月の「長野県は宇宙県」ミーティングでは、長野県観光部の矢沢哲也氏を招いて『「長野県は宇宙県」の星空と宙ツーリズム』と題したパネルディスカッションを行い、星空観光を進めていくための議論が盛り上がった。星空観光の動向に関する分析など有用な情報も得ることができ、コロナ禍で停滞していた星空観光への機運が高まった。

以下、今年度の「長野県は宇宙県」連絡協議会に関連した主だったイベントを列挙する。

実施日時	内容（実施場所）	参加人数	担当職員
7月1日	第11回長野県星空継続観察ミーティング (大鹿村民俗資料館ろくべん館+ Zoom)	34名 (オンライン8名)	高橋, 森
8月5日-27日	企画展「信州天文文化100年」 (長野県伊那文化会館)		—
8月7-20日	デジタルカメラによる星空観察		森, 小林
8月19日	JAXA 白田宇宙空間観測所 特別公開		—
8月26日	野辺山宇宙電波観測所 特別公開		—
9月3日-4日	星空環境保護研究会 (国立天文台+ Zoom)		—
9月16日-17日	木曽観測所特別公開		—
10月27日-29日	ハッブル星と自然のフェスタ in こうみ		—
11月3日	第12回長野県星空継続観察ミーティング (佐久平交流センター+ Zoom)	44名 (オンライン14名)	小林, 森
	第8回長野県は宇宙県ミーティング (佐久平交流センター+ Zoom)	59名 (オンライン27名)	小林, 森
1月2-15日	デジタルカメラによる星空観察		森, 小林
12月5日	プレスリリース・オンライン講演会 「約100年前の太陽黒点観測が最新天文学に貢献」		—

3.2.11.2 木曽星の会との連携

「木曽星の会」は平成16年(2004年)11月に発足した。この会の目的は、木曽観測所や天文関係者と連携して観望会などを開き、より多くの人々に星空の関心を持ってもらうこととなっている。木曽は美しい星空環境を有していることから、星をテーマとした文化活動が活発となり、さらにはこの環境を後世に残すことに繋がる活動を開始すると表明している。木曽観測所はこの目的に賛同し、木曽星の会と連携し諸事業に協力している。2023年5月14日に木曽観測所にて木曽星の会総会が行われ、年度の具体的な活動方針を決定した。2023年度の主な活動内容は上記総会のほか、木曽観測所特別公開サポート(9月@木曽観測所)、きそネイチャーマイスター養成講座(9月@木曽観測所)、秋の星空観望会(11月@木曽町役場本庁駐車場)などを行っている。

3.2.11.3 木曽観測所サポーターズクラブの設立

木曽観測所の地域連携・社会還元活動をサポートする様々な方々(サポーターズ)をまとめたクラブの設立準備が整い、4月1日に木曽観測所にて設立総会を開催した。初期メンバーとして、木曽星の会や「長野県は宇宙県」の活動等で以前から木曽観測所をサポートしてくれていた15名の方々と、観測所OBの3名が特別顧問として参加している。会員は木曽観測所の地域貢献・社会還元事業への協力をはじめ、木曽地域の星空や観測所施設を活用した地域貢献・社会還元事業を実施するとともに、会員の自由な天文活動や天文に関する知識の相互共有、スキルアップ、ノウハウの蓄積を行っていく。

5月の連休には早速シュミットドームの公開が行われた。連休で観測所を訪れた方々にドームの中へ入って望遠鏡を間近に見てもらうことができ、たいへん好評であった。9月の特別公開では昼間の星観望を独自に企画して実施し、夜の観望会でも大活躍であった。これまで観測所スタッフが実施していた星の教室や銀河学校での観望会にもサポートをお願いし、自前の機材を持ち込んで観望会を開いてもらった。これらの活動の他、観測所構内の環境整備や30cm望遠鏡を利用した内部観望会も行われ、観測所の星空を楽しむとともに親睦を深めていた。

以下、今年度の主な活動を列挙する。

実施日時	内容（実施場所）	参加人数
4月1日	設立総会（於：木曾観測所）	12名
5月3日-4日	シュミットドーム公開	来場者約50名
5月20日	環境整備・内部観望会	7名
9月16日-17日	木曾観測所特別公開への協力	10名
9月29日	飯山高校星の教室での観望会	2名
12月16日	内部観望会	7名
3月27日	銀河学校での観望会	1名

3.2.11.4 おんたけ観光局 モニターツアーへの協力

木曾地域での星空観光振興を目的とし、（一社）おんたけ観光局主催のモニターツアー「星空研究先進地で体感！星空トリップ体験～ARの世界観で宇宙旅行♪4D2U体験～」に協力した。8月26日に木曾観測所にて4D2U体験と望遠鏡見学を行うモニターツアー（大人4名、小学生3名）を実施した（新納、森）。アンケートの結果を分析し、今後のツアー造成につなげていく。

3.2.11.5 松本市教育文化センターとの連携

松本市教育文化センターが実施する「星空散歩」にて、画像処理（三色合成）を行う講座と望遠鏡での観望をセットにした講座「東大木曾観測所コラボ 銀河の写真の画像処理&観測」が企画され、木曾観測所（KWFC）で撮影したM31の画像を提供した。小学生7名を含む15名の参加者が、画像処理ソフトGIMPを用いてM31のB、V、RバンドのFITS画像を合成し、各々できれいなカラー画像を作成した。画像を作成した後は、松本市教育文化センター屋上の望遠鏡で実際にM31を観望した。

松本市教育文化センターとは今回のようなコンテンツ提供をはじめ、教材開発など様々な面で連携を続けていきたいと考えている。

3.2.11.6 木曾文化公園との連携

木曾観測所から東京大学の講師を紹介し、木曾広域連合・木曾文化公園と東京大学が連携した講演会『森林・木材がつなぐ伝統とみらい in 木曾』を開催した。今後も様々な分野の講師を招待して連携講演会を継続していきたいと考えている。

日時	2023年10月15日（日）
場所	木曾文化公園文化ホール
参加者	約100名
講師	大学院工学系研究科 藤田香織 教授、安原幹准教授

3.2.11.7 その他の活動

以上の他にも、地域からの依頼に応じた様々な活動を実施している。以下に今年度の活動をまとめる。

実施日時	実施場所・内容	人数	担当職員
6月13日	長野県シニア大学講座 「星と惑星の誕生」	18名	小林
8月7日	開田高原地域協議会 見学	19名	高橋, 近藤, 新納
9月14日	上松小学校 6年生 見学	18名	新納, 森
9月17日	きそネイチャーマイスター養成講座 4D2U・見学	20名	高橋
9月29日	屋代高校 シドニー研修のための特別講座	20名	高橋
11月2日	福島小学校 6年2組 見学	21名	新納
11月9日	福島小学校 6年1組 見学	20名	近藤
11月16日	福島小学校 5年1組 見学	21名	高橋
11月29日	福島小学校 5年2組 見学	17名	新納

3.2.12 教育 (パブリックアウトリーチ)・広報活動

パブリック・アウトリーチ (Public Outreach) とは「研究開発を行う機関による、一般に対する教育普及活動」といった意味で使用される言葉である。

木曾観測所は東京大学大学院理学系研究科に附属する観測天文学の研究施設であり、主とする役割は観測天文学を行う研究者への様々なサポートと観測天文学に関連した研究開発業務である。しかしながら当観測所が運営する観測設備や今までに取得された観測データは、専門の研究者のみならず一般の方々への教育普及活動に対しても非常に効果的に使用し得るという判断から、観測所スタッフを中心として様々なパブリック・アウトリーチ活動が行われている。

3.2.12.1 銀河学校 2024

銀河学校は1998年から続いている全国の高校生を対象とした天文学体験実習である。第27回銀河学校を2024年3月26日(火)–29日(金)に開催した。

参加者は『第二の「ベテルギウス」を探せ!』『超新星の輝きを追いかけて』の2つのテーマの中から1つを選択し、105cm シュミット望遠鏡を使った天体観測、観測データの解析、考察、結果発表という研究の一連の流れを体験した。2019年以來の COVID-19 の制限のない開催となり、参加者は心置きなく研究活動や参加者同士の交流を楽しんでいた。2日目の夜には木曾観測所サポーターズクラブのメンバー(神前氏)に天体観望会を行ってもらい、ちょうど見ごろを迎えていたボンス・ブルックス彗星や木曾の星空を楽しんでもらうこともできた。

銀河学校は観測所所員の他に、天文学教室の学生や銀河学校卒業生を中心とした大学生・大学院生が TA として多く参加しており、次世代の教育・研究者を育てる場ともなっている。

- 対象
全国の高校生
- 日程・場所
2024年3月26日(火) – 29日(金)・木曾観測所
- 担当者
講師: 有馬宣明(天文センター), 谷口大輔(国立天文台)



図 3.16: 発表会の様子 (左), 集合写真 (右)

TA: 島田明音 (愛媛大・M2), 和田空大 (東大・天文・M1), 和久井開智 (東大・天文・M1), 厚地凪 (東大・天文・B4), 桑江優希 (広島大・B4), 米村優輝 (中央大・B3), 村尾和紀 (上智大・B1)

スタッフ: 森, 新納, 近藤, 高橋, 小林

- 参加人数

高校生 22 名 (応募者 46 名から抽選)

- 研究テーマ

第二の「ベテルギウス」を探せ！
超新星の輝きを追いかけて

- 主催

NPO 法人サイエンスステーション

- 助成

国立青少年教育振興機構 子どもゆめ基金

3.2.12.2 理科教育プログラム『星の教室』

星の教室は、文部科学省によって進められている『科学技術・理科大好きプラン』の一環として、サイエンスパートナーシッププロジェクト、スーパーサイエンスハイスクールの施策に則り、2002 年度から木曽観測所で行われている理科教育プログラムである。

実習では、視角を使って距離をもとめる原理を応用し、銀河の画像を使って宇宙の年齢をもとめる。高校生にレクチャー、観測機器の見学、実験、実習などを通じて、天文学をはじめとした自然科学への興味、理解を深めさせることを目的としている。

本年度は長野県の 4 高校に対し実施した。今年度は COVID-19 の制限がなくなり、木曽観測所での合宿形式を基本として開催することができた。飯山高校の星の教室では木曽観測所サポーターズクラブのメンバー（神前氏、川村氏）に天体観望会をお願いし、クオリティの高い機材で惑星などの観望を楽しんでもらった。

参加学校(開催場所)	参加生徒数	実施日時	担当
長野県屋代高校** (於：木曽観測所)	2年生 31名	7月13-14日	主講師：新納, 副講師：高橋, TA: 渡邊一樹(信州大・B4), 大平達也(京都大・B2),
長野県木曽青峰高校 (於：木曽観測所)	2年生 22名	8月2-3日	主講師：高橋, 副講師：今井正亮(天文センター), TA: 大野智洋(東大・地惑・B4)
長野県飯山高校** (於：木曽観測所)	2年生 30名	9月29-30日	主講師：新納, 副講師：有馬宣明(天文センター), TA: 前田祐輔(信州大・M2), 大村充輝(九州大・M1)
長野県伊那北高校 (於：伊那北高校)	1年生 38名	2月27-28日	主講師：高橋, 副講師：櫛引洸佑(天文センター), TA: 安田彩乃(東大・天文・M2), 根津正大(東大・天文・B4)

**SSH(スーパーサイエンスハイスクール指定校)

3.2.12.3 木曽観測所特別公開(2023年9月16日-17日)

毎年恒例である特別公開を9月に実施した。今年はコロナ前の実施形態に戻して、木曽観測所で2日間にわたり施設公開と講演会を実施し、初日の夜に天体観望会を行った。開催時期を9月にずらしたことで、穏やかな気候のもと、来場者にゆったりと見学を楽しんでもらえた。天体観望会は天気に恵まれ、駐車場があふれるほど盛況となった。講演会の様子は、今回も情報システムチームの協力を得て理学系のYouTubeチャンネルでライブ配信を行った。

施設公開・観望会

- 日程・場所

2023年9月16日(土)-17日(日)・木曽観測所

- 内容

望遠鏡見学・観測装置展示・研究紹介展示・SkyAtlas体験・赤外雲モニタ紹介・隕石展示・昼間の星観望・「長野県は宇宙県」紹介(9月16日13-18時, 9月17日10-16時), 天体観望会(9月16日19-21時)

- 参加人数

昼間の公開 約200名, 天体観望会 約150名

- スタッフ

木曽観測所：近藤, 小林, 高橋, 新納, 森

天文センター：瀧田, 橋口, 赤岩, 津々木

情報システムチーム：玉造潤史, 本城剛毅

その他19名(木曽観測所サポーターズクラブ, 木曽星の会, 「長野県は宇宙県」連絡協議会など)

- 共催

名古屋大学宇宙地球環境研究所

3.2.12.4 東大オープンキャンパス(2023年8月2日-3日)

毎年東大本郷キャンパスで開かれている「高校生のためのオープンキャンパス」は東京大学の教育研究に接してもらうことが目的で、2023年もオンラインでの開催となった。ここ数年前から新型コロナウイルス感染対策のためであったが、昨今の猛暑による熱中症対策の意味合いもある。実查のオープンキャンパスでは、説明会、模擬講



図 3.17: 研究紹介展示 (左), 講演会 (右)

義のライブ配信, 録画映像配信, オンラインツールを用いた質問コーナーや相談会などが行われ, 一定の成果はあったと思われる. 木曾観測所はオンデマンド配信の中で, 観測所およびシュミット望遠鏡の紹介の他, 主鏡コーティングの様子を新たに公開した. さらに現在稼働している Tomo-e Gozen Camera の概要と動画観測での成果についても紹介した.

3.2.12.5 天文学教育研究センター特別公開 (三鷹 2023 年 10 月 28 日)

「三鷹・星と宇宙の日」は, 自然科学研究機構国立天文台, 自然科学研究機構アストロバイオロジーセンター, 東京大学天文学教育研究センター, 総合研究大学院大学天文学専攻の特別公開イベントである. 新型コロナウイルス感染症の影響により, 2020 年と 2021 年はオンラインによる開催, 2022 年は現地開催とオンラインイベント両方を実施するハイブリッドの形態で開催だったが, 2023 年は申し込み制による人数制限はあったものの, オンサイトによる開催となった (講演会のライブ配信は継続) .

天文学教育研究センターでは, メイン講演として特別公開の 2023 年のメインテーマである「スーパーコンピュータと AI で探る宇宙」に合わせて, 新納助教による講演「トモエゴゼンによる広視野と時間軸の天文学」が行われた. 他には大学院生によるミニ講演会, 各研究グループによる研究紹介も行われた. 木曾観測所は特設ブース (天文学教育研究センター会議室) にてトモエゴゼン計画や期待されるサイエンスについての紹介ポスターを掲示した他, トモエゴゼンカメラの開発の歴史を示した製作物や実物大模型も展示した. さらにトモエゴゼンの画像を閲覧・検索できる web インターフェイス「SkyAtlas」を参加者が操作できるようなデモンストラーションを大型ディスプレイを使って行われた.



図 3.18: 特別公開木曾観測所ブースの様子

3.2.12.6 広報用グッズの制作

クリアファイル

川村晶氏撮影の星景写真を用いたクリアファイル作成し、特別公開やその他イベントで配布した。



図 3.19: クリアファイル

カレンダー

木曽観測所の広報を目的としたカレンダー (B2 版) を制作した。2015 年のカレンダーで使用したアンドロメダ銀河の画像 (KWFC で撮影) を用いて、イラストレーターの若尾寛子氏にデザインを依頼した。制作したカレンダーは木曽観測所、東京大学、天文学コミュニティー、教育機関等に幅広く配布された。

3.2.12.7 その他のアウトリーチ活動

特別授業・見学・観望会

実施日時	実施場所・内容	人数	担当職員
4月23日	日食ツアー同窓会 見学	9名	近藤
6月15日	伊那小学校6年生 見学	30名	新納, 近藤, 森
6月27日	NESCU-IIDA 見学	4名	高橋
8月20日	おんたけ休暇村 見学	30名	高橋
9月1日	大町岳陽高校同窓会松本支部 見学	8名	近藤
11月7日	長野県プラネタリウム連絡協議会 見学	20名	新納
11月15日	長野県就労準備支援事業 見学	7名	高橋

3.2.12.8 プレスリリース

本年度はプレスリリースは行われなかった。



図 3.20: 2024 年のカレンダー

3.2.12.9 その他 各メディアでの紹介

1. 新聞・Web ニュース

4月2日	宇宙×信州 もっと身近に	信濃毎日新聞 27 面
4月3日	木曾観測所 天文の魅力発信	中日新聞 9 面
7月13日	雲の隙間狙った天体撮影可能に	信濃毎日新聞 27 面
8月28日	知・究・学 星空と宇宙のはなし (7)(M42 画像使用)	信濃毎日新聞 9 面
9月4日	知・究・学 星空と宇宙のはなし (8)(M42 画像使用)	信濃毎日新聞 9 面
9月16日	天文台を一般開放	市民タイムス 1 面
9月18日	木曾観測所で宇宙間近に	市民タイムス 3 面
9月20日	木曾観測所にファン歓喜	読売新聞 27 面
12月2日	巨大望遠鏡 児童びっくり	市民タイムス 1 面
1月1日	50 周年 御嶽山麓に流星の絆	市民タイムス 46 面
1月1日	歴史は、未来になる	信濃毎日新聞 65 面
1月18日	天文・科学好きな高校生の参加募る	信濃毎日新聞 19 面
1月25日	3月に銀河学校 参加者募集	市民タイムス 1 面
2月22日	「はやぶさ2」向かう小惑星とは	毎日新聞 13 面
3月8日	「メタボな星」ほど寿命は短い	信濃毎日新聞 18 面
3月27日	宇宙好き高校生が集結	市民タイムス 23 面
3月28日	全国の高校生が天体研究	中日新聞 電子版
3月31日	銀河学校	市民タイムス 23 面

2. 雑誌・情報誌

木曾シュミットで研究体験「銀河学校 2023」	星ナビ	2023 年 8 月号
木曾観測所および名古屋大学太陽地球環境研究所	天文月報	2023 年 9 月号
特別公開のお知らせ	天文ガイド	2023 年 9 月号
	星ナビ	2023 年 9 月号
	ニュートン	2023 年 10 月号
「銀河学校 2024」参加者募集	天文月報	2024 年 1 月号
	星ナビ	2024 年 1 月号
	天文ガイド	2024 年 2 月号
	ニュートン	2024 年 2 月号

3. 書籍・出版物など

2023 年 5 月	書籍「2024 大学入学共通テスト過去問レビュー 地学基礎・地学」
	写真「プレアデス星団」使用
2023 年 11 月	學士會会報 963 号「宇宙の言の葉を尋ねて 第六回」
	写真「アンドロメダ銀河」使用
2024 年 3 月	書籍「宮沢賢治と宇宙」
	写真「アンドロメダ銀河」使用

4. その他

8 月 5 日-8 月 27 日	長野県伊那文化会館 プラネタリウム
	「トモエゴゼンは眠らない」

3.3 施設, 設備

3.3.1 観測所

木曽観測所は, 山頂の主要施設 (通常はこれを木曽観測所と呼ぶ) と上松町の上松連絡所から成る. 山頂の主要施設は, 海拔 1120 m, 長さ約 1 km の尾根に位置する木曽町, 王滝村, 上松町の三ヶ町村にまたがり, 村有, 組合有, 共有, 個人有 等からの借地に置かれた本館, シュミット観測室, 夜天光観測室 等から成る. 本館は, 事務室, 研究室, 仮眠室, 食堂, 測定機室, 実験開発室, 写真暗室, 変電室, ボイラー室 等からなる. シュミット観測室は, シュミット望遠鏡を入れるドームとその関連設備を内包する. シュミット望遠鏡の中心不動点 (WGS84) は, 海拔 1130 m, 測地位置 東経 137 度 37 分 31.5 秒, 北緯 35 度 47 分 50.0 秒である.

	建築延面積	建築年
本館	1,285 m ²	1974 年
シュミット観測室	701 m ²	1974 年
夜天光観測室	105 m ²	1974 年
夜天光赤道儀室	18 m ²	1974 年
揚水ポンプ室	8 m ²	1974 年
圧力ポンプ室	19 m ²	1974 年
画像処理室	71 m ²	1985 年
教育・共同研究室	82.9m ²	2004 年
建物小計	2,290 m ²	
敷地小計	64,822 m ²	(借地)

- 上松連絡所及び職員宿舎 〒 399-5607 長野県木曽郡上松町大字小川 1935 番地

	建築延面積	建築年
上松連絡所	72 m ²	1974 年
職員宿舎	256 m ²	1977 年
建物小計	328 m ²	
敷地小計	686 m ²	(個人有の借地)

- 建物, 敷地総面積

建物合計 2,618 m²

敷地は次のように三ヶ町村に跨がっている.

町村	面積	建物
木曽町	32,605 m ²	観測所
王滝村	27,494 m ²	観測所
上松町	4,723 m ²	観測所
上松町	686 m ²	連絡所・職員宿舎
敷地合計	65,508 m ²	

3.3.2 105cm シュミット望遠鏡

	直径	厚み	材質	重量
補正板	105cm	2cm	UBK7	48kg
主鏡	150cm	24cm	CERVIT	1350kg

	頂角	直径	分散 (於 $H\gamma/A$ band)	重量
対物プリズム 1	2°	105cm	800/3800 $\text{\AA}/\text{mm}$	121kg
対物プリズム 2	4°	105cm	170/1000 $\text{\AA}/\text{mm}$	245kg

焦点距離 330cm	像スケール 62.6 秒/mm
口径比 F/3.1	視野 $6^\circ \times 6^\circ$

3.3.3 30cm 望遠鏡

表 3.5: 主な仕様

望遠鏡	高橋製作所 ミューロン (300 Dall-Kirkham 式)
口径	300 mm
焦点距離	3572 mm
望遠鏡架台	SHOWA 25E 赤道儀
赤道儀制御器	ATLASTAR basic
フォーカス制御ソフト	Focus Infinity ver1.2
天体導入ソフト	ステラナビゲーター ver.11
冷却 C-MOS カメラ	4/3 型 ASI294MC/Pro
一眼デジタルカメラマウント	DX-WR (Canon/Nikon)
天候・望遠鏡指向方向監視カメラ	1/2.8 型 ASI290MC+F1.4/3-8mmCCTVfl4.0m
望遠鏡姿勢監視カメラ	1/2.8 型 ASI290MC+F1.4/3-8mmCCTVfl4.0m

3.3.4 広視野動画カメラ Tomo-e Gozen

装置仕様

イメージセンサー	CANON 35MMFHDXM
センサータイプ	35 mm サイズ表面照射型 CMOS イメージセンサー マイクロレンズアレイ付, 反射防止コート処理カバーガラス付
センサーフォーマット	2,160 × 1,200 画素 / チップ (全画素) 2,000 × 1,128 画素 / チップ (感光画素)
センサーチップ数	84 チップ
画素サイズ	19 μm
画素スケール	1.189 秒角
視野角	39.7 分角 × 22.4 分角 × 84 チップ = 20.8 平方度
光電子変換係数	波長 500 nm (ピーク波長) にて 0.72
(画素開口 × 量子効率)	波長 380 nm と 710 nm にて 0.36
ビーム効率	視野中心より 2 度以上離れた視野にて低下
(主鏡の周辺によるけられ)	視野最外にて視野中心の 50 % に低下
フィルター	透過窓
インバースゲイン係数	0.23 電子/カウント (High ゲイン設定) 0.94 電子/カウント (Mid ゲイン設定) 2.4 電子/カウント (Low ゲイン設定)
読み出しノイズ	2.0 電子 (High ゲイン設定) 4.1 電子 (Mid ゲイン設定) 9.2 電子 (Low ゲイン設定)
ウェル深さ	6,000 電子 (High ゲイン設定)
(線形性 <5 %)	25,000 電子 (Mid ゲイン設定) 52,000 電子 (Low ゲイン設定)
暗電流	0.5 電子/秒/画素 (センサー温度 290 K) 6.0 電子/秒/画素 (センサー温度 305 K)
熱設計	受動的冷却 (温度制御無し)
読み出しによるオーバーヘッド	ローリングシャッター読み出しのためゼロオーバーヘッド
フレームレート (最大)	2 フレーム/秒 (全領域読み出し) 68.8 フレーム/秒 (部分領域読み出し) 読み出し領域依存性
生画像ファイル	16 ビットキューブ FITS 4.9 MB / フレーム (全領域読み出し)
データ生成レート (最大)	830 MB/秒 = 30 TB/夜 (全領域読み出し, 2 フレーム/秒, 10 時間)

3.3.5 遠隔自動観測システム

Tomo-e Gozen による観測はキューシステムを通して実行される設計となっている。観測者は観測命令を記載したスクリプト (Recipe と定義) を作成し、観測キューシステムに登録することで観測を行う。観測キューシステムへの登録は VPN 接続を通して行えるため、遠隔での観測が可能となっている。望遠鏡・装置の状態や観測の進捗は、Web アプリケーションにより可視化されており、VPN 接続を通して Web ブラウザで確認できる。観測に関する連絡やエラーの通知などは、ビジネスコラボレーションハブ「Slack」を使って、観測者/開発者およびプロジェクトメンバーで共有している。観測条件の判定は、観測条件判定プログラムを用いて行っている。観測キューシステムと観測条件判定プログラムが連携し、天候に応じて自動で観測を開始/停止する自動観測を実現している。

3.3.5.1 観測条件判定プログラム

木曽観測所屋上の気象観測機器（観測サポート機器を参照）によって約1分おきに取得される気象情報とその時の太陽高度から観測の可否を判定し、Slackへ観測可否を通知する。また、太陽高度が -3° を超えるか、どれか1つでも気象データが観測中断・終了条件を満たした場合には、ドームスリットを閉める。表3.6に観測の開始・再開条件および中断・終了条件を示す。

表 3.6: 観測の開始・再開条件および終了・中断条件

判定項目	開始・再開条件	中断・終了条件
雨滴	雨滴を検知したセンサ数が1以下	雨滴を検知したセンサ数が2以上
湿度	95%未満	96%以上
霧	視程 3500m 以上	視程 2500m 未満
視程の時間変化（10 分間の最大最小値の差）	10 分間の平均に対して 20%以下	10 分間の平均に対して 30%以上
雲（外気温から推定した快晴時の放射強度と観測された放射強度の比）	1.05 以下	1.12 以上
太陽高度	-10° 未満	-10° 以上

3.3.6 観測サポート機器: 気象観測機器と監視カメラ

本館屋上に気象観測機器とそれら機器のための制御箱が設置されている。本館屋上には計算機室から100VとLANの配線を繋ぎ、電源コンセントとPoE対応のネットワークコンセントを持つ箱が設置されている。また、そのボックスには計算機室と直接繋がったケーブルなどを通すために汎用的に使える管も用意されている。

3.3.6.1 可視全天カメラ

可視全天カメラは、市販のデジタルカメラを使用、制御PCで撮影のトリガをかけ撮影を行い運用している。今年度、カメラと制御PCが相次いで壊れたため、同じ機種と交換した。その際、PCの故障について、ケースに内蔵していた除湿器が上手く働かず、結露したことが壊れた原因だと分かった。そのため、除湿器を外し、代わりに乾燥剤を入れ、それを定期的に交換する方法に変更した。システムの仕様は以下のテーブルの通りである。

カメラ	Nikon D3500
制御 PC	Interface 社製 Linux
観測範囲	天頂角 0-90 度の範囲
観測波長	可視光
観測頻度	2 分に 1 度
設置場所	木曽観測所本館屋上

3.3.6.2 気象ステーション

Vaisala 社ウェザートランスミッター WXT520 を本館屋上に設置し、風速、風向、雨量、温度、湿度、気圧を毎分1回の頻度で測定している。環境監視用計算機でそれらデータを気象監視データベースへ記録するとともに、観測者の閲覧可能な web ページに表示している。

3.3.6.3 赤外線放射計

上空の赤外線放射温度を測定する機器 AAG CloudWatcher を観測所本館屋上に設置し、ほぼ天頂まわりの空の 72 度の赤外線放射を測定している。環境監視用計算機で毎分 1 回の頻度で気象監視データベースへ記録するとともに、観測者の閲覧可能な web ページでの表示を行っている。

観測範囲	天頂角 0-36 度の範囲
観測波長	8-12 ミクロン
観測頻度	1 分に 1 度測定
設置場所	木曽観測所本館屋上

3.3.6.4 霧センサ

望遠鏡およびカメラが霧に曝されるのを防ぐため Optical Sensors 社の霧センサ Sten Löfving を 2013 年に導入した。毎分 1 回の頻度で visibility データ (0-10000m) を取得し、環境監視用計算機で気象監視データベースへ記録するとともに、観測者の閲覧可能な web ページでの表示を行っている。霧センサの仕様は以下の通りである。

レーザー出力	5 mW 以下
レーザー波長	650 nm
設置場所	木曽観測所本館屋上

3.3.6.5 雨滴センサ

雨滴の検出のため、アスザック社の AKI-1805 を 3 台と Vaisala 社製の DRD-11A を 3 台使用している。環境監視用計算機により、毎分 1 回の頻度でデータを取得し、気象監視データベースへ記録するとともに、閲覧 web ページに表示する。本年度、経年劣化で感度低下していた AKI-1805 の 3 台を新しいものに交換した。

3.3.6.6 温湿度計

望遠鏡鏡筒内とドーム観測床に T&D 社のおんどとりをそれぞれ 1 台ずつ設置し、環境監視用計算機で温度と湿度の測定、気象監視データベースへ記録するとともに、観測者の閲覧可能な web ページでの表示を行っている。

3.3.6.7 監視カメラ（屋内、屋外）

望遠鏡やドーム、敷地内の安全確認のため、以下に示しているテーブルのようにドーム内 4 ヶ所、ドーム制御室 1 ヶ所、ドーム展示室 1 ヶ所、ドーム外 2 ヶ所、本館玄関前 1 ヶ所の計 9 ヶ所に監視カメラを設置している。環境監視用計算機で画像は毎分 1 回取得し、気象監視データベースへ記録するとともに、観測者が閲覧可能な web ページに表示している。

3.3.7 計算機

木曽観測所では観測およびデータの整約用に以下のような計算機を運用している。

設置場所	撮影箇所	機種名
ドーム三階西側床	観測床&望遠鏡西側	Panasonic BB-SC384B
ドーム三階西側床	望遠鏡西側	Panasonic BL-C111
ドーム三階北東側床	望遠鏡東側	Panasonic BB-HCM715
望遠鏡鏡筒	ドーム三階北側	Panasonic BB-HCM715
制御室天井	制御室	Panasonic BB-SC384
展示室天井	展示室	Panasonic BB-HCM715
ドームキャットウォーク北西側	ドーム北西側道路&御嶽山	Panasonic DG-SP305
ドーム東側屋外ポール	ドーム北東側道路	Canon VB-H45
本館正面玄関天井	本館正面玄関前	Panasonic BB-HCM715

3.3.7.1 望遠鏡・ドーム制御用計算機

計算機「ontake」で、望遠鏡、ドーム、およびドームフラット用ランプ・ND フィルターの制御を行っている。望遠鏡やドーム駆動に関わる各種コマンドの実行やステータス取得などは、ネットワークを介して観測所内のどこからでも行うことができる。フラット制御のために、PCI 規格の Interface 社の PCI-2726CL ボードがインストールされている。また、PCI-Express 規格の RS232c 増設ボードとマザーボードのポートと合わせ、必要な 3 個の RS232c ポートを備えている。

3.3.7.2 環境監視用計算機群

計算機「teru」で、環境監視のための以下の機能を運用している。

- 気象観測機器・監視カメラからのデータ取得・保存・表示
- 気象データに応じた観測条件判定・通知
- 望遠鏡・Tomo-e Gozen の状態監視

また、システムに問題が発生した場合にいち早く察知するため、本館玄関ホールにディスプレイを 6 枚設置して、天候、望遠鏡ステータス、カメラステータス、チャット (Slack) が一覧できる環境を構築している。

3.3.7.3 Tomo-e Gozen 観測用計算機

Tomo-e Gozen は多くの計算機によって運用されている。望遠鏡ドーム 1 階にあるドーム計算機室には 3 台のサーバラックが設置されており、それぞれデータ取得用計算機、一時保存用バッファ計算機、データ解析用計算機が格納されている。データ取得用計算機はカメラの駆動と 4 つのカメラモジュールから生成されるデータの取得を担当している。一時保存用バッファ計算機はカメラから出力された画像データを数日間保管する役割になっている。一時保存用バッファ計算機に保管されたデータは一定の期間が経過すると自動的に消去される。データ解析用計算機は一時保存用バッファ計算機からデータを取得して、あらかじめ指定された解析を実行して解析結果を後述するデータアーカイブシステムに保存する。それぞれの計算機の名前と役割を表 3.7, 3.8, 3.9 に示す。

本館計算機室にはデータアーカイブシステムが設置されている。データ解析用計算機によって整約されたデータはデータアーカイブシステムのストレージノードに保管される。また、データは管理用計算機のデータベースに登録される。それぞれの計算機の名前と役割を表 3.10 に示す。また、本館の観測室には観測に使用するためのコンソール計算機が設置されている (表 3.11)。

Tomo-e Gozen 観測用計算機は木曾観測所のネットワークだけでなく 10 Gbps のネットワークでも接続されており、データの転送や観測運用では主に 10 Gbps の高速ネットワークを使用している。ドーム計算機室と本

表 3.7: Tomo-e Gozen データ取得用計算機

計算機名	設置場所	役割
tomoe-gozen	ドーム計算機室 (ラック#1)	観測全体のコントロール
tomoedaq-master	ドーム計算機室 (ラック#1)	データ取得プロセス管理
tomoedaq-slave0	ドーム計算機室 (ラック#1)	データ取得/画像生成 (Q1)
tomoedaq-slave1	ドーム計算機室 (ラック#1)	データ取得/画像生成 (Q2)
tomoedaq-slave2	ドーム計算機室 (ラック#1)	データ取得/画像生成 (Q3)
tomoedaq-slave3	ドーム計算機室 (ラック#1)	データ取得/画像生成 (Q4)

表 3.8: Tomo-e Gozen 一時保存用バッファ計算機

計算機名	設置場所	役割
tomoebuf-master	ドーム計算機室 (ラック#2)	バッファストレージ管理
tomoebuf-node0	ドーム計算機室 (ラック#2)	ストレージノード#1
tomoebuf-node1	ドーム計算機室 (ラック#2)	ストレージノード#2
tomoebuf-node2	ドーム計算機室 (ラック#2)	ストレージノード#3
tomoebuf-node3	ドーム計算機室 (ラック#2)	ストレージノード#4

表 3.9: Tomo-e Gozen データ解析用計算機

計算機名	設置場所	役割
tomoered-node0	ドーム計算機室 (ラック#3)	データ解析用ノード#1
tomoered-node1	ドーム計算機室 (ラック#3)	データ解析用ノード#2
tomoered-node2	ドーム計算機室 (ラック#3)	データ解析用ノード#3
tomoered-supoort	ドーム計算機室 (ラック#3)	データ解析用ノード#4

館の間は 10 Gbps の光ファイバで接続されている。10 Gbps のネットワークは SINET に接続し、観測所外部とも高速に通信が可能となっている。Tomo-e Gozen 観測用計算機は VPN を通してアクセス可能であり、ネットワーク環境さえ整っていれば木曽観測所外部から観測できる。

表 3.10: Tomo-e Gozen データアーカイブシステム

計算機名	設置場所	役割
tomoearv-master	本館計算機室 (ラック#1)	アーカイブ用データベース管理
tomoearv-node0	本館計算機室 (ラック#1)	ストレージノード#1
tomoearv-node1	本館計算機室 (ラック#1)	ストレージノード#2
tomoearv-node2	本館計算機室 (ラック#1)	ストレージノード#3
tomoearv-node3	本館計算機室 (ラック#2)	ストレージノード#4

表 3.11: Tomo-e Gozen 観測用計算機

計算機名	設置場所	役割
kaneto	本館観測室	観測運用
encke	本館観測室	観測補助

3.3.7.4 Tomo-e Gozen 研究用計算機

本館の計算機室にはサイエンスケースごとに Tomo-e Gozen のデータを解析するための計算機が導入されている。現在は差分処理によって突発天体を検出するための計算機 (突発天体サーベイ), 光度曲線の周期解析を実行するための計算機 (HeSO サーベイ), 地球接近小惑星サーベイのための計算機, 重ねあわせ法によって微小な地球接近小惑星を検出するためのアルゴリズムを試験するための計算機が運用されている。各計算機の名前と用途を表 3.12 にまとめた。

表 3.12: Tomo-e Gozen 研究用計算機

計算機名	設置場所	役割
shinohara1	本館計算機室 (ラック#3)	突発天体サーベイ
shinohara2	本館計算機室 (ラック#3)	突発天体サーベイ
shinohara3	本館計算機室 (ラック#3)	突発天体サーベイ
shinohara4	本館計算機室 (ラック#3)	突発天体サーベイ
shinohara5	本館計算機室 (ラック#3)	突発天体サーベイ
shinohara6	本館計算機室 (ラック#3)	突発天体サーベイ
shinohara7	本館計算機室 (ラック#3)	突発天体サーベイ
shinohara8	本館計算機室 (ラック#3)	突発天体サーベイ
shinohara9	本館計算機室 (ラック#3)	突発天体サーベイ
shinohara10	本館計算機室 (ラック#3)	突発天体サーベイ
shinohara11	本館計算機室 (ラック#3)	突発天体サーベイ
gwkiso	本館計算機室 (ラック#3)	突発天体サーベイ
gwdata	本館計算機室 (ラック#3)	突発天体サーベイ
lustre	本館計算機室 (ラック#3)	突発天体サーベイ
shinohara12	本館計算機室 (ラック#4)	突発天体サーベイ
gwdata2	本館計算機室 (ラック#4)	突発天体サーベイ
lustre2	本館計算機室 (ラック#4)	突発天体サーベイ
kagayaki	本館計算機室 (ラック#4)	突発天体サーベイ
naginata	本館計算機室 (ラック#5)	HeSO サーベイ
apollo	本館計算機室 (ラック#5)	地球接近小惑星サーベイ
neo1	本館計算機室	地球接近小惑星 (重ねあわせ法)
fpga1	本館計算機室	地球接近小惑星 (重ねあわせ法)
gpu002	本館計算機室	デブリサーベイ

3.3.7.5 Tomo-e Gozen 情報公開用計算機

Tomo-e Gozen の観測データやウェブページを公開するための計算機を本郷キャンパス理学部 1 号館の研究科共通サーバスペースに設置している。計算機本体と、そこに接続するディスクエンクロージャ 2 台の計 3 台で構成されており、合計で約 400 TB のディスク容量を有する。ウェブページの公開にあたって、東大理学部の発行するサーバ証明書を取得して運用しており、また定期的なセキュリティアップデートを行っている。木曽観測所が SINET6 に接続されたことで、定常的に 5 Gbps 程度の速度で観測所内の Tomo-e Gozen 計算機と通信可能となっている。望遠鏡の駆動状況や気象情報等の一部のデータはリバースプロキシによって木曽観測所内の計算機から提供されている。

3.3.7.6 教育/研究用共用計算機

木曽観測所を利用する複数の大学の大学生、大学院生向けの天文学実習や、銀河学校、星の教室などの高校生向け天文学実習などに利用する計算機を 12 台用意している (4 台故障のため、使用可能な計算機は 8 台)。これ

らの計算機は2013年度に導入されたWindowsPCで、Windows 10で動作している。Windows環境にはFITS画像解析のためのマカリ、ds9の他、MSOfficeがインストールされている。また、VirtualBoxを用いた仮想環境でLinuxが動作するようになっており、Linux環境ではIRAFが使用可能となっている。現在は実習でTomo-e Gozenのデータを扱うようになり、教育用計算機的能力不足を感じるようになったため、2020年度末に新たな計算機「fopm-kiso」を導入した。Linux環境を使用する実習では、従来のWindowsPCをコンソールとして使い、fopm-kisoで解析を行っている。

3.3.7.7 国立天文台アーカイブシステム SMOKA 計算機

木曽観測所で取得した観測データや気象データを国立天文台天文データセンターのサーバーへ転送するための国立天文台アーカイブシステム SMOKA 計算機が本館計算機室に3台設置されている。Tomo-e Gozenによって取得した生データの一部をSMOKAにアーカイブするため、ドーム計算機室にある一時保存用バッファ計算機と本館計算機室にあるSMOKA計算機は、独立した10 Gbpsファイバでつながっており、Tomo-e Gozenが取得した生データを転送できるようになっている。

3.3.7.8 事務業務端末

東京大学の事務業務端末が1台事務室に設置されている。本端末は所内ネットワークにはつながっておらず、大学内の別系統のネットワークにつながっている。

3.3.8 観測所のネットワーク設備

木曽観測所では以下のようなネットワークを運用している。

3.3.8.1 1 Gbps 所内ネットワーク・インターネット回線

観測所の基本ネットワークとして、理学系研究科管理のネットワーク（NTT フレッツ光の回線・VPN サービスを利用）を利用している。観測所内の各施設間（本館-ドーム-夜天光）は1 Gbpsの光ファイバで接続され、所内ネットワークを構築している。6月に各施設の理学系スイッチの機器更新が行われた。

3.3.8.2 10 Gbps 所内ネットワーク

2016年度より所内でのTomo-e Gozen観測データ転送用に10 Gbpsのプライベートネットワークを運用している。ドームと本館の間は10 Gbpsのシングルモードファイバで接続され、10 Gbpsの通信系が構築されている。Tomo-e Gozen観測・解析用とSMOKA用の2系統のネットワークがあったが、Tomo-e Gozen観測・解析用は7月にSINETへ接続し、外部ネットワークと統合した。

3.3.8.3 10 Gbps 外部ネットワーク（SINET）

2023年3月に木曽広域連合の光ファイバを利用した木曽観測所からSINET6松本DCまでの10 Gbps専用線が開通し、2023年4月1日に木曽広域連合と木曽観測所の間で「木曽地域高度情報化網接続協定」を再締結して運用している。所内のTomo-e Gozen観測・解析用計算機を本回線に接続し、所内外問わず10 Gbpsで通信が行えるようになった。

3.3.8.4 無線 LAN

無線 LAN のアクセスポイントが、理学系研究科の情報システムチームにより、本館 1 階と講義室（2013 年～）、本館 2 階（2017 年～）に設置されている。2022 年度からはさらに 7 か所（本館 1 階に 2 か所、本館 2 階に 1 か所、食堂、ドーム制御室、ドーム展示室、夜天光観測室）にアクセスポイントが設置されている。このアクセスポイントでは、東大の教職員および学生向けの理学系研究科の無線 LAN（sos）と全学無線 LAN サービス（0000UTokyo）、国際無線 LAN ローミング基盤（eduroam）の他、ゲスト用に一時的なアカウントの発行が可能な UTokyo-Guest の利用も可能である。その他、所内ネットワーク用の無線アクセスポイントも所員向けに設置している。

3.3.8.5 VPN

外部から所内ネットワークへのアクセスは、OpenVPN を用いたソフトウェア VPN によって実現している。VPN は Tomo-e Gozen の観測・開発用に学外の共同研究者にも公開している。KWFC のリモート観測用に使用していた VPN は運用を停止している。

3.3.9 外部機関管理機器

3.3.9.1 名古屋大学 GPS 観測装置

名古屋大学地震火山研究センターの GPS 観測装置が、2015 年から夜天光観測室に設置されている。GPS アンテナが夜天光観測室玄関上に設置され、GPS 受信機・データ通信装置が収納された観測機材 BOX が室内に設置されている。御嶽山周辺における地殻変動観測網を強化することで御嶽火山活動およびその周辺での地震活動への理解を深めることを目的とした装置であり、地域貢献の一環として、観測所が設置場所と電力の提供を行っている。

3.3.9.2 星空ライブカメラ

星空ライブカメラは一般市民向けの科学の教育と普及、環境問題としての光害、木曾の星空環境の良さ、木曾観測所の研究・社会貢献活動を広く周知することを主目的として、東京大学と株式会社朝日新聞社の産学連携により 2019 年 4 月に運用が開始された。カメラはシュミット望遠鏡ドームと夜天光観測室を含む北東の空を望むように本館屋上に設置されている。1 年を通して昼夜途切れなく撮影される動画は、YouTube 社の動画ライブ配信サービス (YouTube ライブ) を通じて広く一般に公開されている。2021 年 1 月に開設された「朝日新聞宇宙部」には天文・宇宙に特化したサブチャンネルがあり、木曾観測所のほかハワイ・マウナケア山頂すばる望遠鏡などに設置されたライブカメラ映像も配信され、木曾観測所とは異なる天域、時刻で星空を楽しめるようになっている。（現在は築地市場、神宮外苑、福島谷川溪谷、香川県丸亀からの配信も行っている。）

2020 年 11 月には朝日新聞社と星空ライブカメラの運用に関する協定が正式に締結され、撮影機材と YouTube チャンネルコンテンツの運営は朝日新聞社、インフラの供給と装置の維持は東京大学木曾観測所が担当している。Tomo-e Gozen の自動観測システムと連動することで、気象状況や観測状況を YouTube ライブのチャットサービスへの自動投稿も行っている。

2023 年 7 月には、4K 画質のライブ配信に対応するためカメラと計算機のリプレイスを行った。その際本館屋上から計算機室までの HDMI 配線の新設なども行った。現在は年に数回マイナーな対応はあるものの、問題なく定常運用が行われている。システム概要を表 3.13 に纏める。

表 3.13: 星空ライブカメラシステム

カメラ	SONY FX3 (2023 年度に更新) HDMI 出力
レンズ	APS-C 用 16mm F/1.4
視野	水平 70 度, 上下 50 度
感度設定	ISO 100-204800
設置場所	本館屋上
撮影方角	北東の空
配信先	YouTube 朝日新聞社チャンネル

3.3.9.3 名古屋市科学館全天カメラ

名古屋市科学館と協力し、木曽観測所に夜間星空撮影が可能な全天カメラが設置されている。円周魚眼で得られる全天画像を広く公開することで、一般市民向けの科学教育に資すること、ならびに得られた星空画像を対象とした研究活動を行うことを目的としている。さらにこれらの画像や活動そのものを通じて、環境問題としての光害や、木曽の星空環境の良さ、木曽観測所での研究・社会貢献活動などを広く周知することも目的の一つである。

場所は、全方位が開けており、シュミットドームや御嶽山が見通せる夜天光観測棟の屋上である。観測所は場所以外に、電源、通信、必要に応じたメンテナンスをサポートし、名古屋市科学館はカメラ本体を含むシステムの提供および名古屋市科学館のホームページを通じて画像配信を行う。日中は1時間毎、夜間は10分毎に撮影・配信される画像は、愛知県名古屋市にある名古屋市科学館屋上に設置された同型の全天カメラと併せて公開されており、その比較から空の明るさや気象の地域差も把握することができる。

2020年1月の設置以降、大きなトラブルもなく順調に運用を継続している。公開している画像は名古屋市科学館のホームページからダウンロードすることができる。

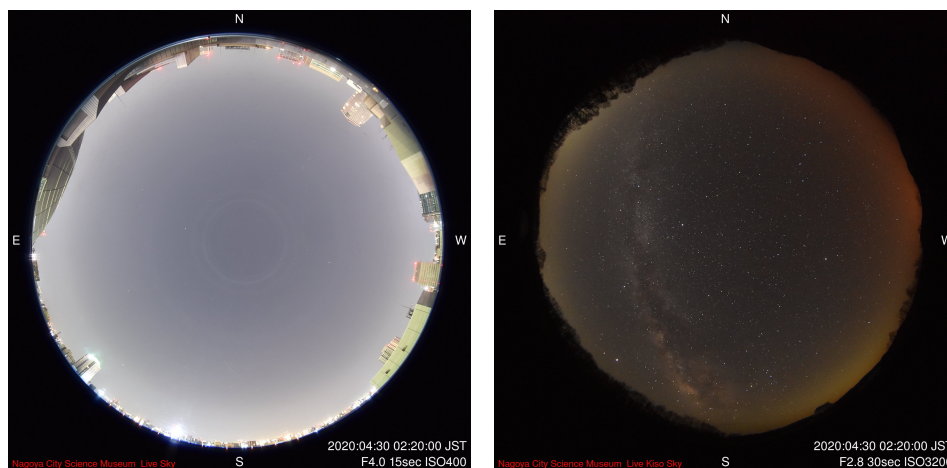


図 3.21: 名古屋と木曽の星空の比較

3.3.9.4 DIMS / 流星観測システム

DIMS (Dark Matter and Interstellar Meteoroid Study) とは、宇宙全体の質量エネルギーのおおよそ3割を占めると考えられている暗黒物質の候補粒子や、太陽系外から飛翔する高速の流星体が大気中で高速で飛翔するときの発光を、これまでにない超高感度のカメラで探索を行う国際的な共同研究で、主に甲南大学と日本大学が共同して開発を進めてきた。将来的には米国ユタ砂漠に5台の観測装置を設置し、高速微光天体の速度や

到来方向からのその軌道などを決定する計画であるが、それに先立ち、この観測装置を木曽観測所を含め国内3箇所（他は信州大学、東大宇宙線研明野観測所）に設置、多地点同時観測による高速微光流星のデータ収集と性能評価を行ってきた。運用はネットワークを通じて完全リモートで行われた。木曽観測所とは2019年9月に協定が交わされ、観測所は設置場所とネットワーク、電源のインフラ提供を行ってきた。DIMSは米・ユタ州での運用に向け、2022年12月に機器は取り外され、国内での調整の後国外へ輸送される。なお、DIMSが収納されていた収納箱は、日本大学阿部グループの流星観測システムに流用されている。



図 3.22: 屋上に設置されている外部機関カメラ収納箱（手前）

3.4 運用, 管理

3.4.1 他機関との協力

木曽観測所では様々な機関との協力関係を構築し、研究・教育・地域貢献の幅広い活動を実現している。以下に木曽観測所が他機関と締結している協定・覚書等を示す。

1. 東京大学木曽天文台協力会会則
1971年12月21日, 東京大学木曽天文台協力会
2. 名古屋市科学館木曽全天カメラ設置および運用に関する協定書
2020年4月1日, 名古屋市科学館学芸課天文係
3. 星空ライブカメラの設置運用データと技術利用に関する協定書
2020年11月1日, 朝日新聞社編集局科学医療部
4. Tomo-e Gozen カメラを用いたスペースデブリデータ活用の共同研究
2022年6月24日, デロイト トーマツ リスクアドバイザー株式会社
5. 共同研究契約書 (Tomo-e Gozen カメラの画像データを利用した低軌道物体の状況把握技術の開発)
2022年7月1日, 国立研究開発法人宇宙航空研究開発機構 研究開発部門
6. 木曽地域高度情報化網接続協定
2023年4月1日, 木曽広域連合

3.4.2 宿泊

平成24年に旅館業経営許可を取得し、旅館営業を行っている。木曽観測所の本年度の滞在者数は下記の通りであった。上松宿舎滞在者数を含めないようにしたため滞在期間(人・日)は減少しているものの、延人数はコロナ前の値を上回った。活動が平常化するとともに、大学実習の増加などで観測所の活動が活発になっている様子がうかがえる。

所属機関	延人数(人)	滞在期間(人・日)
東京大学(天文センター)	17	70
東京大学(センター以外)	45	103
国立天文台	11	43
他大学・他機関	132	399
外国	1	2
高校生	105	149
その他	16	25
計	327	791

3.4.3 日誌

2023年	4月1日	木曽観測所サポーターズクラブ設立総会
	5月30日-31日	木曽シュミットシンポジウム(於:木曽郡民会館・Zoom)
	6月19日	産業医巡視
	9月16日-17日	木曽観測所特別公開
	11月22日	木曽観測所共同利用相談会(於:天文センター・Zoom)
2024年	3月26日-29日	第27回 銀河学校

3.4.4 役務, 営繕工事等

2023 年	4 月	建物定期報告検査
	6 月	ボイラー室制御盤コンデンサ交換 屋上-計算機室 配管工事 理学系スイッチ交換
	7 月	セレナ点検
	8 月	ドームトイレ換気扇交換
	9 月	夜天光 光学機械室換気扇設置 構内草刈り 本館 スズメバチ巣駆除 火災報知器保守点検 暖房ボイラー点検
	10 月	灯油タンク点検 浄化槽法定検査
	12 月	遮光カーテン増設
2024 年	1 月	浄化槽清掃 本館西側物置設置
	2 月	厨房レンジフード・エアコンクリーニング セレナ車検
	3 月	電気室改修工事 火災報知器保守点検 上松宿舎 202 号室エアコン交換 夜天光屋上防水工事・食堂外補修工事

3.4.5 晴天率・観測統計

2014 年からの晴天率・観測統計を図 3.23 に示す。グラフの青色が日効率, 赤色が時間効率, 緑色が晴天率 (自動判定による観測可能時間) を表す。日効率 (観測実施夜数) と時間効率 (観測実施率) は, KWFC と Tomo-e Gozen の観測実績より, それぞれ以下の定義で算出した。

- KWFC

日効率：オブジェクトフレームが 20 exposure / 日 以上撮られている日数の割合

時間効率：オブジェクトフレームが 5 exposure / 時間 または 300 秒積分 / 時間 以上撮られている時間の割合

- Tomo-e Gozen

日効率：オブジェクトフレームが 180 exposure / 日 以上撮られている日数の割合

時間効率：オブジェクトフレームが 45 exposure / 時間 または 250 秒積分 / 時間 以上撮られている時間の割合

2018 年 2 月から 6 月は Tomo-e Gozen のログが整備されていなかったため, 観測効率のデータは存在しない。Tomo-e Gozen の試験観測期間は晴天率に対し時間効率の値が低くなっているが, 2019 年 7 月の自動観測開始以降は効率よく観測が行われていることがわかる。

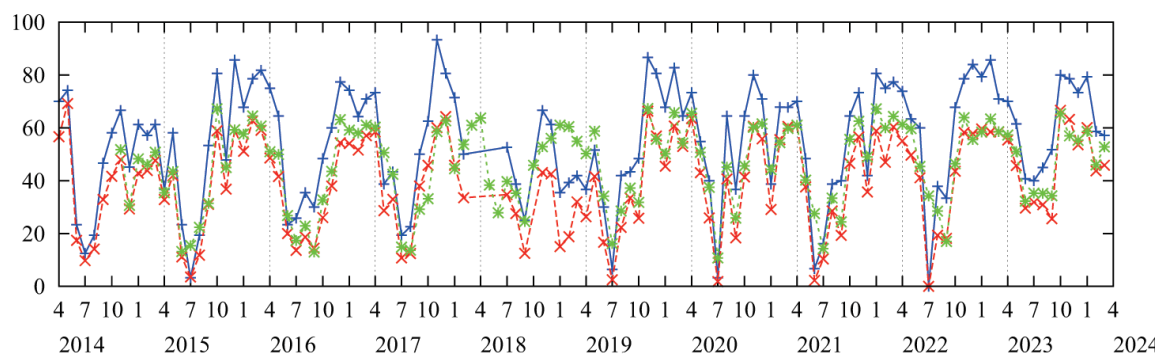


図 3.23: 晴天率と観測効率. 青色が日効率, 赤色が時間効率, 緑色が晴天率を表す.

3.4.6 環境安全衛生

3.4.6.1 産業医巡視

産業医巡視が6月19日に行われた。重大な改善指摘事項はなかった。

3.4.6.2 スズメバチ対応

生活圏内に見つかったスズメバチについて、地元業者にすぐに依頼し、速やかな撤去をおこなった。また、刺された場合にアナフィラキシー・ショックで重篤な容態になることを防止するため、エピペンを備えた。

3.4.7 環境維持・環境整備

木曽観測所は山中の森林環境下にあるため、観測研究・教育環境を保つための環境維持のために常に環境整備が欠かせず、観測所の重要な業務となっている。ここ数年で観測所の敷地内外の伐採（皆伐）が進み、観測・観望環境の大幅な改善が見られているが、その維持のためにも環境整備を系統的にとりまとめて実施する必要性が高くなっている。

3.4.7.1 刈払

毎年梅雨時期、夏、残暑の3回の時期に亘り、観測所敷地全体の草刈り（刈払）、ならびにブローワーなどを用いた掃除を実施している。特に重要なドーム、本館および夜天光施設の3つの建物の周囲は定期的3回以上に細やかに実施しているが、所員全員が協力してこの業務にあたっている。

3.4.7.2 枝打ち

観測所構内の電線にかかりそうな樹木については枝打ちを適宜実施している。倒木がよく見られるが、道路に倒れた分については速やかに切断除去している。また、満天星（どうだんつつじ）など構内の観葉植物のみならず、自然樹木の剪定も適宜行っている。

3.4.7.3 土砂除去

観測所構内道路の両側には側溝が設けられているが、ほとんどが土砂や枯葉に埋もれていて使えない状態になっていた。そのため特に道路が第1ゲートと第2ゲート間の谷を横切るところで降雨後に水や土砂が道路に溢れ出ることが状態化しており、道路やその下の盛土を破壊が問題になる可能性が高まっていた。そこで側溝内の土砂を除去し水が流れやすくするとともに、土砂の元となっている切り通しの斜面の土砂を押し戻したり、枯葉の元となる樹木の伐採等の作業等をこつこつと進めている。

3.4.7.4 山野草ならびに樹木保護

観測所構内には長野県指定希少野生植物であるササユリを始め、海拔1000m以上の高地に特有の数多くの貴重な山野草、樹木が分布している。まずはその分布を適宜調査し、把握することに努めている。この6月には理学系小石川植物園から2名の技術職を招き、2日に亘り観測所敷地内の植物の調査を行った。その結果、高地に特有の興味深い植生が明らかになったが、小石川植物園にとっても高地植物が自然の状態で観察できる貴重な理学系施設となるため、引き続き共同で調査や観察を続けることになった。その一環として、長野県の許可をとりササユリの球根と種を採取し小石川植物園で育成を行った。

3.5 所員

3.5.1 教員および職員

3.5.1.1 木曽観測所

小林 尚人 (准教授, 所長)
 高橋 英則 (助教)
 新納 悠 (助教, 2023/04/01-)
 近藤 莊平 (技術専門職員)
 森 由貴 (主事員)
 中地 紀子 (臨時用務員)

3.5.1.2 天文学教育研究センター

酒向 重行 (准教授)
 瀧田 怜 (特任助教)

3.5.2 外国人来訪研究者

氏 名	所 属	時 期
Michael Richmond	ロチェスター工科大学	2023/05/29-31

3.5.3 木曽観測所共同利用相談会 (東京大学天文学教育研究センター, 2023/11/22)

相談会メンバー	土居 守 (センター長)	
	小林 尚人 (観測所長)	酒向 重行 (天文センター)
	田村 元秀 (東京大学, 欠席)	渡部 潤一 (国立天文台)
	富田 晃彦 (和歌山大学)	田中 雅臣 (東北大学, オンライン参加)

3.5.4 記録事項

1. 科学研究費補助金等

新納 悠	科学研究費補助金 基盤研究 (B) (2020-2024 年度) 「可視光広域高速撮像による高速電波バースト対応天体探査」
酒向 重行	科学研究費補助金 基盤研究 (A) (2021-2024 年度) 「広視野高頻度測光観測と異常検知による秒スケールで変動する宇宙の探査」
酒向 重行	国立天文台共同開発研究 (2023 年度) 「天文用超低雑音可視光カメラモジュールの開発」
瀧田 怜	学際大規模情報基盤共同利用・共同研究拠点 公募型共同研究 (2023 年度) 「Tomo-e Gozen データプラットフォームの開発」
土居 守	光赤外線天文学大学間連携 (2022-2026 年度) 「木曽シュミット望遠鏡超広視野高速 CMOS カメラを活用した光赤外線観測」
木坂 将大 (新納 悠 分担)	科学研究費補助金 基盤研究 (B) (2022-2025 年度) 「中性子星の磁気圏物理から迫る Repeating FRB の解明」
奥村 真一郎 (酒向 重行 分担)	科学研究費補助金 基盤研究 (C) (2023-2025 年度) 「広視野高速サーベイと即時追跡観測による微小地球接近天体の起源と進化の解明」

山本 泰生 科学研究費補助金 基盤研究 (C) (2020-2023 年度)
(酒向 重行 分担) 「半順序関係に基づくストリームデータの劣線形要約」

2. 委員その他

小林 尚人 東京大学未来社会共創推進本部社会連携分科会体験型活動ワーキンググループ 座員
酒向 重行 日本天文学会 会計理事
酒向 重行 東京大学大学院理学系研究科 技術委員
酒向 重行 東京大学大学院理学系研究科 広報委員
酒向 重行 光学赤外線天文連絡会 将来計画検討専門委員会委員

3. 学部大学院講義

教員名	講義名	大学または大学院名	時期
酒向 重行	光赤外線天文学特論 III	東大天文学専攻	2023 年度夏学期
酒向 重行	星間物理学 I	東大天文学科 4 年	2023 年度夏学期
酒向 重行	全学自由研究ゼミナール	東大教養学部	2023 年度夏学期
小林 尚人	全学自由研究ゼミナール	東大教養学部	2023 年度夏学期
高橋 英則	全学自由研究ゼミナール	東大教養学部	2023 年度夏学期
酒向 重行	基礎天文学観測	東大天文学科 3 年	2023 年度冬学期
小林 尚人	天体輻射論 I	東大天文学科	2023 年度冬学期
	恒星物理学特論 IV	東大天文学専攻	(学部大学院共通科目)

4. 学生・大学院生指導

教員名	課程	学生・大学院生氏名	研究テーマ
酒向 重行	博士課程 (D3)	紅山 仁	微小地球接近小惑星の観測的研究
酒向 重行	修士課程 (M2)	津々木 里咲	赤外線全天雲モニタの開発と Tomo-e Gozen 広域サーベイの最適化
酒向 重行	修士課程 (M1)	倉島 啓斗	TAO 可視高速観測装置の概念設計
小林 尚人	修士課程 (M1)	和田 空大	ガウス過程回帰による小惑星の自転周期の推定
酒向 重行	学部生 (B4)	児玉 エ門	TAO 望遠鏡光学調整用スクリーンカメラの開発
小林 尚人	学部生 (B4)	根津 正大	Tomo-e Gozen による T Tauri 型星の短時間変動の検出

5. 学位取得

紅山 仁 2024 年 3 月, 博士 (理学)
"Photometric Observations of Tiny Near-Earth Asteroids during the Close Approaches"
津々木 里咲 2024 年 3 月, 修士 (理学)
「Tomo-e Gozen 広域サーベイの最適化システムの開発」
根津 正大 2024 年 3 月, 学士 (理学)
「Tomo-e Gozen による T Tauri 型星の短時間変動の検出」
児玉 エ門 2024 年 3 月, 学士 (理学)
「TAO 望遠鏡光学調整用スクリーンカメラの開発」

6. 国外出張

- 高橋 英則 2023 年 11 月 23 日-12 月 4 日
TAO サイト (サンペドロ・デ・アタカマ (チリ))
TAO 望遠鏡蒸着装置設置前事前視察, TAO 望遠鏡副鏡回転機構製作, NICE 開発に関する打
ち合わせ
- 高橋 英則 2024 年 3 月 2 日-3 月 25 日
TAO サイト (サンペドロ・デ・アタカマ (チリ))
TAO 望遠鏡設備の輸送についての打ち合わせ, 試走立ち合い