

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

2022 (令和 4) 年度

2023 (令和 5) 年 8 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	10
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	22
1.5.5 太陽系外惑星および星惑星形成	24
1.5.6 太陽系	28
1.5.7 機器・ソフトウェア開発	28
1.6 論文および出版物	29
1.6.1 英文報告	29
1.6.2 和文論文および解説記事	36
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 2022 年秋季年会, 新潟大学 (2022/9/13-9/15)	37
1.7.2	日本天文学会 2023 年春季年会, 立教大学 (オンライン開催) (2023/3/13-3/16)	38
1.7.3	国際研究会	38
1.7.4	国内研究会	42
1.7.5	その他の講演 (談話会等)	44
1.7.6	一般向け講演	44
1.7.7	記者会見, プレスリリース, 新聞報道	45
1.7.8	受賞	46
1.7.9	他大学での講義	46
1.7.10	委員その他	46
1.7.11	科研費等	47
1.7.12	出張記録	48
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 計画の経緯と進捗	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	65
2.5.3	恒星および系外惑星	65
2.5.4	望遠鏡, 観測機器, ソフトウェアの製作と開発	66
2.5.5	TAO 計画	68
2.6	論文及び出版物	80
2.6.1	英文報告	80
2.6.2	和文その他の解説記事	90
2.7	学会, 研究会における発表	90
2.7.1	日本天文学会 2022 年秋季年会, 新潟大学 (2022/09/13-09/15)	90
2.7.2	日本天文学会 2023 年春季年会, 立教大学 (2023/03/13-03/16)	91
2.7.3	国際研究会	92
2.7.4	国内研究会	94
2.7.5	その他の講演 (談話会等)	95
2.7.6	研究会の主催	95
2.8	天文センター談話会	95
2.9	広報普及活動・社会貢献	96
2.9.1	特別公開	96
2.9.2	東大オープンキャンパス	97
2.9.3	普及講演	97

2.9.4	プレスリリース	97
2.9.5	雑誌等取材記事	97
2.10	その他の活動	97
2.10.1	講義等 (学部)	97
2.10.2	講義等 (大学院)	97
2.10.3	各種委員	98
2.10.4	科研費等	98
2.10.5	国外出張	99
第3部	天文学教育研究センター木曾観測所	103
3.1	沿革と現状	105
3.1.1	沿革	105
3.1.2	現状	105
3.2	木曾観測所の活動	107
3.2.1	木曾広視野動画カメラ Tomo-e Gozen の開発	107
3.2.2	Tomo-e Gozen を用いた研究	112
3.2.3	望遠鏡とドームの保守, 整備	124
3.2.4	計算機の保守, 整備	128
3.2.5	ネットワーク・通信機器の保守, 整備	129
3.2.6	データアーカイブ	130
3.2.7	所員の研究活動	131
3.2.8	論文および出版物	133
3.2.9	学会, 研究会等での報告	138
3.2.10	学生実習	145
3.2.11	地域貢献事業	150
3.2.12	教育 (パブリックアウトリーチ)・広報活動	153
3.3	施設, 設備	161
3.3.1	観測所	161
3.3.2	105cm シュミット望遠鏡	161
3.3.3	30cm 望遠鏡	162
3.3.4	広視野動画カメラ Tomo-e Gozen	163
3.3.5	遠隔自動観測システム	163
3.3.6	観測サポート機器: 気象観測機器と監視カメラ	164
3.3.7	計算機	166
3.3.8	観測所のネットワーク設備	169
3.3.9	外部機関管理機器	170
3.4	運用, 管理	173
3.4.1	宿泊	173
3.4.2	日誌	173
3.4.3	役務, 営繕工事等	173
3.4.4	晴天率・観測統計	174
3.4.5	環境安全衛生	175
3.4.6	環境維持・環境整備	175
3.5	所員	177
3.5.1	教員および職員	177

3.5.2	外国人来訪研究者	177
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, 2023/1/6)	177
3.5.4	記録事項	177

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

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

表 1.1: 天文学教室 (2023年3月31日)

氏名または室名	部屋番号	内線	電子メールアドレス	研究者番号
理学系研究科・理学部1号館西棟				
事務室(藤枝)	1108	4254	fujieda.shin@mail.u-tokyo.ac.jp	
事務室(櫻井)	1108	4251	sakurai.yuka@mail.u-tokyo.ac.jp	
事務室(永山)	1108	4251	yamamura.etsuko@mail.u-tokyo.ac.jp	
戸谷	1117	4257	totani@astron.s.u-tokyo.ac.jp	90321588
田村	1113	4258	motohide.tamura@astron.s.u-tokyo.ac.jp	00260018
相川	1115	4256	aikawa@astron.s.u-tokyo.ac.jp	40324909
柏川	1112b	4261	n.kashikawa@astron.s.u-tokyo.ac.jp	00290883
嶋作	1107b	4259	shimasaku@astron.s.u-tokyo.ac.jp	00251405
梅田	1105	8055	umeda@astron.s.u-tokyo.ac.jp	60447357
藤井	1101	1030	fujii@astron.s.u-tokyo.ac.jp	90722330
高田	1104	8056	takata@astron.s.u-tokyo.ac.jp	20334245
左近	1106	4276	isakon@astron.s.u-tokyo.ac.jp	70451820
松永	1102	4272	matsunaga@astron.s.u-tokyo.ac.jp	80580208
研究員室	1110	4114		
名誉教授室・ビジター室	1111			
院生室	1119	4265		
院生室	1120	4266		
院生室	1121	4267		
院生室	1122	4268		
輪講室	1103	4255		
理学系研究科・理学部1号館中央棟				
学部学生実習室	1031	なし		
計算機室	1032	なし		
実験室	1033	4273		
KWON	1035	8529	kwon.jungmi@astron.s.u-tokyo.ac.jp	60724094
研究員室	1036	4569		
教員室	1037	1032		
客員研究室	1038	4264		
講師控室	1039	8303		
学部学生控室	1040	4269		
学部学生端末室	1041	なし		
学部講義室	1042	なし		
大学院講義室	1043	なし		
実験室	1044	4681		

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-2022年度)	529名	(うち2022年度9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-2022年度)	748名	(うち2022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-2022年度)	407名	(うち2022年度15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-2022年度)	7名	(うち2022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-2022年度)	22名	(うち2022年度0名)
博士課程退学者・論文博士	(1990年度-2022年度)	10名	(うち2022年度0名)
論文博士(天文以外の出身者)	(1990年度-2022年度)	8名	(うち2022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 ともりの)
	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)
派遣職員	棚田 真寿美	(たなだ ますみ)
	望月 陽子	(もちづき ようこ)
	久綱 寛子	(くつな ひろこ)

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]
 JIAN MINGJIE (PD) [田村]

1.2.3 日本学術振興会外国人特別研究員

THORSBRO, Brian Peter [松永]
 Germán Molpeceres De Diego [相川]

1.2.4 特任研究員

CATALDI Gianni [相川]
 平野 信吾 [相川]
 De Leon Jerome Pitogo [田村]
 西村 優里 [柏川]
 SAEZ ELGUETA Scarlet Margarita [松永]
 鈴木 大輝 [相川]
 FEENEY JOHANSSON ANTON FIACHARA GEORGE [相川]

1.2.5 客員共同研究員

Lin Haoxiang [戸谷]
百瀬 莉恵子 [嶋作]

1.2.6 名誉教授

海野 和三郎 堀 源一郎 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、非常勤講師として宇宙科学研究所の坂尾太郎准教授、東北大学の秋山正幸教授、国立天文台の富永望教授、京都大学の細川隆史准教授、筑波大学の矢島秀伸准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
准教授 奥田 武志 勝川 行雄 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 片墾 宏一

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	倉島啓斗	笹岡大雅	竹林 優
	田中 匠	星 宏樹	松村優志	山中逸輝	和田空大
	大塚宗丈				
3年	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

1.3.2 大学院学生 ([]内は指導教員)

- D3 池内綾人 [嶋作] FENG Chien-Chang [梅田] (2017年9月22日進学)
 JIAN Mingjie [田村] (2018年9月21日進学) (2022年9月22日修了)
 有馬宣明 [土居] (2022年10月31日修了)
 陳 家偉 [河野] 李 建鋒 [河野] (2022年9月22日修了)
 康 浩然 [河野] (2019年9月20日入学)
 郭 康柔 [小久保] (2019年9月20日進学) (2022年9月22日修了)
 李 秀珍 [本間] (2019年9月20日進学) (2022年9月22日修了)
 安藤 誠 [嶋作] 遠藤いずみ [相川] 沖野大貴 [本間]
 櫛引洸佑 [本原] 高倉隼人 [関本] 谷口大輔 [小林]
 聖川昂太郎 [梅田] 星野 遥 [小久保] 御堂岡拓哉 [海老沢]
 森 万由子 [田村] 山崎雄太 [中村] 吉村勇紀 [河野]
 張 也弛 [Silverman] (2020年9月24日進学)
- D2 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] 橋 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)
- D1 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)
- M2 恒次翔一 [峰崎] 高橋尚人 [土居] 長塚知樹 [海老沢]
 西嶋 翔 [梅田] 森塚章恵 [勝川]
 徐 弈 [大内] (2020年9月24日入学) (2022年9月22日修了)
 飯田熙一 [宮田] 池邊蒼太 [本間] 板根晶規 [小林]
 金子克大 [藤井] 栗原明稀 [海老沢] 黄 天銳 [茂山]
 越 諒太郎 [土居] 酒井勇輔 [梅田] 清水利憲 [田村]
 武田佳大 [柏川] 辻田旭慶 [河野] 徳野鷹人 [鈴木]
 中野 遼 [関本] 西野耀平 [都丸] 福満 翔 [勝川]
 穂満星冴 [本原] 水谷洋輔 [小久保] 矢野雄大 [中村]
 吉田篤洋 [峰崎]
 FARIYANTO Elika Prameswari [本間] (2021年10月1日入学)
 GU Ziyang [田村] (2021年10月1日入学)
 LIANG Zhuoxi [土居] (2021年10月1日入学)
 RAFI Sayyed Ali [田村] (2021年10月1日入学)
- M1 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]

(次ページに続く)

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)

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 (2022年9月22日取得)

- | | |
|--------------|--|
| JIAN Mingjie | The behavior of the chromospheric lines of helium at 10830Å in late-type stars and the measurement of helium abundance |
| 李 建鋒 | Physical properties of high-redshift radio-loud active galactic nuclei and their host galaxies |
| 郭 康柔 | Planetesimal dynamics under the perturbation of a massive body |
| 李 秀珍 | Multi-frequency Radio Observations of Radio-loud Magnetars and Giant Radio Pulses |

1.3.3.2 博士論文 (2022年10月31日取得)

- | | |
|-------|--|
| 有馬 宣明 | A Study of Short-Timescale Optical Transients Using the Wide-Field CMOS Camera
Tomo-e Gozen |
|-------|--|

1.3.3.3 博士論文 (2023年3月23日取得)

- | | |
|--------|---|
| 安藤 誠 | Star Formation Quenching in Galaxy Clusters and Their Progenitors |
| 遠藤 いずみ | Experimental and observational study on the nature of organic dust in space |
| 沖野 大貴 | Ultra-high-resolution VLBI studies of the relativistic jet structure in the quasar 3C 273 |
| 櫛引 洗佑 | Development and on-sky performance evaluation of a near-infrared integral field unit for SWIMS |
| 高倉 隼人 | Antenna pattern and polarization angle measurements of a wide-field-of-view telescope for cosmic microwave background polarimetry |
| 谷口 大輔 | Chemical abundances of red supergiants over a large area of the Galactic disk |
| 聖川 昂太郎 | The gravitational wave from binary black hole mergers originated from very massive population III binary stars |
| 御堂岡 拓哉 | Origin of the X-ray absorbers in Seyfert 1 galaxies |
| 森 万由子 | Characterization of Exoplanetary Systems Around M-dwarfs and Their Stellar Activities |
| 山崎 雄太 | Galactic Chemical Evolution and Origin of Heavy Elements Synthesized Through r-process and v p-process |

1.3.3.4 修士論文 (2022年9月22日修了)

- | | |
|-----|---|
| 徐 弈 | Exploring Outflows of Very Low-Mass Galaxies by Deep Optical Spectroscopy |
|-----|---|

1.3.3.5 修士論文 (2023年3月23日修了)

恒次 翔一	北黄極領域における活動銀河核の 3–5 μm ダスト反響マッピング
高橋 尚人	TriCCS を用いたパルサー候補の可視光探査
長塚 知樹	未同定 X 線突発現象の正体解明に向けた MAXI と NICER の即時連携システム開発
飯田 熙一	中間赤外線観測装置 MIMIZUKU における 30 ミクロン帯バンドパスフィルターおよび Si:Sb 検出器の評価
池邊 蒼太	国内電波望遠鏡を用いた Fast Radio Burst の初検出
板根 晶規	The detailed chemical abundance analysis of RR Lyrae variables with high-resolution near-IR spectroscopy
金子 克大	Extremely high-resolution simulations of dwarf galaxies
栗原 明稀	XRISM 衛星搭載極低温検出器における電磁干渉の影響評価と低減
黄 天銳	連星白色矮星合体による Ia 型超新星 SN 1181 残骸のモデル構築
越 諒太郎	Diversity of Type Ia Supernova Optical Light Curves Among Different Spectral Classes
清水 利憲	直接撮像法を用いた若い惑星 CI Tau b の軌道進化の考察
武田 佳大	深層学習を駆使した HSC-SSP 測光観測データによる $z \sim 4$ 原始銀河団探査
辻田 旭慶	Physical characterization of submillimeter-selected dusty galaxies at $z=2-6$ with strong gravitational lensing
徳野 鷹人	Weakened magnetic braking mechanism through latitudinal differential rotation on spin-down of solar-type star
中野 遼	ポロメータアレイ検出器搭載望遠鏡のアンテナパターン測定に向けたホログラフィー近傍界測定法の開発
西野 耀平	次世代重力波望遠鏡に向けた偏光循環型スピードメーターの制御法の検討
福満 翔	深層学習を用いた太陽高解像度画像のシーイング除去
穂満 星苺	近赤外高分散分光器 TARdYS のカメラシステム開発と検出器性能評価
水谷 洋輔	微惑星環の力学
矢野 雄大	コア合体による降着ガスと星周構造の時間進化
吉田 篤洋	活動銀河核ダストトラスのガウス過程回帰による多波長同時反響マッピング

1.3.3.6 課題研究発表

田中 匠 [鳴作]	HINOTORI: An Extensive Survey and a Statistical Study of Rejuvenation Galaxies
倉島 啓斗 [酒向]	TAO 可視高速観測装置の概念設計
笹岡 大雅 [土居]	Tomo-e transient survey における新たな即時天体検出手法の導入
竹林 優 [相川]	原始星エンベロープの化学組成
星 宏樹 [柏川]	Photometric IGM Tomography
松村 優志 [宮田]	中間赤外線地上データ解析パイプラインの開発
山中 逸輝 [河野]	ALMA による分子ガス観測で探る $z=0.2$ の FRB とその母銀河の性質
和田 空大 [小林]	ガウス過程回帰による小惑星の自転周期の推定
大塚 宗丈 [峰崎]	ダークマター密度揺らぎ検出のための重力レンズクエーサーの摂動の研究

1.4 授業

1.4.1 学部

1.4.1.1 教養学部主題科目

31578 (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 松永典之

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

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・江草芙実
0520040	(S セメスター)	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	藤井通子

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
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

35604-0015	(S セメスター)	光赤外線天文学特論V	土居 守
35604-0019	(S セメスター)	理論天体物理学特論IV	鈴木 建
35604-0024	(A セメスター)	太陽物理学特論IV	坂尾 太郎
35604-0026	(S セメスター)	電波天文学特論 I	阪本 成一
35604-0033	(A セメスター)	銀河天文学特論III	本原 顕太郎
35604-0039	(A セメスター)	恒星物理学特論IV	相川 祐理・小林 尚人
35604-0047	(A セメスター)	高エネルギー天文学特論 II	関本 裕太郎
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	(A セメスター)	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
35604-1003	(A セメスター)	観測天文学特別講義III	秋山 正幸
35604-1012	(S セメスター)	理論天文学特別講義 II	富永 望
35604-1013	(S セメスター)	理論天文学特別講義III	細川 隆史
35604-1014	(A セメスター)	理論天文学特別講義IV	矢島 秀伸
35604-1019	(A セメスター)	理論天文学特別講義IX	DEBATTISTA Victor
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. IGMの光学的厚みとLAE密度の関係から探る宇宙再電離非一様性の起源(石本, 柏川, 伊藤, 吉岡, 武田)

$z > 5.5$ におけるLy α フォレストにおける不透明度の大きな変動は, 再電離の進行が不均一であることを示している可能性がある. 銀河系間物質(IGM)の有効Ly α 光学深度(τ_{eff})の大きなばらつきを説明するために, 紫外線バックグラウンドのゆらぎ(Γ モデル)やIGMガス温度(Tモデル)が提案されているが, これらは τ_{eff} と銀河密度の相関を逆に予測する. そこで, τ_{eff} の大きなばらつきを説明できるモデルを探るため, $\tau_{\text{eff}} \sim 3$ の2つのクエーサーサイトライン(J1137+3549とJ1602+4228)と $\tau_{\text{eff}} \sim 5.5$ のJ1630+4012サイトライン周辺でLy α エミッター(LAEs)を探索した. すばる/Hyper Suprime-Camによる狭帯域イメージングを用い, LAE密度マップを作成し, その空間分布を探った. その結果, 低 τ_{eff} 領域ではクエーサーサイトラインから20 h $^{-1}$ Mpc以内に過剰密度が見られ, 高 τ_{eff} 領域ではLAEが欠損していることがわかった. 3つのクエーサーサイトラインの τ_{eff} は, 2つのモデルを明確に区別できるほど高くも低くもないが, これらの観測された τ_{eff} -銀河密度関係は, これまでの研究と同様に, 3つのフィールドにおいてTモデルではなく, Γ モデルを一貫して支持していることがわかる. 低 τ_{eff} の視線付近で観測された過剰密度は, 遺物温度の揺らぎが再電離にそれほど影響を与えないことを示唆しているのかもしれない. そうでなければ, これらの過剰密度は, 再電離プロセス以外の他の要因, 例えば, 根底にある大規模構造のトレーサーとしては不十分なLAEの性質に起因している可能性がある.

2. $4 \lesssim z \lesssim 7$ の星形成銀河における超大質量ブラックホールの成長率と母銀河との関係(松井思引, 嶋作一大, 伊藤慧, 安藤誠, 田中匠)

$z = 0$ において超大質量ブラックホール(SMBH)の質量 M_{BH} と母銀河の質量 M_{star} には正の相関があり, 両者が共進化してきたことを示唆している. 共進化の過程を明らかにするには遠方銀河について調べる必要があるが, 遠方銀河ではクエーサーを除いて M_{BH} の測定は困難である(クエーサーには M_{star} を求めづらいという問題もある). 一方, M_{BH} の時間微分 dM_{BH}/dt (ブラックホール降着率: BHAR)であれば, X線での観測などから M_{BH} よりも容易に求められる. 個別にはX線で受からない大多数の銀河についても, X線画像のスタッキング解析によって平均的描像を得ることができる. こうした理由からBHARと星形成率(SFR)の関係は遠方の銀河でも調べられているが, $z \gtrsim 4$ での研究はまだ少ない. 我々はChandra Legacy Surveyの深いX線画像があるCOSMOS領域において, すばるHyper Suprime-Cam戦略枠観測で得られている約12000個の $4 \lesssim z \lesssim 7$ のライマンブレイク銀河について, X線で個別検出された天体を除いてから, X線画像のスタッキング解析によりUV等級ごとのBHARを評価し, 母銀河のSFR, ダークマターハロー質量 M_h およびダークマターハロー降着率HARとの関係を調べた. その結果, BHAR/SFRもBHAR/HARも, $z = 0$ の銀河での対応する質量比($M_{\text{BH}}/M_{\text{star}}$, M_{BH}/M_h)より小さいことがわかった. また銀河進化シミュレーション(Illustris-TNG, SIMBA)と比較することで, どちらのシミュレーションもBHARを観測よりかなり高く評価していることが判明した. この原因はまだまだ突き止めていないが, シミュレーションもMBHの2乗に比例するBondi-Hoyle降着を仮定していることから, SMBHが観測よりも重く育っている可能性が考えられる.

3. $z = 2.77$ における成長を終えた銀河で構成される原始銀河団の発見(伊藤)

田中賢幸(国立天文台), Francesco Valentino(南ヨーロッパ天文台), Sune Toft(コペンハーゲン大学)らとの共同研究. 我々は $\sim 2 \text{deg}^2$ にわたる多波長観測, COSMOS surveyを用いて遠方の成長を終えた銀河で構成される原始銀河団の探査を行なった. 有望な候補領域の1つに対しKeck望遠鏡/MOSFIREによる分光観測を行い(PI: 伊藤), 領域中にある成長を終えた銀河4天体が狭い赤方偏移に存在することを分光同定した. その結果, この領域は平均的な領域に比べて成長を終えた銀河で68倍以上高密度であ

ることが明らかになった。この領域を Illustris TNG-300 シミュレーションと比較を行なったところ、この領域は $z \sim 0$ で $\log M_{\text{halo}}/M_{\odot} \sim 15$ になる原始銀河団であることが示唆された。この原始銀河団は Ito et al. (2023), ApJL, 945, L9 で報告された。現在領域内部の銀河の形成過程について詳細な調査を実行中である。

4. 銀河団における非等方的な星形成活動の停止 (安藤誠, 嶋作一大, 伊藤慧)

銀河団に所属する銀河はそうでない銀河と比べて、星形成活動が停止したものが多い。近年、近傍宇宙を対象にした研究により、銀河団内で星形成活動を停止した銀河の空間分布は非等方的であり、その原因が銀河団内で非等方的に働くラム圧の効果である可能性が指摘されている。この説が正しければ、銀河団内で銀河の星形成を停止させる物理メカニズムに制限をつけることができる。そこでより過去の宇宙でも同様の傾向が生じているかを確認するため、すばる望遠鏡による約 800 平方度にあたる可視光撮像サーベイから作成された銀河・銀河団のカタログを用いて、銀河団内における星形成活動を停止した銀河の分布を調べた。その結果、星形成停止銀河の非等方的な分布が赤方偏移 $z \sim 1$ までの時代で統計的に有意に検出された。また、この非等方性の起源を詳しく検討した結果、先行研究で指摘されていたラム圧の作用の非等方性が原因であるという説と無矛盾であることが示された。以上の結果は査読付き論文として MNRAS から出版された。

5. HINOTORI I: SED fitting による rejuvenation galaxy の統計的探査 (田中匠, 嶋作, 安藤, 伊藤, 松井)

Sandro Tacchella (University of Cambridge), Hassen Yesuf (Peking University) らとの共同研究。銀河は主に星形成を活発に行う星形成銀河 (SFG) と、星形成をほとんど行わない比星形成銀河 (QG) に分けられる。十分成長した SFG が星形成を止めることで QG に進化すると広く考えられている。若返り銀河 (rejuvenated galaxy: RG) は QG が星形成を再開し、GV や SFG に戻った (rejuvenation を経験した) 銀河のことである。RG の統計的な研究は進んでおらず、rejuvenation のメカニズムや銀河進化における役割なども、いまだに明らかになっていない。RG の特徴や rejuvenation のメカニズムを明らかにするため、我々は HINOTORI (star formation History INvestigatiOn TO find RejuvenatiOn) プロジェクトを立ち上げた。本研究では、MaNGA survey で観測された、 $z \sim 0.03$ の活動銀河核を持たない $N \sim 9000$ の銀河に対し、フレキシブルな星形成史を扱うことが可能な Prospector に分光データと測光データを合わせて入力し、SED fitting を行った。再現した星形成史を用いて、 $N \sim 1000$ という過去最大の RG サンプルを構築した。選出された RG は QG と似た星質量分布を持つものの、QG よりも円盤状の形態を持つ銀河が多く含まれており、円盤状の QG が選択的に rejuvenation を起こす可能性を示唆している。また、全銀河における RG の割合 ($\sim 10\%$) を用いた概算より、単一の銀河が複数回 rejuvenation を起こす可能性も示された。

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)

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、論文を投稿中である。

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。

3. Explosion Induced by the Collision of White Dwarf and Neutron Star (Feng)

The study is to investigate the Type-Ia like supernova explosion induced by collision with a neutron star. For a highly degenerated white dwarf with mass close to Chandrasekhar limit colliding by a neutron star, the gravitational disturbance causes the deformation of the white dwarf and thus increase the temperature around contact region. It is possible that the heated C/O mixture of the white dwarf to be ignited in this condition and undergo severe nuclear reaction that capable of exploding the whole white dwarf. The resultant from the nuclear reaction mainly contains helium due to photodisintegration in the high temperature burning front. Dynamics of the explosion are been calculated. More complicated nuclear network will be studied in the next stage.

4. 非常に重たい初代星起源の連星ブラックホール合体 (聖川, 梅田)

谷川衝 (東京大学総合文化研究科), 衣川智弥 (東京大学宇宙線研究所), 吉田敬 (京都大学基礎物理学研究所) との共同研究. 金属が存在しない初期宇宙では非常に重たい ($\sim 1000M_{\odot}$) 初代星が誕生すると考えられている. このような大質量の初代星が連星を構成している場合, 連星ブラックホールを形成し, その合体から重力波が放出される. 我々はこのように非常に重たい初代星起源の連星ブラックホール合体が将来観測でどの程度観測できるか等を見積もり, 論文化した.

5. 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.

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)

相川は学術変革領域「次世代アストロケミストリー」の理論班代表として, 気相・固相反応の実内実験および量子化学の研究者とともに星間分子の反応素過程に関する研究を進めている. この共同研究において, CO, CH₄ など安定分子の氷表面での拡散率が室内実験で求められた. アストロケミストリーの反応ネットワークモデルでは多くの場合, 拡散のエネルギーマリアは脱離バリアに比例すると仮定されているが, 実験結果は, 拡散バリアと脱離バリアの比は分子毎にばらばらであることを示す. 複数の安定分子の拡散バリアを1つの手法で求めたのは本研究が初めてであるが, ラジカル分子など現状では同手法で拡散率を測定できない分子も多い. そこで, 拡散バリアの不定性が分子雲環境下および原始星近傍での分子進化にどのような不定性をもたらすのか, また, 最低限どの分子の拡散バリアが求められ

ば不定性を最小限に抑えられるのかを、反応ネットワークモデルを用いて調べた。一方、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化学反応 ($P + H \rightarrow PH$) における反応のダイナミクス、特に生成物の脱離率を決める上で重要な並進運動エネルギーを定量的に求めた。また、prebiotic molecule の1つである NH_2OH の氷表面での生成反応を量子化学計算で調べるとともに、生成を阻害する反応を明らかにした。

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ー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。今年度は、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い、diffuse cloud との観測を行った。その結果、特に炭素鎖分子の存在度が衝撃波パラメー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。また、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。

3. 星一つ一つまで分解した星団形成シミュレーション (藤井)

新規開発のコード「ASURA + BRIDGE」を用い、星一つ一つまで分解した星団形成シミュレーションを行った。その結果、オリオン大星雲の中にある星団の3つの年齢分布を持つ星は、星団が形成する過程で、星団に降着したガスと星のクランプによって星団内での星形成が活性化されてきたことを明らかにした。また、オリオン大星雲周りの高速で運動する星は、オリオン大星雲内の星団内での星の力学的な散乱によって説明できることを示した。

4. 矮小銀河形成シミュレーションで探るコア-カスプ問題 (金子, 藤井)

新規開発のコード「ASURA + BRIDGE」を用い、大質量星は星一つ一つまで分解した矮小銀河形成シミュレーションを行い、矮小銀河のダークマターハローの密度プロファイルがコアになるのか、カスプになるのかを検証した。今回計算したモデルでは、星形成は初期に 10 Gyr 程度で終了し、 $10^5 M_\odot$ 程度の星が形成、星とダークマターの質量比は $\sim 10^{-4}$ であった。この銀河の場合、ダークマターの密度分布は -1.4 のべきのカスプであった。これは、ガスがないシミュレーションより深く、銀河形成過程において、バリオンが銀河中心に集まることによって、ダークマターの中心部でのべきをより深くしていることがわかった。

5. 伴銀河からの外的摂動を受ける銀河系円盤の N 体シミュレーション (朝野, 藤井)

伴銀河による外的摂動が銀河系円盤の力学構造に与える影響を調べるために、天の川銀河の孤立銀河モデル (Fujii et al. 2019) に「いて座矮小銀河」に対応する伴銀河を追加して N 体シミュレーションを実行した。伴銀河の近接遭遇時に銀河円盤の振動が励起され、円盤粒子の z - v_z (z と v_z は、それぞれ銀河円盤に鉛直方向の位置と速度) 空間分布に一本腕の渦巻構造 (phase spiral) が発生することを確認した。同時に、伴銀河の外的摂動は銀河円盤に渦状腕を発生させ、それに付随して二本腕の phase spiral が現れた。Gaia 衛星による実際の観測でも、一本腕と二本腕の phase spiral が両方観測されていて、それぞれ上記のように異なる起源を持つことが示唆される。

6. 銀河系バルジの化学動力学構造 (朝野, 藤井)

Fujii et al. (2019) による天の川銀河 N 体シミュレーションのデータを解析し、バルジ領域の構造を調べた。シミュレーションの最終段階では X 字形のバルジが見られるが、この構造は、主にシミュレーションの初期条件において作用変数のうち J_R と J_z が小さく角運動量 L_z が大きい粒子によって構成されていることがわかった。この現象は先行研究 (Debattista et al. 2017, 2020) で既に報告されているが、本研究は古典バルジの有無にかかわらず同様の結果が得られることを確認した。また、バルジ領域における化学動力学構造を観測と比較するために、作用変数の値を基に N 体粒子に化学組成の情報を割り当てる手法の開発も行った。

7. 機械学習モデルの推論高速化 (平島, 藤井)

天の川銀河形成シミュレーションにおいて、pc スケールの現象を分解するために機械学習を用いたサブグリッドモデルの開発を行っている。特に、超新星爆発によるシェルノ形成・進化を予測できるようなモデルの開発を行っている。株式会社 Morpho と共同で、開発したモデルを富岳向けに最適化したことで、このモデルが実際の銀河形成シミュレーションにおいて on-the-fly で実行できるほど高速化された。

8. 国際宇宙ステーションきぼう実験棟簡易船外曝露実験装置 ExHAM を利用したダストの曝露実験と分析 (左近, 遠藤, 尾中)

電気通信大学の木村誠二, 和田節子, 北海道大学の木村勇氣, 日本大学の中村正人, 宇宙科学研究所の市村淳らとともに、恒星周囲で凝縮したダストが星間ダストとして拡散する過程で被る変成過程を解明する事を目標とし、実験室で合成した炭素質ダストや比較用試料を含む合計約 30 種の試料を、高度 400km の国際宇宙ステーションきぼう実験棟船外の宇宙環境に 1 年間曝露し、曝露前後での物性変化を測定する実験を進めている。2015 年 4 月に打ち上げられた実験サンプルは、EE64-I と EE64-II の 2 つで、それぞれ 64 個の試料スロットに急冷炭素質物質 (QCC) や、窒素含有炭素質物質、Hydrogenated Amorphous Carbon, グラファイト, 多環式芳香族炭化水素, 非晶質/結晶質シリケートなどの試料を搭載し、国際宇宙ステーション「きぼう」実験棟簡易船外曝露実験装置 ExHAM1 号機にインストールされ 2015 年 5 月 26 日より船外曝露実験を開始した。1 年の宇宙環境曝露を経て、2016 年 9 月 20 日に筑波宇宙センターにて回収/帰還試料が引き渡された。また、2016 年 4 月に、重水素化急冷炭素質物質や、人造グラファイトなど、新規試料を含む新たな実験サンプル EE64-III を打ち上げ、2016 年 6 月 29 日より船外曝露実験を開始し、約 384 日間の宇宙環境曝露を経て船内回収し、2017 年 10 月に筑波宇宙センターにて回収/帰還試料が引き渡された。曝露資料に対して、物性分析を開始し、赤外線顕微分光スペクトル測定を行い、曝露前後での赤外分光特性の比較を実施し、地上対照実験の結果と併せて得られた変化の解釈を行った。主要な実験試料の一つである膜状急冷炭素質物質 (filmy QCC) に対して、宇宙曝露実験の結果、水酸基 (OH) および共役ケトン ($\text{C}=\text{O}$) に対応する赤外バンド構造が現れることがわかり、それらは炭素質隕石物質中の不溶性有機物 (Insoluble Organic Matter; IOM) に見られる特徴とも一致することがわかった。2019 年 8 月に、分子科学研究所極端紫外光研究施設 (UVSOR) の共同利用の枠組みで、九州大学野口高明および広島大学藪田ひかるらの協力のもと、XANES 顕微鏡 (STXM) を用いた X 線吸収端近傍構造 (XANES) 分光分析を実施し、宇宙曝露実験回収試料に対して炭素、窒素、酸素の XANES のデータを取得し、宇宙環境曝露が有機物の化学構造や物性に及ぼす影響を調べた。

9. 窒素含有炭素質ダストの合成実験 (左近, 遠藤, 尾中)

1973 年以降様々な天体環境で観測されてきた未同定赤外バンドは、これまでその担い手として、多環式芳香族炭化水素 (Polycyclic Aromatic Hydrocarbon; PAH) 仮説に基づく解釈が行われてきたが、依然として実際の観測と整合性のとれるような正確な物質の理解には至っていない。急冷炭素質物質 (Quenched Carbonaceous Composite; QCC) は 2.45GHz マイクロ波電源装置を用いてメタンガスより生成させたプラズマを急冷凝縮することで合成される実験室ダストである。QCC は、芳香族及び脂肪族の C-H 結合及び芳香族の C-C 結合由来の赤外特性を持ち、観測される未同定赤外バンドを担うダストの物性を探る上で

きわめて有用である。我々は同装置を用いて QCC を窒素ガスプラズマに晒すことによって、急冷窒素含有炭素質ダスト (Quenched Nitrogen-included carbonaceous compounds; QNCC) を合成した。この実験手法は年老いた恒星が終焉期に放つ恒星風が星周物質と相互作用する過程を模擬する物である。回収した NCC の赤外吸収特性を調べた結果、主に 3.29, 6.25, 8, 11.4 μm にピークを持ち、QCC や各種 PAH をはじめとするどの既知の物質よりも、未同定赤外バンドの構造に類似した特徴を持つことが分かった。特に、古典新星の周囲で観測される未同定赤外バンドの特徴と酷似した特徴を持ち、その各バンドのピーク波長位置は一般的な星間物質中に観測される未同定赤外バンド (Class A) よりも長波長側にシフトしており、Class C と分類される。本研究から、古典周囲に観測される未同定赤外バンドの担い手として、急冷窒素含有炭素質ダスト QNCC を提案するに至った。本実験で合成した NCC に対する、微量質量分析による N/C 比測定、及び、X 線吸収端近傍構造 (XANES) 分析から、実験的に合成した NCC が、 $N/C = 3 - 5\%$ の窒素を含み、アミン構造を有するダストである事を明らかにした。また、合成実験条件を変えて合成した QNCC の赤外分光特性と物質の化学的素性の対応を理解するための分析を進めている。本結果の一部は、遠藤いずみの博士論文の一部に発表した。

10. LHD プラズマを利用した有機物ダストの変成実験 (左近, 尾中)

2.45GHz のマイクロ波を用いて生成するプラズマと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、核融合科学研究所の小林政弘、中村浩章らとの共同研究で、2022 年度自然科学研究機構分野融合型共同研究事業で採択されたの研究課題『宇宙の有機物の塵が窒素を含む化学結合を獲得する過程の理解』(本研究代表者: 左近) において、核融合科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 (第 24 サイクル実験) を実施した。分析の結果、弱い活動銀河核を有する銀河 (Smith et al. 2007 や、楕円銀河に観測される特異な未同定赤外バンド (Bregman et al. 2008; Kaneda et al. 2005), すなわち『芳香族 C-C の伸縮モードなどに対応する 6–9 μm の放射が極めて弱く、芳香族 C-H の面外屈伸モードに対応する 11–14 μm の放射のみが見られるという未同定赤外バンドの特徴』を再現する変化が見られた。未同定赤外バンドの担い手については、天文学においては多環式芳香族炭化水素 (polycyclic aromatic hydrocarbons; PAHs) 仮説が広く採用されているが、その担い手の正確な物質理解は不十分である。現在、低光度の活動銀河核を有する銀河や楕円銀河に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、LHD プラズマを利用した有機物の塵の変成実験を継続している。

11. Classification of O-rich and C-rich Miras and hunting for C-rich Miras in the Galactic bulge (Matsunaga; Sanders (UCL))

The separation of oxygen- and carbon-rich asymptotic giant branch sources is crucial for their accurate use as local and cosmological distance and age/metallicity indicators. We investigate the use of unsupervised learning algorithms for classifying the chemistry of long-period variables from Gaia DR3's BP/RP spectra. Even in the presence of significant interstellar dust, the spectra separate into two groups attributable to O-rich and C-rich sources. Given these classifications, we utilize a supervised approach to separate O-rich and C-rich sources without blue and red photometers (BP/RP) spectra but instead given broadband optical and infrared photometry finding a purity of our C-rich classifications of around 95 per cent. Although our classification suggests the Galactic bar-bulge is host to very few C-rich long-period variable stars, we do find a small fraction of C-rich stars with periods > 250 day that are spatially and kinematically consistent with bar-bulge membership. We argue the combination of the observed number, the spatial alignment, the kinematics, and the period distribution disfavour young metal-poor star formation scenarios either in situ or in an accreted host, and instead, these stars are highly likely to be the result of binary evolution and the evolved versions of blue straggler stars already observed in the bar-bulge. (Published as Sanders & Matsunaga, 2023, MNRAS, 521, 2745)

12. Chemical properties of Cepheids in the Galactic nuclear stellar disc (Matsunaga; Fukue (Kyoto Sangyo Univ); Kovtyukh, Andrievsky (Odessa National Univ); Korotin (Crimean Astrophys Observatory))
We made abundance analysis of four Cepheids which are located in the Galactic nucleus using on the Subaru/IRCS spectra. A significantly improved method of the effective temperature determination of program stars, which is based on the calibrating relations between the temperature and line depth ratios, was applied. The present results confirmed our previous finding about the solar metallicity level at the Galaxy centre. It is very likely that the four stars of our program were born from an interstellar medium having homogeneous chemical properties, since all the stars are located close to each other, have close pulsation periods, and hence the age. However, one of the stars has a somewhat increased abundance of all studied elements compared to the abundance in the other three stars. (Published as Kovtyukh et al. 2022, MNRAS, 516, 4269)
13. Chemical abundances of red supergiants over a large area of the Galactic disk (D. Taniguchi, N. Matsunaga, N. Kobayashi (IoA), S. Kondo (IoA), H.. Sameshima (IoA), and WINERED team)
Red supergiants (RSGs) are a bright ($L \gtrsim 10^4 L_{\odot}$) tracer of the chemical composition of young stars on the Galactic disk. However, there are still some challenges in the abundance analysis using RSGs' spectra. We use near-infrared high-resolution spectra of ten nearby RSGs obtained with the WINERED spectrograph (YJ bands, $R \sim 28,000$) to develop and test an abundance analysis method for RSGs. We find that the resultant precision in the abundances is ~ 0.05 dex for elements with a sufficient number of lines (e.g., Fe). We also find that the absolute accuracy of $[\text{Fe}/\text{H}]$ would be $\lesssim 0.1$ dex. Applying this method to spectra of four RSGs located near the Galactic bar end, we confirm that their metallicities are ~ 0.1 dex, which is lower than those expected from the radial metallicity gradient of young stars.
14. 天の川銀河のセフィドが明らかにする渦巻き腕のダイナミクス (船越, 松永, 谷口)
渦状腕の形成維持に関するメカニズムは理論研究により複数の説が提案されている一方で, 観測研究の不足によって現在も明確な結論は出ていない. そこで我々は周期光度関係により正確な距離推定が可能なセフィドと, 天体の運動を精度良く観測している Gaia が提供するカタログをクロスマッチさせることで渦状腕周辺のセフィドの運動分布を調べた. その結果, ペルセウスアーム, アウターアームでは密度波理論で予想されるような渦状腕の前後での運動構造の変化が見られないことが明らかになった. また, これらのアームの運動構造はそれぞれ動的渦状腕におけるアームの崩壊・成長で説明できる可能性が示唆された. 今後, シミュレーションとの定量的な比較を進めていく.

1.5.4 恒星

1. Asteroseismology of the dip structure in period-spacings of rapidly rotating γ Doradus stars caused by the coupling between core and envelope oscillations (T. Tokuno, M. Takata)
Recent asteroseismic observations by the Kepler space mission have revealed the dip fine structure in the period-spacing versus period diagram of rapidly rotating γ Doradus stars. Following the successful reproduction of the dip structure by numerical calculations in previous studies, we present in this paper the physical mechanism of how the dip is formed as a result of the interaction between the gravito-inertial waves in the radiative envelope and the pure inertial waves in the convective core. We analytically describe the wave solutions in both of the radiative envelope and the convective core, and match them at the interface to construct an eigenmode. We have found from the analysis the following points: the dip structure is mainly controlled by a parameter that has an inverse correlation with Brunt-Väisälä frequency at the interface; the depth and the width of the dip is shallower and larger, respectively, as the parameter gets large; the shape of the dip can be approximated by the Lorentzian

function; the period at the central position of the dip is equal to or slightly smaller than that of the involved pure inertial mode in the convective core. We have also understood based on the evolutionary models of main-sequence stars that the parameter is inversely correlated with the chemical composition gradient at the convective-core boundary. The dip structure thus would provide information about the poorly-understood physical processes, such as diffusion, convective overshooting and rotational mixing, around the boundary between the convective core and the radiative envelope.

2. 終焉期の大質量星 WR125 によるダスト形成現場の赤外線観測 (遠藤, 左近, 尾中)

2019年10月11日に行われたすばる望遠鏡共同利用観測 S19B-126”A Census of Dusty Wolf-Rayet Stars with COMICS (PI. Ryan Lau)”で取得された, 終焉期の大質量星 WR125 の中間赤外線撮像および低分散分光データの分析を行った. WR125 は, WC7 型の Wolf Rayet(WR) 星と O9 型の伴星の連星系で, 28年周期で近日点通過を繰り返すたびに, 衝突する恒星風内におけるダスト形成が起きることが知られている. 1992–1993年の近日点通過からおおよそ1周期が進み, 2019年10月は近日点通過に向かって赤外の増光が見られ出したタイミングに該当する. N-,Q-bandの測光観測に加えて実施した低分散分光観測の結果からは, $8\mu\text{m}$ 付近に broad なバンド放射を確認した. このバンド構造は有機物に起因するものであると考えられる. さらに, 同じバンド放射が他の WR 星のスペクトルにもみられるか調べるために, 赤外線宇宙天文台 (ISO) の短波長分光器 (SWS) で取得された, 継続的にダスト形成を起こしている4つの WR 星, WR48a, WR98a, WR104, WR112 のスペクトルを, WR125 のデータと同じ手法で分析した. その結果, それら4つのダスト形成を起こす WR 星のスペクトルにも $8\text{--}9\mu\text{m}$ に幅の広いバンド構造が見られ, 互いに非常によく似た形を示すことを見出した.

3. すばる望遠鏡中間赤外装置 COMICS を用いたダストを形成する WR 星サーベイ (遠藤, 左近, 尾中)

2020年6月26–27日に行われたすばる望遠鏡共同利用観測 S20A-054”Completing the COMICS Survey of Dusty WR Stars (PI. Ryan Lau)”に参加し, ダスト形成を引き起こす WR 星 21 天体の中間赤外低分散分光データを取得し, 分析を開始した. WR 星は進化のタイムスケールが星間有機物の主要な供給源である中小質量星より短いため, 初期宇宙において, 有機物の重要な供給源となる可能性がある重要な天体である. 今回取得されたダスト形成を引き起こす WR 星 21 天体スペクトルを分析し, 有機物の放射の有無やその特徴を調べることで, WR 星周囲で作られる有機物の性質や形成過程などをより深く理解することを目的とする. 本結果は, 遠藤いずみの博士論文の一部として発表した.

4. 気象衛星ひまわり 8 号によるベテルギウスの大減光の観測 (谷口, 山崎 (地惑), 宇野 (IoA))

最も代表的な赤色超巨星の一つであるベテルギウスは 2019 年末から 2020 年初頭にかけて平常時より一等級以上暗くなった (ベテルギウスの大減光). 大減光の原因として, 有効温度の低下や星周減光の増加などが提案されている. このうち有効温度の低下は可視分光観測などによって確認されているものの, 星周減光の増加の有無はいまだ明らかになっていない. そこで我々は気象衛星ひまわり 8 号が観測する地球画像の周囲の宇宙空間に写り込んだベテルギウスの画像を活用することで, 4.5 年間に渡る可視光から中間赤外線 16 バンドでのベテルギウスの光度曲線を得た. この光度曲線, とりわけ星周ダストが放射する中間赤外線での光度曲線, をベテルギウスの輻射モデルと比較した結果, 大減光の原因が有効温度低下と星周減光増加の両者であった可能性が高いことが明らかになった. 本成果は Taniguchi et al. 2022, “The Great Dimming of Betelgeuse seen by the Himawari-8 meteorological satellite” として Nature Astronomy, 6, 930 で出版された.

5. Detailed chemical abundance analysis of RR Lyrae variables with high-resolution near-IR spectroscopy (Itane, Matsunaga, Taniguchi; WINERED team)

RR Lyrae variables, the target of this thesis, are old (>10 Gyr), low-mass ($0.5\text{--}0.8 M_{\odot}$) variable stars located on the horizontal branch. While previous measurements of the chemical abundances of RR Lyrae were dominated by optical spectroscopy, Near-IR spectroscopy would enable us to investigate

wider areas of the Galaxy because the nearinfrared range is less affected by interstellar extinction. In this study, we observed four RR Lyrae stars (RR Lyr, TT Lyn, TU UMa and SU Dra) multiple times with the near-infrared high-resolution spectrograph named WINERED, $\lambda/\Delta\lambda$ around 28,000 covering 0.9–1.35 μm (zYJ bands). In this study, we compiled the zYJ -band line list for RR Lyrae stars, and established the method of deriving chemical abundances. We found lines of 10 species (C I, Mg I, Mg II, Si I, Si II, Ca I, Ca II, Fe I, Fe II and Sr II), and we successfully measured these abundances with the error about 0.05–0.1 dex, except for a few elements with a limited number of lines. Our results agree more-or-less with previous works based on optical spectra, whereas there were comparable scatters, ~ 0.2 dex, among the measurements in those previous works. This is the first work which derived the abundances of RR Lyrae stars in the zYJ bands, and it paves a way for measuring chemical abundances of obscured RR Lyrae, like the ones in the Bulge.

6. The behavior of the chromospheric lines of helium at 10830 \AA in late-type stars (Jian, Matsunaga, Taniguchi; WINERED team)

Measuring stellar abundances is crucial to provide constraints on the chemical evolution of the Galaxy. However, spectral lines must be thoroughly studied before they can be used as abundance indicators, particularly for difficult elements like helium. Here we focus on one of the helium absorption features that are often detected in low-temperature stars, the triplet lines at 10830 \AA . Unlike most atomic lines formed in the photosphere, this feature (He 10 830, hereinafter) is formed in a higher layer of the stellar atmosphere, i.e., the chromosphere, through the photoionization-recombination (PR) or collisional excitation (CE) mechanism. Whether He 10830 can be used as helium abundance indicator is unclear, mainly for two reasons: (1) The sensitivity of the line strength to the helium abundance depends on the dominant excitation mechanism (PR or CE), and main formation mechanism for stars other than the sun is not clear. Combining our own data and publicly available spectra, we have collected a large sample of medium- and high-resolution spectra covering the wavelength range of He 10 830 for over 700 stars, including dwarfs, giants and supergiants over the metallicity range of $-2 < [Fe/H] < 0.2$. The blending from other spectral lines are better determined thanks to the $\log g$ values calibrated from a subsample of stars with well determined stellar parameters. We then measure the strength and profile of He 10830 of our sample stars. We found that the strength of He 10830 is correlated with the Ca II H&K core emission, as well as the X-ray luminosity for dwarfs. Such correlation indicates that the PR and CE mechanism both presents in the formation of He 10830 in dwarfs. For warm giants, a weak dependence on X-ray luminosity is also found. Our finding from the observations suggest that the He 10830 in cool giants, since no chromosphere appears, would be free from PR formation mechanism. The helium line in those stars, when having similar Ca II H&K lines, would be possible to act as helium abundance indicators.

1.5.5 太陽系外惑星および星惑星形成

1. デブリ円盤のガスの起源 (Cataldi, 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 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ー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。また、Cataldi と相川は、Iwasaki et al. (2023) にも共著者として貢献した。

2. 初代星形成 (平野)

初代星の形成過程における磁気効果の影響について、原始星形成後の降着段階に着目した研究を行った。3次元磁気流体シミュレーションより、初代星形成においては通常の星形成とは異なる磁場増幅過程が出現することが分かった。微弱な始原的磁場は星形成過程に十分な影響を及ぼすほど増幅されるため、初代星形成において磁気効果は無視できないことがわかった。この成果は査読論文として出版した (Hirano & Machida 2022)。

3. Class II 円盤のガス観測と系外惑星検出 (Cataldi, 大和, 相川)

Cataldi, 大和, 相川は ALMA 大型プロジェクト MAPS で 5 つの原始惑星系円盤 (Class II disk) の高分解能観測を行った。その結果を日本語解説記事として天文月報に執筆した。Class II 円盤の多くはダスト連続波でリングや空隙構造が観測されており、空隙部分にすでに惑星が形成されている可能性が議論されている。MAPS データの公開用の取りまとめは 2021 年度に完了しているが、チーム内では引き続き解析が行われている。Bae et al. (2022) では AS209 の再解析により、空隙部分に惑星の兆候を検出した。大和は、MAPS プロジェクトのフォローアップ観測として MAPS ではカバーできなかった C₂D 輝線の観測提案を行い、ALMA の観測時間を獲得した。現在観測データの解析を行っている。また、Munoz-Romero et al. (2022) は太陽系からもっとも近い Class II disk である TW Hya において DCO⁺, DCN の観測を行い、両者の比から半径 40au 以内で C/O 比が高い可能性を示唆した。相川はこの研究に理論モデルの提供を行った。

4. 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, 平野, 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 (前項参照)、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, 平野, 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。平野と相川はもう 1 つの ALMA 大型プロジェクト FAUST にも理論的な立場から参加し、議論に貢献している。大和は、ALMA 大型プロジェクトとは独立に、Class 0/I 天体である NGC 1333 IRAS4A の VLA データ解析を行った。IRAS4A は Hot Corino (大型有機分子輝線の検出される原始星コア) として有名な天体である。Hot Corino は原始星近傍でエンベロープから落下してきた氷が昇華することから、惑星系の材料物質を探るよいターゲットと考えられている。大和は、昇華ガスの観測に適した upper state energy の高い NH₃ および NH₂D 輝線を Hot Corino で初めてとらえ、NH₂D/NH₃ 比を求めた。得られた比は、先行研究である理論モデルの予測よりも高く、NH₃ が主に高密度で低温な prestellar core で形成されることを示唆する。

5. 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水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水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とり得ることがわかった。

6. 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、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。

7. 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、若い恒星の原始惑星系円盤に埋もれた原始惑星 AB Aur b を直接観測により発見した。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伴星型天体の観測も継続した。その結果、ヒアデス星団中の太陽型星において初めて確実な褐色矮星 HIP 21152 B を発見し、その力学的質量星 (27.8 木星質量) を正確に求めた。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、波長 5 ミクロン以上で世界で初めて系外惑星を撮像し、系外惑星の 1-20 ミクロンのスペクトルを初めて取得した。

8. 浮遊惑星の国際共同観測

HSC などのカメラを用いた星形成領域の広視野観測により、固有運動を利用した浮遊惑星および褐色矮星の検出を進めた選り出した浮遊惑星・褐色矮星の赤外線分光をすばる望遠鏡などで行い、その物理パラメータを決定した。また、固有運動によるメンバーシップの同定は、従来のカラーのみによる探査よりも偽陽性の可能性は著しく小さいことも分光観測により確認できた。

9. 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、赤外線ドップラー法による最初の系外惑星 Ross 508 b の発見に成功した。

10. 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。

11. 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超地球を発見した。さらに、K2 から 60 個の系外惑星を同定した。

12. 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 (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、すばる望遠鏡用超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っている。

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。

13. HD 冷却による初代星形成効率の低下 (西嶋, 平野, 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 $J_{LW}/J_{21} = 0$ (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、 $J_{LW}/J_{21} = 0.025 - 0.09$ 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 ($J_{LW}/J_{21} = 0.003 \rightarrow 10$ 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。

14. 宇宙初期の星形成において Streaming Velocity が質量分布に与える影響 (酒井, 平野, 梅田)

宇宙初期に生まれた水素とヘリウムのみで構成された「初代星」と呼ばれる星の形成過程を知ることは、銀河進化や宇宙の化学進化を知るにあたって重要なことである。近年、streaming velocity とよばれる、ダークマターとバリオン (通常物質) の相対速度が、星形成を遅らせるなどして最終的に形成される星の性質に大きな影響を与えることがわかってきた。Hirano (in prep) において、高解像度 (ガス雲の最大数密度が) でのさまざまな強さの streaming velocity を考慮した初代星形成における、定性的な進化が明らかになった。しかしながら、これは分子雲コア (以下コア; 数密度が以上の高密度領域で、重力収縮して初代星を形成する) の質量などがわかったに過ぎず、星質量などの情報はまだ得られていない。そのためにより高密度領域まで分解する必要がある。streaming velocity を考慮した初代星形成シミュレーションは複数のグループが研究している。これらの研究は、1つのガス雲モデルだけに注目して高密度まで計算したものや、複数のガス雲モデルを用いるものの低密度までしか計算していないものがほとんどである。今回の研究では多数のモデルに対してコアが分解できるほど高密度 (10^6 cm^{-3}) まで計算する。

15. Characterising the atmosphere of exoplanets in habitable zones around nearby M dwarf stars (Brian Thorsbro)

Brian Thorbro joined the Department of Astronomy from 2022 March 23 to 2023 March 22 as a JSPS Postdoctoral Fellowships for Research in Japan. His research is based on using high resolution spectroscopy to explore atmospheric parameters of exoplanets and stars. By attaching high resolution spectrographs to telescopes and observe exoplanets as they transit in front of their host stars, light from the stars is affected by the atmosphere of the planet, and thus properties of the exoplanet can be studied. The data obtained from high resolution spectroscopy are processed by using cross-correlation techniques to extract signals from the transiting exoplanet. The signals are then compared to exoplanet atmosphere models in order to characterize their composition. During his stay, 4 journal papers have been published or are under submission and being close to acceptance during my period at the University of Tokyo. Two of the papers are directly linked to the research proposal for this grant and revolves around high resolution spectroscopy of exoplanet atmospheres. These works are important for the WINERED research endeavors moving forward as the methods developed can be applied on data collected with the WINERED spectrograph. Further two papers were published, based on data and analysis from before starting the fellowship. Both papers deal with high resolution spectroscopy of interest to the research being conducted at the University of Tokyo and thus synergize well with the research performed at the department. Two exoplanet atmosphere observations were conducted during my stay in Japan. Both data sets are under analysis for publishing in the future.

1.5.6 太陽系

1.5.7 機器・ソフトウェア開発

1. 米国 FIR probe ミッション検討活動への科学および技術を通じた貢献 (左近)

2021年11月に公開されたUS2020 Decadal Surveyにおいて、遠赤外およびX線ミッションを対象に probe class という新たな mission line が設けられた。2022年1月に、NASA は”community announcement”が 出され、米国において正式に probe class のミッション検討が始まり、2022年夏に DRAFT Announcement of Opportunity (AO) が出される予定である。2023年1月(当初予定、数ヶ月遅延見込み)に the final AO がアナウンスされ、the final AO より90日間後にミッションプロポーザルの締め切りが設けられる 予定である。各ミッションは、打ち上げ、海外協力費用、観測プログラムにかかる費用を除いて、1BUSD のコストキャップが設けられ、X線ミッション、遠赤外線ミッションそれぞれで複数のミッション候補 の検討が進められている。NASA は、2024年初頭(予定)にこのうち2または3個の Phase A 概念検討 に進むプロポーザルを選定し、2025年中旬(予定)に最終的に一つのミッションを選ぶと発表している。 遠赤外分野において FIR probe の検討活動を通じて、日本における IRTS、あかり衛星、そして SPICA ミッションの様々な科学、技術的な経験を将来の国際ミッションの検討活動へ生かす道筋を活性化でき るよう米国側関係者との協議を継続した。

2. あかり衛星近中間赤外線カメラ (IRC) MIR-L チャンネルの分光手法の開発 (左近)

あかり衛星の近中間赤外線カメラ (IRC) の MIR-L チャンネルのスリット分光データは、スリット分光 領域の上下に位置するアパーチャーマスクを通った光の分光データの2次光や散乱光の作る画像パター ンによる影響を受ける。特に黄道光や銀河拡散光などの分光データを得るためには、これらの除去が鍵 となる。これまでに、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、アパーチャーマスク を通る光の分光データの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再現し差し引く手 法を開発した。さらに、国立天文台の大坪貴文、アストロバイオロジーセンターの高橋葵らとの共同研 究の元、黄道光の16-26 μ m 帯のスペクトルを得て、その性質を調べる研究を行なっている。

3. ラスカンパナス天文台・マゼラン望遠鏡における WINERED 分光器の運用開始 (松永, 谷口, WINERED チーム)

WINERED は, 東京大学と京都産業大学が開発・運用している高分散分光器で, $0.91\text{--}1.34\ \mu\text{m}$ (近赤外線 *J* バンド帯) の波長範囲を 28,000 または 68,000 の比波長分解能 ($\lambda/\Delta\lambda$) で分光できる. 分光器に届いた信号 (光子) の約 50% をスペクトルに記録できるという効率は, 他の近赤外高分散分光器の効率が高々 20% 程度であるのと比べて非常に高い. 我々は, 米カーネギー天文台 (ラスカンパナス天文台の上位組織) の Andrew McWilliam 博士らと共同で, WINERED をチリ・ラスカンパナス天文台にあるマゼラン望遠鏡 (口径 6.5m) に設置して観測を行う準備を 2018 年後半から本格的に進めてきた. ところが, コロナ禍のためにチリで滞在・作業することが全くできなくなってしまった. 何度かマゼラン望遠鏡での観測時間が割り当てられ準備を進めたものの, やはり分光器の設置を行なえず, 2022 年 9 月になって初めてマゼラン望遠鏡での観測に成功した. 個数は少なかったものの *J* バンドで 12–13 等級の暗いセフィイドを観測し, 口径 6.5m のマゼラン望遠鏡での予想感度に見合う高品質のデータが得られることを確認した. マゼラン望遠鏡の観測時間にアクセスのある米国とチリの研究者の観測提案も受け入れ, 2023 年 6 月以降, 定期的にマゼラン望遠鏡での観測を行う予定である.

1.6 論文および出版物

1.6.1 英文報告

1.6.1.1 出版済 (2022 年)

1. Furuya, K., Hama, T., Oba, Y., Kouchi, A., Watanabe, N., Aikawa, Y., 2022 “Diffusion activation energy and desorption activation energy for astrochemically relevant species on water ice show no clear relation” , ApJL, 933, 16
2. Imai, M., Oya, Y., Svoboda, B., Liu, H. B., Lefloch, B., Viti, S., Zhang, Y., Ceccarelli, C., Codella, C., Chandler, C. J., Sakai, N., Aikawa, Y. et al. 2022, “Chemical and Physical Characterization of the Isolated Protostellar Source CB68: FAUST IV” , ApJ, 934, 70
3. Vastel, C., Alves, F., Ceccarelli, C., Bouvier, M., Jimenez-Serra, I., Sakai, T., Caselli, P., Evans, L., Fontani, F., Le Gal, R., Chandler, C. J., Svoboda, B., Maud, L., Codella, C., Sakai, N., Lopez-Sepulcre, A., Moellenbrock, G. Aikawa, Y. et al., 2022, “Hot methanol in the [BHB2007] 11 protobinary system: hot corino versus shock origin? : FAUST V” , A&A, 664, 171
4. Sheehan, P. D., Tobin, J. J., Li, Z-Y., van 't Hoff, M. L. R., Jorgensen, J. K., Kwon, W., Looney, L. W., Ohashi, N., Takakuwa, S., Williams, J. P., Aso, Y., Gavino, S., de Gregorio-Monsalvo, I., Han, I., Lee, C. W., Plunkett, A., Sharma, R., Aikawa, Y., Lai, S.-P., Lee, J.-E., Lin, Z.-Y. D., Saigo, K., Tomida, K., Yen, H.-W., 2022, “A VLA View of the Flared, Asymmetric Disk Around the Class 0 Protostar L1527 IRS” , ApJ 934, 95
5. Bae, J., Teague, R., Andrews, S. M., Benisty, M., Facchini, S., Galloway-Sprietsma, M., Loomis, R. A., Aikawa, Y., Alarcon, F., Bergin, E., Bergner, J. B., Booth, A. S., Cataldi, G., Cleeves, L. I., Czekala, I., Guzman, V. V., Huang, J., Ilee, J. D., Kurtovic, N. T., Law, C. J., Le Gal, R., Liu, Y., Long, F., Menard, F., Öberg, K. I., Perez, L. M., Qi, C., Schwarz, K. R., Sierra, A., Walsh, C., Wilner, D. J., Zhang, K., 2022, “Molecules with ALMA at Planet-forming Scales (MAPS): A Circumplanetary Disk Candidate in Molecular-line Emission in the AS 209 Disk” , ApJ, 934, 20

6. Kim, J., Lee, J.-E., Jeong, W.-S., Kim, I.-S., Aikawa, Y., Noble, J. A., Choi, M., Lee, H.-G., Dunham, M.M., Kim, C.-H., Koo, B.-C., 2022, “Ice Features of Low-luminosity Protostars in Near-infrared Spectra of AKARI/IRC” , ApJ, 935, 137
7. Yamato, Y., Furuya, K., Aikawa, Y., Persson, M. V., Tobin, J. J., Jorgensen, J. K., Kama, M., 2022, “The First Interferometric Measurements of $\text{NH}_2\text{D}/\text{NH}_3$ Ratio in Hot Corinos” , ApJ, 941, 75
8. Hirano, S., Machida, M.N., “Exponentially Amplified Magnetic Field Eliminates Disk Fragmentation around Population III Protostars” , The ApJL, Volume 935, Issue 1, id.L16, 7 pp.
9. Molpeceres, G., Rivilla, V.M., “Radical addition and H abstraction reactions in C_2H_2 , C_2H_4 , and C_2H_6 : A gateway for ethyl- and vinyl-bearing molecules in the interstellar medium” , A&A, Volume 665, id.A27, 10 pp.
10. Currie, T., Lawson, K., Schneider, G. and 30 more, 2022, “Images of embedded Jovian planet formation at a wide separation around AB Aurigae” , Nature Astronomy, 6, 751.
11. Aoki, W., Beers, T. C., Honda, S. and 19 more, 2022, “Silicon and strontium abundances of very metal-poor stars determined from near-infrared spectra” , PASJ, 74, 273.
12. Christian, S., Vanderburg, A., Becker, J. and 111 more, 2022, “A Possible Alignment Between the Orbits of Planetary Systems and their Visual Binary Companions” , AJ, 163, 207.
13. Gupta, A., Yen, H.-We; Koch, P. and 16 more, 2022, “Effects of Magnetic Field Orientations in Dense Cores on Gas Kinematics in Protostellar Envelopes” , ApJ, 930, 67G.
14. Kuwata, A., Kawahara, H., Aizawa, M. and 2 more, 2022, “Global Mapping of Surface Composition on an Exo-Earth Using Sparse Modeling” , ApJ, 930, 162.
15. Gaidos, E.; Hirano, T.; Kraus, A. L. and 21 more, 2022, “Zodiacal exoplanets in time (ZEIT) XII: a directly imaged planetary-mass companion to a young Taurus M dwarf star” , MNRAS, 512, 5.
16. Fanciullo, L., Kemper, F., Pattle, K. and 31 more, 2022, “The JCMT BISTRO Survey: multiwavelength polarimetry of bright regions in NGC 2071 in the far-infrared and submillimetre range, with POL-2 and HAWC+” , MNRAS, 512, 19.
17. Christiansen, J. L., Bhure, S.; Zink, J. K. and 39 more, 2022, “Scaling K2. V. Statistical Validation of 60 New Exoplanets From K2 Campaigns 2-18” , AJ, 163, 244.
18. Mori, M., Livingston, J. H., Leon, J. and 59 more, 2022, “TOI-1696: A Nearby M4 Dwarf with a 3 R \oplus Planet in the Neptunian Desert” , AJ, 163, 298.
19. Bouy, H., Tamura, M., Barrado, D. and 15 more, 2022, “Infrared spectroscopy of free-floating planet candidates in Upper Scorpius and Ophiuchus” , A&A, 664, A.111.
20. Kuzuhara, M., Currie, T., Takarada, T. and 33 more, 2022, “Direct-imaging Discovery and Dynamical Mass of a Substellar Companion Orbiting an Accelerating Hyades Sun-like Star with SCExAO/CHARIS” , ApJ, 934, L18.
21. Honda, M., Tazaki, R., Murakawa, K. and 6 more, 2022, “Subaru/IRCS L-band spectro-polarimetry of the HD 142527 disk scattered light” , PASJ, 74, 851.

22. Harakawa, Hiroki; Takarada, Takuya; Kasagi, Yui and 46 more, 2022, “A super-Earth orbiting near the inner edge of the habitable zone around the M4.5 dwarf Ross 508”, PASJ, 74, 904.
23. Cadieux, C., Doyon, R., Plotnykov, M. and 53 more, 2022, “TOI-1452 b: SPIRou and TESS Reveal a Super-Earth in a Temperate Orbit Transiting an M4 Dwarf”, AJ, 164, 96.
24. Hinkley, S., Carter, A. L., Ray, S. and 86 more, 2022, “The JWST Early Release Science Program for the Direct Imaging and Spectroscopy of Exoplanetary Systems”, PASP, 134, 5003.
25. Esparza-Borges, E., Parviainen, H., Murgas, F. and 45 more, 2022, “A hot sub-Neptune in the desert and a temperate super-Earth around faint M dwarfs. Color validation of TOI-4479b and TOI-2081b”, A&A, 666, 10.
26. Luque, R., Nowak, G., Hirano, T. and 45 more, 2022, “Precise mass determination for the keystone sub-Neptune planet transiting the mid-type M dwarf G 9-40”, A&A, 666, 154.
27. Swimmer, N., Currie, T., Steiger, S. and 26 more, 2022, “SCEXAO and Keck Direct Imaging Discovery of a Low-mass Companion Around the Accelerating F5 Star HIP 5319”, AJ, 164, 152.
28. Delrez, L., Murray, C. A., Pozuelos, F. J. and 82 more, 2022, “Two temperate super-Earths transiting a nearby late-type M dwarf”, A&A, 667, 59.
29. Hwang, J., Kim, J., Pattle, K. and 157 more, 2022, “The JCMT BISTRO Survey: A Spiral Magnetic Field in a Hub-filament Structure, Monoceros R2”, ApJ, 941, 51.
30. Ching, T.-C., Qiu, K., Li, D. and 154 more, 2022, “The JCMT BISTRO-2 Survey: Magnetic Fields of the Massive DR21 Filament”, ApJ, 941, 122.
31. Kikuchihara Shotaro, Harikane Yuichi, Ouchi Masami, Ono Yoshiaki, Shibuya Takatoshi, Itoh Ryohei, Kakuma Ryota, Inoue Akio K., Kusakabe Haruka, Shimasaku Kazuhiro, Momose Rieko, Sugahara Yuma, Kikuta Satoshi, Saito Shun, Kashikawa Nobunari, Zhang Haibin, Lee Chien-Hsiu, 2022, “SILVERRUSH. XII. Intensity Mapping for Ly α Emission Extending over 100–1000 Comoving Kpc around $z = 2 - 7$ LAEs with Subaru HSC-SSP and CHORUS Data”, ApJ, 931, 97
32. Misawa Toru, Ishimoto Rikako, Kobu Satoshi, Kashikawa Nobunari, Okoshi Katsuya, Noboriguchi Akatoki, Schramm Malte, Liu Qiang, 2022, “Exploratory Study of the Transverse Proximity Effect around BAL Quasars”, ApJ, 933, 239
33. Ishimoto Rikako, Kashikawa Nobunari, Kashino Daichi, Ito Kei, Liang Yongming, Cai Zheng, Yoshioka Takehiro, Okoshi Katsuya, Misawa Toru, Onoue Masafusa, Takeda Yoshihiro, Uchiyama Hisakazu, 2022, MNRAS, 515, 5914
34. Kikuchihara, S. et al. (additional 16 authors including Shimasaku, K.), 2022, “SILVERRUSH. XII. Intensity Mapping for Ly α Emission Extending over 100-1000 Comoving Kpc around $z \sim 2 - 7$ LAEs with Subaru HSC-SSP and CHORUS Data”, ApJ, 931, id.97, 17pp.
35. Wang, W.-H. et al. (additional 13 authors including Shimasaku, K.), “MUSUBI (MegaCam Ultra-deep Survey: u^* -band Imaging) Data for the COSMOS and SXDS Fields”, ApJS, 260, id.54, 15pp.
36. Ando, M., Shimasaku, K., Momose, R., Ito, K., Sawicki, M., Shimakawa, R., 2022, “A systematic search for galaxy protocluster cores at the transition epoch of their star formation activity”, MNRAS, 513, pp.3252-3272.

37. Ono, Y. et al. (additional 16 authors including Shimasaku, K.), 2022, “ALMA Observations of CO Emission from Luminous Lyman-break Galaxies at $z = 6.0293 - 6.2037$ ”, *ApJ*, 941, id.74, 19pp.
38. Kokorev, V. et al. (additional 32 authors including Shimasaku, K.), 2022, “ALMA Lensing Cluster Survey: Hubble Space Telescope and Spitzer Photometry of 33 Lensed Fields Built with CHARGE”, *ApJS*, 263, id.38, 32pp.
39. Uchiyama, H., Yamashita, T., Nagao, T., Ono, Y., Toshikawa, J., Ichikawa, K., Kawakatu, N., Kajisawa, M., Toba, Y., Matsuoka, Y., Kubo, M., Imanishi, M., Ito, K., Kawaguchi, T., Lee, C.-H., & Saito, T., 2022, “A Wide and Deep Exploration of Radio Galaxies with Subaru HSC (WERGS). IX. The most overdense region at $z \sim 5$ inhabited by a massive radio galaxy”, *PASJ*, 74, L27-L32.
40. Ishimoto, R., Kashikawa, N., Kashino, D., Ito, K., Liang, Y., Cai, Z., Yoshioka, T., Okoshi, K., Misawa, T., Onoue, M., Takeda, Y., & Uchiyama, H., 2022, “The physical origin for spatially large scatter of IGM opacity at the end of reionization: The IGM Ly α opacity-galaxy density relation”, *MNRAS*, 515, pp.5914-5926.
41. Ito, K., Tanaka, M., Miyaji, T., Ilbert, O., Kauffmann, O. B., Koekemoer, A. M., Marchesi, S., Shuntov, M., Toft, S., Valentino, F., & Weaver, J. R., 2022, “COSMOS2020: Ubiquitous AGN Activity of Massive Quiescent Galaxies at $0 < z < 5$ Revealed by X-Ray and Radio Stacking”, *ApJ*, 929, id.53, 19pp.
42. Aihara, H., AlSayyad, Y., Ando, M., Armstrong, R., Bosch, J., Egami, E., Furusawa, H., Furusawa, J., Harasawa, S., Harikane, Y., Hsieh, B.-C., Ikeda, H., Ito, K., Iwata, I., Kodama, T., Koike, M., Kokubo, M., Komiyama, Y., Li, X., Liang, Y., Lin, Y.-T., Lupton, R. H., Lust, N. B., MacArthur, L. A., Mawatari, K., Mineo, S., Miyatake, H., Miyazaki, S., More, S., Morishima, T., Murayama, H., Nakajima, K., Nakata, F., Nishizawa, A. J., Oguri, M., Okabe, N., Okura, Y., Ono, Y., Osato, K., Ouchi, M., Pan, Y.-C., Plazas Malagón, A. A., Price, P. A., Reed, S. L., Rykoff, E. S., Shibuya, T., Simunovic, M., Strauss, M. A., Sugimori, K., Suto, Y., Suzuki, N., Takada, M., Takagi, Y., Takata, T., Takita, S., Tanaka, M., Tang, S., Taranu, D. S., Terai, T., Toba, Y., Turner, E. L., Uchiyama, H., Vijarnwannaluk, B., Waters, C. Z., Yamada, Y., Yamamoto, N., & Yamashita, T., 2022, “Third data release of the Hyper Suprime-Cam Subaru Strategic Program”, *PASJ*, 74, pp.247-272.
43. Fujii, M. S., Hattori, K., Wang, L., Hirai, Y., Kumamoto, J., Shimajiri, Y., Saitoh, T. R., 2022, “SIRIUS Project – V. Formation of off-centre ionized bubbles associated with Orion Nebula Cluster”, *MNRAS*, 514, 1, pp 43–54
44. Fujii, M. S., Wang, L., Hirai, Y., Shimajiri, Y., Kumamoto, J., Saitoh, T., 2022, “SIRIUS Project. IV. The formation history of the Orion Nebula Cluster driven by clump mergers”, *MNRAS*, 514, 2, pp.2513–2526
45. Wang, L., Tanikawa, A., Fujii, M. S., 2022, “Gravitational wave of intermediate-mass black holes in Population III star clusters”, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, Volume 515, Issue 4, pp.5106–5120
46. Asano, T., Fujii, M. S., Baba, J., Bédorf, J., Sellentin, E., Portegies Zwart, S., 2022, “Impact of bar resonances in the velocity-space distribution of the solar neighbourhood stars in a self-consistent N-body Galactic disc simulation”, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 514, 1, pp.460–469

47. Hatta, Y., Sekii, T., Benomar, O., Takata, M., 2022, “Bayesian Rotation Inversion of KIC 11145123”, *ApJ*, 927, id.40.
48. Pinçon, C., Takata, M., 2022, “Multi-cavity gravito-acoustic oscillation modes in stars. A general analytical resonance condition”, *A&A*, 661, A139.
49. Tokuno, T., Takata, M., 2022, “Asteroseismology of the dip structure in period-spacings of rapidly rotating γ Doradus stars caused by the coupling between core and envelope oscillations”, *MNRAS*, 514, 4140.
50. Onaka, T., Sakon, I., Shimonishi, T., 2022 “Near-infrared Spectroscopy of a Massive Young Stellar Object in the Direction toward the Galactic Center: XCN and Aromatic C-D Features”, *ApJ* (2022), 941, 190 doi: 10.3847/1538-4357/ac9b15
51. Endo, I., Lau, E. M., Sakon, I., Onaka, T., Williams, P. M., Shenavrin, V. I., 2022, “Detection of a Broad $8\mu\text{ m}$ UIR Feature in the Mid-infrared Spectrum of WR125 Observed with Subaru/COMICS”, *ApJ*, 930, 116 (13pp.) doi: 10.3847/1538-4357/ac63bd
52. Vats, A., Pathak, A., Onaka, T., Buragohain, M., Sakon, I., Endo, I., 2022, “Theoretical study of infrared spectra of interstellar PAH molecules with N, NH, and NH₂ incorporation”, *PASJ*, 74, 161–174 doi: 10.1093/pasj/psab116
53. Naito, H., Tajitsu, A., Ribeiro, V. A. R. M., Arai, A., Maehara, H., Kouzuma, S., Iijima, T., Okazaki, A. T., Watanabe, M., Takagi, S., Watanabe, F., Sakon, I., Sadakane, K., 2022, “Morpho-kinematic Modeling of the Expanding Ejecta of the Extremely Slow Nova V1280 Scorpii”, *ApJ*, 932, 39 (12pp.) doi: 10.3847/1538-4357/ac6c82
54. Mori, T., Onaka, T., Sakon, I., Buragohain, M., Takahata, N., Sano, Y., Pathak, A., 2022, “Laboratory Measurements of Stretching Band Strengths of Deuterated Quenched Carbonaceous Composites”, *ApJ*, 933, 35 doi: 10.3847/1538-4357/ac71ae
55. Naruse, A., Kamizuka, T., Miyata, T., Sako, S., Nishimura, A., Sakon, I., Ohsawa, R., Asano, K., Tachibana, K., Michifuji, T., Iida, H., 2022 “Development of a flat calibration unit for TAO/MIMIZUKU” *Proceedings of the SPIE*, 12188, 121883U (10pp.) doi: 10.1117/12.2629163
56. Michifuji, T., Kamizuka, T., Miyata, T., Jikuya, I., Uchida, D., Kondo, T., Yamada, J., Honda, M., Sako, S., Ohsawa, R., Asano, K., Tachibana, K., Iida, H., Naruse, A., Sakon, I., 2022 “Development of a cold chopper for TAO/MIMIZUKU: cryogenic test” *Proceedings of the SPIE*, 12188, 121883G (9pp.) doi: 10.1117/12.2628837
57. Kamizuka, T., Miyata, T., Sako, S., et al. “Development status of TAO/MIMIZUKU: performance test of the near-infrared channel” *Proceedings of the SPIE*, 12184, 121845J (13pp.) doi: 10.1117/12.2628600
58. Endo, I., Sakon, I., Onaka, T., Kimura, Y., Kimura, S., Wada, S., Helton, A. L., Lau, R. M., Kebukawa, T., Muramatsu, Y., Ogawa, NN. O., Ohkouchi, N., Nakamura, M., Kwok, S., 2022, “Towards the identification of carriers of the unidentified infrared (UIR) bands in novae”, *Proceedings IAU Symposium No.366, The Origin of Outflows in Evolved Stars*, 327–331
59. da Silva, R., Crestani, J., Bono, G., Braga, V. F., D’Orazi, V., Lemasle, B., Bergemann, M., Dall’Ora, M., Fiorentino, G., Francois, P., Groenewegen, M. A. T., Inno, L., Kovtyukh, V., Kudritzki, R.-P., Matsunaga, N., Monelli, M., Pietrinferni, A., Porcelli, L., Storm, J., Tantaló, M., Thévenin, F., 2022,

- “A new and Homogeneous metallicity scale for Galactic classical Cepheids. II. Abundance of iron and α elements”, *A&A*, 661, id. A104
60. Ikeda, Y., Kondo, S., Otsubo, S., Hamano, S., Yasui, C., Matsunaga, N., Sameshima, H., Yoshikawa, T., Fukue, K., Nakanishi, K., Kawanishi, T., Watase, A., Nakaoka, T., Arai, A., Kinoshita, M., Kitano, A., Nakamura, K., Asano, A., Takenaka, K., Murai, T., Kawakita, H., Minami, A., Izumi, N., Yamamoto, R., Mizumoto, M., Taniguchi, D., Tsujimoto, T., 2022, “Highly Sensitive, Non-cryogenic NIR High-resolution Spectrograph, WINERED”, *PASP*, 134, id. 015004
61. Matsunaga, N., Itane, A., Hattori, K., Crestani, J., Braga, V., Bono, G., Taniguchi, D., Baba, J., Maehara, H., Ukita, N., Sakamoto, T., Kobayashi, N., Aoki, T., Soyano, T., Tarusawa, K., Sarugaku, Y., Mito, H., Sako, S., Doi, M., Nakada, Y., Izumi, N., Ita, Y., Onozato, H., Jian, M., Kondo, S., Hamano, S., Yasui, C., Tsujimoto, T., Otsubo, S., Ikeda, Y., Kawakita, H., 2022, “A Very Metal-poor RR Lyrae Star with a Disk Orbit Found in the Solar Neighborhood”, *ApJ*, 925, id. 10
62. Hamano, S., Kobayashi, N., Kawakita, H., Takenaka, K.; Ikeda, Y., Matsunaga, N., Kondo, S., Sameshima, H., Fukue, K., Otsubo, S., Arai, A., Yasui, C., Kobayashi, H., Bono, G., Saviane, I., 2022, “Survey of Near-infrared Diffuse Interstellar Bands in Y and J Bands. I. Newly Identified Bands”, *ApJS*, 262, id 2
63. Kovtyukh, V. V. ; Korotin, S. A., Andrievsky, S. M., Matsunaga, N., Fukue, K., “Chemical properties of the central part of the Galactic nuclear stellar disc. Abundances in four classical Cepheids revisited”, *MNRAS*, 516, 4269–4275
64. Sanders, J. L., Matsunaga, N., Kawata, D., S., Leigh C., Minniti, D., Lucas, P. W., “Mira variables in the Milky Way’s nuclear stellar disc: discovery and classification”, *MNRAS*, 517, 257–280
65. Taniguchi, D., Yamazaki, K., Uno, S., 2022, “The Great Dimming of Betelgeuse seen by the Himawari-8 meteorological satellite”, *Nature Astronomy*, 6, 930
66. Ogane, N., Ohshima, O., Taniguchi, D., Takanashi, N., 2022, “UBVRI photometry of Betelgeuse over 23 years since 1999”, *Open European Journal on Variable stars*, 233, 1
67. Nandakumar, G., Ryde, N., Montelius, M., Thorsbro, B., Jonsson, H., Mace, G., 2022, “The Galactic chemical evolution of phosphorus observed with IGRINS”, *A&A*, 668, A88

1.6.1.2 出版済(2023年)

1. Munoz-Romero, C. E., Öberg, K. I., Law, C. J., Teague, R., Aikawa, Y., Bergner, J. B., Wilner, D. J., Huang, J., Guzman, V. V., Cleaves, L. I. , 2023, “Cold Deuterium Fractionation in the Nearest Planet-forming Disk” , *ApJ*, 943, 35
2. Harada, N., Tokuda, K., Yamasaki, H., Sato, A., Omura, M., Hirano, S., Onishi, T., Tachihara, K., Machida, M. N., “Crescent-shaped Molecular Outflow from the Intermediate-mass Protostar DK Cha Revealed by ALMA” , *ApJ*, Volume 945, Issue 1, id.63, 9 pp.
3. Tomonori Totani, 2023, “Solid grains ejected from terrestrial exoplanets as a probe of the abundance of life in the Milky Way” , *Int. J. Astrobio.* published online on Mar. 22, page numbers to be fixed

4. Shimizu, T., Uyama, T., Hori, Y. and 2 more. 2023. “High-contrast Imaging around a 2 Myr-old CI Tau with a Close-in Gas Giant”, *AJ*, 165, 20.
5. Komatsu, Y., Hori, Y., Kuzuhara, M. and 8 more. 2023. “Photosynthetic Fluorescence from Earthlike Planets around Sunlike and Cool Stars”, *ApJ*, 942, 57.
6. Gaidos, E., Hirano, T., Lee, R. A. and 13 more. 2023. “Planet(esimal)s around stars with TESS (PAST) III: A search for triplet He I in the atmospheres of two 200 Myr-old planets”, *MNRAS*, 518, 37.
7. Tahani, M., Bastien, P., and 143 more. 2023. “JCMT BISTRO Observations: Magnetic Field Morphology of Bubbles Associated with NGC 6334”, *ApJ*, 944, 139.
8. Hirano, T., Dai, F., Livingston, J. H. and 46 more. 2023. “An Earth-sized Planet around an M5 Dwarf Star at 22 pc”, *AJ*, 165, 131.
9. Miles, B. E., Biller, B. A., Patapis, P. and 108 more. 2023. “The JWST Early-release Science Program for Direct Observations of Exoplanetary Systems II: A 1 to 20 μm Spectrum of the Planetary-mass Companion VHS 1256–1257 b”, *ApJ*, 946, L6.
10. Wolf J., Nandra K., Salvato M., Buchner J., Onoue M., Liu T., Arcodia R., Merloni A., Ciroi S., Di Mille F., Burwitz V., Brusa M., Ishimoto R., Kashikawa N., Matsuoka Y., Urrutia T., Waddell S. G. H., 2023, “X-ray emission from a rapidly accreting narrow-line Seyfert 1 galaxy at $z = 6.56$ ”, *A&A*, 669, 127
11. Ren Yi W., Fudamoto Yoshinobu, Inoue Akio K., Sugahara Yuma, Tokuoka Tsuyoshi, Tamura Yoichi, Matsuo Hiroshi, Kohno Kotaro, Umehata Hideki, Hashimoto Takuya, Bouwens Rychard J., Smit Renske, Kashikawa Nobunari, Okamoto Takashi, Shibuya Takatoshi, Shimizu Ikkoh, 2023, “Updated Measurements of [O iii] 88 μm , [C ii] 158 μm , and Dust Continuum Emission from a $z = 7.2$ Galaxy”, *ApJ*, 945, 69
12. Ito Kei, Tanaka Masayuki, Valentino Francesco, Toft Sune, Brammer Gabriel, Gould Katriona M.L., Ilbert Olivier, Kashikawa Nobunari, Kubo Mariko, Liang Yongming, McCracken Henry J., WeaverJohn R., 2023, “COSMOS2020: Discovery of a Protocluster of Massive Quiescent Galaxies at $z = 2.77$ ”, *ApJL*, 945, L9
13. Ando, M., Shimasaku, K., Ito, K., 2023, “Detection of anisotropic satellite quenching in galaxy clusters up to $z \sim 1$ ”, *MNRAS*, 519, pp.13-25.
14. Valentino, F., Brammer, G., Gould, K. M. L., Kokorev, V., Fujimoto, S., Jespersen, C. K., Vijayan, A. P., Weaver, J. R., Ito, K., Tanaka, M., Ilbert, O., Magdis, G. E., Whitaker, K. E., Faisst, A. L., Gallazzi, A., Gillman, S., Giménez-Arteaga, C., Gómez-Guijarro, C., Kubo, M., Heintz, K. E., Hirschmann, M., Oesch, P., Onodera, M., Rizzo, F., Lee, M., Strait, V., & Toft, S., 2023, “An Atlas of Color-selected Quiescent Galaxies at $z > 3$ in Public JWST Fields”, *ApJ*, 947, id.20, 23pp.
15. Ito, K., Tanaka, M., Valentino, F., Toft, S., Brammer, G., Gould, K. M. L., Ilbert, O., Kashikawa, N., Kubo, M., Liang, Y., McCracken, H. J., & Weaver, J. R., 2023, “COSMOS2020: Discovery of a Protocluster of Massive Quiescent Galaxies at $z = 2.77$ ”, *ApJL*, 945, id.L9, 8pp.

16. Nagele C., Umeda H., Takahashi K., Yoshida T., Sumiyoshi K., 2022, “Stability analysis of supermassive primordial stars: a new mass range for general relativistic instability supernovae” MNRAS, 517, 1584
17. Nagele C., Umeda H., Takahashi K., Maeda K., 2023, “Pulsations of primordial supermassive stars induced by a general relativistic instability; visible to JWST at $z > 12$ ” MNRAS, 520, L72
18. Hirashima, K., Moriwaki, K., Fujii, M., Hirai, Y., Saitoh, T., & Makino, J. 2023, ”Predicting the Expansion of Supernova Shells Using Deep Learning toward Highly Resolved Galaxy Simulations”, Proceedings of the International Astronomical Union, 16(S362), 209-214. doi:10.1017/S1743921322001739
19. Asano, T., Fujii, M. S., Baba, J., Bédorf, J., Sellentin, E., Portegies Zwart, S., 2023, Velocity-space substructures and bar resonances in an N-body Milky Way, Proceedings of the International Astronomical Union, 16(S362), pp. 116-121
20. 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
21. Forsberg, R., Rich, R. M., Nieuwmunster, N., Jonsson, H., Schultheis, M., Ryde, N., Thorsbro, B., 2023, “First r-process enhanced star confirmed as a member of the Galactic bulge”, A&A, 669, A17

1.6.1.3 印刷中

1. Iwasaki, K., Kobayashi, H., Higuchi, A., Aikawa, Y., 2023, “A Constraint on the Amount of Hydrogen from the CO Chemistry in Debris Disks” , ApJ, in press
2. 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” , ApJ, in press
3. 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” , A&A, in press
4. Molpeceres, G., Rivilla, V. M., Furuya, K., Kästner, J., Mate, B., Aikawa, Y., 2023, “Processing of hydroxylamine, NH_2OH , an important prebiotic precursor, on interstellar ices” , MNRAS, in press
5. Kovtyukh, V., Lemasle, B., Nardetto, N., Bono, G., da Silva, R., Matsunaga, N., Yushchenko, A., Fukue, K., Grebel, E. K., “Effective temperatures of classical Cepheids from line-depth ratios in the H-band”, MNRAS, in press

1.6.2 和文論文および解説記事

1. 古家健次, 大和義英, Gianni Cataldi, 相川祐理, 「ALMA 観測で探る原始惑星系円盤の化学: MAPS プロジェクトの成果」, 天文月報, 2022年5月号
2. 藤井通子 (銀河形成, 星・星団形成, 分担執筆), 「科学 2022 6月号」, 2022, 岩波書店

3. 遠藤いずみ, 左近 樹, 「新星爆発で生まれる有機物の合成実験」, 天文月報, 2022年6月号, アストロケミストリー特集(3)
4. 谷口大輔, 「気象衛星「ひまわり8号」がとらえたベテルギウスの大減光」, AstroArts, 2022年5月31日
5. 谷口大輔, 「脈動する紅い超巨星 ベテルギウス大減光の謎」, 月刊「星ナビ」, 2023年3月号, pp. 98–101

1.6.3 著書, 訳書, 編書

1. 田村元秀(天文部, 分担執筆), 高田将郎(天文部, 分担執筆), 松永典之(暦部, 分担執筆), 「理科年表2023」, 2022, 丸善

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 2022 年秋季年会, 新潟大学 (2022/9/13–9/15)

1. 小道雄斗, 相川祐理, 岩崎一成: 「星間衝撃波により形成される圧縮層の化学進化」
2. 平野信吾, 相川祐理, 町田正博: 「磁気流体シミュレーションで探る Class 0/I 原始星形成領域」
3. 大和義英, 相川祐理, eDisk collaboration: 「Early Planet Formation in Embedded Disks (eDisk): First-look results of L1489 IRS」
4. 葛原昌幸ほか: 「ヒアデス星団に属する恒星 HIP 21152 を公転する褐色矮星の発見と力学質量」
5. 幾田 佳ほか: 「すばる望遠鏡 IRD による TOI-654 の視線速度の複数惑星モデリング」
6. 桑田敦基ほか: 「スペースモデリングとスペクトル脱混合による惑星マッピングの発展」
7. 鶴山太智ほか: 「Hipparcos-Gaia 固有運動カタログを用いた直接撮像探査: 複雑な系における低質量伴星の発見」
8. 西川 淳ほか: 「高コントラスト観測法 Coherent Differential Imaging on Speckle Area Nulling (CDI-SAN) の開発」
9. 有田淳也ほか: 「 $z \sim 6$ におけるクエーサーのダークマターハロー質量に対する観測的制限」
10. 石本梨花子ほか: 「IGM の光学的厚みと LAE 密度の関係から探る宇宙再電離非一様性の起源」
11. 武田佳大ほか: 「深層学習を用いた hsc-ssp 測光観測 データからの原始銀河団検出」
12. 安藤誠, 嶋作一大, 伊藤慧, 田中匠, 松井思引ほか: 「Detection of anisotropic satellite quenching in galaxy clusters up to $z \sim 1$ 」
13. 平島敬也, 藤井通子, 深層学習による超新星シェル膨張予測を用いた高解像度銀河形成シミュレーションの高速化
14. 朝野哲郎, 藤井通子, 位置天文観測と天の川銀河の N 体シミュレーションの比較

15. 船越菜月, 松永典之, 谷口大輔, 河田大介 (University College London): 「銀河系円盤外縁部の運動学的リッジ構造が若い星にも存在することの発見」, R16a
16. 松永典之, WINERED チーム: 「新たなセファイドに対する近赤外組成測定にもとづく銀河系円盤研究の検討」, N13b
17. 谷口大輔, 松永典之, Mingjie Jian, Brian Thorsbro, 小林尚人, 近藤荘平, 鮫島寛明 (天文学センター) ほか: 「赤色超巨星をトレーサーとした系外銀河の化学組成研究に向けて — 太陽近傍天体を用いた解析手法の試験」, N16c

1.7.2 日本天文学会 2023 年春季年会, 立教大学 (オンライン開催) (2023/3/13–3/16)

1. 相川祐理: 「低質量星形成過程における分子組成進化」
2. 大和義英, 野津翔太, 大小田結貴, 坂井南美, 相川祐理, 野村英子: 「FU Ori 型星 V883 Ori 周りの円盤における複雑有機分子の観測」
3. 平野 信吾, 酒井 勇輔, 梅田 秀之: 「streaming velocity による初代星星団の形成」
4. 成田憲保ほか: 「MuSCAT シリーズとすばる望遠鏡 IRD インテンシブ観測による TESS トランジット惑星候補のフォローアップ観測 III」
5. 米田 謙太ほか: 「高コントラスト観測法 Coherent Differential Imaging on Speckle Area Nulling (CDISAN) の開発 2」
6. 伊藤慧 他: 「Discovery of a protocluster of massive quiescent galaxies at $z = 2.77$ 」
7. 松井思引, 嶋作一大, 伊藤慧, 安藤誠, 田中匠: 「 $4 \lesssim z \lesssim 7$ の星形成銀河における超大質量ブラックホールの成長率と母銀河との関係」
8. 田中匠, 嶋作一大, 安藤誠, 伊藤慧, 松井思引ほか: 「HINOTORI: a Statistical Study of Rejuvenated Galaxies with the MaNGA Sample」
9. 藤井通子: Orion Nebula の形成と大質量星の運動について
10. 金子克大: 高分解能矮小銀河形成シミュレーションで探るコア-カスプ問題
11. 竹内智美 (京都産業大), 松永典之, 谷口大輔, 近藤荘平 (東京大学), ほか: 「近赤外線高分散分光器 WINERED: Magellan 望遠鏡ファーストライト」, V228a

1.7.3 国際研究会

1. Yuri Aikawa, “Molecular evolution in star-forming regions: from molecular clouds to protoplanetary disks”, COSPAR, F3.5 “Simple and Complex Molecules in Star-forming Regions”, Athena, Greek (オンライン参加), 2022 年 7 月 17 日–23 日 (invited)
2. Yuri Aikawa, “Chemical link between protostellar cores, protoplanetary disks, and primordial objects in the Solar system”, IAU GA, FM 8: Planetary Astronomy via Telescopic and Microscopic Approaches, 釜山, 韓国 (オンライン参加), 2022 年 8 月 2–11 日 (invited)
3. Shingo Hirano, 「初代星星団はいつ・どこで生まれたか」, The 9th East Asian Numerical Astrophysics Meeting (EANAM9), 那覇, 2022 年 9 月 26–30 日

4. Yoshihide Yamato, “Early Planet Formation in Embedded Disks (eDisk): Dust and molecular substructures in the disk around Class I source L1489 IRS”, *Molecules in Extreme Environment : Near and Far*, NAOJ, Mitaka, 2022, Nov 23–25
5. Yuto Komichi, “Chemistry of Forming Molecular Clouds: Comparison with Molecular Absorption Lines”, *Molecules in Extreme Environment : Near and Far*, NAOJ, Mitaka, 2022, Nov 23–25
6. Gianni Cataldi “Studying the C and CO content of debris disks”, *Molecules in Extreme Environment : Near and Far*, NAOJ, Mitaka, 2022, Nov 23–25
7. Yuri Aikawa, “Theoretical astrochemistry based on microscopic processes in the gas and solid phases”, *Next Generation Astrochemistry*, Univ. of Tokyo, 2022, Nov. 29–Dec 2, 2022
8. Yuri Aikawa, “Concluding Remark”, *Next Generation Astrochemistry*, Univ. of Tokyo, 2022, Nov. 29–Dec 2, 2022
9. German Molpeceres, “Physical Processes on Interstellar Apolar Ices”, *Next Generation Astrochemistry*, Univ. of Tokyo, 2022, Nov. 29–Dec 2, 2022 (invited)
10. Yoshihide Yamato, “NH₂D/NH₃ in NGC1333IRAS4A”, *Next Generation Astrochemistry*, Univ. of Tokyo, 2022, Nov. 29–Dec 2, 2022
11. Yuto Komichi, “Chemistry of Forming Molecular Clouds: Comparison with Molecular Absorption Lines”, *Next Generation Astrochemistry*, Univ. of Tokyo, 2022, Nov. 29–Dec 2, 2022
12. Gianni Cataldi, “Studying the chemistry of debris disk gas”, *Next Generation Astrochemistry*, Univ. of Tokyo, 2022, Nov. 29–Dec 2, 2022
13. Gianni Cataldi, “Using ALMA to observe C and CO gas in debris disks”, *ALMA/45m/ASTE Users Meeting 2022*, NAOJ, Dec 20–21, 2022
14. Tomonori Totani, “Emergence of life in an inflationary universe”, *Potential and Limitations of Evolutionary Processes*, Israel, May 2022 (online presentation)
15. Junya Arita et al. “The dark halo mass of quasars at $z \sim 6$ with SHELLQs”, *HSC-AGN f2f meeting 2022*, Japan, Nov. 2022
16. Junya Arita et al. “The dark halo mass of quasars at $z \sim 6$ with SHELLQs”, *9th GALAXY EVOLUTION WORKSHOP*, Japan, Feb. 2023
17. Rikako Ishimoto et al. “Physical origin of the spatially inhomogeneous progress of the cosmic reionization”, *The Fourth Chile-Japan Academic Forum*, Chile, Nov. 2022
18. Yuri Nishimura et al. “ALMA Band 3 line survey toward the Cloverleaf quasar at $z \sim 2.56$ ”, *Molecules in extreme environments: Near and Far*, Japan, Nov. 2022
19. Yuri Nishimura et al. “ALMA Band 3 line survey toward the Cloverleaf quasar at $z \sim 2.56$ ”, *A half century of millimeter and submillimeter astronomy: Impact on astronomy/astrophysics and the future*, Japan, Dec. 2022
20. Yuri Nishimura et al. “CONquest + CONtrail: chemical characterization of CONs and outflows”, *CONquest workshop 2023*, Online, Jan. 2023

21. Takehiro Yoshioka et al. “Predict Ly α Emission Lines from Distant Galaxies with Machine Learning Technique”, The Fourth Chile-Japan Academic Forum, Chile, Nov. 2022
22. Yoshihiro Takeda et al. “Hunting for protoclusters by deep learning”, The Fourth Chile-Japan Academic Forum, Chile, Nov. 2022
23. Yoshihiro Takeda et al. “Mining for the protoclusters at $z \sim 4$ from hsc-ssp photometric dataset with deep learning”, FoPM International Symposium, Japan, Feb. 2023
24. Yoshihiro Takeda et al. “Mining for the protoclusters at $z \sim 4$ from hsc-ssp photometric dataset with deep learning”, 9th GALAXY EVOLUTION WORKSHOP, Japan, Feb. 2023
25. K. Ito et al., “Discovery of a protocluster of massive quiescent galaxies at $z = 2.77$ ”, Subaru Users meeting FY2022, Japan, 2023/2/20–2023/2/23
26. K. Ito et al., “Discovery of a protocluster of massive quiescent galaxies at $z = 2.77$ ”, Galaxy Evolution Workshop 2022, Japan, 2023/1/31–2023/2/2
27. K. Ito et al., “AGN Activity of Massive Quiescent Galaxies to $z \sim 5$ Revealed by X-ray and Radio Stacking”, COSMOS 2022 team meeting, France, 2022/7/12–2022/7/15
28. Makoto Ando, Kazuhiro Shimasaku, Kei Ito, “Anisotropic satellite quenching in galaxy clusters up to $z \sim 1$ detected by the HSC-SSP survey”, Subaru Users Meeting FY2022, Japan, Feb. 2023
29. Makoto Ando, Kazuhiro Shimasaku, Kei Ito, “Anisotropic satellite quenching in galaxy clusters up to $z \sim 1$ detected by the HSC-SSP survey”, 9th Galaxy Evolution Workshop, Japan, Feb. 2023
30. Suin Matsui, Kazuhiro Shimasaku, Kei Ito, Makoto Ando, Takumi Tanaka, “The average SMBH accretion properties of star-forming galaxies and their cosmic evolution over $4 \lesssim z \lesssim 7$ ”, Galaxy Evolution Workshop 2023, Kyoto University and online, 2023/2/20–2/23
31. Suin Matsui, Kazuhiro Shimasaku, Kei Ito, Makoto Ando, Takumi Tanaka, “The average SMBH accretion properties of star-forming galaxies and their cosmic evolution over $4 \lesssim z \lesssim 7$ ”, ILANCE Kyoto conference 2023, Kyoto University and online, 2023/3/27–3/30
32. Takumi Tanaka, “SWIMMY Survey: Mining Unique Color Features Buried in Galaxies by Deep Anomaly Detection”, Tracing the SMBH growth: outlook beyond the HSC-SSP, and future collaborations, 2022/11/30–12/2, Kagoshima University and online
33. Takumi Tanaka, Kazuhiro Shimasaku, Makoto Ando, Kei Ito, Suin Matsui, Sandro Tacchella, and Hassen Yesuf, “HINOTORI: A Statistical Study of Rejuvenated Galaxies with the SDSS/MaNGA Sample”, 9th Galaxy Evolution Workshop, 2023/2/20–2/23, Kyoto University and online
34. Nagele, AAS 241, USA, January 2023 (Presentation)
35. Nagele, Exploring the Transient Universe, Japan, December 2022 (Presentation)
36. Nagele, EANAM9, Japan, September 2022 (Presentation)
37. Nagele, NPA-X, Switzerland, September 2022 (Poster)
38. Nagele, ngVLA 2022 @ CCA, USA, June 2022 (Presentation)
39. Nagele, JINA Frontiers 2022, USA, May 2022 (Poster)

40. Nagele, JINA Frontiers 2022 Junior Researchers WS, USA, May 2022 (Presentation)
41. Nagele, Neutrino 2022, Online, May 2022 (Virtual Poster)
42. Fujii, M. S., “Star-by-star simulations of star-cluster formation”, The 9th East Asian Numerical Astrophysics Meeting (EANAM9), Japan, 9/2022(invited)
43. Hirashima, K., Fujii, M. S., Forecasting the expansion of SN shells using deep learning toward high-resolution galaxy simulations”, Challenges and Innovations in Computational Astrophysics IV, Live Zoom, 11/2022
44. Hirashima, K., Fujii, M. S., “Forecasting SN explosions Using Deep Learning toward High-Resolution Galaxy Simulations”, IAUS 368: Machine Learning in Astronomy: Possibilities and Pitfalls, e-talk, 8/2022
45. Asano, T., “Galactic disk perturbed by the satellite galaxies”, Challenges and Innovations in Computational Astrophysics IV, Online, 11/2022
46. Asano, T. “Impact of the Satellites on the Dynamical Evolution of the Galactic Disk”, IAU Symposium 377 Early Disk-Galaxy Formation from JWST to the Milky Way, Kuala Lumpur, 2/2023
47. Takata, M., “Inferring the internal structure of SPB and γ Dor stars based on a diagnostic diagram”, Asteroseismology in the Era of Surveys from Space and the Ground: Stars, Planets, and the Milky Way, TASC6/KASC13 Workshop, Belgium, July 2022
48. Sakon, I., ”Understanding of the origin and evolution of cosmic organic dust in an astrobiological context”, FY2022 LHD research forum, Online, 2022/7/11–15, oral presentation
49. Endo, I., ”A UIR band feature detected in the N-band low-resolution spectrum of WR 125 with Subaru/COMICS”, IR2022: An Infrared Bright Future for Ground-based IR observatories in the Era of JWST, Online, oral presentation
50. Matsunaga, N., “Pulsating stars in the Milky Way: IRSF surveys and more”, The Workshop on Infrared Astronomy with the Infrared Survey Facility, Kyoto University, 2022/12/1–3 (oral)
51. Matsunaga, N., “The near-infrared spectrograph, WINERED, starting observations at Las Campanas Observatory”, Chile-Japan Academic Forum 2022, Los Lagos (Chile), 2022/11/29-30 (Oral, Online)
52. Matsunaga, N., “Setting the stages of NIR spectroscopy for a bird’s-eye view of the Milky Way disk”, Conference “Linking the Galactic and Extragalactic”, Woolongong (Australia), 2022/11/28–12/2 (poster)
53. Taniguchi, D., “Using meteorological satellites as “space telescope”: a case study with the Great Dimming of Betelgeuse”, AUTONOMOUS SPACE TELESCOPE CONSTELLATIONS workshop, hybrid (USA), 2022/6/11–12 (oral)
54. Taniguchi, D. and the WINERED team, “Elemental abundances of red supergiants measured with near-infrared high-resolution spectra”, The 21st Cambridge Workshop on Cool Stars, Stellar Systems, and the Sun (CS21), France, 2022/7/4–9 (poster)
55. Taniguchi, D., Yamazaki, K., and Uno, S., “Five years of optical and infrared monitoring of Betelgeuse with the Himawari-8 meteorological satellite”, The 21st Cambridge Workshop on Cool Stars, Stellar Systems, and the Sun (CS21), France, 2022/7/4–9 (poster)

56. Taniguchi, D., “Linking the Galactic and extragalactic chemical abundances using red supergiants”, Linking the Galactic and Extragalactic — Stellar dynamics and stellar populations of the Milky Way and its siblings, Australia, 2022/11/28–12/2 (poster)
57. Funakoshi, N., “Gaia’s precise kinematic data exploring stellar spiral arms and their nature”, Linking the Galactic and Extragalactic — Stellar dynamics and stellar populations of the Milky Way and its siblings, Australia, 2022/11/28–12/2 (oral)
58. Brian Thorsbro: Summer school on plasma physics, Beijing Normal University, China, 2022-07-07, “Laboratory Astrophysics based on Atomic Spectroscopy”
59. Brian Thorsbro: International Education and Science Centre, Zhytomyr Polytechnic State University, Ukraine, 2022-07-14, “Exploring other worlds for signs of life”

1.7.4 国内研究会

1. 相川祐理, 「円盤形成領域のモデルと観測」, Computational Astrobiology, 筑波大学, 2022年11月10日–11日 (招待講演)
2. 平野信吾, “Simulations Suggest Magnetic Fields Made the First Stars Form Solo” 初代星・初代銀河研究会 2022, 徳島大学, 2022年11月10–12日
3. 平野信吾, 「初代星の形成過程・質量分布のサーベイ・シミュレーション」, 第35回理論懇シンポジウム, コラッセふくしま, 2022年12月21–23日
4. 平野信吾, 「パラメタサーベイ・シミュレーションによる初代星形成モデルの拡張」, CfCA Users Meeting 2022, 国立天文台, 2023年1月27日
5. Yuri Aikawa, “Astrochemistry with ALMA: Review and Prospects for Wideband Sensitivity Upgrade” 宇宙電波懇談会, 国立天文台 (三鷹), 2023年3月27–28日 (招待講演)
6. 相川祐理, 「発表標題: 星・惑星系形成領域における化学反応ネットワークモデル」, 原子分子データ応用フォーラムセミナー」合同研究会, 核融合研 (オンライン), 2022年12月21日–23日 (招待講演)
7. 相川祐理, 「理論班総括」, 学術変革領域「次世代アストロケミストリー」領域全体集会, 東京大学, 2023年3月7–9日
8. 平野 信吾, 「原始星降着エンベロープの減速原因」, 学術変革領域「次世代アストロケミストリー」領域全体集会, 東京大学, 2023年3月7–9日
9. German Molpeceres, “Reaction dynamics on amorphous solid water surfaces using interatomic machine learned potentials”, 学術変革領域「次世代アストロケミストリー」領域全体集会, 東京大学, 2023年3月7–9日
10. 鈴木大輝, 「円盤内での有機物生成」, 学術変革領域「次世代アストロケミストリー」領域全体集会, 東京大学, 2023年3月7–9日
11. Gianni Cataldi, “Studying the C and CO content of debris disks”, ALMA Grant Fellow Symposium 2022, NAOJ, 2022年12月19日
12. Gianni Cataldi, “ALMA observations of C and CO emission from debris disks”, ALMA-J seminar, June 29, 2022

13. 戸谷友則, 「生命の起源と地球外生命の存在確率」2040年代のスペース天文学研究会, 名古屋, 2022年11月
14. 有田淳也ほか, 「 $z \sim 6$ におけるクエーサーのダークマターハロー質量に対する観測的制限」2022年度第52回天文・天体物理若手夏の学校, オンライン, 8/25
15. Makoto Ando, Kazuhiro Shimasaku, Kei Ito, Takumi Tanaka, John D. Silverman, Suin Matsui (U.Tokyo), HSC Project 439 member, 「Detection of anisotropic satellite quenching in galaxy clusters up to $z \sim 1$ 」銀河・銀河間ガス研究会 2022, 北海道, 2022/8
16. 松井思引, 嶋作一大, 伊藤慧, 安藤誠, 田中匠, 「X線スタッキングを含む多波長解析が明かす $4 < z < 7$ における星形成とブラックホール質量降着率との相関」2022年度第52回天文・天体物理若手夏の学校, オンライン, 2022/8/23-8/26
17. 西嶋翔, 平野信吾, 梅田秀之, 「弱いLW放射による初代星形成への影響: HD冷却」第35回理論懇シンポジウム, 福島市, 2022/12/21-23 (ポスター)
18. 藤井通子, 「星一つ一つを再現した星団形成シミュレーション」, 第35回理論懇シンポジウム「理論天文学・宇宙物理学の広がり:さらなる発展に向けて」, 福島市, 2022/12, 招待講演
19. 藤井通子, 「富岳を用いた球状星団シミュレーション」, 「富岳で加速する素粒子・原子核・宇宙・惑星」シンポジウム, 神戸市, 2022/12
20. 平島敬也, 藤井通子, 「機械学習を用いた超新星爆発シェル膨張の予測」, 「富岳で加速する素粒子・原子核・宇宙・惑星」シンポジウム, 2022/12
21. 平島敬也, 藤井通子, 「Forecasting the expansion of Supernova shells toward accelerating high-resolution galaxy simulations」, 天文学におけるデータ科学的方法 2022, 統計数理研究所, 2022/20
22. 「朝野哲郎, 伴銀河から摂動を受ける天の川銀河円盤」, 天の川銀河研究会 2022, 鹿児島大学, 2022/11
23. 朝野哲郎, 「いて座矮小銀河から摂動を受ける天の川銀河円盤」, 第35回理論懇シンポジウム「理論天文学・宇宙物理学の広がり:さらなる発展に向けて」, 福島市, 2022/12
24. 左近 樹, 「米国 FIR probe ミッション候補 PRIMA(the PProbe Infrared Mission for Astrophysic) について」, 2022年度光赤天連シンポジウム「2030年代の天文学と光赤外地上・スペース計画:日本の戦略」, Zoom開催, 2022/9/20-22, 口頭講演
25. 松永典之, 「セファイド変光星の近赤外線分光観測によるリン元素組成の研究」, 連星系・変光星研究会 2022, 岡山理科大学, 2022年12月16-18日 (オンライン口頭)
26. 松永典之, 「セファイド変光星を用いるリン元素の進化の観測的研究に向けて」, 天の川銀河研究会 2022, 鹿児島大学, 2022年11月7-9日 (オンライン口頭)
27. 谷口大輔, 「赤色超巨星でマップする銀河系の金属量分布 — $320 < l < 50 \text{ deg}$ 」, WINERED マゼラン望遠鏡観測検討会 (2022年7月観測), 京都府, 2022年6月16-17日 (口頭)
28. 谷口大輔, 「気象衛星や中小口径望遠鏡による恒星モニタリング」, 2022年度光赤天連シンポジウム「2030年代の天文学と光赤外地上・スペース計画:日本の戦略」, ハイブリッド (東京都), 2022年9月20-22日 (口頭)
29. 谷口大輔, 「銀河系円盤の赤色超巨星の化学組成」, 天の川銀河研究会 2022, 鹿児島県, 2022年11月7-9日 (口頭)

30. 谷口大輔, 「気象衛星ひまわりを用いたベテルギウスの多色測光モニタリング」, 天の川銀河研究会 2022, 鹿児島県, 2022年11月7-9日 (ポスター)
31. 谷口大輔, 「Chemical abundances of red supergiants over a large area of the Galactic disk」, WINERED研究会 2022, 東京都, 2023年3月8日 (口頭)
32. 谷口大輔, 「銀河系円盤に散らばった赤色超巨星の化学組成」, 2023年光赤天連学位論文発表会, 東京都, 2023年3月16日 (口頭)
33. 船越菜月, 「セファイドを用いた銀河系円盤外縁部における運動学的リッジ構造の発見」, 天の川銀河研究会 2022, 鹿児島県, 2022年11月7-9日 (口頭)
34. Brian Thorsbro, 「Using WINERED for exoplanet transit spectroscopy」, WINERED研究会 2022, Kyoto Sangyo University, 2022-06-20
35. Brian Thorsbro, 「Clues to galaxy evolution from chemical abundances of stars in the Galactic center」, 天の川銀河研究会 2022, Kagoshima University, 2022-11-08
36. Brian Thorsbro, 「TiO condensation or high C/O? Measuring the C/O ratio of an ultra-hot Jupiter」, WINERED研究会 2023, The University of Tokyo, 2023-03-08

1.7.5 その他の講演 (談話会等)

1. Matsunaga, N., “Cepheid variables going to reveal the abundances of phosphorus, a bioessential element, across the Milky Way”, Colloquium Osservatorio Astronomico di Roma, Rome, Italy, 2023/2/7
2. Matsunaga, N., “WINERED-a new near-IR spectrograph available at Magellan”, Institute of Astrophysics, Universidad Andres Bello, Santiago, Chile, 2022/7/21
3. Taniguchi, D., “Studies regarding/using red supergiants: the Great Dimming of Betelgeuse, HR diagram, and the Milky Way”, High angular resolution for astrophysics seminar at Meudon Observatory, France, 2022/6/30
4. 谷口大輔: “気象衛星や中小口径望遠鏡による赤色超巨星のモニタリング観測”, 西はりま天文台コロキウム, 兵庫県, 2022年10月20日
5. Brian Thorsbro, “Clues to galaxy evolution from chemical abundances of stars in the Galactic center” 第1746回天文学教室談話会/第397回天文学教育研究センター談話会, The University of Tokyo, 2022-12-20
6. Brian Thorsbro, “Clues to galaxy evolution from chemical abundances of stars in the Galactic center”, Special Colloquium, Tohoku University, 2023-01-20

1.7.6 一般向け講演

1. 戸谷友則 「宇宙に生命はどれだけあるのか？」 東大理学部 高校生のための冬休み講座 2022 Online, 東京, 2023年12月
2. 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, 2022/03

3. 嶋作一大, 「銀河の世界」, 東京大学理学部ホームカミングデイ 2022, 理学のワンダーランド, 東京大学, 2022/10
4. 伊藤慧「様々な望遠鏡で見る 100 億年以上前の銀河とブラックホール」総研大社会連携事業「オンライン講演会 おうちで天文・宇宙」2022, オンライン, 2022 年 12 月
5. K. Ito, “AGN Activity and Environment of Massive Quiescent Galaxies at High Redshift”, Cosmic DAWN Center Cake Talk, Cosmic DAWN Center 2022/09
6. K. Ito, “Environment and AGN activity of distant quiescent galaxies revealed by multi-wavelength surveys in the COSMOS field”, Seminar, University of Tokyo, 2022/07
7. K. Ito, “Quenching and AGN activity of distant galaxies revealed by multi-wavelength surveys in the COSMOS field”, IPMU astro-lunch seminar, IPMU, 2022/05
8. 藤井通子「スーパーコンピュータが描き出すオリオン大星雲ができるまで」とらのもん宇宙塾, 東京, 2022/10/23
9. 高田将郎「形を変える星の話」オープンキャンパス小柴ホール講演会, 東京, 2022 年 8 月

1.7.7 記者会見, プレスリリース, 新聞報道

1. 戸谷友則: 「太陽系の外から降り注ぐ微粒子に生命の痕跡を探す-地球外生命の新たな探査法-」東京大学理学部プレスリリース, 2023 年 3 月 22 日
2. 石本梨花子, 柏川伸成ほか: 「なぜ宇宙再電離は非一様に進んだのか?」東京大学理学系研究科プレスリリース, 2022 年 8 月 22 日
3. 伊藤慧: 「多波長観測が解き明かす遠方宇宙の星形成活動の終焉-銀河の成長を妨げたのはブラックホールか?-」国立天文台, すばる望遠鏡, 総合研究大学院大学, コペンハーゲン大学 プレスリリース, 2022 年 5 月 27 日
4. 安藤誠, 嶋作一大, 伊藤慧: 「銀河団には星が生まれにくい場所がある?-銀河団の奇妙な銀河分布は 70 億年前から存在-」東京大学理学部プレスリリース, 2022 年 12 月 22 日
5. 藤井通子, 熊本淳, 島尻 芳人, 服部 公平, 平居 悠, 斎藤 貴之: 「新しい高精度シミュレーションが明らかにした星団形成の現場」東京大学理学部プレスリリース, 2022/6/8
6. 平島敬也, 森脇可奈, 藤井通子, 平井悠, 斉藤貴之, 牧野淳一郎: 「Morpho's "SoftNeuro" Enables 19x Faster Inference of 3D Simulation on Fugaku」, 2023/02/08
7. 平島敬也, 森脇可奈, 藤井通子, 平井悠, 斉藤貴之, 牧野淳一郎: モルフォ、『SoftNeuro』の提供を通じ、東京大学、東北大学、神戸大学が推進するスーパーコンピュータ「富岳」上での深層学習を用いた 3D シミュレーションの推論の約 19 倍高速化を実現, 2023/01/25
8. 平島敬也, 森脇可奈, 藤井通子, 平井悠, 斉藤貴之, 牧野淳一郎: 「Morpho Provides “SoftNeuro” to Highly Resolved Galaxy Simulations Project for Universities: Supporting 3D Simulation with Supercomputer Fugaku」, 2022/12/05

9. 平島敬也, 森脇可奈, 藤井通子, 平井悠, 斉藤貴之, 牧野淳一郎: 「東京大学、東北大学、神戸大学が推進する、深層学習による超新星爆発シミュレーションの膨張予測を用いた高解像度銀河形成シミュレーションの高速化プロジェクトに、モルフォの『SoftNeuro[®]』を提供～スーパーコンピュータ「富岳」における深層学習を用いた3Dシミュレーションを支援～」, 2022/11/16
10. 尾中 敬、左近 樹、下西隆: 「窒素と重水素は宇宙のどこにあるか?—若い大質量星の赤外線観測が明らかにした、シアネートイオンと有機物中の重水素—」, 東京大学大学院理学系研究科プレスリリース, 2022/12/24

1.7.8 受賞

1. 谷口大輔: “赤色超巨星の探究：時間変動、進化経路、そして天の川銀河研究への応用”, 第13回(令和4(2022)年度)日本学術振興会育志賞, 2023年1月
2. 谷口大輔: “赤色超巨星の探究と学際領域の開拓”, 令和4年度学生表彰「東京大学総長賞」, 2023年3月
3. 谷口大輔: “銀河系円盤に散らばった赤色超巨星の化学組成”, 2023年光赤天連学位論文発表会「博士論文賞」, 2023年3月

1.7.9 他大学での講義

1. 相川祐理: 地球惑星科学特別講義VI, 星・惑星系形成領域のアストロケミストリー, 九州大学, 理学研究院地球惑星科学部門, 集中講義, 2022年8月8-10日
2. 戸谷友則: 「先端知を識る～最新天文学で探る宇宙」, 東京藝術大学・教養教育センター開設科目(令和4年前期)
3. 嶋作一大: 物理学特別講義 愛媛大学・理学部・大学院理工学研究科共通夏学期
4. 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
5. 梅田 秀之: 物理学第二特別講義6, 京都大学大学院理学研究科・物理学第二教室,, 大学院講義

1.7.10 委員その他

相川	学 内	天文学専攻長	
		理学系研究科天文学教育研究センター運営委員	
		理学系研究科宇宙地球国際卓越協力教員	
	他機関	国際天文学連合 Steering Committee Member of Division H Interstellar Matter and Local Universe	
		神戸大学・CPS 運営委員会委員	
		日本天文学会代議員	
戸谷	学 内	日本学術会議連携会員地球惑星科学委員会委員	
		日本学術会議連携会員物理学委員会委員	
		理学系 評価委員会委員	
	学 内	理学系 国際交流委員会委員	
		学 内	理学系 国際卓越大学院 IGPEES 委員

	学内	理学系 人事 WG 委員
	学内	全学 企画調整分科会委員
	学内	全学 学生懲戒委員会教員団員
	他機関	国立天文台 プロジェクト評価委員会委員
	他機関	高エネルギー宇宙物理連絡会 将来計画検討委員会委員
田村	学内	宇宙地球国際卓越委員
	学内	評価委員会委員
	学内	宇宙惑星科学機構運営委員
	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 神戸大学・CPS 運営委員会委員
柏川	学内	天文学専攻専攻教育会議議長 RESCUE 運営委員
	他機関	日本天文学会・代議員
嶋作	学内	理学系研究科キャリア支援室運営委員 GSGC 委員
梅田	学内	理学系研究科図書委員 理学系研究科キャンパス計画委員 理学系研究科3号館運営委員
藤井	学内	教務委員
	他機関	国立天文台 CfCA 科学諮問委員
	他機関	国立天文台 TMT 科学諮問委員
	他機関	IAU Commision B1 Vice President
高田	学内	オープンキャンパス実行委員
	他機関	The good vibrations seminar series (International community of asteroseismologists), steering committee member
左近	学内	環境安全管理室天文学専攻室員
	他機関	Conference Program Committee – SPIE Astronomical Telescopes + Instrumentation Space Telescopes and Instrumentation 2020: Optical, Infrared, and Millimeter Wave 将来計画検討専門委員会委員
松永	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
谷口	他機関	日本天文学会代議員

1.7.11 科研費等

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
	基盤研究 S (分担) [18H05222] 原始惑星系円盤形成領域の化学組成とその進化)
	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

平野信吾	若手研究 [21K13960] 初代銀河と天の川銀河における初代星質量分布の理論的構築 基盤研究 B (分担) [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
田村 柏川	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 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) クェ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
嶋作 伊藤慧 安藤誠	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 特別研究員奨励費 [22J00495] 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 藤井	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 基盤 B(代表)[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「富岳」成果創出加速プログラム (分担): 宇宙の構造形成と進化から惑星表層環境変動までの統一的描像の構築
朝野	特別研究員奨励費 (DC2) [22J11943] 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) [22J23077] 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
左近	基盤研究 (B) [22H01261] 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 (4,000 千円)
左近	自然科学研究機構分野融合型共同研究事業 宇宙の有機物の塵が窒素を含む化学結合を獲得する過程の理解 (17,940 千円)
遠藤	特別研究員奨励費 (DC2) [21J13200] 実験的及び観測的手法に基づく星間有機物の物性解明 (1,500 千円)
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 科研費・基盤研究 (B) [18H01248] セファイド変光星の多次元情報に基づく銀河系円盤の進化過程の検証
谷口	特別研究員奨励費 [21J11555] 赤色超巨星を用いた銀河系円盤の二次元金属量分布の解明 コニカミノルタ科学技術振興財団 令和3年度画像科学奨励賞 (連携賞) (代表) 「気象衛星を活用した時間領域恒星天文学」の創出

1.7.12 出張記録

戸谷友則	2022年11月14-15日, 名古屋市, 名古屋大学, 研究会「2040年代のスペース天文学研究会」出席 2022年12月22-23日, 福島市, コラッセふくしま, 理論懇シンポジウム出席
嶋作 一大	2022/9/4-8, 松山市, 愛媛大学, 特別講義.

(次ページに続く)

- 2023/3/27-30, 京都市, 京都大学, International Conference on the Physics of the Two Infinities, 出席.
- 伊藤慧 2022/7/9-20, フランス, パリ天体物理学研究所, COSMOS team meeting 2022 に参加するため
2022/8/11-20, デンマーク, コペンハーゲン大学, Sune Toft 氏, Francesco Valentino 氏との共同研究のため
- 松井思引 2022/11/28-30, 三鷹市, 国立天文台, 2022 年度すばるデータ解析講習会, 参加
2023/2/27-28, 三鷹市, 国立天文台, 2022 年度 ALMA データ解析講習会 (初中級編), 参加
2023/3/27-30, 京都市, 京都大学, 国際研究会「ILANCE Kyoto conference 2023」, ポスター発表
- 田中匠 2022/11/30-12/2, 鹿児島, 鹿児島大学, 国際研究会 "Tracing the SMBH growth: outlook beyond the HSC-SSP, and future collaborations" への参加
2023/1/8-2/25, Cambridge, Cambridge University/Kavli institute for Cosmology, Cambridge, Sandro Tacchella との共同研究 (UGRASP2022 を利用)
- 西嶋 2022/12/21-23, 福島市, コラッセふくしま, 第 35 回理論懇シンポジウム
梅田 2022/9/26-30, 那覇, テンプスホール てんぶす那覇, 国際会議 The 9th East Asian Numerical Astrophysics Meeting に参加
2022/12/5-9, 京都, 京都大学, 講義、セミナー、打ち合わせ
- Nagele 2022/5/23-27, South Bend, USA, JINA Frontiers Conference
2022/6/7-9, New York, USA, Flatiron Institute, ngVLA Conference
2022/9/4-9, Geneva, Switzerland, CERN, NPA-X Conference
2022/9/26-30, Naha, Japan, EANAM9 Conference
2023/1/8-12, Seattle, Washington, AAS 241 Conference
- 藤井 2022/9/26-29, 沖縄県, 国際会議「The 9th East Asian Numerical Astrophysics Meeting」にて招待講演
2022/12/21-23, 福島県, 「第 3 5 回 理論懇シンポジウム」にて招待講演
- 朝野 2022/9/13-15, 新潟県, 日本天文学会 2022 年年会に参加
2022/11/7-9, 鹿児島市, 天の川銀河研究会 2022 に参加
2022/12/21-23, 福島市, 第 3 5 回 理論懇シンポジウムに参加
2023/2/5-11, クアラルンプール, マレーシア, IAU Symposium 377 Early Disk-Galaxy Formation from JWST to the Milky Way に参加
2023/2/28-6/17 ライデン大学 (オランダ) に滞在
2023/4/24-4/28 セントラルランカシャー大学 (英国) に滞在, 共同研究
- 平島 2022/6/19-24, アテネ, ギリシャ, The 12th International HPC Summer School 2022 に参加
2022/12/12-13, 神戸市, 「富岳で加速する素粒子・原子核・宇宙・惑星」シンポジウムに参加
2022/12/14, 神戸市, 第 17 回 High Performance Computing Physics (HPC-Phys) 勉強会に参加
2022/12/21-23, 福島市, 第 3 5 回 理論懇シンポジウムに参加
2023/1/20-7/10 Flatiron Institute (アメリカ) に滞在, 共同研究
- 高田 2022 年 7 月 9 日-17 日, ルーベン (ベルギー), ルーベン・カトリック大学, 国際会議「TASC6/KASC13 Workshop」で発表
- 松永 2022/7/11-23, 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

(次ページに続く)

谷口	2022/6/16–17, 京都産業大学, 京都府, WINERED マゼラン望遠鏡観測検討会 (2022年7月観測)
	2022/6/29–7/1, Meudon Observatory, Meudon, France, 研究打ち合わせ
	2022/7/2–9, Pierre Baudis Convention Centre, Toulouse, France, The 21st Cambridge Workshop on Cool Stars, Stellar Systems, and the Sun (CS21)
	2022/7/10–23, Las Campanas Observatory, Atacama, Chile, Magellan 望遠鏡での観測
	2022/7/20, Universidad Andrés Bello, Santiago, Chile, 研究打ち合わせ
	2022/8/20, 港区立みなと科学館, 東京都, とらのもん宇宙塾講師
	2022/9/7–19, Las Campanas Observatory, Atacama, Chile, Magellan 望遠鏡での観測
	2022/10/20–21, 西はりま天文台, 兵庫県, なゆた望遠鏡での観測とセミナー
	2022/11/7–9, 鹿児島大学, 鹿児島県, 天の川銀河研究会 2022
	2022/11/26–12/3, Sage Hotel Wollongong, Wollongong, Australia, Linking the Galactic and Extragalactic — Stellar dynamics and stellar populations of the Milky Way and its siblings
	2023/1/10, 国立天文台, 東京都, 研究打ち合わせ
	2023/1/11, 東京大学 IoA, 東京都, 学位論文審査会
	2023/1/14, 品川区立五反田文化センター プラネタリウム, 星空ゼミ講師
	2023/2/27–3/1, 木曾観測所, 長野県, 研究打ち合わせ
	2023/3/2, 日本学士院会館, 東京都, 育志賞授賞式
2023/3/13–16, 立教大学, 東京都, 日本天文学会 2023年春季年会	
船越	2022/6/16–17, 京都府, 京都産業大学, WINERED マゼラン望遠鏡観測検討会 (2022年7月観測)
	2022/11/26–12/3, Wollongong, Australia, Workshop “Linking the Galactic and Extragalactic — Stellar dynamics and stellar populations of the Milky Way and its siblings”
	2022/11/28–12/2 鹿児島県, , 鹿児島大学, 日本天文学会 2022年秋季年会

1.8 来訪者

氏名	所属	受入	期間	備考
古家健次	国立天文台	相川	2023年3月31日	研究打ち合わせ
大橋永芳	ASIAA	相川	2023年8月16–18日	ALMA 大型プロジェクト eDisk 打ち合わせ
麻生有佑	KASI	相川	2023年8月16–18日	ALMA 大型プロジェクト eDisk 打ち合わせ
富田賢吾	東北大学	相川	2023年8月16–17日	ALMA 大型プロジェクト eDisk 打ち合わせ
崔仁士	ASIAA	相川	2023年8月16–18日	ALMA 大型プロジェクト eDisk 打ち合わせ
西合一矢	鹿児島大学	相川	2023年8月16–18日	ALMA 大型プロジェクト eDisk 打ち合わせ
城戸未宇	鹿児島大学	相川	2023年8月16–18日	ALMA 大型プロジェクト eDisk 打ち合わせ
黒田仰生	Max Planck Institutefor Gravitational Physics			
		梅田	2022/10/19–31	研究打ち合わせ
黒田仰生	Max Planck Institutefor Gravitational Physics			
		梅田	2023/3/10–18	研究打ち合わせ
Victor Debattista	セントラル	ランカシャー大学 (教授)		
		藤井	2022/10/31–11/30	大学院講義講師として

1.9 教室談話会

回	日付	講演者(所属)	講演タイトル
1730	2022/5/10	西村優里(天文学教室) / Yuri Nishimura (Department of Astronomy, The University of Tokyo)	Molecular spectroscopy in local and high-redshift galaxies: What do “dense gas tracers” mean?
1731	2022/6/9	堀内貴史(天文センター) / Takashi Horiuchi (Institute of Astronomy, The University of Tokyo)	Evaluation of magnitudes of the Starlink satellites by simultaneous multicolor observations
1732	2022/6/21	Paul K. H. Yeung (Department of Physics, The University of Tokyo)	Cosmic-ray Acceleration & Escape from Intermediate-Aged Supernova Remnant Kes 79
1733	2022/7/5	伊藤 慧(天文学専攻) / Kei Ito (Department of Astronomy, The University of Tokyo)	Environment and AGN activity of distant quiescent galaxies revealed by multi-wavelength surveys in the COSMOS field
1734	2022/7/7	Dr. Paul Hertz (NASA Astrophysics Division Director)	NASA Astrophysics: From the past to the future
1735	2022/7/12	小藤由太郎(天文学専攻) / Yutaro Kofuji (Department of Astronomy, The University of Tokyo)	Imaging of the Supermassive Black Hole in Our Galaxy, Sgr A* with the Event Horizon Telescope
1736	2022/7/21	Mason Leist (University of Texas San Antonio)	Resolving Polar Dust in AGN with JWST: Going Beyond the PSF
1737	2022/7/28	細川隆史(京都大学) / Takashi Hosokawa (Kyoto University)	High-mass star formation in the early universe and their analogous observational signatures in the present-day universe
1738	2022/10/18	小林将人(国立天文台) / Masato Kobayashi (NAOJ)	Lifecycle of molecular clouds driven by HI gas accumulation
1739	2022/10/25	黒田仰生(Max Planck Institute) / Takami Kuroda (Max Planck Institute)	The death of massive stars and the birth of various compact stars
1740	2022/11/11	Victor Debattista (University of Central Lancashire)	The formation of the box/peanut bulge of the Milky Way
1741	2022/11/15	Anish Amarsi (Department of Physics and Astronomy, Uppsala University)	Solar and stellar spectroscopy using 3D non-LTE radiative transfer
1742	2022/11/22	Zsolt Keszthelyi (National Astronomical Observatory of Japan)	The effects of surface fossil magnetic fields on massive star evolution
1743	2022/11/29	谷川清隆(国立天文台) / Kiyotaka Tanikawa (National Astronomical Observatory of Japan)	Discovery of triple collision orbits in the general three-body problem

(次ページに続く)

回	日付	講演者 (所属)	講演タイトル
1744	2022/12/6	Oscar Agertz (Department of Astronomy and Theoretical Physics, Lund Observatory)	The VINTERGATAN project: towards understanding the origins of the Milky Way
1745	2022/12/15	松林 和也 (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) / Kazuya Matsubayashi (Institute of Astronomy, The University of Tokyo)	Development of Optical Instruments for Seimei Telescope: KOOLS-IFU and TriCCS
1746	2022/12/20	Brian Thorsbro (Department of Astronomy, Graduate School of Science, University of Tokyo)	Clues to galaxy evolution from chemical abundances of stars in the Galactic center
1747	2023/1/10	梨本真志 (天文教室) / Masashi Nashimoto (Department of Astronomy, Graduate School of Science, University of Tokyo)	Impact of Interstellar Dust on Galactic Science and CMB Foreground
1748	2023/1/12	秋山正幸 (東北大学) / Masayuki Akiyama (Tohoku University)	Massive spheroidal galaxies and their central super massive black holes under a violent formation phase
1749	2023/2/17	Florent Renaud (Lund Observatory)	From turbulent teenagehood to quiet retirement: what drives the evolution of galaxies across cosmic time?
1750	2023/3/20	田村元秀 (東京大学 / アストロバイオロジーセンター / 国立天文台) / Motohide Tamura (UTokyo/Astrobiology Center/NAOJ)	Exoplanet Observations with TMT: Expectations
1751	2023/3/28	Seiji Fujimoto (UT Austin)	Exploring visible and obscured sides of the early Universe – Today and Beyond –

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

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
甘日出 文洋	hatsukade	70719484
江草 芙実	fegusa	30644843
小西 真広	konishi	50532545
上塚 貴史	kamizuka	30613509
松林 和也	kazuya	60622454
加藤 夏子	natsuko	
客員・名誉教授室		
大学院生室 1 (2015)		
大学院生室 2 (2016)		
大学院生室 3 (1001)		
大学院生室 4 (1002)		
大学院生室 5 (1003)		

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、木曾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を進めると同時に、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）と長野県木曾郡に置かれた木曾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、特任教授が着任、准教授および助教の選考が進行中である。

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 計画の経緯と進捗

天文センターでは、6年計画で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建設を計画している。これが東京大学アタカマ天文台 (TAO) である。

2.1.1.1 計画の経緯

TAO 計画は天文センター教員有志での検討の後、平成11年度後半から天文センター内で公の議論を開始し、平成12年度に天文センターの将来を語りあうための懇談会を設け議論を深めた。この懇談会では、天文センター設立以来の研究及び進められてきたプロジェクトを総括し、それに基づいて、国立共同利用機関である国立天文台などとも密接な協力を保ちつつ、大学独自の大型計画の推進を強力に進めることが重要であるという合意を得た。さらに、平成12年11月24日の天文センター所員会議で天文センターの計画として正式に承認された。平成13年度、20年度には天文学専攻と合同で外部評価を受け、特に、TAO 計画に対しては、計画の独自性及び科学的目的の斬新性に対して大変高い評価を受けた。日本学術会議天文研連においても平成14年度よりTAO 計画について議論され、計画の重要性の認識と強い支持が、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表明されている。また、平成15年1月にはチリ大学と東京大学との間で学術協定及び科学協定が締結され、両大学間での学術交流の促進と TAO 計画の推進についての密接な協力関係が深まっている。また、平成17年には光学赤外線天文連絡会が運営委員会声明という形で、日本学術会議天文研連においても特別議事録という形で、TAO 計画の実現に対して強い支持が表明されている。この間、標高5,600mのチャナントール山を望遠鏡設置の候補地と選定し、平成18年2月には、山麓から山頂へ向けての調査用道路の建設を開始し、4月に完成した。山頂での本格的な気象調査が開始されており、平成21年3月に、1m望遠鏡を建設し、ファーストライト観測に成功した。1m望遠鏡完成を記念し、平成22年7月7日にはサンチャゴ市において東京大学主催、チリ外務省エネルギー科学技術局およびチリ科学技術庁と共催、在チリ日本国大使館の後援の下、記念式典を開催した(出席者約150名)。チリ共和国の記念切手も式典当日に発行された。miniTAO望遠鏡は太陽系内から銀河まで各種の科学観測に用いられ、多くの成果をあげている。平成25年度末にはTAO 6.5m望遠鏡の製作予算が措置され、望遠鏡および付帯設備の設計製作が本格化した。平成28年には現地工事として山頂アクセス道路の拡張工事がスタートした。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、山頂工事を進めてきている。令和2年には新型コロナウイルスの蔓延を受け工事を6か月間停止することとなったが、安全対策を進めた結果、令和2年9月には工事を再開することができた。

より詳細については [2.5.5 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, 2023.1 より特任教授)
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)
廿日出	文洋	(はつかで ぶんよう, 2023.2 まで助教)
江草	芙実	(えぐさ ふみ, 助教)
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, 2022.6 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	荘平	(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)

*印は木曾観測所勤務. 木曾観測所に関しては第3章に詳述.

2.2.2 研究員及び客員

大澤	亮	(おおさわ りょう, 特任助教, 2015.4-2022.7)
新納	悠	(にいのう ゆう, 特任助教, 2018.12-2023.3)
鮫島	寛明	(さめしま ひろあき, 特任助教, 2019.4-2023.3)
山岸	光義	(やまぎし みつよし, 特任助教, 2021.4-2023.3)
瀧田	怜	(たきた さとし, 特任助教, 2020.7-2023.3)
浅野	健太郎	(あさの けんたろう, 特任研究員, 2018.9-2022.12)
小山	舜平	(こやま しゅうへい, 特任研究員, 2021.4-2023.3)
堀内	貴史	(ほりうち たかし, 特任研究員, 2022.3-2023.3)
藤田	真司	(ふじた しんじ, 特任研究員, 2022.7-2023.3)
李	建鋒	(り けんほう, 特任研究員, 2022.10-2022.12)
有馬	宣明	(ありま のりあき, 特任研究員, 2022.11-2023.3)
諸隈	佳菜	(もろくま かな, 日本学術振興会特別研究員, 2019.4-2022.11)
前田	郁弥	(まえだ ふみや, 日本学術振興会特別研究員, 2021.4-2023.3)
沼田	瑞樹	(ぬまた みずき, 特任専門員, 2019.3-2023.3)

*印は木曾観測所勤務. 木曾観測所に関しては第3章に詳述.

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	讓	(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):

星野	真弘	(理学系研究科研究科長 地球惑星科学専攻)
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. すばる望遠鏡を用いた Fast Blue Ultraluminous Transient の発見 (土居守, 茂山俊和, 安田直樹, 野本憲一 (カブリ IPMU), Jiang Ji-an, 富永望, 守屋堯, 田中賢幸, 小久保充, 古澤久徳, 宮崎聡 (国立天文台), 前田啓一, 宇野孔起 (京都大学), Ivezić Željko, Yoachim Peter, Connolly J. Andrew (Univ. Washington), Kumar Brajesh (Aryabhata Research Institute of Observational Sciences), Pan Yen-Chen (National Central University), 田中雅臣 (東北大学), Jha W. Saurabh (The State University of New Jersey, Rutgers), Ruiz-Lapuente Pilar (Consejo Superior de Investigaciones Científicas), Jones David (Universidad de La Laguna), 鈴木尚孝 (Lawrence Berkeley National Lab.), Sahu D. K., Anupama, G. C. (Indian Institute of Astrophysics))

すばる望遠鏡 HSC を用いて超新星探索を行った際に赤方偏移 1.063 の突発天体現象を発見した。紫外線 (~230 nm) において約 5 日間急激に増光して最も明るい超新星と同じ程度の明るさ (-22.5 mag, AB) に達したが、増光の time scale ははるかに短かった。母銀河はやや質量が小さめ ($5 \times 10^9 M_{\odot}$) の銀河で、中心付近に出現した。Tidal disruption Event か、あるいは星周物質と強い相互作用を行った超新星の可能性はあるが、多色の光度曲線を説明するにはより系統的なモデル検討が必要である。(Jiang et al., 2022, ApJL, 933, L36).

2. ALMA を用いた近傍棒渦巻銀河 NGC 1365 の研究 (江草芙実, 諸隈佳菜, 前田郁弥; Yulong Gao (南京大学); Guilin Liu (USTC))

NGC 1365 は、南天にある近傍 (距離 18 Mpc) かつ中心に活動銀河核を持つ棒渦巻銀河である。我々は、ALMA で取得された CO(1-0) 輝線と CO(2-1) 輝線のデータを解析し、空間分解能 $2'' \simeq 200$ pc での積分強度・速度分散・ピーク温度の 2-1/1-0 比を測定した。その結果、速度分散の比は多くの地点で 1 に近く、2つの輝線がほぼ同じガス成分から出ていることを確認できた。また、積分強度の比は、kpc 程度の分解能であった先行研究と同様に、星形成率の指標である H α 輝線強度と正の相関を示した。これは、最近の星形成活動に関わるガスの温度か密度 (もしくはその両者) が高いことを示している。さらに一部のスペクトルに対して Gaussian フィットを行ったところ、2つの速度成分でフィットされる地点が複数あった。それぞれの地点で、2つの速度成分のうちの1つは Gao, Egusa, et al. (2021, ApJ, 913, 139) で発見した「円盤内でガスが動径方向に移動するアウトフロー」に対応すると考えられる。そしてその速度成分での積分強度比は、もう一方の銀河円盤本体に対応する成分の強度比よりも低いことがわかった。これは、アウトフローのガスは円盤に比べてガスの温度か密度 (もしくはその両者) が低いことを示唆している (Egusa, et al., 2022, ApJ, 935, 64).

3. ALMA による近傍棒渦巻銀河 M 83 の全面マッピング (江草芙実, 前田郁弥; 幸田仁 (Stony Brook); 廣田晶彦 (国立天文台/JAO))

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採択された (PI: 幸田)。データ解析の結果、銀河の中心から外側に向かって輝線強度や速度幅が減少すること、渦巻腕だけでなく腕間領域にも分子ガスが豊富に存在することなどがわかった (Koda, et al., 2023, ApJ, 949, 108)。このデータをもとに、分子雲同定などの解析も進めている。

4. 近傍棒渦巻銀河の分子ガスに関する統計的研究 (前田郁弥, 江草芙実; 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))

棒渦巻銀河の棒部は星形成活動が抑制されていると考えられているが、詳しい調査が行われている銀河の

数は限られていた。そこで、近傍の棒渦巻銀河 18 個に対して、分子ガストレーサー（CO 輝線）と星形成トレース（遠紫外線と中間赤外線）のアーカイブデータを用いて、中心・棒部・棒部と渦巻腕の結合部（Bar-end）・渦巻腕を区別して、統計的に星形成効率（＝単位分子ガス量に対する星形成率）の調査を行った。このように詳細に領域を分けて統計的に調査するのは初めての試みである。その結果、棒部の星形成効率は渦巻腕に比べて系統的に 0.6-0.8 倍低い、つまり渦巻腕に比べて星形成活動が抑制されていることが確認された。さらに、星形成効率の抑制度合いは分子ガス輝線の速度幅が大きいほど強くなる傾向にあることも発見した。この結果は、分子雲同士の衝突が激しいほど星形成活動が抑制される傾向にあることというシナリオと矛盾ない。以上の結果をまとめて査読論文として出版した (Maeda et al. 2023, ApJ, 943, 7)。

5. 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, 江草芙実; 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))

近傍棒渦巻銀河 NGC3627 を対象に分子雲衝突と星形成の関係調べた。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、衝突時間が短いほど、また、衝突する分子雲の面密度が低いほど、星形成率が低い傾向にあることがわかった。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。本研究では、分子雲が衝突していることを仮定しており、本当に分子雲衝突が起きているかはわからない。今後は、実際に分子雲衝突の直接観測するため、ALMA 望遠鏡に高角分解能分子ガス観測を提案する予定である。

6. 野辺山 45m 望遠鏡を用いた潮汐矮小銀河の研究 (前田郁弥, 江草芙実, 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 は渦巻銀河の渦巻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、近傍の複数の 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。この結果は、なんらかの原因で星形成が抑制されていることを示しており、今後は、その原因を明らかにすべく、この領域の分子雲の観測を ALMA を用いて行う予定ある。

7. 最遠方クエーサーの広輝線領域で見つかった種族 III の星の兆候 (吉井讓, 鮫島寛明, 茂山俊和; 辻本拓司 (国立天文台); Timothy C. Beers (University of Notre Dame); Bruce A. Peterson (Australian National University))

種族 III の星の探索は、何十年もの間天文学者を魅了し、かついまだ決定的な観測の結果は得られていないフロンティアである。その存在の証拠を捉える有望な手法の一つは、高赤方偏移天体の化学組成の調査である。我々は最遠方クエーサーである ULAS J1342+0928 の近赤外線スペクトルに現れる Mg II と Fe II の輝線強度から、 $z \sim 1$ クエーサーの観測をもとに開発した新しいフラックス・アバundance変換法を用いて広輝線領域の Mg と Fe の組成を導出した。その結果、このクエーサーの広輝線領域では鉄が太陽に比べて 20 倍も濃縮されており、かつ非常に低い Mg/Fe 組成比を持つことを発見した。このような特異な組成の特徴は、通常の超新星からの寄与だけを考慮した化学進化の標準的な描像では説明できない。そこ

で我々は種族 III の星が起こすとされる対不安定型超新星爆発 (PISN) による重元素汚染の可能性を考え、最新の元素合成シミュレーションと比較した結果、ULAS J1342+0928 に含まれる大量の鉄は $280 M_{\odot}$ の大質量を持った種族 III の星の PISN によって供給されたものと結論した。これは間接的に種族 III の星の存在を示唆する、重要な観測結果と言える。以上の結果は査読論文として発表 (Yoshii, Sameshima, et al. 2022, ApJ, 937, 61) した他、米国 Gemini Observatory からプレスリリースを行い、大きな反響を得た。

8. 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 プロジェクトは可視赤外線多波長モニター観測によるダスト反響マッピング法を応用した独自の活動銀河核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)。そこでさらに遠方の活動銀河核の距離測定により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マッピング観測 Super-MAGNUM Legacy 計画の計画検討をしている。

多数の研究グループによる遠方クエーサー探査の進展により、TAO 望遠鏡サイトから長期モニター観測が可能で、CIV 輝線の反響マッピングに適した光度をもつ $5 < z < 8$ のクエーサーはすでに膨張宇宙モデルの決定のためには十分な数が発見されている。一方で近傍クエーサーの研究から、おそらくは質量降着率の違いをパラメータとして CIV 輝線の特徴が変化することが知られており、この性質を踏まえたターゲットの選定が必要であると考えられる。また近年、活動銀河核の X 線・紫外線光度比の光度依存性を利用した距離指標による高赤方偏移クエーサーを使った研究が発表されている。この指標の精度は必ずしも高くないものの、複数の研究グループによりその結果の解釈や改良について活発な議論が交わされているなど、高赤方偏移宇宙論の重要性が改めて認識されている。このような近年の周辺研究の進展を踏まえ距離指標に適した観測ターゲットの選定や、あるい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への応用について検討を進めている。

9. 北黄極領域の活動銀河核の $3-5 \mu\text{m}$ ダスト反響マッピング (恒次, 峰崎, 水越, 吉田, 鮫島; 野田 (大阪大学); 小久保 (国立天文台))

活動銀河核 (AGN) のダストトーラスは AGN の統一モデルにおいて大きな役割を担うだけでなく、中心領域に存在する巨大ブラックホールの成長と銀河へのフィードバックを考慮する上でも重要な構造である。我々は角度分解困難なトーラス最内部の幾何学構造を解明するため、近赤外線モニター観測によるダスト反響マッピングの研究を行ってきた。さらに近赤外線の異なる波長を用いた反響マッピング観測を行えば最内部のダストトーラスの温度構造を探ることできる。

そこで我々は地上観測ではモニター観測が困難であった波長 $3-5 \mu\text{m}$ での多波長ダスト反響マッピングの研究に着目した。WISE 衛星による赤外線長期全天モニター観測データの公開により、波長 $3-5 \mu\text{m}$ でのダスト反響マッピング研究は急速に進展してきた (Lyu et al. 2019; Noda et al. 2020; Yang et al. 2020) が、WISE 衛星データのモニター頻度はほとんどの天域において半年に 1 回であるため、変光のタイムスケールの長い大光度 AGN (クエーサー) にターゲットが限られ、波長 $1-2.5 \mu\text{m}$ で研究が進んでいる低中光度 AGN (セイファート銀河) との直接的な比較は難しい。

この状況を踏まえ、他の領域に比べ高頻度・高 S/N かつ欠測期間の少ないデータを得ることのできる北黄極 (NEP) 領域に注目したのが本研究の特長である。Hasinger et al. (2020) による ROSAT 衛星で観測された北黄極領域の X 線天体カタログに基づき、AGN として同定された X 線天体について WISE 衛星データによる波長 $3-5 \mu\text{m}$ での光度曲線を調べ、100 個以上の AGN について明らかな赤外線変光を検出した。このうちとくに S/N が高く観測回数が多い低中光度 AGN に注目し、5 つの AGN についてダ

スト反響マッピングに成功した。なお、これらの天体の可視変光データについては ZTF による広視野モニター観測のデータアーカイブを利用している。これら 5 つの AGN のそれぞれについて WISE 衛星の W1 バンド (波長 $3.4 \mu\text{m}$), W2 バンド (波長 $4.6 \mu\text{m}$) で可視変光に対する応答遅延時間を比較したところ、その差は極めて小さかった。また同程度の光度となる近傍 AGN についての K バンド (波長 $2.2 \mu\text{m}$) の半径光度関係と、今回のターゲットの W1, W2 バンドの半径光度関係を比較したところ、両者の差はほんのわずかであり、先行研究 (Lyu et al. 2019) の示唆と異なり、ダストトーラス内縁部の高温ダスト領域は、波長 $2 - 5 \mu\text{m}$ の放射においてその場所にほとんど差が無いことがわかった。これは Almeyda et al. 2017, 20 の clumpy なダストトーラスモデルによるダスト放射応答遅延の予想と矛盾しないが、観測結果を説明できる他のダストトーラスモデルについても検討を進めている。

10. 赤外線多波長変光フラックス相関を用いた活動銀河核のダスト減光測定手法の確立 (水越, 峰崎, 恒次, 吉田, 鮫島; 野田 (大阪大学); 小久保 (国立天文台))

銀河衝突によって銀河進化が進むというシナリオにおいて、周囲がダストを含む遮蔽構造 (ダストトーラス) に覆われた活動銀河核 (obscured AGN) は質量降着による大質量ブラックホールの成長, AGN フィードバックによる銀河環境の変化の両方が活発に起こる段階にあるとされ、銀河進化の解明, ブラックホールと銀河の共進化の解明において鍵となる天体である。ダストトーラス内のガス分布は透過力の高い硬 X 線観測に基づく統計調査から先行研究でも推定されてきた一方、ダスト分布は obscured AGN の大きなダスト量を測定できる一般的な手法は確立されていないためにこれまで推定されていなかった。

そこで我々はダストトーラス内縁部の高温ダストに由来する波長 $3-5 \mu\text{m}$ の多波長放射変動における強度相関 (変動放射成分のカラー) に着目したダスト減光の推定手法の考案を行った。この手法は変動を見せない母銀河放射の影響を無視できることで精度向上が期待でき、WISE 衛星の全天モニター観測データを利用することで簡便に大量の AGN に対してダスト量の推定が行える。実際に Swift 衛星 BAT 装置によって硬 X 線で選択された AGN について本手法を適用し、obscured AGN 250 天体を含む 463 天体について視線方向のダスト減光量の測定に成功した。この結果、X 線による視線水素柱密度とダスト減光量は正の相関があったが、視線水素柱密度とダスト減光量との比は銀河系星間物質の値と大きく異なり、ダストトーラスの内側にダストを含まないガスが存在することを示唆した。

さらに、WISE データの測光手法の違いがダスト減光量測定の結果にどう影響するかを調査した。WISE の半年ごとの観測データを足し合わせて (co-add) から aperture 測光をする手法 (co-add photometry) と、WISE 衛星において設定されている profile 関数を用いて各観測データの測光を行う手法 (profile photometry) を比較した。前者は co-add により bad pixel などの影響を相殺できるため、誤差が最も小さくなる解析手法の一つである。他方、profile photometry はカタログデータであり、bad pixel 等は考慮されている。比較の結果、どちらのデータを用いてもほぼ同じダスト減光量が推定されることを確認できた。

次に、本研究で用いた近赤外線変動放射が実際にダストトーラス内縁部の高温ダストに由来することを確認するため、変動放射成分のカラーと観測に基づく AGN SED テンプレートの近赤外線カラーとの比較を行った。その結果、変動放射成分のカラーは一般的な AGN の近赤外線カラー、そして比較的温度の低いダストが少ない AGN (warm-dust-deficient AGN) の近赤外線カラーのどちらよりも青かった。これは、変動放射成分において確かに高温ダストからの放射が卓越していることを示す結果である。ダスト減光量測定法の内容と合わせ、以上の結果は Mizukoshi, S., et al., 2022, MNRAS, 516, 2876 として出版されたほか、理学系研究科よりプレスリリースを行った。

11. ガウス過程回帰による活動銀河核ダストトーラスの多波長同時反響マッピング (吉田, 峰崎, 恒次, 水越, 吉田, 鮫島; 野田 (大阪大学); 小久保 (国立天文台))

活動銀河核 (AGN) のダストトーラスは中心領域に存在する超巨大ブラックホールの成長と母銀河へのフィードバックを理解する上で重要な構造である。ダストトーラスはコンパクトであり直接撮像による観測は困難であるが、ダスト反響マッピングにより内縁構造を調べることができる。AGN の近赤外線放射

はトラス最内部に存在する降着円盤放射で温められた高温ダストからの放射であると考えられており、これまでに我々は K(波長 $2.2 \mu\text{m}$) バンドでのダスト反響マッピングによりトラス内縁の半径光度関係を確立した。

さらにダストトラス内縁部の構造を詳細に調べるため、我々は近赤外線波長域における多波長ダスト反響マッピングの解析に着手した。これまでのところ波長 $1 - 2.2 \mu\text{m}$ での観測例はごく少数であり、また波長 $2.2 - 5 \mu\text{m}$ では個々の活動銀河核のなかでの相互比較ではなく、複数の活動銀河核により構成された半径光度関係による統計的な比較にとどまっている。とくに波長 $< 2.2 \mu\text{m}$ でのダスト放射の変光遅延の正確な測定のためには、この波長域における降着円盤起源の放射の変光成分の除去が重要である。この目的のため我々は Zu et al. (2011) のガウス過程回帰による反響マッピング解析アルゴリズムをもとに、多波長測光データから降着円盤放射変光成分を同時にフィットできるように機能拡張した。この新たに作成した多波長反響マッピングプログラムを現実の近傍セIFAート銀河のモニター観測に即した模擬観測データを使って検証を行い、これを使って有効に多波長ダスト反響マッピング解析できることを確認した。

そこで我々は MAGNUM プロジェクトによって波長 $1 - 2.2 \mu\text{m}$ の多波長モニター観測が遂行された 17 個の近傍セIFAート銀河について多波長同時ダスト反響マッピングによる解析を行った。この結果、より短波長のダスト放射ほど降着円盤に対する応答の遅延時間は系統的に短いことがわかった。降着円盤に近いほどダスト温度は上昇するはずで、この傾向自体は自然である。しかしこの異なる波長間における遅延応答時間の差は、降着円盤放射に直接照射されているダスト粒子を考えたときの、ダスト粒子が存在する領域の降着円盤からの距離に対するダスト温度依存性のモデルから期待される値よりもはるかに小さかった。このダスト放射の小さい波長間遅延を予想するダストトラス内縁部のモデルはいくつか予想されるところであり、それらの是非について今後さらに検討を続ける。

12. Fe-K α 輝線反響マッピング法を用いた NGC 3516 活動銀河核構造の研究 (3) (野田, 峯田, 松本 (大阪大学); 峰崎, 鮫島, 堀内; 小久保, 森鼻 (国立天文台); 川室, 山田 (理化学研究所); 渡邊 (岡山理科大学); 伊藤 (兵庫県立大学); 川端, 深沢 (広島大学))

近年、数年のタイムスケールで光度を大きく変化させ、かつ可視光広輝線が観測される 1 型とされない 2 型の間でセIFAート型を変える Changing-Look AGN (CLAGN) が多数発見されている。質量降着率の変化に伴い巨大ブラックホールへの降着流が状態遷移を起こし、光度や SED が激しく変化することが原因と考えられるが (Noda & Done 2018), 広輝線領域 (BLR) に物質が出現/消失するのか、物質は常に BLR の場所に存在するが広輝線の生成が ON/OFF されるのかは未だに分かっていない。

我々は CLAGN NGC 3516 を暗い 2 型の状態になった 2013 - 2014 年に X 線天文衛星「すざく」と地上可視光望遠鏡でモニター観測し、 6.4 keV の狭い Fe-K α 輝線 flux が $2 - 10 \text{ keV}$ 連続光の変光に対して約 10 日ほど遅れて変光することを発見した (2021 年秋季年会 S08a)。この遅延時間は、NGC 3516 がかつて明るいセIFAート 1 型のときに得られた BLR 反響マッピング半径と無矛盾であることから、広輝線が観測されないセIFAート 2 型に変移した期間もかつて BLR が存在していた領域に物質が存在し、すなわちセIFAート 2 型への変移に伴って BLR 物質が消失するのではなく、広輝線の生成が止んでいる状態に遷移したことが分かった。またセIFAート 2 型時には降着流からの輻射圧が 1 桁以上減少するため、降着流の輻射圧で物質が吹き上げられて BLR 中のガスを構成するとするモデルで本現象を説明するのは困難であると思われる。さらに遅延応答を補正して $2 - 10 \text{ keV}$ と狭い Fe-K α 輝線の flux 間の線形回帰を行ったところ、狭い Fe-K α 輝線 flux が $2 - 10 \text{ keV}$ に追従して変動する成分と 1 年以上変動しない成分に分離できることがわかった。変動成分は BLR から放射される一方、変動しない成分はより遠方の構造、例えばトラスや核周辺領域から生成されると考えられる。この結果は Noda et al. ApJ, 943, 63 として出版された。

2.5.2 銀河系および星間物質

1. 深層学習を使った天の川銀河の分子雲分布の導出 (藤田真司; 伊藤篤史 (核融合科学研究所); 西村 淳 (国立天文台); 宮本 祐介 (福井工業大学); 川西康友 (理化学研究所); 大西利和 (大阪公立大学) ほか
天の川銀河内の物質は奥行き方向に重なっているため、距離を知ることが容易ではなく、距離が分からなければ実際の大きさや質量などの物理量を求めることができない。そのため、天の川銀河は宇宙で最も近くにあり最も星間分子ガス雲を詳細に観測できる唯一無二の銀河であるにもかかわらず、その大規模観測データから統一的に星間分子ガス雲の物理量を調べることは大きな困難を伴うという現状がある。そこで本研究グループは、deep learning の一種で画像認識に強い convolutional neural network (CNN) に着目した。野辺山 45 m 電波望遠鏡によって 2014–2017 年・2018–2019 年にかけて取得された天の川銀河の $^{12}\text{CO}(J=1-0)$ 輝線広域分光撮像データ (FUGIN; $l = 62^\circ-10^\circ$, $|b| < 1^\circ$) を用いて、その中で距離が分かっている数百個の星間分子ガス雲の電波データを教師データとして AI に学習させ、14 万個の星間分子ガス雲の近遠を推定した。そうして星間分子ガス雲のカタログを作ることによって、天の川銀河を外から見たときの、最も詳細な星間分子ガス分布を描き出すことに成功した。天の川銀河内の星間分子ガス雲の質量関数を求め、質量が $10^3 M_\odot$ より大きい分子雲において、ベキ指数が -2.3 であることを示すなど、典型的なサイズや質量を求めることができた。本研究の成果物である詳細な星間分子ガス雲のカタログは、天の川銀河の鳥瞰図を与えるだけでなく、星形成のさまざまな研究に役立つ。例えば、大きな星・星団を作るための重要な機構として近年特に注目されている星間分子ガス雲同士の衝突の発生頻度を観測的に見積もることができる。今後は、野辺山 45m 宇宙電波望遠鏡での観測範囲を広げるとともに、日本からは観測できない南の空のデータも南半球の電波望遠鏡を用いて観測し、同様の手法を用いて解析することによって、天の川銀河全体の鳥瞰図を完成させたいと考えている。本成果は Fujita, S., et al. (2023) PASJ, 75, pp. 279 – 295 として出版され、またプレスリリースを行った。

2.5.3 恒星および系外惑星

1. AKARI と WISE のマルチエポックキャンデータを用いた AGB 星の中間赤外線長期変光の研究 (橋健吾, 宮田, 上塚, 瀧田; 大澤 (国立天文台); 板 (東北大学); 内山 (ISAS); 中川 (鹿児島)
宇宙にあまねく存在する、重元素を原料とした固体微粒子 (ダスト) の起源や供給過程は不明確である。ダスト形成と供給の場として小中質量星の進化末期天体である AGB 星が重要視されている。近年、AGB 星の理論的研究が進展し、そのダスト放出過程に恒星の脈動が重要な役割を果たすことが示唆されている。宇宙のダスト供給の大部分を占めるダストに埋もれた AGB 星は、その放射エネルギーの大半を中間赤外線領域が占め、その変光周期が 1000 日を超える天体が含まれる。よって、その脈動の研究には中間赤外線領域における長期モニタ観測が必要となる。しかし、そのような観測は従来の望遠鏡では困難であった。今回の研究では複数の赤外線天文衛星のデータを組み合わせることにより、長周期の AGB 星の中間赤外線カラーおよび変光振幅の間に相関があることを発見した。以上の結果は査読論文として Publications of the Astronomical Society of Japan で発表した他、研究科からプレスリリースを行った。
2. 光エコー観測を利用したデブリ円盤観測の検討 (有松 (京大); 上塚)
デブリ円盤は主系列星星周に確認される岩石片やダストからなる円盤で、系外惑星系における小惑星帯や小天体衝突に起因して形成される構造と考えられており、系外惑星系の構造の情報を与える観測対象である。しかし、その放射は非常に弱く観測することが難しい。この問題を解決してデブリ円盤の構造を明らかにする新たな手法として、中心星のスーパーフレアに伴うデブリ円盤からの赤外線光エコーの観測が利用できないかを検討した。本検討では近傍のデブリ円盤天体として Proxima Cen を例にとり、主星のスーパーフレアの光エコーを利用して、本天体に存在が示唆されているデブリ円盤の観測が可能かどうかをモデル計算を通して検討した。その結果、スーパーフレア後数十秒から数百秒にかけて、TAO/MIMIZUKU

のような地上中間赤外線観測装置で観測可能な赤外超過の時間変化が観測可能であることがわかった。この結果は、OASESのような可視光モニタリング装置によりスーパーフレアをモニタリングし、スーパーフレアの検知からTAO/MIMIZUKUのような即応可能な赤外線観測装置でモニタ観測を行うことで、これまで観測が難しかったデブリ円盤の構造の観測が可能となることを示唆する。以上の結果は Arimatsu & Kamizuka として ApJL 誌にて出版された。

2.5.4 望遠鏡, 観測機器, ソフトウェアの製作と開発

1. スターリンク, バイザーサットの多色・多地点観測 (堀内 貴史; 大石 雅寿 (国立天文台), 花山 秀和 (国立天文台); 中岡 竜也, 今澤 遼, 川端 弘治 (広島大学); 高橋 隼 (兵庫県立大学); 小野里 宏樹 (国立天文台); 斎藤 智樹 (兵庫県立大学); 山中 雅之 (鹿児島大学); 野上 大作, 反保 雄介, 小路口 直冬, 伊藤 潤平, 柴田 真晃 (京都大学); Malte Schramm (ポツダム大学); 大朝 由美子, 金井 昂大, 大出 康平 (埼玉大学); 村田 勝寛, 細川 稜平, 高松 裕, 今井 優理, 伊藤 尚泰, 庭野 聖史 (東京工業大学); 高木 聖子, 大野 辰遼 (北海道大学); Kouprianov, Vladimir V. (ノースカロライナ大学))

2019年5月, アメリカ合衆国のSpaceX社は高速インターネット通信サービスの充実を目的としてスターリンク衛星を60機打ち上げた。同社は2020年中頃までには42,000機の運用を行うことを計画している。しかしながらこれら大量のスターリンク衛星による太陽光の反射は天文観測あるいは景観に影響を与え, 観測研究等の妨げとなることが懸念されている。2020年2月に国際天文学連合はこの懸念に対して声明を発表した。この声明を受けてSpaceX社は, 衛星本体に太陽光反射を軽減させるための日除けを装着したVisorsat (バイザーサット)を開発し, 2020年6月に打ち上げを開始した。バイザーサットに関しては可視光観測は行われているものの, 紫外, 近赤外を含めた多波長・多地点同時観測はほとんど行われて来なかった。

本研究では光・赤外大学間連携(OISTER)観測を通じて多波長・多地点でのバイザーサット及び日除けのない通常のスターリンク衛星の等級の測定を行った。観測はむりかぶし望遠鏡/MITSuME (g, R_c, I_c), SaCRA望遠鏡/MuSaSHI (r, i, z), なゆた望遠鏡/NIC (J, H, K_s)など計8つの望遠鏡/装置を駆使して2021年2月から行っている。

結果として, 1) 可視から近赤外にかけて, 通常のスターリンク衛星(可視: 5-6等, 近赤外: 3-4等)に比べてバイザーサットの方が1等級程度暗い(可視: 6-7等級, 近赤外: 4-5等), 2) 運用高度の550kmで規格化したバイザーサットおよび通常のスターリンク衛星の等級は位相角依存性(90°から離れるほど明るい)を示しかつ, 肉眼等級より明るくなる場合が多い, 3) バイザーサットと通常のスターリンク衛星の反射率 a が同じという仮定の下, 可視光($0.06 \leq a \leq 0.15$)より近赤外線での反射率($0.14 \leq a \leq 0.47$)の方が大きい傾向がある, 5) 黒体放射モデルより, 日除けが衛星本体を覆う割合を求めたところ, 平均で50%程度であることなどを突き止めた。これらの結果はバイザーサットの日除けの効果を示唆するものである。しかしながら, 幅広い波長帯で観測への影響が残ることも示唆されたため, 更なる対策が必要である。

上記の成果はPublications of the Astronomical Society of Japanにて2023年3月14日に受理された(Horiuchi et al. 2023)。

2. 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 (宇野慎介, 井上修平, 陳家偉, 李建鋒, 河野孝太郎; 大島泰, 都築俊宏, 川邊良平 (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); 丹羽佑果 (東工大); 美馬覚 (情報通信研究機構); 藤田和之, 香内晃 (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、130–720 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。

2022年度は、(1) 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と試作、(2) 誘電体レンズやクライオスタット窓材の超広帯域反射防止膜 (AR) の設計と評価、(3) シンプルな配線系を実現するフレキシブル基板を用いた冷却系での MKID 読出配線の設計、(4) 焦点面検出器と光学系を結合させるホーンアレイの製作と評価、(5) MKID 読み出しシステムの開発、を推進した。まず (1) の検出器チップにおいては、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、マイクロ波力学インダクタンス検出器 (MKID) の設計および製造試験を実施した。平面ハイブリッドカップラーでは、計算が高速な回路シミュレーションを活用し、広帯域かつ検出器のアレイ化に適したメタル単層の解を得る設計手法を確立した。多色オンチップフィルターでは、後段の MKID に高効率で結合できる新たな回路設計を考案し、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。光子検出器である MKID では、多色検出器の一素子内におけるコンパクトな配置方法を検討し、2 偏波3色用で合計6つの MKID が設置できるような配置を見出した。現在はシリコンウェハー上に導体回路パターンを描画する製造試験を行い、パターンニングプロセスにおける系統的な寸法変化の調査および極低温下で MKID の信号を読み出す試験を進めている。(2) の AR においては、120–720 GHz の帯域幅を持つ多層 AR の設計および初期光学評価が完了しており、現在は大口径化、およびレンズ表面のような曲面に AR を設置する技術の確立に向けて取り組んでいる。(3) の配線系では試作品の設計・製造・測定評価が完了し、設計通りの特性が得られることを確認した。(4) シリコンウェハーと相性の良い低熱収縮率で非磁性材の、シリコンアルミ複合材を用いたホーンアンテナの開発について、これまでの成果をまとめた査読論文が出版された。またシリコンアルミ表面に適用可能な金メッキ技術を新たに検討し、導波管損失を20%程度低減することに成功した。(5) グリーンランド望遠鏡での搭載に使用する MKID 読み出しシステムの開発が完了し、極低温検出器の評価試験を開始した。今後は上記の進捗状況を踏まえ、各々のコンポーネントの試作を進めるとともに、実験室での統合的な冷却試験を実施し、新しい多色検出器技術の確立を目指す。

3. 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, 大澤, 宮川, 矢野, 三好, 泉浦 (NAOJ); 山田 (京都大学); 河田 (UCL); 片坐, 河原, 白井 (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 (Univ. of Heidelberg);) JASMINE ミッションは JAXA 宇宙科学研究所の公募型小型3号機に選定されたプロジェクト (打ち上げ目標 2028 年) で、近赤外線多数回観測による位置天文観測を行うことで、天の川銀河中心領域の構造を明らかにすることを目指す。本ミッションでは二次元アレイ検出器を用いた撮像観測により天体の位置を精度よく検出し、系統誤差をランダム化しながら多数回撮像することでその誤差を低減することで、高精度の位置決定を実現する。その実現のためには可能な限り現実的な観測シミュレーションを行い、それによる誤差評価をあらかじめ十分に行っておく必要がある。そのための観測シミュレータ “jasmine-imagesim” を開発している。本年度は本シミュレータを用い、ミッション達成のための各種仕様値の詳細検討を行い、そのベースラインを策定した。また、より現実的なデータセットを模擬すべく、天体像の重複を許したシミュレーションや天体像の色依存性の考慮を可能とするソフトウェア開発を行った。これらを含む開発の進捗については天文学会年会において発表を行った。
4. 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, 山中, 川端 (京都大学); 都築, 池之上, 小原, 尾崎, 本原 (国立天文台))

木曾観測所 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 3.8 m 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 の CMOS が生成するデータの画像領域には、各画像の各素子を読み出した瞬間の GPS 時刻情報が書き込まれている。しかし、観測データに書き込まれた時刻情報を詳しく確認してみると、書き込まれた時刻が明らかに 1 秒以上間違っている例がいくつも見つかった。そこで、過去に得られた全てのデータの時刻情報をチェックして、時刻情報が不正になる条件を複数見つけ出し、間違いがあると推定される時刻情報書き込みプロセスを特定した。CMOS 開発メーカーに状況を報告したところ、CMOS の時刻書き込みプロセスを改修したファームウェアを開発していただいた。ファームウェアを更新した試験用 CMOS では時刻情報が正しく書き込まれていることを確認した。TriCCS の CMOS のファームウェア書き換えは、望遠鏡の整備期間である 2023 年 6-7 月の整備期間に行う予定である。

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ライサertype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。2022 年度に光学系の詳細設計を行い、面分光ユニットで最も重要な光学素子であるイメージライサーと、再結像光学系のミラー基板を製作した。面分光ユニットは 2023 年度に完成し、TriCCS に組み込んで試験観測をする計画である。

2.5.5 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する計画 (TAO 計画) を推進中である。平成 12 年度に天文センター内で議論を開始して以来、サイト調査やアクセス道路の整備、望遠鏡の概念設計など準備を進めてきた。また平成 19 年度には先行望遠鏡である東京大学アタカマ 1 m 望遠鏡 (通称 miniTAO 望遠鏡) も観測を開始した。平成 24 年度には補正予算によって 6.5 m 望遠鏡の製作予算が措置され、望遠鏡本体および付帯設備の検討が本格化し、現在現地工事もスタートしている。

2.5.5.1 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, 廿日出, 江草, 小西, 上塚, 高橋, 松林, 鮫島, 山岸, 加藤, 沼田, 小山, 堀内; 本原顕太郎 (国立天文台/東京大学))

TAO 計画は平成 10 年に計画がスタートしており、平成 24 年からは本格設置に向けて開発および建設活動を進めてきている。令和 4 年度は前年のチリ国境封鎖解除を受け、建設工事をようやく本格化できた。

現地山頂工事としては、エンクロージャー及び山頂運用棟の建設工事が進んだ。具体的な進捗については以後の節を参照のこと。山頂作業はすべてチリの超高高度 (標高 5,500m 以上) での作業ルール及び新型コロナウイルス蔓延を受けての安全対策ルールに則って行われた。救急車及び救急隊員、レスキュー隊員などの体制も整備して工事を行ったおかげで、大きな事故や感染クラスターなども発生せず現地工事を進めることができた。地下永久凍土についてもアラスカ大学・チリ大学との共同研究を進めた。建築による凍土への影響を評価するためにサイトの複数個所に温度センサーを設置し監視を進めているが、基礎や建物が建って 1 年が経過した状態でも大きな温度変化は見られず、凍土の融解などは起きていないと判断している。

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。国内枠と呼ばれる共同利用観測時間に向けては、内部の会合を令和4年7月からスタートさせ、チリ時間も含めた共同利用観測全般について議論してきている。また、TAO 国内枠科学諮問委員会を同年10月に立ち上げた。科学諮問委員会のメンバーはTAOのメンバー6名の外、光赤天連からの推薦を受けた外部7名からなっており、互選の結果、委員長は天文教室の柏川教授となっている。令和4年度内に4回の会議を開き、国内枠の枠組みや審査方法について議論した。またすばる望遠鏡との共同利用における協力を目指して、関係者との会合も重ねた。長期的にはすばるとTAOの合同でプロポーザルを受付・審査することを目指す。TAOの運用が安定するまでは独立して進める。ただし、プロポーザル受付システムはすばるのシステムを一部TAO用に改変したものが国立天文台より提供されることとなった。

令和4年4月にチリと日本間の調整や補助業務全般を担う運用サポート室が発足した。技術専門職員1名と特任専門職員3名の計4名の体制で、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、TAOメンバー間の情報共有のためのConfluenceやDropbox等のサービス導入、天文センター公開日のTAO展示物準備、文書等の管理、ハンドタオルや寄せ書きボード等のTAO関連グッズ発注等を行った。

2. TAO 望遠鏡本体等の製作 (峰崎, 吉井, 土居, 河野, 宮田, 酒向, 甘日出, 小西, 江草, 高橋, 上塚, 松林, 鮫島, 浅野, 堀内, 加藤, 青木, 沼田; 本原 (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 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ヶ所とベ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日本通運によりチリへ輸送された。2022年9月にアリゾナ大学 Tech Park を出発した主鏡セル、専用輸送箱内に格納された主鏡は警察のエスコートのもと3日間の行程の陸上輸送を経て、米国ロサンゼルス・ロングビーチ港近郊の輸送会社構内に到着した。その後10月にロングビーチ港に入港した輸送船に積み込まれ、約2ヶ月の海上輸送ののち、チリアントファガスタ州・アンガモス港に到着した。輸送船からの荷揚げ後、警察のエスコートのもと3日間の行程の陸上輸送を経て、カラマ郊外の倉庫に搬入され、一連の輸送作業は完了した。慎重な取扱の必要な重量物であったが、事故なく安全に輸送作業を完了することができた。カラマ郊外の倉庫に保管中の望遠鏡光学系関連貨物は24時間の監視体制により保管中の安全を確保するとともに、定期的な貨物の保管状態を点検している。

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 5,000m 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。

望遠鏡主鏡を運用するための冷却水生産設備の製作と冷却水・高圧空気の配管方法の検討を進め、冷却水・高圧空気生産設備本体の現地設置作業を開始した。星像悪化防止を目的とした主鏡温度制御のために、主鏡セル内には冷却水を循環させる。また観測中の主鏡を支持し主鏡形状を適正な状態に維持する主鏡セル内の多数の空力アクチュエータの駆動のため、清浄かつ乾燥した高圧空気を供給する必要がある。国内では追加配管の製作と望遠鏡制御システムからの遠隔制御のためのソフトウェア開発と制御機との接続試験を行った。また中間保管場所およびカラマ郊外の倉庫に保管中であった冷却水生産設備本体および高圧空気生産設備本体の山頂エンクロージャー内設置作業を2023年1月より開始した。

3. TAO 6.5m 蒸着装置 (高橋, 吉井, 土居, 河野, 宮田, 峰崎, 酒向, 廿日出, 小西, 江草, 高橋, 上塚, 鮫島, 浅野, 加藤, 沼田; 本原 (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、蒸着チャンパーにサンドイッチされる、つまり主鏡セルが真空チャンパ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・アングモス港に到着、チャンパ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。チャンパーは2021年6月に5,000m 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、蒸着上部チャンパ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。アングモス港から5,000m 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5,000m ベースへ輸送された。今後5,000m ベースから山頂までの輸送においても同様の確認作業が必要になる。

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時間と労力がかかる。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・作成を行った。

4. TAO 望遠鏡付帯設備の製作 (上塚, 吉井, 土居, 河野, 宮田, 峰崎, 酒向, 廿日出, 小西, 江草, 高橋, 松林, 鮫島, 山岸, 浅野, 小山, 堀内, 加藤, 沼田; 本原 (国立天文台/東京大学))

TAO 望遠鏡付帯設備として、装置台車およびケーブル巻取機構の開発を進めてきている。これらの基本的な部分は既に製作を終えてチリに輸送済みであり、現在は現地倉庫に保管している状況であるが、本年度は装置台車開発の一環として、装置横置き架台の整備および装置台車予備部品の調達を行った。

装置台車は「装置移動台車」「装置回転台車」「装置取付台車」からなり、観測装置を観測運用棟からエンクロージャーへ移動し、ナスミス焦点に取り付けるまでの観測装置のハンドリングに用いる機器群を指す。一連のハンドリング作業の中で装置回転台車を用いた観測装置の横転作業が必要となるが、安全なハンドリングを行うためには観測装置を横転させた後、一旦横向きに安置してからクレーンで吊るという工程を挟む必要がある。この観測装置を横置きする工程で用いるのが、装置横置き架台である。装置横置き架台に観測装置を置く際、あるいはそこから観測装置をクレーンで吊る際に、架台各部にかかる重量を把握することは安全なハンドリングを行うために重要である。そのための重量計の整備を今年度行った。重量計の搭載、動作試験を終えた装置横置き架台は現在天文センター実験棟大型実験室にて保管されており、観測装置のチリ輸送のタイミングで一緒にチリに輸送を予定している。

装置台車は、そのどれを欠いても現地での観測装置ハンドリングに影響する観測運用において重要な機器群である。一部には調達の際に長納期となる駆動部品があり、それらが不調となった場合の長期運用停止

を回避するため、予備部品の調達を行った。具体的には、装置移動台車用パワージャッキ、装置回転台車ウォーム減速機、および装置取付台車用アクチュエータ・パワージャッキの調達を実施した。調達した予備部品は既にチリに輸送を終え、現地倉庫で保管されている。

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, 廿日出, 小西, 江草, 高橋, 上塚, 鮫島, 松林, 加藤, 浅野, 山岸, 小山, 堀内, 益原, 笠原, 上原; 本原 (国立天文台/東京大学); 吉川 (アラスカ大))

TAO6.5m 望遠鏡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進めた。川田工業社の主導の下 2022 年 3 月に観測運用棟の大部分の鉄骨の組み上げが、5 月に壁と屋根のパネルの設置が完了した。2023 年 3 月より観測運用棟のシャッターおよび部屋の間仕切りの設置が実施された。エンクロージャ下部も川田工業社の主導の下 2022 年 3 月に大部分の鉄骨の組み上げが完了し、2023 年 2 月から 3 月にリングビームの組み立ても実施された。チリ OASIS 社により 2022 年 4 月から 2023 年 1 月までエンクロージャ下部の各階の床コンクリートの打設が実施された。また、2022 年 4 月から 12 月まで観測運用棟の各階の床コンクリートの打設が実施された。チリ AKSIOM 社が建設足場の設置を担当した。

西村製作所社と三陽鉄工サービス社の主導の下エンクロージャと観測運用棟をつなぐブリッジの鉄骨の組み上げ工事が 2022 年 5 月から 12 月に実施された。2023 年 3 月には西村製作所社によりエンクロージャの方位軸回転用の駆動機構の取り付けが実施された。

2022 年 6 月と 2023 年 1 月から 2 月には桜井工業社により換気設備 (ダクトとエアコンプレッサー) を観測運用棟とエンクロージャ下部に設置する工事が実施された。2023 年 3 月には REC 社とチリ前川製作所社によりチラー設備をエンクロージャ下部へ設置する工事が実施された。2023 年 3 月には京浜電設社によりケーブルラックを観測運用棟とエンクロージャ下部に設置する工事が実施された。インテレクト社とチリ H2M 社と共に発電機および地下燃料タンクの設置方法に関する検討を進めた。また、インテレクト社と共に受電設備と屋内電気設備の詳細設計を進めた。CCAT 計画と共同で、23kVA の高圧電力線とファイバネットワーク線を 5,000m サイトと山頂施設の間に敷設する工事を実施した。

サンペドロ・デ・アタカマの TAO 山麓施設に増設する実験棟の整地作業を 2022 年 5 月より実施した。また、2023 年 1 月から 3 月に鉄骨の製作を実施した。2023 年 2 月から 3 月には鉄骨基礎のコンクリートの打設を実施した。

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, 浅野, 高橋, 吉井, 土居, 河野, 宮田, 廿日出, 江草, 松林, 小山, 堀内, 沼田, 益原, 笠原, 上原; 本原 (国立天文台, 東京大学))

TAO 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、目的の観測を遂行し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) に TAO 独自の要素 (各焦点の AG/SH 制御等) を組み込んだ設計となっている。

TAO-OCS の開発は 2016 年時点の Gen2 をベースとして進められてきたが、ハワイ観測所ではその後も様々な改良と安定化が継続的に行われており、2022 年 5 月に提供された最新版では、使用言語 Python のバージョンが 2 から 3 にメジャーアップデートされた他、各種バグフィックスやセキュリティアップデート、安定性等に対するパフォーマンスの最適化が含まれている。そのため、TAO-OCS をこの最新版にアップグレードする作業を実施した。また、山頂の本番環境だけでなく日本での各種試験のための OCS シミュレータとしても構築しやすくするために、ハワイ観測所から提供される仮想 OS ファイル形式から docker コンテナ形式に移行する作業もあわせて実施した。この新たな TAO-OCS の開発はファーストライト装置の一つである NICE を利用して繰り返し動作確認を行いながら現在も進めている。

新 TAO-OCS の開発と並行して、山頂で観測データを保存するシステムの構築も進めた。具体的には、RAID6 で構成された NAS 分散ストレージを導入し、取得データが TAO-OCS から NAS へと毎分同期される仕組みである。山頂-山麓 (もしくは日本) 間に高速な通信環境が配備されるまでは NAS に溜まったデータは USB デバイス等にコピーして定期的に人間が山麓に持ち帰ることを想定している。

来年度は新 TAO-OCS の開発を一区切りさせ、観測装置とともにチリへ輸送し、現地での試験と観測所ファーストライトに臨む予定である。

7. ハードウェア (気象装置, 山頂-山麓間通信) (山岸, 酒向, 小西, 鮫島, 加藤, TAO チーム)

TAO 山頂における気象状況を正確に把握することは、安定的な観測の実施のみならず、スタッフの安全にもつながる。今年度の前半に、気象データを取得するためのシステムの立ち上げを行った。気象センサーシステムには、現在 5 つのセンサーが接続されており、気温、湿度、気圧、風向、風速といった基本的な気象情報や全天可視光画像を、サーバーからの制御に基づいて全自動でデータ取得し、WEB 上に表示する仕様になっている。すでに木曾観測所では同様の気象センサーシステムが稼働しており、観測を実行するための基本情報として使用されている。TAO では、木曾で使われている測定機器と同様の物をメーカーに納入してもらい、組み立て、動作試験、さらに weather monitor ページの整備を行った。気象センサーは 2022 年 12 月にチリに輸送を行い、すでに現地に到着している。2023 年 10 月ごろに TAO サイトでの設置を行う計画となっている。

現在の TAO サイトには、観測・運用に耐えうる安定的なインターネット回線が存在していない。そのため、インターネット回線の開通作業を進めている。主回線として使われるのは無線アンテナで、山麓施設と山頂に対向アンテナを設置することで通信を行う。mini-TAO 時代に使われていた無線アンテナを再度立ち上げて使用する予定で進めており、現在は 2023 年 10 月頃に予定している再立ち上げに向けて業者とのやり取りを行い、アンテナの動作確認を進めている。また、バックアップ用の回線として、モバイルルーター (4G 回線) もしくは BGAN (衛星通信) を使用する予定になっている。mini-TAO 時代は BGAN が使われていたが、速度が遅く、TAO を制御するには帯域が足りない。そのため、現在は新しくモバイルルーターを使用できないか検討を進めているところである。

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)

本年度より、TAO 望遠鏡で取得したデータの日本への転送、およびデータの配布やアーカイブに関する本格的な検討を始めている。まず TAO の観測データの集約先となるサーバーを、東京大学本郷キャンパスに設置する作業に取り組んだ。理学系研究科情報システムチームが提供しているサーバハウジングの利用申請を行い、理学部 1 号館西棟 B204 号室のラック 1 台を確保した。また前述の理学系研究科情報システムチームと協力し、セキュリティを考慮した計算機構成案を検討した上で要求を満たす機器の選別を行い、アプリケーションサーバー 1 台、ファイルサーバー 1 台、ストレージ拡張ユニット 2 台を購入した。これらの機器は、2023 年 2 月に上記 B204 号室に無事設置することができた。

また TAO 望遠鏡で得られたデータの日本への高速転送を実現する上で鍵となるチリでの高速ネットワークの利用について、チリでの学術ネットワークを構築している REUNA (Red Universitaria Nacional) と交渉を進めている。2023 年 1 月にオンラインでのキックオフ会議の場を設け、意見交換を行った。今後も引き続き会議の場を設け、契約に向けた交渉を続ける予定である。

最後にアーカイブに関して、TAO では国立天文台・天文データセンターが運用する天文データアーカイブサービス SMOKA を利用する方針で話を進めている。来年度初頭に SMOKA チームとの会議の場を設け、どのようなデータをアーカイブするか、また円滑なアーカイブ処理を実現するためのデータの仕様策定などについて、意見を交わす予定である。

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 4 年度は TAO 山頂施設に敷設する基幹ネットワーク機器、基幹ネットワーク機器を格納するラック、各部屋への配線の中継するパッチパネルを調達した。

L2 スwitchの機器選定にあたり、観測中のドームエンクロージャ開口による低温環境にも耐えうるよう、設置場所の気温に応じた動作温度を有する機器を調達した。例えば、望遠鏡架台上に設置するL2 スwitchやTAO山麓施設とチャナントール山頂の間を結ぶ無線LANブリッジやドームエンクロージャ内に設置するL2 スwitchについては耐寒仕様の機器を導入し、トラブル時には衛星通信などの迂回経路に切り替えるなど、遠隔観測中のダウンタイムを最小限に抑えられるような構成とした。また、将来の有線回線の敷設も想定し、観測で得られたビッグデータの高速度通信(10Gbps)にも対応する機器を導入するなど、安定した観測運用を実現し最先端の観測にも対応できるネットワーク機器を購入した。TAOサイト全体のネットワークの入口に設置するUTM機器については、インターネットを介して侵入してくる不正なアクセスやサイバー攻撃からTAOサイト内のネットワークを守るような仕様とした。

納品された機器は、天文学教育研究センターで実際に接続し、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や、VPN接続方法の試験等を実施した。

2.5.5.2 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, 櫛引洗佑, 陳諾, 穂満星冴, 吉井, 土居, 河野, 宮田, 峰崎, 酒向, 甘日出, 江草, 浅野, 大澤, 上塚, 鮫島; 沖田, 服部, 田中壺, 寺居, Wung(国立天文台))

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。

令和3年度から国立天文台ハワイ観測所すばる望遠鏡において持ち込み装置として行ってきた2年間の共同利用観測運用が今年度12月をもって終了した。総観測時間はおよそ600時間、取得した観測データは合わせて2TB近くに上る。運用の最終フェーズでは撮像・多天体スリット分光に続く第3の観測モードとして面分光機能も公開された。残念ながらマウナロア山噴火の影響により、面分光を用いた共同利用観測データはほとんど取得出来なかったが、TAOでの観測に向けた技術実証として十分な成果を得た。

今後は一旦天文学教育研究センターに移送され、TAO望遠鏡への搭載に向けての最終調整を実施する。早ければ令和6年度中ごろには三鷹からチリへ輸送され、同年後半からTAO望遠鏡での本格的な科学運用が始まる見込みである。

2. マイクロシャッターアレイの開発(小西; 本原(国立天文台, 東京大学); 年吉(東大先端研); 高橋(東大生産研))

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)テクノロジーを用いたマイクロシャッター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。

今年度は昨年度に引き続き、レーザー直描露光を用いて超微細マスクパターンを加工するプロセスの検討、具体的には最適な露光パラメータの調査を進めた結果、最終的に歩留まり～99%を達成する解を見出すことができた。また、昨年度までに試作したデバイスについて、長時間の通電試験を常温常圧下で実施し、破損すること無く繰り返し開閉動作することを確認した。来年度はデバイスの漏れ光（遮蔽率）の測定を液体窒素温度下で行うとともに、レーザー直描露光によって製作されたデバイスの駆動試験や光学試験を行いたい。

3. SWIMS-IFU の開発 (櫛引洗佑; 本原 (国立天文台, 東京大学); 高橋, 小西, 加藤, 小山, 陳諾, 穂満星冴, 安田綾乃; 山形, 細島, 竹田 (理研); 森田 (東京電機大); 尾崎, 都築, 三ツ井, 沖田 (国立天文台); 中川, 佐伯, 大竹 (東京大学))

面分光は天体像を分割し並べなおすことによって、視野全体の空間分解したスペクトルを一度の露光で取得する観測手法である。我々は SWIMS 用のイメージスライサー型面分光ユニット SWIMS-IFU の開発を進めている。

2021 年度末に SWIMS-IFU はすばる望遠鏡での試験観測を実施し、その性能評価を行ってきた。その際に問題になった $2.1 \mu\text{m}$ より長い波長に影響する迷光について詳細な解析と対策を行った。光線追跡による解析の結果、観測された迷光はすばる望遠鏡のバッフルからの熱放射によってよく再現されることが明らかになった。その迷光は本来の設計光線とは入射開口の異なる部分を通ることから、SWIMS-IFU の入射開口を狭めることでその影響を軽減できるということも確認した。これらの解析に基づき、実際に SWIMS-IFU の入射開口幅を 14.5 mm から 8.0 mm に狭める対策を行ったところ、迷光が大きく減少したことを確認した。

また、2022 年度 12 月には SWIMS-IFU のすばる望遠鏡での二度目の試験観測と初めての科学観測が計画されていたが、観測直前に発生したマウナロア山の噴火によってデータ取得を行うことができなかった。

今後、SWIMS-IFU は SWIMS とともに日本に輸送される。輸送完了後にはこれまでの性能評価で原因不明となっていた長波長側の効率低下の原因を探るため、各光学素子の効率測定を行い、その原因を明らかにする。また、TAO 6.5 m 望遠鏡に向けた新しい SWIMS-IFU の設計も進めていく。

2.5.5.3 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, 大澤, 浅野, 橘健吾, 飯田熙一, 成瀬日月, 尾中, 左近, 吉井, 土居, 河野, 峰崎, 小西, 高橋, 廿日出, 江草, 鮫島, 小山, 堀内, 山岸, 加藤; 本原 (国立天文台/東京大学); 西村 (国立天文台); 軸屋, 近藤智也 (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, 片墜 (JAXA); 海老塚, 細島 (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 チャンネルというそれぞれ異なる波長帯に感度を持つ光学ユニットを搭載することで、 $1\text{--}38 \mu\text{m}$ 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低温・高温の星周ダストの準同時観測を実現する。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、宇宙における物質輪廻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 は日本に返送されて以後、TAO 望遠鏡における科学運用に向けて他のチャンネルの実装などを行うアップグレード作業を進めている。今年度は、NIR チャンネルの整備、MIR-L 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. NIR チャンネルの開発 (上塚, 宮田, 酒向, 大澤, 浅野, 橘健吾, 飯田熙一, 成瀬日月; 西村 (国立天文台); 長谷川, 白井 (JAXA); 海老塚, 細島 (理化学研究所))

MIMIZUKU の NIR チャンネルは検出器として Teledyne 社製 HgCdTe 検出器の H1RG アレイ (カットオフ波長: $5.3\ \mu\text{m}$) を搭載し, 波長 $1\text{--}5.3\ \mu\text{m}$ をカバーする. 検出器・光学系は既に MIMIZUKU の真空チャンバー内に搭載されており, 実験室実験によりその性能評価を進めてきた. その結果, 検出器量子効率が 80% 程度であること, シーイングリミットとなる空間分解能の達成に十分な結像性能があること, 装置効率は撮像モードで 2.4–31% であること, 分光モードで 5–18% であることを明らかにした. これらの結果について, 国際研究会 “SPIE Astronomical Telescopes + Instrumentation 2022” にて発表し, 集録論文にまとめた.

分光モードである $2.7\text{-}\mu\text{m}$ および KL 分光モードではウェットエッチングで作成したシリコンのグリズムを用いているが, その表面性状には一部魚鱗上の欠損が発生していた. また, 反射防止コーティングを片面のみにしか適用していなかったため, 内部反射に起因した迷光パターンを生んでいる可能性も指摘されていた. これらの問題を解決すべく, ゲルマニウムを用いた切削加工によるグリズムを製作し, 両面に反射防止コーティングを施したものを開発している. ゲルマニウムグリズムの試作サンプルが完成し, さらに反射防止コートについてブレードパターンにも均一に施工でき, 低温でも破損することのないことの確認が取れたため, これらを組み合わせて両面反射防止コートゲルマニウムグリズムを完成させることができた. MIMIZUKU に載せての性能評価試験を近日予定している.

3. MIR-L チャンネルの開発 (飯田熙一, 宮田, 上塚, 酒向, 大澤, 浅野, 橘健吾, 成瀬日月)

MIMIZUKU の MIR-L チャンネルは, 検出器として DRS 社製 Si:Sb 検出器 (カットオフ波長: $38\ \mu\text{m}$) を搭載し, 波長 $30\text{--}38\ \mu\text{m}$ (30 ミクロン帯) をカバーする. 今年度は, 本波長帯のバンドパスフィルタとして重要なメッシュフィルタの透過率測定と予想される性能に関する考察, 検出器読み出し駆動システムの構築と動作試験を実施した.

MIMIZUKU に搭載するメッシュフィルタは 31, 37 ミクロン帯の光を選択するメンブレンメタルメッシュフィルタである. これらを四枚重ねてリーク光を減らす運用を念頭に置き, そのための治具を製作してきた. 実際に四枚重ねての透過率測定を実施したところ想定 of 10 倍明るいリーク光が測定されたが, 検討の結果フィルタ間の多重反射に起因するものと判断された. この考察が適切であれば, 予想外のリーク光は MIMIZUKU での観測では視野外に像を結ぶゴーストとなるだけで, 観測に影響するものではないと思われる. この検証は今後 MIMIZUKU 搭載時の評価試験において検証を予定している.

検出器読み出し駆動システムの構築では, MIMIZUKU で採用している検出器読み出し駆動システム TAC2 を MIR-L チャンネル用に整備し, 検出器の制御に必要なクロックも整備した. これらを用いて読み出し用集積回路 (ROIC) と接続し動作試験を行ったところ正常な画像を得ることができ, システムの正常動作を確認できた. 続いて ROIC ではない観測用の検出器チップを接続し, ダーク環境での冷却動作試験を実施した. 結果, 一つの読み出しチャンネルのカウントがやや高いことを除き, 正しいとみられる画像の出力を確認することができた. 今後詳細な動作試験を進め, MIR-L チャンネルの完成を目指す.

以上の結果については, 飯田氏の修士論文としてまとめられた.

4. 冷却チョッパーの開発 (道藤翼, 上塚, 宮田, 酒向, 大澤, 浅野, 橘健吾, 飯田熙一, 成瀬日月; 木下凌太, 坂野井, 鍵谷 (東北大学); 軸屋, 内田大智, 近藤智也 (金沢大学); 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され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替が可能となり, 切り替えた視野それぞれで取得した画像を減算することで, 大気起因の背景放射を精度よく除去することが可能となる. 地上観測では背景放射が非常に強いため, このような観測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, 冷却チョッパーは MIMIZUKU の観測運用に必須となる重要なシステムである. また, 本技術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. これまでは試作機開発を進め, その冷却

動作試験 (温度約 20 K) を行いながら、振幅・静定性・速応性・発熱量などの要求を満たす機械系および制御系を開発してきた。本年度はこれまでの試験機とは異なり、実際に観測で用いる金コートミラーを搭載した、MIMIZUKU 光学系に搭載するためのユニット (搭載機と呼ぶ) を開発し、MIMIZUKU 内での冷却動作試験を実施した。

搭載機の製作のため、これまでの試作機の構造を改良することに加え、各部の寸法精度に注意して搭載機各パーツの製作を行った。出来上がった各パーツの三次元測定を行うなどして最終的な鏡の設置位置精度を確認し、要求の範囲内に設置できることを確認したうえで搭載機の組み立てを行った。搭載機の MIMIZUKU 光学系搭載に向けてはセンサ・アクチュエータの配線も整備する必要があり、その整備を行ったうえで MIMIZUKU 光学系への搭載を完了した。搭載機の性能を確認すべく、MIMIZUKU 内部での冷却駆動試験を行ったところ、動作する二軸のうち片軸については不具合が発生してしまったが、もう片方の軸については要求を満たす矩形動作を実現できることが確認できた。これまでの冷却試験で懸念事項となっていた冷凍機振動については MIMIZUKU 内部でも確認されたが、MIMIZUKU での空間分解能に比べて小さく許容範囲内の振動であることを確認した。片軸の動作不具合については、原因についての調査を進行中である。

搭載機の開発に加え、制御則の研究も行った。最短時間制御の考え方にに基づき、現在のシステムが原理的にどこまで高速化できるかを検討した結果、遷移時間が 10 ms 程度まで高速化できる可能性が示された。しかし実際の機器を用いた試験の結果、実機の理想的なふるまいからのずれなどからここまでの高速化は難しく、現行の制御で実現できている 30 ms 程度に限界があることも確認された。制御則の開発ではこれとは別に、現行の二自由度モデルマッチング型 PD 制御とは異なる微分先行型 PD 制御でも同等の動作性能を実現できることが見いだされた。この制御則は現行の制御則に比べて可調整パラメータが少なく、運用中の調整の難度を下げられる利点を持つ。MIMIZUKU 内搭載機動作試験においてもこの制御則を試したところ、現行の制御則と同等の性能を発揮することも実際に確かめられた。

以上の制御則開発の一部については金沢大学近藤氏の修士論文にまとめられた。また、これまでの試作機の冷却駆動実験に関しては、国際研究会 “SPIE Astronomical Telescopes + Instrumentation 2022” にて発表し、集録原稿にまとめた。

5. フラット補正ユニットの開発 (成瀬日月, 上塚, 宮田, 酒向, 大澤, 浅野, 左近, 橋健吾, 飯田熙一; 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, フラット補正は一晩に一回で十分であることを明らかにした。

これらの結果について、国際研究会 “SPIE Astronomical Telescopes + Instrumentation 2022” にて発表し、集録論文にまとめた。また、査読付きの学術雑誌 “Journal of Astronomical Telescopes, Instruments, and Systems” への投稿を行った。

2.5.5.4 TAO 6.5 m 望遠鏡用近赤外線エシエル分光撮像装置 NICE

1. 近赤外線エシエル分光撮像装置 NICE の概要と開発 (高橋, 浅野, 吉井, 土居, 河野, 宮田, 峰崎, 酒向, 甘

日出, 小西, 江草, 上塚, 鮫島, 加藤; 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 ($0.9\text{--}2.4\mu\text{m}$) 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。星の大气から得られる物理情報と大气モデルと詳細比較することで, 質量放出や大气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, サイトの大气透過率の高さと, $0.8\text{--}2.5\mu\text{m}$ 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より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. 制御系の改修およびソフトウェアの開発 (高橋, 浅野, 小西, 上塚, 鮫島, 加藤; 西村淳 (国立天文台))

ソフト面では, 既存の Windows2000 計算機上で独立に駆動していた制御群系を Linux ベースの望遠鏡統合制御ソフトウェアから制御可能にするシステムへの移行を進めている。具体的には, 新規に導入した Linux 計算機上に File I/O ベースのコマンド中継システムを構築することで, この計算機を介して TAO 制御システムから望遠鏡を含めた統合制御が可能となる。また検出器以外のハードウェアを Windows2000 計算機を介さず, 直接 Linux 計算機から制御できるように仕様の変更および実装を行った。これにより, 遠隔操作を前提とする TAO 望遠鏡システムにより適したシステムへと改修された。今年度は TAO での運用を実現すべく, 装置依存コマンドおよび動作機能毎に集約したスケルトンコマンドを作成, TCS, OSC からの制御試験も開始した。

3. TAO 運用に向けた機械的改修 (高橋, 浅野, 小西, 上塚, 鮫島)

NICE はスリットに天体を導入し, 露光中スリット上の天体位置の確認を行うためのスリットビューワが搭載されている。近赤外のデータ解析・評価のために, スリットビューワのデータを同時に取得する必要がある。また実際の観測においては, スリットビューワの画像を基に NICE のスリットへの導入をするように望遠鏡ポインティングへのフィードバックをかけないといけない。TAO 望遠鏡を含む統合システムからのこのような制御を行うためのプログラム開発も行った。

今回の改修ではフィルターの最適化も計っている。これまでは狭帯域フィルターを含め分光に特化したフィルターセットであったが, これをイメージング測光を可能にするために一部を近赤外 (J, H, Ks) 撮像用フィルターに交換した。フィルターは新規製作ではなく, 近赤外多天体分光撮像装置 SWIMS のフィルター製作と同時に製造されたフィルターを利用, サイズカットすることで NICE 用に最適化した。

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 秒角, 1.0 秒角, 1.5 秒角 (空間方向のスリット長 ~ 1.6 秒角) にすることとした。そのサイズの新しいスリットも発注・製作し, 装置内部へのインストール作業も終了した。このコンフィグレーションでのスループットを導出するための測定も行った。1.5 秒角スリットの効率が予想よりも低く, この原因について現在解明中である。(チリへの輸送までには解決・修繕を行う予定である。)

TAO 望遠鏡に搭載するには専用のナスミスインターフェースが必要である。今後 NICE 以外の観測装置の搭載も鑑み, 汎用型望遠鏡インターフェースを設計・製作した。これは SWIMS や MIMIZUKU の望遠鏡ナスミス焦点への搭載時に使用する装置回転台車, 装置取付台車なども共用できる構造となっている。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い, 問題なく使用できることを確認した。

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。電装系のその一つであり, 安定した運用, 機器の安全性を担保するためにケーブルの刷新を行なった。基本

的にはこれまでと同様の仕様だが、一部電源系などは安全性を高める形状とした。更新後の試験では、問題なく動作していることを確認した。

4. NICE を用いたサイエンス検討 (高橋, 浅野, 吉井, 土居, 河野, 宮田, 峰崎, 酒向, 甘日出, 小西, 江草, 上塚, 鮫島, 加藤; 本原 (国立天文台))

先に募った観測提案では、太陽系天体から恒星、銀河、宇宙論に関する幅広いテーマで 10 数件の提案があった。今後 TAO の観測運用に合わせ、プロジェクトとして効率的且つ最大限のサイエンスアウトプットを目指し、さらなる詳細検討を行う。また装置の最新の性能・仕様のまとめ、実際の観測時間などを評価するためのツール (Exposure Time Calculator : ETC) やデータ解析のためのパイプラインの作成など、実観測を視野にいたれた開発も進めている。

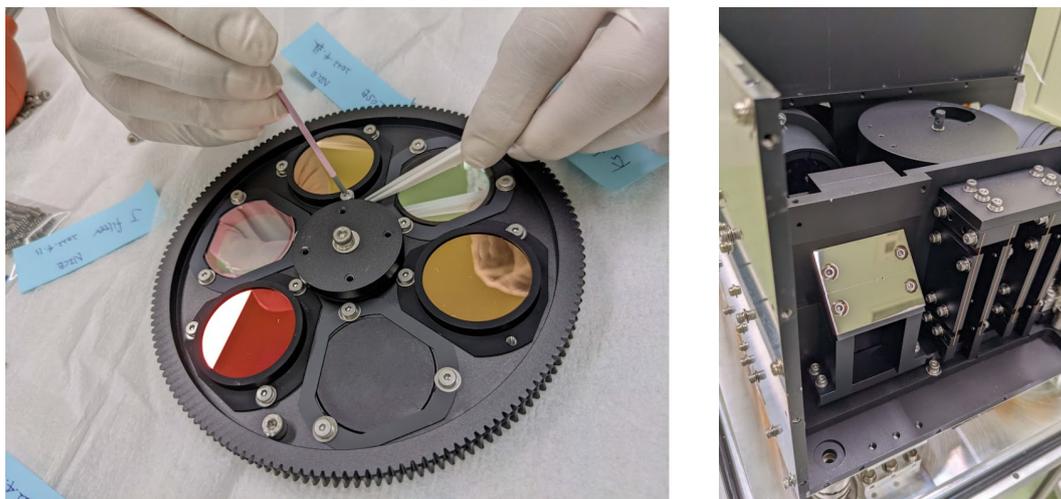


図 2.1: 新しくインストールされたフィルター (左) と新規製作したスリット (右) .

2.5.5.5 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 カメラシステムの開発と InGaAs 検出器の性能評価 (穂満, 土居; 本原, 鎌田, 中屋 (国立天文台); Vanzi (PUC))

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、0.843–1.117 μm 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ワーシステムの開発を進めている。

2022 年度は InGaAs 検出器を 120K まで冷却した性能評価を行い、以下のような結果が得られた。これらは Teledyne 社の HAWAII-2RG に劣らない性能であり、この検出器が天文観測の要求に十分に耐えうるものであることが示された。



図 2.2: 刷新されたケーブルを纏った NICE 本体 (左) と汎用型インターフェイスとともに望遠鏡シミュレータに取り付けられた NICE (右) .

暗電流	$1.5 \times 10^{-2} [e^-/s]$
読み出しノイズ (CDS)	$9.2 [e^- \text{ rms}]$
ウェル深さ	$2.3 \times 10^5 [e^-]$
5%非線形性	$< 1.5 \times 10^5 [e^-]$
パーシステンス割合	0.6%
パーシステンス減衰時定数	$\sim 180 [s]$
量子効率	$\sim 80\%$

2.6 論文及び出版物

2.6.1 英文報告

• Main journal

1. Aihara, H., AlSayyad, Y., Ando, M., Armstrong, R., Bosch, J., Egami, E., Furusawa, H., Furusawa, J., Harasawa, S., Harikane, Y., Hsieh, B.-C., Ikeda, H., Ito, K., Iwata, I., Kodama, T., Koike, M., Kokubo, M., Komiyama, Y., Li, X., Liang, Y., Lin, Y.-T., Lupton, R. H., Lust, N. B., MacArthur, L. A., Mawatari, K., Mineo, S., Miyatake, H., Miyazaki, S., More, S., Morishima, T., Murayama, H., Nakajima, K., Nakata, F., Nishizawa, A. J., Oguri, M., Okabe, N., Okura, Y., Ono, Y., Osato, K., Ouchi, M., Pan, Y.-C., Plazas Malagón, A. A., Price, P. A., Reed, S. L., Rykoff, E. S., Shibuya, T., Simunovic, M., Strauss, M. A., Sugimori, K., Suto, Y., Suzuki, N., Takada, M., Takagi, Y., Takata, T., Takita, S., Tanaka, M., Tang, S., Taranu, D. S., Terai, T., Toba, Y., Turner, E. L., Uchiyama, H., Vijarnwannaluk, B., Waters, C. Z., Yamada, Y., Yamamoto, N., and Yamashita, T., “Third data release of the Hyper Suprime-Cam Subaru Strategic Program”, 2022, PASJ 74, 247
2. Aizawa, M., Kawana, K., Kashiyama, K., Ohsawa, R., Kawahara, H., Naokawa, F., Tajiri, T., Arima, N., Jiang, H., Hartwig, T., Fujisawa, K., Shigeyama, T., Arimatsu, K., Doi, M., Kasuga, T., Kobayashi, N., Kondo, S., Mori, Y., Okumura, S.-. ichiro ., Takita, S., and Sako, S., “Fast optical flares from M dwarfs detected by a one-second-cadence survey with Tomo-e Gozen”, 2022, PASJ 74, 1069
3. Arimatsu, K. and Kamizuka, T., “Faint Debris Disk Peering through the Superflare Light Echo”, 2022, ApJL 933, L25
4. Behrens, E., Mangum, J. G., Holdship, J., Viti, S., Harada, N., Martín, S., Sakamoto, K., Muller, S., Tanaka, K., Nakanishi, K., Herrero-Illana, R., Yoshimura, Y., Aladro, R., Colzi, L., Emig, K. L., Henkel, C., Huang, K.-Y., Humire, P. K., Meier, D. S., Rivilla, V. M., van der Werf, P. P., and Alma Comprehensive High-Resolution Extragalactic Molecular Inventory (Alchemi) Collaboration, “Tracing Interstellar Heating: An ALCHEMI Measurement of the HCN Isomers in NGC 253”, 2022, ApJ 939, 119
5. Beniyama, J., Sako, S., Ohsawa, R., Takita, S., Kobayashi, N., Okumura, S.-. ichiro ., Urakawa, S., Yoshikawa, M., Usui, F., Yoshida, F., Doi, M., Niino, Y., Shigeyama, T., Tanaka, M., Tominaga, N., Aoki, T., Arima, N., Arimatsu, K., Kasuga, T., Kondo, S., Mori, Y., Takahashi, H., and Watanabe, J.-. ichi ., “Video observations of tiny near-Earth objects with Tomo-e Gozen”, 2022, PASJ 74, 877
6. 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
7. Berné, O., Habart, É., Peeters, E., Abergel, A., Bergin, E. A., Bernard-Salas, J., Bron, E., Cami, J., Dartois, E., Fuente, A., Goicoechea, J. R., Gordon, K. D., Okada, Y., Onaka, T., Robberto, M., Röllig, M., Tielens, A. G. G. M., Vicente, S., Wolfire, M. G., Alarcón, F., Boersma, C., Canin, A., Chown, R., Dicken, D., Languignon, D., Le Gal, R., Pound, M. W., Trahin, B., Simmer, T., Sidhu, A., Van De Putte, D., Cuadrado, S., Guilloteau, C., Maragkoudakis, A., Schefter, B. R., Schirmer, T., Cazaux, S., Aleman, I., Allamandola, L., Auchettl, R., Baratta, G. A., Bejaoui, S., Bera, P. P., Bilalbegović, G., Black, J. H., Boulanger, F., Bouwman, J., Brandl, B., Brechignac, P., Brünken, S., Burkhardt, A., Candian, A., Cernicharo, J., Chabot, M., Chakraborty, S., Champion, J., Colgan, S. W. J., Cooke,

- I. R., Coutens, A., Cox, N. L. J., Demyk, K., Donovan Meyer, J., Engrand, C., Foschino, S., García-Lario, P., Gavilan, L., Gerin, M., Godard, M., Gottlieb, C. A., Guillard, P., Gusdorf, A., Hartigan, P., He, J., Herbst, E., Hornekaer, L., Jäger, C., Janot-Pacheco, E., Joblin, C., Kaufman, M., Kemper, F., Kendrew, S., Kirsanova, M. S., Klaassen, P., Knight, C., Kwok, S., Labiano, Á., Lai, T. S.-Y., Lee, T. J., Lefloch, B., Le Petit, F., Li, A., Linz, H., Mackie, C. J., Madden, S. C., Mascetti, J., McGuire, B. A., Merino, P., Micelotta, E. R., Misselt, K., Morse, J. A., Mulas, G., Neelamkodan, N., Ohsawa, R., Omont, A., Paladini, R., Palumbo, M. E., Pathak, A., Pendleton, Y. J., Petrignani, A., Pino, T., Puga, E., Rangwala, N., Rapacioli, M., Ricca, A., Roman-Duval, J., Roser, J., Roueff, E., Rouillé, G., Salama, F., Sales, D. A., Sandstrom, K., Sarre, P., Sciamma-O'Brien, E., Sellgren, K., Shannon, M. J., Shenoy, S. S., Teyssier, D., Thomas, R. D., Togi, A., Verstraete, L., Witt, A. N., Wootten, A., Ysard, N., Zettergren, H., Zhang, Y., Zhang, Z. E., and Zhen, J., “PDRs4All: A JWST Early Release Science Program on Radiative Feedback from Massive Stars”, 2022, *PASP* 134, 054301
8. Bouy, H., Tamura, M., Barrado, D., Motohara, K., Castro Rodríguez, N., Miret-Roig, N., Konishi, M., Koyama, S., Takahashi, H., Huélamo, N., Bertin, E., Olivares, J., Sarro, L. M., Berihuete, A., Cuillandre, J.-C., Galli, P. A. B., Yoshii, Y., & Miyata, T., “Infrared spectroscopy of free-floating planet candidates in Upper Scorpius and Ophiuchus”, 2022, *A&A* 664, A111.
9. Burgarella, D., Bogdanoska, J., Nanni, A., Bardelli, S., Béthermin, M., Boquien, M., Buat, V., Faisst, A. L., Dessauges-Zavadsky, M., Fudamoto, Y., Fujimoto, S., Giavalisco, M., Ginolfi, M., Gruppioni, C., Hathi, N. P., Ibar, E., Jones, G. C., Koekemoer, A. M., Kohno, K., Lemaux, B. C., Narayanan, D., Oesch, P., Ouchi, M., Riechers, D. A., Pozzi, F., Romano, M., Schaerer, D., Talia, M., Theulé, P., Vergani, D., Zamorani, G., Zucca, E., Cassata, P., and ALPINE Team, “The ALMA-ALPINE [CII] survey. The star formation history and the dust emission of star-forming galaxies at $4.5 < z < 6.2$ ”, 2022, *A&A* 664, A73
10. Chen, C.-C., Liao, C.-L., Smail, I., Swinbank, A. M., Ao, Y., Bunker, A. J., Chapman, S. C., Hatsukade, B., Ivison, R. J., Lee, M. M., Serjeant, S., Umehata, H., Wang, W.-H., and Zhao, Y., “An ALMA Spectroscopic Survey of the Brightest Submillimeter Galaxies in the SCUBA-2-COSMOS Field (AS2COSPEC): Survey Description and First Results”, 2022, *ApJ* 929, 159
11. Egusa, F., Gao, Y., Morokuma-Matsui, K., Liu, G., and Maeda, F., “CO Excitation and its Connection to Star Formation at 200 pc in NGC 1365”, 2022, *ApJ* 935, 64
12. Fujita, S., Ito, A. M., Miyamoto, Y., Kawanishi, Y., Torii, K., Shimajiri, Y., Nishimura, A., Tokuda, K., Ohnishi, T., Kaneko, H., Inoue, T., Takekawa, S., Kohno, M., Ueda, S., Nishimoto, S., Yoneda, R., Nishikawa, K., and Yoshida, D., “Distance determination of molecular clouds in the first quadrant of the Galactic plane using deep learning: I. Method and results”, 2023, *PASJ* 75, 279
13. Gao, Y., Gu, Q., Shi, Y., Zhou, L., Bao, M., Yu, X., Zhang, Z.-Y., Wang, T., Madden, S. C., Hayes, M., Lu, S., and Xu, K., “The molecular gas resolved by ALMA in the low-metallicity merging dwarf galaxy Haro 11”, 2022, *A&A* 661, A136
14. Geem, J., Ishiguro, M., Takahashi, J., Akitaya, H., Kawabata, K. S., Nakaoka, T., Imazawa, R., Mori, F., Jin, S., Bach, Y. P., Jo, H., Kuroda, D., Hasegawa, S., Yoshida, F., Ishibashi, K., Sekiguchi, T., Beniyama, J., Arai, T., Ikeda, Y., Shinnaka, Y., Granvik, M., Siltala, L., Djupvik, A. A., Kasikov, A., Pinter, V., and Knudstrup, E., “(3200) Phaethon polarimetry in the negative branch: new evidence for the anhydrous nature of the DESTINY⁺ target asteroid”, 2022, *MNRAS* 516, L53

15. 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
16. Hamano, S., Kobayashi, N., Kawakita, H., Takenaka, K., Ikeda, Y., Matsunaga, N., Kondo, S., Sameshima, H., Fukue, K., Otsubo, S., Arai, A., Yasui, C., Kobayashi, H., Bono, G., and Saviane, I., “Survey of Near-infrared Diffuse Interstellar Bands in Y and J Bands. I. Newly Identified Bands”, 2022, ApJS 262, 2
17. Harada, N., Martín, S., Mangum, J. G., Sakamoto, K., Muller, S., Rivilla, V. M., Henkel, C., Meier, D. S., Colzi, L., Yamagishi, M., Tanaka, K., Nakanishi, K., Herrero-Illana, R., Yoshimura, Y., Humire, P. K., Aladro, R., van der Werf, P. P., and Emig, K. L., “ALCHEMI Finds a “Shocking” Carbon Footprint in the Starburst Galaxy NGC 253”, 2022, ApJ 938, 80
18. Hasegawa, S., DeMeo, F. E., Marsset, M., Hanuš, J., Avdellidou, C., Delbo, M., Bus, S. J., Hanayama, H., Horiuchi, T., Takir, D., Jehin, E., Ferrais, M., Geem, J., Im, M., Seo, J., Bach, Y. P., Jin, S., Ishiguro, M., Kuroda, D., Binzel, R. P., Nakamura, A. M., Yang, B., and Vernazza, P., “Spectral Evolution of Dark Asteroid Surfaces Induced by Space Weathering over a Decade”, 2022, ApJL 939, L9
19. Hatsukade, B., Hashimoto, T., Niino, Y., and Hsu, T.-Y., “Diverse Properties of Molecular Gas in the Host Galaxies of Fast Radio Bursts”, 2022, ApJL 940, L34
20. Heintz, K. E., Giménez-Arteaga, C., Fujimoto, S., Brammer, G., Espada, D., Gillman, S., González-López, J., Greve, T. R., Harikane, Y., Hatsukade, B., Knudsen, K. K., Koekemoer, A. M., Kohno, K., Kokorev, V., Lee, M. M., Magdis, G. E., Nelson, E. J., Rizzo, F., Sanders, R. L., Schaerer, D., Shapley, A. E., Strait, V. B., Toft, S., Valentino, F., Wel, A. van der., Vijayan, A. P., Watson, D., Bauer, F. E., Christiansen, C. R., and Wilson, S. N., “The Gas and Stellar Content of a Metal-poor Galaxy at $z = 8.496$ as Revealed by JWST and ALMA”, 2023, ApJL 944, L30
21. Holdship, J., Mangum, J. G., Viti, S., Behrens, E., Harada, N., Martín, S., Sakamoto, K., Muller, S., Tanaka, K., Nakanishi, K., Herrero-Illana, R., Yoshimura, Y., Aladro, R., Colzi, L., Emig, K. L., Henkel, C., Nishimura, Y., Rivilla, V. M., van der Werf, P. P., and Alma Comprehensive High-Resolution Extragalactic Molecular Inventory (Alchemi) Collaboration, “Energizing Star Formation: The Cosmic-Ray Ionization Rate in NGC 253 Derived from ALCHEMI Measurements of H_3O^+ and SO”, 2022, ApJ 931, 89
22. Horiuchi, T., Hanayama, H., Ohishi, M., Nakaoka, T., Imazawa, R., Kawabata, Koji S., Takahashi, J., Onozato, H., Saito, T., Yamanaka, M., Nogami, D., Tambo, Y., Kojiguchi, N., Ito, J., Shibata, M., Schramm, M., Oasa, Y., Kanai, T., Oide, K., Murata, Katsuhiko L., Hosokawa, R., Takamatsu, Y., Imai, Y., Ito, N., Niwano, M., Takagi, S., Ono, T., Kouprianov, Vladimir V., “Multicolor and multi-spot observations of Starlink’s Visorsat”, 2023, PASJ 75, 584

23. Hsu, T.-Y., Hashimoto, T., Hatsukade, B., Goto, T., Wang, P.-Y., Ling, C.-T., Ho, S. C.-C., and Uno, Y., “The molecular gas kinematics in the host galaxy of non-repeating FRB 180924B”, 2023, MNRAS 519, 2030
24. Huang, K.-Y., Viti, S., Holdship, J., García-Burillo, S., Kohno, K., Taniguchi, A., Martn, S., Aladro, R., Fuente, A., and Sánchez-García, M., “The chemical footprint of AGN feedback in the outflowing circumnuclear disk of NGC 1068”, 2022, A&A 666, A102
25. Humire, P. K., Henkel, C., Hernández-Gómez, A., Martín, S., Mangum, J., Harada, N., Muller, S., Sakamoto, K., Tanaka, K., Yoshimura, Y., Nakanishi, K., Mühle, S., Herrero-Illana, R., Meier, D. S., Caux, E., Aladro, R., Mauersberger, R., Viti, S., Colzi, L., Rivilla, V. M., Gorski, M., Menten, K. M., Huang, K.-Y., Aalto, S., van der Werf, P. P., and Emig, K. L., “Methanol masers in NGC 253 with ALCHEMI”, 2022, A&A 663, A33
26. Ikeda, R., Tadaki, K., Ichi, ., Iono, D., Kodama, T., Chan, J. C. C., Hatsukade, B., Hayashi, M., Izumi, T., Kohno, K., Koyama, Y., Shimakawa, R., Suzuki, T. L., Tamura, Y., and Tanaka, I., “High-resolution ALMA Study of CO J = 2-1 Line and Dust Continuum Emissions in Cluster Galaxies at $z = 1.46$ ”, 2022, ApJ 933, 11
27. Ita, Y., Ichikawa, T., Tsutsui, H., Hanaue, T., Komiyama, T., Onozato, H., Iwamatsu, A., Morita, R., Habasaki, Y., Amemiya, R., Hanawa, M., Yanagisawa, K., Izumiura, H., and Nakada, Y., “The Thirty Millimeter Telescope”, 2022, PASJ 74, 578
28. Izumi, N., Kobayashi, N., Yasui, C., Saito, M., Hamano, S., and Koch, P. M., “Star Formation Activity beyond the Outer Arm. II. Distribution and Properties of Star Formation”, 2022, ApJ 936, 181
29. Jiang, J.-an ., Yasuda, N., Maeda, K., Tominaga, N., Doi, M., Ivezić, Ž., Yoachim, P., Uno, K., Moriya, T. J., Kumar, B., Pan, Y.-C., Tanaka, M., Tanaka, M., Nomoto, K., Jha, S. W., Ruiz-Lapuente, P., Jones, D., Shigeyama, T., Suzuki, N., Kokubo, M., Furusawa, H., Miyazaki, S., Connolly, A. J., Sahu, D. K., and Anupama, G. C., “MUSSES2020J: The Earliest Discovery of a Fast Blue Ultraluminous Transient at Redshift 1.063”, 2022, ApJL 933, L36
30. Kameno, S., Sawada-Satoh, S., Impellizzeri, C. M. V., Kohno, K., Martín, S., Espada, D., Nakai, N., Sugai, H., Terashima, Y., Lee, M. M., and Kawakatu, N., “Probing the Jet-Torus Interaction in the Radio Galaxy NGC 1052 by Sulfur-bearing Molecules”, 2023, ApJ 944, 156
31. Kasagi, Y., Kotani, T., Kawahara, H., Tajiri, T., Muto, T., Aizawa, M., Fujii, M. S., Hattori, K., Masuda, K., Momose, M., Ohsawa, R., and Takita, S., “Dippers from TESS Full-frame Images. II. Spectroscopic Characterization of Four Young Dippers”, 2022, ApJS 259, 40
32. Kawana, Y., Saito, T., Okumura, S. K., Kawabe, R., Espada, D., Iono, D., Kaneko, H., Lee, M. M., Michiyama, T., Motohara, K., Nakanishi, K., Pettitt, A. R., Randriamanakoto, Z., Ueda, J., and Yamashita, T., “Multiwavelength and Multi-CO View of the Minor Merger Driven Star Formation in the Nearby LIRG NGC 3110”, 2022, ApJ 929, 100
33. 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

34. Koda, J., Watson, L., Combes, F., Rubio, M., Boissier, S., Yagi, M., Thilker, D., Lee, A. M., Komiyama, Y., Morokuma-Matsui, K., and Verdugo, C., “First Detection of the Molecular Cloud Population in the Extended Ultraviolet Disk of M83”, 2022, *ApJ* 941, 3
35. 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., Martin, S., Muraoka, K., Nakanishi, K., Onodera, S., Pineda, J. L., Scoville, N., & Watanabe, Y., “Diverse Molecular Structures Across The Whole Star-Forming Disk of M83: High fidelity Imaging at 40pc Resolution”, 2023, *ApJ* 949, 108
36. Kokorev, V., Brammer, G., Fujimoto, S., Kohno, K., Magdis, G. E., Valentino, F., Toft, S., Oesch, P., Davidzon, I., Bauer, F. E., Coe, D., Egami, E., Oguri, M., Ouchi, M., Postman, M., Richard, J., Jolly, J.-B., Knudsen, K. K., Sun, F., Weaver, J. R., Ao, Y., Baker, A. J., Bradley, L., Caputi, K. I., Dessauges-Zavadsky, M., Espada, D., Hatsukade, B., Koekemoer, A. M., Muñoz Arancibia, A. M., Shimasaku, K., Umehata, H., Wang, T., and Wang, W.-H., “ALMA Lensing Cluster Survey: Hubble Space Telescope and Spitzer Photometry of 33 Lensed Fields Built with CHARGE”, 2022, *ApJS* 263, 38
37. Kokorev, V., Jin, S., Magdis, G. E., Caputi, K. I., Valentino, F., Dayal, P., Trebitsch, M., Brammer, G., Fujimoto, S., Bauer, F., Iani, E., Kohno, K., Blázquez Sesé, D., Gómez-Guijarro, C., Rinaldi, P., and Navarro-Carrera, R., “JWST Insight into a Lensed HST-dark Galaxy and Its Quiescent Companion at $z = 2.58$ ”, 2023, *ApJL* 945, L25
38. Kubo, M., Umehata, H., Matsuda, Y., Kajisawa, M., Steidel, C. C., Yamada, T., Tanaka, I., Hatsukade, B., Tamura, Y., Nakanishi, K., Kohno, K., Lee, K., Matsuda, K., Ao, Y., Nagao, T., and Yun, M. S., “An AGN with an Ionized Gas Outflow in a Massive Quiescent Galaxy in a Protocluster at $z = 3.09$ ”, 2022, *ApJ* 935, 89
39. Lee, K., Kohno, K., Hatsukade, B., Egusa, F., Yamashita, T., Schramm, M., Ichikawa, K., Imanishi, M., Izumi, T., Nagao, T., Toba, Y., and Umehata, H., “Massive Molecular Gas Companions Uncovered by Very Large Array CO(1-0) Observations of the $z = 5.2$ Radio Galaxy TN J0924-2201”, 2023, *ApJ* 944, 35
40. Li, X., Miyatake, H., Luo, W., More, S., Oguri, M., Hamana, T., Mandelbaum, R., Shirasaki, M., Takada, M., Armstrong, R., Kannawadi, A., Takita, S., Miyazaki, S., Nishizawa, A. J., Plazas Malagon, A. A., Strauss, M. A., Tanaka, M., and Yoshida, N., “The three-year shear catalog of the Subaru Hyper Suprime-Cam SSP Survey”, 2022, *PASJ* 74, 421
41. Maeda, F., Egusa, F., Ohta, K., Fujimoto, Y., and Habe, A., “Statistical Study of the Star Formation Efficiency in Bars: Is Star Formation Suppressed in Gas-rich Bars?”, 2023, *ApJ* 943, 7
42. Matsumoto, A., Ouchi, M., Nakajima, K., Kawasaki, M., Murai, K., Motohara, K., Harikane, Y., Ono, Y., Kushibiki, K., Koyama, S., Aoyama, S., Konishi, M., Takahashi, H., Isobe, Y., Umeda, H., Sugahara, Y., Onodera, M., Nagamine, K., Kusakabe, H., Hirai, Y., Moriya, T. J., Shibuya, T., Komiyama, Y., Fukushima, K., Fujimoto, S., Hattori, T., Hayashi, K., Inoue, A. K., Kikuchihara, S., Kojima, T., Koyama, Y., Lee, C.-H., Mawatari, K., Miyata, T., Nagao, T., Ozaki, S., Rauch, M., Saito, T., Suzuki, A., Takeuchi, T. T., Umemura, M., Xu, Y., Yabe, K., Zhang, Y., and Yoshii, Y., “EMPRESS. VIII. A New Determination of Primordial He Abundance with Extremely Metal-poor

- Galaxies: A Suggestion of the Lepton Asymmetry and Implications for the Hubble Tension”, 2022, ApJ 941, 167
43. Mizukoshi, S., Minezaki, T., Tsunetsugu, S., Yoshida, A., Sameshima, H., Kokubo, M., and Noda, H., “Measurement of AGN dust extinction based on the near-infrared flux variability of WISE data”, 2022, MNRAS 516, 2876
44. Morokuma-Matsui, K., Bekki, K., Wang, J., Serra, P., Koyama, Y., Morokuma, T., Egusa, F., For, B.-Q., Nakanishi, K., Koribalski, B. S., Okamoto, T., Kodama, T., Lee, B., Maccagni, F. M., Miura, R. E., Espada, D., Takeuchi, T. T., Yang, D., Lee, M. M., Ueda, M., and Matsushita, K., “CO(J = 1-0) Mapping Survey of 64 Galaxies in the Fornax Cluster with the ALMA Morita Array”, 2022, ApJS 263, 40
45. Mou, G., Sun, D., Fang, T., Wang, W., Zhang, R., Yuan, F., Sofue, Y., Wang, T., and He, Z., “Asymmetric eROSITA bubbles as the evidence of a circumgalactic medium wind”, 2023, NatCo 14, 781
46. Niino, Y., Doi, M., Sako, S., Ohsawa, R., Arima, N., Jiang, J.-an ., Tominaga, N., Tanaka, M., Li, D., Niu, C.-H., Tsai, C.-W., Kobayashi, N., Takahashi, H., Kondo, S., Mori, Y., Aoki, T., Arimatsu, K., Kasuga, T., and Okumura, S.-. ichiro ., “Deep Simultaneous Limits on Optical Emission from FRB 20190520B by 24.4 fps Observations with Tomo-e Gozen”, 2022, ApJ 931, 109
47. Nishino, Y., Kimura, M., Sako, S., Beniyama, J., Enoto, T., Minezaki, T., Nakaniwa, N., Ohsawa, R., Takita, S., Yamada, S., and Gendreau, K. C., “Detection of highly correlated optical and X-ray variations in SS Cygni with Tomo-e Gozen and NICER”, 2022, PASJ 74, L17
48. Nishiyama, G., Namiki, N., Sugita, S., and Uno, S., “Utilization of a meteorological satellite as a space telescope: the lunar mid-infrared spectrum as seen by Himawari-8”, 2022, EP&S 74, 105
49. Niu, C.-H., Aggarwal, K., Li, D., Zhang, X., Chatterjee, S., Tsai, C.-W., Yu, W., Law, C. J., Burke-Spolaor, S., Cordes, J. M., Zhang, Y.-K., Ocker, S. K., Yao, J.-M., Wang, P., Feng, Y., Niino, Y., Bochenek, C., Cruces, M., Connor, L., Jiang, J.-A., Dai, S., Luo, R., Li, G.-D., Miao, C.-C., Niu, J.-R., Anna-Thomas, R., Sydnor, J., Stern, D., Wang, W.-Y., Yuan, M., Yue, Y.-L., Zhou, D.-J., Yan, Z., Zhu, W.-W., and Zhang, B., “A repeating fast radio burst associated with a persistent radio source”, 2022, Natur 606, 873
50. Niu, C.-H., Aggarwal, K., Li, D., Zhang, X., Chatterjee, S., Tsai, C.-W., Yu, W., Law, C. J., Burke-Spolaor, S., Cordes, J. M., Zhang, Y.-K., Ocker, S. K., Yao, J.-M., Wang, P., Feng, Y., Niino, Y., Bochenek, C., Cruces, M., Connor, L., Jiang, J.-A., Dai, S., Luo, R., Li, G.-D., Miao, C.-C., Niu, J.-R., Anna-Thomas, R., Sydnor, J., Stern, D., Wang, W.-Y., Yuan, M., Yue, Y.-L., Zhou, D.-J., Yan, Z., Zhu, W.-W., and Zhang, B., “Publisher Correction: A repeating fast radio burst associated with a persistent radio source”, 2022, Natur 611, E10
51. Noda, H., Mineta, T., Minezaki, T., Sameshima, H., Kokubo, M., Kawamuro, T., Yamada, S., Horiuchi, T., Matsumoto, H., Watanabe, M., Morihana, K., Itoh, Y., Kawabata, K. S., and Fukazawa, Y., “Narrow Fe-K α Reverberation Mapping Unveils the Deactivated Broad-line Region in a Changing-look Active Galactic Nucleus”, 2023, ApJ 943, 63
52. Ono, Y., Fujimoto, S., Harikane, Y., Ouchi, M., Vallini, L., Ferrara, A., Shibuya, T., Pallottini, A., Inoue, A. K., Imanishi, M., Shimasaku, K., Hashimoto, T., Lee, C.-H., Sugahara, Y., Tamura, Y.,

- Kohno, K., and Schramm, M., “ALMA Observations of CO Emission from Luminous Lyman-break Galaxies at $z = 6.0293$ - 6.2037 ”, 2022, *ApJ* 941, 74
53. Ren, Y. W., Fudamoto, Y., Inoue, A. K., Sugahara, Y., Tokuoka, T., Tamura, Y., Matsuo, H., Kohno, K., Umehata, H., Hashimoto, T., Bouwens, R. J., Smit, R., Kashikawa, N., Okamoto, T., Shibuya, T., and Shimizu, I., “Updated Measurements of [O III] $88 \mu\text{m}$, [C II] $158 \mu\text{m}$, and Dust Continuum Emission from a $z = 7.2$ Galaxy”, 2023, *ApJ* 945, 69
54. Rybak, M., Bakx, T., Baselmans, J., Karatsu, K., Kohno, K., Takekoshi, T., Tamura, Y., Taniguchi, A., van der Werf, P., and Endo, A., “Deshima 2.0: Rapid Redshift Surveys and Multi-line Spectroscopy of Dusty Galaxies”, 2022, *JLTP* 209, 766
55. Saito, T., Takano, S., Harada, N., Nakajima, T., Schinnerer, E., Liu, D., Taniguchi, A., Izumi, T., Watanabe, Y., Bamba, K., Kohno, K., Nishimura, Y., Stuber, S., and Tosaki, T., “AGN-driven Cold Gas Outflow of NGC 1068 Characterized by Dissociation-sensitive Molecules”, 2022, *ApJ* 935, 155
56. Sato, M. T., Aalto, S., Kohno, K., König, S., Harada, N., Viti, S., Izumi, T., Nishimura, Y., and Gorski, M., “APEX and NOEMA observations of H_2S in nearby luminous galaxies and the ULIRG Mrk 231. A possible relation between dense gas properties and molecular outflows”, 2022, *A&A* 660, A82
57. Sofue, Y., “Three-dimensional structure of the central molecular zone”, 2022, *MNRAS* 516, 907
58. Sofue, Y., “Molecular fraction in the Galactic Centre: The Central Molecular and H I Zones”, 2022, *MNRAS* 516, 3911
59. Sofue, Y., “One-kiloparsec expanding cylinder of H I gas around the Galactic Center”, 2022, *PASJ* 74, L23
60. Sofue, Y., “Supernova-remnant origin of the Galactic-Centre filaments”, 2023, *MNRAS* 518, 6273
61. Sui, L., Wang, S., Ganguly, D., El Rayes, T. P., Askeland, C., Børretzen, A., Sim, D., Halvorsen, O. J., Knutsvik, G., Arnes, J., Aziz, S., Haukaas, S., Foulkes, W. D., Bielenberg, D. R., Ziemys, A., Mittal, V., Brekken, R. A., Akslen, L. A., and Watnick, R. S., “PRSS2 remodels the tumor microenvironment via repression of Tsp1 to stimulate tumor growth and progression”, 2022, *NatCo* 13, 7959
62. Sun, F., Egami, E., Fujimoto, S., Rawle, T., Bauer, F. E., Kohno, K., Smail, I., Pérez-González, P. G., Ao, Y., Chapman, S. C., Combes, F., Dessauges-Zavadsky, M., Espada, D., González-López, J., Koekemoer, A. M., Kokorev, V., Lee, M. M., Morokuma-Matsui, K., Muñoz Arancibia, A. M., Oguri, M., Pelló, R., Ueda, Y., Uematsu, R., Valentino, F., Van der Werf, P., Walth, G. L., Zemcov, M., and Zitrin, A., “ALMA Lensing Cluster Survey: ALMA-Herschel Joint Study of Lensed Dusty Star-forming Galaxies across $z \simeq 0.5 - 6$ ”, 2022, *ApJ* 932, 77
63. 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
64. Tadaki, K., Tsujita, A., Tamura, Y., Kohno, K., Hatsukade, B., Iono, D., Lee, M. M., Matsuda, Y., Michiyama, T., Nagao, T., Nakanishi, K., Nishimura, Y., Saito, T., Umehata, H., and Zavala, J., “Detection of nitrogen and oxygen in a galaxy at the end of reionization”, 2022, *PASJ* 74, L9

65. Takahashi, I., Hamasaki, R., Ueda, N., Tanaka, M., Tominaga, N., Sako, S., Ohsawa, R., and Yoshida, N., “Deep-learning real/bogus classification for the Tomo-e Gozen transient survey”, 2022, PASJ 74, 946
66. Takekoshi, T., Lee, K., Chin, K. W., Uno, S., Naganuma, T., Inoue, S., Niwa, Y., Fujita, K., Kouchi, A., Nakatsubo, S., Mima, S., and Oshima, T., “Material Properties of a Low Contraction and Resistivity Silicon–Aluminum Composite for Cryogenic Detectors”, 2022, JLTP 209, 1143
67. Tampo, Y., Nogami, D., Kato, T., Ayani, K., Naito, H., Narita, N., Fujii, M., Hashimoto, O., Kinugasa, K., Honda, S., Takahashi, H., Narusawa, S., Sakamoto, M., and Imada, A., “Spectroscopic observations of V455 Andromedae superoutburst in 2007: The most exotic spectral features in dwarf nova outbursts”, 2022, PASJ 74, 460
68. Taniguchi, A., Bakx, T. J. L. C., Baselmans, J. J. A., Huiting, R., Karatsu, K., Llombart, N., Rybak, M., Takekoshi, T., Tamura, Y., Akamatsu, H., Brackenhoff, S., Bueno, J., Buijtenorp, B. T., Dabironezare, S. O., Doing, A.-K., Fujii, Y., Fujita, K., Gouwerok, M., Hähnle, S., Ishida, T., Ishii, S., Kawabe, R., Kitayama, T., Kohno, K., Kouchi, A., Maekawa, J., Matsuda, K., Murugesan, V., Nakatsubo, S., Oshima, T., Pascual Laguna, A., Thoen, D. J., van der Werf, P. P., Yates, S. J. C., and Endo, A., “DESHIMA 2.0: Development of an Integrated Superconducting Spectrometer for Science-Grade Astronomical Observations”, 2022, JLTP 209, 278
69. Taniguchi, D., Matsunaga, N., Jian, M., Kobayashi, N., Fukue, K., Hamano, S., Ikeda, Y., Kawakita, H., Kondo, S., Otsubo, S., Sameshima, H., Takenaka, K., and Yasui, C., “Erratum: Effective temperatures of red supergiants estimated from line-depth ratios of iron lines in the YJ bands, $0.97\text{--}1.32\ \mu\text{m}$ ”, 2022, MNRAS 512, 2669
70. Terao, Y., Spitler, L. R., Motohara, K., and Chen, N., “A Selection of H α Emitters at $z = 2.1\text{--}2.5$ Using the K $_s$ -band Photometry of ZFOURGE”, 2022, ApJ 941, 70
71. Toba, Y., Yamada, S., Matsubayashi, K., Terao, K., Moriya, A., Ueda, Y., Ohta, K., Hashiguchi, A., Himoto, K. G., Izumiura, H., Joh, K., Kato, N., Koyama, S., Maehara, H., Misato, R., Noboriguchi, A., Ogawa, S., Ota, N., Shibata, M., Tamada, N., Yanagawa, A., Yonekura, N., Nagao, T., Akiyama, M., Kajisawa, M., and Matsuoka, Y., “Optical IFU observations of GOALS sample with KOOLS-IFU on Seimei Telescope: Initial results of nine U/LIRGs at $z < 0.04$ ”, 2022, PASJ 74, 1356
72. Tsujita, A., Tadaki, K., Kohno, K., Hatsukade, B., Egusa, F., Tamura, Y., Nishimura, Y., Zavala, J., Saito, T., Umehata, H., and Lee, M. M., “Central concentration of warm and dense molecular gas in a strongly lensed submillimeter galaxy at $z = 6$ ”, 2022, PASJ 74, 1429
73. Uematsu, R., Ueda, Y., Kohno, K., Yamada, S., Toba, Y., Fujimoto, S., Hatsukade, B., Umehata, H., Espada, D., Sun, F., Magdis, G. E., Kokorev, V., and Ao, Y., “ALMA Lensing Cluster Survey: Properties of Millimeter Galaxies Hosting X-Ray-detected Active Galactic Nuclei”, 2023, ApJ 945, 121
74. Uno, K., Maeda, K., Nagao, T., Nakaoka, T., Motohara, K., Tajitsu, A., Konishi, M., Koyama, S., Takahashi, H., Tanaka, M., Kuncarayakti, H., Kawabata, M., Yamanaka, M., Aoki, K., Isogai, K., Taguchi, K., Ogawa, M., Kawabata, K. S., Yoshii, Y., Miyata, T., and Imazawa, R., “SN 2020uem: a Possible Thermonuclear Explosion within a Dense Circumstellar Medium. I. The Nature of Type II n /Ia-CSM SNe from Photometry and Spectroscopy”, 2023, ApJ 944, 203

75. Urquhart, S. A., Bendo, G. J., Serjeant, S., Bakx, T., Hagimoto, M., Cox, P., Neri, R., Lehnert, M., Sedgwick, C., Weiner, C., 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., Ismail, D., Ivison, R., Jin, S., Jones, B., Kohno, K., Krips, M., Lagache, G., Marchetti, L., Massardi, M., Messias, H., Negrello, M., Omont, A., Perez-Fournon, I., Riechers, D. A., Scott, D., Smith, M. W. L., Stanley, F., Tamura, Y., Temi, P., Vlahakis, C., Weiß, A., van der Werf, P., Verma, A., Yang, C., and Young, A. J., “The bright extragalactic ALMA redshift survey (BEARS) I: redshifts of bright gravitationally lensed galaxies from the Herschel ATLAS”, 2022, MNRAS 511, 3017
 76. Xiao, M.-Y., Wang, T., Elbaz, D., Iono, D., Lu, X., Bing, L.-J., Daddi, E., Magnelli, B., Gómez-Guijarro, C., Bournaud, F., Gu, Q.-S., Jin, S., Valentino, F., Zanella, A., Gobat, R., Martin, S., Brammer, G., Kohno, K., Schreiber, C., Ciesla, L., Yu, X.-L., and Okumura, K., “Starbursts with suppressed velocity dispersion revealed in a forming cluster at $z = 2.51$ ”, 2022, A&A 664, A63
 77. Yamada, R. I., Fukui, Y., Sano, H., Tachihara, K., Bieging, J. H., Enokiya, R., Nishimura, A., Fujita, S., Kohno, M., and Tsuge, K., “Evidence for a cloud-cloud collision in Sh2-233 triggering the formation of the high-mass protostar object IRAS 05358+3543”, 2022, MNRAS 515, 1012
 78. Yamamoto, M., Kataoka, J., and Sofue, Y., “Discovery of non-equilibrium ionization plasma associated with the North Polar Spur and Loop I”, 2022, MNRAS 512, 2034
 79. Yasui, C., Kobayashi, N., Saito, M., Izumi, N., and Ikeda, Y., “Mass Function of a Young Cluster in a Low-metallicity Environment. Sh 2-209”, 2023, ApJ 943, 137
 80. Yoshii, Y., Sameshima, H., Tsujimoto, T., Shigeyama, T., Beers, T. C., and Peterson, B. A., “Potential Signature of Population III Pair-instability Supernova Ejecta in the BLR Gas of the Most Distant Quasar at $z = 7.54$ ”, 2022, ApJ 937, 61
 81. Zavala, J. A., Casey, C. M., Spilker, J., Tadaki, K.-ichi, Tsujita, A., Champagne, J., Iono, D., Kohno, K., Manning, S., and Montaña, A., “Probing Cold Gas in a Massive, Compact Star-forming Galaxy at $z = 6$ ”, 2022, ApJ 933, 242
- Proceedings
1. Kamizuka, T., Miyata, T., Sako, S., Ohsawa, R., Asano, K., Nishimura, A., Tachibana, K., Michifuji, T., Iida, H., Naruse, A. C., Uchiyama, M., Sakon, I., Onaka, T., Kataza, H., Hasegawa, S., Usui, F., Takato, N., Ebizuka, N., Hosobata, T., Aoki, T., Doi, M., Egusa, F., Hatsukade, B., Kato, N., Kohno, K., Konishi, M., Koshida, S., Koyama, S., Minezaki, T., Morokuma, T., Motohara, K., Numata, M., Sameshima, H., Takahashi, H., Tamura, Y., Tanabe, T., Tanaka, M., Kushibiki, K., Chen, N., Homan, S., and Yoshii, Y., “Development status of TAO/MIMIZUKU: performance test of the near-infrared channel”, 2022, Proceedings of the SPIE, Volume 12184, id. 121845J 13 pp.
 2. Kohno, K., Fujimoto, S., Tsujita, A., Kokorev, V., Brammer, G., Magdis, G. E., Valentino, F., Laporte, N., Sun, F., Egami, E., Bauer, F. E., Guerrero, A., Nagar, N., Caputi, K. I., Caminha, G. B., Jolly, J.-B., Knudsen, K. K., Uematsu, R., Ueda, Y., Oguri, M., Zitrin, A., Ouchi, M., Ono, Y., González-López, J., Richard, J., Smail, I., Coe, D., Postman, M., Bradley, L., Koekemoer, A. M., Arancibia, A. M. M. noz, Dessauges-Zavadsky, M., Espada, D., Umehata, H., Hatsukade, B., Egusa, F., Shimasaku, K., Matsui-Morokuma, K., Wang, W.-H., Wang, T., Ao, Y., Baker, A. J., Lee, M. M., Lagos, C. del P.,

- Hughes, D. H., and ALCS collaboration, “Unbiased surveys of dust-enshrouded galaxies using ALMA”, 2023, Physics and Chemistry of Star Formation: The Dynamical ISM Across Time and Spatial Scales. Proceedings of the 7th Chile-Cologne-Bonn Symposium, held 26-30 September, 2022 in Puerto-Varas, Chile. Edited by V. Ossenkopf-Okada et al. ISBN: 978-3-00-074740-3. Published by Universitäts- und Stadtbibliothekj Köln, 2023, p.16
3. Kushibiki, K., Ozaki, S., Takeda, M., Hosobata, T., Yamagata, Y., Morita, S., Nakagawa, K., Saiki, T., Ohtake, Y., Tsuzuki, T., Mitsui, K., Okita, H., Motohara, K., Takahashi, H., Konishi, M., Kato, N. M., Koyama, S., Chen, N., Homan, S., and Yasuda, A., “Development status of a near-infrared integral field unit SWIMS-IFU”, 2022, Proceedings of the SPIE, Volume 12188, id. 121882V 13 pp.
 4. Michifuji, T., Kamizuka, T., Miyata, T., Jikuya, I., Uchida, D., Kondo, T., Yamada, K., Honda, M., Sako, S., Ohsawa, R., Asano, K., Tachibana, K., Iida, H., Naruse, A. C., and Sakon, I., “Development of a cold chopper for TAO/MIMIZUKU: cryogenic test”, 2022, Proceedings of the SPIE, Volume 12188, id. 121883G 9 pp.
 5. Minowa, Y., Ono, Y., Tanaka, Y., Yoshida, H., Terao, K., Koyama, Y., Ali, S., Tanaka, I., Hattori, T., Okita, H., Hayano, Y., Oya, S., Motohara, K., Yanagisawa, K., Yoshida, M., Akiyama, M., Kodama, T., Ogane, H., Konishi, M., Martinez Rey, N., Herrald, N., d’Orgeville, C., Rigaut, F., Vaughn, I., Chandler, D., Haynes, D., Schofield, W., Wang, S.-Y., Chou, C.-Y., and Kimura, M., “ULTIMATE-Subaru: GLAO preliminary design overview”, 2022, Proceedings of the SPIE, Volume 12185, id. 1218521 12 pp.
 6. Miyata, T., Yoshii, Y., Doi, M., Kohno, K., Tanaka, M., Motohara, K., Minezaki, T., Sako, S., Morokuma, T., Tanabe, T., Hatsukade, B., Konishi, M., Takahashi, H., Kamizuka, T., Egusa, F., Sameshima, H., Asano, K., Nishimura, A., Koyama, S., Kato, N., Numata, M., Aoki, T., Bronfman, L., Ruiz, M., Hamuy, M., Mendez, R., Garay, G., and Escala, A., “The University of Tokyo Atacama Observatory 6.5m telescope: project status 2022”, 2022, Proceedings of the SPIE, Volume 12182, id. 1218211 9 pp.
 7. Naruse, A. C., Kamizuka, T., Miyata, T., Sako, S., Nishimura, A., Sakon, I., Ohsawa, R., Asano, K., Tachibana, K., Michifuji, T., and Iida, H., “Development of a flat calibration unit for TAO/MIMIZUKU”, 2022, Proceedings of the SPIE, Volume 12188, id. 121883U 10 pp.
 8. Takeda, M., Kushibiki, K., Hosobata, T., Yamagata, Y., Morita, S., Saiki, T., Nakagawa, K., Ohtake, Y., Motohara, K., Ozaki, S., Tsuzuki, T., Takahashi, H., and Konishi, M., “Diamond machining of two-in-one optical element including slice mirror array for near-infrared integral-field spectrograph”, 2022, Proceedings of the SPIE, Volume 12188, id. 121882X 11 pp.
 9. Tsutsuki, R., Sako, S., Takahashi, H., Kondo, S., Takita, S., Ohsawa, R., Beniyama, J., Miyata, T., Kamizuka, T., and Takahashi, I., “Development of an infrared all-sky camera system for cloud monitoring”, 2022, Proceedings of the SPIE, Volume 12184, id. 121848F 12 pp.

2.6.1.1 投稿中のもの

• Main journal

1. Inoue, K. T., Minezaki, T., Matsushita, S., Nakanishi, K., “ALMA Measurement of 10 kpc-scale Lensing Power Spectra towards the Lensed Quasar MG J0414+0534”, ApJ submitted

2. Naruse, C. A., Kamizuka, T., Miyata, T., Sako, S., Ohsawa, R., Asano, K., Nishimura, A., Sakon, I., Tachibana, K., and Iida, H., “Development of a flat calibration unit for accurate flat fielding in the mid-infrared region”, JATIS submitted

2.6.2 和文その他の解説記事

1. 前田 郁弥: 「棒渦巻銀河における星形成抑制メカニズム」, 天文月報 2022 年 6 月号, EUREKA
2. 徳田 一起, 榎谷 玲依, 町田 正博, 藤本 裕輔, 前田 郁弥, 植田 準子, 金子 紘之: 「衝突流を通して俯瞰する誘発的星形成: 銀河スケールから分子雲コアまでを追う」, 天文月報 2022 年 11 月号, SKYLIGHT

2.7 学会, 研究会における発表

2.7.1 日本天文学会 2022 年秋季年会, 新潟大学 (2022/09/13–09/15)

1. R06a : Fumi Egusa, Yulong Gao, Kana Morokuma-Matsui, Guilin Liu, Fumiya Maeda, 「CO excitation and its connection to star formation and outflow in NGC 1365」
2. S16c : Takashi Horiuchi (The University of Tokyo), Yoshiki Toba (NAOJ), Toru Misawa (Shinshu University), 「The discovery of a candidate of a quasar with periodic UV/optical variability」
3. S17a : 恒次翔一, 峰崎岳夫, 他, 「WISE 衛星を用いた NEP 領域における中低光度 AGN の反響マッピング」
4. S18a : 水越翔一郎, 峰崎岳夫, 他, 「AGN 近赤外線放射の時間変動における高温ダスト成分の卓越性評価」
5. V136a : 河野ほか 「Large Submillimeter Telescope (LST): 8. コミュニティーとの連携強化」
6. V138a : 長沼桐葉, 吉岡佳輔, 酒井剛, 山村亮介 (電気通信大学), 大島泰 (国立天文台), 竹腰達哉 (北見工業大学), 丹羽佑果 (東京工業大学), 宇野慎介, 陳家偉, 井上修平 (東京大学), 「超広帯域ミリ波サブミリ波帯反射防止多層膜の開発」
7. V139a : 宇野慎介, 陳家偉, 井上修平 (東京大学), 大島泰 (国立天文台), 竹腰達哉 (北見工業大学), 長沼桐葉 (電気通信大学), 丹羽佑果 (東京工業大学), 「広帯域ミリ波サブミリ波帯多色カメラ用平面型直交偏波分離器の設計」
8. V140a : 井上修平, 陳家偉, 宇野慎介, 河野孝太郎 (東京大学), 丹羽佑果 (東京工業大学), 長沼桐葉, 山村亮介 (電気通信大学), 竹腰達哉 (北見工業大学), 大島泰 (国立天文台), 「広帯域ミリ波・サブミリ波検出器のためのアレイ化に適した Magic-T の設計」
9. V220a : 宮田隆志 (東京大学), 吉井讓 (東京大学, アリゾナ大学), 土居守, 河野孝太郎, 峰崎岳夫, 酒向重行, 廿日出文洋, 江草英実, 小西真広, 上塚貴史, 高橋英則, 松林和也, 加藤夏子, 沼田瑞樹, 鮫島寛明, 山岸光義, 大澤亮, 浅野健太郎, 小山舜平, 堀内貴史 (東京大学), 本原顕太郎 (国立天文台, 東京大学), 「東京大学アタカマ天文台 TAO6.5m 望遠鏡計画進捗報告 2022」
10. V221a : 穂満星冴, 小西真広, 高橋英則, 小山舜平, 加藤夏子, 櫛引洗佑, 陳諾, 安田彩乃 (東京大学), 本原顕太郎 (国立天文台), 「SWIMS(近赤外線 2 色同時多天体分光撮像装置) の検出器性能評価」

11. V222a : 櫛引洸佑 (東京大学), 尾崎忍夫 (国立天文台), 竹田真宏, 細畠拓也, 山形豊 (理化学研究所), 森田晋也 (東京電機大学), 中川桂一, 佐伯峻生, 大竹豊 (東京大学), 都築俊宏, 三ツ井健司, 沖田博文 (国立天文台), 本原顕太郎 (国立天文台, 東京大学), 高橋英則, 小西真広, 小山舜平, 加藤夏子, 陳諾, 穂満星冴 (東京大学), 「近赤外線面分光ユニット SWIMS-IFU: すばる望遠鏡でのファーストライト」
12. V223a : 上塚貴史, 宮田隆志, 酒向重行, 大澤亮, 浅野健太郎, 橘健吾, 飯田熙一, 成瀬日月, 左近樹 (東京大学), 尾中敬 (明星大学, 東京大学), 片ざ宏一, 長谷川直, 白井文彦, 内山瑞穂 (JAXA), 海老塚昇, 細畠拓也 (理化学研究所), 吉井讓 (東京大学, アリゾナ大学), 土居守, 河野孝太郎, 峰崎岳夫, 廿日出文洋, 江草芙実, 小西真広, 高橋英則, 松林和也, 鮫島寛明, 山岸光義, 小山舜平, 堀内貴史, 加藤夏子 (東京大学), 本原顕太郎 (国立天文台), 「TAO 6.5-m 望遠鏡用中間赤外線観測装置 MIMIZUKU: 近赤外線チャンネルの性能評価」
13. V224a : 成瀬日月, 上塚貴史, 宮田隆志, 酒向重行, 左近樹, 大澤亮, 浅野健太郎, 橘健吾, 飯田熙一 (東京大学), 「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ユニットの開発」
14. V226b : 飯田熙一, 宮田隆志, 上塚貴史, 酒向重行, 大澤亮, 左近樹, 浅野健太郎, 橘健吾, 成瀬日月 (東京大学), 「30 - 38 μm 中間赤外線観測ユニット TAO/MIMIZUKU MIR-L の開発」
15. X33a : 辻田旭慶, 河野孝太郎, 廿日出文洋, 江草芙実 (東京大学), Wei-Hao Wang (ASIAA), ALCS collaboration 「ALMA Lensing Cluster Survey: Nature of a lensed H-dropout galaxy at $z = 3.65$ 」
16. Z203a : 山田良透 (京都大学), 河田大介 (University College London), 河原創, 上塚貴史, 大澤亮, 福井暁彦 (東京大学), 片坐宏一, 白井文彦 (宇宙研), 辰巳大輔, 郷田直輝, 矢野太平, 泉浦秀行, 三好真 (国立天文台), 平野照幸 (東京工業大学), 服部公平 (統数研), 大宮正士 (ABC), 吉岡諭 (東京海洋大学), 立川崇之 (高知高専), 「JASMINE のデータ解析」
17. Z221a : 平野照幸 (アストロバイオロジーセンター/国立天文台), 宮川浩平 (国立天文台), 河原創, 上塚貴史, 大澤亮 (東京大学), JASMINE 系外惑星検討班 (Exo-JASMINE チーム), 「精密測光・位置天文に向けた新しいフラット補正技術と検出器特性精密測定方法の開発」

2.7.2 日本天文学会 2023 年春季年会, 立教大学 (2023/03/13-03/16)

1. R05a : 前田 郁弥, 江草 芙実, 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), 「棒渦巻銀河の棒部における星形成効率の統計的調査 2」
2. R06a : 松坂 怜, 半田利弘, 村瀬建, 柴田洋佑, 笠井梨名 (鹿児島大学), 前田郁弥, 藤本裕輔 (会津大学), 伊東拓実 (熊本大学), 「近傍銀河における kpc スケールのガス密度頻度分布 (GDH)」
3. S04a : 吉田篤洋, 峰崎岳夫, 他, 「ガウス過程回帰による活動銀河核ダストトラスの多波長同時反響マッピング」
4. S31a : 野田博文, 峯田大靖 (阪大理), 峰崎岳夫, 他, 「Fe-K α 輝線反響マッピング法を用いた NGC 3516 活動銀河核構造の研究 (3)」
5. U09a : 井上 開輝 (近畿大), 峰崎 岳夫, 「4 重像重力レンズによる宇宙の小スケール密度揺らぎの探査 I -手法と計画-」

6. V208a : 宮田隆志 (東京大学), 吉井讓 (東京大学, アリゾナ大学), 土居守, 河野孝太郎, 峰崎岳夫, 酒向重行, 廿日出文洋, 江草芙実, 小西真広, 上塚貴史, 高橋英則, 松林和也, 加藤夏子, 沼田瑞樹, 鮫島寛明, 山岸光義, 浅野健太郎, 小山舜平, 堀内貴史 (東京大学), 本原顕太郎 (国立天文台, 東京大学), 「東京大学アタカマ天文台 TAO6.5m 望遠鏡計画進捗報告 2023」
7. V209a : 小西真広, 本原顕太郎 (国立天文台, 東京大学), 高橋英則, 小山舜平, 加藤夏子, 櫛引洸佑, 陳諾, 穂満星冴, 安田彩乃 (東京大学), 吉井讓 (東京大学, アリゾナ大学), 土居守, 河野孝太郎, 宮田隆志, 峰崎岳夫, 酒向重行, 廿日出文洋, 江草芙実, 上塚貴史, 松林和也, 鮫島寛明, 山岸光義, 浅野健太郎, 堀内貴史, 沼田瑞樹 (東京大学), 大澤亮 (国立天文台), 「TAO 6.5m 望遠鏡用近赤外線観測装置 SWIMS すばる望遠鏡での共同利用運用報告」
8. V210a : 穂満星冴, 土居守 (東京大学), 本原顕太郎, 中屋秀彦 (国立天文台), Leonardo Vanzi (Pontificia Universidad Católica de Chile), 「TARdYS の検出器システム性能評価」
9. V225a : 松林 和也, 土居 守, 酒向 重行 (東京大学), 都築 俊宏, 池之上 文吾, 小原 直樹, 尾崎 忍夫, 本原 顕太郎 (国立天文台), 前田 啓一, 太田 耕司 (京都大学), 「可視 3 色高速撮像分光装置 TriCCS 用面分光ユニット開発 -光学設計-」
10. V229a : 堀内 貴史 (東京大学), 花山 秀和, 大石 雅寿 (国立天文台), 中岡 竜也 (広島大学), 高橋 隼 (兵庫県立大学), 山中 雅之 (鹿児島大学), 野上 大作 (京都大学), 大朝 由美子 (埼玉大学), 村田 勝寛 (東京工業大学), 高木 聖子 (北海道大学), 他 OISTER team collaborations, 「OISTER 連携観測で明らかになった Starlink's Visorsat の反射光低減効果」

2.7.3 国際研究会

1. Doi, M. and Joaquin Collao on behalf of TAO project: “The University of Tokyo Atacama Observatory (TAO) project”, 2022/04/29, “Chajnantor Working Group 2022”, Online
2. Kamizuka, T., et al. : “Development status of TAO/MIMIZUKU: Performance test of the near-infrared channel”, 2022/07/17–22, “SPIE Astronomical Telescopes + Instrumentation”, Montreal, Canada
3. Kushibiki, K., et al. : “Development status of a near-infrared integral field unit SWIMS-IFU”, 2022/07/17–22, “SPIE Astronomical Telescopes + Instrumentation”, Montreal, Canada
4. Michifuji, T., et al. : “Development of a cold chopper for TAO/MIMIZUKU: Cryogenic test”, 2022/07/17–22, “SPIE Astronomical Telescopes + Instrumentation”, Montreal, Canada
5. Miyata, T., et al. : “The University of Tokyo Atacama Observatory 6.5m telescope: Project Status”, 2022/07/17–22, “SPIE Astronomical Telescopes + Instrumentation” (invited), Montreal, Canada
6. Motohara, K., et al. : “NINJA: an LTAO assisted optical and near-infrared spectrograph of Subaru Telescope”, 2022/07/17–22, “SPIE Astronomical Telescopes + Instrumentation”, Montreal, Canada
7. Naruse, C. A., et al. : “Development of a Flat Calibration Unit for TAO/MIMIZUKU”, 2022/07/17–22, “SPIE Astronomical Telescopes + Instrumentation”, Montreal, Canada
8. Takeda, M., et al. : “Diamond machining of two-in-one optical element including slice mirror array for near-infrared Integral-field Spectrograph”, 2022/07/17–22, “SPIE Astronomical Telescopes + Instrumentation”, Montreal, Canada

9. Tsutsuki, R., et al. : “Development of an infrared all-sky camera system for cloud monitoring”, 2022/07/17–22, “SPIE Astronomical Telescopes + Instrumentation”, Montreal, Canada
10. Kohno, K. : “Near-infrared-dark lensed faint ALMA sources uncovered by the ALMA lensing cluster survey (ALCS)” 2022/08/09–11, “IAU Symposium 373: Resolving the Rise and Fall of Star Formation in Galaxies”, Busan, Korea
11. Maeda F. : “Is star formation in bars suppressed?”, 2022/08/09–11, “IAU Symposium 373: Resolving the Rise and Fall of Star Formation in Galaxies”, Busan, Korea
12. Kohno, K. : “Galaxy surveys with AtLAST/LST and IFUs” (invited), 2022/08/29–09/02, Lorentz Center Workshop “Mapping the Invisible Universe”, Leiden University, the Netherlands
13. Hatsukade, B. : “Dusty Galaxies in the Early Universe”, 2022/09/02, “National Chung Hsing University Astrophysics Symposium” (invited), online
14. Kohno, K. : “Unbiased surveys of dust-enshrouded galaxies using ALMA” (invited), 2022/09/26–30, “The 7th Chile-Cologne-Bonn Symposium, Physics and Chemistry of Star Formation – The Dynamical ISM across Time and Spatial Scales”, Puerto-Varas, Chile
15. Kohno, K. : “Integrated superconducting spectrometers for existing and future submm-wave telescopes”, 2022/11/29–12/02, “Astronomy, Astronomical Instrumentation, Microsatellites & Space Imaging” in Chile-Japan Academic Forum 2022, Los Lagos, Chile
16. Mizukoshi, S. : “Measurement of AGN dust extinction based on the near-infrared flux variability of WISE”, 2022/11/29–12/02, “Astronomy, Astronomical Instrumentation, Microsatellites & Space Imaging” in Chile-Japan Academic Forum 2022, Los Lagos, Chile
17. Tsujita, A. : “Central concentration of warm and dense molecular gas in a strongly lensed submillimeter galaxy at $z = 6$ ”, 2022/11/29–12/02, “Astronomy, Astronomical Instrumentation, Microsatellites & Space Imaging” in Chile-Japan Academic Forum 2022, Los Lagos, Chile (remote presentation from Japan)
18. Mizukoshi, S. : “Measurement of AGN dust extinction based on the near-infrared flux variability of WISE”, 2022/12/13–15, “Torus2022 Workshop”, Leiden, Netherland
19. Hatsukade, B. : “Molecular Gas Properties in the Host Galaxies of Long duration Gamma-ray Bursts, Superluminous Supernovae, and Fast Radio Bursts”, 2022/12/15–18, “A half century of millimeter and submillimeter astronomy: Impact on astronomy/astrophysics and the future”, Miyakojima, Japan
20. Inoue S., Chin K. W., Uno S., Kohno K., Naganuma T., Niwa Y., Yamamura R., Takekoshi T., Oshima T. : “Development of an easy-to-array planar Magic-T for broadband mm/submm wave detectors”, 2022/12/15–18, “A half century of millimeter and submillimeter astronomy: Impact on astronomy/astrophysics and the future”, Miyakojima, Japan
21. Kohno, K. : “Surveys of dusty galaxies using ALMA and beyond”, 2022/12/15–18, “A half century of millimeter and submillimeter astronomy: Impact on astronomy/astrophysics and the future”, Miyakojima, Japan
22. Maeda F. : “Statistical Study of the Star Formation Efficiency in Gas Rich Bars: Is Star Formation Suppressed in Bars?”, 2022/12/15–18, “A half century of millimeter and submillimeter astronomy: Impact on astronomy/astrophysics and the future”, Miyakojima, Japan

23. Tsujita, A. : “ALMA Lensing Cluster Survey: Physical properties of intrinsically faint HST-dark galaxies at $z \sim 3-4$ ”, 2022/12/15-18, “A half century of millimeter and submillimeter astronomy: Impact on astronomy/astrophysics and the future”, Miyakojima, Japan
24. Hatsukade, B. : “Diverse Properties of Molecular Gas in the Host Galaxies of Fast Radio Bursts”, 2022/12/20-21, “ALMA/45m/ASTE Users Meeting 2022”, NAOJ Mitaka campus + Online
25. Tsujita, A. : “ALMA Lensing Cluster Survey: Physical properties of intrinsically faint near-infrared dark galaxies at $z \sim 2-4$ ”, 2023/2/20-23, “9th GALAXY EVOLUTION WORKSHOP”, Kyoto, Japan
26. Konishi, M. : “SWIMS: Overview and Current Status”, 2023/03/23-24, “The First SUPER-IRNET Workshop ~Rebooting Our In-Person Collaboration~”, Tokyo, Japan
27. Kohno, K. : “Exploring ”dark” side of galaxy formation in the early Universe” (invited), 2023/03/27-30, 2023, International Conference on the Physics of Two Infinities, Kyoto, Japan

2.7.4 国内研究会

1. 松林和也 : 「TriCCS による Tomo-e 天体のフォローアップ観測に向けた準備」, 2022/7/5-6, 木曾シュミットシンポジウム 2022, 木曾文化公園第二会議室
2. 松林和也 : 「TriCCS 開発状況 - 既知の問題点と分光モード追加 -」 . 2022/7/26-27, 2022 年度せいめいユーザーズミーティング, オンライン
3. 辻田 旭慶 : 「ALMA Lensing Cluster Survey: Nature of a lensed H-dropout galaxy at $z = 3.65$ 」 . 2022/8/8-12, 銀河・銀河間ガス研究会 2022, 釧路
4. 堀内 貴史: 「光・赤外大学間連携による Starlink Visorsat の等級評価」, 2022/11/28-30, 第 10 回 スペースデブリワークショップ, JAXA 調布航空宇宙センター
5. Inoue, S., Chin, K. W., Uno, S., Kohno, K., Naganuma, T., Niwa, Y., Yamamura, R., Takekoshi, T., Oshima, T. : 「Design method of a broadband planar magic-T: a 6-14GHz scaled model for mm/submm camera」, 2022/12/20-21, ALMA/45m/ASTE Users Meeting 2022, NAOJ
6. 前田 郁弥: 「棒渦巻銀河における分子雲衝突の研究」, 近傍宇宙の観測的研究で探る星間物質ライフサイクル, 2023/2/7-9, グローカルホテル糸島, 福岡
7. 山岸 光義: 「 γ 線 SNR W51C の ASTE [CI] 観測」, 近傍宇宙の観測的研究で探る星間物質ライフサイクル, 2023/2/7-9, グローカルホテル糸島, 福岡
8. 堀内 貴史: 「OISTER 連携観測による Visorsat の庇の効果の検証」, 2023/2/28-3/1, 第 13 回光赤外線天文学大学間連携ワークショップ, 名古屋大学+オンライン
9. 水越翔一郎 : 「視線方向のダスト減光量が非常に大きい Sy-1.9 型 AGN の観測提案」, 2023/2/28-3/1, 第 13 回光赤外線天文学大学間連携ワークショップ, 名古屋大学 (名古屋)
10. Inoue, S., Chin, K. W., Uno, S., Kohno, K., Naganuma, T., Niwa, Y., Yamamura, R., Takekoshi, T., Oshima, T. : 「An easy-to-array broadband magic-T: Design method of a 6-14GHz scaled model for mm/submm camera」, 2023/3/27-28, 宇宙電波懇談会シンポジウム 2022 年度, NAOJ
11. 前田 郁弥: 「Statistical Study of the Star Formation Efficiency in Bars: Is Star Formation Suppressed in Gas-rich Bars?」, 2023/3/27-28, 宇宙電波懇談会シンポジウム 2022 年度, NAOJ

12. 辻田 旭慶: 「ALMA Lensing Cluster Survey: Physical properties of near-infrared-dark faint ALMA sources at $z \sim 2-4$ 」, 2023/3/27-28, 宇宙電波懇談会シンポジウム 2022 年度, NAOJ

2.7.5 その他の講演 (談話会等)

1. 前田 郁弥: 「棒渦巻銀河における星形成抑制メカニズム」, 2022/05/26, 第 132 回鹿児島大学天文学談話会, 鹿児島大学 郡元キャンパス
2. 前田 郁弥: 「分子ガス観測から探る棒渦巻銀河内部の星形成活動」, 2023/02/21, 第 99 回つくば宇宙フォーラム, 筑波大学, オンライン

2.7.6 研究会の主催

1. “Chile-Japan Academic Forum 2022”, SOC (土居, Eduardo Vera), 2022/11/28-12/01, Puerto Varas, Región de Los Lagos, Chile
2. “Astronomy, Astronomical Instrumentation, Microsatellites & Space Imaging”, SOC (河野, 峰崎, 土居, 中須賀 (工学系研究科), Ricardo Finger, Eduardo Vera, Felipe Barrientos, Leonardo Vanzi, Marcos Díaz), 2022/11/29-30, Puerto Varas, Región de Los Lagos, Chile
3. “Exploring the Transient Universe”, SOC (土居, 茂山, 前田 (京都大学)), 2022/12/14-16, 東京大学理学部化学本館講堂
4. “International Conference on the Physics on the Two Infinities”, SOC (土居, 梶田 (宇宙線研), Gonin(ILANCE/CNRS/Ecole Polytechnique, 中家 (京都大学) 他), 2023/3/27-30, 京都大学益川ホール他

2.8 天文センター談話会

回	月日	講演者 (所属)	題目
381	2022/5/10	西村優里 (天文学教室)	Molecular spectroscopy in local and high-redshift galaxies: What do “dense gas tracers” mean?
382	2022/6/9	堀内 貴史 (天文学教育研究センター)	Evaluation of magnitudes of the Starlink satellites by simultaneous multicolor observations
383	2022/6/21	Paul K. H. Yeung (東京大学物理学教室)	Cosmic-ray Acceleration & Escape from Intermediate-Aged Supernova Remnant Kes 79
384	2022/7/5	伊藤 慧 (天文学教室)	Environment and AGN activity of distant quiescent galaxies revealed by multi-wavelength surveys in the COSMOS field
385	2022/7/7	Paul Hertz (NASA)	NASA Astrophysics: From the past to the future
386	2022/7/12	Yutaro Kofuji (天文学教室)	Imaging of the Supermassive Black Hole in Our Galaxy, Sgr A* with the Event Horizon Telescope
387	2022/7/21	Mason Leist (University of Texas San Antonio)	Resolving Polar Dust in AGN with JWST: Going Beyond the PSF
388	2022/7/28	細川 隆史 (京都大学)	High-mass star formation in the early universe and their analogous observational signatures in the present-day universe
389	2022/10/18	小林 将人 (国立天文台)	Lifecycle of molecular clouds driven by HI gas accumulation

390	2022/10/25	黒田 仰生 (Max Planck Institute)	The death of massive stars and the birth of various compact stars
391	2022/11/11	Victor Debattista (University of Central Lancashire)	The formation of the box/peanut bulge of the Milky Way
392	2022/11/15	Anish Amarsi (Uppsala University)	Solar and stellar spectroscopy using 3D non-LTE radiative transfer
393	2022/11/22	Zsolt Keszthelyi (国立天文台)	The effects of surface fossil magnetic fields on massive star evolution
394	2022/11/29	谷川 清隆 (国立天文台)	Discovery of triple collision orbits in the general three-body problem
395	2022/12/6	Oscar Agertz (Lund Observatory)	The VINTERGATAN project: towards understanding the origins of the Milky Way
396	2022/12/15	松林 和也 (天文学教育研究センター)	Development of Optical Instruments for Seimei Telescope: KOOLS-IFU and TriCCS
397	2022/12/20	Brian Thorsbro (天文学教室)	Clues to galaxy evolution from chemical abundances of stars in the Galactic center
398	2023/3/20	田村元秀 (東京大学/国立天文台)	Exoplanet Observations with TMT: Expectations
399	2023/3/28	Seiji Fujimoto (UT Austin)	Exploring visible and obscured sides of the early Universe - Today and Beyond

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”が, 2022年10月29日(土)にオンサイト企画とオンライン企画の両方を実施するハイブリッドスタイルで開催された。新型コロナウイルス感染症の影響により, 2020年, 2021年の特別公開はオンラインのみでの開催となったため, 三鷹キャンパス現地に来場者を迎えるオンサイトでの実施は2019年以来3年ぶりとなった。

ただし, 2019年以前の特別公開はだれでも入場することのできるイベントであったのに対し今年は事前申し込みを行い抽選に当たった来場希望者のみが入場できるという制限が課された他, 特に多くの集客が見込まれる全体企画「メイン講演会」はオンライン配信のみでの実施となるなど, 依然として新型コロナウイルス感染症への慎重な対策が必要とされる中での開催であった。

本センターではオンサイト企画として, 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・施設の紹介や角錐ホーンアンテナによる宇宙電波観測の実演といった展示の他, 大学院生によるミニ講演会を実施した。また, オンライン企画としては特別公開の特設ウェブページを開設し, メイン講演会の本センター担当分(講師: 酒向重行准教授)の配信やオンサイト実施した院生ミニ講演の中継を行った他, 本センターを紹介する動画コンテンツを配信した。メイン講演会の配信および院生ミニ講演の中継は, 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。メイン講演会の配信にはピーク時で149名の視聴者が訪れた。講演映像は特別公開終了後も引き続き配信され, 多くの方に視聴されている。

2.9.2 東大オープンキャンパス

毎年本郷キャンパスで行われている「高校生のためのオープンキャンパス」は、8月3日(水)、4日(木)の2日間、オンラインで開催された。コロナ禍で実地開催ができない状況の中で、高校生、既卒生等を対象に、オンラインを通して東京大学の教育研究に接してもらうことが目的である。説明会、模擬講義のライブ配信、録画映像配信や、web ツールを使用した質問会・相談会などが行われた。本センターからは、木曾観測所や105cm シュミット望遠鏡の紹介動画のオンデマンド配信を行った。

2.9.3 普及講演

1. 鮫島寛明：「天文学で探る鉄の起源—宇宙で最初の星は鉄の大量生産工場だったのか？」, 2023/02/12, 港区立みなと科学館

2.9.4 プレスリリース

1. 水越翔一郎, 峰崎岳夫：「赤外線放射の『鼓動』で探る銀河中心ブラックホールを隠すダストの分布」2022/09/16, ウェブリリース
2. 廿日出文洋, 新納 悠, 橋本哲也, Tzu-Yin Hsu (国立中興大學)：「分子ガス観測で明らかになった高速電波バースト出現環境」2022/11/28, ウェブリリース

2.9.5 雑誌等取材記事

1. 水越翔一郎, 峰崎岳夫：「『ちり』に隠されたブラックホールをとらえる」, 学部生に伝える研究最前線, 理学部ニュース 2023年1月号

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, 高橋, 江草, 小西, 廿日出, 上塚, 鮫島	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, 宮田, 峰崎, 酒向, 廿日出, 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)
上塚; 左近 (天文教室)	天文学科3年	基礎天文学実験 (S A セメスター)
小西	天文学科3年	天体物理学演習 II (S セメスター)
江草; 左近 (天文教室)	天文学科3年	天文学ゼミナール (A セメスター)
小林; 相川 (天文教室)	天文学科3年	天体放射論 I (A セメスター)
酒向; 相川 (天文教室)	天文学科4年	星間物理学 I (S 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)

土居	大学院	光赤外線天文学特論 V (S セメスター)
小林; 相川 (天文教室)	大学院	恒星物理学特論 IV (A 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
土居	日本学術振興会	学術システム研究センター専門委員
土居	広島大学	宇宙科学センター客員教授
土居	東京大学	グローバルキャンパス推進本部戦略的パートナーシップ WG メンバー
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	男女共同参画室 室員
河野	東京大学	理学系研究科企画室会議 研究科長補佐
河野	東京大学	理学系研究科男女共同参画委員会 委員長
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)
酒向	東京大学	理学系研究科広報委員会 委員
廿日出	日本天文学会	年会実行委員
廿日出	NRAO	ngVLA Science Advisory Council, member
江草	日本天文学会	天文月報 編集委員長
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 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	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

2.10.4 科研費等

土居 (代表者)	科研費基盤研究 (S) (課題番号 18H05223), (2018–2022) 第 5 年度, 21,000 千円 課題名: 爆発直後からの観測による Ia 型超新星の起源解明
河野 (分担者)	科研費基盤研究 (S) (課題番号 22H00150), (2022–2027) 第 1 年度, 400 千円 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 (代表者)	科研費基盤研究 (B) (課題番号 20H01943) (2020–2024) 第 3 年度, 2,200 千円 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
酒向 (代表者)	科研費基盤研究 (A) (課題番号 21H04491), (2021–2024) 第 2 年度, 6,300 千円 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
峰崎 (代表者)	科研費基盤研究 (C) (課題番号 22K03673), (2022–2024) 第 1 年度, 300 千円 課題名: 地表大気層におけるレーザガイド星実験
峰崎 (分担者)	科研費基盤研究 (B) (課題番号 20H02359), (2020–2022) 第 3 年度, 300 千円 課題名: 大擾乱光波の複眼型波面解析に着眼した背景型シュリーレン法によるサブ mm 望遠可視化
上塚 (代表者)	科研費基盤研究 (C) (課題番号 20K04023), (2020–2023) 第 3 年度, 600 千円 課題名: 長波長中間赤外線用光学フィルタの実現による OH/IR 星の質量放出現象の直接観測
松林 (分担者)	科研費基盤研究 (A) (課題番号 20H00174), (2020–2024) 第 3 年度, 2,300 千円 課題名: 超新星爆発直後の超早期分光観測と理論モデルで迫る, 大質量星最期の 10 年間

廿日出 (代表者)	科研費基盤研究 (C) (課題番号 19K03925), (2019–2023) 第4年度, 375 千円 課題名: 超高光度超新星母銀河における隠された星形成活動および分子ガスの詳細研究
廿日出 (分担者)	科研費基盤研究 (A) (課題番号 20H00172), (2020–2023) 第3年度, 2,050 千円 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
江草 (代表者)	科研費若手研究 (B) (課題番号 17K14259), (2017–2020) 第6年度, 555 千円 課題名: 近傍渦巻銀河における腕構造の寿命
江草 (分担者)	科研費基盤研究 (A) (課題番号 20H00172), (2020–2023) 第3年度, 300 千円 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
新納 (代表者)	科研費基盤研究 (B) (課題番号 20H01942), (2020–2024) 第3年度, 2,000 千円 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
鮫島 (代表者)	科研費基盤研究 (C) (課題番号 19H03917) (2019–2023) 第4年度, 2,091 千円 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
鮫島 (代表者)	科研費基盤研究 (C) (課題番号 22K03683), (2022–2026) 第1年度, 800 千円 課題名: 高赤方偏移クエーサーの近赤外線分光観測で探る初期宇宙の化学進化
浅野 (代表者)	科研費若手研究 (課題番号 22K14070), (2022–2025) 第1年度, 1,500 千円 課題名: 地球型系外惑星の直接撮像を目指した, 中間赤外線用新型コロナグラフの開発
諸隈 (代表者)	科研費特別研究員奨励費 (RPD) (課題番号 19J40004), (2019–2022) 第4年度, 1,000 千円 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
前田 (代表者)	科研費特別研究員奨励費 (PD) (課題番号 21J00108), (2021–2023) 第2年度, 1,200 千円 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
小山 (代表者)	科研費若手研究 (課題番号 20K14522), (2020–2024) 第3年度, 600 千円 課題名: $z > 3$ におけるダストに埋もれたクエーサーの大規模探査
吉村勇紀 (代表者)	科研費特別研究員奨励費 (DC1) (課題番号 20J22050), (2020–2022) 第3年度, 1,000 千円 課題名: 分子化学組成比を用いた宇宙線イオン化度の測定と宇宙線が銀河形成に及ぼす影響の解明
谷口大輔 (代表者)	科研費特別研究員奨励費 (DC2) (課題番号 21J11555), (2021–2023) 第2年度, 700 千円 課題名: 赤色超巨星を用いた銀河系円盤の二次元金属量分布の解明
宇野慎介 (代表者)	科研費特別研究員奨励費 (DC1) (課題番号 21J20742), (2021–2023) 第2年度, 700 千円 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

2.10.5 国外出張

1. 土居:

2022/4/25–5/4, チリ大学, 日本大使館, チリ外務省他 (サンティアゴ/チリ), 日本チリ学術フォーラムについて打ち合わせ & TAO 計画進捗報告

2022/11/22–12/4, ローレンスバークレイ研究所 (バークレー/アメリカ) & パラナル天文台 (アントファガスタ/チリ) & Universidad de Los Lagos (プエルトバラス/チリ), TAO 望遠鏡の観測装置等についてのうちあわせ & TAO 望遠鏡と VLT 望遠鏡について意見交換および VLT 見学 & チリ日本学術フォーラム参加

2023/3/20–3/24, アリゾナ大学 (ツーソン/アメリカ) & ローレンスバークレイ研究所 (バークレー/アメリカ), TAO 望遠鏡建設 & MAGNUM 望遠鏡移設について打ち合わせ

2. 河野:

2022/8/27–9/4, Lorentz Center @ Oort (ライデン/オランダ), 国際会議 (Mapping the Invisible Universe) への出席, 講演

2022/9/23–10/2, Hotel Enjoy (プエルトバラス/チリ), 国際会議 Physics and Chemistry of Star Formation における講演, 参加

2022/11/26–12/4, Universidad de Los Lagos (プエルトバラス/チリ), チリ-日本学術フォーラムにおけるワークショップの開催

3. 宮田 :

2022/4/18-5/1, TAO サイト (サンペドロ・デ・アタカマ/チリ) & 国立天文台サンティアゴ事務所 (サンティアゴ/チリ), TAO プロジェクト現状確認 & 連携についての打ち合わせ

2022/6/16-6/25, TAO サイト (サン・ペドロ・デ・アタカマ/チリ), TAO 工事に関する打ち合わせ

2022/7/18-7/22, モントリオール国際会議場 (モントリオール/カナダ), 国際会議 SPIE に参加, および招待講演

2022/9/21-10/2, 米国日本通運ロサンゼルス支店 (ロサンゼルス/アメリカ合衆国) & TAO サイト (サン・ペドロ・デ・アタカマ/チリ) & アンデス商事 (サンティアゴ/チリ), 荷下ろし作業視察 & TAO 運営に関する打ち合わせ

2022/11/8-11/17, TAO サイト (サン・ペドロ・デ・アタカマ/チリ), TAO サイト工事状況視察

2022/12/4-12/13, TAO サイト (サン・ペドロ・デ・アタカマ/チリ), TAO サイト建設状況視察, 地質調査立ち合い

2023/1/14-1/24, TAO サイト (サンペドロ・デ・アタカマ/チリ), TAO プロジェクト現地ミーティング

2023/3/1-3/11, 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ミーティング

4. 峰崎 :

2022/5/24-6/2, TAO サイト (サン・ペドロ・デ・アタカマ/チリ) & チリ大学, カトリカ大学 (サンティアゴ/チリ), TAO 山頂施設建設状況視察 & TAO 観測装置フロントエンド補償工学系に関する打ち合わせ

2022/7/12-7/16, アリゾナ大学, KINO Packaging 社 (ツーソン/アメリカ), 主鏡の出荷に関する手順について打ち合わせ

2022/9/17-9/24, アリゾナ大学 (ツーソン/アメリカ) & 米国日本通運ロサンゼルス支店 (ロサンゼルス/アメリカ), TAO 望遠鏡主鏡・主鏡セル荷受 & 陸送作業の視察と確認

2022/12/10-2023/1/1, TAO サイト (サンペドロ・デ・アタカマ/チリ), TAO 主鏡輸送打ち合わせ

5. 廿日出 :

2023/2/15-2/17, The Great Roots Resort (新北/台湾), East-Asian ALMA Science Workshop 2023 参加

6. 小西 :

2023/2/20-3/5, 国立天文台ハワイ観測所 (ヒロ/アメリカ合衆国), TAO 観測装置 (SWIMS) 輸送作業

7. 上塚 :

2022/7/16-7/24, モントリオール国際会議場 (モントリオール/カナダ), 国際会議 SPIE に参加, 研究発表

8. 松林 :

2022/10/23-11/6, カリフォルニア, ロングビーチ港 (ロングビーチ/アメリカ) & TAO サイト (サン・ペドロ・デ・アタカマ/チリ), TAO 6.5 m 望遠鏡輸送の立会 & アタカマ観測所施設視察

9. 高橋 :

2023/2/20-3/3, 国立天文台ハワイ観測所 (ヒロ/アメリカ合衆国), TAO 観測装置 (SWIMS) 輸送作業

10. 山岸 :

2022/6/4-6/14, TAO 施設 (サン・ペドロ・デ・アタカマ/チリ), TAO 山麓施設の視察等

2023/2/12-2/25, TAO サイト (サン・ペドロ・デ・アタカマ/チリ), TAO 山頂・山麓施設の視察

11. 堀内 :

2022/4/18-5/1, 東京大学アタカマ天文台 (TAO) (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

2023/1/20-1/27, TAO サイト (サン・ペドロ・デ・アタカマ/チリ), チャナントール山頂でのモバイルルータの試験

12. 藤田 :

2022/11/21-12/15, 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

2023/3/19-3/30, 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

13. 前田 :

2022/8/8-8/12, BEXCO(釜山/大韓民国), IAU Symposium 373: Resolving the Rise and Fall of Star Formation in Galaxies に参加及びポスター発表

14. 吉井 :

2022/9/17-9/22, アリゾナ大学 (ツーソン/アメリカ), TAO 望遠鏡の光学設備輸送に関する打ち合わせ

2022/11/6-11/15, チリ弁護士事務所 他 (サンティアゴ/チリ), TAO プロジェクトの進捗報告および今後の活動に関する打合せ 他

2023/1/15-1/23, 日本大使館 (サンティアゴ/チリ) & TAO サイト他 (サンペドロ・デ・アタカマ/チリ), TAO プロジェクトの進捗報告 & 今後の活動に関する打合せ

2023/3/23-3/29, 在アルゼンチン日本大使館 他 (ブエノスアイレス/アルゼンチン), TAO プロジェクトの進捗報告, 今後の活動に関する打合せ 他

15. 沼田 :

2022/4/1-6/22, 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

2022/10/29-12/6, 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

2023/1/28-3/8, 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

16. 谷口 大輔 :

2022/6/29-7/23, Meudon Observatory(パリ/フランス)& Pierre Baudis Convention Centre(トゥルーズ/フランス) & ラセレナ市内のホテル (ラセレナ/チリ)& Andres Bello National University(サンティアゴ/チリ), 研究打ち合わせ& 研究会 Cool Stars21 参加& リモートによりラス・カンパナス天文台の観測準備& 研究打ち合わせ

2022/11/26-12/3, Sage Hotel Wollongong(ウロンゴン/オーストラリア), 研究会 「Linking the Galactic and Extragalactic」

17. 宇野 慎介 :

2022/11/7-2023/1/30, デルフト工科大学 (デルフト/オランダ), 超伝導検出器回路の極低温試験の実施および準備作業, 超伝導検出器回路の開発にかかる設計, 製作作業および議論

18. 紅山 仁 :

2022/8/1-8/11, BEXCO(釜山/大韓民国), 第 31 回国際天文学連合総会に参加, 口頭発表

2022/11/24-12/4, パラナル天文台 (アントファガスタ/チリ) & Universidad de Los Lagos(プエルトバラス/チリ), パラナル天文台で VLT 見学 & チリ日本学術フォーラム参加

19. Zhang Tianfang :

2022/6/26-7/3, バレンシアカンファレンスセンター (バレンシア/スペイン), 国際会議 EAS2022 に参加

20. 水越 翔一郎 :
2022/11/24-12/4, パラナル天文台 (アントファガスタ/チリ) & Universidad de Los Lagos(プエルトバラス/チリ), パラナル天文台で VLT 見学 & チリ日本学術フォーラム参加
2022/12/11-12/17, Rijksmuseum Boerhaave Leiden(ライデン/オランダ), 研究会「Torus 2022 Workshop Smoke and Mirrors」に参加
21. 津々木 里咲 :
2022/7/16-7/24, モントリオール国際会議場 (モントリオール/カナダ), 国際会議 SPIE への参加, 研究発表
22. 成瀬 日月 :
2022/7/16-7/24, モントリオール国際会議場 (モントリオール/カナダ), 国際会議 SPIE における Flat Calibration Unit の発表
23. 橋口 :
2022/11/6-11/15, チリ弁護士事務所 他 (サンティアゴ/チリ), TAO プロジェクトの進捗報告および今後の活動に関する打合せ 他
2023/1/14-1/23, TAO サイト (サンペドロ・デ・アタカマ/チリ), 在亜日本商工会議所, マリオットホテル (ブエノスアイレス/アルゼンチン), TAO プロジェクト現地視察 & TAO プロジェクトの進捗報告 & 今後の活動に関する打ち合わせ
2023/3/23-3/30, 在アルゼンチン日本大使館 他 (ブエノスアイレス/アルゼンチン), TAO プロジェクトの進捗報告および今後の活動に関する打合せ 他
24. 益原 :
2022/6/4-6/17, 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
2022/11/24-12/6, Universidad de Los Lagos(プエルトバラス/チリ), Chile-Japan Academic Forum 2022 対応 他
25. 笠原 :
2022/4/18-5/1, 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 // 2023/3/15-3/31, アンデス商事, La Negra(サンティアゴ/チリ) & 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ミーティング & 保管資材確認
26. 上原 :
2022/5/16-5/25, 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
2022/11/6-11/13, TAO サイト 他 (サンペドロ・デ・アタカマ/チリ), TAO サイト運営に関する情報収集 他
2023/1/14-1/21, TAO サイト (サンペドロ・デ・アタカマ/チリ), TAO プロジェクト現地視察

第3部

天文学教育研究センター木曾観測所

- 木曾観測所 〒 397-0101 長野県木曾郡木曾町三岳 10762-30 番地
- 電話 0264-52-3360, FAX 0264-52-3361

- 上松連絡所 〒 399-5607 長野県木曾郡上松町大字小川 1935 番地

表 3.1: 天文学教育研究センター木曾観測所

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
近藤 莊平	kondo@ioa.s.u-tokyo.ac.jp
大澤 亮	ohsawa@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	

- 木曾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

木曾観測所は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:

木曾観測所は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。木曾観測所は、全国の天文学研究者の観測研究にも供する。木曾観測所の共同利用に関する事項を審議するために、「木曾観測所共同利用相談会」が設けられている。

木曾観測所は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、木曾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、木曾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曾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)度からは木曾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

現在の木曾観測所は、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

木曾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の木曾広視野カメラ(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。

木曾観測所では、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、木曾観測所の共同利用機関としての役割を終了し、木曾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曾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。

木曾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「木曾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、2022年7月5-6日の2日間にわたり、木曾文化公園とオンライン(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。木曾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10名に対して、また甲南大学が学生16名に対して夏季に行った。また、初めての参加となる東京電機大学の学生5名が夏季に実習を行った。さらに新しい試みとして、名古屋柳城女子大学の学生8名が木曾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。コロナ禍からの回復に合わせ、一部規模を縮小していた実習が復活するとともに、新しい大学を迎えることもできた。

木曾観測所は、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寄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。木曾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「木曾星の会」、2020年には「木曾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。木曾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。木曾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「木曾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、地元木曾郡を代表する公的機関である「木曾広域連合」などとの連携を木曾観測所サポーターズクラブの協力のもとで進めている。

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。木曾観測所ではこの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 木曾観測所の活動

ここでは、木曾観測所事業の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行われている。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。木曾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 木曾広視野動画カメラ 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 ($\phi 9$ 度) 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 カメラの電気系の改修

(酒向, 近藤, 高橋, 瀧田, 森, 土居, 小林, 新納; Tomo-e Gozen 開発チーム)。Tomo-e Gozen の完成当初より、Tomo-e Gozen のデジタル系ボードとの USB 通信にてエラーが頻発することが問題となっていた。調査の結果、不具合の原因が望遠鏡ラックに搭載されている Tomo-e USB ボードにあることが明らかになったが、原因の特定には至らなかった。そこで、2023 年 2 月に Q1,2,3,4 用の USB ボード (計 4 枚) の再製作を実施し (Tomoe USB ver1.0)、旧ボードと交換した。この改修により USB 通信のエラーが発生する問題は解消されたことが確認された。

- Tomo-e Gozen の多面体窓ホルダの開発

(高橋, 酒向, 近藤, 大澤, 瀧田, 森, 青木, 土居, 小林, 新納; 諸隈智貴 (千葉工大); 富永望, 青木和光, ATC チーム (国立天文台); Tomo-e Gozen 開発チーム)。シュミット望遠鏡は、鏡筒前部入射部の補正板レンズと開口口径より大きなサイズの球面主鏡の組み合わせによって、広視野且つ歪み (収差) のない像を得ることができる。焦点も球面状になり、木曾 105cm シュミット望遠鏡の場合、直径 500mm 強にわたる焦点面上にセンサーも球面状に配置しなければならない。この対策として HAP (Height Adjustment Plate) と呼ばれるセンサー台座で調整を行っており、すべてのセンサーが被写界深度に収まる高さで固定されている。Tomo-e Gozen は基本的にフィルターなしで観測運用を行っているが、実習や特定の観測ではフィルターを前面に挿入して観測を行っている。このフィルターホルダーは平面になっており、球面状に配置されているセンサーとは場所によってその距離が異なる。つまり各センサーの光軸に対してフィルターを透過する光のパス (光路長) が異なり、ひいては透過波長がシフトすることになる。ワイドバンドフィルターの場合はこの量は微小で無視できるが、狭帯域フィルターの場合は、このシフト量が無視できない。そこでフィルターを保持するホルダーも球面形状にし、この問題を解決することにした。

このフィルターホルダーは国立天文台・先端技術センターの協力のもと3次元金属プリンターを用いて製作された。Tomo-e Gozen 用ホルダーの大きさは最大で300mm角近くあり、3次元金属プリンターで製作可能な大きさのほぼ最大サイズであった。製作の後には、フィルターが収まる窓部分の面出しや位置決めピン、取り付けネジ穴の機械加工も行われた。なお、散乱光・反射光防止のため黒色塗装を施した。2022年7月には搭載モデルとしてQ1 (Quadrant 1) に装着され、その後の観測運用で問題ないことが確認されている。次年度以降にQ2からQ4まで拡張することを計画している。

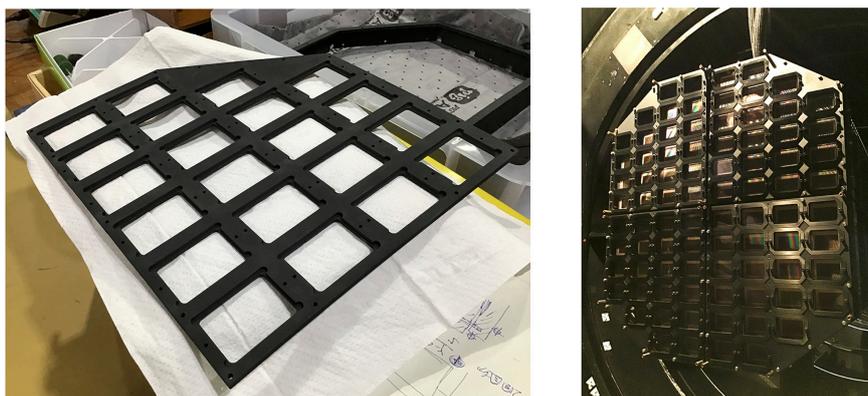


図 3.1: 3次元金属プリンターで製作されたフィルターホルダーと焦点面に装着された様子。

● キャリブレーションデータ (ダーク) の評価

(瀧田, 近藤, 酒向, 森, 高橋, 土居, 小林, 新納; 大澤亮 (国立天文台); Tomo-e Gozen 開発チーム). Tomo-e Gozen は CMOS センサを温度制御せずに利用している。このため、ダークには温度依存性が出てくるはずである。また、Tomo-e Gozen では夕方のみキャリブレーションデータを取得し、一晩の観測データには全て同じキャリブレーションデータが適用される。そこで、夕方から明け方にかけての温度変化によってダークがどの程度変化しうるかを調査した。まずダークの温度依存性を調べるために2019年10月の本格運用開始以降に取得された全ダークデータを利用した。CMOS センサごとにダーク画像の中央値を調べると、温度 (T) に対して $\text{DARK} = A \times \exp(-B/T) + C$ の形で表されることが分かった。Tomo-e Gozen ではバイアス処理された後のデータが出力されるため、オフセット項 (C) が発生する。

次にセンサ内の各ピクセルについてダークの温度依存性を調査した。Widenhorn et al. (2002, SPIE) によると300 K程度での CCD のダーク特性は $\text{DARK} \propto T^3 \times \exp(-E_g/kT)$, ($E_g(300\text{K}) \sim 1.14[\text{eV}]$) であることが分かっており、CMOS においても同様の傾向が得られると考えられる。実際に上記の関係を元に $\text{DARK} = \text{pre_factor} \times T^3 \times \exp(-13229/T) + C_0 + C_1 \times T$ という関数でほとんどのピクセルについて求めることができた。一方で一部のピクセルはこの関係が成り立たないこともわかり、それらはバッドピクセルである可能性が考えられる。ただし Tomo-e Gozen のサーベイの戦略上サーベイエリアを優先していることから、バッドピクセルによる欠損領域をディザリングによって補完するという事は行われたい。このため、温度-ダーク依存性を利用したバッドピクセルの定義については慎重に検討する必要がある。

次に一晩の間の温度変化による影響を検証した。毎晩の観測の最初と最後のデータから温度を調べると、季節によらず5度程度の温度変化があることが分かった。先ほどの温度-ダーク依存性を元に、5度の温度変化でダークカウントがどの程度変化するかを見積もると、夏場の高温期でも5 ADU 程度の変化であることが分かった。詳細な検証は行っていないが、通常の観測における blank sky のカウントが200 ADU

程度であることを考慮すると、一晩の間の温度変化によるダークの変化はほとんど効いていないことが分かった。

- **Tomo-e Gozen スタック画像の SMOKA からの公開準備**

(瀧田, 酒向, 森, 高橋, 近藤, 土居, 小林, 新納; 大澤亮 (国立天文台); 諸隈智貴 (千葉工大); Tomo-e Gozen 開発チーム; 国立天文台 SMOKA チーム). Tomo-e Gozen で取得したデータのうち、一次処理済みの FITS データについてはアーカイブし、また一部のデータについては Tomo-e Gozen データ公開ウェブ、および国立天文台 SMOKA からも公開している。Tomo-e Gozen チームでは全天サーベイと高頻度サーベイについて、取得後 6 ヶ月経過し、かつ各自の研究のためのブロックリストに含まれないデータを公開している。一方で国立天文台 SMOKA からは原則として取得後 3 年を経過したデータを公開することになっている。

SMOKA からのデータ公開は、先行リリースとして昨年度は取得後 2 年経過した全天サーベイ系のデータが公開されていた。今年度からは全天サーベイ系を含め、全プロジェクトのデータが公開対象となる。そこで各プロジェクトの代表者にデータ公開の可否を判断してもらった。また Tomo-e Gozen ではフィルター無しの観測が主であるが、一部プロジェクトではフィルターを利用した観測も行っている。これらのフィルター有りのデータについては FITS ヘッダの整備が万全ではないため、公開対象からは除外してある。以上の情報をまとめ、SMOKA に公開可能リストとして送付した。

- **Tomo-e Gozen Sky Atlas のアップデート**

(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。まず、望遠鏡フットプリント機能として、実際の観測時刻と視野を表示できるようにした。Sky Atlas には人工衛星やデブリの位置を表示する機能は持っていないが、観測時刻が分かることで画像上に写っているデブリ等を誰でも調べられるようになった。

また、Sky Atlas のベースとして利用している Aladin Lite の新しいバージョン (v3) への対応を行った。新しいバージョンではいくつかの機能が追加されており、特に Sky Atlas で利用する際にインパクトのある機能として、複数画像を足し合わせて表示できるモードがある。この機能を利用し、ベース画像に Tomo-e Gozen の二年間のデータを利用した参照画像 (Deep Stack) を表示し、その上に日々の観測画像を表示できるようにした。これにより、日々の観測画像のみに表れる超新星や移動天体を簡単に探すことが可能となった。これに関連して、Sky Atlas 上にプロットする小惑星の座標計算についても見直した。従来は実際の観測時刻を参照しておらず、特定の時刻における座標を利用して表示していたため、画像上に見られる移動天体とプロットされる位置がずれていた。上述したフットプリント表示機能を追加したことで実際の観測時刻を参照することが可能となっており、また画像の足し合わせ機能によって小惑星を簡単に採せるようになったことから、実際の観測時刻における座標を計算し、その座標でプロットするように修正を行った。この Sky Atlas を用いた教育普及活動への利用方法について、名古屋市科学館との検討も行っている。

- **Tomo-e Gozen アーカイブシステムの拡張**

(大澤亮 (国立天文台); 酒向, 瀧田, 森, 高橋, 近藤, 土居, 小林, 新納; Tomo-e Gozen 開発チーム). Tomo-e Gozen のアーカイブシステムはストレージ用計算機 3 台で構築されていたが、約 3 年間の運用で容量の 90% 近くを使い切っていた。運用を継続するため、新たにストレージ用計算機を購入してデータを移動させる作業を 2022 年 6 月に実施した。既存のストレージ用計算機はそのまま使用することでシステムへの変更を最小限に留める方針を採用した。

購入したストレージ用計算機 (tomoe-arv-node3) は 2 台のストレージ拡張ユニットを搭載している。それぞれのユニットで 36 台の 18 TB ハードディスクを使用して 430 TB の RAIDZ2 ストレージを構築した。データの転送作業は以下の 4 ステップで実施した。

1. 既存のデータの保存先の確認と転送先リストの作成.
2. tomoearyv-node3 へのデータのコピー.
3. データベースの更新と確認.
4. 既存のストレージ用計算機からデータの削除.

データの転送は 2022 年 7 月前半に完了した. ファイルの実体が移動したことをアーカイブシステムに反映させる必要がある. データベースに記録されている情報を直接書き換えてしまうとトラブルとなりやすいため, ファイルを移動させた記録のみを登録するテーブルを作成した. また, 現在のデータベースが可動する前 (2018/10-2019/09) に取得していたデータ (初期観測データ) も tomoearyv-node3 に転送してデータベースに登録した. 装置ステータスや天候情報はまだデータベースに登録されていないが, ひとつのシステムで初期観測データを含めて検索ができるようになった. 初期観測データは別のデータベースによってホストされていたが, 役目を終了したとして運用を終了した.

ファイルの転送とデータベースへの登録に問題がなかったことを検証するため, 初期観測データも含めてランダムアクセス試験を実施した. 5,000,000 ファイルへのアクセスを試みて問題が検出されなかったため, データの移行は適切に完了したとして既存のストレージ用計算機からファイルを削除した.

● 突発天体サーベイ用データベースの更新

(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いるが, データベースの性能があまり引き出せていなかった. 前年度の調査・作業によりテーブル定義の改修や「N + 1 問題」の解消を行った. 今年度はデータベースの負荷分散, および冗長化を目的として新しいデータベース計算機を追加して二台体制での運用に変更した. ここでは PostgreSQL に標準で搭載されている Logical Replication を利用することにした. 親サーバ側はデータ処理パイプラインからの書き込み限定し, 子サーバは親サーバとの同期により複製を行う. ウェブビューア等のユーザからの問い合わせは子サーバが受け持つことで, 負荷分散をはかっている. これによりウェブビューア側での応答も改善された.

● mdx の利用方法の検討

(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>) では仮想環境を提供しており, 試験期間である 2022 年度までは無償で利用できる. 試験期間ということもあり, ディスク障害等が複数回発生しており, こちら側での復旧作業が必要であった. 基本的にはファイルシステム lustre のカーネル周りの問題であり, データの消失は発生していないが, データベースとして運用するには気をつける必要がある. また 2023 年度からは有償利用となるが, いくつかの共同利用研究に採択されることで使用料補助の仕組みがある. この中で JHPCN の共同利用に申請し, 採択されたことで当面は継続して利用できる. 一方で mdx の使用料と JHPCN による補助 (JHPCN 採択課題全体の共通プールという仕組み) との関係が開始したばかりということもあり, 今後の利用方法は注視していく必要がある.

● 赤外線雲モニタの開発

(津々木里咲, 酒向, 高橋, 近藤, 瀧田, 大澤, 紅山仁, 宮田隆志, 上塚貴史 (東京大学)). 木曾観測所では, Tomo-e Gozen 自動広域サーベイの効率化のため, 雲を避けたサーベイの自動スケジューリングを目指している. 昨年度において小型, 低コスト, 時間安定, 遮蔽なしの赤外線全天カメラの開発を進め全天の雲分布画像を取得することに成功した. 本装置はタムロン製の小型カメラモジュールと直径約 10cm の視野拡大鏡からなる. 昨年度に引き続き木曾観測所屋外に常設し, 本年度においても問題なく毎分画像を取得し続けることが出来た. 性能向上のため, まずポロメーターの実験データを増やしてカウントの補正式を修正し, 外気温の変化に伴うオフセット量の日変動も補正した. これらを踏まえ国際学会において発表を

行った.[1] これまでの AL ミラーに加えて SUS および SUS+SiO₂ コートのミラーを製作し屋外における耐久性試験を行っており、来年度中に材質を決定する予定である。

2022年12月より Tomo-e Gozen 広域サーベイシステムとの連携を開始し、本システムで取得した雲分布情報を用いてサーベイ経路をスケジューリングすることに成功した。その後評価を行ったところサーベイ中に取得されたデータのうち雲の影響が少なく解析可能なデータの割合が向上していることも確認できた。サーベイシステムの更なる性能向上に向けて、数分先の雲分布を画像上で予測する CNN+LSTM の機械学習モデルの構築を進めており、来年度に実施予定である。

赤外線雲モニタ

カメラ	タムロン製防塵防水仕様の Ge レンズ付きボロメーターカメラモジュール LW10F42-ET
制御 PC	カメラ制御用 Linux
観測範囲	天頂角 0-90 度の範囲
観測波長	8 - 12 μm
観測頻度	1 分に 1 度
設置場所	木曾観測所本館屋上

[1] SPIE Astronomical Telescopes + Instrumentation, Ground-based and Airborne Instrumentation for Astronomy IX, "Development of an infrared all-sky camera system for cloud monitoring," Risa Tsutsuki, Shigeyuki Sako, Hidenori Takahashi, Sohei Kondo, Satoshi Takita, Ryou Ohsawa, Jin Beniyama, Takashi Miyata, Takafumi Kamizuka, Ichiro Takahashi, Montreal, 2022/7/17-22, (ポスター発表, 査読なし)

● 木曾観測所からの 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、木曾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、木曾福島市街地までの木曾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曾福島から先が共用線となり、木曾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。木曾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曾広域連合木曾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日に木曾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、木曾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。

木曾観測所から SINET への接続は、木曾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。

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。基幹プログラムのひとつである高頻度突発天体サーベイ (§3.2.2.1) では 1 晩の間に同じ天体を複数回観測することにより突発天体の早期発見を目指している。取得したデータから突発天体を探し出す解析パイプラインは継続的に改善されており、Python のモジュールロード方式の見直しによって大幅な高速化に成功した。また、京都大学 3.8 m せいめい望遠鏡との連携体制も継続しており、Tomo-e Gozen によって観測された超新星のせいめい望遠鏡を用いた追観測が行われている。高頻度突発天体サーベイ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、2022 年度は新たに 11 天体の地球接近小惑星を発見した (§3.2.2.2)。また、これまでのサーベイで積み上げてきたデータを活用することで Blazar の変光を探る試みも始まっている (§3.2.2.5)。さらに、サーベイ観測の際に矮新星の増光時が捉えられた例もあり (MASTER OT J030227.28+191754.5)、このデータの提供によって多波長の観測キャンペーンに貢献した。

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。Fast Radio Burst (FRB) は電波の波長域で検出される突発現象であるが、その可視光対応天体を探るための試みとして repeating FRB の可視電波同時モニタリング観測や non-repeating FRB の同時観測を目指した広域 FRB 探査も実施している (§3.2.2.3)。突発現象に対する追観測体制の整備も進められており、Gamma-Ray Burst (§3.2.2.4) と全天 X 線監視装置 MAXI (§3.2.2.6) によるアラートに反応して自動で観測を実施するためのシステムを運用中である。この自動追観測システムはもともと 2019 年から 2020 年にかけて行われた重力波検出器第 3 期観測運用 (O3) 期間において重力波イベントの追観測を行うために開発されたものであり、2023 年 5 月より開始が予定されている第 4 期観測運用 (O4) においても引き続き重力波イベントの追観測を実施できる状態が整っている。

また、動画観測能力を活かした地球接近小惑星の自転周期に関する研究も進行中である。発見された小惑星の 3.8 m せいめい望遠鏡を用いた即時追観測も実施されており、これによって高速自転する小惑星の多色光度曲線の取得にも成功している。さらに小さい小惑星の発見を目指した技術開発も進行中である。動画データを brute-force で shift-and-add することによって、単一の動画フレームでは検出できない暗い移動天体を検出するためのシステム構築を進めている (§3.2.2.11)。同じく動画観測能力を活かした研究として微光流星の観測がある。2022 年 12 月にはふたご座流星群を対象として MU レーダとの同時観測を実施し、計約 14 時間分の可視光撮像データの取得に成功、現在解析を進めている (§3.2.2.7)。

恒星における秒スケールでの変動現象を調べるためのプロジェクトも進行中であり、白色矮星や M 型矮星をターゲットとしたモニタリング観測を実施している。今年度は既存の観測装置では調べることができなかったパラメタ空間での M 型矮星からのフレア検出について論文を出版し、さらなる観測に向けた検討を行った (§3.2.2.8)。さらに、恒星に付随しない秒スケールの突発天体の探査も進められている (§3.2.2.12)。20 平方度という Tomo-e Gozen 視野を活かした金属欠乏星探査計画も進められている。2022 年 9 月から 10 月にかけて狭帯域フィルタを用いた試験観測を行い、発見された低金属星候補をなゆた望遠鏡で分光追観測した。これによって、Tomo-e Gozen の観測で実際に低金属量を発見できることを示した (§3.2.2.9)。X 線望遠鏡 NICER と連携した観測も継続して行っている (§3.2.2.10)。2023 年 1 月から 2 月にかけては矮新星 GK Per のアウトバーストの同時観測を実施しており、現在そのデータ解析が進められている。

Tomo-e Gozen の能力をさらに活かすための技術開発も進められている。地球低軌道を運動している人工物体は Tomo-e Gozen の観測では線分として観測される。こうした天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を開発している (§3.2.2.14)。機械学習アルゴリズムを活用して Tomo-e Gozen によって取得したデータから短時間突発天体を抽出するためのソフトウェアの開発も進行している。物体検出アルゴリズム Single Shot Multibox Detector (SSD) や EfficientDet と呼ばれるアーキテクチャを使用することで、動画の中に突発的に現れる天体を高い効率で検出することに成功している (§3.2.2.13)。恒星フレアのような突発現象を自動で抽出するための取り組みも進行中である。異常検知のアルゴリズムを適用することでライトカーブから特異なイベントを抽出する (§3.2.2.15)。また、地球接近小惑星サーベイの解析によって発見された移動天体候補からスペースデブリなどの人工天体の軌道決定とカタログ化を行うための準備が進められて

いる (§3.2.2.16).

3.2.2.1 高頻度突発天体サーベイ

富永望 (国立天文台); 諸隈智貴 (千葉工業大学); 酒向重行, 瀧田怜, 新納悠, 土居守, 有馬宣明, 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 (国立天文台); 田中雅臣, 高橋一郎 (東北大学); Jian Jiang (中国科学技術大学); 川端美穂 (兵庫県立大学); 前田啓一, 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 Pedroso (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 (小さな観測オーバーヘッド) を活かした高頻度突発天体広域サーベイ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うことも計画している。

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 (正確には、ある時間以下の時間間隔では観測しない) 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 (§3.2.2.2), 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。

2022 年度には、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、これまで毎回モジュールをロードしていたところ、各解析ノードで一度だけモジュールロードを行う方式に変更したことにより、データ解析が遅れなく完了するようになった (2023 年 3 月)。また、reference 画像として Tomo-e Gozem によって取得された画像を用いることとなり、誤検出を含む総検出数が半分程度になった。また、ZTF によって取得された光度曲線も自動で取得し、Tomo-e Gozen によって取得された光度曲線と同時に表示することとした。これにより、ZTF による色の情報も用いた天体の選択が可能となる。また、2022 年度には AT 2022ldm, AT 2022lhi に対して、せいめい望遠鏡を用いた追観測を行った。

3.2.2.2 地球接近小惑星サーベイ

紅山仁, 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 の探索を行い 2022 年度は新たに 11 天体の NEO を発見した (昨年度は 16 天体)。これにより 2023 年 3 月 31 日時点で Tomo-e Gozen が発見した

NEO は 49 天体となった。また発見天体を含む合計 29 天体の微小小惑星の光度曲線観測を行い、微小小惑星の自転周期と形状の推定を試みた。Tomo-e Gozen を用いて高速自転を検出した 2022 JL を OISTER の枠組みを通したせいめい望遠鏡/TriCCS での即時追跡観測を実施し 3 色同時光度曲線を取得した。高速自転小惑星のスペクトル型を多色観測により推定するには同時観測が不可欠であり、高速観測という特徴を最大限活用した連携観測である。光度曲線観測、多色観測ともに今後さらに観測天体数を増やし微小小惑星の起源や性質を明らかにする。光度曲線観測の成果は以下の国際会議で発表した。

- IAUGA, Focus Meeting 8, Planetary Astronomy via Telescopic and Microscopic Approaches, "Subsecond Photometry of Tiny Near-Earth Objects with Tomo-e Gozen", Jin Beniyama, Shigeyuki Sako, Ryou Ohsawa, Satoshi Takita, Naoto Kobayashi, Shin-ichiro Okumura, Seitaro Urakawa, Makoto Yoshikawa, Fumihiko Usui, Fumi Yoshida, Busan, Republic of Korea + オンライン, 8/2- 3, (招待講演, 査読なし), <https://www.iauga2022.org/>

3.2.2.3 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 (東京大学天文学教育研究センター); 茂山俊和 (東京大学ビッグバン宇宙国際研究センター); 戸谷友則 (東京大学天文学教室); 富永望, 大澤亮, Ji-an Jiang, 小久保充 (国立天文台); 田中雅臣, 樫山和己 (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); 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)

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が、銀河系内のマグネター SGR 1935+2154 から FRB に類似した電波バーストが検出されたイベントの際に同時観測された X 線フレアを除いて、これまでに銀河系外の FRB に付随する突発対応天体は見つかっていない。Tomo-e Gozen は可視光において秒以下の時間スケールの放射を探査できる稀有な装置である。我々は Tomo-e Gozen の特性を活かして電波望遠鏡との FRB 共同観測を行い、FRB 発生時の可視光放射成分探査を推進している。

既知の repeating FRB や SGR 1935+2154 といった座標のわかっている FRB 発生源に対しては山口大学の山口 32m 電波望遠鏡や中国貴州省の 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同時観測を行った。これらの観測目標はあらかじめ天体の座標が決定されていたため、Tomo-e Gozen の視野の部分読み出しによって約 20 fps の高速観測を行うことができる。今年度は 2020 年に FAST と共同で行った repeating FRB 20190520B の観測結果を論文としてまとめ、出版することができた (Niino et al. 2022, ApJ, 931, 109)。さらに、他の repeating FRB についても可視光成分の探査を進めるため、上述の電波望遠鏡グループの他、Tomo-e Gozen と同じく高速観測の可能な可視光装置である京都大学岡山天文台せいめい望遠鏡の TriCCS とも連携して FRB 観測を進めている。

また、多くの FRB は繰り返しバーストを発生させない一度限りの現象 (non-repeating FRB) であるため発生場所を事前に知ることはできない。non-repeating FRB についても可視光放射を探査しその起源をつきとめる手がかりとするため、我々はカナダの広視野電波観測装置 Canadian Hydrogen Intensity Mapping Experiment (CHIME) の FRB 探査グループと MOU を交わして 2021 年 3 月より電波-可視同時広視野観測による FRB 探査を行っている。座標の判明している repeating FRB を監視する場合と比べて同時観測視野内での FRB 発生頻度が低く、2022 年度までに行った約 60 時間の同時観測中に FRB 発見は実現していないが、non-repeating FRB の可視光放射成分発見を目指して観測を積み重ねている。

3.2.2.4 Gamma-Ray Burst 追観測

新納悠 (東京大学天文学教育研究センター); Maria Giovanna Dainotti, 富永望, 守屋堯 (国立天文台); Alan Watson (National Autonomous University of Mexico); 野上大作 (京都大学)

Gamma-Ray Burst (GRB) の内でも継続時間の短いもの (short GRB) は中性子星を含む高密度星連星の合体によって生じると考えられており, 重力波イベントの観測とも関連してその性質を理解する重要性が高まっている. 残光の多波長観測は GRB の性質を理解する重要な手がかりである. 従来, GRB の多波長追観測研究は位置決定精度に優れた Neil Gehrels Swift Observatory の BAT 検出器 (Swift BAT) によって発見された GRB を中心にすすめられてきたが, Swift BAT は short GRB の発見頻度が低い (~ 9 events/yr). 一方, Short GRB の発見頻度の多い観測装置である Fermi GBM (~ 40 events/yr) は GRB の位置決定精度が典型的に 10 度程度と悪く, Fermi GBM によって発見された GRB の残光はほとんど見つかっていない. Tomo-e Gozen の広視野を活かして Fermi GBM で発見される short GRB の系統的追観測を実現して, いまだ解明されていない部分の多い short GRB の性質に迫りたい.

Tomo-e Gozen による GRB の系統的追観測を可能にするため, マークアップランゲージで書かれた機械可読な突発天体速報の規格である VOEvent によって GRB 発見のアラートを受信し, 自動的に追観測を行うシステムを定常的に運用している. 現在は自動追観測で取得したデータからリアルタイムに残光を発見できる体制を整えるための試験観測を行い, 解析所要時間や混入天体数の評価を進めている.

3.2.2.5 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); 小久保充, 大澤亮 (国立天文台); 富永望 (国立天文台/甲南大学); 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用いて, 4FGL カタログに含まれる 241 個の BL Lac と 83 個の flat-spectrum radio quasar (FSRQ) の光変動性を研究した. その結果, FSRQ の γ -線光子指数と光変動性が相関していると判明した. 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, 測光値の標準偏差の分布は他の FSRQ と有意に異なっている. また, 構造関数 $sf(\tau)$ を測定し, FSRQ の構造関数の振幅が先行研究の測定値より高く, 複数の時間間隔で BL Lac よりも高いことを発見した. さらに, 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なっており, 特徴変動時間は降着円盤特徴変動時間と似ている. 以上から, γ -線光子指数が 2.6 より大きい FSRQ は降着円盤主導されることが分かった. 現在のデータでは, 降着円盤の割合を定量的に分析することは困難である. したがって, この問題をより詳しく研究するために, 今後は FSRQ を対象にスペクトル観測を行い, 光子指数と降着円盤の関係を探ることを計画している. この研究により, FSRQ における降着円盤と γ -線の明るさや光子指数の関係など, より包括的な理解を得ることができ, 活動銀河核の進化と物理過程の理解にさらなる手がかりを得ることができると期待している.

3.2.2.6 全天 X 線監視装置 MAXI と Tomo-e Gozen の協力体制

根來均, 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); 芹野素子 (青山学院大学); 三原建弘 (理化学研究所)

2021 年度に全天 X 線監視装置 MAXI による突発天体出現アラートメールをトリガーとする Tomo-e Gozen (以下 Tomo-e) の自動追観測体制が整備された. MAXI は 2022 年度に 3 つの新たな X 線新星を発見したが, そのうち 6 月に発見された MAXI J1816-195 (ATel #15418) については, MAXI からのアラート発信約 1 時間後に Tomo-e により自動観測がなされ, 200 秒間 2 fps のデータが得られた. そして, Swift/XRT による位

置誤差内に対応天体は受かっていなかったことが酒向により即座に MAXI チームに共有された。(その後、同天体は、降着ミリ秒 X 線パルサーであることが判明。)

10 月には、MAXI が Swift に次いで速報した過去最大級の明るさであった GRB 221009A についても、アラートメール発信は MAXI 側のメールサーバーの不調により行われなかったものの、MAXI による GCN/NOTICE によって Tomo-e Gozen により追観測が行われた。本イベントについても上限値しか得られず、ATel, GCN への報告は見送られたが、これらの即座の追観測と情報共有は今後の MAXI - Tomo-e Gozen 協力体制のモデルケースとなると思われる。

また、2022 年 3 月 9 日に Tomo-e Gozen により観測された近傍のブラックホール X 線新星 A 0620-00 (V616 Mon) と XTE J1118+480 (KV UMa) を Tomo-e Gozen のデータ解析を行い、それぞれ、過去の静穏期での明るさと同程度の 17.8 等と 19.2 等で受かっていることが確認された。現在、これまでも報告があった静穏期中での可視フレアの有無を調べるため、Tomo-e Gozen の短時間でのバックグラウンド特性等を調査中である。

3.2.2.7 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, 野中康輝, 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); 藤原康徳 (日本流星研究会); 西村耕司 (京大大学生存圏研究所); 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 10cm 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 $1 \mu\text{g}$ - 1mg 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: 6.4m , 周波数: 46.5MHz) 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。京大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: 330Hz) と東京大学木曾観測所の Tomo-e Gozen (2Hz) 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 (3200) Phaethon をフライバイ探査する「DESTINY+」は、2024 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 をフライバイして、搭載ダスト検出器によるダストのサイズと組成計測と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、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。そこで本研究では「ふたご座流星群」をターゲットにした観測を 2020 年、2022 年に実施した。2020 年 12 月 12 日~14 日 (20:00-30:00) のうち合計 16 時間実施し、MU レーダー単体では、散在流星 6392 個、ふたご座流星群 347 個を検出したが、ふたご座流星群極大前後の木曾観測所は悪天候であったため、MU レーダーと同時観測が成立した散在流星は 98 個、ふたご座流星群は 53 個とサンプルが少なく、RCS-等級関係については不十分な状況であった (図 3.2, 図 3.3)。一方、2022 年 12 月 14 日 (ふたご座流星群極大時間を含む) に約 8.3 時間、12 月 15 日に約 5.7 時間の計約 30TB の Tomo-e Gozen データの取得に成功し、MU レーダーの解析も含めてデータ解析を進めている。また、今回は、協定観測視野を含む視野で、光学分光観測も実施しており (約 200 個のふたご座流星群流星スペクトルを取得)、流星ヘッドエコー・可視撮像 (Tomo-e) ・可視分光の同時観測から、Fe/Mg/Na 組成 (発光強度比) と RCS-等級関係についての調査結果にも期待が持てる。

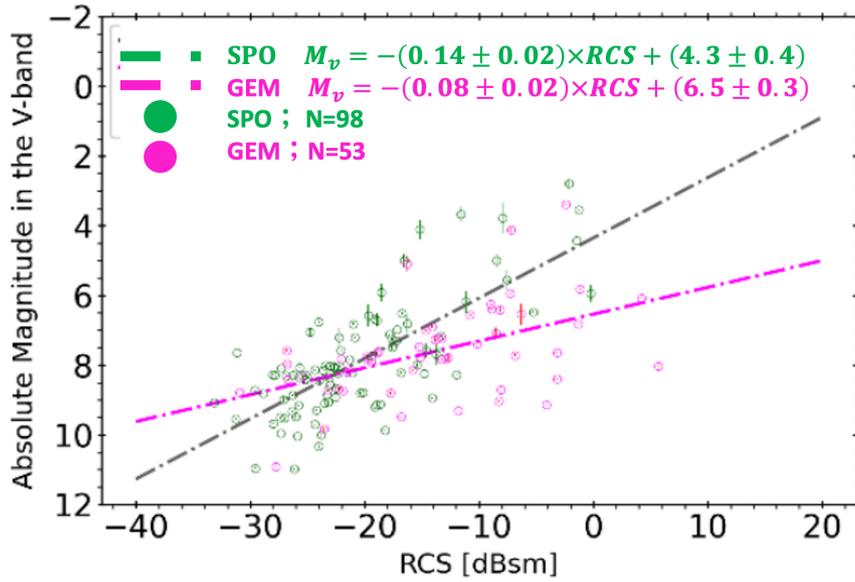
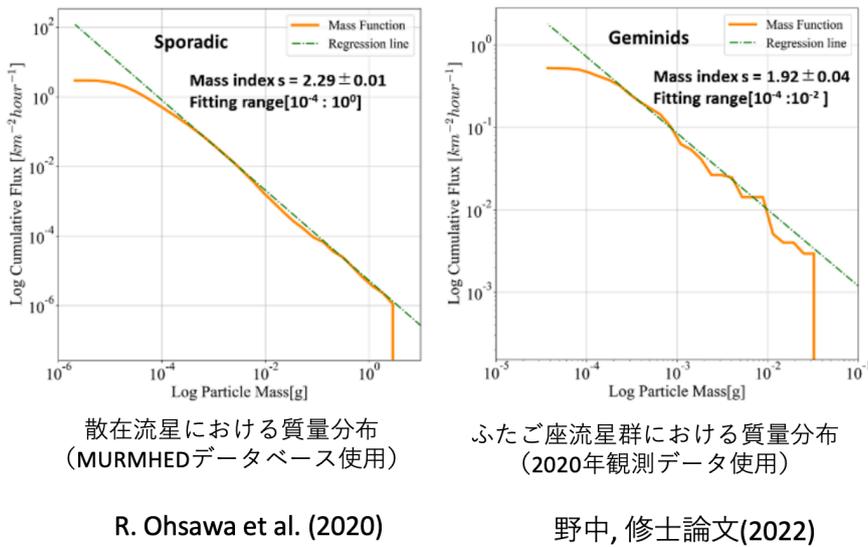


図 3.2: 低速散在流星 (対地速度 30-40km/s) とふたご座流星群 (35km/s) の RCS - 等級関係.



散在流星における質量分布 (MURMHEDデータベース使用)

ふたご座流星群における質量分布 (2020年観測データ使用)

R. Ohsawa et al. (2020)

野中, 修士論文(2022)

図 3.3: 低速散在流星とふたご座流星群の質量分布関数.

3.2.2.8 白色矮星および M 型矮星の秒スケール変動探査

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

白色矮星とは、電子の縮退圧によって支えられる岩石惑星サイズのコンパクト天体であり、太陽のおよそ 8 倍以下の質量を持つ恒星の進化の最終段階に形成される。白色矮星は 1783 年、W. Harshel によって発見され、1920 年代から 1930 年代にかけて S. Chandrasekhar らが理論的枠組みを完成させたが、形成進化史の中にくつつかの観測的なミッシングリンクが存在する。その代表格は連星白色矮星合体直後の高速回転フェーズ、圧力を復元力とする p モード振動、白色矮星周りの岩石惑星のトランジット信号、などである。これらは全て分より

短い時間スケールの変動によって特徴付けられ、CCD カメラを用いた従来の測光探査では検出が難しかった。

同様に秒変動を示す例として有力な現象が恒星フレアである。恒星フレアとは磁気リコネクションを起点とした数秒から数時間の増光現象であり、最も身近な恒星である太陽においても頻繁に観測されている。近年では Kepler 衛星や TESS 衛星によって多種多様な恒星フレアが観測されているものの、これらの測光観測は 1 点あたり数十秒程度の積分を行っているため短時間で増光する恒星フレアを検出することが困難であった。一方で恒星フレアの観測においては例えば太陽型星では星自体が明るいいためフレアの観測は高い測光精度を要求されるものの、M 型矮星などの比較的暗い星であれば最大で数十倍程度の増光が望めるため地上からの観測でも恒星フレア検出が期待できる。

木曾超広視野高速カメラ Tomo-e Gozen による動画観測であれば上記の分より短い時間スケールの変動を探査することが可能である。特に白色矮星、M 型矮星ともに全天に分布しているため、視野をランダムに選んでも大量の星を同時に観測ができる。本年度は、Tomo-e Gozen を用いて発見した 22 の超高速な恒星フレアに関する論文が論文誌に受理され、2022 年 8 月 8 日に *Publications of the Astronomical Society of Japan* から出版された (Aizawa *et al.*, 2022, PASJ, psac056)。また、本研究について東京大学理学系研究科からプレスリリースを行った¹。発見したフレアはこれまで見つかった高速なフレアの中で最も強力なフレアであり、1,000 ガウス程度の強い磁場中による磁気リコネクションにより誘発されたと考えられる。

また、白色矮星および M 型矮星の秒スケール変動探査をさらに推進するため、北天広域における秒スケールでの長時間動画サーベイを現在計画している。具体的には、木曾から観測できる全ての天域について 30 分から 1 時間の連続した 1Hz の光度曲線を取得することで、恒星の超高速変動現象を系統的に探査することを目標として準備を進めている。本年度は、解析コードの整備、観測領域の策定、サーベイパターンの検討、インプットカタログの作成などを進め、北天サーベイの準備を行った。

3.2.2.9 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); 金子慶子, 岩下光, 三ツ井健司, 福田武夫, 福嶋美津広, 神澤富雄 (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、選び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 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 を用いた明るい金属欠乏星探査観測を立案した。

2021 年度から、青木を代表とする基盤研究 (A) 「明るい金属欠乏星の全北天域探査による初代星元素合成と初期銀河系形成の解明」が採択され、国立天文台先端技術センター、オプトクラフトと協力して、木曾シュミット望遠鏡の球面の焦点面に平行な新フィルタホルダの製作を行った。また、CaH&K (395 nm) に対応する 11 枚、CH (433 nm) に対応する 10 枚の狭帯域フィルターを製作した。Q1 の新フィルタホルダ、狭帯域フィルターが完

¹ 『広視野動画撮影でとらえた赤色矮星たちの短時間閃光現象』

成した後、2022年9月8日-2022年10月5日に晴れ3晩分の試験観測を行った。その際、ガラス窓押さえのスリット穴からの漏れ光によるゴーストが観測されたものの、スリット穴をアルミテープでふさぐことによりゴーストは解消された。その後、焦点位置、積分時間と限界等級の関係を決定し、同一の焦点位置においてすべてのセンサーで十分に良好な星像で結像することを確認した上で、15秒積分で5000平方度程度の面積を探索した。これにより、12等より明るい天体を50万天体観測した。その後、機械学習、2色図、Gaiaの位置速度情報を用いて候補天体を選択し、そのうち、27天体に対してなゆた望遠鏡 Medium And Low-dispersion Long-slit Spectrograph (MALLS) を用いて中分散分光追観測（共同利用時間）を行った。その結果、6天体が低金属量 ($[M/H]_{i-2}$) であることが明らかとなった。これらの天体と、過去に Tomo-e Gozen データを用いて選択し MALLS での分光追観測で低金属量、低アルファ組成であることが明らかとなっている天体については、すばる望遠鏡 HDS、せいめい望遠鏡 GAOES-RV を用いた高分散分光観測を提案している。

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

木邑真理子 (理化学研究所); 酒向重行 (東京大学); 榎戸輝揚 (京都大学/理化学研究所); 岩切渉 (千葉大学)

2022年度は、2021年度年次報告で紹介した、矮新星 SS Cyg の Tomo-e Gozen(可視光)・NICER 望遠鏡 (X線) による多波長同時観測の研究成果が学術論文として出版され (Nishino et al. 2022, PASJ, 74, 3, L17), 東京大学主導でプレスリリース (タイトル: 可視光と X 線の高速同時観測が明らかにした白色矮星をとりまく高温ガスの姿) を行った。研究成果は、朝日新聞・信濃毎日新聞・木曾市民タイムズなど、多数の紙面・ネットニュースで報道された。また、12月に開催された XRISM core-to-core Multiwavelength Workshop 2022 において、上記の研究成果を紹介した。2023年度打ち上げ予定の XRISM 衛星は、X線精密分光観測に加え、高速撮像観測も可能である。SS Cyg は、打ち上げ後6ヶ月続く Performance Verification (PV) Phase における Priority A の観測ターゲットの一つであり、XRISM 衛星の特性を活かした初期成果の創出が期待されている。SS Cyg の観測の主目的の一つとして、空間分解できない白色矮星近傍の高温プラズマの幾何学構造を X 線精密分光で明らかにすることが掲げられている。Tomo-e Gozen と XRISM の同時観測を行うことで、Nishino et al. (2022) で示したように、X線精密分光とは別の方法で高温プラズマの構造に制限をつけることが可能であり、X線精密分光の解析結果を裏付ける成果を上げることが期待される。

また、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進めている。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多数あることから、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・継続時間・振幅・頻度などの時間進化を比較している。

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に挑戦した。その結果、2月21, 22, 23日に同時観測に成功した。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降着する。X線では、白色矮星の自転周期に相当する 351.3 秒のパルスが見えており、そのパルスの形状と振幅が時間変化していくことが分かった。また、アウトバースト後期には 10 秒から 100 秒程度のランダムな変動も散見された。現在、Tomo-e Gozen の可視光ライトカーブの抽出作業を行っており、可視光と X 線のランダムな変動の相関を調べる予定である。

3.2.2.11 重ね合わせ法による高速移動微小天体検出システムの開発

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, 紅山仁, 高橋英則 (東京大学); 阿部新助 (日本大学)

直径 10m 前後の微小な天体を多く発見することは、小天体の形成・進化を議論するための情報となるサイズ分布に制限を与える事になる。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 NEO の発見はプラネタリーディフェンスの観点からも重要である。高速移動天体は「トレイルロス」効果の影響を受けるために CCD を用いて長時間露出するという観測手法では検出が難しいが、高速読み出しを行う Tomo-e Gozen はこのような移動天体の観測に適しており、2023 年 3 月までで 49 個の NEO を発見している (§3.2.2.2)。

Tomo-e Gozen で発見された NEO には 10m 前後のサイズのものも含まれているが、2 fps (0.5 秒露出) のデータを用い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により検出限界を深め、0.5 秒露出の画像 1 枚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前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。さらに、データ I/O 速度向上のため SSD を用いて RAID0 を構成している作業領域が 42 チップ分 ×3 時間程度でフルになってしまうため、SSD を 4 倍の容量のものに換装した。

今後は、2022 年 12 月のふたご座流星群出現時に Tomo-e Gozen で取得したデータを用いて検出限界などの評価を行う一方で、美星スペースガードセンターでの追跡観測をよりスムーズに実施するための技術・態勢を整える事、処理能力を向上させて 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ように 2023 年度中に GPU マシンを木曾観測所に導入する事を計画している。

3.2.2.12 地球の影を狙った 1-fps 動画観測による ~ 1 s の継続時間を持つ突発現象の検出

有馬宣明, 土居守, 酒向重行, 諸隈智貴, 新納悠 (東京大学天文学教育研究センター); 富永望 (国立天文台/甲南大学); 田中雅臣 (東北大学); Michael Richmond (Rochester Institute of Technology)

近年の ZTF (Zwicky Transient Facility) を代表とする広視野 CCD カメラを用いた高頻度 ($\lesssim 1$ 日) なサーベイ観測によって、わずか数日で Ia 型超新星のピーク光度 ($M_B \sim -19$ mag) に達する、極めて稀 (典型的な超新星の $\leq 1\%$) で早い光度進化を示す Fast optical transients (FOTs) が発見されるようになった。一方でガンマ線や電波帯では継続時間が秒やそれ以下の高エネルギー突発天体であるガンマ線バースト (GRB; ~秒, $E \sim 10^{52-54}$ erg), Fast Radio Burst (FRB; ~ミリ秒, flux ~ 1 Jy at ~ 1 GHz) が知られている。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タイムスケールの可視光突発天体現象の発見を目指し、我々は Tomo-e Gozen による CMOS センサの高い時間分解能と 20 平方度の広い観測視野を活かした突発天体探査を行っている。太陽光の反射によって短時間 (~0.1 s) で光る人工衛星やスペースデブリといった人工天体の誤検出を最小化するため、静止軌道 (地球表面から高度 35,786 km) 上の地球の影となる領域に向けて毎秒 1 フレーム (1-fps) での動画観測を実施した。本観測で取得された 1 秒積分 $\times 120$ フレームが 1 セットの動画データから一部のフレームのみで光る点源ソースを見つけるための Python ベースの解析パイプライン (TomoePipe) を開発し (2021 年度年次報告), これまでに取得した地球影データ約 50 時間分の解析を実施しわずか 2 フレームのみで検出された *Gaia* G-band で約 16.8 mag の突発天体候補を発見した。この候補天体の座標には北天をカバーするパンスターズカタログ (PS1) で検出された $\lesssim 23$ mag までの可視光対応天体は存在していなかった。本天体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 PSF の seeing FWHM (約 3 秒角) 程度であるが、2 フレーム目では有意に広がった裾野成分

(約 10 秒角) が見られた。大気揺らぎの影響は通常 seeing サイズ程度で起こる現象であるため、この裾野成分を説明するために現在は太陽系内の小惑星等による微小固体の衝突による噴出物質の発光の可能性を考えている。また、これまでに実施した観測時間と観測面積より、深さ $G \sim 17.5$ mag ($S/N = 5$) の感度での、継続時間が $1 \leq t < 60$ s の可視光突発天体のイベントレートの上限值として $E_{\text{trans}} \lesssim 9.1 \times 10^{-2} \text{ deg}^{-2} \text{ day}^{-1}$ を得た。

- 有馬宣明 2022, “A Study of Short-Timescale Optical Transients Using the Wide-Field CMOS Camera Tomo-e Gozen” (広視野 CMOS カメラ Tomo-e Gozen を用いた短時間の可視光突発天体の研究), 東京大学大学院理学系研究科博士論文

3.2.2.13 Tomo-e Gozen による秒スケール突発現象の探査

田中雅臣, 高橋一郎 (東北大学); 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现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、動画データで 1 フレームだけ現れるような突発現象を効率的に発見すべく、物体検出アルゴリズム Single Shot Multibox Detector (SSD) と EfficientDet を用いた手法を開発してきた。この手法を Tomo-e Gozen で得られた 21 晩分の全天サーベイデータに適用した結果、94 個の秒スケール突発現象を発見することができた。それらの突発現象の明るさはおおよそ 15-16 等級であり、天球面上での分布はほぼ等方的であった。Tomo-e Gozen による地球の影方向の観測では、同様の突発現象の発見数は大幅に減ることが知られているため、この現象は地球を周回する物体 (1 cm 程度のスペースデブリ) が太陽光を反射することで発光したものだと考えられる。

上記のサーベイ観測の結果、このような秒スケール突発現象の頻度は 1 平方度・1 時間あたり 0.2-0.3 イベント程度であることが分かった。これは、全天で 1 日あたり 20-30 万イベントにも及ぶ頻度であり、例えば Fast Radio Burst の頻度よりも大幅に高い。すなわちこの結果は、可視光で秒スケールで変動する天体现象の宇宙物理学的研究を行うには、地球の影方向の観測を行うか、多波長での同時観測を行うことが必要不可欠であることを意味している。また、この短時間発光現象は 30 秒の積分時間でも 19 等級程度の天体として認識されるため、今後の高感度時間領域サーベイにおいても短時間突発天体の foreground 現象として検出されてしまうことが予想される。

3.2.2.14 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 (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. After its installation, an observation campaign was carried out during the last quarter of 2022. From these results (see Table 1), it is observed that the pipeline consistently detected a percentage of images with streaks on them, between 0.68% and 1.76% of the total number of images. The pipeline also tries to identify these streaks through matching with an updated database of catalogued objects. After the detection stage, the pipeline filters the images with the next criteria: both streak ends contained within each individual CMOS sensor bounds, and streaks no longer than two arcmin in length. With the previous conditions, there was a

certain number of Non-Catalogued (NC) objects detected per night, between 5.66% and 7.84% of the images with streaks.

In our next stage, we are working on the accurate obtaining of the astronomical coordinates of the streak ends through image processing and astrometric solving. These coordinates will be used to obtain the approximate position on the sky for the next pass of the LEO object, so this position will be sent to follow-up observatories to reobserve the object, and its orbital parameters will be calculated afterwards with high precision. For this step, a high processing speed is needed, and in figure 3.4 is shown the processing speed performance of the system. For individual images, the pipeline with GPU performs x73 times faster than its CPU counterpart. For multi-sensor images, the pipeline uses heterogeneous computing (multi-CPU/GPU architecture) that allows the system to process half of the Tomo-e sensor (42 individual sensors) with a speed close to real-time, that is, almost at the same rate the images are produced. Lastly, the pipeline performs an estimation of the streaks apparent magnitude, which evaluates the sensitivity of the system when compared with the estimated 5σ limiting magnitude of Tomo-e camera images, as seen in figure 3.5.

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>

Date	images(total)	images(streaks)	%streaks (total)	NC	%NC (streaks)
10/20	~10000	153	1.53	12	7.84
10/21	~10000	68	0.68	5	7.35
11/02	~20000	353	1.76	20	5.66

表 3.2: Results from 2022 observation campaign

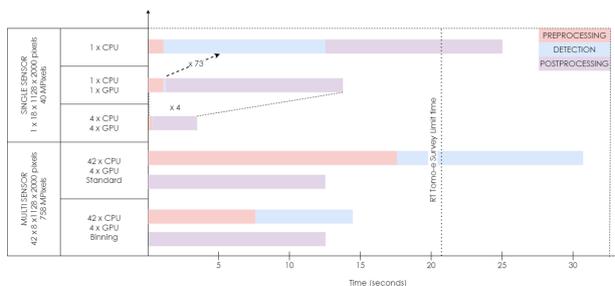


図 3.4: Speed performance

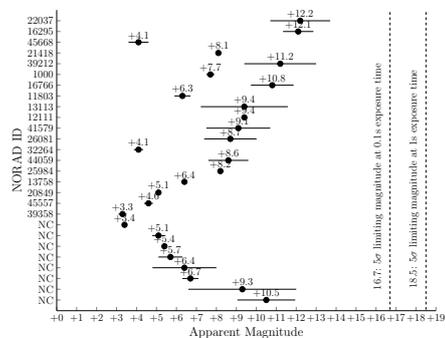


図 3.5: Photometric results

3.2.2.15 異常検知によるライトカーブ突発現象の解析

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リアルタイム検出するための異常検知法を開発している。その要素技術として、本研究では時系列データストリームを同一の生成分布に属する区間毎に量子化する動的ビンニング法 (*elastic data binning*, EDB) を提案している。ライトカーブは天体由来の信号成分の他に、大気ゆらぎや天候変化 (例. 雲の通過), 測定誤差といった多種多様なノイズ成分により構成されている。このようなノイズフルな時系列データに対して、EDB は、確率

不等式に基づき、統計的に有意な変動成分を正確に抽出することができる。図 3.6 は、ライトカーブに人工的な突発波形を付加して作成したベンチマークデータでの突発検出性能を示している。区間集約近似 (Pairwise Aggregate Approximation, PAA) に基づくデータ要約法や時系列索引 (Matrix Profile, MP) に基づく異常検知法に比べて、EDB は高い検出性能を有している。次にケーススタディとして、逢澤正嵩氏 (李政道研究所/上海交通大学), 檜山和己氏 (東北大学) らの研究グループより提供頂いた M dwarf のライトカーブデータを用いて、EDB によってフレアの検出が実際可能かどうかの予備実験を行っている。図 3.7 に示す通り、EDB は各フレアの発生区間を抽出できることがわかる。ただし、EDB により抽出される各時間区間が天体固有の信号成分であるか、それとも天候変化や測定誤差等のノイズ成分であるかの判定までは難しい状況である。判定の偽陽性を軽減するには、周囲の天体や自身の絞りサイズ (Aperture size) の異なるライトカーブを多角的に参照することが必要となる。その他、ウェーブレット変換に基づくノイズ除去の効用や深層学習に基づく異常検知法の性能を評価する課題にも取り組んでいる。近年、音声、画像、自然言語処理の分野では、Transformer に基づく優れた大規模モデル (LLM) が開発されており、スモールデータを扱う問題では LLM を利用した Few-shot 学習を行うことがデファクトとなっている。このような動向から、Tomo-e Gozen の生成する大量データを用いてライトカーブの LLM を構築するアプローチも今後重要になると思われる。

- [1] Thanapol Phungtua-eng and Yoshitaka Yamamoto: Elastic data binning a novel sketching time-series data, The 9th International Symposium toward the Future of Advanced Researches in Shizuoka University, poster presentation (2023.3)
- [2] Thanapol Phungtua-eng, Yoshitaka Yamamoto and Shigeyuki Sako: Elastic data binning for transient pattern analysis in time-domain astrophysics, The 38th ACM/SIGAPP Symposium On Applied Computing, pp. 342-349 (2023.3)

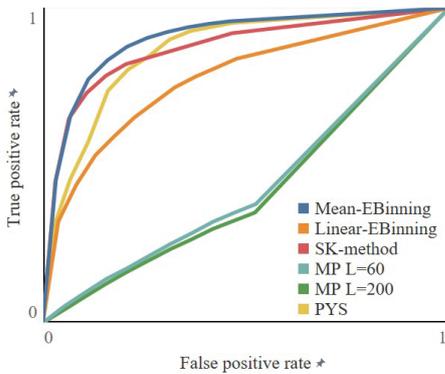


図 3.6: EDB による突発検出性能

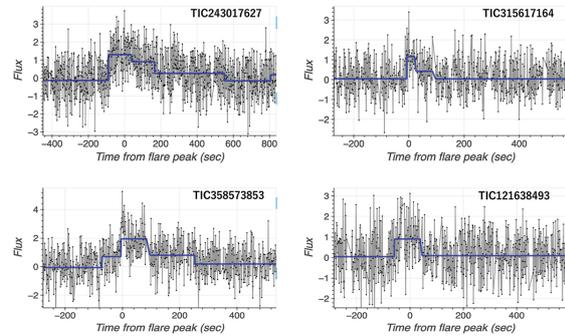


図 3.7: M dwarf フレアの突発検出例

3.2.2.16 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); 酒向重行 (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産学連携共同研究を実施している。本共同研究は、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た。結果、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]。現在では、2 Hz のサーベイ観測で得られた RA, Dec から人工天体の軌道決定を行うソフトウェアの開発に取り組んでいる。

1. <https://www.space-track.org/>
2. 満田, 酒向, Tomo-e Gozen プロジェクト, 東京大学木曾観測所モザイク 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, 木曾シュミットシンポジウム 2021, 2021/10/4-2021/10/6

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

2022 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モニタと向上化

観測が行われた日は、ポインティング精度計算プログラムを実行することでレポートを作成し、それを slack に投稿、観測グループと共有している。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、多くの場合は RA, DEC 軸の回転角度にオフセット値を加えることで、精度を維持し続けることが出来た。一方で、ポインティング補正パラメータの数が多く、それらのパラメータと望遠鏡の動作は非線形な関係があるため、今までは手動で探索可能な範囲で最適値を求めるだけであった。そのため、例えば、特異点である天の北極に近づくにつれ、ポインティング精度が悪くなるようなシステムティックな傾向が残っていた。そこで補正量が微小であるため、線形の範囲で近似、計算処理を最低限にするため経験上有効でないパラメータを使わないなどの条件下で、最適なパラメータの値を探索するプログラムを用意、広い望遠鏡の駆動範囲をカバーした約 9 千視野の観測データを適用、パラメータを求め直した。その結果、平均的なポインティング精度は今までは 15-20arcsec であったが、約 10 arcsec にまで抑え込むことが出来た。また、2 週間に 1 度の頻度で望遠鏡の原点合わせを行っていたが、多くの場合、その後の観測でポインティング精度が少し悪くなり、RA, DEC 軸の回転角度にオフセット値を加えることで修正し直していた。これは機械的な位置合わせを行うことで、かえって星の位置で合わせたポインティングが悪くなっていると考え、2023 年からは定期的な原点合わせを止めた。その結果、1 月から 3 月までの 3 ヶ月間の期間、ポインティング精度が維持出来ているのを確認した。

- ポインティング命令が無視される原因とその頻度調査

全天サーベイや高頻度サーベイの結果をスカイアトラスなどで確認すると、2 回連続で同一座標の空が観測されているケースがたまに見られている。これは 2 回目の観測はポインティング動作が行われずに露光

しているために起こっている。特に、その日の観測の一番始めにポインティング動作が行われずに露光開始すると、Tomo-e Gozen のソフトで禁止されている低高度での露光に該当するため、観測がストップする。復帰には人による確認が必要で、そのため時間ロスの原因にも成り得る。Tomo-e Gozen のソフトから望遠鏡駆動ソフトにポインティング命令を送り、そこから駆動機器に命令が送信されるのだが、このようなポインティング動作が実行されないケースは、そのどこかで命令が無視されていると考えられる。木曾シュミットの望遠鏡駆動の Windows ソフト「The Master of Telescope (以下 Master)」では、別の機器への命令の送受信履歴はログに記録されている。そこでポインティング動作しないケースのログ内容を確認した。その結果、「Master」から鏡筒内部にあるシーケンサへ命令を送信したというログが記録されていなかった。そこで、中継機器を介すことで通信の有無を直接調べた。すると、ポインティング動作していないケースでは、ログの記載通りにシーケンサへ命令が送信されていないことが分かった。よって、この不具合は「Master」のプログラムのバグに由来するものだと分かった。次にポインティングが実行されない頻度を調査するため、毎晩実行される全天サーベイと高頻度サーベイで2回連続で同じ座標で観測されている回数を電子ログを参照して数えている。その結果、ポインティングが実行されないで露光が行われるケースが0.5%程度で発生していることが分かった。また、この結果は slack に毎日報告されている。

- 命令した座標と空の座標の一致度合いの調査

毎日 slack で報告しているポインティング評価は、観測時の計算機上の座標と空の座標を比較することで行っている。一方で、命令した座標にきちんと望遠鏡が向けられているか、すなわち命令した座標と空の座標を比較した評価は行っていない。毎日行っているポインティング評価と同じように命令した座標と空の座標を直接比較して評価するのが最も良いが、Tomo-e Gozen のデータベースには、命令した座標の記録がないため簡単には調査出来ない。そこで、全天サーベイや高頻度サーベイでは、ディザリングパターンが決まっているため、それを利用し、サーベイのパターンと計算機上の座標を比較することで評価した。その結果、1セットの4視野露光、3回のディザリングのうち1回目のディザリングについて、座標が大きく (> 30 arcsec) ずれているケースが一定の割合 ($\sim 3\text{-}8\%$) で存在することが分かった。原因としては、ポインティング命令のタイミングや静定時間などに関わっていると考えられるが、その特定と解決方法についてはさらなる調査が必要である。また、毎晩の観測について、この一致度合いの頻度調査が実施され、その結果は slack で毎日報告されている。

- 木曾シュミット望遠鏡の Tomo-e Gozen カメラの天体導入のための座標変換ツールの作成

Tomo-e Gozen カメラには84枚のCMOSセンサーがモザイク状に設置されているが、センサー間にはセンサーと同程度の隙間があり、またカメラの視野中心の位置にはセンサーがない。このため、望遠鏡の視野中心に目的天体を向けたとしても、その天体はいずれのセンサーに入らない。よって、現状では特定の天体の観測やさらにセンサーの一部だけを使った高速読み出し観測を実施する場合、目的座標ではなく、その座標から適切に望遠鏡の視野中心に変換した座標を入力する必要がある。そのため、現在はブラウザベースでこの変換を実行した座標を表示するツールが用意されているが、望遠鏡と Tomo-e Gozen カメラの視野中心が一致し、かつカメラの幾何学的な方角と角度と、赤道座標の方角と角度がどの赤道座標でも一定であるという理想的な状況が仮定されている。また、入出力に手動操作が必要であり、スクリプト化や Queue システムに組み込むことが出来ない。よって、目的の天体を効率良くセンサーに導入、観測するため、Tomo-e Gozen カメラの任意センサーの任意の位置に天体を導入するための座標変換ツールを作成した。

Tomo-e Gozen カメラのセンサー間の相対的な位置関係は良く決まっているため、望遠鏡の視野中心とセンサー位置の理想的な場合の座標変換は演繹的に求められる。アーカイブデータを用い、望遠鏡の視野中心の座標とそれぞれのセンサー中心の座標の関係が理想的な場合の変換式と一致しているかどうかを調べた。用いたデータは2021年12月から2022年6月の期間で赤経、赤緯を満遍なく覆うように、かつ晴天日から約1万5千視野のデータを選んだ。また、調査は84個のセンサーそれぞれで行った。その結果、望遠鏡と Tomo-e Gozen カメラの理想的な場合の座標変換では、視野中心のオフセット以外に赤道座標に依存した

システムティックなずれが存在し、このまま変換式では高い位置精度で天体導入が出来ないと分かった。そこで、今回は観測の座標と理想的な場合の変換式で求めた座標の残差を経験的な式で表す方針とした。初めに実際の観測の座標と理想的な場合の変換式で求めた座標の残差を視野中心の座標の赤経 (α)、赤緯 (δ) の関数として定量的に調べた。その結果、単純なオフセットに加え、1) $\sin \alpha$ に比例する項、2) $\tan \delta$ に比例する項、3) $|\tan \delta|^{1.5} \times \sin \alpha$ に比例する項の和でほぼ表せることが分かった。さらに実用的には、センサの座標から視野中心へ変換が必要なため、センサの座標の関数として残差を説明する関数が必要となる。そのためには上記の 1), 3) の $\sin \alpha$ の位相に $\tan \delta$ に比例した項 ($p \tan \delta + q$) を加え、3) の $|\tan \delta|$ の指数を固定値の 1.5 からパラメータ ($|\tan \delta|^x$) とすることで残差を表すことが出来た。最終的な精度としては、a) 視野中心に近いセンサが最も導入精度が良い ($\lesssim 1$ arcsec)、b) 視野中心から離れるほど導入精度が悪くなる (平均で 0 から 6 arcsec)、c) δ の絶対値が大きくなるほど導入精度が落ちる (平均で 0 から 20 arcsec) という結果を得た。今回の理想的な場合の変換式と実際の観測データとの残差は、Tomo-e Gozen カメラの取り付け位置と角度、望遠鏡の駆動の座標系と実際の空の赤道座標系のずれで生じていると考えられ、その関係性を適切にパラメータ化したモデルを作れば、広い座標、広い視野で導入精度が向上すると思われ、今後の課題である。現在、この座標変換にもとづいた天体導入は、Queue システムに”PointSensor”として実装されている。

- 望遠鏡駆動ソフト「Master」の更新

望遠鏡駆動ソフト「Master」に以下の更新が行われた。

- 今まで望遠鏡のポインティング命令について、赤経と赤緯での制御は 2000 年分点座標、時角と赤緯の制御は望遠鏡機械座標でしかポインティング出来なかったが、両方で 2000 年分点座標、瞬時分点座標、望遠鏡機械座標の 3 つの座標系でポインティング出来るように新たな socket 通信のコマンドが実装された。
- socket 通信の望遠鏡ステータスで取得出来る望遠鏡の角度について、今までは限られた座標系であったが、赤経と赤緯、時角のそれぞれの 2000 年分点座標、瞬時分点座標、望遠鏡機械座標の値を取得出来るようになった。
- socket 通信で取得できる望遠鏡のポインティング角度と時間についてのすべてのパラメータで、有効数字を arcsec の桁まで拡張した。

- 実習用フィルタ

木曾シュミット望遠鏡及び Tomo-e Gozen を使った東京大学や他大学の学部実習や銀河学校では、その多くで光学フィルタを用いている。今までは、窓ホルダのガラスを光学フィルタに置き換えた別の窓ホルダと交換することで、フィルタを用いた観測を行っていたが、交換時に Tomo-e Gozen カメラに触ることで静電気などによるダメージの危険があること、実習終了後に通常の観測が出来ないことなどの問題があった。そこで、写真乾板時に使われていたフィルタ枠とその駆動システムが当時と同じ仕組みで使えるため、これを再利用したフィルタ交換システムを作成した。初めに、2022 年 8-9 月は、KWFC で用いていた g' -band, r' -band, i' -band と $H\alpha$ -band の 4 つのフィルタを 1 枚ホルダにインストールしたシステムを作成した。ただ、フィルタが重く、フィルタ枠を駆動するモーターの力が十分でなかったため、望遠鏡の向きを変え、モーターの負荷が小さい状態で収納する必要があった。そこで、2023 年 3 月の銀河学校の前に、2KCCD で使用していたフィルタを使う方式に変更した。2 つの枠を使い、1 つの枠に B -band, V -band, R -band と I -band の 4 枚のブロードバンドフィルタをインストール、別の枠に $H\alpha$ -on-band, $H\alpha$ -off-band, $H\beta$ -on-band と $H\beta$ -off-band の 4 つのナローバンドフィルタをインストールした。さらに、フィルタの厚さに違いがあることから、フィルタ毎にフォーカス値が異なることが想定されるため、8 つのフィルタのそれぞれに対応したフォーカス値を求めた。

- ミラーサンプルのモニタリング

2021年11月に主鏡の再蒸着を行ったが、その際に複数のサンプル鏡も製作、望遠鏡の3箇所（主鏡縁、ミラーカバー、鏡筒先端）に固定した。約1年後の2022年11月にサンプルミラーの反射率の測定を行った。その結果、デシケーターに保存されたサンプルを含め蒸着直後よりも反射率の低下が見られた。反射率はデシケーターでの保存、主鏡縁、ミラーカバー、鏡筒先端の順で良いことが分かったが、この傾向はこちらの想定した通りである。

- フラットポジションのモニター調査

Tomo-e Gozen のフラットは、高い精度を得るため、観測の始まる前に取得されるフラット板を照射して得られるドームフラットに対し、暗夜に取得され、正しいフラットと考えられるスカイフラットによる補正を入れることで作られている。スカイフラットを取得した日のフラット板とその日の観測時のフラット板の位置が大きくずれている場合、スカイフラットによる補正が正しく効かず、フラットにずれが生じることが分かってきた。そこで、フラット板の位置がどの程度ずれているのかを確認する目的で、望遠鏡の鏡筒先にレーザーポインタを取り付け、レーザーポインタからフラット板に照射された位置を定期的に調べている。その結果、フラット位置が上から見て右回転方向に少しづつずれていくことが分かった。明確な理由は分からないが、Tomo-e Gozen による観測は平均的には右回転方向に進んでいくことが分かっているため、ドーム回転エンコーダの脱調やデジタル誤差の積み重ねによると推測される。そこで、モニタリングを継続すると共に、Tomo-e Gozen カメラの位置や星像に関わるような大きな改修を行った場合、スカイフラットを取り直して更新しているのだが、そのタイミングで取得したドームフラット板の位置を基準に、「Master」でドーム位置のオフセット値を変更することで、ドーム位置の合わせ直しを実施している。

- ドームスリットモーター用のインバータのパラメータ調整

2022年3月にドームスリット開閉電源用の無停電電源(UPS)を導入、これによって停電時にスリットが常時開放状態となる危険は無くなった。また、この改修に伴って、スリット開閉用のモーターの駆動が商用電源の直接入力からインバータ制御に変更された。しかし、導入当時、スリットが閉じる動作の途中や閉まった瞬間にインバータやUPSに過負荷がかかり、モーターが停止する事態が発生することがあった。そこでインバータのパラメータであるトルクブーストと電子サーマルの値を大きくし、負荷の上限を上げることで、通常の開閉時にインバータが停止することはなくなった。また、この時の改修で、扉を閉じるときのロジックも変更され、今までは左上、右下、左上、左下で動作する4つのモーターに対応したリミットスイッチがすべて入ったときに、すべてのモーターが同時に停止するようになっていたが、今はドーム内側から見て右下の1箇所のリミットスイッチが入るときにすべてのモーターが停止するようになった。さらに、開閉する度に左下のリミットスイッチと扉のスイッチを押すパーツの距離が僅かであるが離れ、それに伴って開閉の度にスリットの隙間が大きくなっていく問題(1回の開閉で約7mm)が発生してしまっていた。複数のリミットスイッチが入って初めてすべてのモーターが停止する従来と同じロジックへの修正を考えたが、閉まる瞬間の過負荷が避けられず、インバータやUPSが耐えられないと考え実施していない。現状は、観測翌日にスリットの隙間がなくなるように手動で片側のスリットを動かし閉めることで対処している。根本的な解決のために過負荷がかからない所でモーターを停止させかつ隙間が広がることを防ぐ必要があるが、それにはそれぞれのモーターが適切な位置にあるリミットスイッチで独立に停止することで可能になると考えられ、現状の回路とそのロジックの解読と修正回路の設計を進めた。

- 電灯制御高速化

2019年度に観測床と制御室の電灯を遠隔でON/OFF出来るように改修を行った。ただ、動作に非常に時間がかかり、使いづらい状況であった。今回、使用しているリモートI/O機器(MOXA社ioLogik E1214)の制御をブラウザをブラインドで操作する方式から組み込みのREST APIを使う方式にプログラムを変更することで、遅延時間なく動作するようになった。

- その他

2022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。

- － RA, DEC 軸ギアの定期的なグリスアップ
- － ドームスリット最下の戸当り部に機密防水ゴムテープの交換及び追加の貼り付け
- － 観測床, 3階部分の清掃
- － 3階への階段の端に滑り止めテープの貼り付け, 手すりにグリップクッションの貼り付け

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。2022 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進めた。特にこれまでとは制御系の更新を行っているところが重要な点である。30cm 望遠鏡に実際の利用としては、皆既月食や天王星蝕の画像撮影の他、木曾観測所サポーターズクラブ講習会をはじめ、一般向けの観望会なども行った。

3.2.4 計算機の保守、整備

3.2.4.1 新規計算機の受け入れ・立ち上げ

Tomo-e Gozen は多くの計算機によって運用されており、運用を継続するためには計算機の保守管理と状況に合わせた更新が必要になる。本年度は以下の通り新規計算機の受け入れおよび立ち上げを行った。

- デブリサーベイ用 GPU 計算機 gpu002 新規受入、運用開始 (9 月)
- 突発天体サーベイ用 GPU 計算機 kagayaki 新規受入、運用開始 (12 月)
- 環境監視用計算機バックアップ teru2 新規導入 (2 月)

3.2.4.2 既存計算機・設備の拡充

- Tomo-e Gozen 一時保存用バッファ計算機 tomoebuf-node3 の SMOKA 計算機への RAW データ転送用の LAN ケーブルを SMOKA の規格へ交換し、前年に新しく開けた壁の穴を通してケーブルの配線を整えた (5 月)。

- Tomo-e Gozen アーカイブシステム

新規ストレージ用計算機 `tomoearv-node3` を導入して 430 TB×2 の大容量ストレージシステムを構築した。既存のアーカイブシステムのストレージ容量リミットが切迫していたため、データを `tomoearv-node3` へと移行させた (6-7 月)。詳細は 3.2.1 「Tomo-e Gozen アーカイブシステムの拡張」を参照。

- 突発天体サーベイ用計算機

`gwdata` の HDD を 6TB から 18TB に交換し、18TB × 4 の RAID10 構成に変更した (6 月)。

- 国立天文台アーカイブシステム SMOKA 計算機

UPS を SUA2200JB から SMT2200J へ交換し、バッテリーも新しくした (6 月)。

- 本館計算機室の整備

2200VA の UPS に対応するため、100V 30A のコンセントを 2 個増設した (6 月)。計算機の増加により室内温度が下がらなくなったため、エアコンを増設した (9 月)。

- ドーム計算機室の整備

新規ラックの導入に備えて、200V 電源の増設とエアコンの増設を行った (2 月)。

3.2.4.3 障害対応

- 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 3 回発生し、ハードディスクを交換した (5 月 17 日, 7 月 4 日, 7 月 25 日)。`tomoearv-node3` の電源が入らなくなる問題が発生し、マザーボードと CPU を交換した (3 月)。

- 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-node0` で 1 回 (6 月 6 日)、`tomoebuf-node2` で 1 回 (11 月 7 日) 発生し、ハードディスクを交換した。

- 突発天体サーベイ用計算機

`gwdata2` の電源が故障したため交換した (6 月)。`shinohara12` 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 (12 月 9 日)。

- 国立天文台アーカイブシステム SMOKA 計算機

`panda2` がフリーズし、再起動しても OS が起動しなくなった。OS のディスクの故障と考えられ、SMOKA から代替機を送ってもらって交換した (2 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, 12 月)。

- ネットワークスイッチの UPS

本館とドームのネットワークスイッチラックの UPS が劣化してきたため、バッテリーを交換した (6 月, 7 月)。

- UTNET スイッチ設置・ネットワーク回線変更 (8月)
観測所の基本ネットワーク (1Gbps 所内ネットワーク) を全学的なネットワーク構成へ移行するために、UTNET スイッチが設置された。また、VPN で UTNET に直接接続する方式へ変更するため、これまでの回線・プロバイダ (OCN 光) を解約し、フレッツ網の回線・VPN を新たに契約した。新規回線用に、本館建物内に NTT の光ケーブルが新たに敷設された。
- 全学無線 LAN アクセスポイントの増設 (3月)
全学無線 LAN の全学的な更新に伴い、木曾観測所内の無線 LAN アクセスポイントの機器更新およびアクセスポイントの増設が行われた。アクセスポイントが3か所 → 10か所に増えるとともに、ドームや夜天光にもアクセスポイントが設置され、観測所内のほとんどの場所から全学無線 LAN を使用できるようになった。アクセスポイントの設置箇所は以下の通り。
 - ・本館1階廊下1か所 → 3か所
 - ・本館2階廊下1か所 → 2か所
 - ・食堂
 - ・講義室 (機器更新のみ)
 - ・ドーム制御室
 - ・ドーム展示室
 - ・夜天光観測室
- SINET 接続 (3月)
木曾広域連合木曾広域情報センターにより、塩尻から SINET6 松本ノードまでの専用線の契約と接続工事が進められ、3月20日に木曾観測所から SINET6 松本ノードまで 10Gbps の専用線が開通した。SINET6 の L2VPN サービスを申請して、木曾観測所と本郷キャンパスにある理学系のルーターを L2VPN で接続した。大学から新たに /26 の IP アドレスを割り当ててもらい、理学系でのルーティングによって、SINET 経由でのインターネット接続を実現した。詳細は [3.2.1](#) 「木曾観測所からの SINET 接続」を参照。

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
木曾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。2022年度内に SMOKA を介して木曾観測所関連のデータ利用申請は延べ8件あり、1KCCD のデータは0フレーム、2KCCD のデータは222フレーム、KWFC のデータは6178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。
- 写真乾板デジタルデータ
木曾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込まれている他、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 月以降のデータについてはデータ占有期間を 2 年から 3 年へ変更するため、2022 年 4 月 1 日～2023 年 3 月 31 日の間は新たなデータの公開はなかった。一方で、3 プロジェクトに加えていくつかのプロジェクト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、公開対象のリストを SMOKA に送付した。データの公開に向けて、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を、国立天文台に設置された SMOKA の計算機へ 10 Gbps 外部ネットワークを経由して逐次転送している。

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 に及ぶため全てを転送することは現実的ではなく、一部のデータのみ転送することとした。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。

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、観測時間外に転送する。約 2 か月ごとに書き込み済みのハードディスクを SMOKA へ郵送してデータを渡している。RAW データの公開は未定であるが、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まずは目的として実施している。

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・木曾観測所); 田中培生 (東京大学・天文学教育研究センター); 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・チャナンツール山頂の 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 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. スターバースト銀河 NGC253 の空間分解された星形成活動

高橋英則 (東京大学・木曾観測所); 中西康一郎, 松尾宏 (国立天文台)

mniTAO/ANIR によるスターバースト銀河 NGC253 のデータ解析を進めている。データは 2013 年 11 月の観測ランで取得されたもので、continuum を含む Pa α , Pa β を中心に電離領域の空間分布を探る。これらを併せて議論することで星形成の空間分布の他に、その進化を追うことができる。近赤外線にある水素再結合線 Pa α は、可視の H α などに比べて長波長にあるため、ダスト減光に強く、銀河内部まで見通すことができる。特にダストが豊富な星形成領域における星形成活動を見るよい指標になる。NGC253 は比較的近傍にあるスターバースト銀河であり、ANIR によって空間分解した星形成活動を調査することができる。ANIR のデータ以外にも、VLA や NRO での電波観測、あかりや Herschel の遠赤外線データと比較することで、温度や密度などの空間分解した物理状態に強い制限を与えることができる。

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)

様々な天文学の研究分野から強い要請がありながら、世界的にも実用例がない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) を大口径望遠鏡の観測装置の前置光学モジュールとして搭載、その実用可能性を示すことを主目的とした開発研究を行っている。科学的には、大規模星形成領域の物理状態を銀河系内の星団レベルから近傍・遠方銀河まで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にある。そのための開発要素として、近赤外線波長域に最適化された光学素子 (エタロン) の設計・製作と波長走査のための駆動機構および測距機構の開発が必須となる。これまでに、(1) ファブリ・ペローエタロンの光学設計を行い、近赤外線波長全域 (1~2.5 μ m) に渡ってフラットな反射特性を低温で実現する大口径の多層膜を有した素子の製作に成功、(2) 平行におかれた 2 枚のエタロンの平行度を保持しつつ、微小距離の走査するための圧電素子 (ピエゾ素子) の選定と入手、(3) 光学素子のギャップ間を測定、光学素子間隔調整へフィードバックするための静電容量センサーの選定と入手、(4) これらのコンポーネントを組み合わせたアルミニウム製の分光器試作モデルの製作、などが完了している。さらに (5) ピエゾ素子駆動と静電容量センサーによる測距をクローズドループ制御することで、常にエタロンの間隔・平行性を維持しながら波長走査を行う制御系の設計も並行して行った。観測計画に関しては、共同研究者との協議は主にオンラインを通じて行われ、分光モジュールの完成後および観測運用の再開時に即時対応できるように準備を進めた。

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. Kasagi, Y.; Kotani, T.; Kawahara, H.; Tajiri, T.; Muto, T.; Aizawa, M.; Fujii, M. S. ; Hattori, K.; Masuda, K.; Momose, M.; Ohsawa, R.; Takita, S.
“Dippers from TESS Full-frame Images. II. Spectroscopic Characterization of Four Young Dippers”
The Astrophysical Journal Supplement Series, Volume 259, Issue 2, id.40, 12 pp. (04/2022)
2. Tambo, Y.; Nogami, D.; Kato, T.; Ayani, K.; Naito, H.; Narita, N.; Fujii, M.; Hashimoto, O.; Kinugasa, K.; Honda, S. ; Takahashi, H.; Narusawa, S.; Sakamoto, M.; Imada, A.
“Spectroscopic observations of V455 Andromedae superoutburst in 2007: The most exotic spectral features in dwarf nova outbursts ”
Publications of the Astronomical Society of Japan, Volume 74, Issue 2, pp.460-476 (04/2022)
3. Aihara, H.; Takita, S. and 135 coauthors
“Third data release of the Hyper Suprime-Cam Subaru Strategic Program”
Publications of the Astronomical Society of Japan, Volume 74, Issue 2, pp.247-272 (04/2022)
4. Li, X.; Miyatake, H.; Luo, W.; More, S.; Oguri, M.; Hamana, T.; Mandelbaum, R.; Shirasaki, M.; Takada, M.; Armstrong, R.; Kannawadi, A.; Takita, S.; Miyazaki, S.; Nishizawa, A. J.; Plazas Malagon, A. A. ; Strauss, M. A. ; Tanaka, M.; Yoshida, N.
“The three-year shear catalog of the Subaru Hyper Suprime-Cam SSP Survey ”
Publications of the Astronomical Society of Japan, Volume 74, Issue 2, pp.421-459 (04/2022)
5. Berné, O.; Ohsawa, R. and 135 coauthors
“PDRs4All: A JWST Early Release Science Program on Radiative Feedback from Massive Stars”
Publications of the Astronomical Society of the Pacific, Volume 134, Issue 1035, id.054301, 22 pp. (05/2022)
6. Niino, Y.; Doi, M.; Sako, S.; Ohsawa, R. ; Arima, .; Jiang, J.; Tominaga, N.; Tanaka, M.; Li, D.; Niu, C.; Thai, C.; Kobayashi, N. ; Takahashi, H.; Kondo, S.; Mori, Y.; Aoki, T.; Arimatsu, K.; Kasuga, T. ; Okumura, S.
“Deep simultaneous limits on optical emission from FRB 20190520B by 24.4 fps observations with Tomo-e Gozen ”
The Astrophysical Journal, 931, 109, 7 pp. (06/2022)

7. Nishino, Y.; Kimura, M.; Sako, S.; Beniyama, J.; Enoto, T.; Minezaki, T.; Nakaniwa, N.; Ohsawa, R.; Takita, S.; Yamada, S.; Gendreau, K. C.
“Detection of highly correlated optical and X-ray variations in SS Cygni with Tomo-e Gozen and NICER ”
Publications of the Astronomical Society of Japan, Volume 74, Issue 3, pp.L17-L22 (07/2022)
8. Beniyama, J.; Sako, S.; Ohsawa, R.; Takita, S.; Kobayashi, N.; Okumura, S.; Urakawa, S.; Yoshikawa, M.; Usui, F.; Yoshida, F.; Doi, M.; Niino, Y.; Shigeyama, T.; Tanaka, M.; Tominaga, N.; Aoki, T.; Arima, N.; Arimatsu, K.; Kasuga, T.; Kondo, S.; Mori, Y.; Takahashi, H.; Watanabe, J.
“Video observations of tiny near-Earth objects with Tomo-e Gozen ”
Publications of the Astronomical Society of Japan, Volume 74, Issue 4, pp.877-903 (08/2022)
9. Cegarra Polo, M.; Yanagisawa, T.; Kurosaki, H.
“Real-time processing pipeline for automatic streak detection in astronomical images implemented in a multi-GPU system”
Publications of the Astronomical Society of Japan, Volume 74, Issue 4, pp.777-790 (08/2022)
10. Takahashi, I.; Hamasaki, R.; Ueda, N.; Tanaka, M.; Tominaga, N.; Sako, S.; Ohsawa, R.; Yoshida, N.
“Deep-learning Real/Bogus classification for the Tomo-e Gozen transient survey ”
Publications of the Astronomical Society of Japan, Volume 74, Issue 4, pp.946-960 (08/2022)
11. Bouy, H.; Tamura, M.; Barrado, D.; Motohara, K. ; Castro Rodríguez, N.; Miret-Roig, N. ; Konishi, M. ; Koyama, S. ; Takahashi, H.; Huéramo, N. ; Bertin, E. ; Olivares, J.; Sarro, L. M. ; Berihuete, A. ; Cuillandre, J. -C. ; Galli, P. A. B. ; Yoshii, Y. ; Miyata, T.
“Infrared spectroscopy of free-floating planet candidates in Upper Scorpius and Ophiuchus”
Astronomy & Astrophysics, Volume 664, id.A111, 14 pp. (08/2022)
12. Izumi, N.; Kobayashi, N.; Yasui, C.; Saito, M.; Hamano, S.; Koch, P. M.
“Star Formation Activity beyond the Outer Arm. II. Distribution and Properties of Star Formation ”
The Astrophysical Journal, Volume 936, Issue 2, id.181, 29 pp. (09/2022)
13. Hamano, S.; Kobayashi, N.; Kawakita, H.; Takenaka, K.; Ikeda, Y.; Matsunaga, N.; Kondo, S.; Sameshima, H.; Fukue, K.; Otsubo, S.; Arai, A.; Yasui, C.; Kobayashi, H.; Bono, G.; Saviane, I.
“Survey of Near-infrared Diffuse Interstellar Bands in Y and J Bands. I. Newly Identified Bands ”
The Astrophysical Journal Supplement Series, Volume 262, Issue 1, id.2, 18 pp. (09/2022)
14. Aizawa, M.; Kawana, K.; Kashiyama, K.; Ohsawa, R.; Kawahara, H.; Naokawa, F.; Tajiri, T.; Arima, N.; Jiang, H.; Hartwig, T.; Fujisawa, K.; Shigeyama, T.; Arimatsu, K.; Doi, M.; Kasuga, T.; Kobayashi, N.; Kondo, S.; Mori, Y.; Okumura, S.; Takita, S.; Sako, S.
“Fast optical flares from M dwarfs detected by a one-second-cadence survey with Tomo-e Gozen ”
Publications of the Astronomical Society of Japan, Volume 74, Issue 5, pp.1069-1094 (10/2022)

15. Matsumoto, A.; Ouchi, M.; Nakajima, K.; Kawasaki, M.; Murai, K.; Motohara, K.; Harikane, Y.; Ono, Y.; Kushibiki, K.; Koyama, S.; Aoyama, S.; Konishi, M.; Takahashi, H.; Isobe, Y.; Umeda, H.; Sugahara, Y.; Onodera, M.; Nagamine, K.; Kusakabe, H.; Hirai, Y.; Moriya, T. J. ; Shibuya, T.; Komiyama, Y.; Fukushima, K.; Fujimoto, S.; Hattori, T.; Hayashi, K.; Inoue, A. K. ; Kikuchihara, S.; Kojima, T.; Koyama, Y.; Lee, C.; Mawatari, K.; Miyata, T.; Nagao, T.; Ozaki, S.; Rauch, M.; Saito, T.; Suzuki, A.; Takeuchi, T. T.; Umemura, M.; Xu, Y.; Yabe, K.; Zhang, Y.; Yoshii, Y.
“EMPRESS. VIII. A New Determination of Primordial He Abundance with Extremely Metal-poor Galaxies: A Suggestion of the Lepton Asymmetry and Implications for the Hubble Tension ”
The Astrophysical Journal, Volume 941, Issue 2, id.167, 14 pp. (12/2022)
16. 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 (01/2023)
17. Yasui, C.; Kobayashi, N.; Saito, M.; Izumi, N.; Ikeda, Y.
“Mass Function of a Young Cluster in a Low-metallicity Environment. Sh 2-209 ”
The Astrophysical Journal, Volume 943, Issue 2, id.137, 26 pp. (02/2023)
18. Uno, K.; Maeda, K.; Nagao, T.; Nakaoka, T.; Motohara, K.; Tajitsu, A.; Konishi, M.; Koyama, S.; Takahashi, H.; Tanaka, M.; Kuncarayakti, H.; Kawabata, M.; Yamanaka, M.; Aoki, K.; Isogai, K.; Taguchi, K.; Ogawa, M.; Kawabata, K. S.; Yoshii, Y.; Miyata, T.; Imazawa, R.
“SN 2020uem: a Possible Thermonuclear Explosion within a Dense Circumstellar Medium. I. The Nature of Type II_n/Ia-CSM SNe from Photometry and Spectroscopy”
The Astrophysical Journal, Volume 944, Issue 2, id.203, 17 pp. (02/2023)

3.2.8.2 国際会議集録等

1. Cegarra Polo, M.; Yanagisawa, T.; Kurosaki, H.
“Real-time Processing Pipeline for Automatic Detection and Identification of Faint Streaks in Astronomical Images through multi-CPU/GPU Heterogeneous Computing ”
44th COSPAR Scientific Assembly. Held 16-24 July, 2022. Abstract PEDAS.1-0006-22. (07/2022)
2. Miyata, T.; Yoshii, Y.; Doi, M.; Kohno, K.; Tanaka, M.; Motohara, K.; Minezaki, T.; Sako, S.; Morokuma, T.; Tanabe, T.; Hatsukade, B.; Konishi, M.; Takahashi, H.; Kamizuka, T.; Egusa, F.; Sameshima, H.; Asano, K.; Nishimura, A.; Koyama, S.; ; Kato, N.; Numata, M.; Aoki, T.; Bronfman, L.; Ruiz, M.; Hamuy, M.; Mendez, R.; Garay, G.; Escala, A.
“The University of Tokyo Atacama Observatory 6.5m telescope: project status 2022 ”
Proceedings of the SPIE, Volume 12182, id. 1218211 9 pp. (08/2022)

3. Tsutsuki, R.; Sako, S.; Takahashi, H.; Kondo, S.; Takita, S.; Ohsawa, R.; Beniyama, J.; Miyata, T.; Kamizuka, T.; Takahashi, I.
“Development of an infrared all-sky camera system for cloud monitoring”
Proceedings of the SPIE, Volume 12184, id. 121848F 12 pp. (08/2022)
4. Kamizuka, T.; Miyata, T.; Sako, S.; Ohsawa, R.; Asano, K.; Nishimura, A.; Tachibana, K.; Michifuji, T.; Iida, H.; Naruse, A. C. ; Uchiyama, M.; Sakon, I.; Onaka, T.; Kataza, H.; Hasegawa, S.; Usui, F.; Takato, N.; Ebizuka, N.; Hosobata, T.; Aoki, T.; Doi, M.; Egusa, F.; Hatsukade, B.; Kato, N.; Kohno, K.; Konishi, M.; Koshida, S.; Koyama, S.; Minezaki, T.; Morokuma, T.; Motohara, K.; Numata, M.; Sameshima, H.; Takahashi, H.; Tamura, Y.; Tanabe, T.; Tanaka, M.; Kushibiki, K.; Chen, N.; Homan, S.; Yoshii, Y.
“Development status of TAO/MIMIZUKU: performance test of the near-infrared channel ”
Proceedings of the SPIE, Volume 12184, id. 121845J 13 pp. (08/2022)
5. Michifuji, T.; Kamizuka, T.; Miyata, T.; Jikuya, I.; Uchida, D.; Kondo, T.; Yamada, K.; Honda, M.; Sako, S.; Ohsawa, R.; Asano, K.; Tachibana, K.; Iida, H.; Naruse, A. C. ; Sakon, I.
“Development of a cold chopper for TAO/MIMIZUKU: cryogenic test ”
Proceedings of the SPIE, Volume 12188, id. 121883G 9 pp. (08/2022)
6. Naruse, A. C. ; Kamizuka, T.; Miyata, T.; Sako, S.; Nishimura, A.; Sakon, I.; Ohsawa, R.; Asano, K.; Tachibana, K.; Michifuji, T.; Iida, H.
“Development of a flat calibration unit for TAO/MIMIZUKU ”
Proceedings of the SPIE, Volume 12188, id. 121883U 10 pp. (08/2022)
7. Kushibiki, K.; Ozaki, S.; Takeda, M.; Hosobata, T.; Yamagata, Y.; Morita, S.; Nakagawa, K.; Saiki, T.; Ohtake, Y.; Tsuzuki, T.; Mitsui, K.; Okita, H.; Motohara, K.; Takahashi, H.; Konishi, M.; Kato, N. M.; Koyama, S.; Chen, N.; Homan, S.; Yasuda, A.W
“Development status of a near-infrared integral field unit SWIMS-IFU ”
Proceedings of the SPIE, Volume 12188, id. 121882V 13 pp. (08/2022)
8. Takeda, M.; Kushibiki, K.; Hosobata, T.; Yamagata, Y.; Morita, S.; Saiki, T.; Nakagawa, K.; Ohtake, Y.; Motohara, K.; Ozaki, S.; Tsuzuki, T.; Takahashi, H.; Konishi, M.
“Diamond machining of two-in-one optical element including slice mirror array for near-infrared integral-field spectrograph ”
Proceedings of the SPIE, Volume 12188, id. 121882X 11 pp. (08/2022)

3.2.8.3 天文電報等

1. Tanaka, M. ; Okumura, S. -I. ; Takahashi, H. ; Osawa, K. ; Motohara, K. ; Konishi, M. ; Tateuchi, K. ; Kato, N. ; Morokuma, T. ; Ohsawa, R. ; Koshida, S. ; Yoshii, Y. ; Nishimura, Y.
“VizieR Online Data Catalog: 1.87 and 2.07um observations of 3 GC clusters (Tanaka+, 2018) ”

VizieR On-line Data Catalog: J/MNRAS/480/1507. Originally published in: 2018MNRAS.480.1507T (05/2022)

2. Bouy, H.; Tamura, M.; Barrado, D.; Motohara, K. ; Castro Rodríguez, N.; Miret-Roig, N. ; Konishi, M. ; Koyama, S. ; Takahashi, H.; Huélamo, N. ; Bertin, E. ; Olivares, J.; Sarro, L. M. ; Berihuete, A. ; Cuillandre, J. -C. ; Galli, P. A. B. ; Yoshii, Y. ; Miyata, T.

“VizieR Online Data Catalog: Free-floating planet candidates in Upp Sco and Oph (Bouy+, 2022)”

VizieR On-line Data Catalog: J/A+A/664/A111. Originally published in: 2022A&A...664A.111B (06/2022)

3. Sinha, T.; Sharma, S.; Panwar, N.; Matsunaga, N.; Ogura, K.; Kobayashi, N.; Yadav, R. K.; Ghosh, A.; Pandey, R.; Bisht, P. S.

“VizieR Online Data Catalog: Members of Sh 2-190 and PMS variables (Sinha+, 2021)”

VizieR On-line Data Catalog: J/ApJ/921/165. Originally published in: 2021ApJ...921..165S (02/2023)

3.2.8.4 学位論文

1. 有馬 宣明

“A Study of Short-Timescale Optical Transients Using the Wide-Field CMOS Camera Tomo-e Gozen”
東京大学 令和4年度 博士論文

2. 岡田 寛子

「狭帯域測光探査で発見された金属欠乏星候補の中分散分光追観測」
甲南大学 令和4年度 修士論文

3. 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」
東京大学 令和4年度 卒業研究

4. 笹岡 大雅

「Tomo-e transient survey における新たな即時天体検出手法の導入」
東京大学 令和4年度 卒業研究

5. 佐藤 滯央

「多色撮像データにおける小惑星の検出とその性質の調査」
東京学芸大学 令和4年度 卒業論文

6. 荒井 陽太

「木曾シュミット望遠鏡と Tomo-e Gozen を用いた星形成領域 L1251 の観測研究」
東京電機大学 令和4年度 卒業論文

7. 浦川 天駿

「木曾シュミット望遠鏡による星団形成領域 L1251 の観測～空の影響の除去について～」
東京電機大学 令和4年度 卒業論文

8. 小野 聡仁

「木曾シュミット望遠鏡・Tomo-e Gozen による星形成領域の観測 ～星の光度曲線自動生成ツールの開発～」

東京電機大学 令和4年度 卒業論文

9. 中村 涼

「木曾シュミット望遠鏡を用いた星形成領域 L1228 の観測」

東京電機大学 令和4年度 卒業論文

10. 皆木 大河

「星形成領域 L1251 の観測研究 ～高時間分解能観測データに及ぼす人工衛星の影響～」

東京電機大学 令和4年度 卒業論文

3.2.8.5 和文論文・解説記事他

1. 中島康, 小澤武揚, 小野里宏樹, 森由貴, 市川伸一

「SMOKA / Tomo-e Gozen データ公開システムの開発」

国立天文台報, 2022年23巻, p. 1-15

2. 樋口あや (東京電機大学)

「東京電機大学天文学研究室の立ち上げとその運営」

Stars and Galaxies, 2022年5巻 (2022年12月)

3. 樋口あや (東京電機大学)

「天文学研究室の新設とその運営」

天文教育研究会 (2022年年会) 集録

3.2.9 学会, 研究会等での報告**3.2.9.1 国際研究会**

1. SPIE Astronomical Telescopes + Instrumentation 2022 (Montréal, 2022/07/17 - 22)

“Development of an infrared all-sky camera system for cloud monitoring”

津々木里咲 (東京大学), ポスター発表

2. The XXXI General Assembly of the International Astronomical Union (Busan, The republic of Korea + online, 2022/08/12 - 11)

“Subsecond Photometry of Tiny Near-Earth Objects with Tomo-e Gozen”

紅山仁 (東京大学), 招待講演

3. Chile-Japan Academic Forum 2022 (Los Lagos, the Republic of Chile + online, 2022/11/29-30)

“Quick Follow-up Observations of Near-Earth Asteroids”

紅山仁 (東京大学), 口頭講演

3.2.9.2 日本天文学会 2022 年秋季年会 (新潟大学, 2022/09/12-15)

1. 谷口大輔, 松永典之, 小林尚人, Mingjie Jian, Brian Thorsbro, 近藤荘平, 鮫島寛明 (東京大学), 福江慧 (滋賀医科大学), 池田優二, 河北秀世 (京都産業大学), 濱野哲史, 安井千香子 (国立天文台)
N16c 「赤色超巨星をトレーサーとした系外銀河の化学組成研究に向けて—太陽近傍天体を用いた解析手法の試験」
2. 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), Tomo-e Gozen コラボレーション
N18a 「超新星爆発の初期放射で探る爆発直前の大質量星の姿」
3. 岡田寛子 (甲南大学), 富永望 (国立天文台), 本田敏志, 古塚来未 (兵庫県立大学), 諸隈智貴 (千葉工業大学)
N29a 「明るい金属欠乏星の狭帯域測光探査および中分散分光追観測」
4. 泉奈都子 (ASIAA), 安井千香子, 齋藤正雄 (国立天文台), 徳田一起 (九州大学/国立天文台), 小林尚人 (東京大学), Patrick M. Koch (ASIAA)
P104a 「低金属量大質量星形成領域 Sh2-209 における CO マッピング観測」
5. 紅山仁, 酒向重行, 大澤亮, 瀧田怜 (東京大学), 奥村真一郎, 浦川聖太郎 (日本スペースガード協会), 吉川真, 白井文彦 (宇宙航空研究開発機構宇宙科学研究所), 吉田二美 (産業医科大学, 千葉工業大学惑星探査研究センター), 前原裕之 (国立天文台), OISTER コラボレーション
P324a 「微小高速自転小惑星 2022 JL の即時モニタリング観測」
6. TF Zhang, M Doi, S Sako, R Ohsawa (Institute of Astronomy The University of Tokyo); T Morokuma (Chiba Institute of Technology); N Tominaga (NAOJ/Konan University); M Tanaka (Tohoku University)
PS21a 「Optical Variability of Blazars in the Tomo-e Gozen Northern Sky Transient Survey」
7. 宮田隆志 (東京大学), 吉井讓 (東京大学, アリゾナ大学), 土居守, 河野孝太郎, 峰崎岳夫, 酒向重行, 廿日出文洋, 江草芙実, 小西真広, 上塚貴史, 高橋英則, 松林和也, 加藤夏子, 沼田瑞樹, 鮫島寛明, 山岸光義, 大澤亮, 浅野健太郎, 小山舜平, 堀内 貴史 (東京大学), 本原顕太郎 (国立天文台, 東京大学)
V220a 「東京大学アタカマ天文台 TAO 6.5m 望遠鏡計画 進捗報告 2022」
8. 穂満星冴, 小西真広, 高橋英則, 小山舜平, 加藤夏子, 櫛引洗佑, 陳諾, 安田彩乃 (東京大学), 本原顕太郎 (国立天文台)
V221a 「SWIMS(近赤外線 2 色同時多天体分光撮像装置) の検出器性能評価」
9. 櫛引洗佑 (東京大学), 尾崎忍夫 (国立天文台), 竹田真宏, 細島拓也, 山形豊 (理化学研究所), 森田晋也 (東京電機大学), 中川桂一, 佐伯峻生, 大竹豊 (東京大学), 都築俊宏, 三ツ井健司, 沖田博文 (国立天文台), 本原顕太郎 (国立天文台, 東京大学), 高橋英則, 小西真広, 小山舜平, 加藤夏子, 陳諾, 穂満星冴 (東京大学)
V222a 「近赤外線面分光ユニット SWIMS-IFU: すばる望遠鏡でのファーストライト」
10. 上塚貴史, 宮田隆志, 酒向重行, 大澤亮, 浅野健太郎, 橘健吾, 飯田熙一, 成瀬日月, 左近樹 (東京大学), 尾中敬 (明星大学, 東京大学), 片ざ宏一, 長谷川直, 白井文彦, 内山瑞穂 (JAXA), 海老塚昇, 細島拓也 (理化学研究所), 吉井讓 (東京大学, アリゾナ大学), 土居守, 河野孝太郎, 峰崎岳夫, 廿日出文洋, 江草芙実, 小西真広, 高橋英則, 松林和也, 鮫島寛明, 山岸光義, 小山舜平, 堀内貴史, 加藤夏子 (東京大学), 本原顕太郎 (国立天文台)
V223a 「TAO 6.5-m 望遠鏡用中間赤外線観測装置 MIMIZUKU: 近赤外線チャンネルの性能評価」

11. 成瀬日月, 上塚貴史, 宮田隆志, 酒向重行, 左近樹, 大澤亮, 浅野健太郎, 橘健吾, 飯田熙一 (東京大学)
V224a 「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ユニットの開発」
12. 飯田熙一, 宮田隆志, 上塚貴史, 酒向重行, 大澤亮, 左近樹, 浅野健太郎, 橘健吾, 成瀬日月 (東京大学)
V226b 「30 - 38 μ mm 中間赤外線観測ユニット TAO/MIMIZUKU MIR-L の開発」
13. 新納悠, 土居守, 酒向重行, 大澤亮, 有馬宣明, 小林尚人, 高橋英則, 近藤莊平, 森由貴, 青木勉 (東京大学), 富永望, Ji-an Jiang, 春日敏測 (国立天文台), 田中雅臣 (東北大学), Di Li, Chen-Hui Niu, Chao-Wei Tsai (NAOC), 有松亘 (京都大学), 奥村真一郎 (日本スペースガード協会)
W13a 「高速 CMOS カメラ Tomo-e Gozen による Fast Radio Burst 可視光放射の探査」
14. 押切翔, 田中雅臣, 高橋一郎 (東北大学), 富永望 (国立天文台), 諸隈智貴 (千葉工業大学), Tomo-e Gozen コラボレーション
W23a 「Tomo-e Gozen の高頻度サーベイを用いた Fast Optical Transient 探査」
15. 松本明訓 (東京大学), 大内正己, 中島王彦, 本原顕太郎 (国立天文台/東京大学), 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
X56a 「すばるによる極金属欠乏銀河観測: 原始 He 量測定と系統誤差の評価」
16. 村田勝寛 (東京工業大学), 富永望, 岩田悠平, 柳澤顕史, 吉田道利 (国立天文台), 内海洋輔 (Stanford 大学), 田中雅臣 (東北大学), 中岡竜也, 川端弘治 (広島大学), 野上大作, 太田耕司 (京都大学), 笹田真人, 河合誠之 (東京工業大学), 新納悠, 酒向重行 (東京大学), 本田敏志, 伊藤洋一 (兵庫県立大学), 伊藤亮介 (美星天文台), 鈴木大介 (大阪大学), 諸隈智貴, 秋田谷洋 (千葉工業大学), 関口雄一郎 (東邦大学), ほか J-GEM collaboration
Z104a 「Japanese Collaboration for Gravitational-Wave Electromagnetic Follow-up (J-GEM)」
17. 野上大作 (京都大学), 高橋幸弘, 高木聖子 (北海道大学), 大朝由美子 (埼玉大学), 土居守, 酒向重行 (東京大学), 河合誠之, 村田勝寛 (東京工業大学), 金田英宏, 楠根貴成 (名古屋大学), 太田耕司 (京都大学), 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), 泉浦秀幸, 花山秀和, 関口和寛 (国立天文台), 他 OISTER コンソーシアム
Z105a 「地上からのフォローアップ観測: OISTER」

3.2.9.3 日本天文学会 2023 年春季年会 (立教大学, 2023/03/13-16)

1. 山村一誠 (JAXA 宇宙科学研究所), 小笹隆司 (北海道大学), Poshak Gandhi (サウサンプトン大学), 植田稔也 (デンバー大学), 泉浦秀行 (国立天文台), 瀧田怜 (東京大学)
N21a 「突発的質量放出天体 WISE J180956.27 - 330500.2 のダストシェル構造 (2)」
2. 宮田隆志 (東京大学), 吉井讓 (東京大学, アリゾナ大学), 土居守, 河野孝太郎, 崎岳夫, 酒向重行, 甘日出文洋, 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, 鮫島寛, 山岸光義, 浅野健太郎, 小山舜平, 堀内貴史 (東京大学), 本原顕太郎 (国立天文台, 東京大学)
V208a 「東京大学アタカマ天文台 TAO 6.5m 望遠鏡計画 進捗報告 2023」
3. 小西真広 (東京大学), 本原顕太郎 (国立天文台, 東京大学), 高橋英則, 小山舜平, 加藤夏子, 櫛引洗佑, 陳諾, 穂満星冴, 安田彩乃 (東京大学), 吉井讓 (東京大学, アリゾナ大学), 土居守, 河野孝太郎, 宮田隆志, 峰崎岳夫, 酒向重行, 甘日出文洋, 江草芙実, 上塚貴史, 松林和也, 鮫島寛明, 山岸光義, 浅野健太郎, 堀内貴史, 沼田瑞樹 (東京大学), 大澤亮 (国立天文台)
V209a 「TAO 6.5m 望遠鏡用近赤外線観測装置 SWIMS: すばる望遠鏡での共同利用運用報告」

4. 松林和也, 土居守, 酒向重行 (東京大学), 都築俊宏, 池之上文吾, 小原直樹, 尾崎忍夫, 本原顕太郎 (国立天文台), 前田啓一, 太田耕司 (京都大学)
V225a 「可視 3 色高速撮像分光装置 TriCCS 用面分光ユニット開発 -光学設計-
5. 竹内智美, 大坪翔悟, 猿楽祐樹, 加藤晴貴 (京都産業大学), 池田優二 (京都産業大学, Photocoding), 松永典之, 谷口大輔, 近藤荘平 (東京大学), 濱野哲史 (国立天文台), 吉川智裕 (Edechs), Andrew McWilliam, Charlie Hull (Carnegie Observatories), WINERED グループ
V228a 「近赤外線高分散分光器 WINERED: Magellan 望遠鏡ファーストライト」
6. 金井昂大, 大朝由美子 (埼玉大学), 高橋英則 (東京大学), 橋本修 (ぐんま天文台)
V230a 「三波長同時撮像装置 MuSaSHI のぐんま天文台 150cm 望遠鏡搭載と観測 (2)」
7. 津々木里咲, 酒向重行, 瀧田怜, 紅山仁, 高橋英則, 近藤荘平, 森由貴 (東京大学), 大澤亮 (国立天文台), 諸隈智貴 (千葉工業大学), 池田思朗 (統計数理研究所), João Pedro Pedrosa (ポルト大学)
V233a 「Tomo-e Gozen 広域サーベイの動的最適化システムの開発」
8. 有馬宣明, 土居守, 酒向重行, 新納悠 (東京大学), 冨永望, 大澤亮 (国立天文台), 田中雅臣 (東北大学), Michael Richmond (Rochester Institute of Technology)
W03a 「短時間の可視光突発現象の検出を目指した広視野 CMOS カメラ Tomo-e Gozen の大規模動画データ解析パイプラインの開発」
9. 反保雄介, 磯貝桂介, 小路口直冬, 加藤太一, 伊藤潤平, 野上大作 (京都大学), 木邑真理子 (理化学研究所), 大朝由美子 (埼玉大学), 村田勝寛 (東京工業大学), 堀内貴史 (国立天文台), 中岡竜也 (広島大学), 高橋隼 (兵庫県立大学), 松本桂 (大阪教育大学), 酒向重行 (東京大学), 他 VSNET team collaboration, OISTER team collaboration, Tomo-e team collaboration)
W09a 「史上最大規模の矮新星アウトバースト: MASTER OT J030227.28+191754.5」
10. 樋口あや (東京電機大学)
Y05a 「東京電機大学天文学研究室の立ち上げとその運営」
11. 中道晶香 (京産大共通教育), 長谷川隆 (県立ぐんま天文台), 高橋英則 (東大木曾), 井上毅 (明石市立天文科学館), 塚田健 (平塚市博物館), 青沼恵人, 伊藤寛子, 大野智洋, 大野浩輝, 岡本沙紀, 川口音晴, 北川陽斗, 妹尾梨子, 田中匠, 千葉遼太郎, 中尾俊介, 山田耀 (東大), 安藤唯花 (北海道教育大), 大平達也 (京大), 岡崎小春 (東京藝大), 小野祐 (Harvard Univ.), 桑江優希 (広島大), 清水美結 (東京理科大), 牧田遥翔 (埼玉大)
Y12b 「国際天文学オリンピックへ日本チーム初参加」
12. 小澤武揚, 小野里宏樹, 中島康 (国立天文台)
Y14b 「光学赤外線天文学観測データアーカイブシステムにおける検索高速化の研究」

3.2.9.4 日本天文学会第 25 回ジュニアセッション (立教大学+オンライン, 2023/3/14)

1. 銀河学校 2022 B 班: 楠元康生 (2022 年卒)(久留米大学附設高等学校), 藤本真優 (2022 年卒)(神戸女学院高等学部), 藤田真広 (高 3)(大阪星光学院高等学校), 川畑隆盛 (高 3)(ルネサンス高等学校), 佐々木ハナ (高 2)(札幌日本大学高等学校), 三井敬斗 (高 2)(駿台甲府高等学校), 下河邊太智 (高 2)(海城高等学校), 谷敷怜空 (高専 2)(豊田工業高等専門学校)
「木曾 105cm シュミット望遠鏡での $H\alpha$ 線観測に基づいた銀河系の星形成率の推定」

3.2.9.5 木曾シュミットシンポジウム 2022

木曾シュミットシンポジウム 2022 を7月5日-6日に木曾文化公園第二会議室とオンライン（Zoom）によるハイブリッド形式で開催した。現地参加 40名, オンライン参加 55名, 合計 95名という多数の参加申し込みがあり, 27件の発表が行われた。



図 3.8: 木曾シュミットシンポジウム 2022 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. 高橋 英則 (東京大学) | 木曾観測所報告 2021-2022 |
| 2. 酒向 重行 (東京大学) | Tomo-e Gozen の1年 |
| 3. 田中 雅臣 (東北大学) | Tomo-e Gozen Transient Survey |
| 4. 高橋 一郎 (東北大学) | 機械学習による Tomo-e Gozen 動画データからの短時間突発現象の検出 |
| 5. 村井 結太 (東北大学) | 超新星爆発の初期放射で探る爆発直前の大質量星の姿 |
| 6. 前原 裕之 (国立天文台) | せいめい望遠鏡向け自動観測システムの開発状況 |
| 7. 小野里 宏樹 (国立天文台) | SMOKA の現状と今後の計画 |
| 8. 瀧田 怜 (東京大学) | Tomo-e Gozen Calibration data analysis |
| 9. 津々木 里咲 (東京大学) | 全天サーベイの最適化に向けた赤外線全天雲モニタの開発-試験観測結果 |
| 10. 新納 悠 (東京大学) | Fast Radio Burst の可視光高速観測 |
| 11. 押切 翔 (東北大学) | Tomo-e Gozen の高頻度サーベイを用いた Fast Optical Transient 探査 |
| 12. 富永 望 (国立天文台) | 狭帯域フィルターを用いた金属欠乏星探査 |
| 13. 岡田 寛子 (甲南大学) | 狭帯域測光探査によって発見された金属欠乏星候補の分光追観測 |
| 14. 神前 卓爾
(木曾観測所サポーターズクラブ) | 木曾町の夜空のスペクトル：夜間大気光と光害 |
| 15. 田口 健太 (京都大学) | 広視野・高頻度サーベイと即時フォローアップによる新星初期の観測可能性 |
| 16. 川端 美穂 (京都大学) | 3.8m せいめい望遠鏡による近傍超新星の追観測 |
| 17. 松林 和也 (東京大学) | TriCCS による Tomo-e 天体のフォローアップ観測に向けた準備 |
| 18. 稲垣 順也 (名古屋市科学館) | 名古屋市科学館のデジタル式プラネタリウム更新と天文データの活用 |

19.	紅山 仁 (東京大学)	Tomo-e と TriCCS による微小高速自転小惑星 2022 JL の即時モニタリング観測
20.	奥村 真一郎 (日本スペースガード協会)	Tomo-e Gozen と重ね合わせによる微小 NEO 観測：進捗報告
21.	阿部 新助 (日本大学)	DIMS 流星観測カメラ・ステータスレポート
22.	Masataka Aizawa (Tsung-Dao Lee Institute)	Tomo-e Gozen による M dwarf からの超高速フレアの探索
23.	檜山 和己 (東北大学)	単独白色矮星のサブ分変動探査
24.	Phungtua-eng Thanapol (静岡大学)	Data sketching for transient detection in Tomo-e light curve data
25.	鈴木 尚孝 (Lawrence Berkeley National Laboratory)	Searching for Close Binary Systems in Milky Way Galaxy as Potential Gravitational Wave Sources
26.	藤沢 健太 (山口大学)	山口干渉計によるコンパクト天体の短時間強度変動観測
27.	芹野 素子 (青山学院大)	MAXI と Tomo-e Gozen との連携

3.2.9.6 その他の国内研究会・発表

- なゆた UM (オンライン, 2022/07/25)
「狭帯域測光探査で発見された金属欠乏星候補の分光追観測」
岡田寛子 (甲南大学), 富永望 (国立天文台), 諸隈智貴 (千葉工業大学), 本田敏志, 古塚来未 (兵庫県立大学)
- 銀河考古学研究会 2022 (東北大学+オンライン, 2022/09)
「明るい金属欠乏星の狭帯域測光探査および中分散分光追観測」
岡田寛子 (甲南大学)
- 日本惑星科学会 2022 年秋季講演会 (ザ・ヒロサワ・シティ会館 (水戸) + オンライン, 2022/09/20-22)
「微小地球接近小惑星 2022 JL の即時モニタリング観測」
紅山仁 (東京大学)
- 第 66 回宇宙科学技術連合講演会 (熊本, 2022/11/1-4)
「プラネタリーディフェンスのための地球接近小惑星探査と即時追跡観測」
紅山仁, 酒向重行, 大澤亮, 瀧田怜, 小林尚人 (東京大学), 奥村真一郎, 浦川聖太郎 (日本スペースガード協会), 吉川真, 白井文彦 (宇宙航空研究開発機構宇宙科学研究所), 吉田 二美 (産業医科大学/千葉工業大学惑星探査研究センター)
- 初代星・初代銀河研究会 2022 (徳島大学+オンライン, 2022/11/10-12)
「狭帯域測光探査で発見された金属欠乏星候補の分光追観測」
岡田寛子 (甲南大学), 富永望, 青木和光 (国立天文台), 本田敏志, 古塚来未 (兵庫県立大学), 諸隈智貴 (千葉工業大学)
- 突発天体研究会 2022 (Hotel 大広苑+オンライン, 2022/11)
「明るい金属欠乏星の狭帯域測光探査および中分散分光追観測」
岡田寛子 (甲南大学)
- 第 11 回可視赤外線観測装置技術ワークショップ 2022 (京都大学, 2022/12/21-23)
「Tomo-e Gozen サーベイ観測の最適化アルゴリズムとシステム開発」
津々木里咲, 酒向重行, 瀧田怜, 紅山仁, 高橋英則, 近藤荘平, 森由貴 (東京大学), 大澤亮 (国立天文台), 諸隈智貴 (千葉工業大学), 池田思朗 (統計数理研究所), João Pedro Pedrosa (ポルト大学)

8. 第11回可視赤外線観測装置技術ワークショップ2022(京都大学, 2022/12/21-23)
「Tomo-e Gozen Sky Atlas のアップデート」
瀧田 怜 (東京大学), Tomo-e Gozen プロジェクト
9. 第11回可視赤外線観測装置技術ワークショップ2022(京都大学, 2022/12/21-23)
「ガウス過程による小惑星の自転周期の推定」
和田空大 (東京大学)
10. 光赤外線大学間連携初心者向け装置開発講習会第1回講座(天文学教育研究センター+オンライン, 2023/01/11)
「天文観測機器開発あれこれ」
高橋英則 (東京大学)
11. 2022年度宇宙電波懇談会シンポジウム(国立天文台+オンライン, 2023/03/27-28)
”A study of star-forming regions L1251/L1228 by using the Kiso Schmidt telescope and Tomo-e Gozen”
樋口あや, 荒井陽太, 浦川天駿, 小野聡仁, 中村涼, 皆木大河 (東京電機大学)
12. 第28回天体スペクトル研究会(宮城教育大学+オンライン, 2023/03)
「中分散分光とスペクトルフィッティング法による金属欠乏星候補の組成決定」
岡田寛子 (甲南大学)

3.2.9.7 普及講演

1. おんたけ休暇村'22 自然体験事業-春の星空観望会(名古屋市民休暇村, 25名, 2022/05/07)
「宇宙で働く天文台」
高橋英則 (木曾観測所)
2. おんたけ休暇村'22 自然体験事業-おんため天文教室(名古屋市民休暇村, 30名, 2022/08/29)
「木曾観測所ってどんなところ？」
高橋英則 (木曾観測所)
3. 宇宙県流星会議(塩尻市市民交流センターえんぱーく + Zoom, 2022/10/10)
「トモエゴゼンが観た太陽系小天体」
大澤亮 (国立天文台)
4. 第7回「長野県は宇宙県」ミーティング公開講演会(木曾文化公園文化ホール + Zoom, 2022/12/10)
「月曜から金曜まで夜ふかし ～トモエゴゼンによる小惑星探し～」
紅山仁 (東京大学)
5. 上田市丸子公民館一般講演会(上田市丸子公民館, 90名, 2023/01/21)
「トモエゴゼンが見つけた宝物 -天体観測は宝さがし-」
高橋英則 (木曾観測所)
6. あち自由大学第41回講座(阿智村公民館, 15名, 2023/03/21)
「星はなぜ見える」
小林尚人 (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。2022年度は、学部3年生5名とTA1名に代表者を加えた合計7名で2022年10月25日-27日に実施した。

まず10月25日の前半夜に近傍銀河団 Abell 2634 を g' と i' 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、 $g' - i'$ に基づく早期型銀河の選び出しまでを行った。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。今回は過去の観測に比べて PSF FWHM が $\simeq 6''$ と大きかった。Tomo-e Gozen のフォーカスががややずれていた可能性があり、今後は観測前にフォーカスチェックを行う方がいいかもしれない。

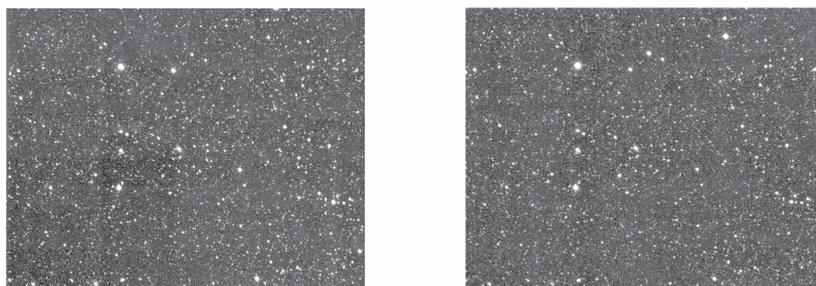


図 3.9: 解析の結果得られた g' (左) と i' (右) のモザイク画像 (千葉遼太郎氏のレポートより)

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。

2022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2022年12月19日-12月21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13:30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。前年度の本実習で製作した偏光シートを使った対物偏光装置を修理して使用できるようにした後、観測天体の選定を行った。夜間に Tomo-e Gozen に対物偏光装置を設置して観測を実施したが、観測開始直後に天候が悪化したためデータを取得できなかった。

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。夜間に天候が回復したため対物偏光装置を用いた観測を実施した。

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. 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)

2022 年度の天体観測実習は、8月17日(水)から20日(土)の三泊四日で行った。参加者は文教大学教育学部3年生1名、4年生1名、大妻女子大学社会情報学部3年生2名、東京学芸大学教育学部3年生6名の計10名と、本研究代表者・共同研究者の教員4名である。

本実習の主な内容は、1) 観測所本館設備と105cm シュミット望遠鏡/Tomo-e Gozen の見学、2) 併設されている名古屋大学太陽電波望遠鏡の見学、3) Kiso Wide Field Camera (=KWFC) で取得された観測データを用いた解析実習とその結果報告、である。

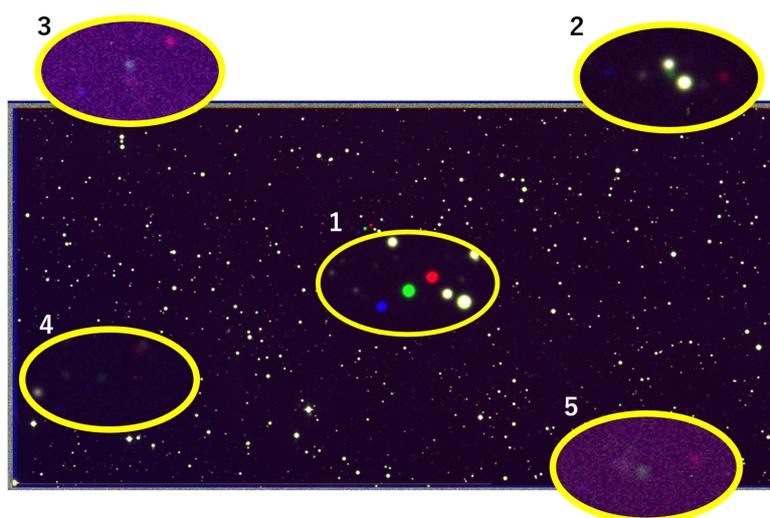


図 3.10: 衝となる黄道領域の疑似カラー画像と検出された小惑星。小惑星は3つの原色の連なりとして観測される。

1) については、観測所スタッフによる解説と、105cm シュミット望遠鏡への Tomo-e Gozen の搭載作業の見学、ドーム内の一般見学用展示の見学を行った。

3) については、当初、Tomo-e Gozen を用いた観測データの取得を予定していたが、悪天候のため、予備データを用いた実習に切り替えた。なお、最終夜に多少天候条件が回復したため、本実習の教員による Tomo-e Gozen による観測を行い、渦巻銀河 NGC7331 の多色撮像データなどを取得した。

予備データを用いた画像解析実習では、学生2名を一班とし、各班毎に a) 小惑星の探索と距離算出、b) 色・等級図を用いた散開星団 M39 の年齢・金属量の推定、c) 色・等級図を用いた球状星団 M15 の年齢・金属量の推定、d) RR Lyr 型星による球状星団 M15 の距離算出、e) 渦巻銀河 M101 の表面輝度および色の動径方向分布の調査、をテーマとした。以下に学生が作成した図を用いて詳細を報告する。

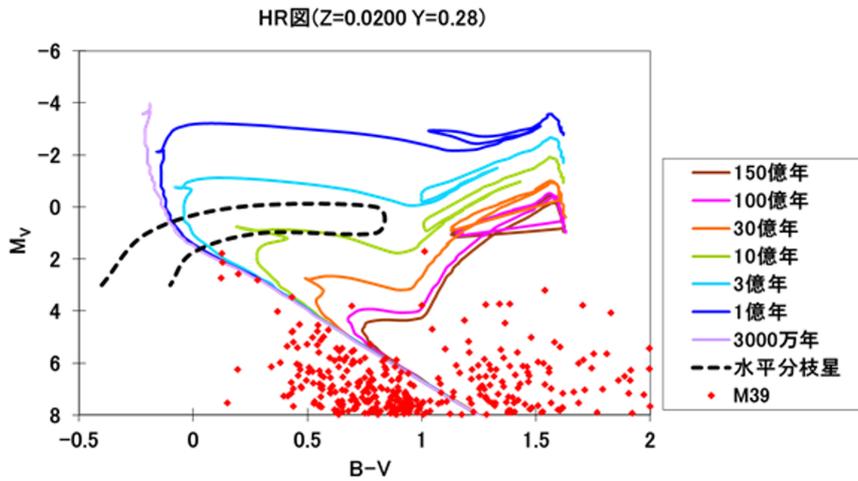


図 3.11: M39 の色・等級図 (赤点) と等時曲線 (実線), 典型的な水平分枝星の分布位置 (黒破線).

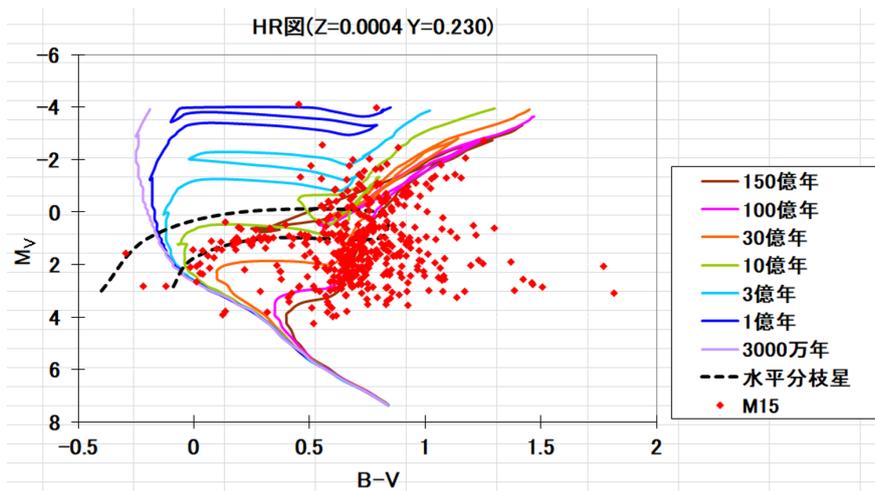


図 3.12: M15 の色・等級図 (赤点) と等時曲線 (実線), 典型的な水平分枝星の分布位置 (黒破線).

a) では、黄道上の衝となる天域を、午前0時とその約1時間前後にVバンドで撮像した3枚のchip-#4の画像を解析し、これらを疑似カラー合成することで移動天体(小惑星)を検出し、単位時間当りの移動量からその距離を算出した。検出された小惑星は5個で、それらの太陽からの距離は2.0-3.0auであった。これらは全てメインベルト帯の小惑星であると考えられる(図3.10参照)。

b) と c) では、散開星団 M39 と球状星団 M15 の B と V バンド画像から色・等級図を描画し、これを典型的な主系列星の色等級図(例えば、国立天文台 2021, 理科年表 2022, 丸善)や等時曲線(Bertelli et al. 1994, A&AS, 106, 275)と比較することで、M39 は年齢3億年で金属量が豊富な恒星からなること、M15 は年齢が100億-150億年で低金属量の恒星からなることが報告された(図3.11, 図3.12参照)。

d) では90-120分おきにVバンドで撮像された3つの球状星団 M15 の画像を画像解析後、疑似カラー合成することで、変光天体(ここではRR Lyr 型星)を検出し(図3.13参照)、その見かけ等級と絶対等級の差から M15 までの距離を4.1万-4.5万光年と算出した。この値は、理科年表 2022(国立天文台, 2021)や Astrophysical Quantities Fourth Edition (Cox 2000, Springer) に示された3.2万-3.4万光年よりはる

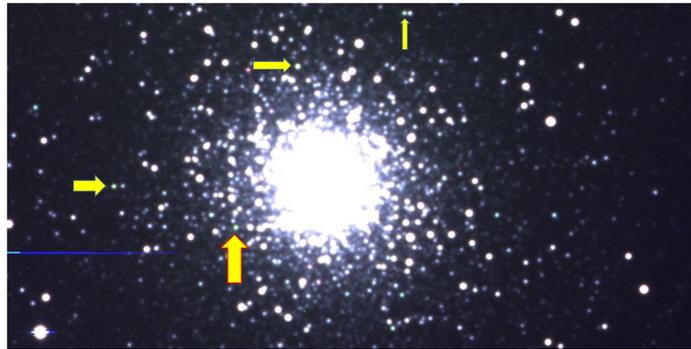


図 3.13: 球状星団 M15 の時系列に沿った 3 つの V バンド画像から作成した擬似カラー画像. 変光星は青や緑, 赤に色付いて見える. 4 つの矢印は学生が解析に用いた RR Lyr 型星. 実際にはこれら他にも色付いて見える星が多数見られる.

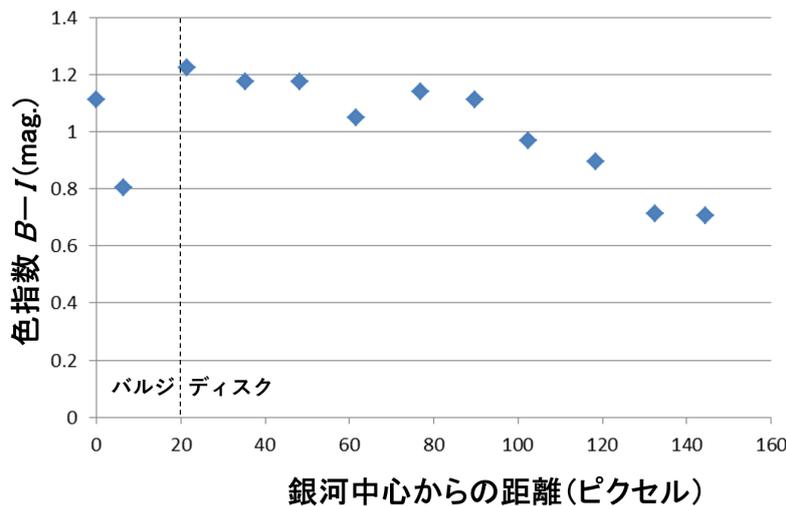


図 3.14: M101 の B-I によるカラー・プロファイル. 点線は, 画像から判断されたバルジとディスクの境界.

きいが, 天文年鑑 2002(天文年鑑編集委員会 2001, 誠文堂新光社) や天文年鑑 2018(天文年鑑編集委員会 2017, 誠文堂新光社) に掲載されている 4.9 万光年よりは小さい値であり, 総合的に先行研究と矛盾しない値であることが分かった.

e) では, M101 の B, V, I バンドの表面輝度プロファイルと, B-I のカラー・プロファイルから, バルジとディスクのカラーの違いなどが確認された (図 3.14 参照).

なお, これらは実習三日目の結果発表会 (発表時間 10 分質疑応答 5 分/班) にて各班より報告された.

4. 天体観測ワークショップ 甲南大学工学部物理学科 2 年生向け実習授業 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. 2022 年度には甲南大学工学部物理学科の 2 年生 15 名および知能情報学部知能情報学科の 2 年生 1 名, 講師 2 名, TA として修士 2 年の学生 1 名が参加した. 甲南大学において事前学習を行った後に, 木曾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。8/30-9/2の3晩観測の予定であったが、残念ながら天候に恵まれず観測を行うことはできなかった。そのため、過去に取得されたデータから自身が観測予定であった天体と似た天体のデータをダウンロードしデータ解析を行った。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。天候には恵まれなかったものの、一部目視では天体を観測することもでき、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15名が参加を希望する人気科目となり、参加した2年生の中には卒業研究で観測をしたいという声も上がっていた。実際に研究室配属の際にどの研究室に所属されるのかは不明だが、今回の経験を活かして卒業研究に進んでもらえると期待している。また観測所の方々にはコロナ禍にもかかわらず多数の学生を受け入れていただき大変感謝している。

5. 東京電機大学天文学研究室 光学望遠鏡観測実習

樋口あや(東京電機大学), 小宮山裕(法政大学)

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初めての試みであり、2022年8月23日(火)から26日(金)の3泊4日で実施し、4年生が5名参加した。2023年度からは、法政大学との合同観測実習とするため、法政大学から小宮山裕氏も参加した。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。対象天体は、Gaiaの観測が進んでいる若い星団形成領域のL1251とL1288で、2平方度の領域を1秒ごとにモニター観測を行う予定であったが、観測実習中は天候に恵まれず、作成した観測テーブルを流すことができなかった。今回は事前に観測所スタッフにテスト観測を実行してもらい、テストデータを事前に取得していたので、実習中はテストデータを解析した。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、それぞれの領域に分布する星の光度曲線を導出した。およそ6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、光度曲線の特徴や空の変動についての解析・考察を行うことができた。またTomo-e Gozenの動画データを積分した画像と、Herschelで得られたダスト連続波のマップとの比較を行い、若い星団がどのような領域で生まれているのかを確認する作業も行った。その後、大学へデータを持ち帰って詳細な解析を行い、卒業論文としてまとめることができた。

6. 「こどもと科学」に関する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)

2022年8月8-9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5名、職員1名、学生8名の計14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が、初めての試みである今回は、今後のプログラム検討の基礎となるよう保育内容5領域（音楽・言葉・健康・人間関係・環境）の専門性をもつ教員が実験的に各種プログラムを企画した。その内容は観測所の設備や立地を存分に活かし、トークタイムによる創作和音と名づけのワーク、闇の中での木曾にまつわる素話、月光浴ヨガ、星の絵本読み語り（伴奏つき）、観測所敷地内の植物観察等が挙げられる。

全ての活動は参加者満足度の高いものであったが、名前のついたプログラム以外の時間、たとえば食事や各種活動前後の自然な交流の時間も、保育資格・幼稚園教諭免許取得のために過密気味になっている本学のカリキュラムの中では大変貴重であり、余白の多い自由度の高い企画の必要性も痛感することとなった。なお、帰校後のアンケート調査によると、ほとんどの参加者から、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こととその交流時間の豊かさによって、遠くて難しい世界だった天文学が身近で親しいもの変わったこと、これまで心に留まらなかった夜空を見上げ、星を探すようになったという感想が述べられていた。

今後の課題は、目的をしぼってプログラムを精査していくこと、そのプログラムについての効果的な事前事後学習のあり方を検討してこの研修を本学のカリキュラムと有機的に接合していくことであり、宿泊日数の見直しを含めて次年度の研修プログラムを再考したい。

3.2.11 地域貢献事業

木曾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。本年度は「長野県は宇宙県」連絡協議会や木曾星の会との連携を続けるとともに、「木曾観測所サポーターズクラブ」の設立準備を進めた。また、東京大学木曾天文台協会を3年ぶりに実施し、長野県木曾地域振興局や三町村との協力関係を確認した。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曾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曾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」連絡協議会を立ち上げた。

本年度は長野県の星空環境の観察や保全活動を継続するとともに、これまでの活動報告書や広報用のリーフレットの作成を行い、「長野県は宇宙県」をより多くの人に知ってもらうことに力を入れた。木曾観測所の特別公開においても、「長野県は宇宙県」のポスターを掲示し、リーフレットを配布して紹介を行った。また、JAXA 白田宇宙空間観測所の特別公開や八ヶ岳星と自然のフェスタにおいても同様にブースの開催を行った。

本年度は長野県を代表する天文同好会である諏訪天文同好会が100周年の節目を迎えたため、100周年を記念したイベントや展示会が「長野県は宇宙県」メンバーを中心に開催され、木曾観測所も協力を行った。長野県内の博物館を巡回する企画展「信州天文文化100年」に、木曾観測所の歴代の観測装置や望遠鏡模型を出展したほか、プラネタリウム番組「トモエゴゼンは眠らない」の制作に協力した。12月に木曾で開催された「長

「長野県は宇宙県」ミーティングでは、一般講演会で天文センター 博士課程2年の紅山仁氏が講演し、トモエゴゼンによる地球小惑星探査の成果を紹介した。

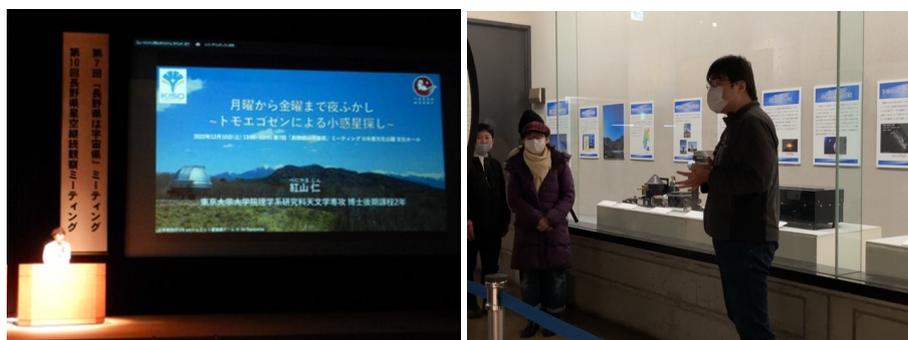


図 3.15: 「長野県は宇宙県」公開講演会 (左), 企画展「信州天文文化 100 年」ギャラリートーク (右)

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
6月4日	第9回長野県星空継続観察ミーティング (北部交流センター えんてらす 会議室+ Zoom)	25名 (うちオンライン2名)	小林, 森, 近藤
	光害シンポジウム 2022 (北部交流センター えんてらす 会議室+ Zoom)	72名 (うちオンライン40名)	小林, 森, 近藤
8月6日	木曾観測所特別公開		-
8月18-31日	デジタルカメラによる星空観察		森, 小林
10月1日	JAXA 白田宇宙空間観測所 特別公開		-
11月1日	企画展「信州天文文化 100 年」		-
-1月15日	(茅野市八ヶ岳総合博物館)		-
11月11日	八ヶ岳星と自然のフェスタ in こうみ		-
-13日			-
11月18日	諏訪天文同好会 100 周年記念研究会 (アーク諏訪 3F すわっチャオ)		-
11月19日	諏訪天文同好会 100 周年記念講演会 (諏訪東京理科大大講義室)		-
12月10日	第10回長野県星空継続観察ミーティング (木曾文化公園文化ホール+ Zoom)	51名 (うちオンライン24名)	森, 高橋, 近藤
	第7回長野県は宇宙県ミーティング (木曾文化公園文化ホール+ Zoom)	67名 (うちオンライン37名)	森, 高橋, 近藤
1月12-25日	デジタルカメラによる星空観察		森, 小林
2月4日	企画展「信州天文文化 100 年」		-
-4月2日	(長野市立博物館)		-
2月26日	「信州天文文化 100 年」ギャラリートーク (長野市立博物館)	20名	小林

3.2.11.2 木曾星の里づくり推進協議会

長野県木曾地域振興局と木曾観測所が中心となり、隣接する町村等と連携・協力して木曾地域の優れた星空環境を活かした地域の活性化等に関連する事業を推進していくことで合意し、平成29年度に「木曾星の里づくり推進協議会」を発足させた。協議会は設立時に平成31年度(令和元年度)までの3年間に亘る事業計画を

立て実施してきたが、協議会後に新たに立ち上げる枠組みへの移行期間として、令和2年度は年度計画を立て事業を行った。残念ながら新型コロナウイルス感染症の流行により、令和元年および2年度は思うような活動が十分にできなかったが、令和3年度は年度計画を立て事業を行った。以上で協議会の活動は終了とし、令和4年度の年初に最後の通常総会を行い、これまでの活動を総括した上で会を解散した。木曾観測所が管理していた4D2U装置一式は、今後この活動を中心に行う木曾文化公園に移管することとなった。この移行期間においては事務局は引き続き木曾地域振興局が担当し、木曾観測所からは顧問として小林、および退職した青木、征矢野が委員として参加した。

実施日時	実施場所・内容	人数	担当職員
7月14日	通常総会(於:木曾地域振興局)	15名	小林, 青木(退職後), 征矢野(退職後)

3.2.11.3 木曾星の会との連携

「木曾星の会」は平成16年(2004年)11月に発足した。この会の目的は、木曾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。木曾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。木曾観測所はこの目的に賛同し、木曾星の会と連携し諸事業に協力している。今年度の具体的な活動として下記の行事に参加した。

実施日	実施場所・内容	人数	スタッフ
5月29日	星の会総会(於:木曾観測所)	11名	森
9月17日	きそネイチャーマイスター養成講座(於:木曾観測所)	29名	高橋, 近藤, 森

3.2.11.4 木曾観測所サポーターズクラブの設立準備

木曾観測所の地域連携・社会還元活動をサポートする様々な方々(サポーターズ)が地元の木曾に限らず長野県内外にも数多くいるポテンシャルがあることから、そういった方々をまとめたクラブの設立の提案が以前からなされていた。そこで、2020年10月10日の第1回観測所講習会、2022年3月5日の設立準備会などサポーターズクラブの設立準備を進めてきたが、コロナ禍の落ち着きを待って設立前最終となる第2回観測所講習会を2023年3月11日に実施した。その結果、新しいメンバーも迎え、来年度の設立総会に向けた準備を終えた。

3.2.11.5 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10日	三岳小学校教員見学	4名	森
6月15日	長野県シニア大学講座 「星と惑星の誕生」	約25名	小林
9月17日	きそネイチャーマイスター養成講座	29名	高橋, 近藤, 森
10月30日	木曾広域連合地域間交流事業 4D2U・見学	32名	森, 近藤, 小林
11月18日	東京大学木曾天文台協会の	26名	星野研究科長ほか; 土居センター長, 酒向, 橋口, 赤岩; 小林, 森, 近藤, 高橋
11月18日	東京大学木曾天文台協会・講演会 「偶然と驚きのトモエゴゼン」	約50名	酒向
3月17日	木曾文化公園天文学セッション 望遠鏡見学	20名	近藤

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 2023

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26回銀河学校を2023年3月27日(月)–30日(木)に開催した。

参加者は『塵に隠された「本当の」星形成活動を明らかにせよ』『銀河の来歴調査』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。前年と比べて COVID-19 の状況が落ち着いた中での開催となり、感染対策を取りつつも、参加者は自由な雰囲気の中で研究活動を存分に楽しんでいた。

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。



図 3.16: 発表会の様子(左), 集合写真(右)

- 対象

全国の高校生

- 日程・場所

2023年3月27日(月) – 30日(木)・木曾観測所

- 担当者

講師: 新納悠, 山岸光義(天文センター)

TA: 島田明音(愛媛大・M1), 船越菜月(東大・天文・M1), 田中匠(東大・天文・B4), 大村充輝(九州大・B4), 石川諒(東北大・B4), 大平達也(京都大・B1), 遠藤才織(東北大・B1)

スタッフ: 森, 近藤, 高橋, 小林

- 参加人数

高校生 16 名(応募者 70 名から抽選)

- **研究テーマ**
塵に隠された「本当の」星形成活動を明らかにせよ
銀河の来歴調査
- **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年度から木曾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。今年度もCOVID-19の感染リスクを抑えるため高校への出張や日帰り開催を行ったが、3月には4年ぶりに木曾観測所にて合宿形式で開催することができた。

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：屋代高校)	2年生 39名	7月14-15日	主講師：山岸光義(天文センター), 副講師：鮫島寛明(天文センター), TA: 船越菜月(東大・天文・M1), 成田佳奈香(東大・天文・M1), サポート：森
長野県木曾青峰高校 (於：木曾観測所)	2年生 31名	8月2日	主講師：高橋, 副講師：松林和也(天文センター), TA: 松井思引(東大・天文・M1), 梶田みさと(名古屋工大・工・M1)
長野県飯山高校** (於：飯山高校)	2年生 36名	10月14-15日	主講師：高橋, 副講師：瀧田怜(天文センター), TA: 水越翔一郎(東大・天文・D1), 倉島啓斗(東大・天文・B4)
長野県伊那北高校 (於：木曾観測所)	1年生 38名	3月16-17日	主講師：高橋, 副講師：堀内貴史(天文センター), TA: 和田空大(東大・天文・B4), 大平達也(京大・理・B1)

**SSH(スーパーサイエンスハイスクール指定校)

3.2.12.3 木曾観測所特別公開(2022年8月6日-7日)

毎年恒例である特別公開を8月に実施した。初日に木曾観測所で施設公開・観望会を行い、2日目は木曾文化公園文化ホールにて公開講演会を行った。COVID-19の影響により来場者を迎える施設公開は3年ぶりとなったが、予想を上回る来場者があり、望遠鏡や装置の実物を現場で見ってもらうこと、また来場者とスタッフとのコミュニケーションの重要性を改めて実感した。

講演会は「銀河鉄道に乗って—木曾からイーハトーブ、そして宇宙へ」というタイトルで、宮沢賢治を題材に宇宙や星空の魅力を講演者に伝えてもらった。講演者は木曾観測所に縁のある方でもあったため、木曾観測所の話題も織り交ぜられ、親しみやすい内容の講演会となった。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。昨年に引き続き、会場準備や広報、当日の運

営において、木曾文化公園・木曾広域連合から多大な協力を得た。

施設公開・観望会

- 日程・場所

2022年8月6日(土)・木曾観測所

- 内容

望遠鏡見学・4D2U 上映・観測装置展示・研究紹介展示・SkyAtlas 体験・隕石展示・太陽黒点観察(13-18時)、天体観望会(19-21時)

- 参加人数

一般約200名

- スタッフ

木曾観測所：小林, 高橋, 近藤, 森

天文センター：大澤, 瀧田, 橋口, 赤岩

その他19名(木曾観測所サポーターズクラブ, 木曾星の会, 「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



図 3.17: 研究紹介展示(左), 天体観望会(右)

講演会

- 日程・場所

2022年8月7日(日)・木曾文化公園文化ホール

- 講演

『銀河鉄道の夜』と宇宙の旅』(放送大学 谷口 義明 教授)

『開田高原の夜空を翔る銀河鉄道』(天体写真家 畑 英利 氏)

- 参加人数

来場者75名, YouTube 159名

- スタッフ

情報システムチーム：玉造潤史, 本城剛毅

木曾観測所：小林, 高橋, 近藤, 森

天文センター： 瀧田, 橋口, 赤岩
木曾観測所サポーターズクラブなど3名, 木曾文化公園 4名

- 共催

木曾文化公園, 木曾広域連合



図 3.18: 講演会の様子

3.2.12.4 東大オープンキャンパス (2022年8月3日-4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あるが、2022年も新型コロナウイルス感染状況を鑑み、オンラインでの開催となった。説明会、模擬講義のライブ配信、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を行った。

3.2.12.5 天文学教育研究センター特別公開 (三鷹 2022年10月28日-29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科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だったが、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された。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2022年のメインテーマである「時と天文学」に則した酒向准教授による講演「偶然と驚きのトモエゴゼン」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レーションを大型ディスプレイを使って行われた。



図 3.19: 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

トモエゴゼンロゴステッカー

トモエゴゼンロゴマークのステッカーを作成し、特別公開やその他イベントで配布した。



図 3.20: トモエゴゼンロゴステッカー

カレンダー

木曾観測所の広報を目的としたカレンダー (B2 版) を制作した。2016 年のカレンダーで使用したバラ星雲の画像 (KWFC で撮影) を用いて、イラストレーターの高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曾観測所、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。

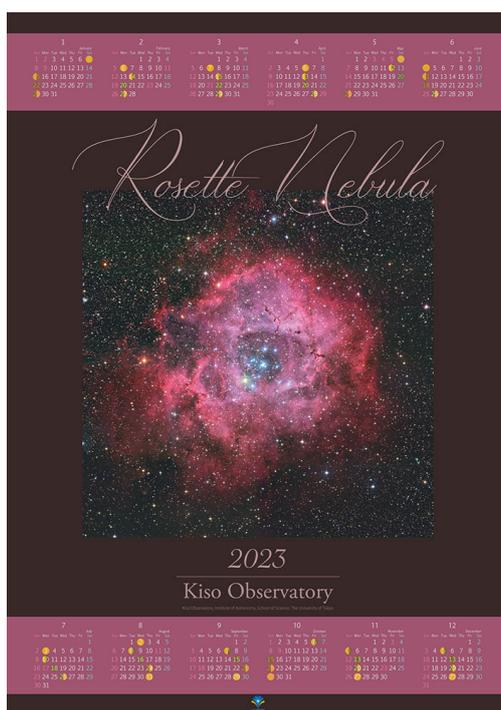


図 3.21: 2023 年のカレンダー

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
5月18日	ひのきちゃんハウス見学	15名	高橋, 近藤
6月20日	写真家 八板康磨氏一行見学	3名	高橋, 近藤
7月25日	名古屋市高年大学鯉城学園見学	22名	高橋, 近藤
8月9日	朝霞理科部会見学	3名	高橋
8月28日	おんたけ休暇村見学	29名	高橋
1月22日	富山星の同好会見学	7名	小林, 近藤
3月22日	信州大学観測天文学グループ見学	3名	近藤, 森

3.2.12.8 プレスリリース

1. 可視光と X 線の高速同時観測が明らかにした白色矮星をとりまく高温ガスの姿
代表：西野耀平（東大・天文・M2）

2022年5月18日に、Tomo-e Gozen と X 望遠鏡 NICER との矮新星 SS Cyg の高速同時観測の成果について、理学系主導でプレスリリースを行った。

メディアでの紹介

新聞	5月18日	市民タイムス 23面
	5月18日	信濃毎日新聞 29面
	7月3日	市民タイムス 12面（こどもタイムス）
	8月9日	朝日新聞朝刊 科学面
web ニュース	5月19日	マイナビニュース
	5月23日	アストロアーツ
	5月24日	朝日新聞デジタル
	5月24日	Yahoo!ニュース
	12月10日	マイナビニュース

2. 即時動画観測がとらえた地球接近小惑星の高速自転
代表：紅山仁（東大・天文・D2）

2022年7月13日に、Tomo-e Gozen による地球接近小惑星の観測成果について、理学系主導でプレスリリースを行った。

メディアでの紹介

新聞	7月13日	市民タイムス 22面
	7月13日	信濃毎日新聞 33面
	7月15日	市民タイムス 27面（コラム）
	8月8日	毎日新聞夕刊 2面
web ニュース	7月13日	時事通信 Yahoo!ニュース
	7月17日	朝日新聞デジタル
雑誌	2022年10月号	星ナビ

3. 広視野動画撮影でとらえた赤色矮星たちの短時間閃光現象
代表：逢澤正嵩（上海交通大学李政道研究所）

2022年8月9日に、Tomo-e Gozen による赤色矮星の観測成果について、理学系主導でプレスリリースを行った。

メディアでの紹介

新聞	8月9日	市民タイムス 22面
	8月9日	信濃毎日新聞 33面
	8月10日	財形新聞
web ニュース	8月9日	信濃毎日新聞デジタル
	8月12日	アストロアーツ

3.2.12.9 その他 各メディアでの紹介

1. 新聞・Web ニュース

7月6日	シュミットシンポ始まる	市民タイムス 1面
8月4日	特別公開3年ぶりに	市民タイムス 1面
8月6日	特別公開	中日新聞木曾ホームニュース
8月10日	シュミット望遠鏡に感嘆	市民タイムス 1面
10月22日	斜面	信濃毎日新聞 1面
1月16日	銀河学校 高校生を募集	市民タイムス 1面
1月20日	銀河学校募集	読売新聞(長野版)
1月22日	「トモエゴゼン」運用方法を解説	信濃毎日新聞 18面
3月31日	高校生 木曾で膨らむ宇宙への夢	信濃毎日新聞 21面
3月31日	天体観測や分析 仲間と体験	中日新聞

2. 雑誌・情報誌

夏の星空観測を楽しもう	月刊かみいな	2022年7月号
国際天文学オリンピックに初の代表生徒派遣	理学部ニュース	2022年11月号
国立天文台×朝日新聞 最高の星空生中継	星ナビ	2022年12月号
「銀河学校 2023」参加者募集	天文月報	2023年1月号
	星ナビ	2023年1月号
	天文ガイド	2023年2月号
100年に1回の衝突を見逃さない	別冊日経サイエンス『激動の天と地』	2023年2月

3. 書籍・出版物など

2022年5月	書籍「2023 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
2022年8月	書籍「天文学者とめぐる宮沢賢治の宇宙」 写真「プレアデス星団」使用
2023年3月	書籍「物理のためのデータサイエンス入門」 Tomo-e Gozen による超新星探査の紹介
2023年3月	書籍「天文宇宙検定公式テキスト 2級銀河博士 2023 - 2024 年版」 写真「馬頭星雲」「プレアデス星団」「かに星雲」「おとめ座銀河団」使用

4. その他

11月1日-1月15日	茅野市八ヶ岳総合博物館 プラネタリウム 「トモエゴゼンは眠らない」
2月4日-4月2日	長野市立博物館 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

木曾観測所は, 山頂の主要施設 (通常はこれを木曾観測所と呼ぶ) 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曾町, 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 長野県木曾郡上松町大字小川 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
木曾町	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 γ /A band)	重量
対物プリズム 1	2°	105cm	800/3800 Å/mm	121kg
対物プリズム 2	4°	105cm	170/1000 Å/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° × 6°

3.3.3 30cm 望遠鏡

表 3.5: 主な仕様

望遠鏡	高橋製作所ミュロン (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

木曾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などそれら機器のための制御箱が設置されているのだが、1階の実験室のUPSコンセントやネットワークハブからその制御箱に電源ケーブルとネットワークケーブルがそれぞれ1本ずつ引かれていた。ケーブルの更新と整理のため、昨年度設置した屋上の100Vコンセントとネットワークコンセントからケーブルモールで保護した新しいケーブルを制御箱まで引き、古いケーブルからの置き換えを行った。また、制御箱内のハブをPOE対応ハブに置き換えた。

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。システムの仕様は以下の通りである。

カメラ	Nikon D3500
制御PC	カメラ制御用 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	木曾観測所本館屋上

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	木曾観測所本館屋上

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。

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

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 と Vaisala 社製の DRD-11A を本館屋上に設置している。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。長年の運用で、AKI-1805 は非常に弱い雪に対しての感度が低く、DRD-11A ではそのような雪を検出出来ていることが分かっていた。雨滴の判定には、誤作動を除外するため、2つ以上のセンサが反応して初めて雨滴判定としているのだが、DRD-11A は1台では、そのような雪に対して適切に反応出来ていないことが分かっていた。そのため、AKI-1805 の一部を DRD-11A へ置き換え、AKI-1805 を3台、DRD-11A を3台の体制に変更した。

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。ソフトウェアが対応しなくなり、フォーカスが合わせられなくなったドーム三階西側観測床&望遠鏡西側監視用のカメラを 2023 年 3 月に Panasonic BB-SC384 から Panasonic BB-SC384B に変更した。

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 計算機

木曾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。

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。今年度、PCI-Express 規格の RS232c 増設ボードをインストール、マザーボードのポートと合わせ、必要な 3 個の RS232c ポートを備えた。RS232c 通信を RS232c-ubs 変換を使わず、直接 RS232c ポートを使う方法に変えることで、今まで問題であったシャットダウン時などにポート番号が意図せず変更してしまう影響を受けなくなった。

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をになっている。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。

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

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館の間は 10 Gbps の光ファイバで接続されている。10 Gbps の通信にはクラス C のプライベート IP アドレスが使用されており木曾観測所のネットワークとは独立したネットワークを構成している。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曾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二台の計三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。また木曾広域ネットワークの回線を利用することで、木曾観測所内の一部の計算機とは約 6 Gbps (ダウンリンク)

で通信が可能となっている。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曾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

木曾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、Windows10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。近年は実習でTomo-e Gozenのデータを扱うようになり、教育用計算機の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

木曾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、大学内の別システム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

木曾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。NTTコミュニケーションズ OCN 光の最大1 Gbpsのサービスを利用していたが、8月のUTNETスイッチの設置に伴い、NTTフレッツ光の回線・VPNサービスへ切り替えた。

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る。

3.3.8.3 10 Gbps 外部ネットワーク

2019年度に木曾広域連合の光ファイバを利用した10 Gbpsの回線を開設し、2019年7月31日に木曾広域連合と木曾観測所の間で「木曾地域高度情報化網接続協定」を締結して運用している。本回線はTomo-e Gozenのデータを三鷹や本郷へ送るデータアップロード専用で、下りは50 Mbpsの帯域制限がかけられていた。3月にSINETへの接続が実現したため、今後は帯域制限のないネットワークへ切り替えを行っていく。

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。本年度にはさらに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た。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きている。（現在は築地市場、神宮外苑、福島谷川渓谷、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。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 α 7sII (2020 年度に更新) HDMI 出力
レンズ	APS-C 用 16mm F/1.4
ライブ配信機器	Cerevo LiveShell X
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

これまでに夏季の気温が上昇する期間にカメラの保護機能により、幾度かの自動シャットダウンがあったが、現在は夕刻に自動タイマーによって電源部を OFF/ON をすることで自動復帰させるようになっている。また 2020 年度に立ち上げた木曾観測所独自のライブ配信用カメラシステムは、朝日新聞のカメラシステムとの画像比較などを中心に性能評価、動作の安定性などの検証を継続しており、最適な設置場所が決まり次第運用を開始する予定である。

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、木曾観測所に夜間星空撮影が可能な全天カメラを設置した。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、木曾の星空環境の良さ、木曾観測所での研究・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。

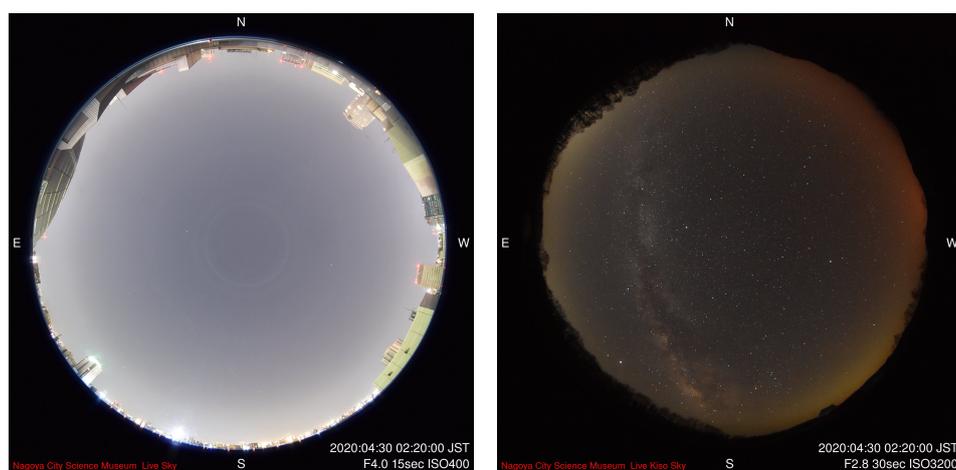


図 3.22: 名古屋と木曾の星空の比較

3.3.9.4 DIMS

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行っている。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、この観測装置を木曾観測所を含め国内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。木曾観測所とは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。2023年度からのユタでの運用に向け、DIMSは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、今後日本大学阿部グループの流星観測システムに流用されることになっている。



図 3.23: 屋上に設置された DIMS (手前)

3.4 運用, 管理

3.4.1 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。木曾観測所と上松宿舎の本年度の滞在者数は下記の通りであった。上松宿舎滞在者数が減少したため全体の滞在者数は昨年度より減少しているが、木曾観測所だけで見ると昨年度の約1.3倍の利用があった。大学実習での利用が正常化し、年度末には星の教室での宿泊利用も再開したことが増加の要因と考えられる。

所属機関	延人数(人)	滞在期間(人・日)
東京大学(天文センター)	9	205
東京大学(センター以外)	21	54
国立天文台	11	22
他大学・他機関	82	204
外国	0	0
高校生	61	112
その他	13	25
計	197	622

3.4.2 日誌

2022年	4月6日	ドームスリットアルミパネル剥離
	7月5日-6日	木曾シュミットシンポジウム(於:木曾文化公園・Zoom)
	8月26日	産業医巡視
	8月6日	木曾観測所特別公開
	8月7日	木曾観測所特別公開講演会(於:木曾文化公園・YouTube)
	9月30日	監事監査・内部監査
2023年	11月18日	木曾協力会
	1月6日	木曾観測所共同利用相談会(於:天文センター・Zoom)
	3月20日	SINET 接続
	3月27日-30日	第26回 銀河学校

3.4.3 役務, 営繕工事等

2022年	4月	セレナタイヤ交換(夏タイヤ新調)
		上松宿舎101号室 南東部屋押入修繕 高圧地下ケーブル切り替え
6月		本館計算機室100Vコンセント増設 電気設備年次点検
		7月
8月		構内 スズメバチ巣駆除 本館1階男子トイレ便器交換 UTNETスイッチ設置・ネットワーク回線変更
		9月

	10月	灯油タンク点検 構内 地バチ巣駆除 ドーム観測床入口コンセント設置
	11月	暖房ボイラー点検 浄化槽法定検査
	12月	セレナタイヤ交換 (冬タイヤ新調) 上松宿舎 102・202 号室分電盤交換
2023年	1月	上松宿舎 101・201 号室分電盤交換
	2月	講義室 150 型スクリーン設置 ドーム計算機室エアコン増設 ドーム計算機室電源増設
	3月	厨房レンジフード・エアコンクリーニング 全学無線 LAN AP 増設 耐雷トランス搬入 食堂外扉横隙間補修 火災報知器保守点検 SINET 接続工事 ドーム観測床西側扉交換

3.4.4 晴天率・観測統計

2013年からの晴天率・観測統計を図 3.24 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。

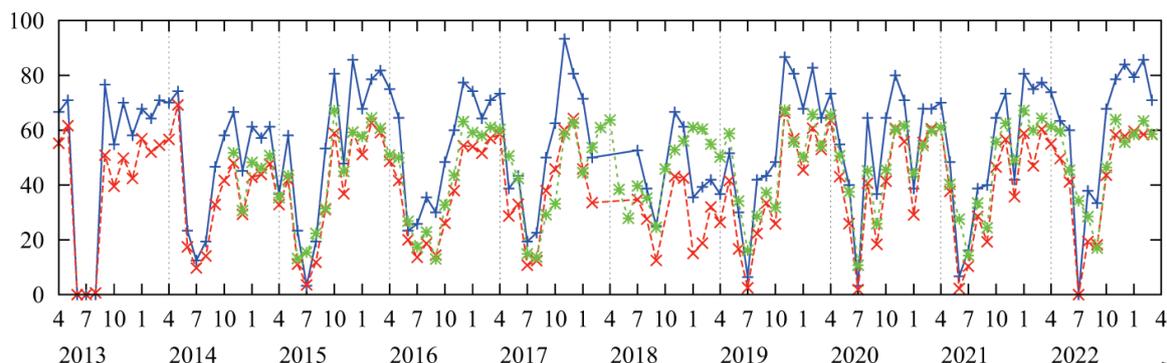


図 3.24: 晴天率と観測効率. 青色が日効率, 赤色が時間効率, 緑色が晴天率を表す.

3.4.5 環境安全衛生

3.4.5.1 産業医巡視

産業医巡視が8月26日に行われた。重大な改善指摘事項はなかった。

3.4.5.2 廃棄処理

日常の屋内外の整頓, 環境整備を進めることで, 各建物, 敷地内にあった多くの不要物が集まっていた。1月に木曾クリーンセンターにそれらの多く持ち込み処分した。

3.4.5.3 新型コロナウイルス対策

木曾観測所では来客者への対応として, 東京大学の行動レベルと長野県木曾郡の感染警戒レベルを考慮し, 訪問や宿泊の可否の判断を行っている。ドームでの見学や講義室を使う場合は人数を確認し, 必要があればグループ分けを行い, 一度に多くの人が集まる状況を回避している。また, 本館入り口と講義室, 食堂, ドームの展示室に消毒液を設置している。また, 新型コロナウイルス抗原検査キットを常に用意, 陽性の有無をすぐに確認できるようにしている。

3.4.6 環境維持・環境整備

木曾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。

3.4.6.1 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っている。

3.4.6.2 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。

3.4.6.3 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が、将来的に小石川植物園の協力を得て包括的な対応をすることを検討している。

3.5 所員

3.5.1 教員および職員

3.5.1.1 木曾観測所

小林 尚人 (准教授, 所長)
 高橋 英則 (助教)
 近藤 荘平 (一般技術職員)
 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)
 大澤 亮 (特任助教, -2022/07/31)
 瀧田 怜 (特任研究員 - 特任助教, 2022/09/01-)

3.5.2 外国人来訪研究者

なし

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, 2023/1/6)

	土居 守 (センター長)	
相談会メンバー	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)

3.5.4 記録事項

1. 科学研究費補助金等

土居 守	科学研究費補助金 基盤研究 (S) (2018-2022 年度) 「爆発直後からの観測による Ia 型超新星の起源解明」
山本 泰生 (酒向 重行 分担)	科学研究費補助金 基盤研究 (C) (2020-2022 年度) 「半順序関係に基づくストリームデータの劣線形要約」
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	国立天文台 共同研究開発 (2021-2022 年度) 「小型赤外線全天雲モニタの開発」
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」
土居 守	光赤外線天文学大学間連携 (2022-2026 年度) 「木曾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」
高橋 英則	科学研究費補助金 基盤研究 (B) (2018-2022 年度) 「3次元分光で探る星形成活動研究のための近赤外波長可変狭帯域フィルターの開発」

2. 委員その他

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

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	星間物理学 I	東大天文学科 4年	2022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	2022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	2022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	2022年度夏学期
酒向 重行	基礎天文学観測	東大天文学科 3年	2022年度冬学期
小林 尚人	天体輻射論 I	東大天文学科	2022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 (D2)	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 (M1)	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	学部生 (B4)	倉島 啓斗	TAO 可視高速観測装置の概念設計
小林 尚人	博士課程 (D3)	谷口 大輔	WINERED による星の化学組成の導出
小林 尚人	修士課程 (M1)	船越 菜月	セファイドを用いた銀河系円盤構造の研究
小林 尚人	学部生 (B4)	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

5. 学位取得

谷口 大輔	2023年3月, 博士(理学) 「銀河系円盤に散らばった赤色超巨星の化学組成」
倉島 啓斗	2023年3月, 学士(理学) 「TAO 可視高速観測装置の概念設計」
和田 空大	2023年3月, 学士(理学) 「ガウス過程回帰による小惑星の自転周期の推定」

6. 国外出張

高橋 英則	2023年2月20日-3月3日 国立天文台ハワイ観測所 TAO 観測装置 (SWIMS) 輸送作業
-------	---