

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

2021 (令和 3) 年度

2022 (令和 4) 年 10 月

目次

第1部 天文学教室	5
1.1 天文学教室の沿革と現状	7
1.1.1 天文学教室の歴史	7
1.1.2 天文学教室の所在地	8
1.1.3 理学部卒業生	8
1.1.4 大学院修士課程修了者	8
1.1.5 大学院博士課程修了学位取得者	8
1.1.6 大学院博士課程修了学位取得者(修業年限の特例による)	8
1.1.7 大学院博士課程退学後学位取得者(1990年度からの統計)	8
1.2 教員, 職員, および研究員	9
1.2.1 教員および職員	9
1.2.2 日本学術振興会特別研究員	9
1.2.3 日本学術振興会外国人特別研究員	9
1.2.4 特任研究員	9
1.2.5 客員共同研究員	9
1.2.6 名誉教授	9
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)	10
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	18
1.5.3 銀河系および星間物質	18
1.5.4 恒星	21
1.5.5 太陽系外惑星および星惑星形成	26
1.5.6 太陽系	29
1.5.7 機器・ソフトウェア開発	29
1.6 論文および出版物	30
1.6.1 英文報告	30
1.6.2 和文論文および解説記事	43
1.6.3 著書, 訳書, 編書	43
1.7 学会, 研究会における発表	43

1.7.1	日本天文学会 2022 年春季年会, 広島大学 (オンライン開催) (2022/3/2-3/5)	44
1.7.2	日本惑星科学会 2021 年秋季年会, 名古屋市立大学 (オンライン開催)	45
1.7.3	日本地球惑星科学連合 (2021)	45
1.7.4	国際研究会	45
1.7.5	国内研究会	47
1.7.6	その他の講演	49
1.8	その他の活動	50
1.8.1	記者会見, プレスリリース, 新聞報道	50
1.8.2	受賞	51
1.8.3	他学科・専攻での講義	51
1.8.4	他大学での講義	51
1.8.5	委員その他	51
1.8.6	科研費等	52
1.8.7	出張記録	53
1.9	教室談話会	54
第 2 部	天文学教育研究センター	56
2.1	天文学教育研究センターの沿革と現状	58
2.1.1	東京大学アタカマ天文台 – TAO 計画の経緯と進捗	60
2.2	教員, 職員, 名誉教授, 研究員等	61
2.2.1	教員及び職員	61
2.2.2	研究員及び客員	61
2.2.3	名誉教授	62
2.3	天文学教育研究センター運営委員会	62
2.4	敷地, 建物, 及び主な設備・備品	62
2.5	研究活動	63
2.5.1	宇宙および系外銀河	63
2.5.2	恒星および系外惑星	71
2.5.3	太陽及び太陽系	71
2.5.4	望遠鏡, 観測機器, ソフトウェアの製作と開発	72
2.5.5	TAO 計画	75
2.6	論文及び出版物	85
2.6.1	英文報告	85
2.7	学会, 研究会における発表	94
2.7.1	日本天文学会 2021 年秋季年会, 京都産業大学 (オンライン開催) (2021/09/13-09/15)	94
2.7.2	日本天文学会 2022 年春季年会, 広島大学 (オンライン開催) (2022/03/02-03/05)	96
2.7.3	日本惑星科学会 2021 年秋季講演会, オンライン開催 (2021/09/16-19)	98
2.7.4	国際研究会	98
2.7.5	国内研究会	99
2.7.6	その他の講演 (談話会等)	101
2.7.7	研究会の主催	102
2.8	天文センター談話会	102
2.9	広報普及活動・社会貢献	103
2.9.1	特別公開	103
2.9.2	東大オープンキャンパス	103

2.9.3	普及講演	104
2.9.4	プレスリリース	104
2.10	その他の活動	104
2.10.1	講義等 (学部)	104
2.10.2	講義等 (大学院)	104
2.10.3	講義等 (他大学)	104
2.10.4	各種委員	104
2.10.5	科研費等	105
2.10.6	PI 共同利用時間	106
2.10.7	受賞	107
2.10.8	国外出張	107
2.10.9	来訪研究者	108
第 3 部	天文学教育研究センター木曾観測所	109
3.1	沿革と現状	111
3.1.1	沿革	111
3.1.2	現状	111
3.2	木曾観測所の活動	113
3.2.1	木曾広視野動画カメラ Tomo-e Gozen の開発	113
3.2.2	Tomo-e Gozen を用いた研究	117
3.2.3	写真乾板を用いた研究	133
3.2.4	望遠鏡とドームの保守, 整備	133
3.2.5	計算機の保守, 整備	135
3.2.6	ネットワーク・通信機器の保守, 整備	137
3.2.7	データアーカイブ	137
3.2.8	所員の研究活動	139
3.2.9	論文および出版物	140
3.2.10	天文電報等	143
3.2.11	学会, 研究会等での報告	144
3.2.12	学生実習	149
3.2.13	地域貢献事業	153
3.2.14	教育 (パブリックアウトリーチ)・広報活動	156
3.3	施設, 設備	163
3.3.1	観測所	163
3.3.2	105cm シュミット望遠鏡	163
3.3.3	30cm 望遠鏡	164
3.3.4	広視野動画カメラ Tomo-e Gozen	165
3.3.5	遠隔自動観測システム	165
3.3.6	観測サポート機器	166
3.3.7	計算機	168
3.3.8	観測所のネットワーク設備	171
3.3.9	外部機関管理機器	172
3.4	運用, 管理所	175
3.4.1	宿泊	175
3.4.2	日誌	175

3.4.3	役務, 営繕工事等	175
3.4.4	晴天率・観測統計	177
3.4.5	環境安全衛生	178
3.4.6	環境維持・環境整備	179
3.5	所員	180
3.5.1	教員および職員	180
3.5.2	外国人来訪研究者	180
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・Zoom, 2021/11/18)	180
3.5.4	記録事項	180

第1部

天文学教室

東京大学大学院理学系研究科天文学専攻 (天文学教室)

〒113-0033 東京都文京区本郷7-3-1

電話: 03-5841-xxxx (内線 2xxxx) [xxxx は下表参照]

FAX: 03-5841-7644 (内線 27644)

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

表 1.1: 天文学教室 (2022 年 3 月 31 日)

氏名または室名	部屋番号	電話番号	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 (浅川)	1108	4251	asakawa.yuko@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-2021年度)	520名	(うち2021年度10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-2021年度)	726名	(うち2021年度17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-2021年度)	392名	(うち2021年度10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-2021年度)	7名	(うち2021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-2021年度)	22名	(うち2021年度0名)
博士課程退学者・論文博士	(1990年度-2021年度)	10名	(うち2021年度0名)
論文博士(天文以外の出身者)	(1990年度-2021年度)	8名	(うち2021年度0名)

1.2 教員, 職員, および研究員

1.2.1 教員および職員

教授	戸谷 友則	(とたに ともり)
	田村 元秀	(たむら もとひで)
	相川 祐理	(あいかわ ゆり)
	柏川 伸成	(かしかわ のぶなり)
准教授	嶋作 一大	(しまさく かずひろ)
	梅田 秀之	(うめだ ひでゆき)
	藤井 通子	(ふじい みちこ)
助教	高田 将郎	(たかた まさお)
	左近 樹	(さこん いつき)
	松永 典之	(まつなが のりゆき)
特任助教	KWON Jungmi	(くおん じょんみ)
事務職員	藤枝 伸	(ふじえだ しん)
	浅川 優子	(あさかわ ゆうこ)
臨時職員	永山 悦子	(ながやま えつこ)
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)

1.2.2 日本学術振興会特別研究員

百瀬 莉恵子 (RPD) [嶋作]

1.2.3 日本学術振興会外国人特別研究員

WANG Long [藤井]

1.2.4 特任研究員

熊本 淳 [藤井]

Livingston John Henry [田村]

楊 毅 [田村]

CATALDI Gianni [相川]

平野 信吾 [相川]

De Leon Jerome Pitogo [田村]

1.2.5 客員共同研究員

Ryan Masami LAU [左近]

1.2.6 名誉教授

海野 和二郎 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青木和光准教授、関井隆准教授、原弘久准教授、宇宙科学研究所の吉川真准教授、京都大学の横山央明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、非常勤講師として千葉大学の堀田英之准教授、東邦大学の関口雄一郎准教授、国立天文台の田中賢幸准教授、統計数理研究所の池田思郎教授、名古屋大学の犬塚修一郎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。

兼任教員(東京大学)

教授	鈴木建	(総合文化研究科)
教授	大内正己	(宇宙線研究所)
准教授	SILVERMAN John	(カブリ数物連携宇宙研究機構)

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	高遠徳尚	鹿野良平	
准教授	奥田 武志	勝川 行雄	中村 文隆	都丸 隆行

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	有田淳也	井上修平	神原祐樹	小林将理	小道雄斗
	津々木里咲	成瀬日月	長谷川智也	波多野 駿	船越菜月
3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				

1.3.2 大学院学生 ([]内は指導教員)

D3	SAEZ ELGUETA Scarlet Margarita [田村] (2016年9月23日入学)	池内綾人 [嶋作]
	FENG Chien-Chang [梅田] (2017年9月22日進学)	
	崔 仁士 [相川] (2021年11月30日修了)	辰馬未沙子 [小久保]
	山口正行 [中村] (2022年1月31日修了)	
	JIAN Mingjie [田村] (2018年9月21日進学)	

(次ページに続く)

- LIN Haoxiang [戸谷] (2021年11月30日修了)
 LUO Yudong [中村] (2021年9月24日修了)
 有馬宣明 [土居] 石塚典義 [勝川] 菊地原 正太郎 [大内]
 財前真理 [梅田] 武井勇樹 [茂山] 陳 家偉 [河野]
 長谷川 大空 [藤井] 山下 祐依 [河野] 李 建鋒 [河野]
 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)
 李 秀珍 [本間] (2019年9月20日進学)
- D2 安藤 誠 [嶋作] 遠藤いずみ [相川] 沖野大貴 [本間]
 櫛引洗佑 [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] 吉成直都 [藤井]
 吉村勇紀 [河野]
- 張 也弛 [大内] (2020年9月24日進学)
- D1 朝野哲郎 [藤井] 石本 梨花子 [柏川] 宇野慎介 [河野]
 木下真一 [中村] 桑田敦基 [田村] 黄 燦 [河野]
 高村美恵子 [本間] 橘 健吾 [宮田] 富永愛侑 [海老沢]
 中津野侃貴 [鹿野] 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)
- M2 恒次翔一 [峰崎] 長谷川龍斗 [相川]
 LUO Tianyin [梅田] (2021年9月24日修了)
 張 天放 [土居] (2021年9月24日修了)
 足達洋亮 [深川] 小川卓馬 [鹿野] 小野恭平 [小久保]
 小藤由太郎 [本間] 下野直弥 [戸谷] 孫 東昇 [大内]
 高橋尚人 [土居] 陳 諾 [本原] 長塚知樹 [海老沢]
 西嶋 翔 [梅田] 平島敬也 [藤井] 本多優一 [阪本]
 水越翔一郎 [峰崎] 道藤 翼 [宮田] 三井康裕 [田村]
 室伏海南江 [嶋作] 森井嘉穂 [中村] 森塚章恵 [勝川]
 大和義英 [相川] 吉岡岳洋 [柏川]
- 徐 弈 [大内] (2020年9月24日入学)
- M1 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)

1.3.3 博士論文, 修士論文および課題研究発表

博士論文 (2021 年 9 月 24 日取得)

LUO Yudong Impacts of Cosmological and Stellar Magnetic Fields on Nucleosynthesis (and related Physical Processes)

博士論文 (2021 年 11 月 30 日取得)

崔 仁士 Probing Gas Kinematics around Protostars with Multi-scale Observations
LIN Haoxiang Multi-wavelength non-thermal emission from binary neutron star mergers

博士論文 (2022 年 1 月 31 日取得)

山口 正行 The Statistical Properties of the Detailed Structures of the Protoplanetary Disks in the Taurus Star-forming Region with ALMA Super-resolution Imaging Technique

博士論文 (2022 年 3 月 24 日取得)

SAEZ ELGUETA Detailed Chemical Abundances of Cepheids Based on Near-Infrared Spectra
Scarlet Margarita
辰馬 未沙子 Material Strength of Dust Aggregates in Planet Formation
菊地原 正太郎 Exploring the Frontiers of Low-Mass Galaxy Formation over the Cosmic History using Large Observational Data
財前 真理 Dynamics and Symmetry Breaking of Collective Neutrino Oscillation in Core-Collapse Supernovae
武井 勇樹 Unveiling the progenitors of interaction-powered supernovae with multi-color light curve modeling
山下 祐依 Cold molecular gas and physical properties of active galaxies hosting rapidly growing super-massive black holes

修士論文 (2021 年 9 月 24 日修了)

LUO Tianyin Stellar models of Betelgeuse (α -Ori) constrained using observed surface conditions
張 天放 OPTICAL VARIABILITY OF BLAZARS IN THE TOMO-E GOZEN
NORTHERN SKY TRANSIENT SURVEY

修士論文 (2022年3月24日修了)

足達 洋亮	原始惑星系円盤の温度変化による輝線強度の時間変化
小川 卓馬	Gaia データを用いた散開星団の潮汐テイルの研究
小藤 由太郎	EHT および VERA による Sgr A* の 10 ~ 100 Rs スケールの観測
下野 直弥	Prospects of detecting TeV gamma-ray emissions from nearby star-forming galaxies by the Cherenkov Telescope Array
孫 東昇	Cosmological-Scale HI Distribution Around Galaxies and AGN Probed with Massive Spectroscopic Data
陳 諾	Multi-emission-line study on H α emitters at $z \sim 2.3$ from broad-band excesses
平島 敬也	Predicting the Expansion of Supernova Shell Using Deep Learning toward High-Resolution Galaxy Simulations
本多 優一	銀河面上における星形成前段階の星間ガスの探索
水越 翔一郎	WISE データのフラックス変動を用いた AGN ダスト減光量の推定と共進化への示唆
道藤 翼	The mid-infrared observations of the episodic dust formation by WR137 with Subaru/COMICS and the development of cold chopper for TAO/MIMIZUKU
三井 康裕	M 型星周りの惑星サーベイ: すばる戦略枠観測 IRD-SSP におけるサンプルの特性調査
室伏 海南江	A Subaru Hyper Suprime-Cam Survey of Lyman Alpha Emitters at $z \sim 6.8$
森井 嘉穂	Internal Structure of 70 μ m Dark High-mass Clumps: Dense Cores, Hub-filament Systems, and Massive Cores
大和 義英	Deuterium Chemistry in Planet-forming Regions Probed by Radio Interferometric Observations
吉岡 岳洋	Mapping the Spatially Inhomogeneous Cosmic Reionization with Subaru HSC

課題研究発表

有田 淳也 [柏川]	$z \sim 6$ クェーサーのダークハロー質量測定
井上 修平 [河野]	広帯域ミリ波・サブミリ波検出器のための平面 Magic-T の開発
神原 祐樹 [藤井]	恒星遭遇と潮汐による短周期惑星の形成
小林 将理 [田村]	Overall TESS Pipeline to Search for Transiting Planets in Young Stars
小道 雄斗 [相川]	星間衝撃波によるフィラメント状分子雲の形成と化学進化
津々木 里咲 [酒向]	中間赤外線全天雲モニタの開発
成瀬 日月 [宮田]	TAO/MIMIZUKU による中間赤外線モニタ観測の実現に向けた Flat Calibration Unit の開発
長谷川 智也 [峰崎]	tip/tilt 機能付き可変形鏡 DMP40 の空間・時間応答特性評価
波多野 駿 [嶋作]	$z \sim 3 - 5$ dusty SF galaxies の環境
船越 菜月 [小林]	近赤外分光観測と Gaia 衛星カタログで探るセファイドの運動と渦状腕の関係

1.4 授業

1.4.1 学部

教養学部主題科目

31654 (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

理学部第2学年専門科目

0520002 (A セメスター第4学期) 天体物理学演習 I 高田将郎
0520003 (A セメスター第4学期) 天文学概論 戸谷友則・田村元秀・相川祐理・柏川伸成

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	横山央明・関井隆・原弘久
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	江草芙実
0520038	(A セメスター)	天文学ゼミナール	左近樹・小西真広
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	(通年)	研究倫理	藤井通子

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	須藤 靖・相川祐理
0590101	(A セメスター)	重力波物理学	都丸隆行・Kipp Cannon

1.4.2 大学院

35604-0002	(A セメスター)	位置天文学特論Ⅱ	鹿野良平
35604-0014	(A セメスター)	光赤外線天文学特論Ⅳ	宮田隆志
35604-0020	(S セメスター)	理論天体物理学特論Ⅴ	関口雄一郎
35604-0023	(S セメスター)	太陽物理学特論Ⅲ	堀田英之
35604-0028	(A セメスター)	電波天文学特論Ⅲ	河野孝太郎
35604-0032	(A セメスター)	銀河天文学特論Ⅱ	田中賢幸
35604-0039	(A セメスター)	恒星物理学特論Ⅳ	相川祐理・小林尚人
35604-0048	(S セメスター)	高エネルギー天文学特論Ⅲ	海老沢 研
35604-0056	(S セメスター)	系外惑星特論Ⅰ	須藤 靖・相川祐理
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	(S セメスター)	科学英語演習Ⅰ	MAKSYM Peter
35604-1002	(A セメスター)	観測天文学特別講義Ⅱ	池田思朗
35604-1011	(A セメスター)	理論天文学特別講義Ⅰ	犬塚修一郎
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. すばる HSC による宇宙再電離の非一様性マッピング (吉岡, 柏川, 嶋作, 百瀬, 石本, 武田)
井上昭雄 (早稲田大学) らとの共同研究. すばる HSC を用いて $z \sim 6.8$ におけるライマンブレイク銀河、ライマン α 輝線銀河の両方を抽出し、場所ごとのライマン α 輝線検出率マップを描いた. 観測条件に合致したシミュレーションデータからライマン α 輝線検出率と宇宙中性度の関係を求め、上記のライマン α 輝線検出率マップから宇宙中性度マップを描くことに初めて成功した. その平均値はこれまでの結果と整合性があり、また統計的には弱いものの、中性度の高いところと低いところでライマン α 輝線の等価幅の違いも検出された. ただし、本来存在するであろう宇宙の大規模構造との切り分けが難しく、この不定性を定量的に示した (Yoshioka et al. 2022).
2. $2 < z < 4.5$ におけるライマン α 輝線銀河の環境 (柏川, 石本, 吉岡, 武田)
伊藤慧 (総研大)、田中賢幸 (国立天文台) らとの共同研究. COSMOS 領域における測光的赤方偏移カタログを基に星形成銀河と星形成停止銀河を抽出し、また同じ z にあるライマン α 輝線銀河を狭帯域フィルターに基づく測光カタログから取得し、主に相互相関関数を評価することで3者の環境を比較した. 星形成銀河と星形成停止銀河は共通するダークマターハローの質量の違いでその環境を説明することができたが、ライマン α 輝線銀河はダークマターハロー質量の違いだけで星形成銀河や H α 輝線銀河と統合して説明することはできないことがわかった. 一般の天域でこのことを明らかにしたのは初めてである. ライマン α 輝線銀河は、環境によって観測可能性が大きく影響を受ける可能性、あるいは普通の銀河とは異なるバイアスを有している可能性について論じた (Ito et al. 2021).
3. $z > 6$ ($z = 6.1292$) におけるタイプ II クェーサー候補の発見 (柏川)
尾上匡房 (MPIA)、松岡良樹 (愛媛大学) らとの共同研究. このプロジェクトでは、すばる HSC SSP の広域撮像データと可視追分光観測から $z \sim 6$ の低光度クェーサーを多数発見している. 狭く ($\text{FWHM} < 500 \text{ km s}^{-1}$) かつ顕著な ($\text{LLy}\alpha > 10^{44} \text{ erg s}^{-1}$) $\text{Ly}\alpha$ 輝線を示す5天体のうちの1つ HSC J142331.71-001809.1 を Keck/MOSFIRE で分光したところ、高電離の CIV 輝線が $\text{FWHM} = 120 + 20 - 20 \text{ km s}^{-1}$ ではっきりと検出された. この天体は、紫外線の大きさ、線幅、輝度、 $\text{Ly}\alpha$ と CIV の EW から判断して、古典的な II 型 AGN の再電離時代の類似天体であると考えられるが、初期宇宙における AGN/銀河複合天体の新しい集団である可能性もある. 今後、他の金属輝線を紫外線や光学で観測し、さらに X 線による観測を行い、 $z = 6 - 7$ の狭輝線クェーサーを追跡することで、より確かな診断とその性質を明らかにする必要がある (Onoue et al. 2021).
4. $z \sim 6.8$ の $\text{Ly}\alpha$ 光度関数と宇宙再電離期の推定 (室伏, 嶋作)
柏川伸成, 吉岡岳洋 (東京大学), 井上昭雄 (早稲田大) らとの共同研究. 宇宙再電離がいつどのようにして起きたのかを探るために、我々はすばる望遠鏡 Hyper Suprime-Cam の中間帯域フィルター IB945 (中心波長 = 9462 \AA , $\text{FWHM} = 330 \text{ \AA}$) を用いて $z \sim 6.8$ の明るい Lyman α 輝線銀河 (LAE) を COSMOS フィールドで探査し、当時の宇宙の電離状態を調べている. データは CHORUS プロジェクト (Inoue et al. 2020) で取られらものである. 本探査の探査面積は 1.5 deg^2 , 対応する探査体積は $3.0 \times 10^6 \text{ cMpc}^3$ もあり、最も深い場所における IB945 の限界等級は 26.17 mag (5σ , $1.1'' \times 20$ 開口直径) に達している. IB945, z , y バンドを用いた色選択によって 44 個の LAE を検出し、その天球分布から 2 つの密度超過領域も発見した. 当時の宇宙の電離度を (i) LAEs の光度関数と (ii) 密度超過領域の LAEs のコントラストで推定したところ、前者はほぼ完全電離、後者は中性度が 50% 以上という矛盾する結果が得られた. この矛盾の原因はまだ突き止めていないが、銀河の Lyman α 輝線の放射率が想定以上に高いために (i) の方法が中性度を過小評価している可能性や、密度超過領域での銀河の形成率が想定以上に高いために (ii) の方法が中性度を過大評価している可能性が考えられる.

5. $z = 2$ におけるダークマターの密度環境と属する銀河の性質に関する統計的な研究 (百瀬)
Benjamin Horowitz (Princeton), Khee-Gan Lee, Metin Ata (IPMU/University of Tokyo) との共同研究. 銀河の進化過程は属する環境によって大きく影響を受ける. 中でも現在の宇宙 ($z = 0$) では, 銀河団領域とフィールド領域で銀河の色, 形, 星形成率といった銀河の物理量に大きく違いがあることはよく知られている (e.g., Dressler 1980). しかし, 遠方宇宙ではこうした環境と属する銀河の性質に関する理解がまだ浅い. そこで本研究では, $z = 2$ の Mpc 規模の環境と属する銀河の性質に関して調査を開始した. Mpc 規模の環境は, 大規模な IGM HI 観測と銀河分光サーベイデータから推定されたダークマターの密度構造マップを用いて定義している (Horowitz et al. 2019, 2021). 本年度はこのプロジェクトの解析を進め, 現在投稿論文として準備中である.
6. 宇宙論的シミュレーションと $\text{Ly}\alpha$ 輻射輸送計算で明かす $\text{Ly}\alpha$ ハローと銀河進化 (百瀬)
Anne Verhamme, Moupiya Maji, Thibault Garel, Floriane Leclercq, 日下部晴香 (University of Geneva), Jérémy Blaizot (University of Lyon), Maxime Trebitsch (Sorbonne University) との共同研究. 標準宇宙モデルと標準銀河進化理論によると, 銀河はダークマターの大规模構造の中で生まれ, 銀河間空間からフィラメント, 銀河とその周辺環境の境界であるハローを介して銀河円盤にガスを獲得し, 質量を増加させながら進化する. このように銀河の進化過程はガスから星という物質循環と密接に関係しており, その解明には銀河円盤における星形成過程と銀河円盤へのガス流入・流出過程の理解が肝要となる. 銀河円盤へのガス流入・流出過程は, 銀河周辺に淡く広がる銀河周辺ガス (CGM) に反映されると考えられている. 私はこれまで, $\text{Ly}\alpha$ 輝線を指標として CGM を観測し ($\text{Ly}\alpha$ ハロー), その広がりや明るさと母銀河の諸性質の関係を観測データを用いて調査し, その結果を銀河進化の枠組みの中で議論してきた (Momose et al. 2014, 2016, 2019). しかし, 観測研究間での共通見解は未だなく, 議論は混沌としている. そこで私は, スイス・ジュネーブ天文台の Anne Verhamme 教授のグループと共同で, 理論の観点から $\text{Ly}\alpha$ ハローと銀河の関係を明らかにするプロジェクトを始めた. 本プロジェクトでは, 宇宙論的流体シミュレーションの計算によって生成された銀河に Verhamme 教授が開発した $\text{Ly}\alpha$ 輝線の輻射輸送計算を組み込んで $\text{Ly}\alpha$ ハローを生成する. この $\text{Ly}\alpha$ ハローを地上望遠鏡の分解能を想定して擬似観測し, $\text{Ly}\alpha$ ハローの観測量 (光度, サイズ) と母銀河の様々な物理量 (星質量, 銀河本体の光度, 年齢等) 間の相関を調査している.
7. 星形成活動遷移期の原始銀河団コアの系統的探査 (安藤, 嶋作, 百瀬)
伊藤慧 (総合研究大学院大学), Marcin Sawicki (Sent. Mary's Univ.), 嶋川里澄 (国立天文台) との共同研究. 銀河団における星形成活動は, $z < 1$ において一般領域の銀河に比べて著しく抑制されている. これに対し形成期の銀河団, すなわち原始銀河団では, $z > 2$ において星形成がむしろ促進されていることが報告されている. そこで (原始) 銀河団における星形成活動がいかなる要因で促進から抑制に転じるのかを調べるため, すばる望遠鏡による 22 平方度に及ぶ大規模サーベイのデータを用いて, 星形成の遷移期にあたる $1 < z < 1.5$ において原始銀河団コアを探査し, そこに所属する銀河の性質を調べた. 見つかった原始銀河団コアには一般領域と比べて星形成を終えた赤い銀河の割合が高く, 特により星質量が大きな銀河について顕著であった. この星質量に対する傾向は少数の高赤方偏移銀河団を対象にした先行研究でも見出されていたが, 本研究では同様の傾向をこれまでにない大規模な原始銀河団コアのサンプルに基づき, 高い統計的信頼性をもって確認することができた. また今回のサンプルでは, コアの中心部に存在する大質量銀河とコア中のその他の銀河の星形成活動が類似性が見られた. このことはコアの中心銀河の星形成活動と原始銀河団の進化段階との相関を示唆する. 以上の結果は査読付き論文として MNRAS に投稿した.
8. 深層異常検知を用いた希少銀河の探査 (田中匠, 嶋作)
柏川伸成 (東京大学), 嶋川里澄, 田中賢幸 (国立天文台), 井上昭雄 (早稲田大), 鳥羽儀樹 (京都大学) らとの共同研究. HSC-SSP (Subaru Strategic Program with Hyper Suprime-Cam) をはじめとした大規模な

銀河データの中には、統計的研究に耐える数の希少銀河や全く未知の天体が含まれている可能性がある。我々は、こうした銀河や天体を、予備知識を必要とせず、既存手法より効率的で非線形な構造にも対応可能な深層異常検知を用いてブラインドで探査する Swimmy (Subaru Wide-field Machine-learning anoMaY) Survey を推進している。今回は第一段階として、HSC-SSP Wide 20A の画像データから低光度活動銀河核や超輝線銀河 (XELGs) などの希少銀河を抽出する手法を開発した。具体的には、Convolutional Denoising Autoencoder で入力画像を圧縮・再構成する手法を学習し、訓練したモデルを用いて再構成した画像と元画像との残差情報から、SDSS で同定済みの $0.05 \leq z \leq 0.2$ の 49,319 天体から希少銀河候補 5,955 天体を抽出した。これらの天体を SDSS スペクトルを用いて調べた結果、最も異常値の高い銀河の多くは XELGs であることがわかった。また、今回の方法は、既知の低光度活動銀河核や XELGs の $\approx 60\%$ 以上を検出できることもわかった。

1.5.2 宇宙の高エネルギー現象

1. 連星中性子星合体からの超高エネルギーガンマ線残光 (戸谷, Lin)

Detecting very-high-energy (VHE) gamma-ray afterglow emission from binary neutron star (BNS) mergers will become more efficient with the operation of Cherenkov Telescope Array (CTA) and the Large High Altitude Air Shower Observatory (LHAASO) in the near future. For the feasibility of VHE detection, while previous considerations were biased to the on-axis jet direction from which Gamma-ray Bursts (GRBs) were observed, off-axis jet profile probed by recent GRB observations allows for reliable prediction from a more general viewing angle distribution. We calculate synchrotron self-Compton (SSC) afterglow emission from BNS mergers taking into account high energy suppression effects, including Klein-Nishina scattering and attenuation by extragalactic background light, and provide an estimate of detection rates based on the differential sensitivities of the detectors (CTA, LHAASO) and the assumed viewing angle distributions (uniform spherical, gravitational-wave-detected, on-axis only) to reflect different searching scenarios.

2. CTA で検出が期待される近傍星形成銀河 (戸谷, 下野)

星形成を行っている銀河では宇宙線が生成され、星間物質と相互作用してガンマ線を放射する。近傍のいくつかの銀河でそのような検出があるが、CTA が実現すればさらに多くの銀河からガンマ線の検出が期待され、銀河の性質と宇宙線の生成や閉じ込めとの関連が明らかになると期待される。我々は、銀河のいくつかの物理量からガンマ線光度を予測するモデルを構築し、近傍銀河のカatalogから、CTA でどれぐらいの銀河が検出されるかを見積もった。

3. CHIME による連星中性子星合体の電波残光の検出可能性の検討 (戸谷, Lin)

東大 RESCEU の鹿内氏、Cannon 氏らと共同で、カナダで高速電波バーストを多く発見している CHIME プロジェクトのサーベイにより、連星中性子星の合体後に生じると期待される電波残光の検出可能性を検討した。その見積もりのために、Lin, 戸谷が構築した残光理論モデルが使用された。その結果、年間数百個の電波残光が3シグマレベルで検出されることがわかった。他の天体から区別して連星合体の残光と同定できるかどうかは今後の課題である。

1.5.3 銀河系および星間物質

1. ダスト表面での分子の吸着、脱離過程 (相川)

低温な分子雲ではさまざまな分子がダスト表面に吸着して氷マントルを形成する。氷の昇華は星形成領域や原始惑星系円盤においてガス組成や惑星系材料物質に大きな影響を与える。相川はさまざまな分子

の昇華率に関する実験結果のレビューチームに参加し、星間物質の観測・理論と昇華率に関する節の執筆に貢献した。

2. Orion Nebula Cluster の形成 (藤井, Wang, 熊本)

我々は新規開発の N 体/流体コード「ASURA + BRIDGE」を用いて、分子雲の流体シミュレーションからスタートし、星一つ一つを再現した Orion Nebula Cluster (ONC) 形成シミュレーションを行った。このシミュレーションの中で、星同士の近接遭遇も近似することなく取り扱われている。シミュレーションから、星団中心部から弾き出された大質量星が星団の電離に貢献していることがわかった。また、Gaia で得られた ONC の大質量星の運動とシミュレーション結果を比較した結果、ONC の大質量星の運動はシミュレーションで見られる星の運動と類似しており、ONC でもシミュレーションと同様に近接遭遇による星の弾き出しが起きていることが示唆された。

3. Dynamical evolution of star clusters (Wang)

We have investigated how the top-heavy IMF affects the event rate of GWs, we found that GCs with a top-heavy IMF is not efficient to produce GW mergers due to a low density after a strong expansion because of massive stellar wind mass loss. We also found the mass ratio distribution of BBHs is also different from that of GCs with the canonical IMF. We have also carried out the first N-body models of intermediate massive star clusters with up to 100% binary fractions. We found that only massive primordial binaries can affect the long-term evolution of star clusters, but the effect is weak. This suggests that we can ignore low-mass binaries in the numerical modelling of GCs if we only care about the GW events.

4. 散開星団における連星ブラックホールの形成と有効スピンの進化 (熊本)

我々は、4つの異なる金属量を持つ散開星団の N 体シミュレーションを行った。これらの散開星団から発生する連星ブラックホールの有効スピンを調べるために、星風による質量損失と Wolf-Rayet (WR) 星の潮汐によるスピンアップを考慮して、WR 星のスピン進化を計算した。その結果、半長軸が小さい連星ブラックホールは、強い潮汐力によって、より大きな有効スピンを持つ連星ブラックホールに進化することがわかった。近傍の宇宙では、ブラックホールが伴星の潮汐力以外にスピン角運動量を得ていなくても、合体する連星ブラックホールの約 16% が有効スピンを 0.1 以上になりうる。もし、WR 星が common envelope には、無次元のスピン分布が平坦で等方的であると仮定すると、合体する連星ブラックホールの有効スピン分布は、LIGO や Virgo による重力波観測から推測されるものと類似することを発見した。

5. N 体シミュレーションと Gaia の位置天文観測データを用いた銀河系動力学的研究 (朝野)

我々は、Fujii et al. (2019) の天の川銀河 N 体シミュレーションを解析し、Gaia 衛星の観測との比較を行った。Kullback-Leibler divergence (KLD) と呼ばれる指標を用いて、シミュレーションと観測における位相空間分布の類似度を定量的に評価し、さらに詳細な軌道解析を行うことで、Hercules stream などの速度空間サブ構造がバーの共鳴軌道に起因する可能性が高いことを示した。また、伴銀河が天の川銀河円盤に与える力学的影響を調べるため、Fujii et al. (2019) の円盤銀河モデルに伴銀河を追加して新たなシミュレーションを実行した。warp などの銀河円盤造が伴銀河との相互作用によって作られることを確認した。今後、高解像シミュレーションを実行し、詳細な解析を進めていく。

6. A Very Metal-poor RR Lyrae Star with a Disk Orbit Found in the Solar Neighborhood (N. Matsunaga, A. Itane, D. Taniguchi, M. Jian, KISOGP team, WINERED team)

Metal-deficient stars are important tracers for understanding the early formation of the Galaxy. Recent large-scale surveys with both photometric and spectroscopic data have reported an increasing number of metal-deficient stars whose kinematic features are consistent with those of the disk stellar populations. We report the discovery of an RR Lyrae variable (hereafter RRL) that is located within the thick disk

and has an orbit consistent with the thick-disk kinematics. Our target RRL (HD 331986) is located at around 1 kpc from the Sun and, with V around 11.3, is among the ~ 130 brightest RRLs known so far. However, this object has scarcely been studied because it is in the midplane of the Galaxy, at a Galactic latitude around -1° . Its near-infrared spectrum ($0.91\text{--}1.32\ \mu\text{m}$) shows no absorption line except hydrogen lines of the Paschen series, suggesting $[\text{Fe}/\text{H}] \lesssim -2.5$. It is the most metal-deficient RRL, at least among RRLs whose orbits are consistent with the disk kinematics, although we cannot determine to which of the disk and the halo it belongs. This unique RRL would provide us with essential clues for studying the early formation of stars in the inner Galaxy with further investigations, including high-resolution optical spectroscopy. Published as Matsunaga et al. (2021, ApJ, 925, 10).

7. 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菟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.

8. 窒素含有炭素質ダストの合成実験 (遠藤, 左近, 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 QCC 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、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。本結果は、Endo et al. 2021, “On the Nature of Organic Dust in Novae”, ApJ, 917, 103 として発表した。

9. 気化させた実験室有機物を分光するための装置開発及び分光分析 (遠藤, 左近, 尾中)

北海道大学の木村勇気らとともに、実験室有機物を気化させ、その場で分光するための装置開発及び分光実験を行った。装置作成後、まず工業的に生産されているアントラセンとコロネンを用いたテスト実験を行い、気化させた物質のスペクトルが取得されることを確認した。この装置を用いて、これまで実験室で合成に成功した、古典新星周囲で観測される有機物を模擬する実験室有機物、急冷窒素含有炭素質物質 (Quenched Nitrogen-included Carbonaceous Composite: QNCC) を気化させ、熱によりどのような構造単位に分解されるのかを調べるための分光分析を行った。実験手順として、まず粉末状の QNCC をチャンバー内のモリブデン (Mo) ポート (蒸発源) の上に置き、ドライポンプとターボ分子ポンプを用いて装置全体を 1×10^{-2} Pa まで真空引きした。その後 He ガスを圧力が 1×10^4 Pa になるまで導入し、装置を分光器からのビームが装置の KRS-5 の窓を通過するように設置した。Mo ポートは銅電極に固定されており、電流を流すと抵抗加熱により温度が上昇する。装置には温度を測定するための放射温度計を取り付けた。電源の電圧を徐々に上げ、その間手動でできる範囲で連続的に赤外透過スペクトルを取得し続けた。QNCC が気化したタイミングで元々の QNCC のスペクトルには見られなかった 3.4 と $3.5 \mu\text{m}$ の feature を示すスペクトルを取得した。

1.5.4 恒星

1. 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.

2. Neutrino emission from Population III supermassive stars (Nagele, Umeda)

Collaboration with Yoshida T. (University of Kyoto), Takahashi K. (AEI), & Sumiyoshi K. (Numazu). Purpose: Previous works had suggested that the collapse of early universe supermassive stars could produce copious amounts of neutrinos which could form an observable background in the local universe. Progress: We test this idea using supermassive stars taken from a post Newtonian stellar evolution code which we then put into a neutrino radiation hydrodynamics 1D GR code in order to estimate the neutrino emission. We find that a large and diffuse neutrino-sphere forms, and this limits the overall neutrino luminosity to be lower than estimated in previous works. We also identify that the only relevant parameter for neutrino emission is the core entropy.

3. General relativistic stability analysis of Population III supermassive stars (Nagele, Umeda)
 Collaboration with Yoshida T. (University of Kyoto), Takahashi K. (AEI), & Sumiyoshi K. (Numazu).
 Purpose: The general relativistic radial instability is thought to cause the collapse of early universe supermassive stars which could provide the seeds for observed high redshift quasars. This instability is also thought to trigger a supernova powered by alpha process nuclear burning. Progress: We develop a straightforward but novel approach to evaluating the GR radial instability and apply it to supermassive stars from our post Newtonian stellar evolution code. Our approach suggests that supermassive stars collapse earlier in their lifetimes than had previously been suggested.
4. General relativistic instability supernova (GRSN) (Nagele, Umeda)
 Collaboration with Yoshida T. (University of Kyoto), Takahashi K. (AEI), & Sumiyoshi K. (Numazu).
 Purpose: The general relativistic radial instability is thought to cause the collapse of early universe supermassive stars which could provide the seeds for observed high redshift quasars. This instability is also thought to trigger a supernova powered by alpha process nuclear burning. Progress: Using the results of the GR radial instability analysis, we follow the collapse, explosion, or pulsation of the supermassive stars in a 1D GR hydrodynamics code with nuclear burning. We find two explosions and three pulsations. Both the explosions and pulsations may be visible to JWST.
5. 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.
6. Stellar Models of Betelgeuse (α -Ori) constrained using observed surface conditions (Luo T., Umeda H.)
 Collaboration with Yoshida T. (University of Kyoto) & Takahashi K. (AEI). Purpose: Using stellar modelling coupled with observational data of Betelgeuse to study Betelgeuse's past evolution history, and to predict its future behaviour. Observational constraints used include the luminosity, surface temperature, and surface abundances of carbon, nitrogen, and oxygen. For our stellar models, we examine the effects of varying the initial mass, rotation, and overshoot parameters. We then analyze our results and discuss them in the context of current literature.
 Progress: We completed the analysis of our data and discussion among recent literature. We found the acceptable initial mass range to be 12 to 25 solar masses in non-rotating models, but decreased to 15 to 24 solar masses when initial rotation is added. Our 17 solar mass models were able to fit to Betelgeuse during both the core helium and core carbon burning stages. We also found that our most rapidly rotating models ($v/v_K = 0.4$) caused the surface abundances to no longer fit to observed values. Finally, unanswered questions still exist around the mechanisms which allowed Betelgeuse to attain its rapid surface velocity. Our results were unable to prove or disprove current contending theories.
 This project was submitted as Master's thesis in September 2021.
7. 超新星爆発の衝撃波前方領域でのニュートリノ集団振動 (財前)
 森長大貴 (早稲田大学) との共同研究. 超新星爆発のコア付近では大量に放出されたニュートリノの自己相互作用によりニュートリノ集団振動が引き起こされると考えられている. 特にその中でも, ニュートリノのレプトン数角度分布が0と交差する場合に引き起こされる高速フレーバー変換が注目されている.

Morinaga et al. (2020) では、超新星爆発の衝撃波外側の原子核とのコヒーレント散乱がこの交差をもつような角度分布を生成し、高速フレーバー変換を引き起こすことが線形安定性解析によって明らかになった。本研究ではこの衝撃波前方領域でのニュートリノ角度分布に注目し、数値的に非線形のフレーバー進化計算を追うことのできる計算コードを開発した。その結果、実際にこのフレーバー変換が生じることを示し、また非線形効果により各空間モードの間でカスケードが成長していく様子や、全てのフレーバーに振動効果が波及するような3フレーバー効果が生じる結果も得られた。

8. 高速ニュートリノフレーバー変換に対するシミュレーションコード比較 (財前)

S. Richers (カルフォルニア大学), H. Duan (ニューメキシコ大学), M.R. Wu (中央研究院), S. Bhattacharyya (タタ基礎研究所), M. George (中央研究院), C.Y. Lin (NCHC), Z. Xiong (GSI) との共同研究。高速フレーバー変換は超新星爆発において引き起こされると考えられているニュートリノ振動現象の1つであり、爆発機構など多くに影響を与える可能性が示唆されている。その効果を調べるために多くの研究グループでシミュレーションコードが開発されているが、そこでは異なる初期条件や計算手法が取り入れられており、同一条件下での計算結果のグループ間比較は行われずにいた。本研究では5つのグループ共同で1つの問題に取り掛かることで計算結果の収束性を確かめ、また保存量に対する計算エラーの比較を行うことでどのコードがどう優れるのか評価を行った。初期条件として空間分布に異なる乱数擾乱を与えた上でもそれぞれのシミュレーション結果は同一の方向性を示すことが得られた。今回の計算結果や初期条件はベンチマークとして公開される予定である。

9. 星団中での原始惑星系円盤の破壊 (長谷川, 藤井)

星団のような星の遭遇が頻繁に起こる環境では、原始惑星系円盤が星の近接遭遇や周囲の大質量星による光蒸発で破壊されることで、惑星形成が抑制されると予想される。本研究では、星団形成 N 体シミュレーションと1次元円盤進化シミュレーションを組み合わせ、星の近接遭遇によって円盤がはぎ取られる効果によって、星団内でどの程度円盤の消失が早まるかを調べた。その結果、星団形成期の星同士の近接遭遇によって、星団内で円盤を持つ星の割合が減り、観測されている星団の年齢と円盤を持つ星の割合とよく一致することがわかった。

10. Nonstandard Modeling of a Possible Blue Straggler Star, KIC 11145123 (M. Takata)

In collaboration with Y. Hattai (SOKENDAI/NAOJ) and others. Nonstandard modeling of KIC 11145123, a possible blue straggler star, has been asteroseismically carried out based on a scheme to compute stellar models with the chemical compositions in their envelopes arbitrarily modified, mimicking the effects of some interactions with other stars through which blue straggler stars are thought to be born. We have constructed a nonstandard model of the star with the following parameters: $M = 1.36 M_{\odot}$, $Y_{\text{init}} = 0.26$, $Z_{\text{init}} = 0.002$, and $f_{\text{ovs}} = 0.027$, where f_{ovs} is the extent of overshooting described as an exponentially decaying diffusive process. The modification is down to the depth of $r/R \sim 0.6$ and the extent ΔX , which is a difference in surface hydrogen abundance between the envelope-modified and unmodified models, is 0.06. The residuals between the model and the observed frequencies are comparable with those for the previous model computed assuming standard single-star evolution, suggesting that it is possible that the star was born with a relatively ordinary initial helium abundance of ~ 0.26 compared with that of the previous models ($\sim 0.30\text{--}0.40$), then experienced some modification of the chemical compositions and gained helium in the envelope. Detailed analyses of the nonstandard model have implied that the elemental diffusion in the deep radiative region of the star might be much weaker than that assumed in current stellar evolutionary calculations; we need some extra mechanisms inside the star, rendering the star a much more intriguing target to be further investigated.

11. Bayesian Rotation Inversion of KIC 11145123 (M. Takata)

In collaboration with Y. Hatta (SOKENDAI/NAOJ) and others. A scheme of Bayesian rotation inversion, which allows us to compute the probability of a model of a stellar rotational profile, is developed. The validation of the scheme with simple rotational profiles and the corresponding sets of artificially generated rotational shifts has been successfully carried out, and we can correctly distinguish the (right) rotational model, prepared beforehand for generating the artificial rotational shifts, from the other (wrong) rotational model. The Bayesian scheme is applied to a γ Dor- δ Sct-type hybrid star, KIC 11145123, leading to a result that the convective core of the star might be rotating much faster (~ 10 times faster) than the other regions of the star. The result is consistent with that previously suggested by Hatta et al. based on a three-zone modeling, further strengthening their argument from a Bayesian point of view.

12. Multi-cavity gravito-acoustic oscillation modes in stars. A general analytical resonance condition (M. Takata)

In collaboration with C. Pinçon (University of Liege). Over recent decades, asteroseismology has proven to be a powerful method for probing stellar interiors. Analytical descriptions of the global oscillation modes, in combination with pulsation codes, have provided valuable help in processing and interpreting the large amount of seismic data collected, for instance, by space-borne missions CoRoT, Kepler, and TESS. These prior results have paved the way to more in-depth analyses of the oscillation spectra of stars in order to delve into subtle properties of their interiors. This purpose conversely requires innovative theoretical descriptions of stellar oscillations. In this paper, we aim to analytically express the resonance condition of the adiabatic oscillation modes of spherical stars in a very general way that is applicable at different evolutionary stages. In the present formulation, a star is represented as an acoustic interferometer composed of a multitude of resonant cavities where waves can propagate and the short-wavelength JWKB approximation is met. Each cavity is separated from the adjacent ones by barriers, which correspond to regions either where waves are evanescent or where the JWKB approximation fails. Each barrier is associated with a reflection and transmission coefficient. The stationary modes are then computed using two different physical representations: (1) studying the infinite-time reflections and transmissions of a wave energy ray through the ensemble of cavities or (2) solving the linear boundary value problem using the progressive matching of the wave function from one barrier to the adjacent one between the core and surface. Both physical pictures provide the same resonance condition, which ultimately turns out to depend on a number of parameters: the reflection and transmission phase lags introduced by each barrier, the coupling factor associated with each barrier, and the wave number integral over each resonant cavity. Using such a formulation, we can retrieve, in a practical way, the usual forms derived in previous works in the case of mixed modes with two or three cavities coupled through evanescent barriers, low- and large-amplitude glitches, and the simultaneous presence of evanescent regions and glitches. The resonance condition obtained in this work provides a new tool that is useful in predicting the oscillation spectra of stars and interpreting seismic observations at different evolutionary stages in a simple way. Practical applications require more detailed analyses to make the link between the reflection-transmission parameters and the internal structure. These aspects will be the subject of a future paper.

13. 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。本結果は、Endo et al. 2021, “On the Nature of Organic Dust in Novae”, *ApJ*, 930, 116として発表した。

14. 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。
15. 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* で出版された。
16. Studying the behavior of helium 10830 Å line and the possibility to trace stellar helium abundance (M. Jian, N. Matsunaga, D. Taniguchi, S. S. Elgueta, and WINERED team)
The observation and modeling of the helium 10830 Å line have reveal the detailed empirical trend between the line strength and various stellar parameters. The trend between equivalent width (EW) and effective temperature T_{eff} for dwarfs shows the imprint from the variation of chromosphere structure and high-energy radiation. These trends can be explained by the two formation mechanism of the line, instead of a pure empirical trend with T_{eff} or metallicity. As a result, the PR mechanism is expected to appear or be dominant in the helium lines of dwarfs and warm giants (with $T_{\text{eff}} > 4500$ K), thus they have a negligible sensitivity with the helium abundance. The cooler giants, which are located rightward of the so-called coronal dividing line, are expected to have small high-energy radiation, thus the lines in these stars would have a detectable sensitivity to the helium abundance. Relation between the helium line strength and metallicity is found in the cool giants, indicating that such correlation is caused by a continued change in the chromosphere structure, or the helium abundance difference. Further observation of the spectral lines formed in the region of the helium line, e.g., hydrogen Lyman α line, would provide the information for distinguishing the two possibilities.

17. Near-infrared detailed chemical analysis of Cepheids (S. S. Elgueta, N. Matsunaga, M. Jian, D. Taniguchi, and WINERED team)

Our analysis of classical Cepheids in the YJ bands observed with WINERED led to establishing a method that provides precise and accurate stellar parameters (T_{eff} and $\log g$), which, in tandem, led to chemical abundances comparable with optical studies (Luck et al. 2018). Our sample was composed of Cepheids located in the solar neighborhood, as well as Cepheids located far in the Galactic disk. For the latter remote targets, the need of a reddening free method to estimate the effective temperature can not be neglected, therefore the use of a purely empirical spectroscopic method represents a feasible way to obtain those fundamental stellar parameter. This method known as line-depth ratio (LDR) (Gray, 1991) was mainly applied to optical spectra, with novel works in the infrared by Fukue et al. (2015), Taniguchi et al. (2018), Jian, et al. (2019) for giant stars mainly for which temperature range lies below the temperature range of Cepheids, forcing us to adapt this method to warmer regimes. In this way, following the work of Matsunaga, et al. (2021) where T_{eff} and $\log g$ were determined altogether using LDRs in a wider temperature range of 4750–6100 K allowed us to find relations for even warmer regimes valid for any Cepheid. Having determined the above parameters allows the measurement of chemical abundances of different chemical elements that are present in the spectra of Cepheids, for which we were able to find a robust number of absorption lines of Fe-peak, α -enhanced, n-capture and biogenic elements. The latter two having a significant importance, as their presence reveal important information about the mechanisms of star formation in our Galaxy (n-capture), as well as the biogenic elements (P and S) are life bearing elements important for a variety of disciplines including astrochemistry and exoplanetary science. These results were presented in a doctoral thesis defended at the beginning of 2022.

18. Chemical Abundance Analysis of RR Lyrae Variables with Near-infrared Spectroscopy (A. Itane, N. Matsunaga, D. Taniguchi, and WINERED team)

RR Lyrae variables (RRLs) are old stars evolved from low mass ($\sim 0.8 M_{\odot}$) main sequence stars, and their chemical abundances can be clues to unveil the early Galaxy evolution. If their abundances can be determined with NIR spectra, RRLs located in fields where optical extinction, such as Bulge, can be used as the stellar tracers. For the first step of NIR analysis, we are trying to establish the NIR line-list and analysis method with 4 RRLs observed at multiple pulsation phases using WINERED spectroscope. By avoiding too strong lines and blended lines, we identified C I, Mg I, Mg II, Si I, S I, Ca I, Ca II, Fe I, Fe II, and Sr II lines. By fixing surface gravity at 2.0 dex, determining the effective temperature from phase, and using Vienna Atomic Line Database (VALD3) line catalogue, we managed to derive microturbulence velocity and chemical abundances from each absorption line. We also found that some of the lines result in systematically high or low abundances compared to others, which can possibly be resulted from inaccurate oscillator strength values in VALD3.

1.5.5 太陽系外惑星および星惑星形成

1. 原始惑星系円盤の分子輝線高空間分解能観測 (相川, Cataldi, 大和)

近年 ALMA によるダスト連続波高空間分解能観測 (~ 0.1 秒角) により, 複数の原始惑星系円盤でリング-空隙構造が見つかっている. 一方で, 円盤の主成分であるガスについては, ダスト連続波よりも長い観測時間が必要となるため, 同程度の高空間分解能観測は行われていなかった. 分子輝線観測は, 惑星系形成過程の重要なパラメタであるガス/ダスト比, 円盤内での鉛直方向も含めた温度・密度分布, 分子および元素組成分布を解明する上で必要不可欠である. そこで ALMA cycle 6 Large Program “Molecules

with ALMA at Planet-forming Scales (MAPS)”では5つの原始惑星系円盤においてさまざまな分子輝線を0.1秒に迫る高分解能で観測した。相川はco-PIとしてMAPSのプロポーザル準備段階から貢献し、Cataldi 研究員と修士2年生の大和義英は imaging team のメンバーとしてプロジェクトに貢献するとともに、DCN, HCN, N_2D^+ , N_2H^+ , HCO^+ の輝線解析を担当した。DCN, HCN, N_2D^+ , N_2H^+ は円盤内での重水素化学の指標となる。円盤内での DCN/HCN 比, N_2D^+/N_2H^+ の半径方向分布を初めて明らかにした。また HCN/HCN 比と温度 (HCN 励起温度) の関係を得て, 円盤内での HCN の重水素濃縮には H_2D^+ による交換反応だけでなく, CH_2D^+ による交換反応の寄与があることを示した。一方, HCO^+ , N_2D^+ , N_2H^+ は円盤電離度の指標である。円盤の半径 100au よりも外側では HCO^+ 存在度は 10^{-10} 程度である一方, 内側では存在度が下がるという傾向が5つの円盤で共通に見られた。内側では中心面付近の高密度層にまで分子層に広がるため, そこでの低い電離度を反映していると考えられる。また N_2D^+ , N_2H^+ は HCO^+ の豊富な分子層よりも低温な 50 au 以遠の中心面の電離度の指標になると考えられる。 N_2H^+ , N_2D^+ の柱密度から, 中心面電離度が天体ごとに異なる可能性が示唆された。また円盤モデルとの比較から, 3つの円盤において中心面電離度が $10^{-18} s^{-1}$ 程度であると推定した。以上の結果を2本の論文にまとめた。また MAPS プロジェクト全体では, 上記2本の論文を含めて合計20本の論文を The Astrophysical Journal Supplement 誌の MAPS 特集号に発表した。2021年9月にはプレスリリースも行った。さらに Cataldi 研究員は円盤ガスの詳細な運動を高空間分解能観測で探る ALMA cycle 8 Large Program “exoALMA” に参加し, データ解析に貢献している。

2. 星形成コアの化学構造 (大和義英, 相川祐理, 平野信吾)

低質量星原始星コアの近傍には 100K 以上に加熱され, エンベロープから落下してきた氷の昇華によりタノールなどの大型有機分子輝線が観測される hot corino と呼ばれる領域が存在する。hot corino では重水素を含む分子も検出されており, 氷内に含まれていた分子の重水素比を推測する上でも有用である。大和義英 (修士2年) は VLA で得られた IRAS4A における NH_2D , NH_3 の複数の高励起輝線のデータ解析を行った。放射領域は空間分解されていないが, 励起温度 (90 K 以上) から, 氷が昇華した領域をとらえていることがわかる。得られた NH_2D/NH_3 比は 0.5–1 と非常に高く, 重水素化の起こりやすい高密度コアで多くの NH_3 氷が形成されたことを示す。 NH_3 氷はダスト表面での N 原子への水素付加で主に形成されるため, 高密度コアにおいて N 原子が窒素の主要な存在形態であることが示唆される。この研究結果は論文としてまとめ, ApJ に投稿中である。ほかの hot corino 天体でも同様に高い NH_2D/NH_3 比が観られるのかを調べるため, VLA および ALMA に観測提案を行った。また相川と平野研究員は, 原始星近傍をさまざまな分子輝線で観測し化学構造を探る ALMA Large Project FAUST (Fifty AU Study of the chemistry in the disk/envelope system of Solar-like protostars) に参加し, 観測結果と理論モデルとの比較を行った。

3. 原始星周囲での円盤形成 (大和義英, 平野信吾, 相川祐理)

近年, 低質量原始星への質量降着や原始星周囲での円盤形成過程が ALMA による高空間分解能観測で調べられている。ALMA 大型プロジェクト eDisk では連続波および CO 同位体の分子輝線で 19 個の原始星を $0.05''$ の分解能で観測し, 原始星円盤にリング・ギャップ等の構造がどれほど存在するのかを統計的に解明することを目指している。修士課程学生の大和義英は eDisk プロジェクトで L1489 のデータ解析を担当し, ダスト連続波だけでなく分子輝線でも興味深い円盤構造を得た。この結果はデータ占有期間の終了する 2022 年秋までに論文にまとめるべく解析を続けている。一方平野研究員は, 原始星の星周構造について磁気流体数値シミュレーションによる研究を行っている。ALMA 望遠鏡による星形成領域の詳細観測により, 原始星・星周円盤・降着エンベロープといった構成要素の情報が得られるようになった。星形成コアと星周円盤を繋ぐ降着エンベロープの速度構造は, 中心原始星の質量を求めるなど利用されており重要である。しかし, 近年の観測からは従来のモデルでは説明のつかない降着エンベロープの速度構造が報告されている。平野研究員は九州大学の町田正博教授との共同研究である原始星降着進化の磁気流体シミュレーションを用い, 降着エンベロープの収縮速度が従来の想定 (自由落下速度) より

も遅くなる原因を調べた。計算初期条件となる星形成コアの物理パラメータを変化させたところ、(1) 初期磁場強度が強いほど、(2) 磁場方向と回転方向がずれるほど、(3) 降着進化が進むほど、偽円盤 (pseudo-disk) の外縁部で収縮速度・自由落下速度比が低下することを確認した。

4. 初期宇宙の大質量星形成における磁気効果 (平野)

$z > 6$ の遠方宇宙に見つかっている質量 10^9 太陽質量以上の超大質量ブラックホールの起源として、初期宇宙における大質量星形成シナリオが考えられている。近年、初期宇宙の星形成過程における磁気効果が再検討されているが、大質量星形成ガス雲においてはまだ調べられていなかった。本研究では大質量星形成ガス雲の時間発展を磁気流体コードを用いて調べた。その結果、初期宇宙の微弱な磁場 ($\sim 10^{-12}$ G) が原始星形成直後から急激に増幅し、現代の星形成領域に匹敵する磁場強度 (\sim kG) を実現することがわかった。原始星近傍の強磁場領域は質量降着を促進させるため、大質量星形成を助ける。本研究は町田正博 (九州大学)、Shantanu Basu (University of Western Ontario) らとの共同研究である。

5. デブリ円盤のガス探査 (Cataldi, 相川)

デブリ円盤は、低中質量の主系列星周囲にみられるダスト円盤である。近年、複数のデブリ円盤で一酸化炭素ガス輝線や CI 輝線が検出されている。デブリ円盤のガスは、彗星様の天体の衝突破壊で生じた氷の昇華物と考えられているが、原始惑星系円盤ガスが散逸しきらず残っているという説もある。CO と CI の存在量および両者の比は、衝突現象からの経過時間や水素分子の存在量に依存するため、デブリ円盤のガスの起源を解明するために有用である。Cataldi 研究員は、cycle 7 において観測されたデブリ円盤の CI 輝線データを解析し、シンプルな円盤モデルを仮定することで CI 柱密度を求めた。さらに、CI、CO が ALMA で観測されているデブリ円盤の全アーカイブデータについて同様の解析を行い、CI および CO の柱密度比を求めた。CI と CO 柱密度はおおよそ比例関係にあること、ガスの存在量はダスト質量などに対する明確な依存性を示さないことなどが分かった。また、相川はこの観測に関連して、国立天文台の岩崎一成助教らとデブリ円盤での CI/CO 比に関する理論研究を行っている。

6. 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 プロジェクトに基づく国際共同研究。超補償光学系 SCEXAO/赤外面分光器 CHARIS/可視偏光器 VAMPIRES を用いた高コントラスト観測を行い、直接観測法による系外惑星・円盤の探査を行っている。その結果、これまでのようなブラインドサーベイ直接観測よりも惑星などの軽い伴星を効率的に発見する手法に基づく伴星型超低質量天体の観測を進めた (Chilcote et al. 2021)。発見された A7 型星の伴星 HD91312B は、ほぼ土星軌道に位置する、その力学的質量は 0.3 太陽質量と決定され、光度からの見積もった質量と一致しているが、質量決定精度ははるかに高くなった。また、超伝導検出器 MKID と SCEXAO を用いた最初の科学的成果として、A 型星 HIP109427 を周回する 0.28 太陽質量の伴星を発見した (Steiger et al. 2021)。

7. 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。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。その結果、さそり座・へびつかい座星形成領域において、一度に約 100 個の浮遊惑星を発見した (Miret-Roig et al. 2021)。

8. 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観測を推進した。Trappist-1 惑星系のトランジット分光観測により、地球型惑星の高層大気にヘリウムが検出されなかったことを報告した (Krishnamurthy et al. 2021)。また、IRD 戦略枠観測のデータの一部を用いて、後期 M 型星の金属量を決定する手法を開発した (Ishikawa et al. 2022)。

9. 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 (Doi et al. 2021 ほか).

10. 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 TESS 衛星の各種地上フォローアップ観測を進めた (Garai et al. 2021 ほか).

11. 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達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. 今年度はコロナ禍の影響で現地観測が進まなかった.

1.5.6 太陽系

1.5.7 機器・ソフトウェア開発

1. P³T 法を用いた球状星団用 N 体シミュレーションコードの開発 (吉成, 藤井)

100 万粒子を用いた球状星団進化シミュレーションを行うために, 星団全体はツリー法・リープフロッグ法で, 近接遭遇のみをダイレクト法・4 次エルミート法を用いる計算手法 P³T を用い, さらに, 周期の短い連星がある場合は, その連星は周りの粒子からは 1 粒子とみなし, 連星の運動はケプラー問題として近似する手法 (GORILLA) を組み合わせた新しいコード「P³T-DENEB」を開発し, 実際に球状星団の進化シミュレーションを行い, 最適なパラメータの設定を探した.

2. 深層学習を用いた超新星爆発によるシェル膨張の予測 (平島, 藤井)

我々は, スーパーコンピュータ「富岳」を用いて, 個々の星まで分解した高解像度銀河形成シミュレーションの達成を目指している. しかし, 一部のタイムスケールの短い現象 (超新星爆発など) が, 他の全ての粒子の時間積分に必要な演算・通信回数を数百倍に増大させ, 現実的な時間内でのシミュレーション実行を不可能にしている. 本研究では, 演算・通信回数を減らすため, 銀河内の時間刻みが短くなる領域 (超新星爆発など) を孤立系で計算する手法を試みている. そのためには, 超新星爆発によるシェルが膨張し, 時間刻みが短くなる領域, もしくは粒子を事前に予測する必要がある. そこで, 将来の映像を予測する深層学習モデル Memory-In-Memory Network (Y. Wang et al. (2018)) を元に, シェル膨張に伴うガス密度変化を予測する深層学習モデルを開発した. このモデルでは, 超新星爆発直前の 3 次元密度分布だけを入力として, シェル膨張による 3 次元密度変化が予測可能である. また, 爆発後 0.2Myr の密度変化が予測可能であり, 予測結果は 1 秒以内で出力される.

3. Mission Concept Studies for the 2020 Decadal Survey ; Origins Space Telescope (左近)

Origins Space Telescope (OST) は、米国の2020年のdecadal surveyに向けて、community-based Science and Technology Definition Team (STDT) の枠組みで検討が進められている4つの大型ミッションのうち、中間・遠赤外線ミッションである。2016年4月より、JAXA liaison として OST の STDT 活動に参加し、2019年の8月のOrigins最終検討報告書の作成を完了した。検討の中で、NASA Ames Research Center とともに、JAXA が中間赤外線観測装置 Mid-infrared Spectrometer and Camera (MISC) の概念設計を担当するに至り、MISC の Instrument lead としてその装置検討を担当した。baseline concept として波長3–20 μm において<5 ppmの安定性を実現するトランジット分光装置 MISC-T, Upscope concept として MISC Transit Spectrometer (MISC-T) に加えて波長5–28 μm をカバーする撮像および低分散分光装置 MISC Wide Field Imager (MISC WFI) の検討を行い、Origins最終検討報告書の分担執筆を行ない、The Journal of Astronomical Telescopes, Instruments and Systems (JATIS) Origins 特別号に19篇の論文のうちの1篇を執筆した (Sakon et al. 2021, “Mid-infrared Spectrometer and Camera for the Origins Space Telescope”, JATIS, 7, 011013). また、光学赤外天文連絡会 2030年代将来計画検討ワーキンググループの枠組みにおいて、Letter of Intent (LOI) および White paper の提出を行ない、国内における研究推進体制の構築を目指した活動を行なった。2021年11月に発表された Astro2020 米国 decadal report において、Flagship mission への選定には至らなかったが、新たに X 線および遠赤外線ミッションを対象に設定された 1BUSD を上限とする probe class ミッションの検討に繋がっている。

4. 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コンタクトを開始した。

1.6 論文および出版物

1.6.1 英文報告

出版済(2021年)

1. Jensen, S., Jorgensen, J. K., Furuya, K., Haugbolle, T., Aikawa, Y. 2021, “Modeling chemistry during star formation: water deuteration in dynamic star-forming regions”, A&A, 649, A66, 21pp
2. Nomura, H., Tsukagoshi, T., Kawabe, R., Muto, T., Kanagawa, K. D., Aikawa, Y., Akiyama, E., Okuzumi, S., Ida, S., Lee, S., Walsh, C., Millar, T. J. 2021 “High Spatial Resolution Observations of Molecular Lines towards the Protoplanetary Disk around TW Hya with ALMA”, ApJ, 914, 113

3. Nakatani, R., Kobayashi, H., Kuiper, R., Nomura, H., Aikawa, Y. 2021, “Photoevaporation of Grain-Depleted Protoplanetary Disks around Intermediate-Mass Stars: Investigating Possibility of Gas-Rich Debris Disks as Protoplanetary Remnants”, *ApJ*, 915, 90
4. Lee, Y.-H. Johnstone, D., Lee, J.-E., Herczeg, G., Mairs, S., Contreras-Peña, C., Hatchell, J., Naylor, T., Bell, G. S., Bourke, T. L., Broughton, C., Francis, L., Gupta, A., Harsono, D., Liu, S.-Y., Park, G., Plovie, S., Moriarty-Schieven, G. H., Scholz, A., Sharma, T., Stella T. P., Wang, Y.-T., Aikawa, Y. et al. 2021, “The JCMT Transient Survey: Four-year Summary of Monitoring the Submillimeter Variability of Protostars”, *ApJ*, 920, 119
5. Öberg, K. I., Guzman, Viviana V., Walsh, Catherine, Aikawa, Yuri et al.. 2021, “MAPS I: Program Overview and Highlights”, *ApJS* 257, id. 1
6. Czekala I., Loomis R. A., Teague R., Booth A. S., Huang J., Cataldi ., Ilee J. D., Law C. J., Walsh C., Bosman A. D., Guzman V. V., Le Gal R., Öberg K. I., Yamato Y., Aikawa Y. et al. 2021, “MAPS II: CLEAN Strategies for Synthesizing Images of Molecular Line Emission in Protoplanetary Disks”, *ApJS* 257, id.2
7. Law C. J., Loomis R. A., Teague R., Öberg K. I., Czekala I., Andrews S. M., Huang J., Aikawa Y. et al. “MAPS III: Characteristics of Radial Chemical Substructures”, *ApJS* 257, id. 3
8. Law C. J., Teague Richard, Loomis Ryan A., Bae, Jaehan, Öberg, Karin I., Czekala, Ian, Andrews, Sean M., Aikawa, Yuri et al. (2021) “Molecules with ALMA at Planet-forming Scales (MAPS). IV. Emission Surfaces and Vertical Distribution of Molecules” , *ApJS*, 257, id. 4
9. Zhang K., Booth A. S., Law C. J., Bosman A. D., Schwarz K. R., Bergin E. A., Öberg K. I., Andrews S. M., Guzman V. V., Walsh C., Qi C., van’t Hoff M. L. R., Long F., Wilner D. J., Huang J., Czekala I., Ilee J. D., Cataldi G., Bergner J. B., Aikawa Y. et al. (2021) “Molecules with ALMA at Planet-forming Scales (MAPS). V. CO Gas Distributions” , *ApJS*, 257, id. 5
10. Guzman V. V., Bergner J. B., Law C. J., Öberg, K. I., Walsh C., Cataldi G., Aikawa, Y. et al. (2021) “Molecules with ALMA at Planet-forming Scales (MAPS). VI. Distribution of the Small Organics HCN, C₂H, and H₂CO” , *ApJS*, 257, id. 6
11. Bosman A. D., Alarcon, F., Bergin, E. A., Zhang K., van’t Hoff M. L. R., Öberg, K. I., Guzman, V. V., Walsh, C., Aikawa, Y. et al. (2021) “Molecules with ALMA at Planet-forming Scales (MAPS). VII. Substellar O/H and C/H and Superstellar C/O in Planet-feeding Gas” , *ApJS*, 257, id. 7
12. Alarcon F., Bosman A. D., Bergin E. A., Zhang, K., Teague R., Bae J., Aikawa, Y. et al. (2021) “Molecules with ALMA at Planet-forming Scales (MAPS). VIII. CO Gap in AS 209-Gas Depletion or Chemical Processing?” , *ApJS*, 257, id. 8
13. lee J. D., Walsh C., Booth A. S., Aikawa, Y. et al. (2021) “Molecules with ALMA at Planet-forming Scales (MAPS). IX. Distribution and Properties of the Large Organic Molecules HC₃N, CH₃CN, and c-C₃H₂” , *ApJS*, 257, id. 9
14. Cataldi G., Yamato Y., Aikawa Y., Bergner J. B., Furuya K., Guzman V. V., Huang J., Loomis R. A., Qi C. et al. (2021) “Molecules with ALMA at Planet-forming Scales (MAPS). X. Studying Deuteration at High Angular Resolution toward Protoplanetary Disks” , *ApJS*, 257, id. 10

15. Bergner Jennifer B., Öberg K. I., Guzman V. V., Law C. J., Loomis R. A., Cataldi G., Bosman A. D., Aikawa, Y. et al. (2021) “Molecules with ALMA at Planet-forming Scales (MAPS). XI. CN and HCN as Tracers of Photochemistry in Disks” , ApJS, 257, id. 11
16. Le Gal Romane, Öberg K. I., Teague R., Loomis R. A., Law C. J., Walsh, C., Bergin E. A., Menard F., Wilner D. J., Andrews S. M., Aikawa, Y. et al. (2021) “Molecules with ALMA at Planet-forming Scales (MAPS). XII. Inferring the C/O and S/H Ratios in Protoplanetary Disks with Sulfur Molecules” , ApJS, 257, id. 12
17. Aikawa, Y., Cataldi, G., Yamato, Y., Zhang K., Booth A. S., Furuya K. et al. 2021, “MAPS XIII: Molecules with ALMA at Planet-forming Scales (MAPS) XIII: HCO⁺ and disk ionization structure” , ApJS, 257, id. 13
18. Sierra A., Perez L. M., Zhang K., Law C. J., Guzman V. V., Qi C., Bosman A. D., Öberg K. I., Andrews S. M., Long F., Teague R., Booth A. S., Walsh C., Wilner D. J., Menard F., Cataldi G., Czekala, I., Bae J., Huang J., Bergner J. B., Ilee J. D., Benisty M., Le Gal R., Loomis R. A., Tsukagoshi T., Liu, Y., Yamato Y., Aikawa, Y. (2021) “Molecules with ALMA at Planet-forming Scales (MAPS). XIV. Revealing Disk Substructures in Multiwavelength Continuum Emission” , ApJS, 257, id. 14
19. Bosman A. D., Bergin E. A., Loomis R. A., Andrews S. M., van’t Hoff M. L. R., Teague R., Öberg K. I., Guzman V. V., Walsh C., Aikawa Y. et al. (2021), “Molecules with ALMA at Planet-forming Scales (MAPS). XV. Tracing Protoplanetary Disk Structure within 20 au” , ApJS, 257, id. 15
20. Booth A. S., Tabone B., Ilee J. D., Walsh, C., Aikawa, Y. et al. (2021), “Molecules with ALMA at Planet-forming Scales (MAPS). XVI. Characterizing the Impact of the Molecular Wind on the Evolution of the HD 163296 System” , ApJS, 257, id. 16
21. Calahan J. K., Bergin E. A., Zhang K., Schwarz K. R., Öberg K. I., Guzman V. V., Walsh C., Aikawa, Y. et al. (2021) “Molecules with ALMA at Planet-forming Scales (MAPS). XVII. Determining the 2D Thermal Structure of the HD 163296 Disk” ApJS, 257, id. 17
22. Teague R., Bae J., Aikawa Y., Andrews S. M., Bergin E. A. et al. (2021) “Molecules with ALMA at Planet-forming Scales (MAPS). XVIII. Kinematic Substructures in the Disks of HD 163296 and MWC 480” , ApJS, 257, id. 18
23. Huang J., Bergin E. A., Öberg K. I., Andrews S. M., Teague R., Law C. J., Kalas P., Aikawa, Y. et al. (2021) “Molecules with ALMA at Planet-forming Scales (MAPS). XIX. Spiral Arms, a Tail, and Diffuse Structures Traced by CO around the GM Aur Disk” , ApJS, 257, id. 19
24. Schwarz K. R., Calahan J. K., Zhang K., A. Felipe, Aikawa Y. et al. (2021) “Molecules with ALMA at Planet-forming Scales. XX. The Massive Disk around GM Aurigae” , ApJS, 257, id. 20
25. Kamp I., Honda M., Nomura H., Audard M., Fedele D., Waters L. B. F. M., Aikawa Y. et al. (2021) “The formation of planetary systems with SPICA” , Publications of the Astronomical Society of Australia, 38, id. e055
26. Sakai T., Sanhueza P, Furuya K., Tatematsu K., Li S., Aikawa Y., Lu X., Zhang Q., Morii K., Nakamura F., Takemura H., Izumi N., Hirota T., Silva A., Guzman A. E., Sakai N., Yamamoto S, (2021) “The ALMA Survey of 70 μ m Dark High-mass Clumps in Early Stages (ASHES). V. Deuterated Molecules in the 70 μ m dark IRDC G14.492-00.139” , ApJ, 925, 144 (16pp)

27. Harada, N., Hirano, S., Machida, M. N., Hosokawa, T. (2021) “Impact of magnetic braking on high-mass close binary formation”, *MNRAS*, 508, 3730
28. Hirano, S., Machida, M. N., Basu, S. (2021) “Supermassive Star Formation in Magnetized Atomic-cooling Gas Clouds: Enhanced Accretion, Intermittent Fragmentation, and Continuous Mergers”, *ApJ*, 917, 34
29. Chuang, C. Y., Aso, Y., Hirano, N., Hirano, S., Machida, M. N. (2021) “ALMA Observations toward the S-shaped Outflow and the Envelope around NGC 1333 IRAS 4A2”, *ApJ*, 916, 82
30. Shimono N., Totani T., Sudoh T.: Prospects of newly detecting nearby star-forming galaxies by the Cherenkov Telescope Array, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 506, 6212-6222 (2021)
31. Ishizuka, M., Kawahara, H., Nugroho, S. K. and 3 more. 2021, “Neutral Metals in the Atmosphere of HD 149026b”, *AJ*, 161, id.153.
32. Soto, M. G., Anglada-Escudé, G., Dreizler, S. and 52 more. 2021, “Mass and density of the transiting hot and rocky super-Earth LHS 1478 b (TOI-1640 b)”, *A&A*, 649, id.A144.
33. Hara, C., Kawabe, R., Nakamura, F. and 10 more. 2021, “Misaligned Twin Molecular Outflows from the Class 0 Protostellar Binary System VLA 1623A Unveiled by ALMA”, *ApJ*, 912, id.34.
34. Hsieh, T., Takami, M., Connelley, M. S. and 7 more. 2021, “K-band High-resolution Spectroscopy of Embedded High-mass Protostars”, *ApJ*, 912, id.108.
35. Eswaraiah, Chakali and 144 more. 2021, “The JCMT BISTRO Survey: Revealing the Diverse Magnetic Field Morphologies in Taurus Dense Cores with Sensitive Submillimeter Polarimetry”, *ApJ*, 912, id.L27.
36. Koenyves, V., Ward-Thompson, D., Pattle, K. and 33 more. 2021, “The JCMT BISTRO-2 Survey: The Magnetic Field in the Center of the Rosette Molecular Cloud”, *ApJ*, 913, id.57.
37. Pattle, K., Lai, S. Wright, M. and 22 more. 2021, “OMC-1 dust polarization in ALMA Band 7: diagnosing grain alignment mechanisms in the vicinity of Orion Source I”, *MNRAS*, 503, 3414.
38. Bluhm, P., Palle, E., Molaverdikhani, K. and 51 more. 2021, “An ultra-short-period transiting super-Earth orbiting the M3 dwarf TOI-1685”, *A&A*, 650, id.A78.
39. Hwang, J., Kim, J., Pattle, K. and 34 more. 2021, “The JCMT BISTRO Survey: The Distribution of Magnetic Field Strengths toward the OMC-1 Region”, *ApJ*, 913, id.85.
40. Doi, Y., Hasegawa, T., Bastien, P. and 13 more. 2021, “Two-component Magnetic Field along the Line of Sight to the Perseus Molecular Cloud: Contribution of the Foreground Taurus Molecular Cloud”, *ApJ*, 914, id.122.
41. Steiger, S., Currie, T., Brandt, T. D. and 29 more. 2021, “SCEXAO/MEC and CHARIS Discovery of a Low-mass, 6 au Separation Companion to HIP 109427 Using Stochastic Speckle Discrimination and High-contrast Spectroscopy”, *AJ*, 162, id.44.
42. Cloutier, R., Charbonneau, D., Stassun, K. G. and 63 more. 2021, “TOI-1634 b: An Ultra-short-period Keystone Planet Sitting inside the M-dwarf Radius Valley”, *AJ*, 162, id.79.
43. Krishnamurthy, V., Hirano, T.S., G. and 37 more. 2021, “Nondetection of Helium in the Upper Atmospheres of TRAPPIST-1b, e, and f”, *AJ*, 162, id.82,

44. Lyo, A. R., Kim, J., Sadavoy, S. and 147 more. 2021, “The JCMT BISTRO Survey: An 850/450 μ m Polarization Study of NGC 2071IR in Orion B”, *ApJ*, 918, id.85.
45. Hirano, T., Livingston, J. H., Fukui, A. and 60 more. 2021, “Two Bright M Dwarfs Hosting Ultra-Short-Period Super-Earths with Earth-like Compositions”, *AJ*, 162, id.161.
46. Fukui, A., Korth, J., Livingston, J. H. and 66 more. 2021, “TOI-1749: an M dwarf with a Trio of Planets including a Near-resonant Pair”, *AJ*, 162, id.167.
47. de Leon, J. P., Livingston, J., Endl, M. and 24 more. 2021, “37 new validated planets in overlapping K2 campaigns”, *MNRAS*, 508, 195.
48. Chilcote, J., Tobin, T., Currie, T. and 18 more. 2021, “SCEXAO/CHARIS Direct Imaging of A Low-mass Companion At A Saturn-like Separation from an Accelerating Young A7 Star”, *AJ*, 162, id.251.
49. Wong, I., Shporer, A., Zhou, G. and 56 more. 2021, “TOI-2109: An Ultrahot Gas Giant on a 16 hr Orbit”, *AJ*, 162, id.256,
50. Lawson, K., Currie, T., Wisniewski, J.P. and 21 more. 2021, “Multiband Imaging of the HD 36546 Debris Disk: A Refined View from SCEXAO/CHARIS”, *AJ*, 162, id.293.
51. Cale, B.L., Reefe, M., Plavchan, P. and 52 more. 2021, “Diving Beneath the Sea of Stellar Activity: Chromatic Radial Velocities of the Young AU Mic Planetary System”, *AJ*, 162, id.295.
52. Doi, Y., Tomisaka, K., Hasegawa, T. and 33 more. 2021, “The JCMT BISTRO Survey: Evidence for Pinched Magnetic Fields in Quiescent Filaments of NGC 1333”, *ApJ*, 923, id.L9.
53. Garai, Z., Pribulla, T., Parviainen, H. and 24 more. 2021, “Is the orbit of the exoplanet WASP-43b really decaying? TESS and MuSCAT2 observations confirm no detection”, *MNRAS*, 508, 5514.
54. Ono, Y., Itoh, R., Shibuya, T., Ouchi, M., Harikane, Y., Yamanaka, S., Inoue, A.K., Amagasa, T., Miura, D., Okura, M., Shimasaku, K., Iwata, I., Taniguchi, Y., Fujimoto, S., Iye, M., Jaelani, A.T., Kashikawa, N. et al., 2021, “SILVERRUSH X: Machine Learning-aided Selection of 9318 LAEs at $z = 2.2, 3.3, 4.9, 5.7, 6.6,$ and 7.0 from the HSC SSP and CHORUS Survey Data”, *ApJ*, 911, 78, 20pp.
55. Momose, R., Shimizu, I., Nagamine, K., Shimasaku, K., Kashikawa, N., Kusakabe, H., 2021, “Connection between Galaxies and H I in Circumgalactic and Intergalactic Media: Variation according to Galaxy Stellar Mass and Star Formation Activity”, *ApJ*, 911, 98, 16pp.
56. Momose, R., Shimasaku K., Nagamine K., Shimizu I., Kashikawa N., Ando M., Kusakabe H., 2021, “Catch Me if You Can: Biased Distribution of Ly α -emitting Galaxies according to the Viewing Direction”, *ApJL*, 912, L24, 8pp.
57. Izumi, T., Matsuoka, Y., Fujimoto, S., Onoue, M., Strauss, M.A., Umehata, H., Imanishi, M., Kohno, K., Kawaguchi, T., Kawamuro, T., Baba, S., Nagao, T., Toba, Y., Inayoshi, K., Silverman, J.D., Inoue, A.K., Ikarashi, S., Iwasawa, K., Kashikawa, N. et al., 2021, “Subaru High- z Exploration of Low-luminosity Quasars (SHELLQs). XIII. Large-scale Feedback and Star Formation in a Low-luminosity Quasar at $z = 7.07$ on the Local Black Hole to Host Mass Relation”, *ApJ*, 914, 36, 17pp.

58. Nagamine, K., Shimizu, I., Fujita, K., Suzuki, N., Lee, K.G., Momose, R., Mukae, S., Liang, Y., Kashikawa, N., Ouchi, M., Silverman, J.D., 2021, “Probing Feedback via IGM tomography and the Ly α Forest with Subaru PFS, TMT/ELT, and JWST ”, *ApJ*, 914, 66, 20pp.
59. Ito, K., Kashikawa, N., Tanaka, M., Kubo, M., Liang, Y., Toshikawa, J., Uchiyama, H., Ishimoto, R., Yoshioka, T., Takeda, Y., 2021, “Interrelation of the Environment of Ly α Emitters and Massive Galaxies at $2 < z < 4.5$ ”, *ApJ*, 916, 35, 16pp.
60. Onoue, M., Matsuoka, Y., Kashikawa, N. et al, 2021, “Subaru High- z Exploration of Low-luminosity Quasars (SHELLQs). XIV. A Candidate Type II Quasar at $z = 6.1292$ ”, *ApJ*, 919, 61, 11pp.
61. Okoshi, K., Minowa, Y., Kashikawa, N. et al., 2021, “Multiple Mg II Absorption Systems in the Lines of Sight to Quadruply Lensed Quasar H1413+1143”, *AJ*, 162, 175, 19pp.
62. Tang, S, Silverman, J.D., Ding, X., et al. 2021, “Optical Spectroscopy of Dual Quasar Candidates from the Subaru HSC-SSP program”, *ApJ*, 922, 83, 30pp.
63. Momose, R., Shimasaku, K., Kashikawa, N., Nagamine, K., Shimizu, I., Nakajima, K., Terao, Y., Kusakabe, H., Ando, M., Motohara, K., Spitler, L., 2021, “Environmental Dependence of Galactic Properties Traced by Ly α Forest Absorption: Diversity among Galaxy Populations”, 2021, *ApJ*, 909, id.117, 21pp.
64. Oi, N., Goto, T., Matsuhara, H., Utsumi, Y., Momose, R., Toba, Y., Malkan, M., Takagi, T., Huang, T.-C., Kim, S. J., Ohya, Y., 2021, “Subaru/HSC deep optical imaging of infrared sources in the AKARI North Ecliptic Pole-Wide field”, 2021, *MNRAS*, 500, pp.5024–5042
65. Kim, S. J. et al. (additional 23 authors including Momose. R.), “Identification of AKARI infrared sources by the Deep HSC Optical Survey: construction of a new band-merged catalogue in the North Ecliptic Pole Wide field”, 2021, *MNRAS*, 500, pp.4078–4094
66. Ando, M., Shimasaku, K., Momose, R., “A systematic search for galaxy proto-cluster cores at $z \sim 2$ ”, 2021, *IAUS*, 359, 166
67. Ono, Y. et al. (additional 26 authors including Shimasaku, K. and Momose, R.), “SILVERRUSH X: Machine Learning-aided Selection of 9318 LAEs at $z = 2.2, 3.3, 4.9, 5.7, 6.6,$ and 7.0 from the HSC SSP and CHORUS Survey Data”, 2021, *ApJ*, 911, id.78, 20pp.
68. Momose, R., Shimizu, I., Nagamine, K., Shimasaku, K., Kashikawa, N., Kusakabe, H., “Connection between Galaxies and H I in Circumgalactic and Intergalactic Media: Variation according to Galaxy Stellar Mass and Star Formation Activity”, 2021, *ApJ*, 911, id.98, 16pp.
69. Fujimoto, S. et al. (additional 33 authors including Shimasaku, K.), “ALMA Lensing Cluster Survey: Bright [CII] $158 \mu\text{m}$ Lines from a Multiply Imaged Sub- L^* Galaxy at $z = 6.0719$ ”, 2021, *ApJ*, 911, id.99, 20pp.
70. Momose, R., Shimasaku, K., Nagamine, K., Shimizu, I., Kashikawa, N., Ando, M., Kusakabe, H., “Catch Me if You Can: Biased Distribution of Ly α -emitting Galaxies according to the Viewing Direction”, 2021, *ApJL*, 912, L24, 8pp.
71. Shimakawa, R. et al. (additional 10 authors including Momose, R.), “Subaru Hyper Suprime-Cam excavates colossal over- and underdense structures over 360 deg^2 out to $z = 1$ ”, 2021, *MNRAS*, 503, pp.3896–3912

72. Nagamine, K. et al. (additional 10 authors including Momose, R.), “Probing Feedback via IGM tomography and the Ly α Forest with Subaru PFS, TMT/ELT, and JWST”, 2021, ApJ, 914, id.66, 20pp.
73. Kakuma, R. et al. (additional 13 authors including Momose, R.), “SILVERRUSH. IX. Ly α Intensity Mapping with Star-forming Galaxies at $z = 5.7$ and 6.6 : A Possible Detection of Extended Ly α Emission at $\gtrsim 100$ Comoving Kiloparsecs around and beyond the Virial-radius Scale of Galaxy Dark Matter Halos”, 2021, ApJ, 916, id.22, 9pp.
74. Tang, S. et al. (additional 33 authors including Shimasaku, K.), “Optical Spectroscopy of Dual Quasar Candidates from the Subaru HSC-SSP program”, 2021, ApJ, 922, id.83, 30pp.
75. Goto, H., Shimasaku, K., Yamanaka, S., Momose, R., Ando, M., Harikane, Y., Hashimoto, T., Inoue, A. K., Ouchi, M., “SILVERRUSH. XI. Constraints on the Ly α Luminosity Function and Cosmic Reionization at $z = 7.3$ with Subaru/Hyper Suprime-Cam”, 2021, ApJ, 923, id.229, 13pp.
76. Nagele, C., Umeda, H., Takahashi, K., Yoshida, T. and Sumiyoshi, K. “Neutrino emission from the collapse of $\sim 10^4 M_{\odot}$ Population III supermassive stars”, MNRAS 508 828 – 841 (2021) [DOI: 10.1093/mnras/stab2592]
77. Hijikawa, K., Tanikawa, T., Kinugawa, T., Yoshida, T., and Umeda, H., 2021, “On the population III binary black hole mergers beyond the pair-instability mass gap”, MNRAS: Letters, 505, L69, 6pp, [DOI: 10.1093/mnrasl/slab052].
78. Tanikawa, A., Kinugawa, T., Yoshida, T., Hijikawa, K., and Umeda, H., 2021, “Population III binary black holes: effects of convective overshooting on formation of GW190521”, MNRAS, 505, 2170, 8pp, [DOI: 10.1093/mnras/stab1421]
79. Ogata, M., Hirai, R., and Hijikawa, K., 2021, “Observability of inflated companion stars after supernovae in massive binaries”, MNRAS, 505, 2485, 15pp, [DOI: 10.1093/mnras/stab1439]
80. Zaizen, M. and Morinaga, T., “Nonlinear evolution of fast neutrino flavor conversion in the preshock region of core-collapse supernovae”, Phys. Rev. D **104**, 083035 (2021) [DOI: 10.1103/PhysRevD.104.083035]
81. Yoshida, T., Takiwaki, T., Aguilera-Dena, D. R., Kotake, K., Takahashi, K., Nakamura, K., Umeda, H., Langer, N. 2022, “A three-dimensional hydrodynamics simulation of oxygen-shell burning in the final evolution of a fast-rotating massive star”, MNRAS, 506, L20, 8pp, [DOI: 10.1093/mnrasl/slab067]
82. Sato, T., Maeda, K., Nagataki, S., Yoshida, T., Grefenstette, B., Williams, B. J., Umeda, H., Ono, M., Hughes, J. P., 2021 “High-entropy ejecta plumes in Cassiopeia A from neutrino-driven convection”, Nature, 592, 537, [DOI: 10.1038/s41586-021-03391-9]
83. Fujii, M. S., Saitoh, T. R., Hirai, Y., Wang, L., SIRIUS Project. III. Star-by-star simulations of star cluster formation using a direct N-body integrator with stellar feedback, 2021, PASJ, 73, 4, pp.1074-1099
84. Fujii, M. S., Saitoh, T. R., Wang, L., Hirai, Y. SIRIUS project II: a new tree-direct hybrid code for smoothed particle hydrodynamics/N-body simulations of star clusters, 2021, PASJ, 73, 4, pp1057-1073
85. Arimoto, M., Asada, H., Cherry, M. L., Fujii, M. S., et.al., Gravitational Wave Physics and Astronomy in the nascent era, 2021, 89pages, Progress of Theoretical and Experimental Physics

86. Wang, L., Fujii, M. S., Tanikawa, A., Impact of initial mass functions on the dynamical channel of gravitational wave sources, 2021, *MNRAS*, 504, 4, pp5778-5787
87. Wang, L. & Jerabkova, T. The impact of massive stars and black holes on the fate of open star clusters and their tidal streams. *A&A* 655, A71 (2021).
88. Hatta, Y., Sekii, T., Takata, M., Benomar, O., 2021, “Nonstandard Modeling of a Possible Blue Straggler Star, KIC 11145123”, *ApJ*, 923, id.244.
89. Matsuno, T., Aoki, W., Casagrande, L., Ishigaki, M. N., Shi, J., Takata, M., Xiang, M., Yong, D., Li, H., Suda, T., Xing, Q., Zhao, J., 2021, “Star Formation Timescales of the Halo Populations from Asteroseismology and Chemical Abundances”, *ApJ*, 912, id.72.
90. Saio, H., Takata, M., Lee, U., Li, G., Van Reeth, T., 2021, “Rotation of the convective core in γ Dor stars measured by dips in period spacings of g modes coupled with inertial modes”, *MNRAS*, 502, 5856–5874.
91. Sakon, I., Roellig, T. L., Ennico-Smith, K., Matsuo, T., Ikeda, Y., Yamamuro, T., Enya, K., Wada, T., Kawada, M., Takahashi, A., Sarugaku, Y., Fujishiro, N., Murakami, N., Nishikawa, J., Kotani, T., Goda, S., Ido, M., Itoh, S., Tsuboi, T., Sumi, T., Kamiura, M., Manome, T., Iida, N., Yanagibashi, K., Greene, T., Helvensteijn, B., Hofland, L., Johnson, R., Kashani, A., Quigley, E., McMurray, R., Inami, H., Burgarella, D., Origins Space Telescope Mission and Concept Study Team, 2021, “Mid-infrared spectrometer and camera for the Origins Space Telescope”, *Journal of Astronomical Telescopes, Instruments, and Systems*, Volume 7, id. 011013 doi: 10.1117/1.JATIS.7.1.011013
92. Endo, I., Sakon, I. (*), Onaka, T., Kimura, Y., Kimura, S., Wada, S., Helton, L. A., Lau, R. M., Kebukawa, Y., Muramatsu, Y., Ogawa, N. O., Ohkouchi, N., Nakamura, M., Kwok, S., 2021, “On the Nature of Organic Dust in Novae”, *ApJ*, 917, 103 (10pp.) doi: 10.3847/1538-4357/ac0cf1 (*corresponding author)
93. Onaka, T., Kimura, T., Sakon, I., Shimonishi, T., 2021, “Discovery of Two Infrared Objects with Strong Ice Absorption in the Akari Slitless Spectroscopic Survey of the Galactic Plane”, *ApJ*, 916, 75 doi: 10.3847/1538-4357/ac0531
94. Burgarella, D., Bunker, A., Bouwens, R., Pagani, L., Afonso, J., Atek, H., Audard, M., Cabrit, S., Caputi, K., Ciesla, L., Conselice, C., Cooray, A., Cresci, G., Curti, M., Espinosa, J. M. R., Ferrari, M., Kobayashi, C., Lagarde, N., Maestro, Jesus G., Maiolino, R., Malek, K., Mannucci, F., Montillaud, J., Oesch, P., Pearson, C., Pollo, A., Reylé, C., Rosario, D., Sakon, I., Schaerer, D., Sharples, R., Sobral, D., Zamkotsian, F., 2021, “Space Project for Astrophysical and Cosmological Exploration (SPACE), an ESA stand-alone mission and a possible contribution to the Origins Space Telescope”, *Experimental Astronomy*, 51, 625-660 doi: 10.1007/s10686-021-09703-1
95. Wiedner, M. C., Aalto, S., Armus, L., Bergin, E., Birkby, J., Bradford, C. M., Burgarella, D., Caselli, P., Charmandaris, V., Cooray, A., De Beck, E., Desert, J. M., Gerin, M., Goicoechea, J., Griffin, M., Hartogh, P., Helmich, F., Hogerheijde, M., Hunt, L., Karska, A., Kral, Q., Leisawitz, D., Melnick, G., Meixner, M., Matsuura, M., Milam, S., Pearson, C., Pesce, D. W., Pontoppidan, K. M., Pope, A., Rigopoulou, D., Roellig, T., Sakon, I., Staguhn, J., Stevenson, K., 2021, “Origins space telescope: from first light to life”, *Experimental Astronomy*, 51, 595-624 doi: 10.1007/s10686-021-09782-0

96. Leisawitz, D., Amatucci, E., Allen, L., Arenberg, J., Armus, L., Battersby, C., Bauer, J., Bell, R., Benford, D., Bergin, E., Booth, J. T., Bradford, C. M., Bradley, D., Carey, S., Carter, R., Cooray, A., Corsetti, J., Dewell, L., DiPirro, M., Drake, B. G., East, M., Ennico-Smith, K., Feller, G., Flores, A., Fortney, J., Granger, Z., Greene, T. P., Howard, J., Kataria, T., Knight, J. S., Lawrence, C., Lightsey, P., Mather, J. C., Meixner, M., Melnick, G., McMurtry, C., Milam, S., Moseley, S. H., Narayanan, D., Nordt, A., Padgett, D., Pontoppidan, K., Pope, A., Rafanelli, G., Redding, D. C., Rieke, G., Roellig, T., Sakon, I., Sandin, C., Sandstrom, K., Sengupta, A., Sheth, K., Sokolsky, L. M., Staguhn, J., Steeves, J., Stevenson, K., Su, K., Vieira, J., Webster, C., Wiedner, M., Wright, E. L., Wu, C., Yanatsis, D., Zmuidzinas, J., Origins Space Telescope Mission Concept and Study Team, 2021, “Origins Space Telescope: trades and decisions leading to the baseline mission concept”, *Journal of Astronomical Telescopes, Instruments, and Systems*, Volume 7, id. 011014 doi: 10.1117/1.JATIS.7.1.011014
97. Leisawitz, D., Amatucci, E., Allen, L., Arenberg, J., Armus, L., Battersby, C., Bauer, J., Beaman, B. G., Bell, R., Beltran, P., Benford, D., Bergin, E., Bolognese, J., Bradford, C. M., Bradley, D., Burgarella, D., Carey, S., Carter, R., (Danny) Chi, J. D., Cooray, A., Corsetti, J., D’Asto, T., De Beck, E., Denis, K., Derkacz, C., Dewell, L., DiPirro, M., Earle, C. P., East, M., Edgington, S., Ennico, K., Fantano, L., Feller, G., Folta, D., Fortney, J., Gavares, B. J., Generie, J., Gerin, M., Granger, Z., Greene, T. P., Griffiths, A., Harpole, G., Harvey, K., Helmich, F., Hilliard, L., Howard, J., Jacoby, M., Jamil, A., Jamison, T., Kaltenecker, L., Kataria, T., Knight, J. S., Knollenberg, P., Lawrence, C., Lightsey, P., Lipsy, S., Mamajek, E., Martins, G., Mather, J. C., Meixner, M., Melnick, G., Milam, S., Mooney, T., Moseley, S. H., Narayanan, D., Neff, S., Nguyen, T., Nordt, A., Olson, J., Padgett, D., Petach, M., Petro, S., Pohner, J., Pontoppidan, K., Pope, A., Ramspacker, D., Rao, A., Roellig, T., Sakon, I., Sandin, C., Sandstrom, K., Scott, D., Seals, L., Sheth, K., Sokolsky, L. M., Staguhn, J., Steeves, J., Stevenson, K., Stoneking, E., Su, K., Tajdaran, K., Tompkins, S., Vieira, J., Webster, C., Wiedner, M. C., Wright, E. L., Wu, C., Zmuidzinas, J., 2021, “Origins Space Telescope: baseline mission concept”, *Journal of Astronomical Telescopes, Instruments, and Systems*, Volume 7, id. 011002 doi: 10.1117/1.JATIS.7.1.011002
98. Meixner, M., Cooray, A., Leisawitz, D. T., Staguhn, J. G., Armus, L., Battersby, C., Bauer, J., Benford, D., Bergin, E., Bradford, C. M., Burgarella, D., Carey, S., De Beck, E., Ennico-Smith, K., Fortney, J. J., Gerin, M., Helmich, F. P., Kataria, T., Mamajek, E. E., Melnick, G. J., Milam, S. N., Moseley, S. H., Narayanan, D., Neff, S. G., Padgett, D., Pontoppidan, K., Pope, A., Roellig, T. L., Sakon, I., Sandstrom, K., Scott, D., Sheth, K., Stevenson, K. B., Su, K. Y., Vieira, J., Wiedner, M. C., Wright, E., Zmuidzinas, J., Origins Study Team, 2021, “Origins Space Telescope science drivers to design traceability”, *Journal of Astronomical Telescopes, Instruments, and Systems*, Volume 7, id. 011012 doi:10.1117/1.JATIS.7.1.011012
99. Crestani, Braga, Fabrizio, Bono, Sneden, Preston, Ferraro, Iannicola, Nonino, Fiorentino, Thevenin, Lemasle, Prudil, Alves-Brito, Altavilla, Chaboyer, Dall’Ora, D’Orazi, Gilligan, Grebel, Koch-Hansen, Lala, Marengo, Marinoni, Marrese, Martinez-Vazquez, Matsunaga, Monelli, Mullen, Neeley, da Silva, Stetson, Salaris, Storm, Valenti, Zoccali, 2021, “On the Use of Field RR Lyrae as Galactic Probes. III. The α -element abundances”, *ApJ*, 914, 10.
100. Fukue, Matsunaga, Kondo, Taniguchi, Ikeda, Kobayashi, Sameshima, Hamano, Arai, Kawakita, Yasui, Mizumoto, Otsubo, Takenaka, Yoshikawa, Tsujimoto, 2021, “Absorption Lines in the 0.91–1.33 μm Spectra of Red Giants for Measuring Abundances of Mg, Si, Ca, Ti, Cr, and Ni”, *ApJ*, 913, 62.

101. Prudil, Hanke, Lemasle, Crestani, Braga, Fabrizio, Koch-Hansen, Bono, Grebel, Matsunaga, Marengo, da Silva, Dall’Ora, Martinez-Vazquez, Altavilla, Lala, Chaboyer, Ferraro, Fiorentino, Gilligan, Nonino, Thevenin, 2021, “Milky Way archaeology using RR Lyrae and type II Cepheids. I. The Orphan stream in 7D using RR Lyrae stars”, *A&A*, 648, A78.
102. Ren, de Grijs, Zhang, Deng, Chen, Matsunaga, Liu, Sun, Maehara, Ukita, Kobayashi, 2021, “Eclipsing Binary Populations across the Northern Galactic Plane from the KISOGP survey”, *AJ*, 161, 176.
103. Taniguchi, Matsunaga, Jian, Kobayashi, Fukue, Hamano, Ikeda, Kawakita, Kondo, Otsubo, Sameshima, Takenaka, Yasui, 2021, “Effective temperatures of red supergiants estimated from line-depth ratios of iron lines in the YJ bands, 0.97–1.32 μm ”, *MNRAS*, 502, 4210.
104. Crestani, Fabrizio, Braga, Sneden, Preston, Ferraro, Iannicola, Bono, Alves-Brito, Nonino, D’Orazi, Inno, Monelli, Storm, Altavilla, Chaboyer, Dall’Ora, Fiorentino, Gilligan, Grebel, Lala, Lemasle, Marengo, Marinoni, Marrese, Martinez-Vazquez, Matsunaga, Mullen, Neeley, Prudil, da Silva, Stetson, Thevenin, Valenti, Walker, Zoccali, 2021, “On the Use of Field RR Lyrae as Galactic Probes. II. A New ΔS Calibration to Estimate Their Metallicity”, *ApJ*, 908, 20.
105. Ita, Menzies, Whitelock, Matsunaga, Takayama, Nakada, Tanabe, Feast, Nagayama, 2021, “Light and colour variations of Mira variables in the Small Magellanic Cloud” *MNRAS*, 500, 82.
106. Matsunaga, N., Jian, M., Taniguchi, D., Elgueta, S., 2021, “Line-depth ratios as indicators of effective temperature and surface gravity”, *MNRAS*, 506, 1031
107. Sinha, T., Sharma, S., Panwar, N., Matsunaga, N., Ogura, K., Kobayashi, N., Yadav, R. K., Ghosh, A., Pandey, R., Bisht, P. S., 2021, “Photometric Variability of the Pre-main-sequence Stars toward the Sh 2-190 Region”, *ApJ*, 921, id. 165
108. Fabrizio, M., Braga, V. F., Crestani, J., Bono, G., Ferraro, I., Fiorentino, G., Iannicola, G., Preston, G. W. ; Sneden, C., Thévenin, F., Altavilla, G., Chaboyer, B., Dall’Ora, M., da Silva, R., Grebel, E. K., Gilligan, C. K. ; Lala, H. ; Lemasle, B. ; Magurno, D., Marengo, M., Marinoni, S., Marrese, P. M., Martínez-Vázquez, C. E., Matsunaga, N. ; Monelli, M., Mullen, J. P., Neeley, J., Nonino, M., Prudil, Z., Salaris, M., Stetson, P. B., Valenti, E., Zoccali, M., 2021, “On the Use of Field RR Lyrae As Galactic Probes: IV. New Insights Into and Around the Oosterhoff Dichotomy”, *ApJ*, 919, id. 118
109. Braga, V. F., Crestani, J., Fabrizio, M., Bono, G., Sneden, C., Preston, G. W. ; Storm, J., Kamann, S., Latour, M., Lala, H. ; Lemasle, B. ; Prudil, Z., Altavilla, G., Chaboyer, B., Dall’Ora, M., Ferraro, I., Gilligan, C. K., Fiorentino, G., Iannicola, G., Inno, L., Kwak, S. ; Marengo, M., Marinoni, S., Marrese, P. M., Martínez-Vázquez, C. E., Monelli, M., Mullen, J. P., Matsunaga, N. ; Neeley, J., Stetson, P. B., Valenti, E., Zoccali, M., 2021, “ On the Use of Field RR Lyrae as Galactic Probes. V. Optical and Radial Velocity Curve Templates”, *ApJ*, 919, id. 85

出版済 (2022 年)

1. Ohashi, S., Codella, C., Sakai, N., Chandler, C. J., Ceccarelli, C., Alves, F., Fedele, D., Hanawa, T., Durán, A., Favre, C., López-Sepulcre, A., Loinard, L., Mercimek, S., Murillo, N. M., Podio, L., Zhang, Y., Aikawa, Y. et al. (2022) “Misaligned Rotations of the Envelope, Outflow, and Disks in the Multiple Protostellar System of VLA 1623-2417: FAUST. III” , *ApJ*, 927, 54 (22pp)

2. Minissale, M., Aikawa, Y., Bergin, E., Bertin, M., Brown, W. A., Cazaux, S., Charnley, S. B., Coutens, A., Cuppen, H. M., Guzman, V., Linnartz, H., McCoustra, Martin R. S., Rimola, A., Schrauwen, J. G. M., Toubin, C., Ugliengo, P., Watanabe, N., Wakelam, V., Dulieu, Francois (2022) “Thermal Desorption of Interstellar Ices: A Review on the Controlling Parameters and Their Implications from Snowlines to Chemical Complexity” , ACS Earth and Space Chemistry, vol. 6, issue 3, pp 597-630
3. Shikauchi M., Cannon K., Lin H., Totani T., Shaw J. R.: On the Use of CHIME to Detect Long-duration Radio Transients from Neutron Star Mergers, *The Astrophysical Journal*, 928, 72 (2022)
4. Gaidos, E., Hirano, T., Beichman, C. and 16 more. 2022, “Zodiacal exoplanets in time - XIII. Planet orbits and atmospheres in the V1298 Tau system, a keystone in studies of early planetary evolution”, *MNRAS*, 509, 2969.
5. Miret-Roig, N., Bouy, H., Raymond, S.N. and 9 more. 2022, “A rich population of free-floating planets in the Upper Scorpius young stellar association”, *NatAs*, 6, 89.
6. Ishikawa, H.T. Aoki, W., Hirano, T. and 24 more. 2022, “Elemental Abundances of nearby M Dwarfs Based on High-resolution Near-infrared Spectra Obtained by the Subaru/IRD Survey: Proof of Concept”, *AJ*, 163, id.72.
7. Kwon, W., Pattle, K., Sadavoy, S. and 149 more. 2022, “B-fields in Star-forming Region Observations (BISTRO): Magnetic Fields in the Filamentary Structures of Serpens Main”, *ApJ*, 926, id.163.
8. Bouma, L. G., Curtis, J. L., Masuda, K. and 12 more. 2022, “A 38 Million Year Old Neptune-sized Planet in the Kepler Field”, *AJ*, 63, id.121.
9. Iwata, I., Sawicki, M., Inoue, A.K., Akiyama, M., Micheva, G., Kawaguchi, T., Kashikawa, N. et al., 2022, “Ionizing radiation from AGNs at $z \lesssim 3.3$ with the Subaru Hyper Suprime-Cam Survey and the CFHT Large Area U-band Deep Survey (CLAUDS)”, *MNRAS*, 509, 1820, 19pp.
10. Yajima, H., Abe, M., Khochfar, S., Nagamine, K., Inoue, A.K., Kodama, T., Arata, S., Dalla V.C., Fukushima, H., Hashimoto, T., Kashikawa, N., 2022, “FOREVER22: galaxy formation in protocluster regions”, *MNRAS*, 509, 4037, 24pp.
11. Uchiyama, H., Yamashita, T., Toshikawa, J., Kashikawa, N. et al., 2022, “A Wide and Deep Exploration of Radio Galaxies with Subaru HSC (WERGS). VI. Distant Filamentary Structures Pointed Out by High-z Radio Galaxies at $z \sim 4$ ”, *ApJ*, 926, 76, 16pp.
12. Tanaka, T.S. ; Shimakawa, R., Shimasaku, K., Toba, Y., Kashikawa, N., Tanaka, M., Inoue, A.K., 2022, “Where’s Swimmy?: Mining unique color features buried in galaxies by deep anomaly detection using Subaru Hyper Suprime-Cam data”, *PASJ*, 74, 1, 23pp.
13. Yoshioka, T., Kashikawa, N., Inoue, A.K. et al., 2022, “CHORUS. IV. Mapping the Spatially Inhomogeneous Cosmic Reionization with Subaru HSC”, *ApJ*, 927, 32, 16pp.
14. Matsuoka, Y., Iwasawa, K., Onoue, M., Izumi, T., Kashikawa, N. et al., 2022, “Subaru High-z Exploration of Low-luminosity Quasars (SHELLQs). XVI. 69 New Quasars at $5.8 \lesssim z \lesssim 7.0$ ”, *ApJS*, 259, 18, 19pp.
15. Harikane, Y., Ono, Y., Ouchi, M. et al., 2022, “GOLDRUSH. IV. Luminosity Functions and Clustering Revealed with 4,000,000 Galaxies at $z \sim 2-7$: Galaxy-AGN Transition, Star Formation Efficiency, and Implication for Evolution at $z \lesssim 10$ ”, *APJS*, 259, 20, 37pp.

16. Tanaka, T. S., Shimakawa, R., Shimasaku, K., Toba, Y., Kashikawa, N., Tanaka, M., Inoue A. K., “Where’s Swimmy?: Mining unique color features buried in galaxies by deep anomaly detection using Subaru Hyper Suprime-Cam data”, 2022, PASJ, 74, pp.1–23.
17. Yoshioka, T. et al. (additional 13 authors including Kashikawa, N., Shimasaku, K., Momose R.), “CHORUS. IV. Mapping the Spatially Inhomogeneous Cosmic Reionization with Subaru HSC”, 2022, ApJ, 927, id.32, 16pp.
18. Harikane, Y. et al. (additional 18 authors including Kashikawa, N., Shimasaku, K.), “GOLDRUSH. IV. Luminosity Functions and Clustering Revealed with 4,000,000 Galaxies at $z = 2 - 7$: Galaxy-AGN Transition, Star Formation Efficiency, and Implication for Evolution at $z > 10$ ”, 2022, ApJS, 259, id.20, 37pp.
19. Luo, T., Umeda, H., Yoshida, T., Takahashi, K., 2022, “Stellar Models of Betelgeuse Constrained Using Observed Surface Conditions”, ApJ 927 115 (10pp) [DOI: 10.3847/1538-4357/ac4f5f].
20. Wang, L., Tanikawa, A., Fujii, M. S., The impact of primordial binary on the dynamical evolution of intermediate massive star clusters, 2022, MNRAS, 509, 4, pp.4713-4722
21. Arnold, A. D., Baumgardt, H. & Wang, L. Accelerating NBODY6 with a graphics processing unit-enabled Particle-Particle Particle-Tree scheme. Monthly Notices of the Royal Astronomical Society 509, 2075 – 2083 (2022).
22. Hirashima, K., Moriwaki, K., Fujii, M. S., Hirai, Y., Saitoh, T., Makino, J., (2022), Predicting the expansion of supernova shell for high-resolution galaxy simulations using deep learning, J. Phys.: Conf. Ser. 2207 012050
23. Hatta, Y., Sekii, T., Benomar, O., Takata, M., 2022, “Bayesian Rotation Inversion of KIC 11145123”, ApJ, 927, id.40.
24. Pinçon, C., Takata, M., 2022, “Multi-cavity gravito-acoustic oscillation modes in stars. A general analytical resonance condition”, A&A, 661, 139.
25. 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, 4140–4159.
26. 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
27. 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
28. 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

29. da Silva, R., Crestani, J., Bono, G., Braga, V. F., D’Orazi, V., Lemasle, B., Bergemann, M., Dall’Ora, M., Fiorentino, G., François, 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
30. 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
31. 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
32. Taniguchi, D., Yamazaki, K., Uno, S., 2022, “The Great Dimming of Betelgeuse seen by the Himawari-8 meteorological satellite”, *Nature Astronomy*, DOI: 10.1038/s41550-022-01680-5

印刷中

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*, in press
2. 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*, in press
3. 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. et al. (2022) “A VLA View of the Flared, Asymmetric Disk Around the Class 0 Protostar L1527 IRS” , *ApJ* in press
4. Asano, T., Fujii, M. S., Baba, J., Bédorf, J., Sellentin, E., Portegies Zwart, S., Impact of bar resonances in the velocity-space distribution of the solar neighbourhood stars in a self-consistent N-body Galactic disc simulation, 2022, *MNRAS*
5. 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*, in press
6. 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*, 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 Ctaldi, 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. 百瀬莉恵子, 「かくれんぼをする銀河の発見」, 学部生に伝える研究最前線, 理学部ニュース, 東京大学大学院理学系研究科, 2021年9月号, <https://www.s.u-tokyo.ac.jp/ja/story/newsletter/page/7555/>
3. 百瀬莉恵子, 「研究室の扉「銀河のかくれんぼ」百瀬莉恵子特任研究員」, シリーズ『研究室の扉』, <https://www.youtube.com/watch?v=sWCiJpMnKAw>
4. 高田将郎 (天文部, 分担執筆), 「理科年表 2022」, 2021, 丸善
5. 左近 樹, 遠藤いずみ “宇宙の有機物の塵を作る” 理学部ニュース, 2022年1月号、学部生に伝える研究最前線
6. 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)
7. 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 2022」, 2021, 丸善
8. 谷口大輔, 松永典之, “学部生に伝える研究最前線「星の温度の正確な測定を目指して」”, 東京大学 理学部ニュース 2021年7月号, 53巻, p. 4
9. 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

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 2022」, 2021, 丸善
2. 戸谷友則 「爆発する宇宙 138億年の宇宙進化」 2021年6月、講談社ブルーバックス

1.7 学会, 研究会における発表

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。

日本天文学会 2021年秋季年会, 京都産業大学 (オンライン開催) (2021/9/13-9/15)

1. 清水利憲ほか: “離心率の大きなホットジュピターを持つ若い星の高コントラスト撮像”
2. 三井康裕ほか: “M型星周りの惑星サーベイ: すばる戦略枠観測 IRD-SSP におけるサンプルの特性調査”
3. 福井暁彦ほか: “2:1 周期比ペアを含む 3つの惑星がトランジットする M型星の発見”
4. 伊藤慧ほか: 「 $2 < z < 4.5$ における Ly α 輝線銀河と大質量銀河がなす環境の相互関係」(口頭発表) 日本天文学会 2021年秋季年会

5. 石本梨花子ほか: 「すばる望遠鏡 HSC で探る宇宙再電離の非一様性の物理的起源」(口頭発表) 日本天文学会 2021 年秋季年会
6. 吉岡岳洋ほか: 「中性水素マッピング: HSC で挑む宇宙再電離の空間的非一様性の解明」(口頭発表) 日本天文学会 2021 年秋季年会
7. Makoto Ando, Kazuhiro Shimasaku, Rieko Momose (U.Tokyo), and the HSC-project 394 members, “A systematic search for galaxy protocluster cores at the transition epoch of star formation activity”, X33a.
8. 田中匠, 柏川伸成, 嶋作一大ほか: Swimmy Survey: 深層異常検知で拓くすばる HSC 希少銀河探査, X34a.
9. Long Wang, Impact of initial mass functions on the dynamical channel of gravitational wave sources, 日本天文学会 2021 年秋季年会, オンライン開催, 2021/9
10. 藤井通子, Formation of the Orion Nebula Cluster, 日本天文学会 2021 年秋季年会, オンライン開催, 2021/9
11. 熊本淳, “散開星団における連星ブラックホールの形成とスピン進化”, 日本天文学会 2021 年秋季年会, オンライン開催, 2021/9
12. 平島敬也, “深層学習を用いた超新星爆発によるシェル膨張の予測”, 日本天文学会 2021 年秋季年会, オンライン開催, 2021/9
13. 遠藤いずみ, 左近 樹, 他 “急冷窒素含有炭素質物質の宇宙環境曝露実験-帰還試料の初期分析報告”, Q22a
14. 谷口大輔, 山崎一哉, 宇野慎介: ひまわり衛星を用いたベテルギウスの可視近赤外多色撮像モニタリング

1.7.1 日本天文学会 2022 年春季年会, 広島大学 (オンライン開催) (2022/3/2-3/5)

1. 大和義英, 古家健次, 相川祐理, Magnus V. Persson, John J. Tobin, Vianney Taquet, Jes K. Jørgensen, Mihkel Kama, “High $\text{NH}_2\text{D}/\text{NH}_3$ ratios around the low-mass protobinary NGC1333 IRAS4A” (口頭発表)
2. 森昇志, 相川祐理, 大屋瑤子, 山本智, 坂井南美, 「回転降着エンベロープの模擬観測: L1527 観測の再解析」
3. Lin, H., “Very-high-energy gamma-rays from binary neutron star mergers”, ASJ spring annual meeting 2022, online, Mar. 2-5, 2022
4. 土井靖生ほか: “星形成領域 NGC 1333 の磁場構造 III”
5. 鶴山太智ほか: “Subaru/VAMPIRES を用いた Ha 高コントラスト撮像: 原始惑星系円盤内における惑星形成とジェットの見出し”
6. 原川紘季ほか: “IRD 戦略枠観測による惑星の発見: 低温 M 型星のハビタブルゾーン内側境界近傍を公転するスーパーアース”
7. 大宮正士ほか: “IRD-SSP による M 型星周りの惑星サーベイ: 3 年目の観測状況”
8. 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 II”

9. 室伏海南江, 嶋作一大ほか: すばる望遠鏡/Hyper Suprime-Cam による $z \sim 6.8$ Ly α 輝線銀河の探査, X13a.
10. 聖川昂太郎, 谷川衝, 衣川智弥, 吉田敬, 梅田秀之: 重力波観測を用いた Population III の初期質量観測への制限, W44a
11. Long Wang, The 3 million-star simulations of globular clusters using Fugaku computer, 日本天文学会 2022 年春季年会, オンライン開催, 2022/3
12. 藤井通子, Orion Nebula の形成と大質量星の運動について, 日本天文学会 2022 年春季年会, オンライン開催, 2022/3
13. 朝野哲郎, “天の川銀河 N 体シミュレーションにおける速度空間分布の時間変動と共鳴軌道”, 日本天文学会 2022 年春季年会, オンライン開催, 2022/3
14. 平島敬也, “銀河形成シミュレーション高解像度化に向けた深層学習・CV による超新星爆発のシェル膨張予測”, 日本天文学会 2022 年春季年会, オンライン, 2022/3
15. 谷口大輔, 谷口康一: 赤色超巨星の分光モニタリング — I. サーベイ計画と試験観測結果

1.7.2 日本惑星科学会 2021 年秋季年会, 名古屋市立大学 (オンライン開催)

1. 相川祐理, 「ALMA による原始惑星系円盤の HCO⁺ 輝線観測」 (口頭発表)

1.7.3 日本地球惑星科学連合 (2021)

1. 大和義英, 古家健次, 相川祐理, Magnus V. Persson, John J. Tobin, Vianney Taquet, Jes K. Jørgensen, Mihkel Kama, “Constraining the primary nitrogen reservoir and formation history of ammonia ices in star-forming regions through VLA observations of ammonia deuteration”, Japan Geoscience Union Meeting 2022, 幕張メッセ (ハイブリッド), 2022 年 5 月

1.7.4 国際研究会

1. Cataldi, G. “Neutral carbon as a probe of debris disk physics and chemistry”, Astrochemical Frontiers 2021 Quarantine Edition 2, online, July 5–9, 2021, contributed talk
2. Yoshihide Yamato, Gianni Cataldi, Yuri Aikawa, ALMA MAPS Collaboration, “Deuterium chemistry and ionization rate in protoplanetary disks”, Astrochemical Frontiers 2021 Quarantine Edition 2, online, July 5–9, 2021, contributed talk
3. Cataldi, G. “Studying the relation between C and CO in debris disk gas”, East Asian ALMA Science Workshop 2022, online, January 18–21, 2022 (contributed talk)
4. Cataldi, G. “Can grain - surface chemistry explain the surprisingly low C/CO ratio in the HD 32297 debris disk?”, Workshop on Interstellar Matter 2021, hybrid (online participation), November 17–19, 2021 (poster)
5. Aikawa, Y. “HCO⁺ and ionization structure observed by ALMA”, Workshop on Interstellar Matter 2021, hybrid (online participation), November 17–19, 2021 (poster)

6. Lin, H., “Multi-messenger detectability of binary neutron star mergers and gamma-ray bursts’’, Synergies at new frontiers at gamma-rays, neutrinos, and gravitational waves, ICRR, Tokyo, Japan, Mar. 24–25, 2022
7. Kei Ito et al.: “The rest-frame UV luminosity function of protocluster galaxies at $z \sim 4$ revealed by HSC-SSP”, Galaxy Cluster Formation II (GCF 2021), Online, 2021/6/14–18
8. Yongming Lian et al.: “Field Variation in LAE-IGM HI Correlation at Cosmic Noon Mapped by Subaru/HSC”, Galaxy Evolution Workshop 2021, Online, 2022/2/7–10
9. Yongming Lian et al.: “Field Variance in LAE-IGM HI Correlation at Cosmic Noon Mapped by Subaru/HSC” Cosmic Cartography 2022: Exploring the Cosmic Web and Large-Scale Structure, Online, 2022/3/7–11
10. Takehiro Yoshioka et al.: “Mapping the Spatially Inhomogeneous Cosmic Reionization with Subaru HSC” SAZERAC2: Online, 2021/6/14–18
11. Yoshihiro Takeda et al.: “VoidNet: Void Galaxy Selection from g-dropout Catalog by Deep Learning” Galaxy Cluster Formation II (GCF 2021), Online, 2021/6/14–18
12. Yoshihiro Takeda et al.: “A method to find high- z protoclusters from photometric catalog of dropout galaxies by deep learning” Galaxy Evolution Workshop 2021, Online, 2022/2/7–10
13. Makoto Ando, Kazuhiro Shimasaku, Rieko Momose, Kei Ito, Marcin Sawicki, and Rhythm Shimakawa, “A systematic search for galaxy protocluster cores at the transition epoch of their star formation activity”, Galaxy Evolution Workshop 2021, 2022/2/7–2/10, NAOJ and online
14. Masamichi Zaizen, “Fast neutrino flavor conversion induced by the coherent backward scatterings in the core-collapse supernovae”, 17th International Conference on Topics in Astroparticles and Underground Physics (TAUP2021), Online, 2021/8/26–9/3 (Oral)
15. Masamichi Zaizen, “Development of collective fast neutrino flavor conversion”, Probe into core-collapse SuperNovae via Gravitational-Wave and neutrino signals (SNeGWv2021), Online, 2021/12/1–2 (Invited)
16. Long Wang, The implementation of PeTar in AMUSE, MODEST-21a: AMUSE, Online, 2021/7
17. Fujii, M. S., Binary Black Hole Mergers Originated from Star Clusters, Workshop on “Nuclear burning in massive stars”, YITP, Kyoto University + Monash University, online, 2021/7, invited
18. Fujii, M. S., The formation of the Orion Nebula Cluster, IAU Symposium 362, online, 2021/11
19. Fujii, M. S., Collisional evolution of star clusters in molecular clouds, Star Clusters; the Gaia Revolution @EU COST action MW-Gaia workshop, ICCUB-IEEC, online, 2021/10
20. Tetsuro Asano, “Bar resonances in a time-evolving N-body galaxy”, CHALLENGES AND INNOVATIONS IN COMPUTATIONAL ASTROPHYSICS - III, オンライン開催, 2021/6
21. Tetsuro Asano, “Velocity-space substructures and bar resonances in an N-body Milky Way”, IAU Symposium 362, オンライン開催, 2021/11
22. Jun Kumamoto, “The Spin Evolution of Binary Black Holes Progenitors in Open Cluster”, IAU CB1 ChaICA-III2021, online, 2021/6

23. Hirashima, K., Moriwaki, K., Fujii, M. S., Hirai, Y., Saitoh, T., Makino, J., “Predicting the expansion of supernova shell for high-resolution galaxy simulations using deep learning”, IAU Symposium 362, online, 2021/11
24. Hirashima, K., Moriwaki, K., Fujii, M. S., Saitoh, T., Makino, J., “Predicting the expansion of supernova shell for high-resolution galaxy simulations using deep learning”, XXXII IUPAP Conference on Computational Physics, online, 2021/7
25. Hirashima, K., Moriwaki, K., Fujii, M. S., Saitoh, T., Makino, J., “Predicting the expansion of supernova shell for high-resolution galaxy simulations using deep learning”, IAU CB1 ChaICA-III2021, online, 2021/6
26. Sakon I., “Study on the properties and the origin of organic dust in galaxies at high redshift”, Astro2020 and IR Astrophysics: Planning for the Next Decade, 2022 March 30–April 1, Boulder, CO, USA, poster presentation (online)
27. Endo, I., “Towards the identification of the carriers of the unidentified infrared (UIR) bands in novae”, IAU Symposium 366, “The origin of Outflows in Evolved Stars”, Online, 2021/11/1–2021/11/5, oral presentation
28. Endo, I., “Nitrogen inclusion in organic dust in novae revealed by laboratory synthesis of Quenched Nitrogen-included Carbonaceous Composite (QNCC)”, “Workshop on Interstellar Matter”, Institute of Low Temperature Science, Hokkaido University, 2021/11/17–2021/11/19, poster presentation
29. Endo, I., “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 Observations in the Era of JWST”, Online, 2022/2/14–2022/2/18, oral presentation
30. Taniguchi, D., “Unbiased effective temperatures of red supergiants from iron absorption lines”, DELVE: THE DEATH-THROES OF EVOLVED STARS, A VIRTUAL ENCOUNTER, Virtual, 2021/4/12–16 (oral)
31. Taniguchi, D., “Unbiased effective temperatures of red supergiants from iron absorption lines”, Cool Stars 20.5, Virtual, 2021/5/2–4 (poster)
32. Taniguchi, D., “4 years of 16-bands optical and infrared photometry of Betelgeuse with the Himawari-8 meteorological satellite”, European Astronomical Society annual meeting (EAS) 2021, Virtual, 2021/6/28–7/2 (oral)
33. Taniguchi, D., “Daily monitoring of Betelgeuse with the Himawari-8 meteorological satellite”, IR2022: An Infrared Bright Future for Ground-based IR Observatories in the Era of JWST, Virtual, 2022/2/14–18 (oral)
34. Mingjie, J., “Helium spectral lines at 10830 Å: observational trends with stellar parameters”, COST-MW PhD School “Stellar spectroscopy and Astrophysical parameterisation from Gaia to Large Spectroscopic surveys”, online, 2021/09/21

1.7.5 国内研究会

1. 平野信吾: 「銀河理論レビュー: 初代星・初代銀河形成」(招待講演) 銀河・銀河間ガス研究会 2021, オンライン, 2021年8月16日

2. 平野信吾: 「超音速ガス流による超巨大ブラックホール形成シナリオ」(招待講演) 超巨大ブラックホール研究会: その実態・影響・起源の全貌解明に向けて, オンライン, 2021年12月28日
3. 相川祐理: 「原始惑星系円盤の揮発性物質」(招待講演) 始原天体ワークショップ2022, オンライン, 2022年3月15-16日
4. Makoto Ando, Kazuhiro Shimasaku, Rieko Momose (U.Tokyo), and the HSC-project 394 members, "A systematic search for galaxy protocluster cores at the transition epoch of star formation activity", 銀河・銀河間ガス研究会2021, 2021/8/16-8/20, オンライン.
5. Makoto Ando, Kazuhiro Shimasaku, Rieko Momose (U.Tokyo), and the HSC-project 394 members, "A systematic search for galaxy protocluster cores at the transition epoch of star formation activity", 2021年度第51回天文・天体物理若手夏の学校, 2021/8/23-8/26, オンライン.
6. 聖川昂太郎, "重力波観測とPopulation IIIの初期質量関数", 連星系・変光星研究会2022, 鹿児島大学/オンライン, 2022/1/29-30
7. 財前真理, "超新星爆発の衝撃波前方でのニュートリノ集団振動", 新学術「地下宇宙」2021年領域研究会, オンライン, 2021/5/19-21 (ポスター)
8. 財前真理, "超新星爆発におけるニュートリノ集団振動の非線形進化", 第34回理論懇シンポジウム, オンライン, 2021/12/22-24 (口頭)
9. 財前真理, "ニュートリノ集団振動の非線形進化", 新学術「地下宇宙」第8回超新星ニュートリノ研究会, オンライン, 2022/1/6-7 (口頭)
10. 財前真理, "超新星爆発におけるニュートリノ集団振動の非線形進化", 令和3年度国立天文台 CfCA ユーザーズミーティング, オンライン, 2022/1/18-19 (ポスター)
11. 梅田秀之: "ベテルギウスの寿命について", 新学術「地下宇宙」第8回超新星ニュートリノ研究会, オンライン, 2022/1/6-7 (口頭)
12. Long Wang, The black hole mergers from the Pop III star clusters under the dark matter halo, Gravitational wave physics and astronomy: Genesis, Online, 2022/1
13. Long Wang, The impact of IMFs on the dynamical channels of gravitational wave sources Long Wang Gravitational wave physics and astronomy: Genesis: Group A Winter Camp 2021, Online, 2021/2
14. Long Wang, Impact of initial mass functions on the dynamical channel of gravitational wave sources, Gravitational wave physics and astronomy: Genesis: new science A03 workshop, Online, 2021/7
15. 朝野哲郎, "天の川銀河N体シミュレーションにおける位相空間分布の時間変動と共鳴軌道", 第51回天文・天体物理若手夏の学校, オンライン開催, 2021/8
16. 朝野哲郎, "バーの共鳴軌道が太陽近傍の星の速度空間分布に与える影響", JASMINE Consortium Meeting 2021, オンライン開催, 2021/12
17. 平島敬也, 深層学習を用いた超新星爆発によるシェル膨張の予測, 天体形成研究会2021, 筑波大学, オンライン開催, 2021/10
18. 平島敬也, 深層学習を用いた超新星爆発によるシェル膨張の予測, 第51回天文・天体物理若手夏の学校, オンライン開催, 2021/8

19. 平島敬也, Predicting the expansion of supernova shell for high-resolution galaxy simulations using deep learning, 新学術 A03 班 夏の会合プログラム, 九州大学・オンライン開催, 2021/7
20. 左近 樹: “Origins Space Telescope の科学推進とハードウェア貢献”, 2021 年度光赤天連シンポジウム「国際大型計画との関わりを考える」, Zoom 開催, 2021/9/6-7, 招待講演
21. 左近 樹: “2m FIR Probe への参加”, 2021 年度光赤天連新シンポジウム「2030 年代の戦略的中型をどうするのか」, Zoom 開催, 2022/2/21-22, 招待講演
22. 左近 樹: “たんぽぽ 2 QCC 曝露”, 2021 年度 ISAS 宇宙生命探査シンポジウム, Zoom 開催, 2022/3/28-29, 招待講演
23. 松永典之: “KISOGP - 低金属量で明るい RR ライリ変光星の発見” 木曾シュミットシンポジウム, 2021 年 10 月 6 日 (オンライン発表)
24. 谷口大輔: “ひまわり衛星が明かすベテルギウスの大減光の謎”, 2021 年度第 51 回天文・天体物理若手夏の学校, 2021 年 8 月 23-26 日 (オンライン発表)
25. 谷口大輔: “気象衛星ひまわり 8 号を用いた天文学観測研究”, ROIS クロストーク 2021, 2021 年 12 月 20 日 (オンラインポスター発表)
26. 谷口大輔: “赤色超巨星の分光モニタリング計画”, 連星系・変光星研究会 2022, 2022 年 1 月 29-30 日 (オンライン発表)
27. Mingjie Jian: “The helium absorption at 10830 Å: observational trends with stellar parameters and the synthetic spectra”, Milky Way Workshop 2020, University of Kagoshima, 2020/2/13-15

1.7.6 その他の講演

1. 相川祐理: 「星・惑星系形成領域のアストロケミストリー」, 2021 年度第 51 回天文・天体物理若手夏の学校, 2021/08/23-26
2. 相川祐理: 「電波で観る惑星系形成の現場」, 三鷹星と宇宙の日, アルマミニ講演会 2021/10/23
3. 相川祐理: 「分子からの電波で観る星と惑星系の形成」, 第 33 回自然科学研究機構シンポジウム — 宇宙と、分子と、私たち —, 2022/3/13
4. 柏川伸成: “宇宙の謎, 東大の研究室を覗いてみよう”, 2022/03/23
5. 嶋作一大: “銀河の世界”, 子ども科学カレッジ, 文京区教育センター, 2021/06/26
6. 百瀬莉恵子: 天プラ茶話会「“かくれんぼ” をしている銀河の発見」, 天文学普及プロジェクト, オンライン, 2021/06/20
7. Momose. R.: “The diversity of IGM-galaxy connection among galaxies at $z = 2 - 3$ ”, Seminar, Tsukuba University, 2021/06
8. Momose. R.: “The diversity of IGM-galaxy connection among galaxies at $z = 2 - 3$ ”, Seminar, University of Tokyo, 2021/07
9. 聖川昂太郎: “pair-instability mass-gap を超える Pop.III 連星ブラックホール合体について”, 福岡大学 (オンライン), A03 班 R3 夏の会合, 2021/7/19-20.

10. 聖川昂太郎: “On the Pop. III binary BH mergers beyond the pair-instability mass gap”, 東京大学宇宙線研究所, 高エネルギー天体グループコロキウム, 2021/12/8.
11. 聖川昂太郎: “Population III binary black hole mergers beyond the pair-instability mass gap and the population III initial mass function”, 東京大学駒場宇宙科学グループ (オンライン), 駒場セミナー, 2022/2/14.
12. 梅田秀之: “ベテルギウス ～オリオン座の赤色超巨星の寿命、運命～”, 第34回東京大学理学部公開講演会, 2022/3/22.
13. 藤井通子, シミュレーションで見る宇宙, The World of Mathematical Physics II, 東京大学カブリIPMU, 2021/11 (オンライン), 招待講演
14. 松永典之: “Thousands of Cepheids going to reveal the Milky Way disk”, MQAAAstro Seminar, 2022/3/18, Macquarie University’s Research Center for Astronomy, Astrophysics, and Astrophotonics (Online presentation)
15. 松永典之: “天の川のヒミツ～銀河の形を決める力となぞの物質”, みなと科学館 星空ゼミ, 2021年9月5日, みなと科学館プラネタリウム
16. 谷口大輔: “ひまわり衛星を用いたベテルギウスの可視赤外多色撮像モニタリング”, 低温度星ゼミ, 2021年4月2日 (オンライン発表)
17. 谷口大輔: “天の川銀河に想いを馳せて”, 湧源クラブ関東夏の地方会 2021, 2021年9月12日, アカデミー文京

1.8 その他の活動

1. Fujii, M. S., Dynamical structures of the Milky-Way disk, National Astronomical Observatory of Japan, zoom, 2021/7, invited

1.8.1 記者会見, プレスリリース, 新聞報道

1. 相川祐理, Gianni Cataldi, 大和義英: 「重水素で探る系外惑星系と太陽系の成り立ち ～アルマ望遠鏡による惑星誕生現場の大規模観測」, 東京大学理学部プレスリリース, 2021/9/15
2. 百瀬莉恵子, 嶋作一大: 「“かくれんぼ” をしている銀河の発見」, 東京大学理学部プレスリリース, 2021/05/07
3. 田中匠, 柏川伸成, 嶋作一大: 「すばる望遠鏡×異常検知 AI が捉えたへんてこな銀河たち」, 東京大学理学部プレスリリース, 2021/11/24
4. 遠藤いずみ, 左近 樹, 尾中 敬, 木村 勇気: 「新星爆発で生まれる有機物の塵の合成に成功」, 東京大学大学院理学系研究科プレスリリース, 2021/8/26, 朝日新聞デジタル (2021/8/26), 時事通信 (2021/8/26), 東京新聞 (2021/10/24 朝刊), 中日新聞 (2021/10/25 朝刊) 掲載
5. 谷口大輔, 松永典之, 河北秀世: 「太った星の体温測定—爆発前の超巨大星の表面温度を正確に測定することに成功」, 東京大学大学院理学系研究科プレスリリース, 2021/3/1
<https://www.s.u-tokyo.ac.jp/ja/info/7248/>

1.8.2 受賞

1.8.3 他学科・専攻での講義

1.8.4 他大学での講義

1.8.5 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 Comission H2 (Astrochemistry) Organizing Committee Member 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 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
戸谷	学内	理学系研究科国際交流委員 卓越大学院 IGPEES 委員 理学系研究科天文学教育研究センター運営委員 全学・企画調整分科会委員 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 高エネルギー宇宙物理連絡会 将来計画委員会委員
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	国際交流委員
	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 諮問委員
	他機関	IAU Symposium 362 “The predictive power of computational astrophysics as a discovery tool”, Live Zoom, 2021/11 (SOC/LOC)
	他機関	IAU CB1 ChaICA-III2021, Live Zoom, 2021/6 (SOC/LOC)

高田	他機関	The good vibrations seminar series (International community of asteroseismologists), steering committee member
左近	学内 他機関	環境安全管理室天文学専攻室員 The Origins Space Telescope International Ex-Officio Non-voting members, JAXA Liaison Nova Conference in July 2019 in Aveiro, Portugal, SOC (2018-) Conference Program Committee – SPIE Astronomical Telescopes + Instrumentation Space Telescopes and Instrumentation 2020: Optical, Infrared, and Millimeter Wave 光赤天連運 2030 年代将来計画検討ワーキンググループ (-2021.9) 将来計画検討専門委員会 (2021.10-)
松永	学内 他機関	理学系研究科ネットワーク委員 すばる望遠鏡 TAC 委員会 委員

1.8.6 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
戸谷 Lin	基盤研究 (C) [18K03692]	高速電波バーストとガンマ線バーストで探る宇宙進化 (繰越)
田村	特別研究員奨励費 [20J12200]	連星中性子星合体からの非熱的放射
Kwon	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
	若手研究 [19K14775]	高解像度円偏光観測と氷実験：生命のホモキラリティの起源の理解に向けて
柏川	基盤研究 (A)[21H04490]	遠方宇宙における銀河密集領域の徹底解明
嶋作	基盤研究 (C) [19K03924]	原始銀河団の系統的探査に基づく銀河団銀河の進化の研究
百瀬莉恵子	特別研究員奨励費 [18J40088]	特別研究員海外渡航支援 (派遣国: スイス)
	基盤研究 (A)(分担) [21H04490]	遠方宇宙における銀河密集領域の徹底解明
梅田	基盤研究 (C)[17K05380]	回転の影響を考慮した宇宙初期の超巨大質量星の研究
梅田	基盤研究 (B)[21H01123]	初期宇宙の大質量星から生まれるブラックホールの性質の解明
財前	特別研究員奨励費 [20J13631]	超新星爆発時のニュートリノ相互作用が引き起こすニュートリノ振動の多次元効果の研究
藤井	新学術領域研究 (研究領域提案型)(分担) [17H06360]	ブラックホール連星形成過程の理論的研究
	基盤 B(代表)[19H01933]	銀河シミュレーションで探る星団起源ブラックホール連星の宇宙史
	文部科学省「富岳」成果創出加速プログラム	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
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
左近	基盤研究 (C) [16H05997]	赤外観測および実験に基づく恒星終焉期のダスト形成過程の理解

遠藤 松永	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 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
Jian	特別研究員奨励費 [21J11301] 近赤外域の彩層吸収線を用いた恒星ヘリウム量の直接測定

1.8.7 出張記録

嶋作 一大	2021/12/2-3, 京都市, 京都大学, 第 5 回 FORCE 研究会「埋もれた AGN の宇宙論的進化」, 参加.
聖川昂太郎	2021/12/7-8, 東京大学宇宙線研究所, セミナー講演および研究打ち合わせ
遠藤 いずみ	2021/10/4-12/8, Hokkaido University, collaborative experimental research

1.9 教室談話会

回	日付	講演者(所属)	講演タイトル
1716	2021/4/13	平野 信吾(天文学教室) / Shingo Hirano (Department of Astronomy)	The Effect of Misalignment between the Rotation Axis and Magnetic Field on the Circumstellar Disk
1717	2021/4/27	西村 淳(天文学教育研究センター) / Atsushi Nishimura (Institute of Astronomy)	Observational study on high-mass star formation through development of own instruments
1718	2021/5/11	山岸 光義(天文学教育研究センター) / Mitsuyoshi Yamagishi (Institute of Astronomy)	Observational studies of neutral carbon in our Galaxy
1719	2021/5/25	Jerome de Leon(天文学教室/Department of Astronomy)	Challenges and opportunities in young planet discoveries from Kepler to TESS
1720	2021/6/8	諏訪 雄大(総合文化研究科) / Yudai Suwa (Graduate School of Arts and Sciences)	Probing supernova interiors with neutrinos
1721	2021/6/22	前田 郁弥(天文学教育研究センター) / Fumiya Maeda (Institute of Astronomy)	Mechanisms of Star Formation Suppression in the Strongly Barred Galaxy NGC1300
1722	2021/7/6	小山 舜平(天文学教育研究センター) / Shuhei Koyama (Institute of Astronomy)	Morphological dependences of star formation activity in local galaxies
1723	2021/7/20	百瀬 莉恵子(天文学教室) / Rieko Momose (Department of Astronomy)	The Diversity of IGM-galaxy connection among galaxies at redshift $z = 2 - 3$
1724	2021/11/2	Long Wang(天文学教室/Department of Astronomy)	The high-performance N-body code PeTar for studying the dynamical evolution of massive star clusters and gravitational waves
1725	2021/11/16	犬塚 修一郎(名古屋大学) / Shuichiro Inutsuka (Nagoya University)	Star formation in The Galactic Disk: A Bubble-Filament Paradigm
1726	2021/11/30	小高 裕和(物理学教室) / Hirokazu Odaka (Department of Physics)	Monte Carlo radiative transfer code MONACO for X-ray astronomy—the framework design and its applications to molecular clouds, black holes, and neutron stars
1727	2021/12/14	池田 思朗(統計数理研究所) / Shiro Ikeda (The Institute of Statistical Mathematics)	Basic modern signal processing techniques and astronomy
1728	2021/12/21	小野里 宏樹(国立天文台) / Hiroki Onozato (National Astronomical Observatory of Japan)	The absolute magnitude and color of red clump stars

(次ページに続く)

回	日付	講演者(所属)	講演タイトル
1729	2022/1/11	福島 肇(筑波大学) / Hajime Fukushima (University of Tsukuba)	Radiation hydrodynamics simulations of star cluster formation

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	電話	mail address (@ioa.s.u-tokyo.ac.jp)	研究者番号
事務室 (橋口 剛)	0422.34.5021	t-hashii	
土居 守	070.1261.7820	doi	00242090
河野 孝太郎	070.3363.6940	kkohno	80321587
宮田 隆志	080.4795.7013	tmiyata	90323500
小林 尚人		naoto	50280566
峰崎 岳夫	070.3238.6174	minezaki	60292835
酒向 重行	070.1264.4575	sako	90533563
諸隈 智貴	070.1349.3758	tmorokuma	10594674
甘日出 文洋	080.4578.1227	hatsukade	70719484
江草 芙実	080.4009.4375	fegusa	30644843
小西 真広	070.1514.1382	konishi	50532545
上塚 貴史	070.1532.9519	kamizuka	30613509
加藤 夏子	080.4802.8943	natsuko	
客員・名誉教授室	0422.34.5083		
大学院生室 1 (2015)	080.7085.0343		
大学院生室 2 (2016)	080.7079.0986		
大学院生室 3 (1001)	080.4859.5083		
大学院生室 4 (1002)	080.7078.6440		
大学院生室 5 (1003)	080.4925.1568		

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、木曾観測所を有し大学天文台としての機能を果している。

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

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

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

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

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

天文センターは、三鷹に本部を置く3分野（銀河天文学、電波天文学、恒星物理学）と長野県木曾郡に置かれた木曾観測所により構成されている。即ち、

[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索と多波長追及観測。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。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、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。

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。

以上のように、当センターは上記3分野及び木曾観測所において、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5640m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。

計画の経緯

TAO計画は平成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5600m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ののち、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、多くの成果をあげた。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月には工事を再開した。また、チリの緊急事態宣言解除後の令和3年10月からは日本人の作業員による建設工事が本格化している。

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)
小林	尚人	(こばやし なおと, 准教授)
峰崎	岳夫	(みねざき たけお, 准教授)
酒向	重行	(さこう しげゆき, 准教授)
諸隈	智貴	(もろくま ともき, 助教)
廿日出	文洋	(はつかで ぶんよう, 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)
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, 2015.4–2022.3)
新納	悠	(にいのう ゆう, 特任助教, 2018.12–2022.3)
鮫島	寛明	(さめしま ひろあき, 特任助教, 2019.4–2022.3)
西村	淳	(にしむら あつし, 特任助教, 2021.3–2021.9)
西村	優里	(にしむら ゆり, 特任研究員, 2017.4–2022.3) ¹
浅野	健太郎	(あさの けんたろう, 特任研究員, 2018.9–2022.3)
瀧田	怜	(たきた さとし, 特任研究員, 2020.7–2022.3)
小山	舜平	(こやま しゅうへい, 特任研究員, 2021.4–2022.3)
山岸	光義	(やまぎし みつよし, 特任研究員, 2021.4–2022.3) ¹
堀内	貴史	(ほりうち たかし, 特任研究員, 2022.3–2022.3)
梅畑	豪紀	(うめはた ひでき, 客員共同研究員, 2017.4–2022.3) ²
諸隈	佳菜	(もろくま かな, 日本学術振興会特別研究員, 2019.4–2022.3)
前田	郁弥	(まえだ ふみや, 日本学術振興会特別研究員, 2021.4–2022.3)
沼田	瑞樹	(ぬまた みずき, 特任専門員, 2019.3–2022.3)
青木	勉	(あおき つとむ, 特任専門員, 2019.4–2022.3)*

*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.

¹国立天文台 (ALMA 共同科学研究事業)

²理化学研究所 基礎科学特別研究員

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 (2020年4月より2022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)
戸谷 友則 (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)
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 34855 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 2138 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. 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 (USTC/ 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., submitted).

2. 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; 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). 2021 年度はデータ論文の執筆, 分子雲同定, VLA と GBT による HI データの取得と解析を進めたほか, PHANGS プロジェクトが作成した CO(2-1) データを利用した 2-1/1-0 比の調査も行った. その結果, 40 pc の分解能でも, 分散は大きくなるものの, 速度分散の比 $\simeq 1$ であること, 積分強度の比が H α 輝線強度と正の相関を持つことがわかった.

3. ALMA Lensing Cluster Survey (ALCS): $z \sim 6$ の増光された銀河サンプルにおける [CII] 158 μm 輝線のスタッキング解析 (河野; Bauer, F. E. (Pontificia Univ. Catolica de Chile); Y. Ao (紫金山天文台); D. Espada (SKA); 藤本征史, F. Valentino, G. E. Gagdis (DAWN); 大内正己 (東大宇宙線研, 国立天文台); Sun, F., 江上英一 (University of Arizona); K. K. Knudsen, J. Jean-Baptiste (Chalmers University of Technology); W-H. Wang (ASIAA); A. Zitrin (Ben-Gurion University) ほか ALCS collaboration)

HST および *Spitzer* で重点的な観測が行われている有名銀河団 (Hubble Frontier Fields, CLASH, RELICS) から, 33 個の重力レンズ銀河団を選び, その増光率の高い領域を ALMA (波長 1.2mm 帯) で分光撮像し無バイアスな銀河探索を行う ALMA cycle-6 large program の一つ, ALMA Lensing Cluster Survey (ALCS) プロジェクトを推進している (PI: 河野). 全観測とデータ整役が完了し, チーム内にデータが共有され, 約 20 もの解析プロジェクトが進んでいる. ALCS で観測された領域内に存在する 52 個の $z \sim 6$ にある銀河に対して, [CII] 158 μm 輝線および $\lambda \sim 1.2$ mm 帯ダスト連続波でのスタッキング解析を行った. 解析には, 干渉計の直接的な観測量である visibility domain でのスタッキングを行う LINESTACKER を用いた. 解析の結果, [CII] 輝線とダスト連続波, いずれについても未検出であったが, 深い上限値を得ることができた. [CII] 輝線光度 $L_{[\text{CII}]}$ の上限値は $1 \times 10^7 L_{\odot}$ に達し, 近傍銀河で知られている星生成率 SFR と $L_{[\text{CII}]}$ との相関関係より顕著に外れる ($L_{[\text{CII}]}$ が SFR から期待される値に対して 1 桁以上小さい) ことがわかった. これは高赤方偏移銀河の個別観測でも知られている傾向と整合的であ

る。弱い [CII] 輝線は、高い電離パラメータの際に期待されるため、今後、[OIII] 輝線等も観測して電離パラメーターに制限をつけていくことが重要な課題になる。連続波のスタッキングから得られた赤外線光度 L_{IR} の上限値は $4 \times 10^9 L_{\odot}$ に達した (ダスト温度 35 K を仮定した場合)。この値から求めた SFR は静止系紫外線の観測で得られた値と同程度か小さく、この時代の星生成銀河の星生成活動は、半分程度かそれ以下がダストに隠されていると考えられる。

以上の成果を論文にまとめ出版した (Jean-Baptiste, J., Knudsen, K., Kohno, K., et al., 2021, A&A, 652, A128).

4. ALMA Lensing Cluster Survey (ALCS): ALMA-*Herschel* joint study of lensed dusty star-forming galaxies across $z \sim 0.5 - 6$ (河野, 諸隈佳菜; Sun, F., 江上英一 (University of Arizona); Bauer, F. E. (Pontificia Univ. Catolica de Chile); Y. Ao (紫金山天文台); D. Espada (SKA); K. I. Caputi, G. B. Caminha (Kapteyn Astronomical Institute); 藤本征史, F. Valentino, G. E. Gagdis (DAWN); 大内正己 (東大宇宙線研, 国立天文台); I. R. Smail (Durham); 植松亮祐, 上田佳宏 (京都大); W-H. Wang (ASIAA); A. Zitrin (Ben-Gurion University) ほか ALCS collaboration)

上述の ALCS プロジェクトのターゲット銀河団は、*Herschel* 衛星による PACS および SPIRE での 100–500 μm 帯遠赤外線観測も行われており、そのデータを用いた遠赤外線 SED の調査を行った。ALCS の 1.2mm 連続波で検出された天体のうち、125 個 (重力レンズによる多重像を考慮すると、独立な source としては 109 個) は少なくとも一つの *Herschel* の観測バンドで 2σ 以上の対応天体が存在した。一方、*Herschel* の遠赤外線バンドいずれにおいても未検出な ALCS 天体は 27 個存在し、その多く (17 個) は、HST/ACS や WFC3 のバンド (可視光/近赤外線) で未検出な種族であった。この種族の測光赤方偏移は $z = 4.2 \pm 1.2$ であり、従来の可視光/近赤外線による deep surveys では見落とされていた高赤方偏移で形成途上の大質量銀河種族が見出されているものと考えられる。ダスト温度の赤方偏移進化を調べたところ、 L_{IR} が $10^{12} L_{\odot}$ を超える ULIRG 級天体についても、それ以下の LIRG 級天体についても、赤方偏移進化はほとんどないと結論づけた。以上の成果を論文にまとめ出版した (Sun, Fengwu, Egami, E., Kohno, K., et al., 2022, ApJ, in press).

5. Extensive Lensing Survey of Optical and Near-infrared Dark Objects (El Sonido): HST H-faint Galaxies behind 101 Lensing Clusters (河野; Sun, F., 江上英一 (University of Arizona); Bauer, F. E. (Pontificia Univ. Catolica de Chile); K. I. Caputi, (Kapteyn Astronomical Institute); 藤本征史, FG. E. Gagdis (DAWN); I. R. Smail (Durham); Koekemoer, A. M. (STScI) ほか)

上述の ALCS プロジェクトの発展プログラムとして、重力レンズ銀河団 101 領域において、HST/WFC の近赤外線 H バンド (F160W) で drop している IRAC 天体の系統的な探査を行った。合計約 650 arcmin² におよぶ領域の中で、53 天体の H バンドで drop している IRAC source を検出した。これらの天体の SED 解析から、これらの天体は、比較的大きな星質量 (median $M_{\text{star}} = 10^{10.3 \pm 0.3} M_{\odot}$) を持つ星生成中の銀河 ($\text{SFR} = 100^{+60}_{-40} M_{\odot} \text{ yr}^{-1}$) で、ダスト減光の強い、高赤方偏移に存在する種族 ($z = 3.9 \pm 0.4$) であると考えられる。

以上の成果を論文にまとめ出版した (Sun, Fengwu, Egami, E., Kohno, K., et al., 2021, ApJ, 922, id. 114).

6. MaNGA で探る近傍銀河星形成の形態依存性 (小山舜平; 小山佑世, 山下拓時 (国立天文台))

近傍宇宙において、銀河の星形成活動と形態に強い相関関係があることが知られている。この相関関係がどのように形成されたのか、形態と星形成活動が互いにどう影響しているのかを明らかにすることは、銀河進化の重要トピックの一つである。一方で、星形成と形態の相関関係から外れた銀河として、楕円銀河のような見た目をした星形成銀河 (star-forming early-types) の存在が複数の論文により報告されている。本研究では、可視面分光サーベイである MaNGA のデータを利用し、star-forming early-types 銀河内部の様々な物理量の分布を一般的な (disk をもつ) 星形成銀河と比較することで、その起源を明らかにするこ

とを目指している。MaNGA データの解析を通して現在までに、star-forming early-types は一般的な星形成銀河と比較して中心集中した星質量密度・星形成密度分布をもっており、また両者の比である sSFR (= 星形成密度/星質量密度) の分布においても中心集中したプロファイルを示すこと、また star-forming early-types の angular momentum は一般的な星形成銀河より小さいが、一般的な (passive) な early-types より大きいことなどを明らかにした。これら結果から、star-forming early-types はバルジの形成途中にある銀河であり、かつ、さらにバルジを成長させている最中にある銀河ではないかと考えている。

7. ALMA と強い重力レンズ効果を用いた $z=6$ サブミリ波銀河 G09.83808 の研究 (辻田旭慶, 河野孝太郎, 廿日出文洋, 江草実美; 但木謙一 (国立天文台); 田村陽一 (名古屋大学); 西村優里, Jorge Zavala (国立天文台); 伊王野大介, 斉藤俊貴 (国立天文台); 梅畑豪紀 (名古屋大学); Minju Lee (DAWN); 松田有一 (国立天文台); 道山知成 (国立天文台, 大阪大学); 長尾透 (愛媛大学); 中西康一郎 (国立天文台))

G09.83808 は宇宙再電離時代終わりの $z=6$ にある大量のダストに覆われた大質量の星形成銀河である。この天体は手前にある銀河によって強い重力レンズ効果を受け約 8 倍増光している。この恩恵を利用し、我々は ALMA を用いて [OIII]88 μm , [NII]205 μm , CO(12-11) 輝線, および 0.6mm/1.5mm の連続波を検出した。一般に静止系可視光の観測が難しいサブミリ波銀河における金属量測定は困難だが、今回酸素輝線と窒素輝線を検出し、近傍銀河の測定値を用いてキャリブレーションすることで、金属量が $Z = 0.5 - 0.7 Z_{\odot}$ であると求めた。この結果は、Tadaki et al., 2022, PASJ, 74, L9 として出版された。また、今回検出した CO(12-11) 輝線とすでに報告されていた CO(2-1), CO(5-4), CO(6-5) 輝線の輝線比を用いて non-LTE モデリングを行った結果、銀河中心 0.6kpc に約 320 K の高温ガスが集中していることを示した。CO SLED を近傍の AGN/スターバーストと比較すると、AGN に類似した分布であった。これらのことは G09.83808 に埋もれた AGN えぬが存在する可能性を示唆している。加えて、[OIII]88 μm , [NII]205 μm 輝線の 100 km/s 毎のチャンネルマップから、銀河全体にわたって単調な速度勾配が存在することを示した。今後より高い感度および分解能で定量的に運動を調査する必要があるが、本結果は G09.83808 が回転円盤を持つ可能性があることを示している。これらの結果は Tsujita et al., 2022, PASJ として現在投稿中である。

8. 北黄極領域の活動銀河核の 3–5 μm dust reverberation 観測 (恒次, 峰崎, 水越, 吉田, 鮫島; 野田 (大阪大学); 小久保 (プリンストン大学))

活動銀河核 (AGN) のダストトラスは 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ラス最内部の幾何学構造を解明するため、近赤外線 dust 放射の reverberation mapping 観測の研究を行ってきた。とくに多波長 reverberation mapping 観測により最内部のダストトラスの温度構造を探ることが期待できる。そこで我々はこれまでに多数観測が行われてきた波長 1–2.5 μm に加えて波長 3–5 μm での観測データの解析を進めている。

波長 3–5 μm の地上望遠鏡による観測は感度に大きな制限がありこれまで大規模な dust reverberation 観測は行われてこなかったが、WISE 衛星による長期全天モニター観測データの公開により、観測は急速に進展してきた (Lyu et al. 2019; Noda et al. 2020; Yang et al. 2020)。しかしながら WISE 衛星によるモニターデータはほとんどの天域では半年に 1 回しか観測されないため、信頼性の高い測定は変光のタイムスケールの長い大光度 AGN (クエーサー) に限られ、波長 1–2.5 μm 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。

そこで本研究では、他の領域に比べ高頻度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。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 μm での光度曲線を調べ、100 個以上の AGN について明確な赤外線変光が検出した。このうちとくに S/N が高く観測回数が多い低中光度 AGN に注目して ZTF による可視光度曲線と時間相関解析を行った結果、5 つの天体について dust reverberation 観測に成功した。今後、可視光度における母銀河の寄与を正確に

評価して低中光度 AGN における dust reverberation 半径-光度関係の波長依存性を確かめ、最内部のダストトーラスの温度構造の考察に進む予定である。

9. 近傍高光度赤外線銀河の高空間分解観測によるダストに覆われた中心核の HCN/HCO⁺ 比 (西村優里, 河野; S. Aalto, N. Falstad, S. König, K. Onishi, M. Gorski, S. Muller, M. Sato, C. Wethers, C. Yang (Chalmers Univ. of Technology); L. Barcos-Muñoz, A. Evans, J. Mangum, G. Privon (NRAO); F. Combes, F. Stanley (Observatoire de Paris); T. Díaz-Santos (Foundation for Research and Technology-Hellas); G. Fuller (Jodrell Bank Centre for Astrophysics); J. Gallagher (University of Wisconsin-Madison); S. García-Burillo (OAN-IGN); E. González-Alfonso (Universidad de Alcalá); T. Greve (DAWN); N. Harada, M. Imanishi, T. Izumi (国立天文台); C. Henkel (MPIfR); S. Linden (University of Virginia); S. Martín (ESO; JAO); S. Mühle (AIfA); C. Ricci (Universidad Diego Portales); K. Sakamoto (ASIAA)) (超) 高光度赤外線銀河 (U/LIRG) の中心領域では、大量のガスが供給されることで活発な星形成や大質量ブラックホールへの質量降着が起こり (フィーディング), そうした中心核の活動によりアウトフローが駆動される (フィードバック). ALMA で取得された HCN および HCO⁺ 分子輝線の高感度・高空間分解データ (CON-quest; PI: S. Aalto/Chalmers) では、これらのフィーディング・フィードバックが生じている領域で HCN/HCO⁺ 輝線強度比が他の領域よりも数倍高くなっていることが見出された. HCN/HCO⁺ 輝線強度比が高くなる要因としては、ガスの温度・密度の変化によって、HCN を生成する化学反応が促進されて分子の存在量が増すことと、分子の励起状態が変わり HCN 輝線の輻射効率が高まることの2つが考えられる. 観測された HCN/HCO⁺ 輝線強度比の高まりを説明する上で、これらの要因のどちらがどの程度重要になるか、化学モデル計算と輻射輸送計算により検討を行なった. 結果として、励起状態の違いのみに起因する輝線強度の変化は比較的限られており、HCN の存在量の増加が輝線強度比を高める上で重要であること、HCN の存在量の増加には高温環境下で促進される化学反応が鍵になることが明らかになった. 現在、これらの結果をまとめた論文を投稿準備中である.
10. 超高輝度超新星の電波光度曲線における時間変化の発見 (廿日出, 諸隈智貴, 諸隈佳菜; 富永, 林, 松田有一 (国立天文台); 田村 (名古屋大); 新沼, 元木 (山口大))
近年、超新星の大規模探査が行われるようになり、通常の超新星と比較して10倍から100倍もの明るさの超新星が発見された. このような超新星は「超高輝度超新星 (Superluminous Supernova)」と呼ばれ、これまで知られていなかった新たな種族として注目されている. その発生メカニズムやエネルギー源、起源天体についてはよくわかっておらず、多くのモデルが提唱されている状況である. 電波による観測は、モデルを制限するための有力な手段である. 我々は、VLA 電波干渉計を用いて超高輝度超新星 PTF10hgi ($z = 0.0987$) における 3 GHz 電波連続波の観測を行った. PTF10hgi は I 型 (hydrogen poor) の超高輝度超新星で、過去の観測では 1–15 GHz 帯で電波放射が観測されていた. 我々の観測の結果、超新星発生から 8.6 年後と 10 年後の観測において、電波強度が有意に (~40%) 減少していることが分かった. 超高輝度超新星において電波放射の時間変動をとらえたのはこの研究が初めてである. 過去に取得された2回のデータ点 (超新星発生から 6.8 年後と 9.9 年後) を合わせると、発生からおよそ 8–9 年頃に光度曲線のピークを迎えることが分かった. 時間変動の要因としては、off-axis ジェットによる残光、若いマグネターに起因するパルサー星雲、および母銀河における活動銀河核が考えられる. モデルとの比較では、off-axis ジェットおよびマグネター起因のパルサー星雲で時間変動を説明できるが、前者は観測されたスペクトルのべき指数を説明できないことが分かった. 超高輝度超新星の起源を解明する重要な知見が得られたが、さらにモデルに制限を加えるためには、多周波数での長期的なモニター観測が重要である. 以上の結果は、Hatsukade, B., et al. 2021, ApJL, 911, L1 として出版された.
11. VLA で探る超高光度超新星からの後期電波放射および母銀河の星形成活動 (廿日出, 諸隈智貴, 諸隈佳菜; 富永, 松田 (国立天文台); 田村 (名古屋大); 新沼, 元木 (山口大))
超新星 ejecta/jet と星周物質との相互作用によってシンクロトロン放射が生じる場合、電波観測からモ

デルやパラメータに制限を加えることが可能である。また、電波放射はダスト減光の影響を受けない星形成の指標となるため、母銀河における星形成の理解にもつながる。我々は VLA 電波干渉計を用い、23 の SLSN (15 Type I & Type II SLSNe at $z < 0.3$) およびその母銀河の 3 GHz 帯観測を行った (SLSN 発生から 5-21 年後)。これは、SLSN の後期電波放射観測として最大のサンプル数となる。観測の結果、電波放射は PTF10hgi および 5 つの母銀河から検出され ($>5\sigma$)、PTF10hgi を除いて年スケールでの有意な時間変動は観測されなかった。電波強度から求めた星形成率と UV-NIR SED 解析から求めた星形成率との比較では、4 つの母銀河で電波星形成率の超過が見られ、ダストに隠された星形成活動を示唆している一方、大部分の母銀河では隠された星形成は確認されなかった。SLSN の理論モデルとの比較では、off-axis jet と星周物質との相互作用で生じる残光モデルのうち、高エネルギー ($E_{\text{iso}} \gtrsim \text{several} \times 10^{53} \text{ erg}$) および高密度 ($n \gtrsim 0.01 \text{ cm}^{-3}$) のパラメータ範囲が棄却できることが分かった。さらに、マグネターに起因するパルサー星雲からの電波放射モデルに対しては、5 つの SLSN に対するモデルが棄却できることも分かった。以上の結果は、Hatskade, B., et al., 2021, ApJ, 922, 17 として出版された。

12. ALMA を用いた近傍棒渦巻銀河 NGC 1300 の研究 (前田郁弥, 江草実実; 太田耕司, 浅田喜久 (京都大学); 藤本裕輔 (会津大学); 羽部朝男 (北海道大学))

近年その観測効率の良さから、ALMA では CO(2-1) による近傍銀河の巨大分子雲 (GMC) 観測が精力的に行われている。しかし、GMC 質量を求めるには正確な輝線強度 $R_{21} = \text{CO}(2-1) / \text{CO}(1-0)$ が必要である。ところが、現状では R_{21} は環境に寄らず一定と仮定することが多い。一定ではないという報告もあるが、それらは kpc の分解能の観測による結果であり、GMC スケールでの R_{21} はもちろん、その環境依存性は近傍銀河ではまだ調べられていない。そこで、我々は近傍の棒渦巻銀河 NGC1300 (距離 20 Mpc) を対象に ALMA と野辺山 45m の CO データを使い、約 100 pc の分解能で R_{21} を測定した。この銀河は環境 (bar, arm, bar-end) によって星形成活動が大きく異なる銀河である。測定の結果、星形成活動が不活発な bar では活発な arm や bar-end に比べて R_{21} が系統的に低いことが明らかになった。さらに、この違いにより GMC の性質 (質量, 面密度, ビリアル比) について、 R_{21} を一定と仮定して求めた場合と、CO(1-0) から求めた場合とでは、環境間での差が異なることを示した。以上の結果は、Maeda, F., et al., 2022, ApJ, 926, 96 として出版された。

13. 赤外線多波長変光フラックス相関による活動銀河核のダスト減光の測定 (水越, 峰崎, 恒次, 吉田, 鮫島; 野田 (大阪大学); 小久保 (プリンストン大学))

銀河合体から超高光度赤外線銀河へクエーサーへと至る進化段階の仮説においては活動銀河核 (AGN) の降着円盤からの放射が周囲のダストによって隠されている obscured AGN が銀河とブラックホールの共進化のメカニズムを解き明かす鍵となる天体となっている。分厚いダストを見通すため透過力の高い X 線によって視線方向の水素柱密度の測定とこれを用いた統計的な研究が行われているが、X 線の吸収や散乱はガス中のダストの有無によらないため、降着円盤放射による強いフィードバックを受けるダストの分布を直接調べることはできていない。

そこで我々は AGN の近赤外線放射がダストトーラス内縁部の高温ダストを放射源としており、それらが降着円盤放射の時間変動に応答して時間変化することに着目し、AGN の 3-5 μm の多波長放射変動の光度相関 (放射変動成分のカラー) から obscured AGN における視線方向のダスト減光を求める方法を考案した。本手法は母銀河成分放射の影響を受けないためその差し引きを必要とせず、WISE 衛星による波長 3-5 μm での全天モニター観測データを利用することにより、簡便に大量の活動銀河核のダスト柱密度測定を可能である。これにより統計的に obscured AGN のダスト分布構造に迫ることができると期待される。

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。可視光で遮蔽の影響を受けた obscured AGN ではダスト減光量が大きく、また 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、かつ同じダスト減光量を示していても天体ごとに視線水素柱密度が2桁に渡って大きく異なる様子が見られた。これはダストトラスの内側にダストを含まないガスが存在し、それが観測者視線をよぎった場合にX線吸収をもたらすことで視線水素柱密度測定値が増加していると考えられる。

14. ALMAを使ったFornax銀河団に対するCO($J=1-0$)輝線でのマッピングサーベイ(諸隈佳菜, 江草芙実; 戸次賢治 (UWA); Jing Wang (KIAA-PKU); Paolo Serra (INAF); 小山佑世 (国立天文台); 諸隈智貴 (千葉工業大学); Bi-Qing For (UWA); 中西康一郎 (国立天文台); Baerbel S. Koribalski (CSIRO/WSU); 岡本崇 (北海道大学); 児玉忠恭 (東北大学); Bumhyun Lee (KIAA-PKU); Filippo M. Maccagni (INAF); 三浦理絵, Daniel Espada (Universidad de Granada), 竹内努 (名古屋大学); Dong Yang (KIAA-PKU); Minju M. Lee (DAWN); Masaki Ueda (東京理科大学); 松下恭子 (東京理科大学))

Fornax銀河団は、おとめ座銀河団の次に我々の近くに位置する銀河団である。銀河団のような高密度環境では、居住環境が銀河の星形成に影響を与えることが知られているが、星形成の材料である分子ガスへの影響に関しては完全には理解されていない。そこで我々は、ALMA望遠鏡を使い、Fornax銀河団銀河64天体に対して、CO($J=1-0$)輝線(以後、CO)でマッピングサーベイを行なった。その結果、23天体からCOを検出し、残りの41天体に関してもCO強度の有益な上限値を得ることができた。64天体のうち、比較対象となる通常環境にいる銀河(フィールド銀河)のデータが揃う、星質量が $10^9 M_{\odot}$ よりも大きな40個のFornax銀河に着目し、銀河団がメンバー銀河の分子ガスの性質に与える影響を調査した。その結果、以下を明らかにした: (1) フィールド銀河と比べて、Fornax銀河における分子ガスの量は少なくなっているものの、分子ガスから星に変換する効率(星形成効率)は同程度であること、(2) 銀河は、星質量が同程度でも星形成率が低いものほど、分子ガスの量/星形成効率が少ない/低いことが知られているが、Fornax銀河は、フィールド銀河と比べて、分子ガスの量がより少ない一方、星形成効率は高いこと、(3) Fornax銀河の中でも、より昔に銀河団に落ちてきたものほど、分子ガスの量が少ないこと、(4) Fornax銀河の分子ガスの量/星形成効率は、潮汐半径の指標と相関/反相関の関係にあること。これらの結果は、Fornax銀河団銀河における分子ガスの枯渇は、銀河団ポテンシャルとの潮汐相互作用と関係していることを示唆している (Morokuma-Matsui et al., submitted)。

15. 超臨界降着を示すSMBHをもつ高赤方偏移radio-loudクェーサーJ0131-0321に対するALMAによる[CII]輝線観測とNRO45mによるCO(5-4)輝線観測(山下 祐依, 河野, 廿日出, 江草, 吉村勇紀 ほか)

高赤方偏移クェーサーは共進化研究において重要なターゲットである。高赤方偏移クェーサーJ0131-0321に対して母銀河の性質の調査を行った。本天体は極めて急速な質量降着(超臨界降着, $\lambda_{\text{Edd}} = 3.1$)を示すSMBHを宿しており、超臨界降着AGNの存在が母銀河に与える影響を調べる上で重要なターゲットである。我々は野辺山45m鏡を使ったCO(5-4)輝線の観測を行い、輝線の初検出に成功した。加えて、ALMAのアーカイブデータを解析し、[CII] $158\mu\text{m}$ 輝線および1mm帯の連続波放射を検出しその画像を得ることに成功した。CO(5-4)および[CII] $158\mu\text{m}$ 輝線の赤方偏移は、近赤外線分光観測による静止系紫外線域のMg II輝線の赤方偏移と比較して約650 km/sもの赤方偏移を示すことがわかった。これはCO(5-4)および[CII] $158\mu\text{m}$ 輝線の検出によって母銀河の赤方偏移をより正確に同定したことを示す。

また、観測された[CII]輝線の空間的広がり(約2秒角)と速度幅(207 ± 47 km/s)から力学的質量を推定しブラックホール質量と比較したところ、力学的質量すなわち母銀河の総質量に対して、ブラックホール質量が近傍宇宙における関係と比較して約1桁過剰に重く、この質量比はエディントン比とは相関しないことを明らかにした。この傾向は、SDSS等で発見された極めて明るい高赤方偏移クェーサーでみられるものと同様である。

一方、このJ0131-0321クェーサーにおいては、野辺山45m鏡のビームサイズ(約20秒角)で観測した際のCO(5-4)輝線から推定した分子ガス質量が、上述の力学質量と同等あるいはそれを上回ることがわかった。この結果は、このクェーサーの周辺数十kpc領域に多量の分子ガスを持つ天体が存在し、将来これら

がクェーサーに落下してクェーサーの星質量を増加させ、近傍宇宙で知られているブラックホール-バルジ質量関係に近づくような進化をたどる可能性を示唆する。このクェーサーの周辺にはクェーサーから数秒角離れたところに存在する複数の広がった [CII] 輝線の兆候が見られ、また 1mm 連続波でもクェーサーから約 2 秒角離れた連続波源が検出されるなど、密度超過領域の存在を示唆している可能性がある。以上の結果は、山下祐依の博士論文の一部としてまとめられた。

16. Swift 衛星/BAT で選択された近傍活動銀河核サンプルに対するエディントン比と母銀河のガス質量/星質量比の相関関係の検証 (山下 祐依, 河野, 江草, 廿日出)

銀河とブラックホールの共進化を理解する上で、それぞれの進化を特徴付ける物理量の相関関係を調べることは重要である。近傍クェーサーサンプルを用いた近年の研究によって、超巨大ブラックホール (SMBH) への質量降着率を表すエディントン比と母銀河のガス質量/星質量比との間に弱い正の相関がみられたことが報告されている (Izumi 2018b)。この結果は、降着率の高い活動銀河核 (AGN) は SMBH が急成長段階にあるだけでなく、母銀河の成長とも密接に関係している可能性を示唆している。そこで本研究は、Swift 衛星/BAT で選択された AGN 分光サーベイ (BASS) カタログをもとに、より低光度の AGN まで含むサンプルを構築し、ブラックホールの質量降着率を表すエディントン比と母銀河の低温分子ガス質量/星質量比 (以下ガス質量比率) との間の相関を検証した。

まず、母銀河スケールにおけるガス質量比率とエディントン比の相関関係の検証を行った。サンプルの母銀河の低温分子ガス質量推定のためのトレーサーは CO(1-0) 輝線を用いた。Swift/BAT サンプルのうち CO(1-0) 輝線データを文献から集めることに加え、解析に使用するサンプル数を拡大するため、野辺山 45m 鏡搭載 FOREST 受信機を使った Swift/BAT サンプル銀河 7 天体での CO(1-0) 輝線観測を行い、うち 6 天体で CO(1-0) 輝線を検出することに成功した。これらのデータをもとに以下の 2 つのテストを行った。一つは、星質量のかわりに、星質量との相関があると期待されるブラックホール質量と分子ガス質量の比 ($M_{\text{gas}}/M_{\text{BH}}$) を求めてエディントン比と比較する間接的なテストである。もう一つは、星質量を用いて分子ガス質量との比 ($f_{\text{gas}} = M_{\text{gas}}/M_{\text{star}}$) を求め、エディントン比と比較する直接的なテストである。前者においては合計 59 天体を、また後者では星質量の文献値がある 22 天体を用いて検証を行った結果、両者の間に相関関係はみられなかった。我々はさらに、AGN の有無によって銀河の星生成活動に関するスケールパラメータが変化するか調べた。一般的な星形成銀河では星形成率 (SFR) と星質量の関係が main sequence (MS) と呼ばれる一定の傾向を示し、MS からのずれ ($\Delta\text{MS} = \text{SFR}/\text{SFR}_{\text{MS}}$) と銀河のガス質量比率は相関することが知られている。そこで本研究の AGN 母銀河サンプルと文献から引用した星形成銀河サンプルの ΔMS と f_{gas} の関係を比較したところ、両者は同様の相関傾向をもつことがわかった。この結果は、AGN の存在は銀河中のガス質量比率とまた星生成活動に関するスケール則に対して顕著な大きな影響はを与えないことを示唆している。

次に、より中心に近い空間スケールでの分子ガス量に着目し、半径 500 pc スケールにおけるガス比率とエディントン比の相関関係の検証を行った。一般に、多量の星間物質が集積されているそのような小さな空間スケールにおける星質量を高い信頼性をもって推定することは容易ではない。そこでため、我々は星質量の代わりとして力学質量 (M_{dyn}) を用いたガス質量比率 ($f_{\text{gas,dyn}} \equiv M_{\text{gas}}/M_{\text{dyn}}$) を定義することとした。力学質量を推定するため、我々は輝線データのフィッティングとモデル構築を行う 3D-BAROLO を用いて ALMA で取得された空間分解能の高い CO(2-1) 輝線データの力学解析を行った。ALMA サイエンス・アーカイブから合計 15 天体の解析を実施した。CO 輝線 3 次元キューブデータから視線速度場などを再現するモデルを作成し、ガスの力学的パラメーター、すなわち回転運動速度や速度分散などを中心からの距離の関数として抽出した。この結果をもとに、半径 500 pc での力学質量およびその内側に含まれる分子ガス質量を求めてガス質量比率を推定しエディントン比と比較したところ、両者の間に有意な相関は見出されなかった。一方、CO 輝線の速度場から得た母銀河の視線速度を可視光の [OIII] λ 5007 輝線で測定された視線速度と比較したところ、数百 km/s 程度の速度差を示す天体が見出され、特にエディントン比の高い AGN ではこの速度差の絶対値が大きくなる傾向であった。また、いくつかのエディントン

比の高い AGN において、CO 輝線の速度場から、中心核付近にアウトフローと解釈できる顕著な非円運動成分があることも見出された。このように、特に急成長中のブラックホールを宿す天体においては、母銀河の中心数百 pc スケールでの低温分子ガスに対して AGN がアウトフローなどによって影響(フィードバック)を及ぼすことが示唆された結果が個別のケースとして存在した。しかし統計的には、母銀河スケールにおいても、そして、よりブラックホールに近い中心 500 pc スケールにおいても、AGN の成長率が母銀河の低温分子ガス質量比率に及ぼす影響は見られないと結論した。

以上の結果は、山下祐依の博士論文の一部としてまとめられた。

17. 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 (吉井謙, 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的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 のアバundance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。代わりに我々は、ULAS J1342+0928 に含まれる大量の鉄は 150–300 M_{\odot} の大質量を持った種族 III の星による対不安定超新星爆発 (PISN) によって供給されたと結論した。更に PISN による金属供給を初期条件として設定した化学進化モデルは、 $z < 3$ から $z = 7.54$ に至るまでの宇宙論的時間スケールに渡って Mg/Fe 組成比の進化をよく説明することも明らかにした。現在は結果を査読付き論文誌に投稿し、審査を受けているところである。

18. Super-MAGNUM プロジェクト及び reverberation mapping 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, 諸隈; 野田 (大阪大学); 小久保 (プリンストン大学); 越田, 小林 (国立天文台); 川口 (尾道市立大学); 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 dust reverberation 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脹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 望遠鏡による大赤方偏移クエーサーの広幅輝線 reverberation mapping 観測の実施計画検討をしている。

昨年度は東京大学 TAO 望遠鏡による $5 < z < 8$ の宇宙初期のクエーサーの CIV 輝線 reverberation mapping 観測に焦点を置いた Super-MAGNUM Legacy 計画の検討を進め、具体的なサンプル選定を行ない、宇宙モデルの切り分けに十分なターゲット数があることを確認した。並行して具体的な観測計画立案のために必要な観測シミュレーションのためのソフトウェア開発も進めた。今後はターゲットの分光学的性質などによるサンプルの吟味、具体的な観測パラメータと達成される測定精度の関係について検討を進めるほか、本観測データのブラックホール成長やクエーサー化学進化研究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も検討を進める予定である。

19. 高赤方偏移電波銀河 TNJ0924-2201 周辺における分子ガス過剰な天体の発見 (李建鋒, 河野, 江草, 廿日出, 長尾透 (愛媛大学), 山下拓司, 泉拓磨, 今西昌俊 (国立天文台) ほか)

強い電波放射を伴う活動銀河核である電波銀河は、大質量銀河の形成進化過程における電波モードのフィードバックの役割を理解する上で、重要なサンプルである。現在知られている電波銀河の中で、赤方偏移が 2 番目に高い TN J0924-2201 (赤方偏移 5.2) についての、VLA および ALMA を使った分子ガス

の探査および星生成活動の調査について報告する。VLAの観測(PI: 李建鋒)は、周波数19 GHz帯に遷移してくるCO(1-0)輝線を狙い、その検出に成功した。あわせて19 GHz帯の連続波放射についてのイメージングにも成功した。またALMA Band-6のアーカイブデータを解析し、TN J0924-2201の波長1.3 mm帯の連続波放射の分布を得た。その結果、CO(1-0)輝線は母銀河と考えられる1.3 mm帯の連続波放射分布から顕著な位置的なズレが確認された。また、高角度分解能(約2秒角)によりCO(1-0)k線分布は更に分解され、3つのガス・リッチな天体の存在が示唆された。このうち、電波銀河本体に付随している質量はその一部に過ぎない。電波銀河本体から25-33 kpc以上離れたところに発見された巨大な分子ガス過剰な天体の発見は、高赤方偏移電波銀河の周辺における銀河間物質を捉えているものとして、非常に意義があると考えられる。この他、TNJ0924-2201を含む7つの高赤方偏移電波銀河におけるCO(1-0)輝線探査も実施しており、赤方偏移4-5の電波銀河における分子ガスの質量比率(分子ガス質量/星質量比率)は、これまで報告されていた、赤方偏移1-3の時代の電波銀河と比較して同程度である(顕著な赤方偏進化はない)ことがわかった。

以上の結果は、李建鋒の博士論文の一部としてまとめている。また論文投稿準備も進めている。

2.5.2 恒星および系外惑星

1. 光エコ観測を利用したデブリ円盤観測の検討(有松亘(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いため、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の観測が利用できないかを検討している。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リングを行うことで、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。以上の結果について、Arimatsu & Kamizukaとして論文にまとめApJL誌に投稿した。

2.5.3 太陽及び太陽系

1. 地球接近小惑星観測のためのソフトウェア開発(大澤亮)

月軌道付近まで接近した小惑星は見かけの速さが1 arcsec/secを超えるため、時間分解能の高い動画観測が有効である。地球接近小天体を効率よく検出するためには短い動画データから高速に移動する天体候補を抽出するアルゴリズムが必要である。この問題は3次元空間中に存在する点群から直線上に整列した部分集合を抽出する問題に言い換えることができる。解法をナイーブに実装すると $O(n^2)$ の計算複雑性が要求されてしまう。Hough変換をもちいることもできるが、必要なメモリ空間が大きくなるため現実的ではない。そこで、点集合を線分の集合に変換し、整列した線分を抽出するという手順に置き換えることで問題を効率的に計算できることに着目してアルゴリズムを開発した。点群から線分への変換には k -近傍グラフを構成する近似アルゴリズムであるknn-descent(Dong et al., 2011)を採用した。整列した線分のグルーピングにはJang and Hong(2002)で提案されたアルゴリズムを3次元に拡張して使用した。実用的な範囲に置いて計算時間は k -近傍グラフの構築($\sim O(n^{1.5})$)が支配しており、データの規模が

増大しても高速に計算を実行することができる。アルゴリズムの実装と性能評価を宇宙科学情報解析論文誌に投稿し受理された (Ohsawa 2022)。

2.5.4 望遠鏡, 観測機器, ソフトウェアの製作と開発

1. 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, 陳家偉, 李建鋒, 河野孝太郎; 井上修平; 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, 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。

2021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, (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) 焦点面内でのバンド特性を定義するためのサブミリ波光学フィルター, (4) 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, (5) 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, を推進した。まず (1) の検出器チップにおいては, 平面直交偏波分離器 (OMT), 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の設計を実施した。OMT では, 3次元電磁界シミュレーションおよび回路計算を用いて設計解を求め, 組み立て時のアライメント誤差による結合効率の変動が2%程度に収まることを示した。平面ハイブリッドカップラーでは, 網羅的なパラメータ探索を行うことで, 帯域幅 1:2.3 かつ検出器のアレイ化に適した誘電体単層での設計解を得た。多色オンチップフィルターでは, 並列接続された複数フィルター間の干渉を抑えつつ, 広帯域な入力信号から 150, 220, 270 GHz の3バンドを分離するマルチプレクサの構造を検討した。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, パターニングプロセスにおける系統的な寸法変化の調査を進めている。(2) の AR においては, 真空窓と誘電体レンズの材料となる超高分子量ポリエチレン材に対して適用可能で, 120–720 GHz の帯域幅を持つ多層 AR の設計手法を確立した。さらに5層 AR の試作品に対する光学評価により, 要求性能を満足する平均反射率1%を得た。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) については, 商用のフレキシブルプリント基板 (FPC) の製造技術を応用したサブミリ波光学フィルターを開発している。2021年度は, 3インチ大の広帯域多段バンドパスフィルターを試作し, 光学測定によりその透過特性の面内一様性を検証した。今後は多段フィルターの設計更新と積層方法の改良を進める。(4) の配線系では試作品の設計・製造が完了し, 現在はその伝送損失の測定評価を進めている。(5) ホーンアレイにおいては, 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製作を実施した。製作の結果, 5ピクセルのコニカルホーンアレイの製作に成功したものの, 導波管に対するベクトルネットワークアナライザでの測定では 150 GHz 帯において 0.1 dB/mm 程度の損失が生じることが判明した。そのため, 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確立し, 損失を抑えることとした。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。

2. 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, 大澤, 河原, 福井; 山田 (京都大学); 河田 (UCL); 大宮, 平野 (ABC); 片坐, 白井 (JAXA); 立川 (高知高専); 服部 (統数研); 吉岡 (海洋大); Löffler (Univ. of Heidelberg); 泉浦, 三好, 矢野, 郷田 (NAOJ))

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. 本年度までの開発により, 本シミュレータでは瞳形状および波面誤差からの点像分布関数の生成, 検出器のピクセル間およびピクセル内フラットの考慮, 衛星の姿勢制御誤差に伴う指向誤差の考慮などが可能となった. さらに本シミュレータを使用して一回撮像あたりの位置決定精度の調査を行ったところ, 現在ミッションで主な観測対象とする H_w バンド 12.5 等級以下の天体では, 検出器フラットや姿勢制御誤差がその精度に影響を与えることが明らかとなった. 本活動に関しては第 22 回宇宙科学シンポジウム, および天文学会年会において発表を行った.

3. 高精度宇宙位置天文観測のための画像歪み補正試験 (大澤亮, 上塚貴史; 山田良透 (京都大学); 河田大介 (UCL); 河原創 (東京大学); 片坐宏一 (ISAS/JAXA); 郷田直輝 (国立天文台); JASMINE e2e シミュレーショングループ)

JASMINE (Japan Astrometry Satellite Mission) は銀河中心核バルジの年周視差と固有運動を近赤外線 (1.1–1.6 μm) で測定するスペース位置天文ミッションである. JASMINE は銀河中心のみをターゲットとした局所的な位置天文ミッションであり, 従来のスペース位置天文ミッションとは得られるデータの性質が根本的に異なる. データ解析プロセスのひとつに画像から測定した星像中心位置を天球座標に変換するステップがある. このステップでは JASMINE が地球を 1 周回するあいだに測定した情報を統合して, 光学系の歪みを補正しつつピクセル座標系から天球座標に変換する必要がある.

コンセプトを検証するために任意の歪み関数を適用して観測データを模擬するためのソフトウェアと, 歪みを補正しつつ座標を変換するソフトウェアを作成した. ある天域を 2×2 のディザリングで観測する問題を定義し, 確率的変分ベイズ法によって各天体の座標や望遠鏡パラメタの最適値と推定精度を導出した. 天体の観測回数を N としたとき, 推定誤差が $N^{-0.5}$ にしたがって減少することを確認した. 本研究の結果は日本天文学会 2022 年春季年会 (V233a) で発表した. 今後は歪みに時間変動を入れるなど, より現実に近いケースで検討する.

4. ALMA 拡張計画 (アルマ 2) に向けた超伝導受信機のマルチビーム化に関するフィードホーンアレイの研究 (康浩然, 河野; A. Gonzalez, W. Shan (国立天文台))

ALMA の長期的な拡張計画の中で, 広視野化は一つの重要な柱であり, その実現のため, マルチビーム受信機を開発することは大きな課題となっている. その実現に向けた要素技術の一つとして, フィードホーンをアレイ化するための技術検討を行っている. 特に, 受信機光学系で使用する誘電体での散乱に起因する損失や, 相互結合による損失について, 理論的な考察に加え, ALMA Band-4+5 や Band-1 受信機を想定した電磁界シミュレーターを用いた詳細検討を行った. Band-4+5 を想定した設計では, 125–211 GHz という幅広い周波数帯域において, 80%以上の開口能率を達成する解を得ることができた. Band-1 受信機を想定した設計では, 現在開発されている周波数範囲よりさらに広い, 30–52 GHz 帯で所定の仕様を満たす解を得たほか, 交差偏波特性を改善するための工夫を行った. さらに, 3D プリンタを使った試作を行い, その性能評価も進めている.

こうした結果を康浩然の学位論文にまとめる準備を進めている.

5. 超広帯域サブミリ波分光計 DESHIMA2.0 の ASTE 科学運用に向けた開発 (河野, 吉村勇紀; Tom J. L.

C. Bakx, 谷口暁星, 田村陽一 (名大); 竹腰達哉 (北見工業大学); 大島泰, 藤井泰範, 石井峻, 川邊良平, 前川淳 (国立天文台); 藤田和之, 香内晃 (北大); 中坪俊一 (宇宙科学研究所); 北山哲 (東邦大); 遠藤光, 唐津謙一, Nuria Llombart, Alejandro Pascual Laguna, David J. Thoen, Shahab Dabironezare, Matthijs Gouwerok, Stefanie Brackenhoff, Anne-Kee Doing, Bruno Buijtenorp, Matus Rybak(TU Delft); Juan Bueno, Robert Huiting, Vignesh Murugesan, Stephen J. C. Yates, Sebastian Hähnle, Jochem J. A. Baselmans, Hiroki Akamatsu(SRON); Paul P. van der Werf(Leiden University))

初期宇宙に数多く存在し、サブミリ波帯の連続波探査観測によって効率的に検出される爆発的星形成銀河は、現在の宇宙における大規模構造や大質量楕円銀河の形成過程を理解する上で鍵となる、非常に重要な天体である。これらの天体の分光赤方偏移の決定、および星形成と関連するガス量・物理状態の理解を目指し、ALMAをはじめとするミリ波・サブミリ波望遠鏡に搭載されたヘテロダイン受信機によって、一酸化炭素や電離炭素輝線の観測が盛んに行われている。一方で、ALMAが1回の観測で取得できる周波数範囲は高々7.5 GHz程度であり、分光赤方偏移がまだ測定されていないダストに覆われた天体に対しては、スペクトル線を探査するため、観測周波数設定を変えながら複数回の観測を行う「周波数スキャン」を行う必要があるなど、あまり効率的とはいえない。こうした現状を踏まえ、我々は、広帯域かつ光子ノイズ限界の感度を実現する光子直接検出器のサブミリ波天文学への新たな応用例として、超伝導オンチップ・フィルターバンクを用いたサブミリ波分光計 DESHIMA の開発を推進している。DESHIMA2.0は、220–440 GHz という非常に幅広い周波数帯域幅 ([CII] 158 μm 輝線での赤方偏移では、 $z = 3.3 - 7.6$ の範囲を一挙に分光できることを意味する) を、半導体チップ上に形成した共振回路によるフィルターバンクで周波数分解能 $R = 500$ 程度に分解し、光子を超伝導直接検出器である力学インダクタンス検出器 (KID) で検出するという原理により、超広帯域かつ高感度な分光観測を実現する。2017年に後継10 mのサブミリ波望遠鏡ASTEにDESHIMA技術試験機を搭載し、世界に先駆けて天文観測に基づく概念実証に成功しており、これを踏まえた本格的な科学観測運用の実現を目指している。今年度は、220–440 GHz帯をカバーするDESHIMA2.0科学観測グレード・チップの製作が進み、あわせて、高速なポジションスイッチ観測を実現する高速スカイチョッパーの開発とその実験室評価が進められた。実際に製作されたチップを実験室で評価し、その実績に基づいて予測された感度から、サブミリ波で明るいダストに覆われた遠方銀河の赤方偏移を[CII] 158 μm 輝線やCO分子回転遷移輝線で検出して分光赤方偏移を測定するfeasibilityの検討を行った。

こうした成果を国際会議で発表し、2本の査読論文にまとめて投稿している (Taniguchi, A., Endo, A., Kohno, K., et al., submitted to Journal of Low Temperature Physics; Rybak, M., Bakx, T., Baselmans, J., Kohno, K., et al., submitted to Journal of Low Temperature Physics).

6. マイクロシャッタアレイの開発 (小西; 本原 (国立天文台); 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。

これまではMEMS加工プロセスの確立とスリットの開閉駆動制御を主な目的として開発を進めてきた。今年度はより実用的なデバイスに向けた改良を始めた。一つ目は開口率を上げるための検討で、レーザー直描という手法によりパターンを露光するプロセスを導入し、最適な露光パラメータを模索している。二つ目は既に試作したデバイスについて光漏れをLEDを用いて測定した。常温では漏れ光は検出されないことを確認したので、今後冷却窒素温度で長時間測定を行い、高コントラストでの評価を行う予定である。コロナ禍のため作業が遅れているが令和4年度も引き続き検討と試験を継続していく。

7. せいめい望遠鏡用3バンド同時高速撮像分光器 TriCCS の開発 (土居, 酒向, 新納, 紅山, 高橋尚人; 前田, 太田, 松林, 川端美穂, 木野 (京都大); 都築, 尾崎, 本原, 早野 (国立天文台))

キャノン社と開発した大画素 CMOS センサーを3台搭載した口径3.8m せいめい望遠鏡用3バンド同時高速撮像分光器 TriCCS の開発を行っている。2021年度は撮像モードが立ち上がり、後期に全国共同利用に公開した。ただしフィルターについて視野位置による波長依存性が微量ではあるが発生し、再製作を行うこととした。最高98frame per second までの高速撮像も可能となり、FRB repeater やパルサー等の試験観測を実施した。低分散分光モードもたちあげ、2022年3月に試験観測に成功した。また国立天文台先端技術センターと共同でイメージスライサーによる面分光モードの検討をすすめた。

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開発が進められている。現地工事は平成30年度から本格開始した。この間、チリ国内の暴動(2019年)や新型コロナウイルス感染症の世界的蔓延(2020-21年)などの影響を大きく受けてきたが、2021年度末現在、工事は最終段階に入っている。

TAO 計画全体進捗

1. TAO 計画の全体進捗(宮田, 吉井, 土居, 河野, 峰崎, 酒向, 諸隈智貴, 廿日出, 小西, 江草, 高橋, 上塚, 鮫島, 浅野, 加藤, 沼田, 益原; 本原(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3年度は前年に引き続き世界的な新型コロナウイルスの蔓延の影響を大きく受けた。チリでも感染防止のため緊急事態宣言が継続され、国境も令和3年10月までは封鎖された状態が続いた。これにより日本からの作業員渡航が不可能となったり、現地の作業員の確保などにも大きな影響を受けてしまった。

上のような状況にありながら、チリ工事会社及び日本側関係各所の協力のもと、計画は進捗を見せた。現地工事としては山頂での基礎工事が完了し、望遠鏡およびエンクロージャー、観測運用棟の基礎設置が完了した。また10月以降は日本人ワーカーが渡航しての鉄骨工事も進んだ。これら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。現在の建設で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。またアクセス道路についても引き続き監視を行っている。さらに、チリ水資源省がチリ全土に設置する気象センサー群の設置にも協力し、山頂付近のデータを何時でも確認できる体制を整えた。

計画の状況については天文センターの運営委員会のほか、TAO 科学諮問委員会(委員長: 戸谷東京大学教授)に報告し議論いただいている。また ALMA や ASTE, CCATp などの近隣計画やチリの大学とは状況を密にやり取りし、協力関係の深化を進めている。

2. TAO 望遠鏡本体等の製作(峰崎, 吉井, 土居, 河野, 宮田, 酒向, 諸隈智貴, 廿日出, 小西, 江草, 高橋, 上塚, 鮫島, 浅野, 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 $\phi 25$ 分角

直径の広視野リッチ・クレチエン系を採用し、観測装置搭載焦点としてナスミス焦点2ヶ所と将来拡張用のベントカセグレン焦点を2ヶ所を備える。観測装置を各焦点部に取り付けたまま運用することを想定し、第三鏡の回転による光線切り替えのみで迅速に観測装置を交代させる。望遠鏡単体での結像性能は、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。また焦点面の最終 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スチ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、星像位置および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。

望遠鏡光学系および関連部品については梱包を完了し、主鏡セル (PMC) や輸送箱内に格納された主鏡 (M1) については東京大学とアリゾナ大学との間の契約のもと、アリゾナ大学 Tech Park 内に保管されており、2022 年度内の輸送を予定している。

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。

望遠鏡本体部品の再製作を開始し、2020 年夏に再製作を完了した。主要部品については海上輸送に向けての厳重な梱包ののち 2020 年 10 月に神戸港を出港、同年 12 月にチリ国アンガモス港に到着、その後陸送を行い、カラマの屋内倉庫およびチャナントール山麓の標高 5000m にある中間保管場所に保管中である。中間保管場所は屋外であるため積雪強風対策のため貨物梱包に適宜追加の対応を行っている。

これらと並行して、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た。気温より主鏡の温度が高くなると主鏡表面付近の空気に対流が生じ、星像悪化の原因となる。これを防止するため主鏡裏側に冷風を送って主鏡温度の制御を行う。この排熱の処理のため主鏡セル内に冷却水を循環させる必要がある。また観測中の主鏡は空力アクチュエータによって支えられ、その支持力分布の調整により主鏡形状の補正が行われる。こ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。2020 年度に完成した冷却水生産設備本体および高圧空気生産設備本体はカラマの屋内倉庫および標高 5000m の中間保管場所に保管中であり、今年度はこれらの起動および運用パラメータ設定を観測所制御システムと連動して遠隔で制御するためのインターフェースソフトウェアの開発を行った。また各生産設備から冷却水と高圧空気を主鏡セルに送るための配管の検討を進め、フレキシブルホースの調達を行った。

3. 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, 諸隈智貴, 廿日出, 小西, 江草, 高橋, 鮫島, 浅野, 加藤, 青木, 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いる。

装置台車は、装置移動台車、装置回転台車、装置取り付け台車の三つからなる。装置移動台車は、観測装置の観測運用棟-エンクロージャ間の移動、装置回転台車は観測装置の移動時の姿勢から望遠鏡装着時の姿勢への回転、装置取り付け台車は観測装置の望遠鏡焦点への取り付けを実現するためのものである。今年度はこれらの台車のチリに向けた輸出のための最終調整を行い、9月にチリに向けて出荷した。11月にチリに到着し、現在は現地倉庫に保管している。

ケーブル巻取機構は TAO 望遠鏡のナスミス台に設置する装置である。本装置は受動的に回転するドラムを有しており、観測装置と締結することにより観測装置と同期して回転する機構となっている。これにより、観測中に姿勢が回転する観測装置に対し、電源・ヘリウム配管・圧縮空気の配管を安全に接続することを可能にする。今年度はこの製作・試験を完了し、装置台車とあわせて 9 月にチリに向けて出荷した。本装置も 11 月にチリに到着し、現地倉庫に保管中である。

4. TAO 観測統合制御システム (TAO-OCS) の開発 (小西, 酒向, 鮫島, 加藤, 峰崎, 上塚, 浅野, 吉井, 土居, 河野, 宮田, 諸隈智貴, 廿日出, 江草, 高橋, 沼田, 益原, 青木; 本原 (国立天文台/東京大学))

TAO で制御が必要なハードウェアは望遠鏡・エンクロージャーと観測装置の 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。

我々は TAO の OCS (TAO-OCS) の基本設計として国立天文台ハワイ観測所すばる望遠鏡の OCS (Gen2) を利用することとし、技術情報提供や秘密保持のためにハワイ観測所と覚書を交わした。Gen2 は python で記述された観測者側 (front-end) および観測所側 (back-end) のソフトウェア群であり、装置制御系 (Instrument Control System, ICS) や望遠鏡制御系 (Telescope Control System, TCS) を統合して制御するための様々なインターフェースを観測者に提供するものである。我々は TAO-OCS の設計思想として、観測者から見た使い勝手は Gen2 を極力維持しつつも、TAO に不要な機能等の削除や、すばる望遠鏡とハードウェア構成が異なる部分についての修正・追加といった最適化を施すことを意識して、想定されるユースケースを分析し機能要件の定義を進めている。

TAO の第 1 期観測装置である SWIMS と MIMIZUKU はすばる望遠鏡で機能試験観測を実施した関係で ICS は Gen2 に完全準拠したものとなっており、今後 TAO-OCS に適合させていくことになっている。またファーストライト装置である NICE は TAO-OCS の設計と並行して ICS の開発が行われている。望遠鏡・エンクロージャー制御における最もデバイス寄り (低レベル) のプログラムについては望遠鏡を製作する業者や鏡を製作するアリゾナ大学から提供され、その上位にくる TCS は京都虹光房・EDECS が開発している。TAO-OCS はこれら ICS, TCS を連携制御して観測を遂行するとともに、それらから機器の状態など観測運用に必要な様々な情報を収集する役割を担うことになる。

TAO-OCS の詳細設計はほぼ完了し、今後実装および ICS・TCS との結合試験を繰り返し、2022 年度内には現地へ輸送される予定である。

5. TAO 6.5m 蒸着装置 (高橋, 吉井, 土居, 河野, 宮田, 峰崎, 酒向, 諸隈智貴, 廿日出, 小西, 江草, 上塚, 鮫島, 浅野, 加藤, 青木, 沼田; 本原 (国立天文台/東京大学))

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

蒸着装置一式は 2019 年度までに国内に納品され、IHI 横浜工場にて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た。その後、装置は一旦分解・梱包され、2021 年 4 月に横浜港よりチリに向けて出荷された。およそ 1 ヶ月の船旅の後、無事にチリ・アンガモス港に到着、チャンバーなど大型物品は港近辺に、その他電源や制御盤等はアラマ市内にある倉庫に保管された。チャンバーは 2021 年 6 月に 5000m ベースに輸送され、山頂設置までの間保管される。TAO 望遠鏡プロジェクトの中で、蒸着上部チャンバーは単体としては最大物品であり、その輸送において安全性・技術的な面で細心の注意が払われる。アンガモス港から 5000m ベースへの輸送時は大きさを模擬したダミー

を使って試走を行い、問題の洗い出しや手順の確認を行った、今後5000m 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。

他には山頂設置や実際の洗浄・蒸着に備え、各種準備を行なった。具体的には、製作から時間が経っている洗浄装置の動作確認、チリで設置・使用される洗浄水タンクの設計、主鏡鏡面の状態を逐次確認するインスペクションブリッジの設計・製作、上下チャンバーの真空分離するカセグレン部セパレータの改修などである。これらは山頂での設置手順や洗浄・蒸着までの一連の工程を鑑みて、効率的且つ性能向上のための手順書の作成とともに行われた。

蒸着プラント一式は2021年度末までにすべて5000m ベースに保管されているが、その状態確認および設置に向けての手順書作成のために、2021年12月に担当者とともに現地視察を行なった。現在は2022年度からの山頂観測運用棟内への設置に向けての契約、作業の準備を進めている。

6. TAO 山頂施設の建設 (酒向, 沼田, 加藤, 吉井, 土居, 河野, 宮田, 峰崎, 酒向, 諸隈智貴, 廿日出, 小西, 江草, 高橋, 上塚, 鮫島, 浅野, 青木, 益原; 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。エンクロージャと観測運用棟の建築部材の5000m サイトへの輸送は2021年度前半までに大部分が完了した。2020年度に山頂に設置した望遠鏡ピア用プレキャストブロックを接合するための鉄筋の設置とコンクリートの打設がインテレクト社の管理の下、チリ Preansa 社が主導して実施され2021年11月に完了した。ワクチン接種が進みチリ国内の新型コロナウイルス感染症の状況が落ち着いたため、2021年11月よりチリへの入国制限が緩和された。これに伴い、2021年11月より西村製作所および三陽鉄工サービスが主導の下、5000m サイトに保管されていた建築部材が山頂へ輸送され、エンクロージャ下部の鉄骨組み立て工事が開始された。2022年1月より観測運用棟の鉄骨組み立て工事が川田工業の主導の下に始まり、3月に大部分の鉄骨が組みあがった。

インテレクト社と共に、観測運用棟に設置される発電機、地下燃料タンク、および受電設備の詳細設計を進めた。チリ H2M 社により発電機と地下燃料タンクの製作が実施され、2022年3月に5000m サイトに納品された。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5000m サイトと山頂施設の間に敷設し、5000m サイトに発電機を設置する検討を進めた。2022年3月には山頂アクセス道路の脇にトレンチを掘る工事が始まった。山頂施設の機器を遠隔制御するために必要な気象観測システムと監視カメラシステムの製作を東洋電装社と進めた。山頂施設を雷害から保護するためのSPD 設備、避雷導体、耐雷トランス等の製作を音羽電機工業社と進めた。

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施工に向けての検討をインテレクト社とともに進めた。吉川教授 (アラスカ大) が中心となりチリ DGA (水資源省) と共同で山頂に気象観測装置を設置し観測を開始した。

TAO 山頂施設に敷設するネットワークの設計と機器選定を行った。観測運用中のダウンタイムを最小限に抑えるため、以下のようなネットワーク構成とした。

- (1) 既存の無線ブリッジに加え、迂回経路用に携帯電話ルータ、衛星通信を用意し、将来有線回線の敷設後に切り替えられる構成に
- (2) ドームエンクロージャと観測運用棟のL2スイッチ間はリングアグリゲーションにして配線の冗長化と負荷分散、高速な通信を可能に
- (3) 将来観測で高速通信が必要な装置が計画されているため、要所は10G対応のスイッチを選定
- (4) 観測時にはドームスリットが大きく開き外気温と同じとなる(-20度以上)ため、設置場所に応じて耐環境温度を満たす産業用のスイッチを選定

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, 諸隈智貴, 廿日出, 江草, 浅野, 大澤, 上塚, 鮫島, 西村, 青木, 沖田, 服部, 田中壱, 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. 2010 年度からは, 広がった天体に対してより効率的に情報を抽出できる面分光機能 (IFU) の開発も進めている.

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.

2021 年 2 月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共同利用観測に公開され, 2022 年 6 月現在で合計 23 課題が遂行され総計 2TB 近くの観測データが取得されている. 2020 年 11 月頃から観測装置の内部温度が徐々に上昇していたため, 2021 年 11 月に冷凍機コールドヘッドを交換する作業を実施した. また, 2021 年 4 月の観測でシステム効率の低下が確認されたことから, この温度上昇によるアウトガスの発生と光学系への吸着が原因と考え, 装置を昇温しアウトガスを排出する作業を実施した. これらの装置不具合により 2021 年 4–5 月に取得したデータは想定に比べて 0.3–0.4mag 感度が悪いものとなってしまったが, 2022 年 1 月の観測で性能が回復していることを確認した. SWIMS のすばる望遠鏡共同利用観測は残り 1 セメスターを残すのみとなり, 2023 年初頭には三鷹に輸送する計画となっている.

2. 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; 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))

面分光は天体像を分解し並べ直すことによって, 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 TAO 6.5m 望遠鏡の第一期近赤外線観測装置 SWIMS に搭載する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 4 月には超精密切削加工によって, SWIMS-IFU の最も複雑な光学素子である PO0+ スライスミラーアレイが完成した. PO0+ スライスミラーアレイは $14 \times 16 \text{ mm}^2$ の平面鏡 PO0 と $18 \times 0.52 \text{ mm}^2$ の平面鏡 26 個が互いに異なる方向を向いて積み重なったスライスミラーアレイを一つのアルミ母材 RSA6061 に一体で加工した光学素子である. 理研所有の超精密加工装置 ULG-100D(5A) に二種類の工具を同時に装着し, その間の相対座標を厳密に管理することで一体加工を可能にした. 評価では通常非接触 3 次元測定器の他に X 線 CT による測定も活用し, ミラー間の角度精度を測定し, 課題は残るものの正しく加工が完了した示唆を得た. 形状誤差は要求 $P-V < 300 \text{ nm}$ を PO0, スライスミラーともに満たしたが, 面粗さは RSA6061 に含まれる不純物のため, 要求 $\text{RMS} < 10 \text{ nm}$ を一部超過した. その後, 2021 年 9 月までに球面鏡 PO2, 組み合わせレンズ PO1, 組み上げ用のベースプレートが完成し, 全ての必要部品が完成した.

2021 年 10 月から 12 月にかけて, SWIMS-IFU の組み上げと実験室での光学試験による評価を行った. 組み上げでは超精密切削加工で作成した高精度な基準面とシムを使用したことで, 繰り返しの調整なしに必要な精度を達成することができた. 光学試験では疑似スリット像の幅, SWIMS-IFU からの射出光線方向の設計からのずれ, 視野と瞳像のケラレを確認した. 疑似スリットの幅は設計からのずれが 10%以内であり要求範囲内であった. また, 射出光線のずれは 8 arcmin ほどで, SWIMS のコールドストップでの瞳像

のずれによる透過率劣化は $\lesssim 3\%$ であった。ケラレについては視野、瞳像ともに設計時点で想定されていたものが確認された。

その後、2022年2月に国立天文台ハワイ観測所すばる望遠鏡へ輸送し、3月にSWIMSへのインストール作業を行った。そして、3月27日前半夜にファーストライト観測に成功した。試験観測では標準星や星団のデータを取得した。結像性能の評価として、スライスミラー位置での点像の広がり、疑似スリット像の幅、検出器上でのスペクトルの幅などを測定したが、いずれも想定した範囲のものであった。一方で、SWIMS-IFU単体の透過率が55-75%と仕様70%より低く、予想に反して長波長側で低下することが確認された。システム全体の効率は5-20%であった。また、観測では熱輻射とみられる迷光が確認され、 $2.1\ \mu\text{m}$ より長い波長では影響があることが判明した。原因については調査を進めている。

試験観測の結果を受け、SWIMS-IFUはS22Bセメスターにすばる望遠鏡の共同利用観測にリスクシェアで公開されることとなった。その後はSWIMSの共同利用終了とともに観測を終え、TAO 6.5m望遠鏡に向けて新たな設計を開始する予定である。

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, 西村, 橘健吾, 道藤翼, 飯田熙一, 成瀬日月, 尾中, 左近, 吉井, 土居, 河野, 峰崎, 小西, 高橋, 田辺, 諸隈智貴, 廿日出, 江草, 鮫島, 小山, 堀内, 山岸, 青木, 加藤; 本原 (国立天文台/東京大学); 軸屋, 内田大智, 近藤智也 (金沢大学); 本田 (岡山理科大学); 長谷川, 白井, 内山, 片坐 (JAXA); 海老塚, 細畠 (理化学研究所))

MIMIZUKUはTAO 6.5 m望遠鏡に搭載する第一期中間赤外線撮像分光装置である。この装置は光学系内部にNIR・MIR-S・MIR-Lチャンネルという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、 $2\text{--}38\ \mu\text{m}$ 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チャンネルの装置性能評価、MIR-Lチャンネルの整備、冷却チョッパーの冷却駆動試験、フラット校正ユニットの開発、AGPMコロナグラフの開発を行った。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, 西村, 橘健吾, 道藤翼, 飯田熙一, 成瀬日月; 長谷川, 白井 (JAXA); 海老塚, 細畠 (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 $2\text{--}5.3\ \mu\text{m}$ をカバーする。昨年度まで試験用デューにて本検出器の動作試験を進めてきたが、本年はこれをMIMIZUKU光学系に搭載し、検出器自体の評価試験およびNIRチャンネルの光学的性能試験を実施した。検出器の評価試験としては、MIMIZUKU内にて若干の迷光が入るダーク環境にて積分を行い、その積分カウントと雑音の関係を調査することでphoton-transfer curveを調べ、読み出しノイズの評価、およびAD変換ゲインを明らかにした。次にNIRチャンネルの光学性能試験として、MIMIZUKU上部に黒体炉を搭載し、その光をNIRチャンネルで撮像することで光学系・検出器を含めた装置効率の評価を実施した。結果、想定よりは10-20%程度低いものの、Hバン

ドにて 30% 程度の妥当な装置効率の値を確認した。これらの結果をもとに、H1RG が確かに光を検出していることを確認した。これらの結果とさらなる装置性能評価の結果について、2022 年 7 月に開催される国際研究会 “SPIE Astronomical Telescopes + Instrumentation 2022” にて発表することとなった。

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, 西村, 橘健吾, 道藤翼, 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、検出器マウントの温度測定、搭載フィルターの検討、フィルター搭載治具の製作、およびレンズ光学系の冷却試験を行った。検出器マウントの温度測定では、検出器の動作環境 (約 5 K) にて検出器自身の発熱による検出器搭載部の温度上昇値を測定し、検出器の動作温度要求が達成できるかどうかを確認した。実験の結果、温度上昇はおよそ 1 K 程度に収まることがわかり、問題なく検出器の動作温度要求が達成できることを確認した。搭載フィルターの検討では、短波長リーク光子の量を 30 ミクロン帯で観測する光子の量の 1% に抑えるために、フィルターを何枚重ねればいいのか評価した。結果、フィルターは 4 枚必要ということがわかった。これを受けて、フィルター搭載治具の製作では、国立天文台先端技術センターの協力を受け、4 枚組のフィルタを搭載できる治具を製作した。レンズ光学系の冷却試験では、MIR-L チャンネル光学系の一部品であるシリコンレンズを、低温でも割れることなくレンズマウントに固定するため、レンズ-固定具間にインジウムを挟むことでレンズに掛かる圧力を軽減する方法を考案し、実際に実験で割れないことを確認した。

4. 冷却チョッパーの開発 (道藤翼, 上塚, 宮田, 酒向, 大澤, 浅野, 西村, 橘健吾, 飯田熙一, 成瀬日月; 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。地上観測ではこの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。

これまでの開発では、機械設計ののち、各部の構成要素の低温環境 (温度約 20 K) における動作に問題がないことを確認し、システム全体が冷却環境下においても常温環境と同様に動作することを確認した。今年度は動作角の検証、発熱量の測定、応答性・静定性・長期動作耐性などの詳細な評価を行った。

チョッパーの動作角は、これまでは固定部に設置したギャップセンサと駆動部である鏡の間の距離を測定したギャップセンサの出力値より導出していた。しかしこの手法は、低温環境下においてもギャップセンサが適切に距離測定ができることを仮定した手法となっており、別の手法によって動作角が想定通りの値になっていることを確認する必要がある。このための試験として、オートコリメータを使用した鏡の動作角測定を実施し、結果として想定通りの動作角が実現していることが確認できた。

発熱量の測定では、チョッパーを長時間動作させた際の試験デューワーのコールドワークサーフェスの温度上昇を測定し、その発熱量が十分に小さい $5\ \text{mW}$ 程度であることを確認した。長期動作耐性の評価では 1 時間の連続動作を経ても動作状態に変化が見られないことを確認し、長期動作耐性では 1 時間の連続動作の後でも動作状態に変化がないことを確認した。応答性・静定性の評価では、天球上で 60 秒角相当となるチョッピング振幅の動作を、周波数 2–5 Hz, 静定時間 30–50 ms で達成できることを確認した。静定性については冷凍機振動の影響が強く現れることがわかり、安定性に課題が残る可能性が確認された。これらの結果は、冷凍機振動に乱された静定性以外については要求動作を達成できていることを示している。

冷凍機振動は MIMIZUKU 本体においては抑制される可能性があるが、どこまで抑えられるかは不明なため、今後の搭載機を製作し、これを MIMIZUKU に搭載して動作試験を行うことによって調査を進めていくこととした。搭載機についても機械設計を済ませ、必要となる部品の多くの製作を完了した。不足部品の準備を来年度に実施し、MIMIZUKU 搭載試験を進めていく予定である。

上記の冷却試験の内容については、道藤氏の修士論文としてまとめられ、2022年7月に開催予定の国際研究会“SPIE Astronomical Telescopes + Instrumentation 2022”にて発表することとなっている。

5. フラット校正ユニットの開発(成瀬日月, 上塚, 宮田, 酒向, 大澤, 浅野, 西村, 橘健吾, 道藤翼, 飯田熙一)
地球型惑星の形成過程で起こるジャイアントインパクトによって生じるダストや、中小質量星の進化の最終段階で起こる大規模な質量放出によって作られる星周ダストは、中間赤外線ですら数%程度の変光を起こす。このような変光を捉えるため MIMIZUKU では 1% のモニタ精度を目指している。しかしながら、フィールドスタッカーによる大気の校正のみではこの精度は達成できず、高精度なフラット補正が必要であることが明らかになった。従来の地上中間赤外線観測でもフラット補正は行われてきたが、その精度は数%の誤差を含む。原因の一つは、検出器応答の線形性の破れが考慮されていないことである。これを解決するには、観測時と同等のフラックス環境で複数の観測点を取り、検出器の各ピクセルの応答曲線の傾きを正しく評価する必要がある。実際、大気背景光の時間変動を用いれば 0.5% 精度のフラット補正を行える。しかしこの手法は、大気条件が安定していて観測に最適な状況では用いることができない。

本研究では、検出器を一様に照射し、そのフラックスを時間変化させることで、いかなる状況でも高精度のフラット補正を行えるユニットを開発した。シリコンレンズと黒体炉からなる校正ユニットを MIMIZUKU 入射窓の外側に挿入する。黒体炉の温度を時間変化させ、その変動成分のみを抽出することにより、観測時と同等のフラックス環境で複数の観測点をとることが可能である。黒体炉を瞳位置に設置することで、検出器のどのピクセルも同じ黒体面を見る光学系を設計した。レンズによる反射と吸収の影響で非一様なパターンが生じるが、これをモデル化して補正するソフトウェアを開発した。レンズおよび黒体炉とこれらを MIMIZUKU に搭載するための主要な治具については設計および発注を完了している。これらを組み上げ、MIR-S チャンネルを用いた冷却試験を行った。その結果、7.6 μm 帯において、従来のフラット補正が 1.3% の精度に留まる一方で、本ユニットを用いたフラット補正では 0.3% の精度を達成した。今後は、残る治具を設計および発注し、これらを組み上げることで、本ユニットを MIMIZUKU に搭載する。光学調整を行った後、9.8 μm 、11.6 μm 、20.8 μm 帯においてもフラット補正の精度の評価を行い、実際の観測に耐えうる精度が達成できることを確認する予定である。

上記の冷却試験の内容については、2022年7月に開催予定の国際研究会“SPIE Astronomical Telescopes + Instrumentation 2022”にて発表することとなっている。

6. AGPM コロナグラフの開発(浅野, 上塚, 西村, 宮田, 酒向, 大澤, 橘健吾, 飯田熙一, 成瀬日月)
本研究は近傍太陽型星周囲の地球型系外惑星の検出や、晩期型周囲のダスト形成を明らかにするための、中間赤外線 30 ミクロン帯コロナグラフの開発を目的とした基礎研究である。本波長帯でのコロナグラフの開発例はなく、本波長帯においても高コントラスト、小 IWA (inner working angle) を実現するコロナグラフを構築するため、近年理論が提唱された Annular Groove Phase Mask (AGPM) コロナグラフを選択している。また高透過率、低コストかつ加工が容易であるシリコンを光学材質として選択している。今年度はこれまで製作を行ってきた AGPM コロナグラフに対し、更なる高コントラスト達成のための開発を行った。具体的には、AGPM コロナグラフ・シリコン基板裏面に、申請者が所属する研究室が既に開発に成功していた中間赤外線用反射防止コーティング・モスアイを施し、本素子内部での多重反射を防止する事でコントラスト改善を目指すものである。現在まで本研究では AGPM コロナグラフの形状設計、製作物の評価を行い、製作を半導体製造業者が行う体制で開発を進めてきた。しかしながら今年度、加工業者が有するモスアイ加工用装置が重故障し、装置修理も新装置導入も行わない決定がなされたため、当初予定していた方法では中間赤外線用モスアイの構築が不可能になり、製作技術も失われる事となった。他の半導体製造業者を模索したものの、世界的な半導体需要が非常に高まっている事、特殊な形状である中間赤外線用モスアイを製作する事は容易ではない事等から、基礎研究開発として受注可能な製造業者を見つける事ができなかった。この状況を受け、申請者は設計・評価だけではなく、半導体加工も自ら行う事とした。半導体の加工と評価は、東京大学マテリアル先端リサーチインフラ・データハブ拠点微細加工

部門武田クリーンルームで行った。シリコン基板表面の AGPM 多重微細リング構造は、フォトリソグラフィ、ドライエッチングを経て製作を行い、設計値に対して 20%程度の誤差内で製作する事に成功した。一方モスアイ構造は、リソグラフィ、レジスト用アルミ成膜、ドライエッチング、ウェットエッチングを経て試作を行ったが、深堀モスアイ形状を再現する事はできておらず、製造のための更なる最適パラメタの模索が必要である。これらの成果を、可視赤外線観測装置ワークショップ (2021) にて発表した。

TAO 6.5 m 望遠鏡用近赤外線エシェル分光観測装置 NICE

1. TAO 6.5 m 望遠鏡用近赤外線エシェル分光観測装置 NICE の開発 (高橋, 浅野, 田中, 鮫島, 吉井, 土居, 河野, 宮田, 峰崎, 酒向, 諸隈智貴, 甘日出, 小西, 江草, 上塚, 加藤, 青木; 本原, 西村 (国立天文台/東京大学))

NICE (Near-Infrared Cross-dispersed Echelle spectrograph) は、近赤外線波長帯域 (0.9–2.4 μm)、波長分解能 $\sim 2,600$ の近赤外線中分散エシェル分光装置であり、近赤外線帯域の撮像機能も有する観測装置である。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。主に質量放出や大気の運動といった物理機構を、星の大気から得られる物理情報と大気モデルと詳細比較することで解き明かしてきている。これまで NICE は TAO 6.5m 望遠鏡第一期観測装置として改修、開発が行われてきており、大気透過率が高い TAO サイトでは、0.8–2.5 μm の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事から、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。

今年度も昨年度に引き続き、TAO 6.5m 望遠鏡への搭載を念頭に起き、ソフト、ハード両面で多くのアップデートを行った。ソフト面では、TAO 望遠鏡システムを用いた実際の観測運用制御方法の検討を行った。NICE はスリット分光装置であるため、天体をスリットに導入する必要がある。天体導入は、装置に付属した可視カメラスリットビューワー (SV) を用いて行うが、近赤検出器と可視カメラ SV の波長帯が異なっているため、大気分散の効果を考慮する必要がある。両者の見かけの位置の差は最大で ~ 1 arcsec となるため、近赤外検出器と、可視 SV の各々の星像をスリット長幅方向に導入する様に制御を行う事でスリットロスを防ぐ。この様な NICE 観測で必要となる制御法の洗い出しを行い、TAO 望遠鏡制御システム GEN2 制御スクリプト SKELTON の製作等を行った。

スリット、フィルターの製作インストールを行い、装置の性能評価を行った。NICE は国内小望遠鏡観測用に製作されたため、0.5" x 1.5", 1.0" x 1.5", 1.5" x 1.5" の 3種類をスリットを TAO 6.5m 搭載に向け新製作を行った。スリットは、アルミニウム鏡に銀と保護膜コーティングを施し、SV の可視領域での反射率も向上させている。初回制作時にはスリット表面に洗浄跡が見られ光学性能への影響が懸念されたため、再製作を行い、問題がない事を確認した。フィルターは、J, H, K の 3種類の標準フィルターを新しくインストールしており、これは主に測光用としてフラックス較正に用いる予定である。これらの変更を踏まえ、再度装置の性能評価を行った。迷光が新たに発見され、その原因が内部光学系のレンズ系による多重反射である事が明らかになった。また近赤外検出器の経年劣化が見られ、バッドピクセルの増加が発生している事等も判明した。これらの観測への影響は、観測運用法で除去、あるいは十分に軽減する事が可能である。

また、装置性能評価実験を踏まえ、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も同時に進めている。

TAO 望遠鏡への輸送、観測に向け着実に準備が進んでいる状況となっている。

TAO 6.5 m 望遠鏡用近赤外線 Y-バンド高分散分光器 TARdYS

1. TAO 6.5 m 望遠鏡用近赤外線 Y-バンド高分散分光観測装置 TARdYS のカメラユニットの開発 (土居;

穂満星冨, 本原 (国立天文台/東京大学); 中屋 (国立天文台); Vanzi(カトリカ大); 吉井, 土居, 河野, 宮田, 峰崎, 酒向, 諸隈智貴, 甘日出, 小西, 江草, 高橋, 上塚, 鮫島, 浅野, 加藤, 青木)

TARdYS (TAO AIUC high-Resolution(d) Y-band Spectrograph) は TAO の第2期観測装置としてチリ・カトリカ大の AIUC(El Centro de Astro-Ingeniería de la Universidad Católica) が中心となって開発を進めている, 波長分解能 $>50,000$ で $0.84\text{-}1.15\mu\text{m}$ カバーする高分散分光器である.

そのカメラユニットの開発を, 天文センターと国立天文台の先端技術センター (ATC) が共同で行なっている. 検出器には, ATC と浜松ホトニクスが開発した 1280×1280 InGaAs 検出器を用いており, MessiaVI により駆動・読み出しが行われる. 2021 年度は液体窒素方式のデュワーの導入と温度モニタ・管理システムの立ち上げを行うとともに, MessiaVI システムの立ち上げを行い, 常温でのマルチプレクサの駆動に成功した.

2022 年度は冷却での検出器の駆動, および性能評価を行い, カトリカ大に納品する予定である.

2.6 論文及び出版物

2.6.1 英文報告

• Main journal

1. Arima, N., Doi, M., Morokuma, T., and Takanashi, N., “Intrinsic color diversity of nearby Type Ia supernovae”, 2021, PASJ 73, 326
2. Ashall, C., Lu, J., Hsiao, E. Y., Hoefflich, P., Phillips, M. M., Galbany, L., Burns, C. R., Contreras, C., Krisciunas, K., Morrell, N., Stritzinger, M. D., Suntzeff, N. B., Taddia, F., Anais, J., Baron, E., Brown, P. J., Busta, L., Campillay, A., Castellón, S., Corco, C., Davis, S., Folatelli, G., Förster, F., Freedman, W. L., González, C., Hamuy, M., Holmbo, S., Kirshner, R. P., Kumar, S., Marion, G. H., Mazzali, P., Morokuma, T., Nugent, P. E., Persson, S. E., Piro, A. L., Roth, M., Salgado, F., Sand, D. J., Seron, J., Shahbandeh, M., and Shappee, B. J., “Carnegie Supernova Project: The First Homogeneous Sample of Super-Chandrasekhar-mass/2003fg-like Type Ia Supernovae”, 2021, ApJ 922, 205
3. Barrientos, A., Holdship, J., Solar, M., Martín, S., Rivilla, V. M., Viti, S., Mangum, J., Harada, N., Sakamoto, K., Muller, S., Tanaka, K., Yoshimura, Y., Nakanishi, K., Herrero-Illana, R., Mühle, S., Aladro, R., Aalto, S., Henkel, C., and Humire, P., “Towards the prediction of molecular parameters from astronomical emission lines using Neural Networks”, 2021, ExA 52, 157
4. Chae, E., Kambe, E., Motohara, K., Izumiura, H., Doi, M., Yoshioka, Ko., “Compact green Ti:sapphire astro-comb with a 43 GHz repetition frequency”, 2021, A&A 655, A114
5. Chao, D. C.-Y., Chan, J. H.-H., Suyu, S. H., Yasuda, N., Morokuma, T., Jaelani, A. T., Nagao, T., and Rusu, C. E., “Strongly lensed candidates from the HSC transient survey”, 2021, Journal of the Optical Society of America B, 38, p. A1
6. Cui, Y.-Z., Hada, K., Kino, M., Sohn, B.-W., Park, J., Ro, H.-W., Sawada-Satoh, S., Jiang, W., Cui, L., Honma, M., Shen, Z.-Q., Tazaki, F., An, T., Cho, I., Zhao, G.-Y., Cheng, X.-P., Niinuma, K., Wajima, K., Zhang, Y.-K., Kawaguchi, N., Algaba, J.-C., Koyama, S., Hirota, T., Yonekura, Y., Sakai, N., Xia, B., Jiang, Y.-B., Yu, L.-F., Gou, W., Hwang, J.-Y., Jiang, Y.-C., Sun, Y.-X., Jung, D.-K., Kim, H.-R., Kim, J.-S., Kobayashi, H., Lee, J.-W., Lee, J.-A., Zhang, H., Li, G.-H., Xu, Z.-Q., Li, P., Oh, J.-H., Oh, S.-J., Oh, C.-S., Oyama, T., Roh, D.-G., Shibata, K.-M., Guo, W., Zhao, R.-B., Zhong, W.-Y., Wang, J.-Q., Yang, W.-J., Yan, H., Yeom, J.-H., Li, B., Li, X.-F., Yuan, J.-P., Dong, J., Chen, Z., Akiyama, K., Asada, K., Byun, D.-Y., Hagiwara, Y., Hodgson, J., Jung, T.-H., Kim, K.-T., Lee, S.-S., Yi, K., Liu, Q.-H., Liu, X., Lu, R.-S., Nakamura, M., Trippe, S., Wang, N., Wang, X.-Z., and Zhang, B., “East Asian VLBI Network observations of active galactic nuclei jets: imaging with KaVA+Tianma+Nanshan”, 2021, RAA 21, 205
7. Daddi, E., Valentino, F., Rich, R. M., Neill, J. D., Gronke, M., O’Sullivan, D., Elbaz, D., Bournaud, F., Finoguenov, A., Marchal, A., Delvecchio, I., Jin, S., Liu, D., Strazzullo, V., Calabro, A., Coogan, R., D’Eugenio, C., Gobat, R., Kalita, B. S., Laursen, P., Martin, D. C., Puglisi, A., Schinnerer, E., and Wang, T., “Three Lyman- α -emitting filaments converging to a massive galaxy group at $z = 2.91$: discussing the case for cold gas infall”, 2021, A&A 649, A78
8. Falstad, N., Aalto, S., König, S., Onishi, K., Muller, S., Gorski, M., Sato, M., Stanley, F., Combes, F., González-Alfonso, E., Mangum, J. G., Evans, A. S., Barcos-Muñoz, L., Privon, G. C., Linden, S. T.,

- Díaz-Santos, T., Martín, S., Sakamoto, K., Harada, N., Fuller, G. A., Gallagher, J. S., van der Werf, P. P., Viti, S., Greve, T. R., García-Burillo, S., Henkel, C., Imanishi, M., Izumi, T., Nishimura, Y., Ricci, C., and Mühle, S., “CON-quest. Searching for the most obscured galaxy nuclei”, 2021, *A&A* 649, A105
9. Fujimoto, S., Oguri, M., Brammer, G., Yoshimura, Y., Laporte, N., González-López, J., Caminha, G. B., Kohno, K., Zitrin, A., Richard, J., Ouchi, M., Bauer, F. E., Smail, I., Hatsukade, B., Ono, Y., Kokorev, V., Umehata, H., Schaerer, D., Knudsen, K., Sun, F., Magdis, G., Valentino, F., Ao, Y., Toft, S., Dessauges-Zavadsky, M., Shimasaku, K., Caputi, K., Kusakabe, H., Morokuma-Matsui, K., Shotaro, K., Egami, E., Lee, M. M., Rawle, T., and Espada, D., “ALMA Lensing Cluster Survey: Bright [C II] 158 μm Lines from a Multiply Imaged Sub- L^* Galaxy at $z = 6.0719$ ”, 2021, *ApJ* 911, 99
 10. Fujita, S., Sano, H., Enokiya, R., Hayashi, K., Kohno, M., Tsuge, K., Tachihara, K., Nishimura, A., Ohama, A., Yamane, Y., Ohno, T., Yamada, R. I., and Fukui, Y., “Massive star formation in the Carina nebula complex and Gum 31. II. A cloud-cloud collision in Gum 31”, 2021, *PASJ* 73, 1255
 11. Fukue, K., Matsunaga, N., Kondo, S., Taniguchi, D., Ikeda, Y., Kobayashi, N., Sameshima, H., Hamano, S., Arai, A., Kawakita, H., Yasui, C., Mizumoto, M., Otsubo, S., Takenaka, K., Yoshikawa, T., and Tsujimoto, T., “Absorption Lines in the 0.91–1.33 μm Spectra of Red Giants for Measuring Abundances of Mg, Si, Ca, Ti, Cr, and Ni”, 2021, *ApJ* 913, 62
 12. Gao, Y., Egusa, F., Liu, G., Kohno, K., Bao, M., Morokuma-Matsui, K., Kong, X., and Chen, X., “The Nuclear Region of NGC 1365: Star Formation, Negative Feedback, and Outflow Structure”, 2021, *ApJ* 913, 139
 13. Gómez-Guijarro, C., Elbaz, D., Xiao, M., Béthermin, M., Franco, M., Magnelli, B., Daddi, E., Dickinson, M., Demarco, R., Inami, H., Rujopakarn, W., Magdis, G. E., Shu, X., Chary, R., Zhou, L., Alexander, D. M., Bournaud, F., Ciesla, L., Ferguson, H. C., Finkelstein, S. L., Giavalisco, M., Iono, D., Juneau, S., Kartaltepe, J. S., Lagache, G., Le Floch, E., Leiton, R., Lin, L., Motohara, K., Mullaney, J., Okumura, K., Pannella, M., Papovich, C., Pope, A., Sargent, M. T., Silverman, J. D., Treister, E., and Wang, T., “GOODS-ALMA 2.0: Source catalog, number counts, and prevailing compact sizes in 1.1 mm galaxies”, 2022, *A&A* 658, A43
 14. Gómez-Guijarro, C., Elbaz, D., Xiao, M., Kokorev, V. I., Magdis, G. E., Magnelli, B., Daddi, E., Valentino, F., Sargent, M. T., Dickinson, M., Béthermin, M., Franco, M., Pope, A., Kalita, B. S., Ciesla, L., Demarco, R., Inami, H., Rujopakarn, W., Shu, X., Wang, T., Zhou, L., Alexander, D. M., Bournaud, F., Chary, R., Ferguson, H. C., Finkelstein, S. L., Giavalisco, M., Iono, D., Juneau, S., Kartaltepe, J. S., Lagache, G., Le Floch, E., Leiton, R., Leroy, L., Lin, L., Motohara, K., Mullaney, J., Okumura, K., Pannella, M., Papovich, C., and Treister, E., “GOODS-ALMA 2.0: Starbursts in the main sequence reveal compact star formation regulating galaxy evolution prequenching”, 2022, *A&A* 659, A196
 15. Haasler, D., Rivilla, V. M., Martín, S., Holdship, J., Viti, S., Harada, N., Mangum, J., Sakamoto, K., Muller, S., Tanaka, K., Yoshimura, Y., Nakanishi, K., Colzi, L., Hunt, L., Emig, K. L., Aladro, R., Humire, P., Henkel, C., and van der Werf, P., “First extragalactic detection of a phosphorus-bearing molecule with ALCHEMI: Phosphorus nitride (PN)”, 2022, *A&A* 659, A158
 16. Harada, N., Martín, S., Mangum, J. G., Sakamoto, K., Muller, S., Tanaka, K., Nakanishi, K., Herrero-Illana, R., Yoshimura, Y., Mühle, S., Aladro, R., Colzi, L., Rivilla, V. M., Aalto, S., Behrens, E.,

- Henkel, C., Holdship, J., Humire, P. K., Meier, D. S., Nishimura, Y., van der Werf, P. P., and Viti, S., “Starburst Energy Feedback Seen through HCO⁺/HOC⁺ Emission in NGC 253 from ALCHEMI”, 2021, ApJ 923, 24
17. Hatsukade, B., Tominaga, N., Morokuma, T., Morokuma-Matsui, K., Tamura, Y., Niinuma, K., Hayashi, M., Matsuda, Y., and Motogi, K., “Variability of Late-time Radio Emission in the Superluminous Supernova PTF10hgi”, 2021, ApJL 911, L1
18. Hatsukade, B., Tominaga, N., Morokuma, T., Morokuma-Matsui, K., Matsuda, Y., Tamura, Y., Niinuma, K., and Motogi, K., “A VLA Survey of Late-time Radio Emission from Superluminous Supernovae and the Host Galaxies”, 2021, ApJ 922, 17
19. Holdship, J., Viti, S., Martín, S., Harada, N., Mangum, J., Sakamoto, K., Muller, S., Tanaka, K., Yoshimura, Y., Nakanishi, K., Herrero-Illana, R., Mühle, S., Aladro, R., Colzi, L., Emig, K. L., García-Burillo, S., Henkel, C., Humire, P., Meier, D. S., Rivilla, V. M., and van der Werf, P., “The distribution and origin of C₂H in NGC 253 from ALCHEMI”, 2021, A&A 654, A55
20. Ikarashi, S., Ivison, R. J., Cowley, W. I., and Kohno, K., “NOEMA confirmation of an optically dark ALMA-AzTEC submillimetre galaxy at $z = 5.24$. A late-stage starburst prior to quenching”, 2022, A&A 659, A154
21. 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., and Tsujimoto, T., “Highly Sensitive, Non-cryogenic NIR High-resolution Spectrograph, WINERED”, 2022, PASP 134, 015004
22. Inoue, S., Takagi, T., Miyazaki, A., Cooper, E. M., Egusa, F., and Yajima, H., “Instability analysis for spiral arms of local galaxies: M51, NGC 3627, and NGC 628”, 2021, MNRAS 506, 84
23. Izumi, T., Matsuoka, Y., Fujimoto, S., Onoue, M., Strauss, M. A., Umehata, H., Imanishi, M., Kohno, K., Kawaguchi, T., Kawamuro, T., Baba, S., Nagao, T., Toba, Y., Inayoshi, K., Silverman, J. D., Inoue, A. K., Ikarashi, S., Iwasawa, K., Kashikawa, N., Hashimoto, T., Nakanishi, K., Ueda, Y., Schramm, M., Lee, C.-H., and Suh, H., “Subaru High- z Exploration of Low-luminosity Quasars (SHELLQs). XIII. Large-scale Feedback and Star Formation in a Low-luminosity Quasar at $z = 7.07$ on the Local Black Hole to Host Mass Relation”, 2021, ApJ 914, 36
24. Jiang, J.-an ., Maeda, K., Kawabata, M., Doi, M., Shigeyama, T., Tanaka, M., Tominaga, N., Nomoto, K., Niino, Y., Sako, S., Ohsawa, R., Schramm, M., Yamanaka, M., Kobayashi, N., Takahashi, H., Nakaoka, T., Kawabata, K. S., Isogai, K., Aoki, T., Kondo, S., Mori, Y., Arimatsu, K., Kasuga, T., Okumura, S.- ichiro ., Urakawa, S., Reichart, D. E., Taguchi, K., Arima, N., Beniyama, J., Uno, K., and Hamada, T., “Discovery of the Fastest Early Optical Emission from Overluminous SN Ia 2020hvf: A Thermonuclear Explosion within a Dense Circumstellar Environment”, 2021, ApJL 923, L8
25. Jolly, J.-B., Knudsen, K., Laporte, N., Richard, J., Fujimoto, S., Kohno, K., Ao, Y., Bauer, F. E., Egami, E., Espada, D., Dessauges-Zavadsky, M., Magdis, G., Schaerer, D., Sun, F., Valentino, F., Wang, W.-H., and Zitrin, A., “ALMA Lensing Cluster Survey: A spectral stacking analysis of [C II] in lensed $z \sim 6$ galaxies”, 2021, A&A 652, A128

26. Kataoka, J., Yamamoto, M., Nakamura, Y., Ito, S., Sofue, Y., Inoue, Y., Nakamori, T., Totani, T., “Origin of Galactic Spurs: New Insight from Radio/X-Ray All-sky Maps.” 2021, *ApJ* 908, 141
27. Kleiner, D., Serra, P., Maccagni, F. M., Venhola, A., Morokuma-Matsui, K., Peletier, R., Iodice, E., Raj, M. A., de Blok, W. J. G., Comrie, A., Józsa, G. I. G., Kamphuis, P., Loni, A., Loubser, S. I., Molnár, D. C., Passmoor, S. S., Ramatsoku, M., Sivitilli, A., Smirnov, O., Thorat, K., and Vitello, F., “A MeerKAT view of pre-processing in the Fornax A group”, 2021, *A&A* 648, A32
28. Kohno, M., Tachihara, K., Torii, K., Fujita, S., Nishimura, A., Kuno, N., Umemoto, T., Minamidani, T., Matsuo, M., Kiridoshi, R., Tokuda, K., Hanaoka, M., Tsuda, Y., Kuriki, M., Ohama, A., Sano, H., Hasegawa, T., Sofue, Y., Habe, A., Onishi, T., Fukui, Y., “FOREST unbiased Galactic plane imaging survey with the Nobeyama 45 m telescope (FUGIN). VI. Dense gas and mini-starbursts in the W 43 giant molecular cloud complex”, 2021, *PASJ* 73, S129
29. Kohno, M., Nishimura, A., Fujita, S., Tachihara, K., Onishi, T., Tokuda, K., Fukui, Y., Miyamoto, Y., Ueda, S., Kiridoshi, R., Tsutsumi, D., Torii, K., Minamidani, T., Saigo, K., Handa, T., and Sano, H., “Nobeyama 45 m Local Spur CO survey. I. Giant molecular filaments and cluster formation in the Vulpecula OB association”, 2022, *PASJ* 74, 24
30. Kondo, H., Tokuda, K., Muraoka, K., Nishimura, A., Fujita, S., Tosaki, T., Zahorecz, S., Miura, R. E., Kobayashi, M. I. N., Onodera, S., Torii, K., Kuno, N., Sano, H., Onishi, T., Saigo, K., Fukui, Y., Kawamura, A., Tsuge, K., and Tachihara, K., “ALMA Observations of Giant Molecular Clouds in M33. III. Spatially Resolved Features of the Star formation Inactive Million-solar-mass Cloud”, 2021, *ApJ* 912, 66
31. 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., and Matsuda, K., “A Massive Quiescent Galaxy Confirmed in a Protocluster at $z = 3.09$ ”, 2021, *ApJ* 919, 6
32. Laporte, N., Zitrin, A., Ellis, R. S., Fujimoto, S., Brammer, G., Richard, J., Oguri, M., Caminha, G. B., Kohno, K., Yoshimura, Y., Ao, Y., Bauer, F. E., Caputi, K., Egami, E., Espada, D., González-López, J., Hatsukade, B., Knudsen, K. K., Lee, M. M., Magdis, G., Ouchi, M., Valentino, F., and Wang, T., “ALMA Lensing Cluster Survey: a strongly lensed multiply imaged dusty system at $z \geq 6$ ”, 2021, *MNRAS* 505, 4838
33. Lee, M. M., Nagao, T., De Breuck, C., Carniani, S., Cresci, G., Hatsukade, B., Kawabe, R., Kohno, K., Maiolino, R., Mannucci, F., Marconi, A., Nakanishi, K., Troncoso, P., and Umehata, H., “Dense and Warm Neutral Gas in BR 1202-0725 at $z = 4.7$ as Traced by the [O I] $145 \mu\text{m}$ Line”, 2021, *ApJ* 913, 41
34. Li, S.-S., Yang, S., Yang, Z.-X., Chen, Y.-J., Songsheng, Y.-Y., Liu, H.-Z., Du, P., Luo, B., Yu, Z., Hu, C., Jiang, B.-W., Bao, D.-W., Guo, W.-J., Zhang, Z.-X., Li, Y.-R., Xiao, M., Lu, K.-X., Ho, L. C., Bai, J.-M., Bian, W.-H., Aceituno, J., Minezaki, T., Horne, K., Kokubo, M., and Wang, J.-M., “Reverberation Mapping of Two Luminous Quasars: The Broad-line Region Structure and Black Hole Mass”, 2021, *ApJ* 920, 9
35. Maccagni, F. M., Serra, P., Gaspari, M., Kleiner, D., Morokuma-Matsui, K., Oosterloo, T. A., Onodera, M., Kamphuis, P., Loi, F., Thorat, K., Ramatsoku, M., Smirnov, O., and White, S. V., “AGN feeding and feedback in Fornax A. Kinematical analysis of the multi-phase ISM”, 2021, *A&A* 656, A45

36. Maeda, F., Egusa, F., Ohta, K., Fujimoto, Y., Habe, A., and Asada, Y., “CO(2-1)/CO(1-0) Line Ratio on a 100 Parsec Scale in the Nearby Barred Galaxy NGC 1300”, 2022, *ApJ* 926, 96
37. Maeshima, H., Nakagawa, T., Kojima, T., Takita, S., and Kwon, J., “Dust dissipation timescales in the intermediate and outer regions of protoplanetary disks”, 2021, *PASJ* 73, 1589
38. Martín, S., Mangum, J. G., Harada, N., Costagliola, F., Sakamoto, K., Muller, S., Aladro, R., Tanaka, K., Yoshimura, Y., Nakanishi, K., Herrero-Illana, R., Mühle, S., Aalto, S., Behrens, E., Colzi, L., Emig, K. L., Fuller, G. A., García-Burillo, S., Greve, T. R., Henkel, C., Holdship, J., Humire, P., Hunt, L., Izumi, T., Kohno, K., König, S., Meier, D. S., Nakajima, T., Nishimura, Y., Padovani, M., Rivilla, V. M., Takano, S., van der Werf, P. P., Viti, S., and Yan, Y. T., “ALCHEMI, an ALMA Comprehensive High-resolution Extragalactic Molecular Inventory. Survey presentation and first results from the ACA array”, 2021, *A&A* 656, A46
39. Masui, S., Yamasaki, Y., Ogawa, H., Kondo, H., Yokoyama, K., Matsumoto, T., Minami, T., Okawa, M., Konishi, R., Kawashita, S., Konishi, A., Nakao, Y., Nishimoto, S., Yoneyama, S., Ueda, S., Hasegawa, Y., Fujita, S., Nishimura, A., Kojima, T., Uemizu, K., Kaneko, K., Sakai, R., Gonzalez, A., Uzawa, Y., and Onishi, T., “Development of a new wideband heterodyne receiver system for the Osaka 1.85 m mm-submm telescope: Receiver development and the first light of simultaneous observations in 230 GHz and 345 GHz bands with an SIS-mixer with 4-21 GHz IF output”, 2021, *PASJ* 73, 1100
40. 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., and Kawakita, H., “A Very Metal-poor RR Lyrae Star with a Disk Orbit Found in the Solar Neighborhood”, 2022, *ApJ* 925, 10
41. Matsuoka, Y., Iwasawa, K., Onoue, M., Izumi, T., Kashikawa, N., Strauss, M. A., Imanishi, M., Nagao, T., Akiyama, M., Silverman, J. D., Asami, N., Bosch, J., Furusawa, H., Goto, T., Gunn, J. E., Harikane, Y., Ikeda, H., Ishimoto, R., Kawaguchi, T., Kato, N., Kikuta, S., Kohno, K., Komiyama, Y., Lee, C.-H., Lupton, R. H., Minezaki, T., Miyazaki, S., Murayama, H., Nishizawa, A. J., Oguri, M., Ono, Y., Ouchi, M., Price, P. A., Sameshima, H., Sugiyama, N., Tait, P. J., Takada, M., Takahashi, A., Takata, T., Tanaka, M., Toba, Y., Utsumi, Y., Wang, S.-Y., and Yamashita, T., “Subaru High- z Exploration of Low-luminosity Quasars (SHELLQs). XVI. 69 New Quasars at $5.8 < z < 7.0$ ”, 2022, *ApJS* 259, 18
42. Miura, R. E., Espada, D., Hirota, A., Henkel, C., Verley, S., Kobayashi, M. I. N., Matsushita, S., Israel, F. P., Vila-Vilaro, B., Morokuma-Matsui, K., Ott, J., Vlahakis, C., Peck, A. B., Aalto, S., Hogerheijde, M. R., Neumayer, N., Iono, D., Kohno, K., Takemura, H., and Komugi, S., “A giant molecular cloud catalogue in the molecular disc of the elliptical galaxy NGC 5128 (Centaurus A)”, 2021, *MNRAS* 504, 6198
43. Mizukoshi, S., Kohno, K., Egusa, F., Hatsukade, B., Minezaki, T., Saito, T., Tamura, Y., Iono, D., Ueda, J., Matsuda, Y., Kawabe, R., Lee, M. M., Yun, M. S., and Espada, D., “Physical Characterization of Serendipitously Uncovered Millimeter-wave Line-emitting Galaxies at $z \sim 2.5$ behind the Local Luminous Infrared Galaxy VV 114”, 2021, *ApJ* 917, 94
44. Monson, E. B., Lehmer, B. D., Doore, K., Eufrazio, R. T., Bonine, B., Alexander, D. M., Harrison, C. M., Kubo, M., Mantha, K. B., Saez, C., Straughn, A., and Umehata, H., “On the Nature of AGN

- and Star Formation Enhancement in the $z = 3.1$ SSA22 Protocluster: The HST WFC3 IR View”, 2021, ApJ 919, 51
45. Morokuma-Matsui, K., Kodama, T., Morokuma, T., Nakanishi, K., Koyama, Y., Yamashita, T., Koyama, S., and Okamoto, T., “A Phase-space View of Cold-gas Properties of Virgo Cluster Galaxies: Multiple Quenching Processes at Work?”, 2021, ApJ 914, 145
46. Nakaoka, T., Maeda, K., Yamanaka, M., Tanaka, M., Kawabata, M., Moriya, T. J., Kawabata, K. S., Tominaga, N., Takagi, K., Imazato, F., Morokuma, T., Sako, S., Ohsawa, R., Nagao, T., Jiang, J.-. an ., Burgaz, U., Taguchi, K., Uemura, M., Akitaya, H., Sasada, M., Isogai, K., Otsuka, M., and Maehara, H., “Calcium-rich Transient SN 2019ehk in a Star-forming Environment: Yet Another Candidate for a Precursor of a Double Neutron-star Binary”, 2021, ApJ 912, 30
47. Namiki, S. V., Koyama, Y., Koyama, S., Yamashita, T., Hayashi, M., Haynes, M. P., Shimakawa, R., and Onodera, M., “What Determines the H I Gas Content in Galaxies? Morphological Dependence of the H I Gas Fraction across the M_* -SFR Plane”, 2021, ApJ 918, 68
48. Nguyen, D. D., Izumi, T., Thater, S., Imanishi, M., Kawamuro, T., Baba, S., Nakano, S., Turner, J. L., Kohno, K., Matsushita, S., Martín, S., Meier, D. S., Nguyen, P. M., and Nguyen, L. T., “Black hole mass measurement using ALMA observations of [CI] and CO emissions in the Seyfert 1 galaxy NGC 7469”, 2021, MNRAS 504, 4123
49. Nishimura, A., Matsumoto, T., Yonetsu, T., Nakao, Y., Fujita, S., Maezawa, H., Onishi, T., and Ogawa, H., “Observational demonstration of a low-cost fast Fourier transform spectrometer with a delay-line-based ramp-compare ADC implemented on FPGA”, 2021, PASJ 73, 692
50. Ohgami, T., Tominaga, N., Utsumi, Y., Niino, Y., Tanaka, M., Banerjee, S., Hamasaki, R., Yoshida, M., Terai, T., Takagi, Y., Morokuma, T., Sasada, M., Akitaya, H., Yasuda, N., Yanagisawa, K., and Ohsawa, R., “Optical follow-up observation for GW event S190510g using Subaru/Hyper Suprime-Cam”, 2021, PASJ 73, 350
51. Ren, F., de Grijs, R., Zhang, H., Deng, L., Chen, X., Matsunaga, N., Liu, C., Sun, W., Maehara, H., Ukita, N., and Kobayashi, N., “Eclipsing Binary Populations across the Northern Galactic Plane from the KISOGP Survey”, 2021, AJ 161, 176
52. Saito, T., Takano, S., Harada, N., Nakajima, T., Schinnerer, E., Liu, D., Taniguchi, A., Izumi, T., Watanabe, Y., Bamba, K., Herbst, E., Kohno, K., Nishimura, Y., Stuber, S., Tamura, Y., and Tosaki, T., “The Kiloparsec-scale Neutral Atomic Carbon Outflow in the Nearby Type 2 Seyfert Galaxy NGC 1068: Evidence for Negative AGN Feedback”, 2022, ApJL 927, L32
53. Sasada, M., Utsumi, Y., Itoh, R., Tominaga, N., Tanaka, M., Morokuma, T., Yanagisawa, K., Kawabata, K. S., Ohgami, T., Yoshida, M., Abe, F., Adachi, R., Akitaya, H., Chong, Y., Daikuhara, K., Hamasaki, R., Honda, S., Hosokawa, R., Iida, K., Imazato, F., Ishioka, C., Iwasaki, T., Jian, M., Kamei, Y., Kanai, T., Kaneda, H., Kaneko, A., Katoh, N., Kawai, N., Kubota, K., Kubota, Y., Mamiya, H., Matsubayashi, K., Morihana, K., Murata, K. L., Nagayama, T., Nakamura, N., Nakaoka, T., Niino, Y., Nishinaka, Y., Niwano, M., Nogami, D., Oasa, Y., Oeda, M., Ogawa, F., Ohsawa, R., Ohta, K., Oide, K., Onozato, H., Sako, S., Saito, T., Sekiguchi, Y., Shigeyama, T., Shigeyoshi, T., Shikauchi, M., Shiraishi, K., Suzuki, D., Takagi, K., Takahashi, J., Takarada, T., Takayama, M., Takeuchi, H., Tamura, Y., Tanaka, R., Toma, S., Tozuka, M., Uchida, N., Uzawa, Y., Yamanaka, M., Yasuda, M.,

- and Yatsu, Y., “J-GEM optical and near-infrared follow-up of gravitational wave events during LIGO’s and Virgo’s third observing run”, 2021, PTEP 2021, 05A104
54. Schreiber, C., Glazebrook, K., Papovich, C., Díaz-Santos, T., Verma, A., Elbaz, D., Kacprzak, G. G., Nanayakkara, T., Oesch, P., Pannella, M., Spitler, L., Straatman, C., Tran, K.-V., and Wang, T., “A low [CII]/[NII] ratio in the center of a massive galaxy at $z = 3.7$: Evidence for a transition to quiescence at high redshift? (Corrigendum)”, 2021, A&A 650, C2
55. Shi, K., Toshikawa, J., Lee, K.-S., Wang, T., Cai, Z., and Fang, T., “Accelerated Galaxy Growth and Environmental Quenching in a Protocluster at $z = 3.24$ ”, 2021, ApJ 911, 46
56. Sinha, T., Sharma, S., Panwar, N., Matsunaga, N., Ogura, K., Kobayashi, N., Yadav, R. K., Ghosh, A., Pandey, R., and Bisht, P. S., “Photometric Variability of the Pre-main-sequence Stars toward the Sh 2-190 Region”, 2021, ApJ 921, 165
57. Sofue, Y. and Kataoka, J., “Interaction of the galactic-centre super bubbles with the gaseous disc”, 2021, MNRAS 506, 2170
58. Sofue, Y., “Highest-resolution rotation curve of the inner Milky Way proving the galactic shock wave”, 2021, PASJ 73, L19
59. Sofue, Y., “Bipolar molecular outflow from M17”, 2022, MNRAS 509, 5809
60. Sofue, Y., Kohno, M., Umemoto, T., “Atlas of CO-line Shells and Cavities around Galactic Supernova Remnants with FUGIN”, 2021, ApJ Suppl.253. 17.
61. Sofue, Y., “Dark Supernova Remnants Revealed by CO-Line Bubbles in the W43 Molecular Complex along the 4-kpc Galactic Arm”, 2022, Galaxies 9, 13.
62. Spinoglio, L., Mordini, S., Fernández-Ontiveros, J. A., Alonso-Herrero, A., Armus, L., Bisigello, L., Calura, F., Carrera, F. J., Cooray, A., Dannerbauer, H., Decarli, R., Egami, E., Elbaz, D., Franceschini, A., González Alfonso, E., Graziani, L., Gruppioni, C., Hatziminaoglou, E., Kaneda, H., Kohno, K., Labiano, Á., Magdis, G., Malkan, M. A., Matsuhara, H., Nagao, T., Naylor, D., Pereira-Santaella, M., Pozzi, F., Rodighiero, G., Roelfsema, P., Serjeant, S., Vignali, C., Wang, L., and Yamada, T., “Mid-IR cosmological spectrophotometric surveys from space: Measuring AGN and star formation at the cosmic noon with a SPICA-like mission”, 2021, PASA 38, e021
63. Sun, F., Egami, E., Pérez-González, P. G., Smail, I., Caputi, K. I., Bauer, F. E., Rawle, T. D., Fujimoto, S., Kohno, K., Dudzevičiūtė, U., Atek, H., Bianconi, M., Chapman, S. C., Combes, F., Jauzac, M., Jolly, J.-B., Koekemoer, A. M., Magdis, G. E., Rodighiero, G., Rujopakarn, W., Schaerer, D., Steinhardt, C. L., Van der Werf, P., Walth, G. L., and Weaver, J. R., “Extensive Lensing Survey of Optical and Near-infrared Dark Objects (El Sonido): HST H-faint Galaxies behind 101 Lensing Clusters”, 2021, ApJ 922, 114
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. Tan, Q.-H., Gao, Y., Daddi, E., Xia, X.-Y., Hao, C.-N., Omont, A., and Kohno, K., “Deep Observations of CO and Free-Free Emission in Ultraluminous Infrared QSO IRAS F07599+6508”, 2021, ApJ 913, 82

66. Tanaka, M., Ikeda, H., Murata, K., Takita, S., Mineo, S., Koike, M., Okura, Y., and Harasawa, S., “Hyper Suprime-Cam Legacy Archive”, 2021, PASJ 73, 735
67. Tang, S., Silverman, J. D., Ding, X., Li, J., Lee, K.-G., Strauss, M. A., Goulding, A., Schramm, M., Kawinwanichakij, L., Xavier Prochaska, J., Hennawi, J. F., Imanishi, M., Iwasawa, K., Toba, Y., Kayo, I., Oguri, M., Matsuoka, Y., Onoue, M., Jahnke, K., Ichikawa, K., Hartwig, T., Kashikawa, N., Kawaguchi, T., Kohno, K., Matsuda, Y., Nagao, T., Ono, Y., Ouchi, M., Shimasaku, K., Suh, H., Suzuki, N., Taniguchi, Y., Ueda, Y., and Yasuda, N., “Optical Spectroscopy of Dual Quasar Candidates from the Subaru HSC-SSP program”, 2021, ApJ 922, 83
68. Taniguchi, A., Tamura, Y., Ikeda, S., Takekoshi, T., and Kawabe, R., “A Data-scientific Noise-removal Method for Efficient Submillimeter Spectroscopy With Single-dish Telescopes”, 2021, AJ 162, 111
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., “Effective temperatures of red supergiants estimated from line-depth ratios of iron lines in the YJ bands, 0.97-1.32 μm ”, 2021, MNRAS 502, 4210
70. Uchiyama, M., Miyata, T., Sako, S., Kamizuka, T., Asano, K., Nakamura, T., Yamashita, T., Fujiyoshi, T., Yoneda, M., Konishi, M., Koshida, S., Motohara, K., Tanabé, T., Kitagawa, Y., Tateuchi, K., and Yoshii, Y., “High-spatial resolution long-mid-infrared observations of massive star-forming regions: Local star formation sequence”, 2021, PASJ 73, 1638
71. Umehata, H., Smail, I., Steidel, C. C., Hayes, M., Scott, D., Swinbank, A. M., Ivison, R. J., Nagao, T., Kubo, M., Nakanishi, K., Matsuda, Y., Ikarashi, S., Tamura, Y., and Geach, J. E., “ALMA Observations of Ly α Blob 1: Multiple Major Mergers and Widely Distributed Interstellar Media”, 2021, ApJ 918, 69
72. Wakamatsu, Y., Thorstensen, J. R., Kojiguchi, N., Isogai, K., Kimura, M., Ohnishi, R., Kato, T., Itoh, H., Sugiura, Y., Sumiya, S., Matsumoto, H., Ito, D., Nikai, K., Akitaya, H., Ishioka, C., Oide, K., Kanai, T., Uzawa, Y., Oasa, Y., Tordai, T., Vanmunster, T., Shugarov, S. Y., Yamanaka, M., Sasada, M., Takagi, K., Nishinaka, Y., Yamazaki, Y., Otsubo, I., Nakaoka, T., Murata, K. L., Ohsawa, R., Morita, M., Ichiki, M., Dufour, S., Mizutani, M., Horiuchi, T., Tozuka, M., Takayama, M., Ohshima, T., Saito, T., Dubovsky, P. A., Stone, G., Miller, I., and Nogami, D., “ASASSN-18aan: An eclipsing SU UMa-type cataclysmic variable with a 3.6-hr orbital period and a late G-type secondary star”, 2021, PASJ 73, 1209
73. Yajima, H., Abe, M., Khochfar, S., Nagamine, K., Inoue, A. K., Kodama, T., Arata, S., Dalla Vecchia, C., Fukushima, H., Hashimoto, T., Kashikawa, N., Kubo, M., Li, Y., Matsuda, Y., Mawatari, K., Ouchi, M., and Umehata, H., “FOREVER22: galaxy formation in protocluster regions”, 2022, MNRAS 509, 4037
74. Yajima, Y., Sorai, K., Miyamoto, Y., Muraoka, K., Kuno, N., Kaneko, H., Takeuchi, T. T., Yasuda, A., Tanaka, T., Morokuma-Matsui, K., and Kobayashi, M. I. N., “CO Multi-line Imaging of Nearby Galaxies (COMING). IX. $^{12}\text{CO}(J = 2-1)/^{12}\text{CO}(J = 1-0)$ line ratio on kiloparsec scales”, 2021, PASJ 73, 257
75. Yamada, R. I., Enokiya, R., Sano, H., Fujita, S., Kohno, M., Tsutsumi, D., Nishimura, A., Tachihara, K., and Fukui, Y., “A kinematic analysis of the CO clouds toward a reflection nebula NGC 2023

observed using the Nobeyama 45 m telescope: Further evidence for a cloud-cloud collision in the Orion region”, 2021, PASJ 73, 880

76. Yamagishi, M., Shimajiri, Y., Tokuda, K., Kawabe, R., Nakamura, F., Kamazaki, T., Nomura, H., and Takekoshi, T., “ALMA View of the ρ Ophiuchi A PDR with a 360 au Beam: The [C I] Emission Originates from the Plane-parallel PDR and Extended Gas”, 2021, ApJL 914, L9
77. Yamamoto, M., Kataoka, J., Sofue, Y. , “Discovery of non-equilibrium ionization plasma associated with the North Polar Spur and Loop I”, 2022, MNRAS 512, 2034
78. Yamasaki, Y., Masui, S., Ogawa, H., Kondo, H., Matsumoto, T., Okawa, M., Yokoyama, K., Minami, T., Konishi, R., Kawashita, S., Konishi, A., Nakao, Y., Nishimoto, S., Yoneyama, S., Ueda, S., Hasegawa, Y., Fujita, S., Nishimura, A., Kojima, T., Kaneko, K., Sakai, R., Gonzalez, A., Uzawa, Y., and Onishi, T., “Development of a new wideband heterodyne receiver system for the Osaka 1.85 mm-submm telescope: Corrugated horn and optics covering the 210-375 GHz band”, 2021, PASJ 73, 1116

[in press]

• Main journal

1. Bouy, H., Tamura, M., Barrado, D., Motohara, K., Castro Rodriguez N., Miret-Roig, N., Konishi, M., Koyama, S., Takahashi, H., Huelamo, N., Bertin, E., Olivares, J., Sarro, L. M., Berihuete, A., Cuillandre J.-C., & Galli P.A.B, “Infrared Spectroscopy of free-floating planet candidates in Upper Scorpius and Ophiuchus”, 2022, A&A in press (arXiv: 2206.00916).
2. Sofue, Y. “One-kpc Expanding Cylinder of HI-Gas around the Galactic Center”. 2022, PASJ 74 Letter, in press
3. Takekoshi, T., Lee, K., Chin, K. W., Uno, S., Naganuma, T., Inoue, S., Niwa, Y., Fujita, K., Kouchi, A., Nakatsubo, S., Mima, S., Oshima, T., “Material properties of a low contraction and resistivity silicon–aluminum composite for cryogenic detectors”, 2021, Journal of Low Temperature Physics in press

投稿中のもの

• Main journal

1. Arimatsu, K., & Kamizuka, T., “Faint debris disk peering through superflare light echo”, 2022, submitted to ApJL.
2. Guerrero, Andrea, Nagar, Neil, Kohno, Kotaro, Fujimoto, Seiji, Kokorev, Vasily, Brammer, Gabriel, Jolly, Jean-Baptiste, Knudsen, Kirsten, Sun, Fengwu, Bauer, Franz E., Caminha, Gabriel B., Caputi, Karina, Neumann, Gerald, Orellana-González, Gustavo, Cerulo, Pierluigi, González-López, Jorge, Laporte, Nicolas, Koekemoer, Anton M., Ao, Yiping, Espada, Daniel, Muñoz Arancibia, Alejandra M., “ALMA Lensing Cluster Survey: average dust, gas, and star formation properties of cluster and field galaxies from stacking analysis”, submitted to MNRAS
3. 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”, submitted to MNRAS

4. 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., & 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, submitted to ApJ
5. Mizukoshi, S., Minezaki, T., Tsunetsugu, S., Yoshida, A., Sameshima, H., Kokubo, M., Noda, H., “Measurement of AGN dust extinction based on the near-infrared flux variability of WISE data”, submitted to MNRAS
6. 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 multiepoch scan data of AKARI and WISE”, 2022, submitted to PASJ
7. Tsujita, A., Tadaki, K., Kohno, K., Hatsukade, B., Egusa, F., Tamura, Y., Zavala, J., Nishimura, Y., Saito, T., Umehata, H., Lee, M. M., “Central concentration of warm and dense molecular gas in a rotating starburst disk at $z=6$ ”, 2022, submitted to PASJ
8. Sofue, Y. “Three-Dimensional Structure of the Central Molecular Zone”, 2022, submitted to MNRAS

2.7 学会, 研究会における発表

2.7.1 日本天文学会 2021 秋季年会, 京都産業大学 (オンライン開催) (2021/09/13–09/15)

1. P304a : 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), Tomo-e Gozen コラボレーション, 「木曾 Tomo-e Gozen を用いた微小地球接近小惑星の高時間分解撮像観測」
2. P321a : 有松亘 (京都大学), 上塚貴史 (東京大学), 「閃光の惑星系: デブリ円盤からのスーパーフレア中間赤外エコーの観測可能性」
3. R01a : 山下祐依, 河野孝太郎, 江草芙実, 廿日出文洋, 西村優里, 吉村勇紀 (東京大学), 宮本祐介 (国立天文台), 金子紘之 (国立天文台/上越教育大学), 谷口暁星 (名古屋大学), 「ALMA [CII] 輝線・遠赤外線連続波観測と NRO 45m CO(5-4) 輝線観測で探る $z \approx 5$ の超臨界降着クエーサー J0131-0321 の母銀河の性質」
4. R08a : 前田郁弥, 江草芙実 (東京大学), 太田耕司, 浅田喜久 (京都大学), 藤本裕輔 (カーネギー研究所), 羽部朝男 (北海道大学) 「棒渦巻銀河 NGC1300 における巨大分子雲の CO(2-1)/CO(1-0) 比」
5. R09a : Fumi Egusa (IoA, UT), Yulong Gao (USTC/Nanjing U.), 「Molecular gas conditions in the central region of NGC 1365」
6. S08a : 峯田大靖 (大阪大学) 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 (2)」

7. S19a : 水越翔一郎, 峰崎岳夫, 他, 「WISE データの変動カラーによる AGN ダスト減光量の新推定法の提案」
8. V121a : 竹腰達哉 (北見工業大学), 李建鋒, 陳家偉, 宇野慎介, 井上修平 (東京大学), 長沼桐葉 (電気通信大学), 丹羽佑果 (東京工業大学), 藤田和之, 香内晃 (北大), 中坪俊一 (宇宙科学研究所), 美馬覚 (情報通信研究機構), 大島泰 (国立天文台), 「超伝導検出器焦点面に適した低熱収縮シリコンアルミ合金の極低温特性評価」
9. V122a : 長沼桐葉, 吉岡佳輔, 酒井剛 (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), 「多色サブミリ波カメラ用超広帯域反射防止技術の開発」
10. V123b : 宇野慎介, 陳家偉, 井上修平, 河野孝太郎 (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), 「多色サブミリ波カメラ用超広帯域準光学バンドパスフィルターの開発」
11. V205a : 大宮正士 (ABC/国立天文台), 山田良透 (京大), 河田大介 (UCL), 上塚貴史, 河原創, 大澤亮 (東大), 片坐宏一 (JAXA), 立川崇之 (高知高専), 服部公平 (統数研), 平野照幸 (ABC/国立天文台), 福井暁彦 (東大), 吉岡諭 (海洋大), Wolfgang Löffler (ARI Heidelberg), 白井文彦 (JAXA), 泉浦秀行, 三好真, 矢野太平, 辰巳大輔, 郷田直輝 (国立天文台), JASMINE データ解析ワーキンググループ, 「JASMINE アストロメトリ解析ソフトウェアの開発」
12. V228a : 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, 田中培生, 峰崎岳夫, 酒向重行, 田辺俊彦, 諸隈智貴, 廿日出文洋, 江草芙実, 小西真広, 上塚貴史, 高橋英則, 青木勉, 征矢野隆夫, 樽沢賢一, 加藤夏子, 沼田瑞樹, 鮫島寛明, 西村淳, 大澤亮, 浅野健太郎, 小山舜平 (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 TAO 6.5m 望遠鏡計画進捗報告」
13. V229a : 高橋英則 (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, 田中培生, 峰崎岳夫, 酒向重行, 田辺俊彦, 諸隈智貴, 廿日出文洋, 小西真広, 江草芙実, 上塚貴史, 大澤亮, 鮫島寛明, 浅野健太郎, 西村淳, 加藤夏子, 沼田瑞樹, 青木勉, 征矢野隆夫, 樽沢賢一 (東京大学), 本原顕太郎 (国立天文台, 東京大学); 田村陽一 (名古屋大学) 「東京大学アタカマ天文台 TAO 6.5m 望遠鏡用蒸着装置の性能評価」
14. V230a : 近藤智也, 軸屋一郎, 内田大智, 加藤宏太郎, 近藤真吾 (金沢大学), 本田充彦 (岡山理科大学), 上塚貴史, 道藤翼, 宮田隆志, 酒向重行, 大澤亮, 浅野健太郎, 西村淳, 橘健吾, 飯田熙一, 左近樹 (東京大学) 「TAO/MIMIZUKU 用冷却チョッパーの開発: 常温制御試験」
15. V231a : 道藤翼, 宮田隆志, 上塚貴史, 酒向重行, 大澤亮, 浅野健太郎, 西村淳, 橘健吾, 飯田熙一, 左近樹 (東京大学), 軸屋一郎, 近藤智也 (金沢大学), 本田充彦 (岡山理科大学) 「TAO/MIMIZUKU 用冷却チョッパーの開発: 冷却動作試験」
16. V232a : 本原顕太郎 (国立天文台, 東京大学), 小西真広, 高橋英則, 小山舜平, 加藤夏子, 櫛引洗佑, 中村洋貴, 陳諾, 穂満星牙 (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, 田中培生, 峰崎岳夫, 田辺俊彦, 酒向重行, 諸隈智貴, 廿日出文洋, 上塚貴史, 青木勉, 征矢野隆夫, 樽沢賢一, 大澤亮, 鮫島寛明, 浅野健太郎, 西村淳, 橘健吾, 道藤翼, 飯田熙一 (東京大学), 田村陽一 (名古屋大学), 沖田博文, 越田進太郎 (国立天文台), 半田利弘 (鹿児島大学) 「TAO 6.5m 望遠鏡用近赤外線観測装置 SWIMS: すばる望遠鏡での初期観測運用報告」
17. V233a : 櫛引洗佑 (東京大学), 細島拓也, 竹田真宏, 山形豊 (理化学研究所), 森田晋也 (東京電機大学), 大竹豊 (東京大学), 尾崎忍夫, 都築俊宏 (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, 中村洋貴, 陳諾, 穂満星冴 (東京大学) 「近赤外線面分光ユニット SWIMS-IFU 開発状況: スライスミラーアレイ+PO0 の超精密切削加工と X 線 CT による評価」

18. W47a : 甘日出文洋 (東京大学), 富永望, 林将央, 松田有一 (国立天文台), 諸隈智貴, 諸隈佳菜 (東京大学), 田村陽一 (名古屋大), 新沼浩太郎, 元木業人 (山口大), 「超高輝度超新星 PTF10hgi における後期電波放射の時間変動」
19. X09b : 河野孝太郎 (東京大) ほか ALCS チーム, 「ALMA Lensing Cluster Survey (ALCS): Overview and initial results」
20. Z101a : 河野孝太郎 (東京大) ほか LST 推進チーム, 「Large Submillimeter Telescope (LST): 6. プロジェクトの概要と今後の展望」
21. Z112a : 吉村勇紀 (東京大), 川邊良平 (NAOJ), 米津鉄平, 前澤裕之 (大阪府大), 酒井剛 (電通大), 田中邦彦 (慶応大), 竹腰達哉 (北見工業大), 甘日出文洋, 河野孝太郎 (東京大), 谷口暁星, 田村陽一 (名古屋大), 大島泰, 島尻芳人 (NAOJ), David Hughes, David Sánchez, Arturo Gómez, Victor Rodriguez, Edgar Colin, Javier Zaragoza, Miguel Chavez (INAOE), Pete Schloerb, Kamal Souccar, Min Yun (UMass), 「大口径望遠鏡による広域マッピング観測: LMT 50m 望遠鏡搭載 2mm 帯受信機による Orion A 領域の電波再結合線観測結果及び LST 将来サイエンス」
22. Z113b : 米津鉄平, 前澤裕之 (大阪府立大学), 川邊良平 (NAOJ), 吉村勇紀, 甘日出文洋, 河野孝太郎 (東京大学), 竹腰達哉 (北見工業大学), 酒井剛 (電気通信大学), 田中邦彦 (慶應義塾大学), 谷口暁星, 田村陽一 (名古屋大学), 大島泰, 島尻芳人 (NAOJ), David Hughes, David Sánchez-Arguelles, Arturo Gómez-Ruiz, Iván Rodríguez-Montoya, Javier Zaragoza-Cardiel, Edgar Colin, Miguel Chavez-Dagostino, Sergio Rojas (INAOE), Peter Schloerb, Kamal Souccar, Min Yun (UMass), 「LMT50 m 鏡搭載 2 mm 帯受信機 B4R を用いた Orion-KL 領域マッピング観測による分子の存在量比の観測結果報告」
23. Z121a : 大島泰 (国立天文台), 竹腰達哉 (北見工業大学), 陳家偉, 宇野慎介, 井上修平 (東京大学), 長沼桐葉 (電気通信大学), 丹羽佑果 (東京工業大学), 「超広視野時代のサブミリ波連続波観測の大気放射の除去について」

2.7.2 日本天文学会 2022 年春季年会, 広島大学 (オンライン開催) (2022/03/02-03/05)

1. N34a : 甘日出文洋 (東京大学), 富永望, 松田有一 (国立天文台), 諸隈智貴, 諸隈佳菜 (東京大学), 田村陽一 (名古屋大), 新沼浩太郎, 元木業人 (山口大), 「VLA で探る超高光度超新星からの後期電波放射および母銀河の星形成活動」
2. P327a : 平野照幸 (アストロバイオロジーセンター/国立天文台), 河原創, 上塚貴史, 大澤亮 (東京大学), 片ざ宏一 (JAXA), Exo-JASMINE チーム 「JASMINE 衛星による精密測光観測」
3. R02a : 前田郁弥, 江草芙実 (東京大学), 太田耕司, 浅田喜久 (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」
4. S22a : 水越翔一郎, 峰崎岳夫, 他, 「AGN ダスト減光量から得られる AGN フィードバックへの示唆」
5. V120a : 萩本将都, 田村陽一, 谷口暁星, 中島拓, 中野覚矢, 彦坂拓海 (名古屋大学), 鎌崎剛, 川邊良平 (国立天文台), 吉村勇紀, 甘日出文洋 (東京大学), 酒井剛 (電気通信大学), 田中邦彦 (慶應義塾大学), 川元宏朗, 原田健一, 谷口達 (エレックス工業), 他 FINER チーム, 「北半球最高感度ミリ波サブミリ波ヘテロダイン受信システム LMT-FINER II. デジタルサイドバンド分離広帯域分光計の性能評価」

6. V202a : 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, 諸隈智貴, 甘日出文洋, 江草英実, 小西真広, 上塚貴史, 高橋英則, 青木勉, 加藤夏子, 沼田瑞樹, 鮫島寛明, 西村淳, 大澤亮, 浅野健太郎, 小山舜平 (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 TAO 6.5m 望遠鏡計画進捗報告」
7. V203a : 櫛引洗佑 (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), 大竹豊 (東京大学), 都築俊宏 (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 の組み上げと実験室での性能評価」
8. V218a : 津々木里咲, 酒向重行, 高橋英則, 近藤莊平, 瀧田怜, 大澤亮, 紅山仁, 宮田隆志, 上塚貴史 (東京大学) 「全天赤外線雲モニタの開発」
9. V233a : 大澤亮 (東京大学), 山田良透 (京都大学), 河田大介 (UCL), 上塚貴史, 河原創 (東京大学), 大宮正士, 平野照幸 (ABC/NAOJ), 片ざ宏一 (JAXA), 立川崇之 (高知高専), 服部公平 (統数研), 福井暁彦 (東京大学), 吉岡諭 (海洋大), 逢澤正嵩 (李政道研究所), Michael Biermann, Wolfgang Löffler (ARI Heidelberg), 白井文彦 (JAXA), 泉浦秀行, 三好真, 矢野太平, 津久井崇史, 辰巳大輔, 郷田直輝 (NAOJ), JASMINE データ解析ワーキンググループ 「JASMINE end-to-end シミュレーション計画の進捗」
10. X04a : 田村陽一, Tom Bakx, 今村千博, 萩本将都, 竹内努 (名古屋大), 井上昭雄, 徳岡剛史 (早稲田大), 橋本拓也 (筑波大), 松尾宏, 馬渡健, 松田有一 (国立天文台), Minju Lee (DTU Space/DAWN), 梅畑豪紀, 吉田直紀, 森脇可奈, 甘日出文洋, 河野孝太郎 (東京大), 岡本崇 (北海道大), E. Zackrisson, C. Binggeli (Uppsala), 太田一陽 (金沢大), 澁谷隆俊 (北見工大), 清水一紘 (四国学院大), 谷口義明 (放送大), 「ALMA による $z = 8.31$ のライマンブレイク銀河の 300 pc 分解能撮像」
11. X10a : Ken-ichi Tadaki (NAOJ), Akiyoshi Tsujita (Univ. of Tokyo), Yoichi Tamura (Nagoya University), Kotaro Kohno, Yuri Nishimura, Bunyo Hatsukade, Hideki Umehata (Univ. of Tokyo), Daisuke Iono, Jorge Zavala, Kouichiro Nakanishi, Yuichi Matsuda (NAOJ), Minju Lee (DAWN), Tomonari Michiyama (Osaka University), Tohru Nagao (Ehime University), Toshiki Saito (Nihon University), 「ALMA observations of a submillimeter galaxy at $z = 6$ I: Detection of nitrogen」
12. X11a : Akiyoshi Tsujita (U. Tokyo), Ken-ichi Tadaki (NAOJ), Kotaro Kohno, Bunyo Hatsukade, Fumi Egusa, Yuri Nishimura (U. Tokyo), Yoichi Tamura (U. Nagoya), Jorge A. Zavala (NAOJ), 「ALMA observations of a submillimeter galaxy at $z = 6$ II: Lens modeling, gas kinematics and CO excitation」
13. X32a : Mariko Kubo (Ehime U), Hideki Umehata (U. Tokyo, ICRR), Charles C. Steidel (Caltech), Yuichi Matsuda (NAOJ), Masaru Kajisawa (Ehime U), Toru Yamada (JAXA/ISAS), Ichi Tanaka (NAOJ), Kotaro Kohno (U. Tokyo, IoA), Yoichi Tamura (Nagoya U), Kouichiro Nakanishi (NAOJ), Bunyo Hatsukade, Kianhong Lee (U. Tokyo, IoA), Keiichi Matsuda (Nagoya U), Toru Nagao (Ehime U), 「Ionized gas outflows from an AGN in a massive quiescent galaxy in a protocluster at $z = 3.09$ 」
14. X33a : Shuo Huang (UTokyo/NAOJ), Ryohei Kawabe (NAOJ), Bunyo Hatsukade, Kotaro Kohno, Hideki Umehata (UTokyo), 「Morphological Analysis of Nine Submillimeter Galaxies」
15. X43a : Ryota Ikeda, Ken-ichi Tadaki, Daisuke Iono, Takuma Izumi, Yusei Koyama, Rhythm Shimakawa, Ichi Tanaka, Masao Hayashi (NAOJ), Tadayuki Kodama (Tohoku Univ.), Kotaro Kohno, Bunyo Hatsukade (IoA), Tomoko L. Suzuki (IPMU), Yoichi Tamura (Nagoya Univ.), 「ALMA high-resolution study of CO(2-1) line and dust continuum emissions from cluster galaxies at $z = 1.46$ 」

2.7.3 日本惑星科学会 2021 年秋季講演会, オンライン開催 (2021/09/16–19)

1. S02 および P02-40 : 紅山仁, 酒向 重行, 大澤 亮, 瀧田 怜, 小林 尚人, 奥村真一郎, 浦川聖太郎, 吉川 真, 白井文彦, 吉田二美, 「木曾 105 cm シュミット望遠鏡 Tomo-e Gozen を用いた微小地球接近小惑星の高時間分解撮像観測」

2.7.4 国際研究会

1. Kohno K. : “Physical properties of lensed dusty galaxies uncovered by ALMA Lensing Cluster Survey”, 2021/06/28–07/02, “European Astronomical Society Annual Meeting, session S2, Exploring the high-redshift Universe with ALMA”, online.
2. Nishimura Y.: “Spatially and spectrally resolved HCN/HCO⁺ ratio in U/LIRGs from the CONquest sample”, 2021/07/05–09, “Astrochemical Frontiers” (invited), online.
3. Kang, Haoran : “Preliminary optics investigation for ALMA multibeam receiver”, 2021/09/27–30, “ALMA Front End Development Conference 2021”, online
4. Kohno K. : “A plan for submillimeter-wave line intensity mapping by exploiting the integrated superconducting spectrograph technology DESHIMA”, 2021/10/14, “Study of the Universe by Line Intensity Mapping Experiments (SUBLIME)”, online.
5. Kohno K. : “Nature of near-infrared-dark ALMA sources uncovered by ASAGAO and ALCS”, 2021/11/15–16, “Sino-French Workshop on Confronting Simulations with Observations of High-redshift Galaxies and (proto-)Clusters” (invited), Nanjing University, China + online.
6. Kang, Haoran : “Precise far-field reconstruction and probe compensation in planar near-field measurement”, 2021/11/25–26, “East Asia Submillimeter-wave Receiver Workshop”, online
7. Kohno K. : “Science Advisory Committee (SAC) Report”, 2021/12/14, 16, 21, “ALMA/45m/ASTE Users Meeting 2021” (invited), online.
8. Kohno K. : “Nature of near-infrared-dark intrinsically-faint lensed mm-sources uncovered by ALMA Lensing Cluster Survey”, 2021/12/14, 16, 21, “ALMA/45m/ASTE Users Meeting 2021”, online.
9. Kohno K. : “The Large Submillimeter Telescope project: plan for 2022”, 2021/12/14, 16, 21, “ALMA/45m/ASTE Users Meeting 2021”, online.
10. Nishimura Y.: “Spatially and Spectrally resolved HCN/HCO⁺ ratio in the CON-quest galaxies (updated)”, 2022/01/17–20, “CON-quest workshop 2022” (invited), online.
11. Kohno K. : “Let’s propose a large program: lessons learned from the ALMA Lensing Cluster Survey”, 2022/01/18–21, “East Asian ALMA Science Workshop 2022” (invited), online.
12. Maeda F.: “CO(2 – 1)/CO(1 – 0) line ratio on a ~100 parsec scale in the nearby barred galaxy NGC 1300”, 2022/02/07–10, “Galaxy Evolution Workshop 2021” NAOJ+online.
13. Kamizuka T. & TAO/MIMIZUKU team : “Challenging the difficulties in ground based MIR observations: The case of TAO/MIMIZUKU”, 2022/02/14–18, “IR2022: An Infrared Bright Future for Ground-based IR Observatories in the Era of JWST” (invited), online.

14. Beniyama J., Sekiguchi T., Kuroda D., Arai T., Ishibashi K., Ishiguro M., Ohsawa R., Ootsubo T., Sako S., Senshu H., Takita S., Yoshida F.: "Multicolor Simultaneous Photometry of (3200) Phaethon with Seimei/TriCCS", 2022/02/21–22, PERC Int'l Symposium on Dust & Parent Bodies 2022, online.
15. Beniyama J., Sekiguchi T., Kuroda D., Arai T., Ishibashi K., Ishiguro M., Ohsawa R., Ootsubo T., Sako S., Senshu H., Takita S., Yoshida F.: "Multicolor Simultaneous Photometry of (3200) Phaethon with Seimei/TriCCS", 2022/02/24–25, The 2nd DESTINY+ Science Working Team (SWT) Meeting, online.
16. Beniyama J., Sako S., Ohsawa R., Takita S., Kobayashi N., Okumura S., Urakawa S., Yoshikawa M., Usui F., Yoshida F.: "Subsecond Time-Resolved Photometry of Tiny Near-Earth Objects with Tomo-e Gozen", 2022/03/07–11, The 53rd Lunar and Planetary Science Conference (LPSC2022), Texas, the US + online.

2.7.5 国内研究会

1. 前田郁弥: 「Connection among environment, cloud-cloud collision speed, and star formation activity in the strongly barred galaxy NGC 1300」, 2021/07/07–09, 様々なスケールの衝突流による誘発的星形成-大質量星から超大質量星団まで-, オンライン
2. 河野孝太郎: 「次世代大口径サブミリ波望遠鏡 Large Submillimeter Telescope (LST)」, 2021/07/31, 電波天文将来計画検討シンポジウム 2021, オンライン
3. 河野孝太郎: 「次世代大口径サブミリ波望遠鏡 Large Submillimeter Telescope (LST)」, 2021/08/10, 日本学術会議 天文学・宇宙物理学分科会・大型中型計画シンポジウム, オンライン
4. 新納悠, 松林和也, 川端美穂, 酒向重行, 紅山仁, 越諒太郎, 直川史寛, TriCCS チーム: 「Fast Radio Burst 対応天体探査に向けた TriCCS 高速観測の実施状況」, 2021/08/11–12, 2021 年度せいめいユーザーズミーティング, オンライン
5. 紅山仁: 「せいめい望遠鏡 TriCCS を用いた微小地球接近小惑星の可視3色同時高速観測」, 2021/08/11–12, 2021 年度せいめいユーザーズミーティング, オンライン
6. 紅山仁: 「木曾 Tomo-e Gozen を用いた微小 NEO の長時間分解撮像観測」, 2021/10/04–06, 木曾シュミットシンポジウム 2021, 長野県+オンライン
7. Zhang TianFang: 「OPTICAL VARIABILITY OF BLAZARS IN THE TOMO-E GOZEN NORTHERN SKY TRANSIENT SURVEY」, 2021/10/04–06, 木曾シュミットシンポジウム 2021, 長野県+オンライン
8. 津々木里咲, 酒向重行, 高橋英則, 近藤莊平, 瀧田怜, 大澤亮, 紅山仁, 宮田隆志, 上塚貴史: 「全天赤外線雲モニタの開発」, 2021/10/04–06, 木曾シュミットシンポジウム 2021, 木曾観測所 + オンライン
9. 新納悠, the Tomo-e Gozen FRB team: 「Tomo-e Gozen による Fast Radio Burst 可視光高速観測」, 2021/10/04–06, 木曾シュミットシンポジウム 2021, 東京大学木曾観測所+オンライン
10. 紅山仁: 「即時多色同時撮像観測による微小地球接近小惑星の特徴づけ」, 2021/11/11–12, 太陽系天体若手研究会 (SSBW2021), オンライン
11. 江草芙実: 「Dynamics and Star Formation in Nearby Galaxies」, 2021/11/16, 12/02, 銀河星形成研究会 2021, オンライン

12. 小山舜平：「MaNGA で探る近傍銀河星形成の形態依存性」, 2021/11/16, 12/02, 銀河星形成研究会 2021, オンライン
13. 廿日出文洋：「Star Formation in Distant Star-forming Galaxies」, 2021/11/16, 12/02, 銀河星形成研究会 2021, オンライン
14. 新納悠：「Fast Radio Burst 可視光観測」, 2021/11/24-26, 第12回光赤外線天文学大学間連携ワークショップ, オンライン
15. 紅山仁：「OISTER による微小地球接近小惑星の即時多色同時撮像観測」, 2021/11/24-26, 第12回光・赤外線天文学大学間連携ワークショップ, オンライン
16. 河野孝太郎：「電波観測で探る遠方の隠された AGN: 現状のまとめと FORCE への期待」, 2021/12/02-03, 第5回 FORCE 研究会「埋もれた AGN の宇宙論的進化」, 京都大学 (京都) + オンライン
17. 西村優里：「Spatially and Spectrally resolved HCN/HCO⁺ ratio in U/LIRGs from the CONquest sample」, 2021/12/02-03, 第5回 FORCE 研究会「埋もれた AGN の宇宙論的進化」, 京都大学 (京都) + オンライン
18. 水越翔一郎：「WISE データのフラックス変動を用いた AGN ダスト減光量の推定と共進化への示唆」, 2021/12/02-03, 第5回 FORCE 研究会「埋もれた AGN の宇宙論的進化」, 京都大学 (京都)
19. 西村優里：「Spatially and Spectrally resolved HCN/HCO⁺ ratio in U/LIRGs: Mechanisms to elevate the line ratio」, 2021/12/06 & 13, 「ALMA Grant Fellow Symposium 2021」, オンライン
20. 櫛引洗佑：「近赤外線面分光ユニット SWIMS-IFU : 光学素子の完成と実験室での組み上げ, 性能評価」, 2021/12/09-13, 第10回 可視赤外線観測装置技術ワークショップ 2021, 国立天文台+オンライン
21. 津々木里咲：「全天赤外線雲モニタの開発」, 2021/12/09-13, 第10回 可視赤外線観測装置技術ワークショップ 2021, 国立天文台+オンライン
22. 成瀬日月：「中間赤外線モニタ観測の実現に向けた校正システムの開発」, 2021/12/09-13, 第10回 可視赤外線観測装置技術ワークショップ 2021, 国立天文台+オンライン
23. 紅山仁, 酒向 重行, 大澤 亮, 瀧田 怜, 諸隈智貴, 小林尚人 (東京大学), 奥村真一郎, 浦川聖太郎 (日本スペースガード協会), 吉川真, 柳沢 俊史, 黒崎 裕久, 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) : 「木曾広視野 CMOS カメラ Tomo-e Gozen による地球接近小惑星の探索 本格運用 2 年間での成果と課題」, 2021/12/09-10, 13, 第10回可視赤外線観測装置技術ワークショップ 2021, 国立天文台三鷹開発実験棟 3 号館 + オンライン
24. 穂満星冴：「TAO6.5m 望遠鏡用近赤外高分散分光器 TARdYS のカメラシステムの開発」, 2021/12/09-13, 第10回 可視赤外線観測装置技術ワークショップ 2021, 国立天文台+オンライン
25. 道藤翼：「TAO/MIMIZUKU に向けた冷却チョッパーの開発」, 2021/12/09-13, 第10回 可視赤外線観測装置技術ワークショップ 2021, 国立天文台+オンライン
26. Inoue, S., Chin, K. W., Uno, S., Kohno, K., Oshima, T., Niwa, Y., Takekoshi, T., Naganuma, T. : 「Development of planar Magic-T for wideband millimeter/submillimeter wave detectors」, 2021/12/14-21, ALMA/45m/ASTE Users Meeting 2021, Online
27. 紅山仁：「比較小惑星学 地球接近小惑星とメインベルト小惑星」 2022/02/08-10, 第23回 惑星圏研究会 (招待講演), オンライン

28. 紅山 仁, 酒向 重行, 大澤 亮, 瀧田 怜, 小林 尚人, 奥村真一郎, 浦川聖太郎, 吉川 真, 白井文彦, 吉田二美 : 「木曾トモエゴゼンによる地球接近小惑星探査と即時追跡観測によるサイエンス」, 2022/02/14-15, 2021年度プラネタリーディフェンス・シンポジウム (第13回 スペースガード研究会), オンライン
29. 井上修平, 陳家偉, 宇野慎介, 河野孝太郎, 大島泰, 丹羽佑果, 竹腰達哉, 長沼桐葉 : 「広帯域ミリ波・サブミリ波検出器のための平面 Magic-T の開発」, 2022/02/22-23, 第22回ミリ波サブミリ波受信機ワークショップ, オンライン
30. 宇野慎介, 大島泰, 竹腰達哉, 陳家偉, 井上修平, 長沼桐葉, 丹羽佑果 : 「ミリ波サブミリ波帯広帯域平面型直交モード変換器の設計」, 2022/02/23, 第22回ミリ波サブミリ波受信機ワークショップ, オンライン
31. 辻田旭慶 : 「Properties of the interstellar medium in a lensed submillimeter galaxy at $z = 6.0$ probed with the dust continuum and far-infrared emission lines」, 2022/03/07-08, 宇宙電波懇談会シンポジウム 2021年度, オンライン
32. 前田郁弥 : 「Mechanisms of Star Formation Suppression in the Strongly Barred Galaxy NGC 1300」, 2022/03/07-08, 宇宙電波懇談会シンポジウム 2021年度, オンライン
33. 廿日出文洋 : 「VLA で探る超高光度超新星からの後期電波放射および母銀河の星形成活動」, 2022/03/07-08, 宇宙電波懇談会シンポジウム 2021年度, オンライン
34. 江草芙実 : 「遠赤外線-テラヘルツ波での近傍銀河サイエンス」, 2022/03/14, 南極から遠赤外線-テラヘルツ波で探る宇宙, オンライン
35. 廿日出文洋 : 「南極テラヘルツ望遠鏡で探る宇宙赤外線背景放射の起源」, 2022/03/14, 南極から遠赤外線-テラヘルツ波で探る宇宙, オンライン
36. 河野孝太郎 : 「GREX-PLUS と LST で解明する大質量銀河の形成過程」, 2022/03/24-25, GREX-PLUS サイエンス検討会, 宇宙科学研究所 + オンライン
37. 河野孝太郎 : 「Synergies between ALMA and upcoming wide-field near-infrared, mid-infrared, & radio surveys」, 2022/03/28-30, Synergies between ALMA and wide-field high-cadence multi-wavelength surveys, オンライン
38. 廿日出文洋 : 「Search for extragalactic submm transients with ALMA and wide-field surveys」, 2022/03/28-30, Synergies between ALMA and wide-field high-cadence multi-wavelength surveys, オンライン

2.7.6 その他の講演 (談話会等)

1. 廿日出文洋 : 「Radio constraints on the nature of superluminous supernovae and their host galaxies」 2021/05/20, 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 コロキウム, オンライン
2. 江草芙実 : 「電波望遠鏡によるサイエンス (系外)III ミリ波・サブミリ波での近傍銀河観測」 2021/09/16, 17, 21, 22, 24, 電波・干渉計サマースクール 2021, オンライン
3. 廿日出文洋 : 「電波望遠鏡によるサイエンス (系外)IV —銀河計数と宇宙赤外線背景放射の起源—」 2021/09/16, 17, 21, 22, 24, 電波・干渉計サマースクール 2021, オンライン
4. 河野孝太郎 : 「Nature of dusty galaxies uncovered by the ALMA Lensing Cluster Survey」 2022/02/09, 東北大学天文学教室談話会, 仙台市

2.7.7 研究会の主催

1. “電波・干渉計サマースクール 2021”, 世話人 (伊王野大介, 河野, 永井 洋 (以上 co-chair), 川邊 良平, 米倉 覚則, 深川 美里, 廣田 朋也, 新永 浩子, 亀野 誠二, 鎌崎 剛, 梅本 智文), 2021/09/16–17, 21–22, 24, オンライン
2. “太陽系天体若手研究会 (SSBW2021)”, 世話人 (荒木亮太郎, 荒川創太, 于賢洋, 鈴木雄大, 紅山仁, 前田夏穂), 2021/11/11 – 12, オンライン
3. “銀河星形成研究会 2021”, 世話人 (小林将人, 斉藤俊貴, 徳田一起, 平居悠, 藤本裕輔, 前田郁弥), 2021/11/16, 12/02, オンライン
4. “第10回 可視赤外線観測装置技術ワークショップ 2021”, 世話人 (宮田隆志, 海老塚昇, 沖田博文, 尾崎忍夫, 上塚貴史, 栗田光樹夫, 小谷隆行, 小西真広, 坂野井健, 菅井肇, 鈴木仁研, 高橋英則, 早野裕, 松林和也, 本原顕太郎, 和田武彦), 2021/12/09–13, 国立天文台+オンライン
5. “宇宙電波懇談会シンポジウム 2021”, 世話人 (岡 朋治, 赤堀卓也, 河野, 高桑繁久, 藤沢健太, 百瀬宗武), 2022/03/07–08, オンライン
6. “2021年度後期 ALMA ワークショップ「Synergies between ALMA and wide-field high-cadence multi-wavelength surveys」”, 世話人 (古屋玲, 河野, 竹腰達哉, 久野成夫, 竹内 努, 田村陽一, 谷口暁星, 稲見華恵, 石井 峻, 大島 泰, 川邊良平, 阪本成一), 2022/03/28–30, オンライン

2.8 天文センター談話会

COVID-19 感染拡大防止のため, 今年度の全ての講演は zoom によるオンライン開催となった. オンライン講演は遠隔地の聴衆でも容易に参加でき, これを利用してより幅広い分野における知見を深め交流を活発化するため, 天文学教育研究センターと天文学教室と合同で談話会を開催することになった.

回	月日	講演者 (所属)	題目
367	2021/04/13	平野 信吾 (東京大学理学系研究科天文学教室)	The Effect of Misalignment between the Rotation Axis and Magnetic Field on the Circumstellar Disk
368	2021/04/27	西村 淳 (東京大学理学系研究科天文学教育研究センター)	Observational study on high-mass star formation through development of own instruments
369	2021/05/11	山岸 光義 (東京大学理学系研究科天文学教育研究センター)	Observational studies of neutral carbon in our Galaxy
370	2021/05/25	Jerome de Leon (東京大学理学系研究科天文学教室)	Challenges and opportunities in young planet discoveries from Kepler to TESS
371	2021/06/08	諏訪 雄大 (東京大学総合文化研究科)	Probing supernova interiors with neutrinos
372	2021/06/22	前田 郁弥 (東京大学天文教育研究センター)	Mechanisms of Star Formation Suppression in the Strongly Barred Galaxy NGC1300
373	2021/07/06	小山 舜平 (東京大学天文教育研究センター)	Morphological dependences of star formation activity in local galaxies
374	2021/07/20	百瀬 莉恵子 (天文学教室)	The Diversity of IGM-galaxy connection among galaxies at redshift $z = 2-3$
375	2021/11/02	Long Wang (天文学教室)	The high-performance N-body code PeTar for studying the dynamical evolution of massive star clusters and gravitational waves

376	2021/11/16 犬塚修一郎 (名古屋大学)	Star formation in The Galactic Disk: A Bubble-Filament Paradigm
377	2021/11/30 小高 裕和 (東京大学物理学専攻)	Monte Carlo radiative transfer code MONACO for X-ray astronomy—the framework design and its applications to molecular clouds, black holes, and neutron stars
378	2021/12/14 池田 思朗 (統計数理研究所)	Basic modern signal processing techniques and astronomy
379	2021/12/21 小野里 宏樹 (国立天文台)	The absolute magnitude and color of red clump stars
380	2022/01/11 福島 肇 (筑波大学)	Radiation hydrodynamics simulations of star cluster formation

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”は、新型コロナウイルス感染症の影響により、2021年10月23日(土)にオンラインで開催された。本センターでは、特設サイト内での研究紹介・施設紹介ポスターや動画の公開および、理学部チャンネルを通じたライブ配信(メイン講演)を行った。

- 特別講演：“アルマが見つめる銀河: 解き明かした謎, そして新たな謎” (講師: 河野)
- オンラインポスター展示
 - 大質量星研究グループ研究紹介
 - 電波グループ研究紹介
 - 木曾観測所の紹介
 - トモエゴゼン (巴御前) 計画紹介
- 動画コーナー
 - 木曾観測所紹介動画

特設サイトには公開期間を通じておよそ270人ほどのアクセスがあった。コンテンツ公開後の3日間ではおよそ165人が閲覧した。ライブ配信は、昨年度に引き続き、情報システムチームのご協力によりYouTubeでの生中継を実施した。ピーク時には270名を超える視聴者が訪れた。映像はYouTubeの理学部チャンネルにて引き続き配信され、公開日後も多くの方に視聴されている。質疑応答にはSlidoというウェブサービスを使用した。公演中に合計18件の質問が投稿された。講演参加者とのコミュニケーションに大いに役立った。

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、7月10日(土)、11日(日)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. 甘日出文洋：「Unveiling “Hidden” Activity in the Universe through Submillimeter Observations」, 2021/09/11, School of Science Café 2021, online
2. 甘日出文洋：「初期宇宙の“モンスター銀河”」, 2022/01/09, 港区立みなと科学館
3. 江草英実：「アルマ望遠鏡で見た近傍渦巻銀河の世界」, 2021/11/20, 朝日カルチャーセンター横浜教室 + online

2.9.4 プレスリリース

1. 藤本征史 (ニールスポーア研究所), 河野, Nicolas Laporte (ケンブリッジ大) ほか：「129 億年前から銀河は回転していた—アルマ望遠鏡と天然のレンズが捉えた宇宙初期の小さな銀河とその内側—」, 2021 年 4 月 20 日, ウェブリリース
2. 泉拓磨 (国立天文台), 河野ほか：「観測史上最古, 131 億年前の銀河に吹き荒れる超巨大ブラックホールの嵐」, 2021 年 6 月 11 日, ウェブリリース
3. 但木謙一 (国立天文台), 辻田旭慶：「アルマ望遠鏡, 129 億年前の銀河から窒素と酸素の電波をとらえる」, 2022 年 3 月 1 日, 日本天文学会 2022 年春季年会 (オンライン)

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, 田辺, 酒向, 高橋, 甘日出, 江草, 小西, 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, 諸隈 智貴, 甘日出, 江草; 嶋作, 左近 (天文教室); 青木 (国立天文台)	天文学科 3 年	基礎天文学観測 I・II (S A セメスター)
相川, 酒向	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)
甘日出, 上塚	天文学科 3 年	基礎天文学実験 (S A セメスター)
江草	天文学科 3 年	天体物理学演習 II (S セメスター)
小西	天文学科 3 年	天文学ゼミナール (A セメスター)

2.10.2 講義等 (大学院)

河野	大学院	電波天文学特論 III (A セメスター)
----	-----	-----------------------

2.10.3 講義等 (他大学)

河野	東北大学	大学院	銀河物理学特論 III
----	------	-----	-------------

2.10.4 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	国立天文台	運営会議副議長
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受入派遣 WG メンバー
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	グローバルキャンパス推進本部サマープログラム 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	日本学術会議	URSI 分科会 J 小委員会 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	東アジア ALMA 科学諮問委員会 (EASAC) chair
河野	国立天文台	ALMA 推進小委員会/日本 ALMA 科学諮問委員会 (JSAC) 委員長
河野	IAU	Special nominating committee, member
河野	ALMA	ALMA Science Advisory Committee (ASAC), chair
河野	NRAO	ngVLA Science Advisory Council, member
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
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
諸隈 智貴	大学間連携	「大学間連携による光・赤外線天文学研究教育拠点のネットワーク構築」 事業 観測企画運営委員
諸隈 智貴	光学赤外線天文連絡会	運営委員
諸隈 智貴	日本 FITS 委員会	委員
廿日出	日本天文学会	年会実行委員会 委員
廿日出	東京大学	理学図書館運営委員会 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 (TAC) 委員

2.10.5 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 4 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 (代表者)	科研費基盤研究 (S) (課題番号 17H06130), (2017–2021) 第 5 年度, 11,800 千円 課題名: ミリ波サブミリ波帯輝線銀河の無バイアス探索に基づく隠された宇宙星形成史の研究
河野 (代表者)	国立天文台共同科学研究事業 (課題番号 2017-06B), (2017–2022), 2,000 千円 課題名: ダストに隠された銀河の活動性と進化の研究
宮田 (代表者)	科研費基盤研究 (B) (20H01943) (2020–2024) 第 2 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索
峰崎 (分担者)	科研費基盤研究 (B) (課題番号 20H02359), (2020–2022) 第 2 年度, 150 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
諸隈智貴 (分担者)	科研費基盤研究 (A) (課題番号 20H00179), (2020–2024) 第 2 年度, 200 千円 課題名: すばる望遠鏡超広視野主焦点カメラ HSC 全データ解析による深宇宙時間軸天文学の発展

諸隈智貴 (分担者)	科研費基盤研究 (A) (課題番号 21H04499), (2021–2025) 第1年度, 200 千円 課題名: 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
諸隈智貴 (代表者)	科研費新学術領域研究 (21H00066) 第1年度, 900 千円 課題名: すばる望遠鏡高解像度データによるブレーザー母銀河・中心ブラックホール質量の研究
廿日出 (代表者)	科研費基盤研究 (C) (課題番号 19K03925), (2019–2021), 第3年度, 1,140 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2年度, 100 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 (課題番号 17K14259), (2017–2020) 第5年度, 920 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2年度, 100 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
高橋 (代表者)	科研費基盤研究 (B) (課題番号 18H01249), (2018–2021) 第4年度, 1,700 千円 課題名: 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
上塚 (代表者)	科研費基盤研究 (C) (課題番号 20K04023), (2020–2022) 第2年度, 2,330 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
大澤 (代表者)	科研費若手研究 (課題番号 18K13599), (2018–2021) 第4年度, 100 千円 課題名: 動画分光観測による惑星間空間ダスト組成サーベイ
新納 (代表者)	科研費基盤研究 (B) (課題番号 20H01942), (2020–2024) 第2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 19K03917), (2019–2021) 第3年度, 2,330 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 (分担者)	科研費国際共同研究強化 (B) (課題番号 19KK0080), (2019–2022) 第3年度, 50 千円 課題名: 近赤外線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
西村優里 (代表者)	科研費若手研究 (課題番号 18K13577), (2018–2021) 第4年度, 1,380 千円 課題名: 高赤方偏移クエーサーの分子化学組成研究
小山舜平 (代表者)	科研費若手研究 (課題番号 20K14522), (2020–2024) 第2年度, 1,040 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
諸隈佳菜 (代表者)	科研費特別研究員奨励費 (課題番号 19J40004), (2019–2021) 第3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
前田郁弥 (代表者)	科研費特別研究員奨励費 (DC1) (課題番号 21J00108), (2021–2023) 第1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こるための物理条件
山下祐依 (代表者)	科研費特別研究員奨励費 (DC1) (課題番号 19J22279), (2019–2021) 第3年度, 1,000 千円 課題名: 超臨界降着活動銀河核の多相星間ガス観測から探る銀河とブラックホールの共進化
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2年度, 1,100 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1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1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

2.10.6 PI 共同利用時間

河野	ALMA, 2021 Oct. – 2022 Sep. (Cycle 8) 「Spectroscopic identification of candidate over-density regions of H-dropout ALMA galaxies behind two lensing clusters」
廿日出	VLA, 2021 Sep. 29 – 2022 Jan. 31 (21B) 「Atomic Hydrogen in the Environment of a Superluminous Supernova」 ALMA, 2021 Oct. – 2022 Sep. (Cycle 8) 「Physical Properties of the Closest Superluminous Supernova Host Galaxy」 ALMA, 2021 Oct. – 2022 Sep. (Cycle 8)

- 紅山 「An ALMA Survey of Molecular Gas in the Host Galaxies of Fast Radio Bursts」
 せいめい望遠鏡, 2021/7-2021/12
 「TriCCS 高速多色同時観測が明らかにする微小小惑星に対する宇宙風化リフレッシュ作用」
 (21B-N-CT06)
 せいめい望遠鏡, 2022/01-2022/06
 「TriCCS 高速多色同時観測が明らかにする微小小惑星に対する宇宙風化リフレッシュ作用」
 (22A-N-CT05)
 OISTER, 2021/05-2022/03
 「多色同時撮像観測による 微小小惑星の自転周期-スペクトル型関係の解明」 (2105-T-04)

2.10.7 受賞

1. 紅山：2021年7月, Japan Geoscience Union Meeting 2021 学生優秀発表賞
2. 紅山：2021年9月, 日本惑星科学会 2021年秋季講演会 最優秀発表賞
3. 谷口大輔, 宇野, 山崎一哉 (地球惑星科学専攻)：2022年3月, 令和3年度コニカミノルタ画像科学奨励賞, 連携賞 (受賞テーマ「気象衛星を活用した時間領域恒星天文学」の創出)

2.10.8 国外出張

1. 宮田：
2021/10/12-10/30, TAO サイト他 (サンペドロ・デ・アタカマ/チリ), TAO サポート望遠鏡観測装置 NICE の立上げおよび観測準備等
2. 峰崎：
2021/11/13-11/25, TAO サイト他 (サンペドロ・デ・アタカマ/チリ), TAO サポート望遠鏡観測装置 NICE の立上げおよび観測準備等
3. 宮田：
2021/11/30-12/11, TAO サイト他 (サンペドロ・デ・アタカマ/チリ), TAO サポート望遠鏡観測装置 NICE の立上げおよび観測準備等
4. 宮田：
2022/02/23-03/07, 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
5. 峰崎：
2022/03/19-04/01, チリ大学, カトリカ大学, TAO サイト他 (サンティアゴ, サンペドロ・デ・アタカマ/チリ), TAO 望遠鏡建設関連業務
6. 小山：
2021/05/04-06/06, すばる望遠鏡 (ハワイ/アメリカ), SWIMS 共同利用観測の SA 業務
7. 浅野：
2021/12/01-12/14, TAO サイト他 (サンペドロ・デ・アタカマ/チリ), TAO サポート望遠鏡観測装置 NICE の立上げおよび観測準備等

8. 高橋 :
2021/12/10–12/23, 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
9. 小山 :
2022/01/03–02/17, すばる望遠鏡 (ハワイ/アメリカ), SWIMS 共同利用観測の SA 業務
10. 鮫島 :
2022/02/28–03/10, 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
11. 益原 :
2021/10/12–10/30, TAO サイト他 (サンペドロ・デ・アタカマ/チリ), TAO サポート望遠鏡観測装置 NICE の立上げおよび観測準備等
12. 益原 :
2022/01/18–02/04, 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
13. 沼田 :
2022/01/18–03/31, 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
14. 橘 (健) :
2022/02/28–03/13, TAO サイト, Andres Bello 大学 (サンペドロ・デ・アタカマ, サンティアゴ/チリ), TAO6.5 m 赤外線望遠鏡に用いる観測装置の調整およびサイエンス検討
15. 紅山 :
2022/03/06–03/13, Texas, the US, 国際研究会 The 53rd Lunar and Planetary Science Conference (LPSC2022)

2.10.9 来訪研究者

1. BAO Min (Nanjing Normal University, Graduate Student) : [河野], 特別研究学生, 2021/02/01–2022/03/31

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
高橋 英則	nori@ioa.s.u-tokyo.ac.jp
近藤 莊平	kondo@ioa.s.u-tokyo.ac.jp
酒向 重行	sako@ioa.s.u-tokyo.ac.jp
諸隈 智貴	tmorokuma@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
青木 勉	aoki@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理学部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に強みを持つシュミット望遠鏡を活かした東大独自の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。

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」を開催してきたが、それは従来通りにシュミットを用いた天文学の交流の場として継続している。今年度は、2021年10月4-6日の3日間にわたり、木曾観測所にてハイブリッド形式で2年ぶりに実施した。

(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夏季に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。今年度は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、データ解析を含む大学実習を、甲南大学の学生13名が夏季に行った。例年、三重大学、文教大学、東京学芸大学、日本女子大学、大妻女子大学合同で夏季に行う実習は、COVID-19の影響で冬季に延期になり、三重大学、文教大学の学生13名に対し行われた。今年度は東大のFoPMプログラム生を対象として30cm望遠鏡を用いた観測実習も新たに実施され、物理学専攻の学生2名が参加した。

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、全国の大学の貴重な合宿型の天文教育施設としてもますます価値を増しており、観測所の最も大切な役割の1つとして大学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「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ってきたが、さまざまなイベント等を通じて十分そのパイオニアとしての役割は果たした。現在は新たなアウトリーチプログラムを開発することはせず、地元長野県の教育関係機関の依頼に応じて「地域連携」ならびに「社会還元」としてのアウトリーチの実施を積極的に進め、また銀河学校のような観測所を代表するイベントは「伝統行事」として継続している。大学事業の社会還元については年々その重要性がうたわれるようになってきているが、木曾観測所は開所以来さまざまな形で全所員が社会還元の努力を続けてきた。そのために必要な地元町村との連携を、2018年度に県が立ち上げた「木曾星の里づくり推進協議会」を通して行うことで公式に整理し、効率的に進めてきた。2020年度からは、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」との連携を様々な側面で進めている。

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、新たに主力装置となった Tomo-e Gozen の開発についてまとめ (§3.2.1)、早速開始された Tomo-e Gozen を用いた研究について紹介する (§3.2.2)。また前世紀の主力であった写真乾板で取得されたデータについても、世界的にもアーカイブ化が進んでおり、木曾観測所でもデジタル化を積極的にすすめている (§3.2.3)。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 (§3.2.4) 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進められている。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 (§3.2.5) やネットワーク・通信機器の保守・整備 (§3.2.6) 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 (§3.2.7)。観測所とその所員による成果を、所員の研究活動 (§3.2.8)、論文および出版物 (§3.2.9)、天文電報等 (§3.2.10)、そして学会・研究会等での報告 (§3.2.11) 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 (§3.2.12) 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 (§3.2.13)、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 (§3.2.14) 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 (ϕ 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, 大澤, 瀧田, 森, 青木, 土居, 小林, 諸隈智貴, 新納; Tomo-e Gozen 開発チーム)。Q3, Q4 ユニットの駆動ボードが電源投入時および観測中に時々異常動作する問題が発生した。特に、ドーム内の気温が氷点下になる場合に発生する傾向があった。Tomo-e Gozen の望遠鏡ラックを断熱材で覆い、中にヒーターを設置するなど気温を上げる対策を実施したものの効果は十分でなかった。これは、不具合の原因が焦点面のエレクトロニクスにあることを意味している。そこで、2022 年 3 月に Q3 用の DRV-M ボードを再製作して交換したところ、上記の異常動作は解消された。3 月以降は気温が低い日が減ったため、検証が十分でない可能性がある。次年度の運用においても引き続き状況を注視する予定である。

- Tomo-e Gozen の多面体窓ホルダの開発

(酒向, 高橋, 近藤, 大澤, 瀧田, 森, 青木, 土居, 小林, 諸隈智貴, 新納; 富永望, 青木和光, ATC チーム (国立天文台), Tomo-e Gozen 開発チーム)。Tomo-e Gozen の CMOS センサーはシュミット望遠鏡の焦点面 (球面) に沿って配置されているが、センサーの前面に置かれる透過窓は平面に沿って配置されている。この平面窓ホルダに波長選択フィルタを設置した場合、ビームの斜め入射の影響で、フィルタの透過波長が視野に依存して変化してしまう問題があった。特に特定の輝線を対象とした狭帯域フィルタを用いる観測でこの影響は顕著になる。そこで、透過窓やフィルタをセンサに平行に (望遠鏡の焦点面に沿って) 設置できる多面体窓ホルダの開発を実施した。

既存の平面窓ホルダと異なり、21 個の窓を設置する面が望遠鏡の焦点面に平行な多面体となる。この複雑な形状を国立天文台先端技術センターが保有する金属 3D プリンターで製作することになった。2021 年度は概念設計と、製作図の作成、3D プリンターでの試作を実施した。2022 年度に Q1 用の実機の製作をお

こない, Q1 にインストールする予定である。また, 富永, 青木らの研究グループが準備する狭帯域フィルタを設置し, 金属欠乏星の広域サーベイの試験観測も実施する予定である。

- **Tomo-e Gozen のウェブアプリケーションの開発**

(大澤, 瀧田, 森, 酒向, 高橋, 近藤, 青木, 土居, 小林, 諸隈智貴, 新納; Tomo-e Gozen 開発チーム)。Tomo-e Gozen 用のフィールドチェッカーの機能更新を行った。Google アナリティクスサービスを用いて, Tomo-e Gozen 計画のウェブサイトへのアクセス数およびオープンデータのダウンロード数を監視できるようにした。

- **Tomo-e Gozen 情報公開用計算機の整備**

(瀧田, 大澤, 森, 酒向; Tomo-e Gozen 開発チーム)。木曾観測所のデータアーカイブ用計算機 (tomoearv-node0) の HDD 交換によって 12 TB HDD 16 台が使用済み在庫となっていた。これらの HDD は稼働時間が 1 年間程度と短く, また情報公開用計算機に接続されている二つのディスクエンクロージャのうち, 一つは HDD スロットに空きがあったことから, この使用済み HDD を再利用することにした。この結果, ディスクエンクロージャあたり 200 TB, 合計 400 TB のディスク容量を確保した。

同時にディスクエンクロージャの IPMI を設定した。これにより, 本郷キャンパスの電気設備点検による停電の対応を完全にリモートで対応できるようになった。

- **フラット補正用データの調査**

(瀧田, 近藤, 大澤, 酒向, 森, 高橋, 青木, 土居, 小林, 諸隈智貴, 新納; Tomo-e Gozen 開発チーム)。木曾シュミット望遠鏡では, ドーム内に設置されたフラットスクリーンを一方向からフラット投光器で照らし, それを望遠鏡を通して観測することでフラット補正用のデータを取得している。Tomo-e Gozen では望遠鏡視野いっぱいまで利用していることから, このフラットスクリーンが視野全体を十分にカバーできているのかを調査した。その結果, スクリーンの大きさは問題がなかったが, 一方でドームをフラット取得位置に動かす際に右回りと左回りとで誤差が生じることが判明した。実際のフラットデータで確認すると, 回転の方向によって 1 % 程度の差が出てくることが分かった。また同じ向きの回転では再現性が良いことも確認された。このため, ドームをフラット取得位置へ回転させる時には常に同じ方向から回転させることで安定したフラット画像を取得できるようにした。

また, このフラットスクリーンによるフラット (以下, ドームフラット) が正しく一様光となっているのかを確認するために, 月明かりのない天頂付近の空を観測することでスカイフラットを取得した。このスカイフラットとドームフラットを比較すると, 東西方向に 5 % 程度の傾きが見られることが分かった。これは, ドームフラットでは一方向からのみ照らしていることと矛盾がない結果である。そこでこのスカイフラットを利用して, 毎晩取得するドームフラットを補正することにした。

- **データアーカイブ用計算機のデータベースアップデート**

(瀧田, 大澤, 酒向, 森, 高橋, 近藤, 青木, 土居, 小林, 諸隈智貴, 新納; Tomo-e Gozen 開発チーム)。Tomo-e Gozen で運用している計算機のうち, アーカイブシステム用の tomoebuf-master, tomoearv-master では PostgreSQL 9.2 が稼働していた。これは Tomo-e Gozen の開発初期の頃のものであり, すでにサポートが切れている状態であった。そこで, 当時最新版である 13 へのアップデートを実施した。

- **Tomo-e Gozen のデータ公開**

(瀧田, 森, 大澤, 酒向, 高橋, 近藤, 青木, 土居, 小林, 諸隈智貴, 新納; 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 データの公開を開始した。公開するデータの対象は全天サーベイと高頻度サーベイであるが, 各自の研究に重要な天体が含まれる場合は, そのデータを非公開とするためにブロックリストも準備した。

まず 2021 年末に国立天文台 SMOKA からのデータ公開を開始した。データはネットワーク経由で国立天文台内の SMOKA の所有する計算機に転送された。2021 年度については, データ取得から二年 (730 日)

後で、ブロックされていないデータを対象としている。また現在は公開対象とはしていないが、データの健全性を担保するという観点から、一部の生データ（キャリブレーションデータと100セット分の観測データ）もSMOKAに送信している。こちらは木曾観測所内のSMOKA計算機に転送した後、HDDのみを国立天文台に郵送することになっている。

一方で我々が本郷に設置している情報公開用の計算機を通して処理済みデータの公開を2021年12月15日より開始した。こちらは木曾広域ネットワークの6 Gbps回線を利用していることから、アーカイブ用計算機からのリバースプロキシを利用している。こちらではデータ取得後6ヶ月経過、かつブロックされていないものが対象である。

● Tomo-e Gozen Sky Atlas の機能更新

（瀧田, 酒向, 大澤, 森, 高橋, 近藤, 青木, 土居, 小林, 諸隈智貴, 新納; Tomo-e Gozen 開発チーム）。Tomo-e Gozen Sky Atlas は Tomo-e Gozen が毎晩観測する約7000平方度の天域のデータをクイックルックするだけでなく、教育・広報用としても利用できるように2020年度に開発したものである。データ形式は天球面の分割手法であるHEALPixをベースとしたHiPSを採用し、ビューアとしてはウェブブラウザ上のJavaScriptで動作するAladin Liteを用いている。

2021年10月に、これまでの観測データから質の良いものを集めて、超新星サーベイの参照用画像が作成された。このデータをSky Atlasにも取り込んで表示できるようにした。これと毎晩の画像とを比較することで、移動する小惑星や増光した超新星等が、よりわかりやすくなった。また、名古屋科学館からは星座線の情報を提供してもらった。さらに、毎晩の観測データに対し、何時ごろにどこの領域を観測したのか、という情報を表示できるようにした。これによって、時刻と場所の情報をもとにユーザが人工衛星を探すといった取り組みが可能となった。

● 突発天体サーベイ用データベースの更新

（瀧田, 酒向, 諸隈智貴, 土居, 新納, 大澤, 森, 高橋, 近藤, 青木, 小林; 富永望 (甲南大学); 田中雅臣 (東北大学); Tomo-e Gozen 開発チーム)。Tomo-e Gozen の突発天体サーベイは超新星爆発等を早期に発見し、光赤外線大学間連携の望遠鏡群と連携して即時追観測を行う計画である。しかしデータ処理パイプラインやデータベースの性能の問題により、サーベイ能力を十分に生かされていない状態であった。昨年度の調査を元に、データベース、およびウェブフロントエンドを更新した。まずデータベースバックエンドのPostgreSQLのバージョンをサポートの切れる9.6から当時最新版である13にアップデートした。同時にテーブル定義についてもいくつか見直しを行った。これらは観測所メンテナンスで観測がされず、パイプラインも稼働していない時期に行った。

次にウェブビューア側を更新した。ここでは所謂「N+1問題」の解消が主目的であった。これらの作業により、パイプラインが動いていない状態では非常に軽快にデータの参照ができることが確認された。一方で実際に観測が再開してパイプラインの稼働が始まると、再びデータベースへのアクセスに遅延が生じることが分かった。そこで、データベースサーバを一台増やし、パイプラインから書き込むデータベースと、ウェブから参照するデータベースを分離することで、この問題の解消を目指すことにした。この部分は来年度に作業実施予定である。

● mdx (データ活用社会創成プラットフォーム) の調査

（瀧田, 大澤, 酒向, 森; Tomo-e Gozen 開発チーム）。mdxは東京大学情報基盤センターが中心となって作られたシステムであり、従来のスパコンとは異なり仮想環境として利用できるものである。mdxは現在試験運用中であり、無料で利用できる。

mdx環境の試験として、まず情報公開用計算機と同等のスペック(48 core, 200 TB disk; RAMはcore数に比例して配分)の資源量を利用することにした。ゲストOSとしてはUbuntuが推奨されていることも有り、これを利用する。実際に情報公開用で利用しているデータをコピーすることで、同様の機能を利

用できることを確認した。ただし、ネットワークに関しては東京大学の全学ファイアウォールや理学系のコアスイッチでは守られない環境になるので、運用には細心の注意が必要である。またネットワーク的には SINET での接続となっており、本郷キャンパスの情報公開用計算機との間の通信は実測で 1.5 Gbps 程度出ることを確認した。

また赤外線雲モニタを利用した、機械学習による雲の未来予測を試験するために GPU (Nvidia A100) ノードも利用申請した。こちらもゲスト OS には Ubuntu を採用し、Nvidia の提供する演算ライブラリ CUDA を導入した。さらに python から利用するためのパッケージ cupy 等もインストールし、GPU を用いた計算を行えることを確認した。

● 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, 宮田隆志, 上塚貴史 (東京大学)) 木曾観測所では, Tomo-e Gozen 自動全天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。現在の赤外線放射計は, 単素子であるため, 空の一部の雲量の監視, 晴天の判断にとどまっており, 可視全天カメラでは雲を散乱光として見ることになるため, その分布の適切な判断ができない。そこで, 雲自身の放射温度を直接測定できる中間赤外線波長での小型, 低コスト, 時間安定, 遮蔽なしの全天赤外線雲モニタの開発を進めた。本装置は, 1 台のカメラモジュールと視野拡大鏡 (直径 10 cm) を対向配置した高さ約 50 cm の小型装置である。カメラモジュールとしては, タムロン製の屋外用の防塵防水仕様の Ge レンズ付きシリコン型ボロメーターを採用し, 視野 $42^\circ \times 42^\circ$, 画素数 80×80 pixel を有する。独自開発したソフトウェアによりカメラモジュールを制御し, カウントの線形化と外気温依存性の除去を実施した上で画像を取得する。拡大鏡は断面が富士山型の回転対称鏡を採用し, 過去に製作された赤外線全天カメラでは不可避であった天頂の遮蔽をなくすことに成功した。本装置の光学系で得られる画像は低高度と高高度が反転した全天画像となっており, これを非反転の全天画像に変換する方法も独自に開発した。2021 年 12 月に東京大学木曾観測所の他の気象センサに並べ, 本装置を設置し, 全天赤外線画像の昼夜連続の取得に成功した。同時観測した可視全天画像と比較し, 雲の分布を正確に捉えていることも確認した。それ以降, 年度内期間は問題なく試験運転を続けることが出来た。これらは, 天文学科 4 年, 津々木里咲の卒業研究として実施された。システムの仕様は以下の通りである。

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

● SINET への接続に向けた調査

(森, 酒向, 青木, 小林, 近藤, 高橋, 瀧田, 大澤; Tomo-e Gozen 開発チーム)。Tomo-e Gozen で得られる大量のデータは, 木曾広域連合の光ファイバ専用線 (10Gbps) にて木曾福島市街地まで転送された後, 共用線を通じて東京大学本郷キャンパスへ送られているが, 共用線の利用は木曾地域の一般データ通信を圧迫する可能性があることが懸念される。兼ねてから SINET への接続を検討していたが, 長野県の SINET 接続ノードは長野市にあり, 長野ノードまでの専用線を用意することは現実的ではなかった。しかし, 2022 年 4 月に運用を開始する SINET6 で松本ノードが新設されることとなり, SINET への接続が一気に現実味を帯びた。本年度は木曾観測所から SINET6 松本ノードまでの専用線を確保するため, 既存のダークファイバの利用や一部区間のファイバ新設など, 現実的な予算で実現可能な解を見つけるべく情報収集を行った。結果, 木曾広域連合を始めとする各所の協力を得て, 松本ノードまでの専用線確保の見通しを立てることができた。2022 年度中の接続を目指し, 次年度には具体的な手続きを進めていく予定である。

3.2.2 Tomo-e Gozen を用いた研究

Tomo-e Gozen は 2019 年 10 月より本格的な運用を開始した。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) 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。データ解析パイプラインの改善を継続して実施している。Tomo-e Gozen 自身のデータで作成した reference 画像 (deep stack) 画像が完成し、差分解析の性能が向上した。画像差分によって検出された突発天体候補の Real/Bogus 分類にニューラルネットワークを使用しているが、2021 年にはネットワークの構造を一新して分類性能の大幅な向上を達成した (§3.2.2)。京都大学 3.8 m せいめい望遠鏡との連携観測も動き始め、2021 年には合計 5 件の追観測を実施した (§3.2.2)。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 (§3.2.2) にも活用されており、2021 年度は新たに 16 天体の地球接近小惑星を発見した。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)。

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)。突発現象に対する追観測体制の整備も進められており、2021 年度には Gamma-Ray Burst (§3.2.2) と全天 X 線監視装置 MAXI (§3.2.2) 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構築した。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 (§3.2.2)。いくつかの天体は 3.8 m せいめい望遠鏡での即時追観測も実施し、微小地球接近小惑星の自転周期とスペクトル型を決定するというユニークな結果を残している。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)。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。2020 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た。98 件の散在流星と 53 件の群流星を同時観測することに成功した (§3.2.2)。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。特に M 型矮星からのフレアについては、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フレア検出に成功している (§3.2.2)。また、同様のモニタリングデータを解析するためのパイプラインの開発も並行して進められている (§3.2.2)。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。狭帯域フィルタをもちいたパイロット観測での成功を受けて、Tomo-e Gozen の視野全体に狭帯域フィルタ搭載して観測するためのフィルタホルダの作成が進められている (§3.2.2)。2020 年 9 月から 11 月にかけて Tomo-e Gozen と X 線望遠鏡 NICER による矮新星 SS Cyg の同時観測を実施した。光度の急激な変動 (ショット) に注目することで X 線に対して可視光が最大で 3 秒程度遅延していることを明らかにした。X 線放射によって温められた円盤が可視光を再放射するメカニズムが卓越していることが示唆される (§3.2.2)。Ia 型超新星 SN 2020hvf は爆発から 5 時間後に Tomo-e Gozen の突発天体サーベイによって観測された。SN 2020hvf の爆発初期の急激な光度変化は爆発放出物と星周物質の相互作用を意味しており、super-Chandrasekhar 質量の白色矮星が爆発した可能性を示唆している。Tomo-e Gozen による高頻度サーベイの特色を活かした研究である (§3.2.2)。2021 年 9 月に明るい銀河面重力マイクロレンズイベント Gaia21efs が発見された。11 月には最大像効率 20 倍になるという予報を受けて Tomo-e Gozen では最大光度付近にて重点的なモニタリング観測を実施した。本イベントでは惑星の存在を示すシグナルは検出されなかったが、光度曲線を隙間なく埋めるための貴重なデータの取得に貢献した (§3.2.2)。

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)。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)。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 (§3.2.2)。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。また、データ解析を円滑に進めるためのインターフェースの作成にも取り組んでいる。

高頻度突発天体サーベイ

諸隈智貴 (千葉工業大学/東京大学); 酒向重行, 大澤亮, 瀧田怜, 土居守, 有馬宣明, 張天放 (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, 高橋一郎 (東北大学); 小林尚人, 青木勉, 征矢野隆夫, 樽沢賢一, 森由貴, 高橋英則, 近藤荘平 (東京大学・木曾観測所); Jian Jiang (Kavli IPMU); 川端美穂, 前田啓一, 山中雅之, 田口健太 (京都大学); 川端弘治, 中岡竜也 (広島大学); 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 枚連続 (計 6 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.) を用いて、1) 夜の最初に各領域 1 回ずつの観測 (約 2 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 cadence で観測, 3) 夜の最後に東の空を各領域 1 回ずつの観測 (1 時間) の 3 つのサーベイモードから構成されている (2021 年 8 月まで)。これらのデータは、突発天体の探査以外にも、地球接近小惑星サーベイ (§3.2.2)、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) で行なっている。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、事前にサーバに準備済みの Pan-STARRS の r バンド参照画像に対して引き算を行い、その引き算画像に対して天体検出を行っている。

2020 年度に改修された解析パイプラインを用いたデータ解析によって TNS より前に Tomo-e Gozen の観測点のあること、あるいは Tomo-e Gozen によって短時間変動が同定された、AT 2021agbs, AT 2021agcx, AT 2021agei, AT 2021koz に対して、せいめい望遠鏡を用いた追観測をのべ 5 回行った。

さらに、2021 年度には、機械学習の改善 (§3.2.2) が行われた。また、Tomo-e Gozen によって取得された画像を用いた reference 画像の作成が行われ、今後 reference 画像の置き換えが行われる予定である。また、2020 年 4 月に ATLAS によって発見された Ia 型超新星 SN 2020hvf に対して、ATLAS による発見以前に Tomo-e Gozen Camera の観測によって、光度曲線にバンプが観測された。その起源は、親星システムを取り囲む濃い星周物質と超新星放出物質の相互作用によるものと明らかにした。本成果は Jiang et al. (2021, ApJ, 923, L8; arxiv:2111.09470) として出版されている (§3.2.2)。

Tomo-e Gozen 突発天体サーベイにおける Real/Bogus 分類器の改善

高橋一郎, 田中雅臣 (東北大学); 富永望 (国立天文台/甲南大学); 上田修功 (NTT コミュニケーション科学基礎研究所); 酒向重行, 大澤亮, 吉田直紀 (東京大学);

我々は Tomo-e Gozen の突発天体サーベイ観測で検出された突発天体候補の真偽判定を行う Real/Bogus 分類器の性能改善を行なった。

Tomo-e Gozen の突発天体サーベイ観測では毎晩 100 万もの突発天体候補が検出されているが、その大部分はデータ解析の際に発生する誤検出 (Bogus) である。これらから効率的に本物の突発天体 (Real) を抜き出すために、これまでに機械学習アルゴリズムの Convolutional Neural Network (CNN) を使用した Real/Bogus 分類器が Tomo-e Gozen の突発天体解析パイプラインに実装されていたが、分類成績が頭打ちになり、Real と分類される Bogus が未だ大量に残っていた。

そこで、分類成績を改善するため、分類モデルをより複雑な構造を持つものに変更すると共に、学習を 2 段階に分けた。最初の学習後に機械が誤分類した学習データのラベルを「ラベルなし」にした上で半教師あり学習を再度行うことで、学習データに含まれるラベルの付け間違い (label error) のクリーニングを機械自身で行いつつ、分類性能の向上を図った。

前年度までにテストデータにおける成績の改善が確認できたので、2021 年 5 月に解析パイプラインに新しい分類器を実装した。その結果、本物の突発天体の回収率を落とさずに突発天体候補の数を従来の分類器の約 40 分の 1 に減らすことができた (図 3.1 参照)。最終的な突発天体候補の数はこれまで 1 日あたり 6000 天体だったものが 150 天体にまで減少し、追観測ターゲットの選定がより効率的に行えるようになった。これらの結果は日本天文学会年会を始め、複数の会議で発表された。その後、本年度中にモデルや学習方法のさらなる見直しが行われ、分類器の性能改善が続けられた。最新の分類器の性能評価と実装結果についてまとめた論文が 2022 年度始めに投稿される予定である。

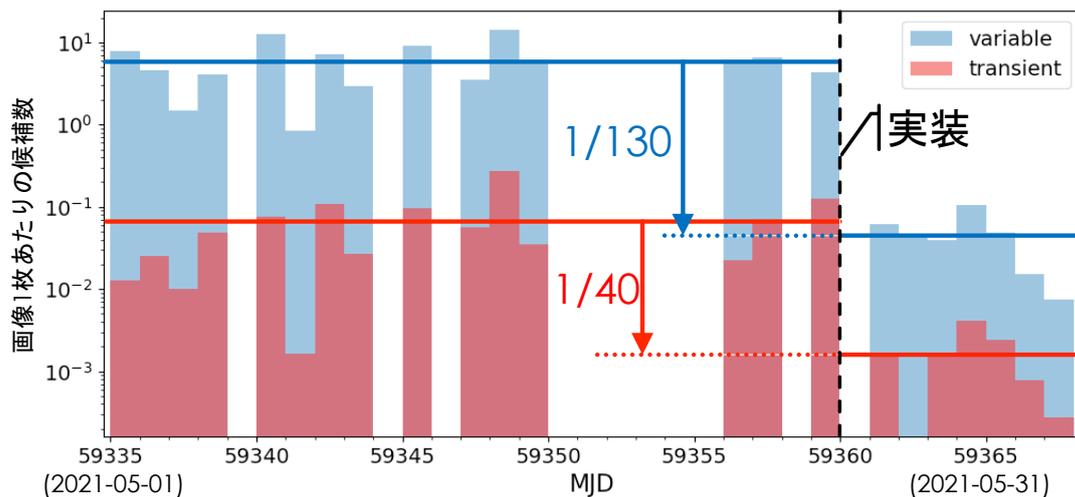


図 3.1: 新しい分類器の実装前後における Tomo-e Gozen 突発天体データベースへ登録される候補数の変化。水色のデータが分類器によって分類された変動天体。赤色のデータはそれらのうち同じ座標で 2 回以上検出された最終的な突発天体候補。

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, 大澤亮 (東京大学・天文学教育研究センター); 諸隈智貴 (千葉工業大学/東京大学); 富永望 (国立天文台/甲南大学); 田中雅臣 (東北大学)

活動銀河核は、銀河の中心にある巨大質量ブラックホールを中心に輝く天体である。ブレーザーは活動銀河核を回転軸方向から見たものである。ブレーザーは宇宙で最も激しい現象の一つであり、可視光でも激しい変動をしている。ブレーザーは銀河天文学における重要な研究対象である。

私たちは Tomo-e Gozen による Northern Sky Transient Survey (§3.2.2) の 2019 年 9 月から 2021 年 9 月まで二年間のデータを用いて、ブレーザーの変光の研究を行った。Tomo-e Gozen の高速サーベイの特性を活

かし、前の研究 (Bauer et al. 2009; Palomar- QUEST Survey を使い三年半にわたって観測 [1]) に比べブレーザー 1 個あたりの平均観測回数が 4 倍以上に、観測効率は 7 倍となった。観測できるブレーザー数も 951 個となり (4FGL Catalog 北天ブレーザーの 44.6%) 前の研究の約 2.5 倍以上になった [2]。その結果として FSRQ というブレーザーの一種の変光の性質が 2 種類に分かれる可能性を発見し、海外での EAS 2022 で関連発表する予定であり、また、投稿論文も準備中である。

[1] Bauer, A.H., Baltay, C., Coppi, P.D., Ellman, N.E., Jerke, J., Rabinowitz, D.L., & Scalzo, R.A. (2009). BLAZAR OPTICAL VARIABILITY IN THE PALOMAR-QUEST SURVEY. *The Astrophysical Journal*, 699, 1732-1741.

[2] 張天放 2021, 東京大学大学院理学系研究科修士論文

Fast Radio Burst の可視光対応天体探査

新納悠, 土居守, 酒向重行, 大澤亮, 有馬宣明 (東京大学天文学教育研究センター); 茂山俊和, 榎山和己 (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); 冨永望, Ji-an Jiang (国立天文台); 田中雅臣 (東北大学); 新沼浩太郎 (山口大学); 太田耕司, 前田啓一, 松林和也, 川端美穂, 野上大作, 山中雅之 (京都大学); 諸隈智貴 (千葉工業大学/東京大学); Di Li, Chao-Wei Tsai, Pei Wang, Chen-Hui Niu (National Astronomical Observatories of China); 橋本哲也 (National Tsing Hua University); 小久保充 (Princeton 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 ソースに対しては山口大学の山口 32 m 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座標が秒角以下の精度で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 の高速観測を実現した。2020 年 8 月に FAST と共同で行った repeating FRB 20190520B の観測では Tomo-e Gozen による 24.4 fps の可視光高速観測で電波バースト発生の瞬間を捉えることに成功した。今年度はこの観測データの解析をすすめて、電波バーストと同時刻の可視光放射成分に過去の FRB 高速観測よりも深い制限を得た。Repeating FRB の可視光成分探査をより高い感度で実施するため、京都大学岡山天文台せいめい望遠鏡の高速観測装置 TriCCS による FRB 観測も行なっている。2021 年 3 月には FAST と共同で TriCCS による FRB 20201124A の観測を行い、現在取得されたデータの解析を進めている。

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 探査を行なっている。座標の判明している repeating FRB を監視する場合と比べて視野内での FRB 発生頻度

が低く、2021年度中に行なった約30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。

Gamma-Ray Burst 追観測体制の整備

新納悠 (東京大学天文学教育研究センター); Maria Giovanna Dainotti, 冨永望, 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らない。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、重力波イベントの追観測を目的として木曾観測所ですでに運用されている自動追観測システムを拡張し、GRBの観測に活用するための開発を行なっている。今年度に行なった開発によって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、自動的に望遠鏡のキュー観測システムに観測コマンドを送信する仕組みを作ることができた。現在はSwift BATのGRBを対象にして、自動追観測でGRBの残光を発見できることを実証する試験観測を行なっており、これまでに3件のGRBについて自動追観測が実施され、内1件については残光と考えられる天体を検出することができた。

全天X線監視装置MAXIとTomo-e Gozenの協力体制

根来均, 小林浩平, 田中雅泰 (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)

国際宇宙ステーションに搭載された全天X線監視装置MAXIとTomo-e Gozenは、それぞれX線と可視光領域で広視野を持ち、突発天体の検出やモニター観測といった点で共通した科学的目的を有する。これまでも2020年にMAXIが捉えた矮新星SS Cygの長期にわたる異常な増光(ATel #13744)をNICERとTomo-e Gozen関係者に情報提供するなど、情報の共有を図ってきた (§3.2.2)。

2021年度には、より直接的な協力関係を深め、MAXIが検出した突発天体に対するTomo-e Gozenによる自動追観測体制の整備と、MAXIとTomo-e Gozenのモニター観測データを用いた系内ブラックホール天体の長期活動調査等を目的とした試験観測を行なった。前者によって、MAXIがGRBなどの短時間突発現象を検出した後、最短数分ほどでTomo-e Gozenによる追観測が可能となった。継続時間が数秒間の短い突発現象に対し、MAXIでは最大3度の位置決定誤差が生じ、Tomo-e Gozen以外の多くの観測装置ではその全領域を観測するのは困難である。対象となる短時間突発現象は平均して月に約1回検出されるが、中には軟X線領域のみで観測される特異なイベントもあり、広視野をもつTomo-e Gozenの即時追観測によってそのような突発天体の正体が解明されることが期待される。2022年1月26日には、そのフレームワークを活かして前日に発見されたMAXI J0709-159 (ATel #15178)の追観測がTomo-e Gozenによって行われた。そして、NICERによって決められた誤差領域内のB/Be型星HD 54786が唯一の対応候補天体であり、観測時間内には有意な変動がないなどの情報が共有された。

後者のブラックホール天体の観測については、X線が観測されない静穏期でも可視光では連星周期に伴う強度変動に加えフレアも観測されることがあり (e.g., Shahbaz *et al.* 2004, MNRAS, 354, 31), 試験的に 2022 年 3 月 9 日に A 0620-00 (V616 Mon) と XTE J1118+480 (KV UMa) を Tomo-e Gozen で 0.5 秒の時間分解能でそれぞれ 15 分間観測した。現在, 検出された天体の強度変動などを調査中である。今後, MAXI と Tomo-e Gozen のアーカイブデータも用いてアウトバーストを起こした天体の長期変動を調査する予定である。

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 2021 年度は新たに 16 天体の NEO を発見した (昨年度は 14 天体)。これにより 2022 年 3 月 31 日時点で Tomo-e Gozen が発見した NEO は 38 天体となった。また発見天体を含む合計 40 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。さらに今年度は Tomo-e Gozen を用いて高速自転を検出した 2021 TY₁₄ を含む 3 天体に対し 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 (図 3.2)。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。Tomo-e と TriCCS の高速観測から 2022 TY₁₄ が周期約 15 秒で高速自転する炭素質の C 型小惑星であることがわかった。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。これらの成果は以下の国際会議で発表した。

- Japan Geoscience Union Meeting 2021,
「Highly Time-Resolved Photometric Observation of Tiny Near Earth Objects with the Tomo-e Gozen Camera」,
Beniyama Jin, Sako Shigeyuki, Ohsawa Ryou, Takita Satoshi, Kobayashi Naoto, Okumura Shin-ichiro, Urakawa Seitaro, Usui Fumihiko, Yoshida Fumi, Yoshikawa Makoto,
オンライン開催, 2021/5/30-6/6 (発表日 2021/06/06) (口頭発表, 査読なし),
https://www.jpгу.org/meeting_j2021/
- The 53rd Lunar and Planetary Science Conference (LPSC2022),
「Subsecond Time-Resolved Photometry of Tiny Near-Earth Objects with Tomo-e Gozen」,
Beniyama Jin, Sako Shigeyuki, Ohsawa Ryou, Takita Satoshi, Kobayashi Naoto, Okumura Shin-ichiro, Urakawa Seitaro, Yoshikawa Makoto, Usui Fumihiko, Yoshida Fumi,
The Woodlands, Texas + オンライン, 2022/3/7-11 (ポスター発表, 査読なし),
<https://www.hou.usra.edu/meetings/lpsc2022/index.shtml>

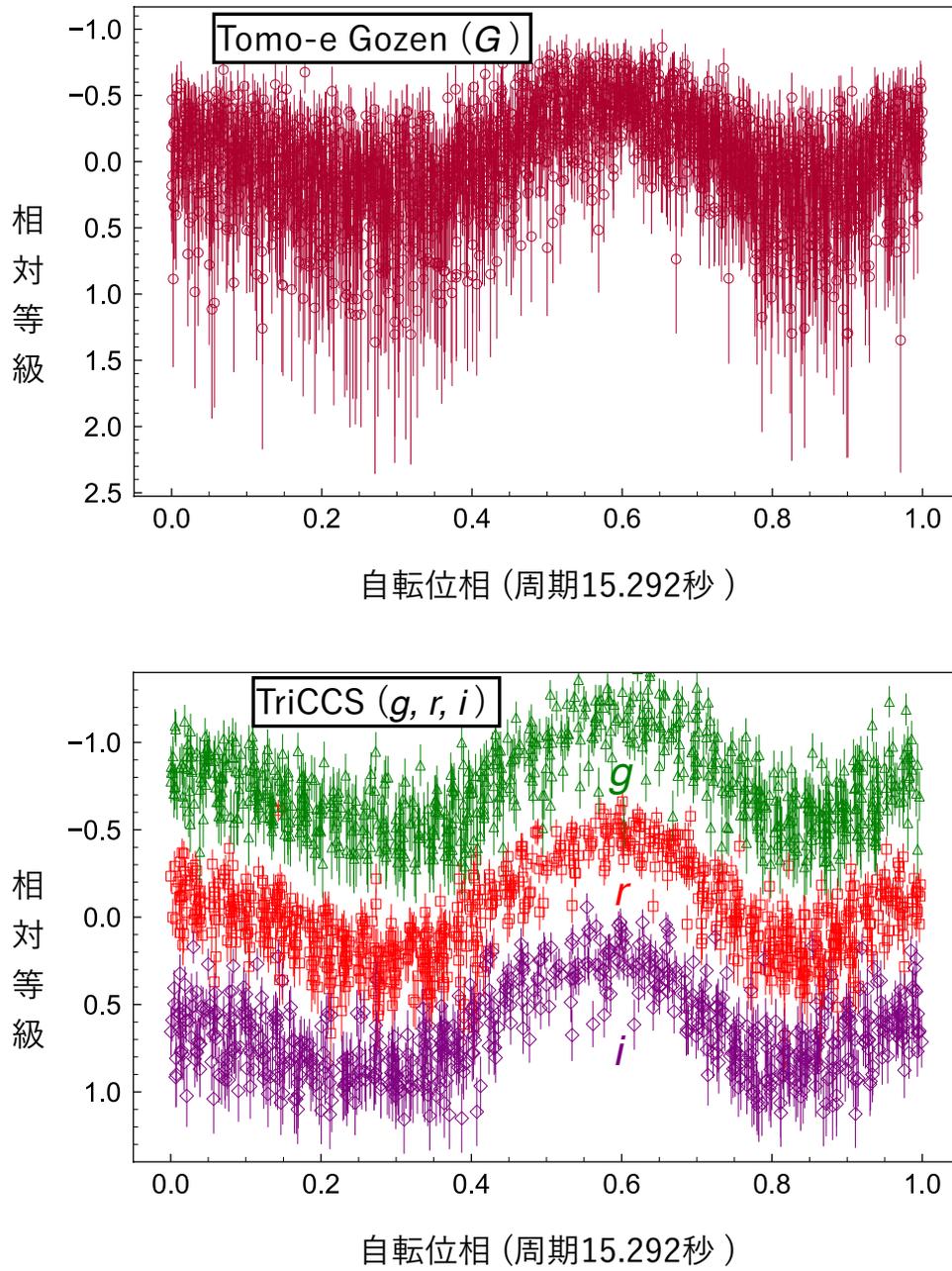


図 3.2: 2021 年度 NEO 観測成果の例. (上) 木曾 Tomo-e Gozen で取得した 2021 TY₁₄ の光度曲線 (Gaia G バンド). 2021 年 10 月 15 日 21 時頃に観測した. 即時解析結果から約 15.292 秒で高速自転していることがわかった. (下) せいめい望遠鏡/TriCCS で取得した 2021 TY₁₄ の 3 色同時光度曲線 (Pan-STARRS g,r,i バンド). 木曾の観測結果を元に OISTER 経由で同日 23 時半頃に即時追跡観測することができた. 3 バンドのスペクトルから炭素質の C 型小惑星であることがわかった.

Tomo-e Gozen と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, 酒向重行, 紅山仁, 高橋英則 (東京大学)

直径 10 m 前後の微小な地球接近小惑星 (以下, NEO) を多く発見することはプラネタリーディフェンスの観点から重要であるが, 同時に微小天体の形成・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もなる. 高速読み出しが可能である Tomo-e Gozen は NEO のような高速移動天体の観測に適しており, 2022 年 3 月までで 38 個の NEO を発見している (§3.2.2).

これまでに Tomo-e Gozen で発見された NEO には 10 m 前後のサイズのものも含まれているが, われわれはさらに小さい, 数メートルサイズの NEO まで含めて大量発見することを目的としたシステムを開発中である. 本システムは, 様々な移動方向・移動速度を仮定してずらしながら重ね合わせることにより 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 の検出を目指している. 専用計算機を木曾観測所に導入後, プログラムの改修・最適化を進め, 84 チップのうち半分の領域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.

今後の課題は, 美星スペースガードセンターなど他所でのフォローアップ観測をスムーズに実施するための技術・態勢を整えることである. また, 専用計算機の作業領域はデータ I/O 速度がボトルネックになる事を避けるため SSD を用いて RAID0 を構成しているが, Tomo-e Gozen により生成される 3 次元データ量に対して容量不足のため現状は 42 チップ分かつ 3 時間程度のデータ量でもフルとなってしまふ. 全 84 チップ, 一夜分の処理を可能にするために SSD を大容量のものに換装する事を計画している.

MU レーダーとトモエゴゼンを用いた 2020 年ふたご座流星群の同時観測

野中康輝, 阿部新助 (日本大学); 大澤亮, 酒向重行 (東京大学); Daniel Kastinen, Johan Kero (Swedish Institute of Space Physics); 中村卓司, 西村耕司 (国立極地研究所); 渡部潤一 (国立天文台)

本研究では, 直径数 $10\ \mu\text{m}$ ~ 数 10 cm のメテオロイド (meteoroid) のうち, 直径数 $10\ \mu\text{m}$ - 数 $100\ \mu\text{m}$ (質量 $1\ \mu\text{g}$ - $1\ \text{mg}$ 程度) を精度良く決定し, 微小メテオロイドのサイズ 分布を明らかにすることを目的としている. 特に, 本研究では, 電波 (波長: 6.4 m, 周波数: 46.5 MHz) と光学 (波長: 400-800 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を考えている. 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, 構成物質などに複雑に関連すると考えられている. 京都大学生存圏研究所が滋賀県信楽に所有する Middle and Upper Atmosphere レーダ (MU レーダ: 330 Hz) と東京大学木曾観測所の Tomo-e Gozen (2 Hz) を用いた「ふたご座流星群」の極大を含む同時観測を 2020 年 12 月 12 日から 14 日 (20:00-30:00) のうち合計 16 時間実施した. 天候に左右されない 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. 一方, ふたご座流星群極大前後は, 木曾観測所が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 個にとどまった.

ふたご座流星群 (対地速度: 35 km/s) と散在流星 (対地速度: 30-40 km/s) の RCS-等級関係図を図 3.3 に示す. 対地速度のバイアスを考慮して, 散在流星のうち, ふたご座流星群と同程度の速度の流星と比較すると, ふたご座流星群では可視等級の変化に対する RCS の変化が大きい. これは, 明るい「ふたご座流星群」ほど大量の電子がヘッドプラズマ中に生成されて RCS を大きくしたことが推定される. しかし, サンプル数が十分でなく, 統計的な解釈に乏しい. 次に, 図 3.3 から, (Ohsawa et al. 2020) により推定された等級-質量換算式, および RCS 毎の観測視野補正を行い導出した, ふたご座流星群と散在流星の質量分布を図 3.4 に示す.

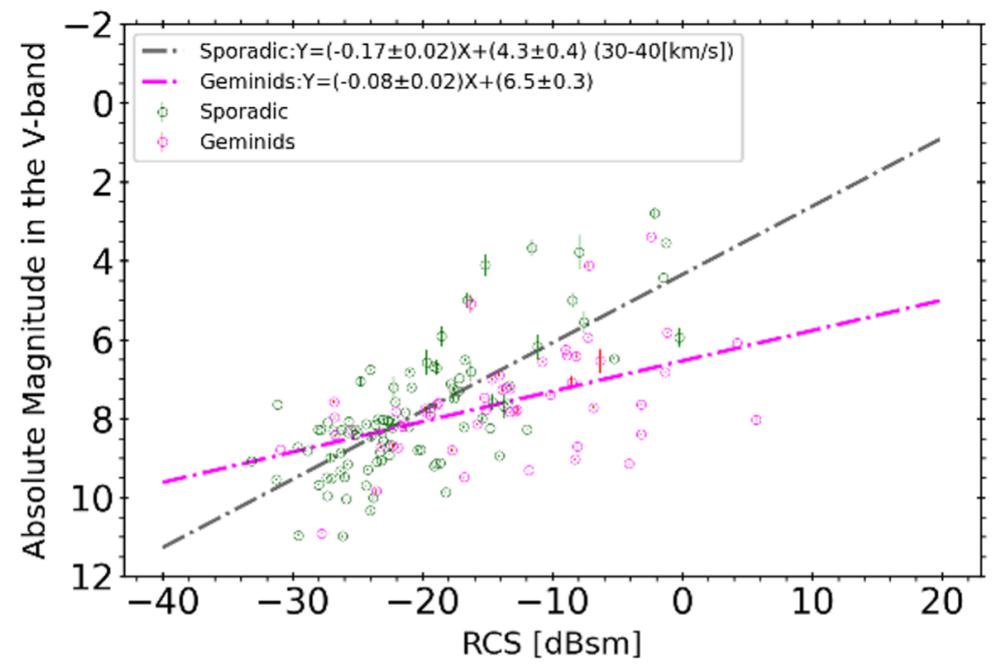


図 3.3: Relationship between RCS and V magnitude of meteors.

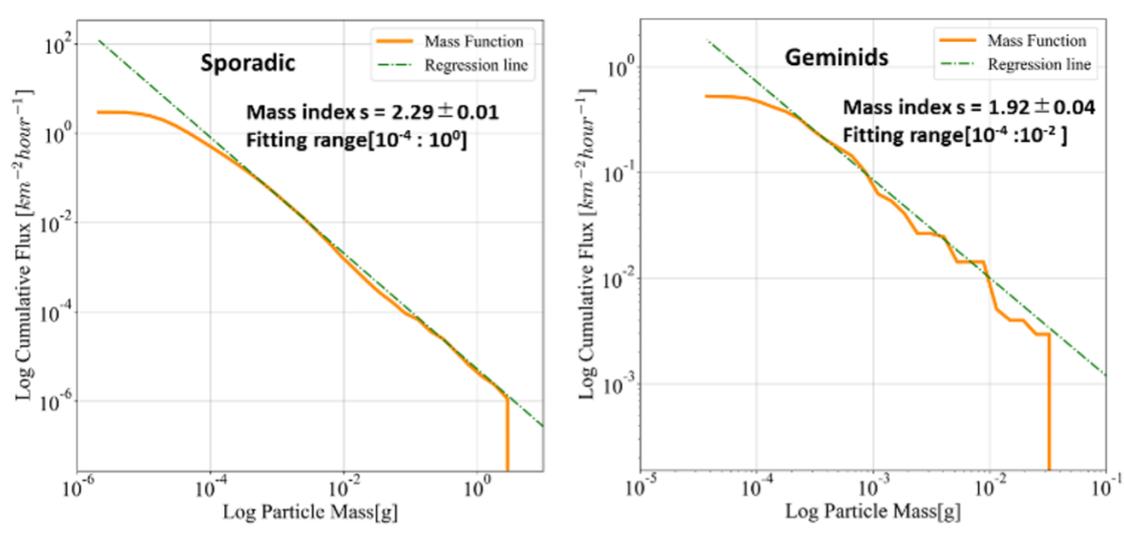


図 3.4: Mass distribution of sporadic meteors (left) and Geminids (right).

ふたご座流星群の母天体である活動小惑星 Phaethon をフライバイ探査する JAXA 「DESTINY+」 ミッションは、2024 年度の打ち上げを予定している。「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繋がり、DESTINY+ 探査機のダスト観測にフィードバックする重要なデータとなるため、今後も継続して「ふたご座流星群」の同時観測データの取得を継続したい。

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); 大澤亮, 河原創, 直川史寛, 有馬宣明, 藤澤幸太郎, 茂山俊和 (東京大学); Hanchun Jiang (南京大学); Tilman Hartwig, 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. Herschel 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、形成進化史の中にいく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。

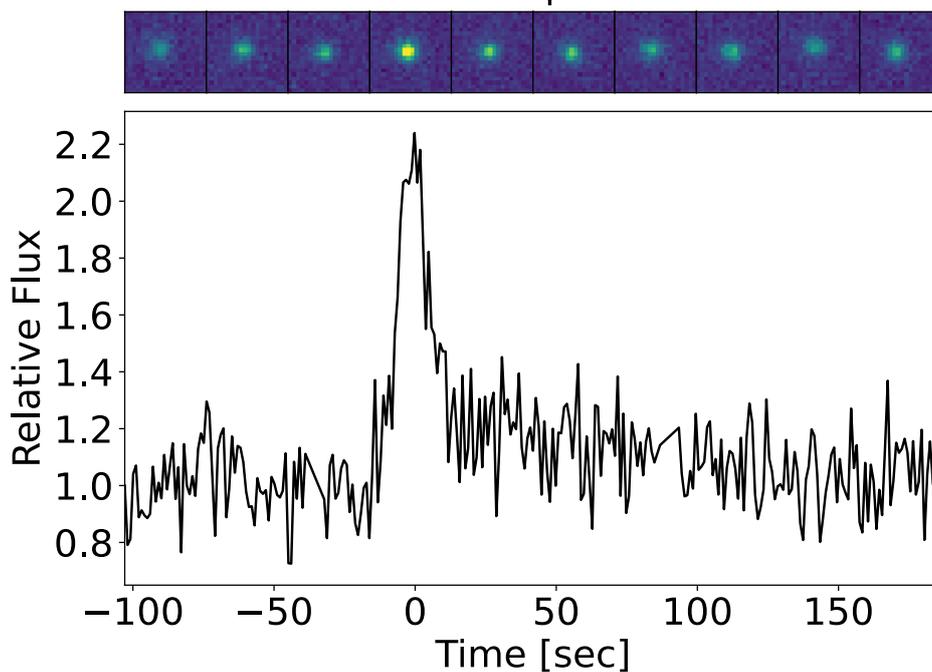


図 3.5: Tomo-e Gozen で観測されたフレアの光度曲線の 1 例。図上部に光度曲線の各時刻に対応する (10 秒積分された) 画像を示しており、光度曲線に加えて画像上でも増光していることがわかる。

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。我々は 2019 年 10 月の Tomo-e Gozen の本格運用開始以後、不定期に 2 Hz 読み出しの探査観測を実施し、他の同種の観測と合わせてこれまでに合計およそ 50 時間分の目的に適したデータを取得している。本年度は取得したデータを用いて M 型矮星の光度曲線を系統的に解析し、その結果 22 の超高速な恒星フレアを発見した (図 3.5 参照のこと)。これらの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、Tomo-e Gozen の高頻度観測によってフレアの立ち上がりから立ち下がりまでの詳細な進化をとらえることができ、特に立ち下がりについては磁気リコネクションによって圧縮された高温なガスから光が抜け出るタイムスケールと無矛盾であることを発見した。これらの結果は論文としてまとめ、論文誌に投稿した。

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(甲南大学), 富永望(国立天文台/甲南大学), 本田敏志(兵庫県立大学), 諸隈智貴(千葉工業大学/東京大学), 青木和光, 金子慶子, 福嶋美津広, 神澤富雄, 三ツ井健司(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。しかしながら、これらの survey はこれまでの探査観測と同様に暗い候補星に注目した探査観測であった。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設計、製作を開始した。

新フィルタホルダ製作と並行して、これまでに行った CaH&K (400 nm, 平行光に対する透過中心波長, 以下同じ), CH (436 nm), Mg (520 nm), CaIR (860 nm) に対応した既製品の狭帯域フィルターをそれぞれ 1 chip ずつ設置したパイロット観測のデータを用いて、Random Forest, Deep Neural Network, XGBoost, LightGBM といった機械学習によって選択された候補星に対して、西はりま天文台なめつ望遠鏡 Medium And Low-dispersion Long-slit Spectrograph (MALLS) を用いた中分散分光追観測 (共同利用時間) を行った。iSpec を用いた自動組成決定スクリプトを製作し、取得したスペクトルをモデルスペクトルとフィッティングすることで $[\alpha/Fe]$ の低い可能性のある星を複数同定した。同定した候補星についてはすばる望遠鏡 HDS を用いた高分散分光観測を提案している。

木曾 Tomo-e Gozen と X 線望遠鏡 NICER による矮新星 SS Cyg の可視光・X 線同時高速観測

西野耀平, 酒向重行, 大澤亮, 瀧田怜, 紅山仁(東京大学); 木邑真理子, 榎戸輝揚(理化学研究所); 山田真也(立教大学); 中庭望(東京都立大学); Keith C. Gendreau (NASA)

本年度は 2020 年 9 月から 11 月にかけて行った Tomo-e Gozen と X 線望遠鏡 NICER による矮新星 SS Cyg の高速同時観測の結果をまとめた。矮新星 SSCyg は 2019 年 8 月以降、静穏時の明るさが X 線で 10 倍、可視光で 2.5 倍増光していた。増光の原因を探るため 2020 年 9 月から 11 月にかけて、Tomo-e Gozen と X 線望遠鏡 NICER の同時光速観測を実施し、4 日分の静穏期のデータセットを取得した。

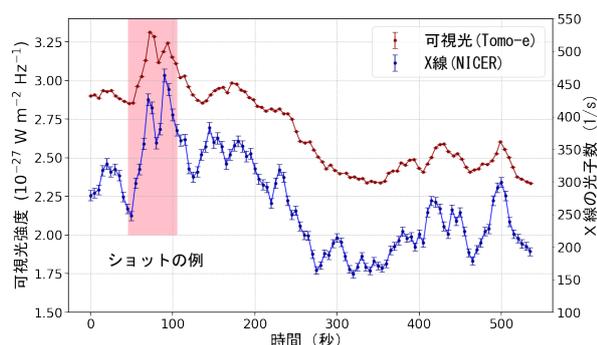


図 3.6: 2020 年 9 月 14 日のライトカーブ. 横軸が時間 (秒), 縦軸が可視光のフラックス密度と X 線のカウントレート. 赤が Tomo-e Gozen, 青が NICER のデータを示しショットの一例をピンクの網掛けで示した.

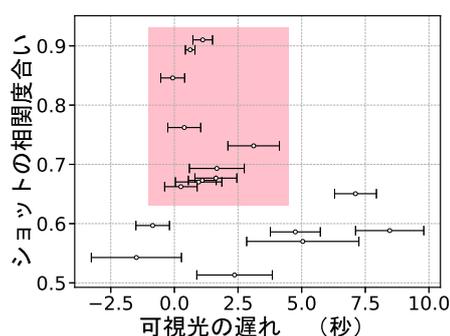


図 3.7: 横軸が可視光の遅延, 縦軸が CCF の最大値を表す. CCF の最大値が 0.65 より大きなショットは一つを除き正の遅延を持つ.

図 3.6 に 2020 年 9 月 14 日のライトカーブを示した. 可視光と X 線の間には高い相関があり, 中には相互相関関数 (以下, CCF) の最大値が 0.85 を超える日もあった. 相関の原因を調べるために, ライトカーブ中の急激な山 (以下, ショット) を抽出し, AGN の分野でよく用いられる手法で遅延解析を行った. 計 17 個のショットを抽出し, CCF の最大値が 0.65 よりも大きなショットでは可視光が X 線に対し 0.26 から 3.4 秒遅延していることがわかった (図 3.7 参照). この遅延が白色矮星中心付近の高温プラズマから円盤外縁まで光速でかかる時間 ~ 1.7 秒とおおよそ一致していることから, 観測時の SSCyg では X 線が円盤を温めて可視光を再放射させる X 線照射が卓越していると示唆された.

本成果をまとめた論文は 2022 年 5 月 17 日に *Publications of the Astronomical Society of Japan* から出版された (Nishino *et al.*, 2022, PASJ, psac027). また東京大学理学系研究科からプレスリリースを行った¹.

Fastest Optical Flash from SN Ia 2020hvf

Ji-an Jiang, Ken'ichi Nomoto (Kavli IPMU); Keiichi Maeda, Miho Kawabata, Masayuki Yamanaka, Keisuke Isogai, Ko Arimatsu, Kenta Taguchi, Kohki Uno (Kyoto University); Mamoru Doi, Yuu Niino, Shigeyuki Sako, Ryou Ohsawa, Naoto Kobayashi, Hidenori Takahashi, Tsutomu Aoki, Sohei Kondo, Yuki Mori, Noriaki Arima, Jin Beniyama (IoA, The University of Tokyo); Toshikazu Shigeyama (RESCEU, The University of Tokyo); Masaomi Tanaka (Tohoku University); Nozomu Tominaga (Konan University); Malte Schramm (Saitama University); Tatsuya Nakaoka, Koji S. Kawabata, Taisei Hamada (Hiroshima University); Toshihiro Kasuga (NAOJ); Shin-ichiro Okumura, Seitaro Urakawa (Bisei Spaceguard Center); Daniel E. Reichart (University of North Carolina at Chapel Hill)

An international team lead by Dr. Ji-an Jiang discovered the fastest early flash of a peculiar Type Ia supernova, SN 2020hvf, in about 5 hours of the supernova explosion by the Tomo-e Gozen Camera in April, 2020. The fast evolution of the early flash was successfully captured by intensive intranight observations via the Tomo-e Gozen transient survey. Numerical simulations show that such a prominent and fast early emission is most likely generated from an interaction between a confined circumstellar material (CSM) and supernova ejecta soon after the explosion. On the basis of the CSM-induced prompt early excess, the over-luminous light curve, and the high ejecta velocity of the SN 2020hvf, the team suggests that the SN 2020hvf may originate from a thermonuclear explosion of a super-Chandrasekhar-mass white dwarf. Systematical in-

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』
<https://www.s.u-tokyo.ac.jp/ja/press/2022/7889/>

vestigations from the very early phase via ongoing/upcoming high-cadence time-domain surveys are required to figure out the origin(s) of SN 2020hvf-like supernovae.

This work has been published in ApJL (Jiang, J., et al 2021) and reported by many Japanese social media. Press releases have been made by the University of Tokyo, Kavli IPMU, Kyoto University, and Hiroshima University.

Tomoe Gozen による秒スケール突発天体探査のための動画データ解析パイプラインの開発

有馬宣明, 土居守, 酒向重行, 新納悠 (東京大学・天文学教育研究センター); 諸隈智貴 (千葉工業大学/東京大学), 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)

ガンマ線や電波領域では, 継続時間が極めて短いガンマ線バースト (GRB; \sim 秒, $E \sim 10^{52-54}$ erg) や Fast Radio Burst (FRB; \sim ミリ秒, $E \sim 10^{38-40}$ erg) といった高エネルギー突発天体が知られている. 典型的に十数秒の読み出し時間を要する CCD 検出器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, GRB や FRB の対応天体を含んだ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 Tomoe Gozen の高い時間分解能 (\sim 1 秒) と 20 平方度の広い観測視野を活かした短時間の突発天体探査を行っている. 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 (FITS ファイル) を解析し, 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 ベースのパイプライン (TomoePipe) を開発している. TomoePipe では 3 次元 FITS をインプットデータとし, まず median スタッキングにより 120 秒積分に相当する 2 次元スタック画像を作成する. スタック画像から明るい星を選んで Gaussian フィットによりモデル PSF を作成し, PSF との畳み込み演算により検出感度を最適化した天体検出を各フレームに対して走らせる. 各フレームで検出されたソースをスタック画像に写る天体と照らし合わせて, フレーム画像にのみ写る天体のリストをカタログとして出力させる. 宇宙線や欠陥のあるピクセルの誤検出といった, 輝度分布が Gaussian 的でないソースや, 流星などの伸びた形状の天体を弾いたのち, 北天領域を全てカバーしている可視光の Pan-STARRS (PS1) カタログとのクロスマッチをかけ, PS1 に写る既知の天体を除いたソースを最終的に目視で画像チェックをするという流れになっている. 本執筆時点で一通りの機能を備えた解析パイプラインが出来上がった.

太陽光の反射によって短時間だけ光る人工天体の誤検出を最小化するため, 地球の影の中心方向に向けて観測した約 50 時間分 (探査視野 \times 時間 ~ 850 deg²·hours) のデータに対して, 開発した TomoePipe を走らせた. 観測日のコンディションによるが典型的には PS1 の *r*-band で 17 mag \sim 18 mag よりも明るいソースに絞って候補天体画像の目視チェック (~ 500 件) までを終えた. その結果, 2 フレーム (2 秒間) のみで光る明るめ (~ 16 mag) の候補天体が 1 例といくつか (< 10) の移動天体が見つかった. この候補天体の座標には 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. 本候補天体については今後詳細に調べていく予定である. 加えてこれまでの全観測データの限界等級を算出し, 既知の天体現象 (GRB, FRB など) と比較しながら, 秒スケール突発天体現象の発生率の上限値の議論を含めて論文化を進めていく.

明るい銀河面重力マイクロレンズイベント Gaia21efs のフォローアップ観測

福井暁彦 (東京大学先進科学研究機構); 河原創 (東京大学地球惑星科学専攻); 鈴木大介 (大阪大学); 越木直季 (NASA/大阪大学); 大澤亮, 酒向重行 (東京大学天文学教育研究センター)

惑星系の重力レンズ効果を利用した「重力マイクロレンズ法」による系外惑星探索は, これまで専ら惑星発見確率の高い銀河中心方向で行われてきた. しかし, 同方向で発見される惑星系は太陽系からの距離が遠く, 発見後の詳細追観測が困難という欠点がある. 一方, 近年 Gaia 衛星による全天測光モニター観測により, 銀河面において年間数十例の恒星由来の重力マイクロレンズイベントが発見され, アラートが発信されている. これらのイベントではレンズ天体が比較的近傍に位置する確率が高く, かつ銀河中心方向ほど星が密集していないため

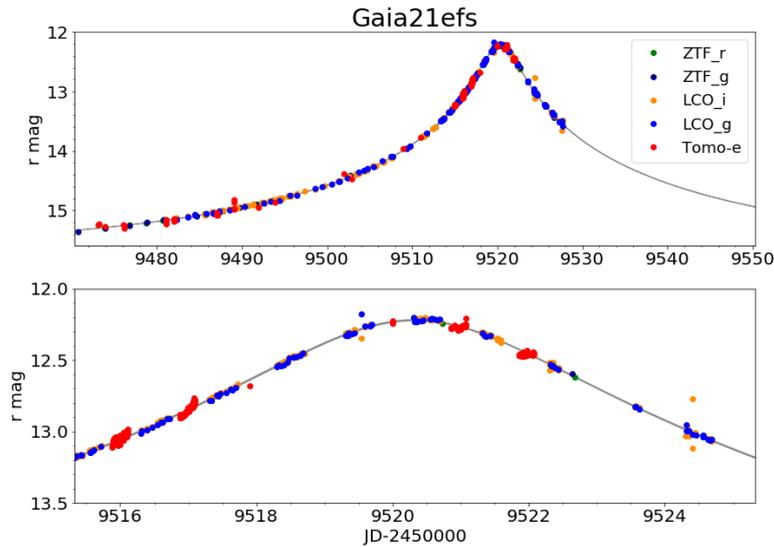


図 3.8: (上図) 銀河面で発見された明るい重力マイクロレンズイベント Gaia21efs の地上フォローアップ光度曲線. 赤い点が Tomo-e Gozen によるデータを示す. (下図) 増光ピーク付近の拡大図.

高い測光精度を得られやすいという利点がある. なかでも, 最大増光率が 10 倍を超えるような高増光率イベントは, 増光ピーク付近で惑星シグナルの検出確率が高くなるため, 即時フォローアップ観測が特に重要となる.

我々は 2021 年 9 月に Gaia で発見され, 11 月に最大増光率が約 20 倍に達すると予想された明るい銀河面重力マイクロレンズイベント Gaia21efs について, Tomo-e Gozen のアーカイブデータから増光途中の光度曲線を抽出するとともに, 増光ピーク前後の 5 日間に渡って Tomo-e Gozen 自身による高頻度のフォローアップ観測を実施した (図 3.8). その結果, 残念ながら同イベントでは惑星シグナルは検出されなかったが, 世界の他の望遠鏡でデータが撮られてない時間帯の貴重なデータを取得することができ, 突発天体フォローアップにおける Tomo-e Gozen の重要性が再確認された.

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)

宇宙空間は人類がこれまでに打ち上げてきた人工物, その破片で混雑しており特に低軌道 (高度 2000 km 以下) では深刻で衛星同士の衝突も過去におきている. このような状況を放置すればいずれ人類が宇宙を使えなくなる日がくることが懸念される. Tomo-e Gozen はこれまでにない広視野かつ高時間分解能の大規模データの供給が可能であり, 大量の低軌道デブリが写りこんでいる. JAXA ではこれまでに開発した技術を応用し, 低軌道デブリが Tomo-e Gozen の画像データ上に残す線状の軌跡を検出する GPU 解析システムを構築した. GPU ボード NVIDIA QUADRO RTX8000 を 4 枚搭載し (図 3.9 (左) 参照), Tomo-e Gozen から吐き出される 42 素子分の CMOS データをほぼリアルタイムで解析できる. 図 3.9 (右) に検出した軌跡の例を示す. 上段の各イメージは Tomo-e Gozen の 1 素子分の画像データであり写りこんでいる低軌道デブリの軌跡を赤丸で示している. 下段は軌跡の拡大図である. 本システムでの検出限界等級はおよそ 12 等級で, 高度 1000 km, 反射率 0.1 の拡散反射, 位相角 90 度を仮定するとおよそ 20 cm 程度である. 検出した軌跡のおよそ 25% が未カタログの物体であった. 今年度はこのシステムを木曾観測所に持ち込み, 実観測データを利用したリアルタイム解析を

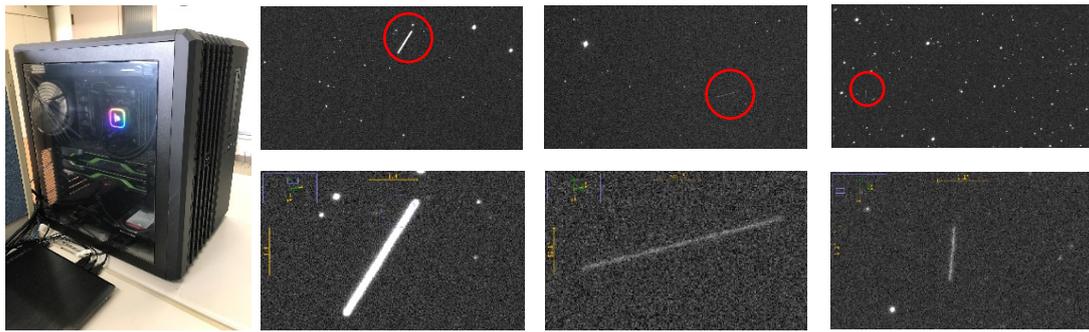


図 3.9: (左) GPU 解析システム; (右) 低軌道デブリ検出例

実施し、検出された未カタログ低軌道デブリを JAXA 所有の豪州遠隔観測施設を利用して追跡観測を行い、高精度軌道決定を行いたい。

Tomo-e Gozen 動画データにおける短時間突発現象の探査

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); 大澤亮, 酒向重行 (東京大学); 富永望 (国立天文台); 諸隈智貴 (千葉工業大学/東京大学); 吉田直紀 (東京大学)

超広視野高速カメラ Tomo-e Gozen によって、宇宙における短時間突発天体の発見や、地球を周回する人工物体の観測のためのユニークなデータが得られている。我々は、Tomo-e Gozen の動画データで短時間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。

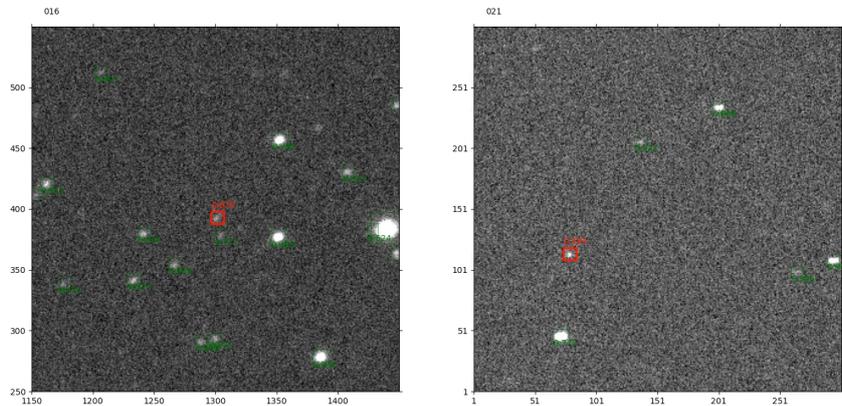


図 3.10: Tomo-e Gozen で取得された動画データで検出された通常天体 (緑) と突発天体 (赤)。

昨年度開発した SSD を使った手法は、動画の連続する時系列を 3 もしくは 5 フレーム入力し、その中から 1 フレームだけ現れる天体を検出するよう設計されていた。今年度は、さらに汎用性を高めるべく、EfficientDet を用いて任意の一部分のフレームのみに現れる天体 (例えば 2 フレーム連続で現れる現象) まで検出できる手法を開発した。これらの手法を人工的に埋め込んだ突発天体でテストしたところ、どちらの手法においても 90% 以上の検出効率を達成することが確認できた。

この手法を Tomo-e Gozen で実際に取得された動画データに適用することで、図 3.10 のように短時間突発現象が多く発見されつつある。さらに多くのデータを解析することで、宇宙における短時間突発天体の発生頻度に制限を与えると同時に、地球周回物体による短時間発光現象の頻度や光度分布を明らかにできると期待される。

異常検知によるライトカーブ突発現象の解析

Thanapol Phungtua-eng, 鈴木健太, 山本泰生 (静岡大学); 酒向重行 (東京大学)

高時間分解能で観測される大量のライトカーブデータから稀に発生する突発変動現象を早期発見するリアルタイム検知技術を開発している。一般的な異常検知のアプローチでは、まず正常系の生成モデルを獲得し、モデル予測との差をもとに外れ値を検出する。他方、ライトカーブは S/N が低く、正常系の生成モデルを学習することが難しい。また、未知の変動現象を対象とするため、変動現象の形状や頻度、強度等を事前に想定することも難しい。このような極めてノイズフルな時系列データから未知の変動現象をリアルタイム検知することが求められる。自然科学系の観測データに共通する汎用的な課題だが、そのソリューションは十分整備されていない。本研究では、既存のモデルベースの異常検知法と、近年活発に研究が進められているデータ要約に基づく事例ベースの異常検知法をもとに、この課題にアドレスしている。

- [1] 鈴木健太, 山本泰生: ランダムカットフォレスト法を用いたライトカーブの突発現象検知, 第 35 回人工知能学会全国大会 (2021.6)
- [2] Thanapol Phungtua-eng, Yoshitaka Yamamoto and Shigeyuki Sako: Detection for transient patterns with unpredictable duration using Chebyshev inequality and dynamic binning, CANDAR'21 WANC International Workshop, pp. 454-458, DOI: 10.1109/CANDARW53999.2021.00084 (2021.11)

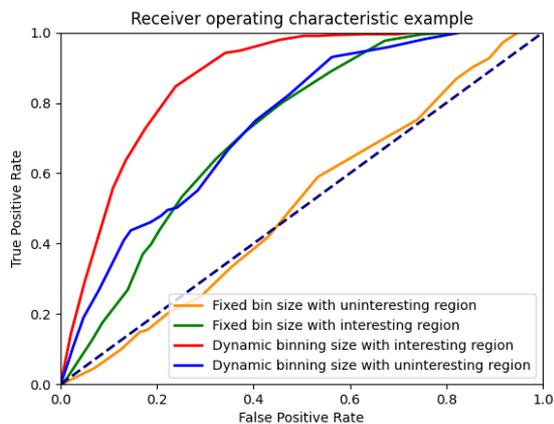


図 3.11: DB 法による検知精度 (ROC)

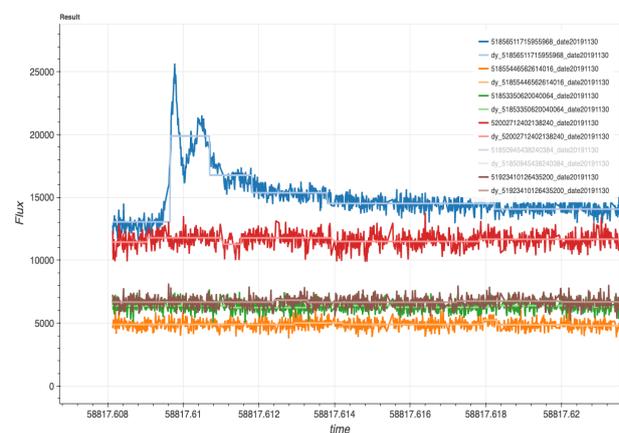


図 3.12: ビューアの表示例

モデルベース異常検知法として、今年度は、ランダムカットフォレスト (Random Cut Forest, RCF) を用いた性能評価を行った [1]。RCF は低頻度の突発的スパイクイベントの発見に適した異常検知法として知られる。次に、事例ベースの異常検知法として、ダイナミックビニング (Dynamic Binning, DB) によるデータ要約とチェビシェフ不等式を組み合わせた突発検知法を開発し、性能評価を行った [2]。ライトカーブデータに人工的な突発波形を付加して作成したベンチマークでは、RCF より DB の方が高い検知性能となっている。図 3.11 に DB 法の ROC 曲線を示す。さて、個々のライトカーブに出現する突発現象が天体由来のものかどうかを判定するには、同一フレームの同一時刻に観測される別のライトカーブを調べることが必要となる。本研究では、

自動検知された突発現象に対して、その近傍のライトカーブとあわせて表示する解析用のビューアを開発している(図 3.12)。現在、逢澤正嵩氏(李政道研究所/上海交通大学)、樫山和己氏(東北大学)らの研究グループから提供頂いた M dwarf のデータを用いて、検知法の性能評価と改良を進めている。

3.2.3 写真乾板を用いた研究

シュミット乾板のデジタル化とその公開

中嶋浩一(一橋大学); 宮内良子(国立天文台); 青木星(明星大学); 青木勉, 征矢野隆夫, 小林尚人, 樽澤賢一, 森由貴(東京大学・木曾観測所); 猿楽祐樹(京都産業大学); 古澤順子, 市川伸一(国立天文台)

木曾観測所の 105cm シュミット望遠鏡で撮影された写真乾板は 1975 年の観測開始から 1999 年までに 7039 枚が登録されている。1999 年以降写真乾板による観測は行われていないが、すべての乾板が観測所内の保管庫に収納されている。これらは、天体現象の数十年スケールの時間変動や突発現象の研究に有効に利用されるデータを提供するものであり、貴重な資料として保存されねばならない。また、これらは保存だけでなく有効な利用を可能にするためにデジタル化して公開することも重要である。本プロジェクトはこのような観点から、木曾観測所のシュミット乾板をすべてデジタル化する目的で 2015 年に開始され、2019 年 3 月の段階で全ての乾板のデジタル化が完了した。測定されたデータは国立天文台天文データセンター (NAOJ/ADC) の SMOKA グループにより DB 化し、検索システムの開発を行った上で、2019 年 9 月 11 日より公開が開始されている。SMOKA は、日本の光赤外大口径望遠鏡の統合的な観測データアーカイブシステムである。観測者占有期間が終了した公開観測データをインターネットを介して配布しており、研究・教育目的であれば、誰でもデータを取得することが可能である。

本年度は、データアーカイブの紹介記事「東京大学木曾観測所写真乾板のデジタル化」が天文月報 2021 年 8 月号に掲載され、データアーカイブの存在を周知することができた。また、1989 年に日本天文学会より監修・頒布された木曾観測所スライドセット「遙かなる宇宙へ」のために撮影されたカラー写真のフィルム 132 枚のスキャンデータが、写真乾板と同じデータアーカイブシステムで 7 月から公開を開始した。写真乾板と同サイズの 36cm 角の大型カラーフィルム (サクラカラー SR1600) で撮られた広視野のカラー写真のデータは、教育・広報目的に有用であると考えられるため、広く利用されることを願っている。カラーフィルムのデータ公開をもって、予定したデータのデジタル化と公開が全て完了した。

3.2.4 望遠鏡とドームの保守, 整備

105cm シュミット望遠鏡

2021 年度のシュミット望遠鏡関連の整備項目は以下の通りである。

- ドームスリット部分の改修

2020 年 7 月の木曾地方集中豪雨によるシュミットドームスリットからの雨漏り被害への対応として、ドームスリット部分の改修を行った。2021 年 6 月初旬からドーム外側に足場を組み、スリット戸当たり部のゴム交換を行なった。隙間調整のためのスポンジ状の緩衝材の劣化が主原因であったが、ゴム部も前回の交換から四半世紀が経っており、各所にヘタリが見られていたため、今回交換に踏み切った。このゴムは市販品ではなく、適度な弾力性を持たせるように中心部が空洞の専用の形状のものとなっている。古いゴムの取り外し・新しいゴムの設置を行なったのち、スリット上段から下段までの間隔を測定し、スリットを閉じたときに隙間がなくなるように、スポンジ状緩衝材の厚さを調整しながら貼り付けた。最終的にはスリットの最上部から最下部までのおよそ 12m に亘って隙間がない状態を実現している。その他には、雨

の吹き込みが懸念される場所の修繕を行なった。具体的にはスリットのスリット両サイドのドーム壁面および戸当たり部・妻部からの吹き込み防止処理で、ドーム内側に足場を組んで行われた。これらの修繕を行なった後は問題となる雨漏りは生じていない。

- 主鏡の再蒸着

集中豪雨時に望遠鏡鏡筒内に水が溜まった際、一旦主鏡セルの取り外しおよび内部の拭き取り・乾燥を行ったが、主鏡の反射率の低下や金属膜の腐食など長期的な劣化が懸念されるため、主鏡再蒸着を実施した。蒸着は2012年以来9年振り7回目である。蒸着は前回と同じ国立天文台岡山天体物理観測所で行われた。蒸着に先立ち、8月にはフィラメントのアルミニウムプレウエットも行なった。タングステンフィラメントの仕様が若干変更になったため、歩留まりがやや低かったが、必要個数は確保することができた。蒸着は11月10-11日に行われた。11月8日に主鏡を望遠鏡から取り外し、輸送箱に梱包、9日に岡山へ向けて発送した。10日は朝から荷下ろし、開梱、主鏡の状態確認、反射率測定、純水洗浄、水酸化ナトリウムによる蒸着膜剥離、再洗浄、反射率測定、窯入れ、真空引きを行い、同日夕方にファイアリングを実施した。主鏡の窯内での固定に不具合があったが、傾けには問題ないことを確認し、そのまま続行した。翌11日に窯出し、鏡面確認、反射率の測定の後、輸送梱包を行い、木曾へ向けて搬送した。トラックへの積み込み時、トラック床板の破損などがあったが、主鏡に影響はなかった。なお、今回の蒸着において、今後の反射率の経年変化のモニターに利用することを目的に複数のサンプル鏡も製作し、シュミット望遠鏡3箇所（主鏡縁、ミラーカバー、鏡筒先端）に固定している。

- 望遠鏡制御系

- － 本来は望遠鏡の機械座標での制御を意図したコマンドが、計算上の天体（天空）座標での制御になっていたため、機械座標での制御に変更した。例えば、今まではドームフラット画像取得時のフラットスクリーンに向ける動作において、望遠鏡の方向が日時によって僅かにずれていたのだが、この変更によって常に同じ方向に向くことが可能になった。
- － 観測時のポインティングのずれがこれまでは分角レベルあったが、日々のトモエゴゼンの観測データを使ってポインティングの補正パラメータを作成、適応することで、そのずれを10-20秒角以下まで改善した。この値のチェックは日々行っているが、PAへの反映は状況を見て判断している。
- － 望遠鏡制御PC（ontake）のソフト関係の更新も継続して行なっている。
- － スリットが開いている状態で電源を失うとスリットが開いたままになる危険性がある。それを回避するためにスリット開閉電源用の無停電電源（UPS）を導入した。しかし、これまでの電気系の配線・回路やモータ停止のパラメータが変更になったため、スリット開閉の不具合が生じた。スリットが常時開放状態になる不具合は解消されたものの、スリット閉鎖時にわずかな隙間ができることが観測された。これはリミットスイッチが効く条件がこれまでと異なっているためである。この点は全体回路やロジック、パラメータの修正で調整を試みている。

- その他2021年度に行なったメンテナンスも以下の通りである。

- － シュミット補正板清掃
- － 20cm 案内望遠鏡レンズ清掃
- － トロリー架線点検
- － ドーム～制御室のネットワークケーブルの整理
- － スリット扉リミットスイッチの交換
- － RA 駆動ギアホイールピンの緩みを修正

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、一昨年度および昨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。2021 年度は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なった。また、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。2021 年度は 30cm 望遠鏡を用いて、木曾観測所サポーターズクラブ員への講習会や変革を駆動する先端物理・数学プログラム天文学観測基礎 (FoPM) 実習を行った。

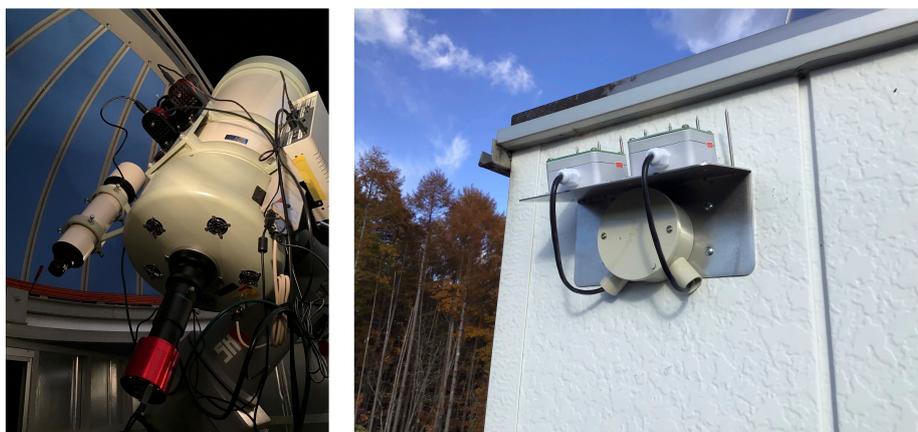


図 3.13: (左) CMOS センサーを搭載した 30cm 望遠鏡. (右) 雨滴センサー.

3.2.5 計算機の保守, 整備

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。

- 突発天体サーベイ用計算機 lustre2 新規受入, 運用開始 (7 月)
- 望遠鏡・ドーム制御用計算機をバックアップ機へ切り替えて運用開始 (9 月)
- 突発天体サーベイ用計算機 gwdata2 新規受入, 運用開始 (2 月)
- Tomo-e Gozen データアーカイブシステムのためのラック#2・UPS を本館計算機室に新規導入 (2 月)
新規ラックの導入スペースを確保するため、既存ラックを移動して本館計算機室のレイアウトを更新した。
- Tomo-e Gozen データアーカイブシステムに計算機 tomoearyv-node3 とストレージ拡張ユニット 2 台を新規導入 (3 月)

この計算機はこれまでに導入してきた計算機に比べて容量が大きい。一方でネットワーク帯域やディスク入出力速度はこれまでの計算機と同程度であるため、取得してから時間が経過したファイルを退避させるためのストレージとして使用することを計画している。

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
SMOKA 計算機への RAW データ転送のため、`tomoebuf-node3` に 10GbE のネットワークカードをインストールし、SMOKA 用の 10GbE 所内ネットワークへ接続した (6 月)。
- Tomo-e Gozen アーカイブシステム
RAID ストレージ再構築と `tomoeearv-node0` のハードディスク換装を行い、容量を拡張した。(6 月)。詳細は 3.2.1 を参照。
- 突発天体サーベイ用計算機
昨年度導入した突発天体サーベイ用の新ラック (ラック#4) に 10GbE と 1GbE のネットワークスイッチを導入した (7 月)。1GbE のスイッチはポート数の多いものを選び (48 ポート)、偶数ポートは理学系管理の 1GbE ネットワーク、奇数ポートはメンテナンスポート (IPMI) 用のネットワークにつながるよう VLAN を設定した。ラック#4 の立ち上げに伴い、`shinohara12` をラック#3 からラック#4 へ移設した (8 月)。突発天体サーベイ用の各計算機のメンテナンスポート (IPMI) に固定 IP アドレスを設定してラック#4 のネットワークスイッチへ接続し、遠隔からの電源操作等が可能となるよう整備した (12 月)。ラック#2 の導入に伴う本館計算機室のレイアウト変更のため、ラック#3 の各計算機の 1GbE ネットワーク用 LAN ケーブルをラック#4 のネットワークスイッチへつなぎ替え、突発天体サーベイ用計算機群で 1 つのスイッチを使うように整理した (2 月)。
- 本館計算機室の整備
本館計算機室の 4 個の 200V 電源 (三相 30A) について、各相の使用状況に偏りが出ないようにコンセントにラベリングを行い、ラック#1 のコンセント差し込み先を変更して偏りを是正した (6 月)。

障害対応

- Tomo-e Gozen アーカイブシステム
`tomoeearv-master` と通信できない状況が発生した (10 月)。システム、あるいはネットワークがハングアップしたと考えられる。システムのメンテナンスポート (IPMI) を経由して再起動することで対処した。
- Tomo-e Gozen データ解析用計算機
(`tomoeared-support`) の LVM ストレージがディスク故障のためロストした (11 月)。残されたディスクでストレージを再構築して対処した。
- Tomo-e Gozen データ取得用計算機
観測データに記載されている GPS タイムスタンプに不正な時刻が記入されていることを発見した (12 月)。GPS ロガーの起動時に適切に初期化を実施することによって対処した。なお、タイムスタンプの値が正常値から大きく外れている場合には、データ解析段階でエラーとして報告される。キャリブレーションデータをとり取る前に異常事態として検出したためサイエンス観測への影響はなかった。
- Tomo-e Gozen 一時保存用バッファ計算機
計画停電からの復帰後に (`tomoebuf-node[0123]`) がネットワークに接続できないという問題が起きた

(12月). これらの計算機は DHCP でネットワークに接続しているが, 計算機の立ち上げ時に正常に IP アドレスを取得できなかったと考えられる.

- 突発天体サーベイ用計算機

shinohara12 が時々フリーズする問題が発生した (6月). SSD を交換し, OS を再インストールして対応した. ハードディスク障害が lustre で 3回 (6月15日, 7月14日, 1月4日), gwkiso で 1回 (2月25日) 発生し, ハードディスクを交換した.

- 望遠鏡・ドーム制御用計算機

3月8日の計画停電の後に, ND フィルターのターレットが制御できなくなる問題が発生した. 制御用の I/O ボードが旧 ontake のものと異なっており, 不具合が発生したものと思われる. I/O ボードを交換して対応した.

- 停電対応

8月1日19時ごろに, 雷のため停電が発生した (8月2日10時頃に復帰). 停電時に自動シャットダウンを行うソフトウェアがインストールされていなかった計算機の一部は異常シャットダウンしてしまったため, UPS に接続している全計算機にソフトウェアをインストールして対策を行った.

3.2.6 ネットワーク・通信機器の保守, 整備

- 木曾広域ケーブルテレビ光化 (9月)

木曾広域ケーブルテレビ全線光化事業により, テレビ用の同軸ケーブルが光ケーブルに置き換えられた. 建物までの配線に加え, 食堂までの屋内配線と音声告知端末も更新された. この機会に BS パススルーの設定も行った.

- 本館屋上電源・ネットワークコンセントの整備 (10月)

本館屋上への観測機器等の設置の需要が増えてきたため, 屋上に電源とネットワークのコンセントを新設した. LAN ポートは PoE 対応とした. 既存の機器では実験室から電源・ネットワークを引いて使用していたが, 今後は屋上のコンセントへ集約する予定である.

- ネットワークスイッチのコンセント改良 (11月)

本館計算機室ネットワークスイッチの UPS のコンセントにアース線を追加し, 差し替えを行った.

- 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.

3.2.7 データアーカイブ

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. アーカイブデータの運用に関しては, データベースの構築を含め, 国立天文台天文学データ解析計算センターの全面的な協力を得て行なわれている. データ解析計算センターでは観測データから観測天体, 観測者名などのヘッダ情報をデータベース化し, 1年以上経過し

た観測データの各種情報を公開し、観測データを請求に応じて配布する作業を行っている。2021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155フレーム、2KCCD のデータは72フレーム、KWFC のデータは7621フレームの利用があった。4月30日には KWFC の位置較正情報の提供が開始され、請求データの FITS ヘッダに WCS が書き込まれるようになった。

- 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

2019年9月から写真乾板デジタルアーカイブ「SMOKA Photographic Plate Archive」の運用が開始され、プレート番号や座標を指定してデータの検索・取得が行えるようになっている。本年度は132枚のカラーフィルムのデジタルデータの公開を開始した(7月)。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。カラー画像への変換方法の一例を手順書として作成し、webに掲載した。カラーフィルムデータの使用条件については、研究・教育目的の使用は SMOKA の方針に準じ、出版物や広報目的の場合は木曾観測所ホームページ上の画像使用の方針と同じとして、クレジットの明記と申請書の提出を課すこととした。

- Tomo-e Gozen 観測データ

Tomo-e Gozen で取得した観測データの SMOKA での公開を2021年11月1日に開始した。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日までの「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い。今後、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を追加し、2023年4月から新たなデータの公開を再開する予定である。

データの公開に向けては、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、10 Gbps 外部ネットワークを経由して、国立天文台に設置された SMOKA の計算機へ転送した。SMOKA 計算機までの間に何らかのボトルネックがあって400Mbps以下の転送速度しか出なかったため、2019年10月1日~2021年5月14日までのデータ(約250TB)を転送するのに5月26日から9月10日までの期間を要した(マニュアル操作も介したため、全期間で連続的に転送を行っていたわけではない)。

2022年3月からは、SMOKA への RAW データの転送も開始した。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1.8TB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。3 か月程度で磁気ディスクユニットの容量が埋まる見込みであるため、約 3 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す計画である。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。

3.2.8 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波長連続的なデータ取得が可能なチリ・チャナントール山頂の miniTAO/近赤外線カメラ ANIR に搭載された, 大質量星の検出に有効な 2 枚の狭帯域フィルター ($N187=1.875\mu\text{m}$, $N207=2.07\mu\text{m}$) と Ks バンドフィルターで得られたものである。N187 は通常地上からは検出が非常に困難な電離水素 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)

miniTAO/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。この分光モジュールの開発のキーとなるのは、冷却下において駆動をサブミクロン以下の精度で行わなければならないところにある。そのため駆動素子の選定が重要であり、様々な種類の検討や入手性の調査を行い、最終的に機械的な使用環境や精度、光学的な分光性能を満たすピエゾ素子を選定・入手した。さらにアクティブ且つクローズドループでエタロン間隔を制御するには、エタロンギャップの絶対値を知る必要があるが、使用環境や精度を考慮し、静電容量型のギャップセンサーを採用・入手した。他にこれまでに近赤外1~2.5 μm において高い反射率（~95%）を維持する平行平面基板（エタロン）も保有しており、開発のメインとなるコンポーネントは揃ったことになる。これらの機械的制限を基に駆動機構全体の設計を行った。一方のエタロンを保持する可変部には引きバネを用いるもの、摺り割（平板バネ）型、フレックスピボット（十字板バネ）タイプなどがあり、各々のメリット・デメリットを考慮し、最適化を図っている。

3.2.9 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のものについては再掲した。

欧文論文

[2021]

1. Ren, F.; de Grijs, R.; Zhang, H.; Deng, L.; Chen, X.; Matsunaga, N.; Liu, C.; Sun, W.; Maehara, H.; Ukita, N.; Kobayashi, N.
“Eclipsing Binary Populations across the Northern Galactic Plane from the KISOGP Survey”
The Astronomical Journal, Volume 161, Issue 4, id.176, 14 pp. (04/2021)
2. Arimoto, M.; Asada, H.; Cherry, M. L.; Fujii, M. S.; Fukazawa, Y.; Harada, A.; Hayama, K.; Hosokawa, T.; Ioka, K.; Itoh, Y.; Kanda, N.; Kawabata, K. S.; Kawaguchi, K.; Kawai, N.; Kobayashi, T.; Kohri, K.; Koshio, Y.; Kotake, K.; Kumamoto, J.; Machida, M. N.; Matsufuru, H.; Mihara, T.; Mori, M.; Morokuma, T.; Mukohyama, S.; Nakano, H.; Narikawa, T.; Negoro, H.; Nishizawa, A.; Ohgami, T.; Omukai, K.; Sakamoto, T.; Sako, S.; Sasada, M.; Sekiguchi, U.; Serino, M.; Soda, J.; Sugita, S.; Sumiyoshi, K.; Susa, H.; Suyama, T.; Takahashi, H.; Takahashi, K.; Takiwaki, T.; Tanaka, T.; Tanaka, M.; Tanikawa, A.; Tominaga, N.; Uchikata, N.; Utsumi, Y.; Vagins, M. R.; Yamada, K.; Yoshida, M.
“Gravitational wave physics and astronomy in the nascent era”
Progress of Theoretical and Experimental Physics, ptab042 (04/2021)
3. Taniguchi, D.; Matsunaga, N.; Jian, M.; Kobayashi, N.; Fukue, K.; Hamano, S.; Ikeda, Y.; Kawakita, H.; Kondo, S.; Otsubo, S.; Sameshima, H.; Takenaka, K.; Yasui, C.
“Effective temperatures of red supergiants estimated from line-depth ratios of iron lines in the YJ bands, 0.97-1.32 μm ”
Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, Volume 502, Issue 3, pp.4210-4226 (04/2021)

4. Ohgami, T.; Tominaga, N.; Utsumi, Y.; Niino, Y.; Tanaka, M.; Banerjee, S.; Hamasaki, R.; Yoshida, M.; Terai, T.; Takagi, Y.; Morokuma, T.; Sasada, M.; Akitaya, H.; Yasuda, N.; Yanagisawa, K.; Ohsawa, R.
“Optical follow-up observation for GW event S190510g using Subaru/Hyper Suprime-Cam ”
Publications of the Astronomical Society of Japan, Volume 73, Issue 2, pp.350-364 (04/2021)
5. Arima, N.; Doi, M.; Morokuma, T.; Takanashi, N.
“Intrinsic color diversity of nearby Type Ia supernovae ”
Publications of the Astronomical Society of Japan, Volume 73, Issue 2, pp.326-337 (04/2021)
6. Hatsukade, B.; Tominaga, N.; Morokuma, T.; Morokuma-Matsui, K.; Tamura, Y.; Niinuma, K.; Hayashi, M.; Matsuda, Y.; Motogi, K.
“Variability of Late-time Radio Emission in the Superluminous Supernova PTF10hgi ”
The Astrophysical Journal Letters, Volume 911, Issue 1, id.L1, 6 pp. (04/2021)
7. Nakaoka, T.; Maeda, K.; Yamanaka, M.; Tanaka, M.; Kawabata, M.; Moriya, T. J.; Kawabata, K. S.; Tominaga, N.; Takagi, K.; Imazato, F.; Morokuma, T.; Sako, S.; Ohsawa, R.; Nagao, T.; Jiang, J.; Burgaz, U.; Taguchi, K.; Uemura, M.; Akitaya, H.; Sasada, M. Isogai, K.; Otsuka, M.; Maehara, H.
“Calcium-rich Transient SN 2019ehk in a Star-forming Environment: Yet Another Candidate for a Precursor of a Double Neutron-star Binary”
The Astrophysical Journal, Volume 912, Issue 1, id.30, 14 pp. (05/2021)
8. Sasada, M. ; Utsumi, Y. ; Itoh, R. ; Tominaga, N. ; Tanaka, M. ; Morokuma, T. ; Yanagisawa, K. ; Kawabata, K. S. ; Ohgami, T. ; Yoshida, M. ; Abe, F. ; Adachi, R. ; Akitaya, H. ; Chong, Yang ; Daikuhara, K. ; Hamasaki, R. ; Honda, S. ; Hosokawa, R. ; Iida, K. ; Imazato, F. Ishioka, C. ; Iwasaki, T. ; Jian, M. ; Kamei, Y. ; Kanai, T. ; Kaneda, H. ; Kaneko, A. ; Katoh, N. ; Kawai, N. ; Kubota, K. ; Kubota, Y. ; Mamiya, H. ; Matsubayashi, K. ; Morihana, K. ; Murata, K. L. ; Nagayama, T. ; Nakamura, N. ; Nakaoka, T. ; Niino, Y. ; Nishinaka, Y. ; Niwano, M. ; Nogami, D. ; Oasa, Y. ; Oeda, M. ; Ogawa, F. ; Ohsawa, R. ; Ohta, K. ; Oide, K. ; Onozato, H. ; Sako, S. ; Saito, T. ; Sekiguchi, Y. ; Shigeyama, T. ; Shigeyoshi, T. ; Shikauchi, M. ; Shiraiishi, K. ; Suzuki, D. ; Takagi, K. ; Takahashi, J. ; Takarada, T. ; Takayama, M. ; Takeuchi, H. ; Tamura, Y. ; Tanaka, R. ; Toma, S. ; Tozuka, M. ; Uchida, N. ; Uzawa, Y. ; Yamanaka, M. ; Yasuda, M. ; Yatsu, Y.
“J-GEM optical and near-infrared follow-up of gravitational wave events during LIGO’s and Virgo’s third observing run ”
Progress of Theoretical and Experimental Physics, Volume 2021, Issue 5, id.05A104, 23 pp. (05/2021)
9. Fukue, K. ; Matsunaga, N. ; Kondo, S. ; Taniguchi, D. ; Ikeda, Y. ; Kobayashi, N. ; Sameshima, H. ; Hamano, S. ; Arai, A. ; Kawakita, H. ; Yasui, C. ; Mizumoto, M. ; Otsubo, S. ; Takenaka, K. ; Yoshikawa, T. ; Tsujimoto, T.
“Absorption Lines in the 0.91-1.33 μm Spectra of Red Giants for Measuring Abundances of Mg, Si, Ca, Ti, Cr, and Ni ”
The Astrophysical Journal, Volume 913, Issue 1, id.62, 15 pp. (05/2021)
10. Morokuma-Matsui, K. ; Kodama, T. ; Morokuma, T. ; Nakanishi, K. ; Koyama, Y. ; Yamashita, T. ; Koyama, S. ; Okamoto, T.
“A Phase-space View of Cold-gas Properties of Virgo Cluster Galaxies: Multiple Quenching Processes at Work? ”
The Astrophysical Journal, Volume 914, Issue 2, id.145, 26 pp. (06/2021)

11. Wakamatsu, Y.; Thorstensen, J. R. ; Kojiguchi, N.; Isogai, K.; Kimura, M.; Ohnishi, R.; Kato, T.; Itoh, H.; Sugiura, Y.; Sumiya, S.; Matsumoto, H.; Ito, D.; Nikai, K.; Akitaya, H.; Ishioka, C.; Oide, K.; Kanai, T.; Uzawa, Y.; Oasa, Y.; Tordai, T.; Vanmunster, T.; Shugarov, S. Y.; Yamanaka, M.; Sasada, M.; Takagi, K.; Nishinaka, Y.; Yamazaki, Y.; Otsubo, I.; Nakaoka, T.; Murata, K. L. ; Ohsawa, R.; Morita, M.; Ichiki, M.; Dufoer, S.; Mizutani, M.; Horiuchi, T.; Tozuka, M.; Takayama, M.; Ohshima, T.; Saito, T.; Dubovsky, P. A.; Stone, G.; Miller, I.; Nogami, D.
“ASASSN-18aan: An eclipsing SU UMa-type cataclysmic variable with a 3.6-hr orbital period and a late G-type secondary star”
Publications of the Astronomical Society of Japan, Volume 73, Issue 5, pp.1209-1224 (10/2021)
12. Sinha, T. ; Sharma, S. ; Panwar, N. ; Matsunaga, N. ; Ogura, K. ; Kobayashi, N. ; Yadav, R. K. ; Ghosh, A. ; Pandey, R. ; Bisht, P. S.
“Photometric Variability of the Pre-main-sequence Stars toward the Sh 2-190 Region”
The Astrophysical Journal, Volume 921, Issue 2, id.165, 16 pp. (11/2021)
13. Chao, D. C. -Y.; Chan, J. H. -H.; Suyu, S. H.; Yasuda, N.; Morokuma, T.; Jaelani, A. T.; Nagao, T.; Rusu, C. E.
“Strongly lensed candidates from the HSC transient survey ”
Astronomy & Astrophysics, Volume 655, id.A114, 12 pp. (11/2021)
14. Hatsukade, B; Tominaga, N.; Morokuma, T.; Morokuma-Matsui, K.; Matsuda, Y.; Tamura, Y.; Niinuma, K.; Motogi, K.
“A VLA Survey of Late-time Radio Emission from Superluminous Supernovae and the Host Galaxies ”
The Astrophysical Journal, Volume 922, Issue 1, id.17, 11 pp. (11/2021)
15. Uchiyama, M.; Miyata, T.; Sako, S.; Kamizuka, T.; Asano, K.; Nakamura, T.; Yamashita, T.; Fujiyoshi, T.; Yoneda, M.; Konishi, M.; Koshida, S.; Motohara, K.; Tanabé, T.; Kitagawa, Y.; Tateuchi, K.; Yoshii, Y.
“High-spatial resolution long-mid-infrared observations of massive star-forming regions: Local star formation sequence”
Publications of the Astronomical Society of Japan, Volume 73, Issue 6, pp.1638-1655 (12/2021)
16. Jiang, J.; Maeda, K.; Kawabata, M.; Doi, M.; Shigeyama, T.; Tanaka, M.; Tominaga, N.; Nomoto, K.; Niino, Y.; Sako, S. ; Ohsawa, R. ; Schramm, M.; Yamanaka, M.; Kobayashi, N.; Takahashi, H.; Nakaoka, T.; Kawabata, K. S.; Isogai, K.; Aoki, T.; Kondo, S.; Mori, Y. ; Arimatsu, K.; Kasuga, T.; Okumura, S.; Urakawa, S.; Reichart, D. E.; Taguchi, K.; Arima, N.; Beniyama, J.; Uno, K.; Hamada, T.
“Discovery of the Fastest Early Optical Emission from Overluminous SN Ia 2020hvf: A Thermonuclear Explosion within a Dense Circumstellar Environment ”
The Astrophysical Journal Letters, Volume 923, Issue 1, id.L8, 14 pp. (12/2021)
17. Ashall, C.; Lu, J.; Hsiao, E. Y.; Hoefflich, P.; Phillips, M. M.; Galbany, L.; Burns, C. R.; Contreras, C.; Krisciunas, K.; Morrell, N.; Stritzinger, M. D.; Suntzeff, N. B.; Taddia, F.; Anais, J. ; Baron, E.; Brown, P. J.; Busta, L.; Campillay, A. ; Castellón, S. ; Corco, C. ; Davis, S.; Folatelli, G. ; Förster, F.; Freedman, W. L.; González, C. ; Hamuy, M.; Holmbo, S.; Kirshner, R. P.; Kumar, S.; Marion, G. H. ; Mazzali, P.; Morokuma, T.; Nugent, P. E.; Persson, S. E.; Piro, A. L.; Roth, M. ; Salgado, F.; Sand, D. J.; Seron, J.; Shahbandeh, M.; Shappee, B. J. search by orcid

“Carnegie Supernova Project: The First Homogeneous Sample of Super-Chandrasekhar-mass/2003fg-like Type Ia Supernovae ”

The Astrophysical Journal, Volume 922, Issue 2, id.205, 32 pp.(12/2021)

[2022]

1. 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.

“A Very Metal-poor RR Lyrae Star with a Disk Orbit Found in the Solar Neighborhood”

The Astrophysical Journal, Volume 925, Issue 1, id.10, 11 pp. (01/2022)

2. 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.

“Highly Sensitive, Non-cryogenic NIR High-resolution Spectrograph, WINERED”

Publications of the Astronomical Society of the Pacific, Volume 134, Issue 1031, id.015004, 39 pp. (01/2022)

国際会議集録等

[2022]

1. Beniyama, J.; Sako, S.; Ohsawa, R.; Takita, S.; Kobayashi, N.; Okumura, S.; Urakawa, S.; Yoshikawa, M.; Usui, F.; Yoshida, F.

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

53rd Lunar and Planetary Science Conference, held 7-11 March, 2022 at The Woodlands, Texas. LPI Contribution No. 2678, 2022, id.1853(03/2022)

3.2.10 天文電報等

[2021]

1. Minezaki, T. ; Yoshii, Y. ; Kobayashi, Y. ; Sugawara, S. ; Sakata, Yu ; Enya, K. ; Koshida, S. ; Tomita, H. ; Suganuma, M. ; Aoki, T. ; Peterson, B. A.

“VizieR Online Data Catalog: VRI and K-band light curves of type 1 AGNs (Minezaki+, 2019) ”

VizieR On-line Data Catalog: J/ApJ/886/150. Originally published in: 2019ApJ...886..150M (04/2021)

2. Kimura, Y. ; Yamada, T. ; Kokubo, M. ; Yasuda, N. ; Morokuma, T. ; Nagao, T. ; Matsuoka, Y.

“VizieR Online Data Catalog: Optical variability of AGN from the HSC SSP survey (Kimura+, 2020)

”

VizieR On-line Data Catalog: J/ApJ/894/24. Originally published in: 2020ApJ...894...24K (09/2021)

学位論文

1. REN, Fanzhou (任方舟)
“Binaries as Probes of Stellar Evolution and Galactic Structure: The KISOGP and LAMOST View”
北京大学 博士論文 (2021年6月)
2. 村井 結太
「超新星爆発の初期放射で探る爆発直前の大質量星の姿」
東北大学 令和3年度 卒業論文
3. 押切 翔
「Tomo-e Gozen の高頻度サーベイデータを用いた Fast Optical Transient 探査」
東北大学 令和3年度 卒業論文
4. 岡田 寛子
「セファイド変光星の周期光度関係と距離の測定」
甲南大学 令和3年度 卒業論文

和文論文・解説記事他

[2021]

1. 伊藤信成 (三重大学), 山縣朋彦 (文教大学), 西浦慎悟 (東京学芸大学)
「SMOKA の教育への活用 教員養成系学部での事例紹介」
天文月報, 第114巻, 第6号, pp.396-404. (2021年6月)
2. 青木勉, 征矢野隆夫 (木曾観測所), 中嶋浩一 (一橋大学), 宮内良子 (国立天文台), 森由貴, 樽澤賢一, 小林尚人 (木曾観測所), 古澤順子, 市川伸一, SMOKA グループ (国立天文台)
「東京大学木曾観測所写真乾板のデジタル化」
天文月報, 第114巻, 第8号, pp.523-533. (2021年8月)

3.2.11 学会, 研究会等での報告

日本天文学会 2021 年秋季年会 (京都産業大学 (オンライン開催), 2021/09/13–15)

1. 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), Tomo-e Gozen コラボレーション
P304a 「木曾 Tomo-e Gozen を用いた微小地球接近小惑星の高時間分解撮像観測」
2. 大宮正士 (ABC/国立天文台), 山田良透 (京大), 河田大介 (UCL), 上塚貴史, 河原創, 大澤亮 (東大), 片坐宏一 (JAXA), 立川崇之 (高知高専), 服部公平 (統数研), 平野照幸 (ABC/国立天文台), 福井暁彦 (東大), 吉岡諭 (海洋大), Wolfgang Löffler (ARI Heidelberg), 白井文彦 (JAXA), 泉浦秀行, 三好真, 矢野太平, 辰巳大輔, 郷田直輝 (国立天文台), JASMINE データ解析ワーキンググループ
V205a 「JASMINE アストロメトリ解析ソフトウェアの開発」
3. 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, 田中培生, 峰崎岳夫, 酒向重行, 田辺俊彦, 諸隈智貴, 廿日出文洋, 江草芙実, 小西真広, 上塚貴史, 高橋英則, 青木勉, 征矢野隆夫, 樽澤賢一, 加藤夏子, 沼田瑞樹, 鮫島寛明, 西村淳, 大澤亮, 浅野健太郎, 小山 舜平 (東京大学), 本原顕太郎 (国

立天文台, 東京大学)

V228a 「東京大学アタカマ天文台 TAO 6.5m 望遠鏡計画 進捗報告」

4. 高橋英則 (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, 田中培生, 峰崎岳夫, 酒向重行, 田辺俊彦, 諸隈智貴, 廿日出文洋, 小西真広, 江草芙実, 上塚貴史, 大澤亮, 鮫島寛明, 浅野健太郎, 西村淳, 加藤夏子, 沼田瑞樹, 青木勉, 征矢野隆夫, 樽沢賢一 (東京大学), 本原顕太郎 (国立天文台, 東京大学); 田村陽一 (名古屋大学)
V229a 「東京大学アタカマ天文台 TAO 6.5m 望遠鏡用蒸着装置の性能評価」
5. 近藤智也, 軸屋一郎, 内田大智, 加藤宏太郎, 近藤真吾 (金沢大学), 本田充彦 (岡山理科大学), 上塚貴史, 道藤翼, 宮田隆志, 酒向重行, 大澤亮, 浅野健太郎, 西村淳, 橘健吾, 飯田熙一, 左近樹 (東京大学)
V230a 「TAO/MIMIZUKU 用冷却チョッパーの開発: 常温制御試験」
6. 道藤翼, 宮田隆志, 上塚貴史, 酒向重行, 大澤亮, 浅野健太郎, 西村淳, 橘健吾, 飯田熙一, 左近樹 (東京大学), 軸屋一郎, 近藤智也 (金沢大学), 本田充彦 (岡山理科大学)
V231a 「TAO/MIMIZUKU 用冷却チョッパーの開発: 冷却動作試験」
7. 本原顕太郎 (国立天文台, 東京大学), 小西真広, 高橋英則, 小山舜平, 加藤夏子, 榎引洗佑, 中村洋貴, 陳諾, 穂満星冴 (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, 田中培生, 峰崎岳夫, 田辺俊彦, 酒向重行, 諸隈智貴, 廿日出文洋, 上塚貴史, 青木勉, 征矢野隆夫, 樽沢賢一, 大澤亮, 鮫島寛明, 浅野健太郎, 西村淳, 橘健吾, 道藤翼, 飯田熙一 (東京大学), 田村陽一 (名古屋大学), 沖田博文, 越田進太郎 (国立天文台), 半田利弘 (鹿児島大学)
V232a 「TAO 6.5m 望遠鏡用近赤外線観測装置 SWIMS: すばる望遠鏡での初期観測運用報告」
8. 榎引洗佑 (東京大学), 細島拓也, 竹田真宏, 山形豊 (理化学研究所), 森田晋也 (東京電機大学), 大竹豊 (東京大学), 尾崎忍夫, 都築俊宏 (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, 中村洋貴, 陳諾, 穂満星冴 (東京大学)
V233a 「近赤外線面分光ユニット SWIMS-IFU 開発状況: スライスミラーアレイ+PO0 の超精密切削加工と X 線 CT による評価」
9. 西野耀平, 酒向重行, 紅山仁, 大澤亮, 峰崎岳夫, 瀧田怜 (東京大学), 木邑真理子, 榎戸輝揚 (理化学研究所), 中庭望 (東京都立大学), 山田真也 (立教大学), Keith C. Gendreau (NASA/GSFC)
W36a 「木曾 Tomo-e Gozen と NICER 望遠鏡による矮新星 SS Cyg の可視光・X 線同時高速観測」
10. 高橋尚人, 土居守, 酒向重行, 新納悠 (東京大学)
W40a 「木曾シュミット, せいめいで観測可能な可視光パルサーの調査」
11. 廿日出文洋 (東京大学), 富永望, 林将央, 松田有一 (国立天文台), 諸隈智貴, 諸隈佳菜 (東京大学), 田村陽一 (名古屋大), 新沼浩太郎, 元木業人 (山口大)
W47a 「超高輝度超新星 PTF10hgi における後期電波放射の時間変動」
12. 瀧田怜, 酒向重行, 大澤亮, 紅山仁, 高橋英則, 近藤莊平, 森由貴, 青木勉 (東京大学), Tomo-e Gozen コラボレーション
Y13a 「Tomo-e Gozen Sky Atlas の公開」
13. 大西浩次 (国立長野高専), 陶山徹 (長野市立博物館), 大西拓一郎 (国立国語研究所), 渡辺真由子 (茅野市総合博物館), 早川尚志 (名古屋大学), 野澤聡 (獨協大学), 衣笠健三 (国立天文台野辺山), 百瀬雅彦, 宮地美由紀 (塩尻星の会), 是枝敦子 (きらきら) 青木 勉, 小林尚人, 森由貴 (東大木曾観測所), 長野県星空継続観察 WG, 長野県天文文化研究会, 「長野県は宇宙県」連絡協議会ほか
Y18a 「市民科学による「長野県は宇宙県」の近代天文学史 100 年の構築に向けて II」

14. 衣笠健三 (国立天文台野辺山), 百瀬雅彦, 宮地美由紀 (塩尻星の会), 大西浩次 (国立長野高専), 青木勉 (東大木曾観測所), 陶山徹 (長野市立博物館), ほか長野県星空継続観察ワーキンググループ
Y19a 「長野県における星空環境保護活動～光害防止に係る県条例改正に向けて～」
15. 陶山徹 (長野市立博物館), 渡辺真由子 (茅野市八ヶ岳総合博物館), 大西浩次 (国立長野高専), 大西拓一郎 (国立国語研究所), 茅野勝彦 (諏訪天文同好会), 早川尚志 (名古屋大学), 衣笠健三 (国立天文台野辺山), 青木勉 (東京大学木曾観測所), 野澤聡 (獨協大学), 宮地美由紀 (塩尻星の会), 百瀬雅彦 (塩尻星の会), 丸山卓哉 (大町エネルギー博物館友の会フォーマルハウト), 長野県天文文化研究会メンバー
Y20a 「長野県天文文化研究会の現状～諏訪天文同好会の多様な活動～」

日本天文学会 2022 年春季年会 (広島大学 (オンライン開催), 2022/03/2-5)

1. 逢澤正嵩 (李政道研究所/上海交通大学), 檜山和己, 川名好史朗, 河原創, 田尻智之, 大澤亮, 有馬宣明, 酒向重行 (東京大学), Tomo-e Gozen collaboration
N02a 「Tomo-e Gozen を用いた M dwarf からの超高速フレアの探索」
2. 甘日出文洋 (東京大学), 冨永望, 松田有一 (国立天文台), 諸隈智貴, 諸隈佳菜 (東京大学), 田村陽一 (名古屋大), 新沼浩太郎, 元木業人 (山口大)
N34a 「VLA で探る超高光度超新星からの後期電波放射および母銀河の星形成活動」
3. 安井千香子 (国立天文台), 小林尚人 (東京大学), 泉奈都子 (ASIAA), 齋藤正雄 (国立天文台), 池田優二 (Photocoding)
P127a 「低金属量環境下における星生成クラスターの初期質量関数導出 I: Sh 2-209」
4. 平野照幸 (アストロバイオロジーセンター/国立天文台), 河原創, 上塚貴史, 大澤亮 (東京大学), 片ざ宏一 (JAXA), Exo-JASMINE チーム
P327a 「JASMINE 衛星による精密測光観測」
5. 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, 磯部優樹, 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
U13a 「すばる望遠鏡の原始 He 量測定で検証する宇宙論モデルと反レプトン存在比」
6. 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, 諸隈智貴, 甘日出文洋, 江草芙実, 小西真広, 上塚貴史, 高橋英則, 青木勉, 加藤夏子, 沼田瑞樹, 鮫島寛明, 西村淳, 大澤亮, 浅野健太郎, 小山舜平 (東京大学), 本原顕太郎 (国立天文台, 東京大学)
V202a 「東京大学アタカマ天文台 TAO 6.5m 望遠鏡計画 進捗報告」
7. 松林和也, 前田啓一, 太田耕司, 川端美穂 (京都大学), 酒向重行, 土居守, 新納悠, 近藤莊平, 有馬宣明, 紅山仁 (東京大学)
V204a 「共同利用観測を開始した可視 3 色高速撮像分光装置 TriCCS」
8. 津々木里咲, 酒向重行, 高橋英則, 近藤莊平, 瀧田怜, 大澤亮, 紅山仁, 宮田隆志, 上塚貴史 (東京大学)
V218a 「全天赤外線雲モニタの開発」
9. 高橋一郎, 田中雅臣 (東北大学), 冨永望 (国立天文台), 上田修功 (NTT コミュニケーション科学基礎研究所), 酒向重行, 大澤亮, 吉田直紀 (東京大学), Tomo-e Gozen コラボレーション
V219a 「仮想敵対的学習による Tomo-e Gozen サーベイにおける Real/Bogus 分類の改善」
10. 金井昂大, 大朝由美子 (埼玉大学), 高橋英則 (東京大学), 橋本修 (県立ぐんま天文台)
V225b 「ぐんま天文台 150cm 望遠鏡への三波長同時撮像装置 MuSaSHI の搭載と観測」

11. 大澤亮 (東京大学), 山田良透 (京都大学), 河田大介 (UCL), 上塚貴史, 河原創 (東京大学), 大宮正士, 平野照幸 (ABC/NAOJ), 片ざ宏一 (JAXA), 立川崇之 (高知高専), 服部公平 (統数研), 福井暁彦 (東京大学), 吉岡諭 (海洋大), 逢澤正嵩 (李政道研究所), Michael Biermann, Wolfgang Löffler (ARI Heidelberg), 白井文彦 (JAXA), 泉浦秀行, 三好真, 矢野太平, 津久井崇史, 辰巳大輔, 郷田直輝 (NAOJ), JASMINE データ解析ワーキンググループ
V233a 「JASMINE end-to-end シミュレーション計画の進捗」
12. 反保雄介, 野上大作, 加藤太一 (京都大学), 綾仁一哉 (美星天文台), 内藤博之 (なよろ天文台), 成田憲保, 高橋英則 (東京大学), 藤井貢 (藤井黒崎天文台), 橋本修 (ぐんま天文台), 衣笠健三 (国立天文台), 本田敏志, 鳴沢真也 (兵庫県立大学), 坂元誠 (子ノ星教育社), 今田明 (京都大学)
W23a 「V455 And の分光観測: 円盤風が矮新星アウトバーストに付随する可能性」
13. 古澤順子, 高田唯史, 古澤久徳 (国立天文台), 榎基宏 (東京経済大学), 諸隈智貴 (東京大学)
X21b 「SDSS Stripe82 時系列カタログを用いたクエーサーの光度変動と進化の関係」
14. 大島由佳, 坂井郁哉, 宮田隆志, 吉井讓 (サイエンスステーション, 東京大学), 高橋英則, 新納悠, 森由貴 (東京大学), 他銀河学校 2021 スタッフ, サイエンスステーション
Y02a 「高校生向け天文学実習「銀河学校 2021」オンライン実施報告」
15. 衣笠健三 (国立天文台野辺山), 百瀬雅彦, 宮地美由紀 (塩尻星の会), 陶山徹 (長野市立博物館), 小林尚人, 青木勉, 森由貴 (東大木曾観測所), 大西浩次 (長野高専), ほか長野県星空継続観察ワーキンググループ
Y17b 「「長野県は宇宙県」全市町村で天の川が見られる県 ~長野県内の系統的な夜空の明るさ測定~」

日本天文学会第24回ジュニアセッション (オンライン開催, 2022/3/19)

1. 銀河学校 2021: 浜嶋彩加 (高3)(早稲田実業学校高等部), 今野翼 (2021年卒)(仙台城南高等学校), 二本柳安珠 (高2)(淑徳与野高等学校), 田中康誠 (高3)(西大和学園高等学校), 恒吉かずき (中等5)(東京大学教育学部附属中等教育学校), 店網航輝 (高2)(大阪府立佐野高等学校), 伊藤大朗 (高3)(岐阜県立岐阜高等学校), 早川さくら (高3)(江戸川学園取手高等学校), 幸泉花梨 (高3)(神戸女学院高等学部), 伊勢上さくら (2021年卒)(須磨学園高等学校)
「銀河系の厚さの測定」

木曾シュミットシンポジウム 2021

木曾シュミットシンポジウム 2021 を 10 月 4 日-6 日に木曾観測所とオンライン (Zoom) によるハイブリッド形式で開催した。2020 年は COVID-19 感染拡大の影響で開催できなかったため、2 年ぶりの開催となった。現地参加 22 名, オンライン参加 88 名, 合計 110 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。

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. 観測所報告 | 高橋英則 (木曾観測所) |
| 2. Tomo-e Gozen の本格運用から 2 年 | 酒向重行 (木曾観測所) |
| 3. Tomo-e Gozen Sky Atlas の開発 | 瀧田怜 (東京大学) |
| 4. 影と閃光の動画観測: OASES(オアシズ) と Tomo-e と PONCOTS(ポンコツ) | 有松亘 (京都大学) |
| 5. Tomo-e Gozen と重ね合わせ法による NEO 観測の進捗 | 奥村真一郎 |

6. 木曾 Tomo-e Gozen を用いた微小 NEO の高時間分解撮像観測	(日本スペースガード協会) 紅山仁 (東京大学)
7. Tomo-e Gozen によるスペースデブリの検出について	満田和真 (デロイトトーマツ リスクサービス株式会社)
8. MU radar と Tomo-e Gozen による「ふたご座流星群 (2020)」 の同時観測	野中康輝 (日本大学)
9. 全天赤外線雲モニタの開発	津々木里咲 (東京大学)
10. Transient pipeline or Supernova survey	富永望 (国立天文台)
11. Improvement of the deep-learning real/bogus classifier in the Tomo-e Gozen transient survey	高橋一郎 (東北大学)
12. Catching the Earliest Optical Emission of SN Ia 2020hvf with the Tomo-e Gozen Camera	姜継安 (IPMU)
13. OPTICAL VARIABILITY OF BLAZARS IN THE TOMO-E GOZEN NORTHERN SKY TRANSIENT SURVEY	張天放 (東京大学)
14. The 2D and 3D fundamental plane GRB optical follow up with the KISO	Maria Dainotti(国立天文台)
15. Tomo-e Gozen による Fast Radio Burst 可視光高速観測	新納悠 (東京大学)
16. Tomo-e Gozen と OISTER によるブラックホール X 線連星 MAXI J1820+070 の観測	村田勝寛 (東京工業大学)
17. 木曾 Tomo-e Gozen と NICER 望遠鏡による矮新星 SS Cyg の 可視光・X 線同時高速観測	西野耀平 (東京大学)
18. Tomo-e 狭帯域フィルター観測による北天の明るい金属欠乏星探査	青木和光 (国立天文台)
19. 共同利用観測を開始したせいめい望遠鏡 TriCCS	松林和也 (京都大学)
20. せいめい望遠鏡 + KOOLS-IFU の自動観測の開発状況と即時 ToO 観測に向けた展望	前原裕之 (国立天文台)
21. 広視野・高頻度サーベイと即時フォローアップによる古典新星の 初期の急増光期の研究可能性	田口健太 (京都大学)
22. 宇宙の渦度分布異方性解析 (続報)	家正則 (国立天文台)
23. HeSO survey: search for sub-min variability of white dwarfs and M dwarfs	逢澤正嵩 (李政道研究所)
24. データストリーム上の突発イベントを検知するオンライン アルゴリズムの検討	山本泰生 (静岡大学)
25. Tomo-e Gozen による銀河面重力マイクロレンズイベントの観測	福井暁彦 (東京大学)
26. SMOKA の現状と今後の計画	小野里宏樹 (国立天文台)
27. KISOGP ー低金属量で明るい RR ライリ変光星の発見	松永典之 (東京大学)

その他の国内研究会・発表

1. W50/SS433 研究会 (オンライン, 2021/5/17)
「木曾広視野 CMOS カメラ Tomo-e Gozen による SS433 の高速モニタリングと多波長観測連携」
酒向重行 (東京大学)
2. なゆた UM (オンライン, 2021/08/10)
「狭帯域フィルターを用いた金属欠乏星探査観測および分光追観測」
岩崎巧実, 岡田寛子 (甲南大学), 富永望 (国立天文台/甲南大学/Kavli IPMU), 本田敏志 (兵庫県立大),
諸隈智貴 (東京大学)
3. データ活用社会創成シンポジウム (オンライン, 2021/10/11)
「トモエゴゼンと時間軸天文ビッグデータ」
酒向重行 (東京大学)



図 3.14: 木曾シュミットシンポジウム 2021 集合写真

4. 研究会「大学運用型望遠鏡による天文学の成果と今後」(北海道大学, 2021/10/28)
「東京大学木曾観測所と時間軸天文学」
酒向重行 (東京大学)
5. 超巨大ブラックホール研究会 2021 (オンライン, 2021/12/28)
「東京大学アタカマ天文台 TAO の概要と現状」
高橋英則 (東京大学)
6. 第 41 回天文学に関する技術シンポジウム (オンライン, 2022/01/27-28)
「木曾観測所 105cm シュミット望遠鏡のポインティング性能改善」
近藤荘平 (東京大学)
7. 第 41 回天文学に関する技術シンポジウム (オンライン, 2022/01/27-28)
「鏡の蒸着方法と性能維持について-TAO と木曾シュミット望遠鏡の経験から-」
高橋英則 (東京大学)
8. 第 27 回天体スペクトル研究会 (オンライン, 2022/02/12-13)
「狭帯域測光によって発見された金属欠乏星候補天体の分光追観測」
岡田寛子, 岩崎巧実 (甲南大学), 富永望 (国立天文台/甲南大学/Kavli IPMU), 本田敏志 (兵庫県立大), 諸隈智貴 (東京大学)
9. 初代星研究会 (東京, 2022/02/16-18)
「狭帯域測光による金属欠乏星探査と分光追観測」
岡田寛子, 岩崎巧実 (甲南大学), 富永望 (国立天文台/甲南大学/Kavli IPMU), 本田敏志 (兵庫県立大), 諸隈智貴 (東京大学)

3.2.12 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)

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 撮像と画像解析」は木曾観測所で行なわれるテーマの1つである。

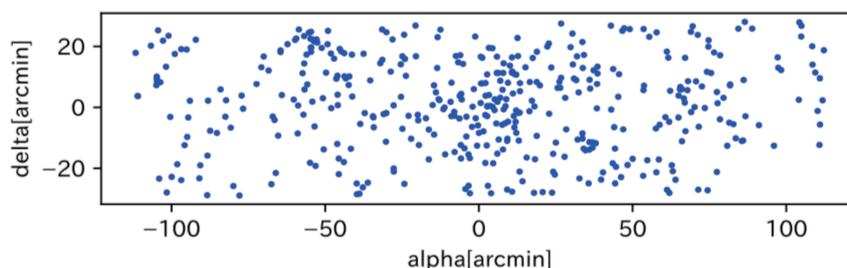


図 3.15: 早期型銀河の天球分布 (倉島啓斗氏のレポートより)

2021年度は、学部3年生5名とTA1名に代表者を加えた合計7名が2021年10月25日-27日の2泊3日の日程で滞在して、Abell 2634 という $z = 0.03$ の近傍銀河団を Tomo-e Gozen で観測し、早期型銀河の分布などを調べた。使用したフィルターは g と i である。天気はあまりよくなかったが、観測を行なうことはできた。観測の際は、まず近藤荘平さんに観測の一連の操作の見本を示していただき、その後は学生自身が観測を行なってデータを取った。具体的には、望遠鏡と Tomo-e Gozen の操作、観測ログへの記入、天気のチェックを分担して行なった。分担内容は適宜交代させた。観測に先立ち、高橋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。

現地での解析では、観測所の計算機群を用いて、近藤さんの指導のもと、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、 $g-i$ という色に基づく早期型銀河の選り出しまでを行ない、可視光の撮像データの標準的な整約過程を学んだ。ただし、今回取ったデータは積分時間が不足していたため、解析には2019年のデータを使用した。図3.15は解析の結果得られた $4^\circ \times 1^\circ$ の領域における早期型銀河の天球分布である (倉島啓斗のレポートより)。中心付近の銀河の集団がターゲットの銀河団である。

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」は木曾観測所で行なわれるテーマの一つである。

2021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2021年11月30日-12月2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なった。

1日目は14:30より実習の概要を説明した後、望遠鏡施設の見学を行なった。夜間に計画していた Tomo-e Gozen を用いた観測実習は曇天のため実施せず、過去に取得したデータを用いて解析実習を行なった。用いたデータは Tomo-e Gozen で2フレーム/秒で取得した 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。

2日目は偏光シートを使った対物偏光装置の製作と、網戸用メッシュと木材を使った対物分光装置の製作を行った。これらをシュミット望遠鏡の筒先に設置して偏光および分光データの取得を試みたが、降雪

のため断念した。その後、屋内にてライトカーブの解析を続けた。

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。ライトカーブの周期はフェーズカーブの分散が最小になる値を探索する方法で導出した。11:00に実習を終え、まとめの講義を行なった。

3. 天文学観測による天文学教育の実践と教材開発 (2 大学合同実習)

伊藤信成 (三重大学), 山縣朋彦 (文教大学)

[1. 概要]

複数大学による共同実習は例年8月に実施していたが、2020年度は新型コロナウイルス感染症蔓延のために中止となり、2021年度は時期と規模を変更して2021年12月23日(木)から12月26日(日)の3泊4日で、2大学(三重大学・文教大学)のみで行った。参加学生は、三重大学教育学部2年生9名、文教大学教育学部3年生4名の計13名であった。また東京電機大学(樋口氏)が見学として参加した。

本実習の内容は以下のa)～d)である。

- a) 木曾観測所の105 cm シュミット望遠鏡, 本館内各種設備などの研究施設, 一般見学室などの教育・広報施設の見学と観測所スタッフによる解説
- b) 天体観望
- c) 木曾105cm シュミット望遠鏡 / KWFC のアーカイブ・データを用いた画像解析
- d) 解析画像を用いた研究実習と報告会

[2. 見学および天体観望]

観測所設備・施設の見学は、観測所本館と105 cm シュミット望遠鏡, ドーム内観覧室を見学した。シュミット望遠鏡の見学では、観測所スタッフから詳細な解説を頂くと共に、N-REST 状態の鏡筒先端部と望遠鏡下部から、シュミット望遠鏡内部を覗かせた。また、ドーム内の観覧室では、シュミット望遠鏡の歴代の観測装置の実機を見学すると共に、やはり、観測所スタッフからの詳細な説明を頂くことができた。天体観望については、期間中に1時間程度晴れ間が覗く時間帯があり、この際に肉眼による観察などを行うことができた。

[3. 画像解析実習]

観測および画像解析実習では、事前に観測所スタッフの支援を得て、Tomo-e Gozen を用いた観測および画像解析実習を計画していたが、残念ながら天候に恵まれず、以前にKWFCで取得した予備データによる画像解析実習を行った。実際の画像解析実習では、3-4名を1班とし、1班に1台、実習用ノートパソコン1台と実習用天体1つを割り当てた。実習用ノートパソコンのOSはMS-Windowsであるが、VMwareを用いて、Linux Mint をインストールし、IRAF などを使用できるように調整した。また、MS-Windows用にMakaliⁱ, StellaImage をインストールし、画像解析後の開口測光や疑似カラー画像作成に用いることができるようにした。なお、各班の班員は、所属大学、性別がなるべくランダムになりつつ、学年が偏らないように配慮した。画像解析を行うにあたって、参加者のほぼ全員が撮像データの画像解析の未経験者であるため、最初にKWFCによるアンドロメダ銀河(M31)のB, V, Rcバンド・データを用いて、画像解析の手順を一つ一つ説明・確認させながら、リダクションと疑似カラー画像作成を体験させた。この後は、班毎に割り当てられた天体画像を解析させ、それぞれに与えたテーマに沿って分析・考察を行わせた。各班が行ったテーマは、以下のア)～エ)である。

ア) 衝となる黄道上の天域を、午前0時とその前後1時間にV, または、Rcバンドで撮像したデータから、小惑星を探索し、その移動量から小惑星までの距離を求める。

- イ) 散開星団 NGC6633 の色・等級図と等時曲線から、その年齢や金属量、赤化などを考察する。
- ウ) 球状星団 M13 の色・等級図と等時曲線から、その年齢や金属量、赤化などを考察する。
- エ) 渦巻銀河 M101 の表面輝度およびカラープロファイルの測定。

本実習遂行にあたって、日本学術振興会の科学研究費補助金 17K00971 (代表 伊藤信成) の支援を受けている。

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 (国立天文台), 大澤亮, 諸隈智貴 (東京大学・天文学教育研究センター)

2020 年度から単位を取得できる「天体観測ワークショップ」としての開催となり、2021 年度には甲南大学工学部物理学科の 2 年生 8 名, 4 年生 4 名, 修士 1 年 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。

8/31-9/3 の 3 晩, Tomo-e Gozen と狭帯域フィルターを用いた金属欠乏星探査試験観測との共同観測の予定であった。しかしながら、初日には短時間の実習観測が行われたものの、他は天候に恵まれず観測を行うことはできなかった。昼間および曇天の夜にはデータ解析を行うにあたっての基礎知識の座学、およびデータ解析を行った。学生には、事前学習として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 を作ってきてもらった。Tomo-e を用いた観測では、 g, r あるいは $H\alpha, i$ の 3 色画像を取得した。観測した天体は、Trappist-1, NGC6960, NGC7332, NGC6543, 624Hektor, NGC7635, NGC7318A, NGC7332, NGC1055, M15, M52, NGC7223, M13, M16 であったが、まともに取得できたデータは数少なかった。その後、データを取得できなかった学生は取得できた学生とデータを共有し、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。今回の観測を通して、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。

修士 1 年の学生は総研大の受託院生として、狭帯域フィルターを用いた金属欠乏星探査観測およびなゆた望遠鏡を用いた分光追観測の研究を行っている。また、4 年生のうち 2 名は甲南大学大学院理論宇宙研究室、1 名は別大学の大学院に進学し、宇宙物理学や教育学に関する研究を行っている。2 年生については今後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。

5. 変革を駆動する先端物理・数学プログラム天文学観測基礎実習 (FoPM 実習) 高橋英則 (木曾観測所)

2022 年 3 月 2-4 日の日程で、理学系研究科物理学専攻の学生 2 名が参加し、木曾観測所 30cm 望遠鏡を用いた観測実習を行なった。参加学生の観測技術なども含めた天文学的な知識を考慮し、望遠鏡の架台の構造・赤道儀の動き等の基礎的な実習から行い、起動時および観測時にマニュアルを基に各々操作してもらうことでその理解を深めた。初日夜の観測では、一眼デジタルカメラを用いて著名天体や個人的に興味ある天体の撮影を行った。カメラの設定によって天体の画像がどう変化するかを体感した。解析実習として光学赤外線観測で通常行われているダーク補正、フラット補正などの基本的なデータ処理を一から行なった。データ、計算機・ソフトは木曾観測所実習で用いたものを利用した。最終的に可視 g, r, i バンドのスタック画像を得、生データと比較することで、データ処理の効能・必要性を習得した。さらにデジタルカメラで取得した複数の色フィルターの画像重ね合わせ等も行い、必要な情報を引き出す手法についても学習した。各バンドの強度を調整することで、フィルターがない場合の画像に近い合成画像を得ることができ、どの色がどのくらいの強度になっているかを推測することができた。さらに 2021 年度導入した CMOS カメラでの天体撮影を試みた。デジタルカメラで撮影したものと同一天体の撮影がメインで、その操作性

や得られた画像の違いを体感することを目標とした。30cm 望遠鏡に搭載されている CMOS センサーは GBGR のベイヤーフィルターを内部に持っている。そのため、適切な解析ソフトを用いることで GBR に色分けした強度分布を見ることができる。これによって、天体毎の大凡の色特性を見ることができる。実際には天体の visibility や天候の影響もあり、一部の撮影に留まったため、実習はアーカイブのサンプルデータを用い、天体の個性の違いを調査、また前日の色合成での各色の加算強度との差（違い）を調べた。実習期間中には、シュミット 105cm 望遠鏡の説明を通じて、光学望遠鏡の特性、シュミット光学系の特徴を解説した（広視野、収差の少ない光学系であることなど）。併せて、主力観測装置であるトモエゴゼンカメラの解説を行った。動画データが取得できるという特徴や膨大なデータ量が発生することを強調した。学生から出たその膨大なデータの扱いについての質問には、予めのキャリブレーションデータ取得とそれを用いた即時パイプラインによる一次処理、AI による処理、保存データの選択を行なっていることを説明した。併せて、トモエゴゼンカメラの仕様詳細、観測運用や観測計画、観測実績についての講義も行った。他に、学生個々の研究内容のプレゼンテーションも行なった。学生にとっては、昨今研究会などがオンライン発表になり、対面（人前）でのプレゼンテーションはほぼ経験がないということもあり、ある意味貴重な時間となったと思われる。

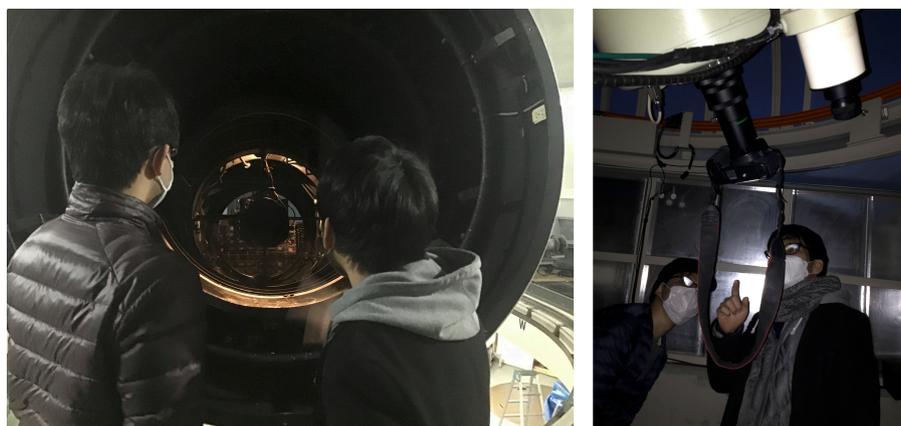


図 3.16: 見学・観測実習の様子

3.2.13 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。2016年7月14日、阿部守一長野県知事が木曾観測所のシュミット望遠鏡や研究状況を視察された際に、「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、2017年に木曾観測所を含む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るとともに、木曾観測所や木曾地域振興局が中心となり、木曾の星空や天体の魅力を活かした活動を目的とした「木曾星の里づくり推進協議会」を相次いで立ち上げた。以来様々な事業を実施してきたが、今年度の活動について以下にまとめる。

「長野県は宇宙県」連絡協議会

本年度は「長野県は宇宙県」の目的の一つである「天体観測環境維持」について大きな進展があった。

まず一つ目は、長野県の「公害の防止に関する条例」が「良好な生活環境の保全に関する条例」と名称変更され、光害の防止に関する規定が盛り込まれたことである。2020年12月から2021年2月にかけて塩尻北のホテルでサーチライトが照射されたことをきっかけに、「長野県は宇宙県」のメンバーである塩尻星の会が地元で光害に関する勉強会を開くなど地道な啓蒙活動を展開していた。やがてサーチライトの問題は新聞や県議会でも取り上げられ、条例改正への動きにつながっていった。4月には条例改正に向けて「長野県は宇宙県」メンバーと県担当課の話し合いがもたれ、また7月には条例改正に対するパブリックコメントの募集が行われて、条例への要望を県に伝えることができた。それらを踏まえて条例案が修正され、9月の県議会で承認、10月公布となった。本条例改正では、光害が人や動物に与える影響だけでなく、星空環境の保全についても明記されていることが特徴的である。また、サーチライトの使用については罰則規定も盛り込まれ、実効性のある条例となった。サーチライト問題の発生から1年も経たずに条例改正が実現したことには、塩尻星の会をはじめ「長野県は宇宙県」のこれまでの活動や県との関係構築が一定の役割を果たしたと考えられ、今後も継続して光害防止の啓蒙活動や県との協力体制を築いていくことの重要性が改めて認識された。条例改正に向けての経緯や条例の内容については、7月と11月の長野県星空継続観察ミーティングで詳しく紹介された。

もう一つの大きな成果は、11月の第6回長野県は宇宙県ミーティングにて「全ての市町村から天の川が見られる県」をプレスリリースしたことである。これは2018年から「長野県は宇宙県」で取り組みを続けている星空継続観察の成果として発表された。2018年から毎年夏と冬の年2回、環境省が「デジタルカメラによる夜空の明るさ調査」を行う全国キャンペーンを実施しており、「長野県は宇宙県」では毎年欠かさずこれに参加してきた。その活動の中で、長野県の全市町村で天の川が見られる「どこでも天の川の見られる県」であることを証明しようという提案があり、全77市町村での測定に取り組んだ。「天の川が見られる」条件として環境省の星空観察での測定値が20等以上になることを設定し、2021年夏の測定にて全77市町村で条件達成を確認した。北海道に次いで市町村数の多い長野県において、全市町村で天の川が見られることを数値的に証明したことは「長野県は宇宙県」の努力の賜物であり、「長野県は本当に暗いのか？」という知事の問いへの一つの答えとして大変意義のある成果である。2021年度も長野県内で夏季に151か所、冬季に177か所の計測が行われ、今後も測定を継続していく。

国際ダークスカイ協会が実施している星空保護区認定制度についても情報収集が進められた。7月に木曾文化公園文化ホールで開催した第7回星空継続観察ミーティングで、国際ダークスカイ協会東京支部代表の越智信彰氏に光害と星空保護区についての講演をしていただき、その後木曾町長と関係者で木曾町の星空保護に関する意見交換の場を持つことができた。また、国際ダークスカイ協会東京支部の研究会と光害シンポジウムを2月に長野県で実施することになり（実際は新型コロナウイルス感染拡大のため研究会を2月にオンライン開催し、シンポジウムは6月に延期となった）、長野県星空継続観察の活動や塩尻北のサーチライト問題から条例改正までの経緯の報告などを行い、「長野県は宇宙県」の活動を光害対策に取り組む多くの人に知ってもらうことができた。

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

実施日時	内容（実施場所）	参加人数	担当職員
4月1日	第1回長野県は宇宙県コアミーティング（オンライン）	6名	小林, 青木
7月3日	第7回星空継続観察ミーティング （於：木曾文化公園+オンライン）	90名（うちオンライン45名）	小林, 青木, 森, 高橋, 近藤
7月21日	第2回長野県は宇宙県コアミーティング（オンライン）	10名	小林, 青木, 森
8月19日	第3回長野県は宇宙県コアミーティング（オンライン）	9名	小林, 青木, 森
9月27日	第4回長野県は宇宙県コアミーティング（オンライン）	10名	青木
10月15日	第5回長野県は宇宙県コアミーティング（オンライン）	9名	小林, 青木, 森
11月5日	第6回長野県は宇宙県コアミーティング（オンライン）	8名	小林, 青木, 森
11月13日	第6回「長野県は宇宙県」ミーティング （第8回 長野県星空継続観察ミーティング, 第5回 長野県天文愛好者連絡会 合同） （於：茅野市北部生涯学習センター+オンライン）	55名（うちオンライン20名）	小林, 青木, 森, 高橋, 近藤
2月19日	国際ダークスカイ協会東京支部 2021年度研究会 （オンライン）		小林, 青木, 森, 高橋, 近藤
3月21日	第7回長野県は宇宙県コアミーティング （於：木曾観測所+オンライン）	13名（うちオンライン3名）	小林, 青木, 森

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、協議会后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はできなかったため、令和3年度は昨年度に引き続き年度計画を立て事業を行なった。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が、委員として青木が参加した。今年度の主な事業としては、まず試験的な観望イベントを木曾郡内において3回企画した。1回目（7月13日）は荒天のため中止となったが、残り2回については「星空感動ツアー」として下表のように実施することができた。とくに8月12日のイベントについては新型コロナウイルス感染症が落ち着いた時期であり、盛況に終わった。それ以外にも、本事業に関して協力関係を深めた木曾広域連合木曾文化公園の天文事業に全面的に協力して3回の観望イベントを、また他にも地域の観望会をサポートした。以下具体的な活動内容をリストアップしておく。

実施日時	実施場所・内容	人数	担当職員
6月11日	通常総会（於：通常総会）	15名	小林, 青木
8月12日	星空感動ツアー「ペルセウス座流星群を楽しもう」（於：木曾観測所）	30名	青木, 高橋
11月6日	星空感動ツアー「木星・土星と秋の星座を楽しもう」（於：木曾観測所）	13名	青木, 森
11月21日	木曾文化公園天文学セッションⅠ（於：木祖村公民館 菅分館）	29名	青木
11月27日	木曾文化公園天文学セッションⅡ（於：木曾文化公園）	35名	青木
11月28日	木曾文化公園天文学セッションⅢ（於：木曾文化公園）	20名	青木
12月14日	ふたご座流星群観望会（於：上松小学校）	13名	青木

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9日	星の会総会（於：木曾観測所+オンライン）	15名	青木, 高橋
8月5日	天の川まつり（於：木曾馬の里）	会員 10名 一般 約 50名	青木
11月28日	神前さん企画「昼間の金星を見よう」（於：木曾文化公園）	3名	青木

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15日	長野県シニア大学講座「星と惑星の誕生」	受講生約 25名	小林
10月23日	木曾町ジュニアマイスター 望遠鏡見学, 星の話	小学生・保護者 40名	青木, 高橋, 近藤

3.2.14 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。

銀河学校 2022

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25回銀河学校を2022年3月26日(土)–29日(火)に開催した。COVID-19感染拡大防止のため人数を限定しつつ、3年ぶりに現地開催した。

参加者は「星から始める天の川銀河探査」「天の川銀河 星形成活動の全貌に迫る」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。参加者に実際に105cm シュミット望遠鏡を間近に見て操作してもらうことや、木曾の満天の星空を見てもらうことは、オンラインでは体験できない感動を与えることができ、現地で開催することの意義を改めて感じた。コミュニケーションもスムーズで、参加者同士もすぐに打ち解け合い、活発な議論が行われて充実した研究体験を得られたことが伺えた。

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

- 対象
全国の高校生
- 日程・場所
2022年3月26日(土) – 29日(火)・木曾観測所



図 3.17: 発表会の様子 (左), 集合写真 (右)

- 担当者

講師: 上塚貴史, 山岸光義 (天文センター)

TA: 菊地原正太郎 (東大・天文・D3), 平島敬也 (東大・天文・M2), 直川史寛 (東大・物理・M1), 嶋田理央 (慶應義塾大・理工・B4), 田中匠 (東大・天文・B3), 妹尾梨子 (東大・地惑・B3), 丸山満ちる (東北大・理・B1)

スタッフ: 森, 近藤, 青木, 小林

- 参加人数

高校生 16 名 (応募者 36 名から抽選)

- 研究テーマ

星から始める天の川銀河探査

天の川銀河 星形成活動の全貌に迫る

- 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

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3高校に対し実施した(※)。本来は1泊2日の日程で木曾観測所にて合宿形式で実施するが、COVID-19感染のリスクを抑えるため、今年度も高校への出張やプログラムを1日に変更するなど開催方法を工夫して実施した。

参加学校	参加生徒数	実施日時	担当
長野県屋代高校**	2年生 38名	7月15-16日	主講師: 高橋, 副講師: 山岸光義(天文センター) TA: 劉強(信大・総合医理工・M1), 白澤稜太(信大・理・B4)
長野県木曾青峰高校	2年生 31名	8月4日	主講師: 高橋, 副講師: 小山舜平(天文センター), サポート: 青木, 近藤, 森 TA: 劉強(信大・総合医理工・M1), 穂満星冴(東大・天文・M1)
長野県飯山高校**	2年生 45名	10月1-2日	主講師: 森, 副講師: 浅野健太郎(天文センター) TA: 陳諾(東大・天文・M2), 柿元拓実(信大・理・B4)

**SSH(スーパーサイエンスハイスクール指定校)

(※) 長野県伊那北高校も実施を予定していたが, COVID-19 感染拡大のため, オンライン講義を行うことで代替した。

木曾観測所特別公開 (2021年9月18日)

毎年恒例の特別公開を9月に計画していたが, COVID-19 の感染拡大のため施設公開は中止し, 広い会場を借りて講演会のみ実施した。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。会場準備や広報, 当日の運営において, 木曾文化公園・木曾広域連合からの多大な協力を得て, 地元との連携が深められた。

- **日程・場所**

2021年9月18日(土)・木曾文化公園文化ホール

- **講演**

『電波天体の「またたき」から宇宙の風を測る ～我が国における低周波天文学の最前線』

(名古屋大学宇宙地球環境研究所太陽圏研究部 徳丸宗利 教授)

『一瞬の「キラメキ」を探して ～世界における木曾観測所の役割』

(東京大学大学院理学系研究科天文学教育研究センター 宮田隆志 教授)

- **参加人数**

来場者 32名, YouTube 161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, 青木, 高橋, 近藤, 森

- **主催**

東京大学木曾観測所, 名古屋大学宇宙地球環境研究所

- **共催**

木曾文化公園, 木曾広域連合



図 3.18: 講演会の様子

東大オープンキャンパス (2021 年 7 月 10 日–11 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、2021 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。

天文学教育研究センター特別公開 (三鷹 2021 年 10 月 23 日)

2021 年度の三鷹キャンパス特別公開「三鷹・星と宇宙の日」は、新型コロナウイルス感染拡大防止の観点から今年度もオンライン開催という形で行われた。天文学教育研究センターでは、特設サイト内での研究紹介・施設紹介ポスターや動画の公開や、理学部チャンネルを通じたライブ配信（大学院生ミニ講演、博士の部屋）を行った。木曾観測所としては特設サイト内で、トモエゴゼン計画の紹介のポスター公開および動画として木曾観測所紹介、シュミット望遠鏡のデモンストレーションの様子を紹介した他、同年 9 月に木曾文化公園で行われた木曾観測所特別公開講演会の録画映像も公開した。

広報用ポスターの制作

木曾観測所の広報を目的としたカレンダーを制作した(森)。KWFC で撮影した渦巻銀河 ($M33$) の、 B , V , $N6590$ フィルタのデータを用いた。観賞用画像の制作に最適化した一次処理法を用い、チップ間の画像の段差や、画素の飽和パターンの除去を行い、Photoshop で色合成した画像を用いてカレンダー (B2 版) を制作した。デザインはイラストレーターの若尾寛子氏が担当した。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、教育機関等に幅広く配布された。



図 3.19: 2022 年のカレンダー

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
6月25日	伊那西小学校見学・4D2U	小学5年生7名, 引率4名	青木, 高橋, 近藤
8月6日	木曾郡生活科総合同好会見学	10名	青木
11月16日	信州大学見学	学生4名	森, 近藤
1月7日	伊那地域星空愛好家見学	6名	青木
1月10日	東京大学木曾谷研究会見学	学生1名	森
1月17日	名古屋市立大学見学	3名	高橋
3月13日	伊那北高校オンライン講義 「電波観測で解き明かす神秘的な宇宙」 「木曾観測所と重たい星とさらに遠い宇宙へ」	高校1年生39名	西村淳(野辺山) 高橋
3月28日	みらいこども伊那御園教室見学	子供13名, 引率7名	青木

プレスリリース

1. Ia型超新星の爆発直後の閃光を捉えることに成功！—特異な爆発に至る恒星進化の謎に迫る—

2021年12月9日に、トモエゴゼンを用いたIa型超新星の爆発直後の観測成果について、IPMU主導・理学系副主導でプレスリリースを行った。

メディアでの紹介

新聞	12月10日	中日新聞 14面
	12月11日	信濃毎日新聞 33面
	12月14日	朝日新聞夕刊
web ニュース	12月9日	日本経済新聞電子版
	12月10日	Phys.org
	12月10日	中日新聞 (電子版)
	12月10日	マイナビニュース
	12月14日	朝日新聞デジタル

その他 各メディアでの紹介

1. 新聞・Web ニュース

6月9日	小惑星「Kushiike」命名	上越タイムス 1面
8月14日	天体イベントに30人	市民タイムス 17面
9月12日	18日に天文講演会	市民タイムス 22面
9月21日	東大と名大の研究者 講演	市民タイムス 1面
10月25日	親子興味津々 天体観測学ぶ	市民タイムス 14面
11月14日	県内どこからでも天の川見られます	長野日報
11月14日	県内の全市町村で 天の川見られます 研究施設などが発表	中日新聞 (電子版)
11月28日	斜面	信濃毎日新聞 1面
1月13日	3月に銀河学校 天文研究を体験	市民タイムス 1面
1月21日	銀河学校募集	読売新聞 (長野版)
1月24日	知究学 影絵を使った天体観測	信濃毎日新聞 9面

2. 雑誌・情報誌

木曾観測所とトモエゴゼン	月刊うちゅう	2021年5月号
100年に1回の衝突を見逃さない	日経サイエンス	2022年1月号
すごいぞ!日本のカメラ	小学8年生	2022年2・3月号
「銀河学校2022」参加者募集	天文月報	2022年1月号
	星ナビ	2022年1月号
	天文ガイド	2022年2月号
	Newton	2022年2月号

3. テレビ

11月19日	夕方 Get (観測所から部分月食中継)	テレビ信州
12月7日	みみより! くらし解説 (NASA DART 計画の解説)	NHK 総合
1月6日	コズミックフロント 「宇宙をひらく 究極の「時間」に迫れ!」	NHK BS プレミアム

4. 書籍・出版物など

2021年7月	書籍「宮沢賢治と学ぶ宇宙と地球の科学 第1巻 宇宙と天体」 写真「おとめ座銀河団」使用
2021年7月	書籍「天文宇宙検定公式問題集2級銀河博士 2021~2022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
2021年9月	書籍「大学入試シリーズ 長崎大学 (理系)」 写真「馬頭星雲」使用

5. その他

12月4日-3月6日 伊丹市立こども文化科学館プラネタリウム
「怪盗Bからの予告状 ～宇宙にはどんな天体があるの?～」
写真「おとめ座銀河団」使用

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
画像処理室	71 m ²	1985 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
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舍 〒 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
職員宿舍	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・職員宿舍
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 3.3: 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)

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。

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3.4に観測の開始・再開条件および中断・終了条件を示す。

表 3.4: 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

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、夜間は高頻度、昼間は頻度を落とした撮影をおこない運用している。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	7時-16時：20分に1度 16時-翌日7時：2分に1度 ※ 2021年12月1日からは、全時刻で2分に1度の頻度へ変更
設置場所	木曾観測所本館屋上

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。

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° 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

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

雨露センサ

雨滴の検出には、アスザック社の AKI-1805 を 6 台と Vaisala 社製の DRD-11A を 1 台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。

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。

監視カメラ（屋内、屋外）

望遠鏡やドーム、敷地の安全確認のため、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。

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-SC384
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。

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。

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。

Tomo-e Gozen 観測用計算機

Tomo-e Gozen 多くの計算機によって運用されている。望遠鏡ドーム1階にあるドーム計算機室には3台のサーバラックが設置されており、それぞれデータ取得用計算機、一時保存用バッファ計算機、データ解析用計算機が格納されている。データ取得用計算機はカメラの駆動と4つのカメラモジュールから生成されるデータの取得を担当している。一時保存用バッファ計算機はカメラから出力された画像データを数日間保管する役割になっている。一時保存用バッファ計算機に保管されたデータは一定の期間が経過すると自動的に消去される。データ解析用計算機は一時保存用バッファ計算機からデータを取得して、あらかじめ指定された解析を実行して解析結果を後述するデータアーカイブシステムに保存する。それぞれの計算機の名前と役割を表 3.5, 3.6, 3.7 に示す。

表 3.5: 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)

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 3.8 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 3.9)。

表 3.6: 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 3.7: 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

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 3.8: 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 3.9: 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

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. 2021 年度には

突発天体サーベイ用計算機の増強にともなって計算機ラックを1台追加した。各計算機の名前と用途を表 3.10 にまとめた。

表 3.10: 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
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)

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。

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(3台故障のため、使用可能な計算機は9台)。これらの計算機は2013年度に導入されたWindowsPCで、Windows 10で動作している。Windows環境にはFITS画像解析のためのマカリ、ds9の他、MSOfficeがインストールされている。また、VirtualBoxを用いた仮想環境でLinuxが動作するようになっており、Linux環境ではIRAFが使用可能となっている。近年は実習でTomo-e Gozenのデータを扱うようになり、教育用計算機的能力不足を感じるようになったため、2020年度末に新たな計算機「fopm-kiso」を導入した。Linux環境を使用する実習では、従来のWindowsPCをコンソールとして使い、fopm-kisoで解析を行っている。

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。

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。

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。2013年度から NTT の光ファイバーを使ったインターネット接続サービスを利用しており、2017年2月からは 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る。

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。

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る。

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。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 (UTokyo WiFi)、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。

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 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

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。

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。(現在は福島、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 3.11 に纏める。

表 3.11: 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。

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。

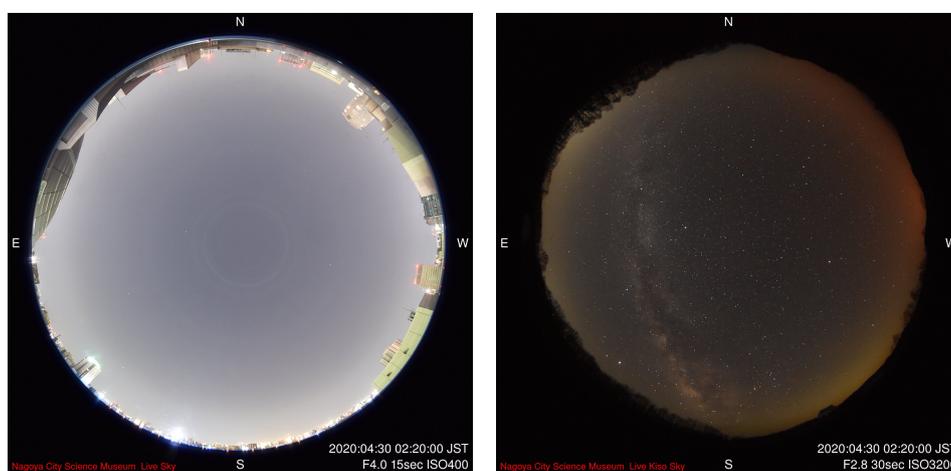


図 3.20: 名古屋と木曾の星空の比較

DIMS

甲南大学と日本大学が共同して開発を行っている DIMS を木曾観測所本館屋上に設置した。DIMS とは Dark Matter and Interstellar Meteoroid Study の略で、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ある。将来的に米国ユタ砂漠に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、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 DIMS を設置し、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いる。木曾観測所とは2019年9月に協定が交わされ、現在は本館屋上に設置されている。運用はネットワークを通じて完全リモートで行われており、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いる。



図 3.21: 屋上に設置された DIMS (手前)

3.4 運用, 管理所

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。本年度も新型コロナウイルス感染症の影響により滞在者は少なめであったが、20人規模の実習を再開できたこともあり、2020年度に比べて増加した。

所属機関	延人数(人)	滞在期間(人・日)
東京大学(天文センター)	10	378
東京大学(センター以外)	22	64
国立天文台	3	7
他大学・他機関	65	172
外国	0	0
高校生	16	47
その他	6	11
計	122	679

3.4.2 日誌

2021年	6月26日	ドームスリットゴム交換
	8月6日	産業医巡視
	8月14日	豪雨災害(国道19号・中央西線不通)
	9月18日	木曾観測所特別公開講演会(於:木曾文化公園・YouTube)
	9月28日	木曾広域ケーブルTV光化
	10月4日-6日	木曾シュミットシンポジウム(於:木曾観測所・Zoom)
	11月1日	Tomo-e Gozen 一次処理済みデータ SMOKA にて公開開始
	11月10日-11日	主鏡蒸着(於:岡山天体物理観測所)
	11月18日	木曾観測所共同利用相談会(於:天文センター・Zoom)
	12月20日	暖房ボイラー更新
	12月22日	電気設備更新
	2022年	3月1日
3月8日		電気室トランス交換
3月23日		AED交換
3月26日-29日		第25回 銀河学校

3.4.3 役務, 営繕工事等

豪雨災害復旧工事

2020年7月に長野県木曾地方に局地的豪雨があり、近隣地域に災害が発生した。観測所においては本館、夜天光観測室には被害はなかったものの、シュミットドームは大規模な雨漏りが発生し、一時機能不全に陥った。その後の点検では機械的・電氣的に致命的な被害は見られなかったが、雨漏り防止の根本的な対策および150cm主鏡の再蒸着が必要となった。災害復旧のための予算が認められ、スリット部改修は2021年6~7月に、主鏡再蒸着は2021年11月に行われた。スリット部は可動部であること、および製造後またその後の補修後から長期間経っていることから抜本的な改修の必要があった。今回はスリット両サイドのドーム壁面および戸当たり部・妻部からの吹き込み防止処理の他、戸当たり部のベースゴムの交換も行なった。ところでスリット開口部は上下方向に12m近くあるが、閉時の隙間は高さによって異なる。そこで高さに応じてスペーサーを貼ること

で、スリットを閉じた際に隙間がなくなるように調整した。これらの施工により、雨天時の雨の侵入をほぼ防ぐことができる状態まで回復した。

主鏡は、前回の蒸着が2009年で11年経過していたこともあり、再蒸着を行うことにした。前回と同じ国立天文台岡山天体物理観測所に主鏡を搬送し、2021年11月10～11日にかけて行われた。それに先立ち、8月には蒸着に必要なフィラメントのプレウエットイングも行った（於国立天文台岡山天体物理観測所）。作業は他の天文台の主鏡蒸着作業と同じで、反射率測定、洗浄、剥離（＋洗浄）、真空引き、蒸着、反射率測定という手順である。作業は特に大きな問題も無く行われ、最終的な反射率も90.4%（@650nm）と十分な光学性能を有していることも確認した。さらに今回の蒸着で同時に成膜したサンプルを主鏡やミラーカバー、鏡筒先端に設置した。一定期間ごとにこのサンプル鏡の反射率を測定し、長期間に渡る経年変化を観測する。

電気設備更新

木曾観測所では6600Vの高圧受電を行っており、本館電気室の4台の変圧器（単相20kVAの6600V/100V、三相30kVAと50kVAの6600V/200V、三相75kVAの6600V/400V）で降圧して使用される。さらに、このうち降圧された400Vについてはドームと夜天光観測施設の電気室に送電され、それぞれに設置している変圧器（三相400V/200V、三相400V/100V）でさらに降圧して使われている。高圧受電設備は安全性の観点から機器について更新推奨時期が設定されており、電気保安業務を委託している中部電気保安協会から、数年前から多くの機器について更新推奨時期に達していると指摘されていた。また、本館の三相30kVAの6600V/200Vと三相75kVAの6600V/400Vの変圧器については、更新推奨時期の超過以外に、年次点検により絶縁油の劣化が判明していた。そこで今年度は以下の高圧受電設備の更新工事を実施した。

- 送電線: 本館電気室の側にあるハンドホールから第1柱までの間にある各ハンドホールを経由しながら道路を掘削、そこに合成樹脂製電線管を埋設した。その電線管に新規の6600V用ケーブルの敷設を行った。工事の最終日に、今までのケーブルから新しいケーブルへの切り替えを実施した。
- PAS: 電力会社と観測所の責任分界点である第1柱の上に波及事故防止ため、PAS(Pole Air Switch; 柱上気中開閉器)が設置されているのだが、ヒューズ遮断型のAOG(Air Overcurrent Ground Type; 架空線用高圧気中遮断器)機能を持つ機種から開閉型のSOG(Storage Over Current Ground; 架空線用高圧気中開閉器)機能を持つ機種へ周辺機器も含め交換した。それに伴い、今までAOGへの電力供給のために使われていた第1柱の横にあるキュービクルへの送電を止め、高圧受電設備としての機能を停止させた。
- LBS: 本館電気室設備への電路の開閉のために設置されているLBS(Load Break Switch; 高圧交流負荷開閉器)の交換を行なった。
- 変圧器: 三相30kVA 6600V/200Vの変圧器の交換を行なった。

その他

2021年	6月	電気室換気扇交換 ドームスリットゴム貼替工事 ドームスリット点検部床・望遠鏡廻り塗装工事 上松宿舎ガスボンベ調整器交換 電気年次点検
	7月	ドームスリット開閉部補修工事 構内草刈り
	9月	火災報知器保守点検 木曾広域ケーブルTV光化工事

	10月	本館屋上 電源・LAN コンセント設置 灯油タンク点検
	11月	ドーム周り砂利敷き・側溝補修工事 30cm 望遠鏡改修・ドーム駆動自動化 高圧地下ケーブル張替用 道路掘削工事 ドーム内側・外側 錆取り ドーム回転カウント用バー修繕 ドーム壁, 観測室壁・天井 塗装改修工事 ドーム入口扉修繕・塗装, 荷搬出扉塗装改修工事 ドーム計算機室壁コア抜き ドーム外階段補修工事 純水装置・地下室冷凍庫・コンプレッサー廃棄 浄化槽法定検査
	12月	シュミット望遠鏡シーケンサー修理 上松連絡所雨どい改修工事 浄化槽送風機修理 暖房ボイラー交換工事 電気設備更新 上松宿舎 201 号室 ブレーカー修理
2022年	1月	上松宿舎 201 号室 給湯機交換 浴室脱衣所壁掛け扇風機・パネルヒーター設置 雷対策調査 食堂換気扇交換 上松宿舎 201 号室 エアコン設置 講義室エアコン修理 ドームクレーン交換 ドーム内階段・床劣化修理 30cm 望遠鏡ドーム床上げ工事 本館 1 階男子トイレ排水不良修繕 本館 1 階男子トイレ暖房機修理工事
	2月	厨房レンジフード・エアコンクリーニング 計算機室エアコン室外機能変更・防風セット取付
	3月	セレナ車検 電気室トランス交換 ドーム観測床コンセント拡張工事 ボイラー室網戸取付 ドームスリット UPS 設置工事・望遠鏡制御系改修 ドーム地下照明取替 上松宿舎漏水補修工事（南側壁取付） 浄化槽清掃 本館西側屋上防水工事 本館西側屋上屋上鉄製フェンス塗装工事 火災報知器保守点検

3.4.4 晴天率・観測統計

2013年からの晴天率・観測統計を図 3.22 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。

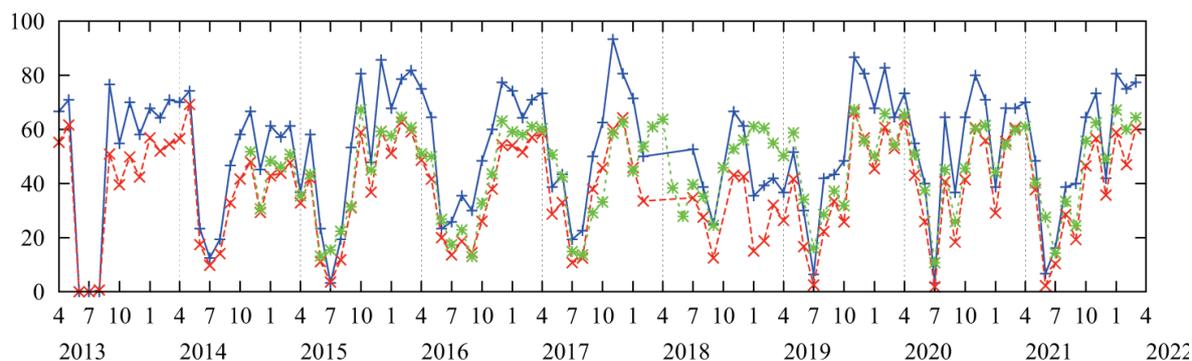


図 3.22: 晴天率と観測効率. 青色が日効率, 赤色が時間効率, 緑色が晴天率を表す.

3.4.5 環境安全衛生

産業医巡視

産業医巡視が8月6日に行われた。重大な改善指摘事項はなかった。

廃棄処理

ドーム内の故障した大型設備(冷凍庫, 純水製造機, 空気乾燥ユニット)を処分し, 作業や収納スペースを確保した。日常の屋外の環境整備を進めることで, 敷地内にあった多くの不要物が見つかったが, それらも同時に処分した。

新型コロナウイルス感染症対策

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。また来客時の対応として, 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。また来客時に対応として、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た。宿泊については1部屋1人という制限を設けている。ただし銀河学校の際は、ワクチン接種または直前の検査で陰性が証明されていることを条件にこの制限を緩和し、1部屋2人までを許可した。設備の対策としては、本館食堂の古くなって使えなくなっていた換気扇を新しい熱交換型の換気扇に変更し、常時運転させている。

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。

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）を実施している。特に重要なドーム、本館および夜天光施設の3つの建物の周囲は定期的3回以上に細やかに実施しているが、所員全員が協力してこの業務にあたっている。

枝打ち

所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。

3.5 所員

3.5.1 教員および職員

木曾観測所

小林 尚人 (准教授, 所長)
 高橋 英則 (助教)
 近藤 莊平 (技術職員)
 青木 勉 (特任専門員, -2022/03/31)
 森 由貴 (主事員, 2021/04/01-)
 中地 紀子 (臨時用務員)

天文学教育研究センター

酒向 重行 (准教授)
 諸隈 智貴 (助教, -2022/01/31)
 大澤 亮 (特任助教)
 瀧田 怜 (特任研究員)

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・Zoom, 2021/11/18)

	土居 守 (センター長)	
相談会メンバー	小林 尚人 (観測所長)	高橋 英則 (木曾観測所, Zoom 参加)
	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, Zoom 参加)	中西 裕之 (鹿児島大学, Zoom 参加)

3.5.4 記録事項

1. 科学研究費補助金等

土居 守	光赤外線天文学大学間連携 (2017-2022) 「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」
田中 貴浩 (計画研究 B03 代表 吉田道利) (酒向 重行 分担)	科学研究費助成事業 新学術領域研究 (2017-2022) 「重力波物理学・天文学：創世記」 「計画研究 B03：重力波源の光赤外線対応天体観測で迫る中性子星合体の元素合成」
高橋 英則	科学研究費補助金 基盤研究 (B) (2018-2021) 「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」
奥村 真一郎 (酒向 重行 分担) 大澤 亮	科学研究費補助金 基盤研究 (B) (2018-2022) 「高速移動天体の検出による微小天体サイズ分布の解明」 科学研究費補助金 若手研究 (2018-2022)

土居 守	「動画分光観測による惑星間空間ダスト組成サーベイ」 科学研究費補助金 基盤研究 (S) (2018-2023)
富永 望 (諸隈 智貴 分担)	「爆発直後からの観測による Ia 型超新星の起源解明」 科学研究費補助金 基盤研究 (A) (2020-2023) 「すばる望遠鏡超広視野主焦点カメラ HSC 全データ解析による深宇宙時間軸天文学の発展」
山本 泰生 (酒向 重行 分担)	科学研究費補助金 基盤研究 (C) (2020-2023) 「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) (2020-2025) 「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) 「小型赤外線全天雲モニタの開発」
諸隈 智貴	科学研究費補助金 新学術領域研究 (2021-2022) 「すばる望遠鏡超広視野主焦点カメラ HSC 全データ解析による深宇宙時間軸天文学の発展」
青木 和光 (諸隈 智貴 分担)	科学研究費補助金 基盤研究 (A) (2021-2024) 「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」
酒向 重行	科学研究費補助金 基盤研究 (A) (2021-2024) 「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」

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
諸隈 智貴	大学間連携 「大学間連携による光・赤外線天文学研究教育拠点のネットワーク構築」 観測企画運営委員
諸隈 智貴	光赤外線天文連絡会 運営委員
諸隈 智貴	日本 FITS 委員会 委員

3. 学部大学院講義

教員名	講義名	大学または大学院名	時期
酒向 重行	星間物理学 I	東大天文学科 4 年	2021 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	2021 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	2021 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	2021 年度夏学期
酒向 重行	基礎天文学観測	東大天文学科 3 年	2021 年度冬学期
小林 尚人	天体輻射論 I	東大天文学科	2021 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 (D1)	紅山 仁	微小地球接近小惑星の観測的研究
酒向 重行	学部生 (B4)	津々木 里咲	中間赤外線全天雲モニタの開発
小林 尚人	博士課程 (D2)	谷口 大輔	WINERED による星の化学組成の導出

5. 国外出張

- 高橋 英則 2021年11月14日-11月21日
国立天文台ハワイ観測所
近赤外分光撮像装置 SWIMS 観測準備
- 高橋 英則 2021年12月10日-12月23日
東京大学アタカマ観測所 (サンペドロ・デ・アタカマ) および TAO 関連業社 (カラマ)
TAO 望遠鏡蒸着装置設置に関する視察および打ち合わせ
- 高橋 英則 2022年3月9日-4月1日
国立天文台ハワイ観測所
近赤外分光撮像装置 SWIMS の機能拡張 (IFU インストール) および試験観測