

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

2020 (令和 2) 年度

2021 (令和 3) 年 8 月

目次

第1部 天文学教室	5
1.1 天文学教室の沿革と現状	7
1.1.1 天文学教室の歴史	7
1.1.2 天文学教室の所在地	8
1.1.3 理学部卒業生	8
1.1.4 大学院修士課程修了者	8
1.1.5 大学院博士課程修了学位取得者	8
1.1.6 大学院博士課程修了学位取得者(修業年限の特例による)	8
1.1.7 大学院博士課程退学後学位取得者(1990年度からの統計)	8
1.2 教員, 職員, および研究員	9
1.2.1 教員および職員	9
1.2.2 日本学術振興会特別研究員	9
1.2.3 日本学術振興会外国人特別研究員	9
1.2.4 特任研究員	9
1.2.5 客員共同研究員	9
1.2.6 名誉教授	10
1.2.7 学部・大学院教育に参加する関連研究機関の教員	10
1.3 学部学生, 大学院学生, および研究生	10
1.3.1 学部学生	10
1.3.2 大学院学生 ([] 内は指導教員)	11
1.3.3 博士論文, 修士論文および課題研究発表	12
1.4 授業	14
1.4.1 学部	14
1.4.2 大学院	15
1.5 研究活動	16
1.5.1 宇宙及び系外銀河	16
1.5.2 宇宙の高エネルギー現象	19
1.5.3 銀河系および星間物質	20
1.5.4 恒星	22
1.5.5 太陽系外惑星および星惑星形成	30
1.5.6 太陽系	32
1.5.7 機器・ソフトウェア開発	32
1.6 論文および出版物	33
1.6.1 英文報告	33
1.6.2 和文論文および解説記事	45
1.6.3 著書, 訳書, 編書	45
1.7 学会, 研究会における発表	45

1.7.1	日本天文学会 2021 年春季年会, 東京工業大学 (オンライン開催) (2021/3/16-3/19) . . .	46
1.7.2	国際研究会	46
1.7.3	国内研究会	48
1.7.4	その他の講演	50
1.8	その他の活動	51
1.8.1	記者会見, プレスリリース, 新聞報道	51
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	来訪者	53
1.10	教室談話会	54
第 2 部	天文学教育研究センター	55
2.1	天文学教育研究センターの沿革と現状	57
2.1.1	東京大学アタカマ天文台 – TAO 計画の経緯と進捗	59
2.2	教員, 職員, 名誉教授, 研究員等	60
2.2.1	教員及び職員	60
2.2.2	研究員及び客員	60
2.2.3	名誉教授	61
2.3	天文学教育研究センター運営委員会	61
2.4	敷地, 建物, 及び主な設備・備品	61
2.5	研究活動	62
2.5.1	宇宙および系外銀河	62
2.5.2	銀河系および星間物質	71
2.5.3	恒星および系外惑星	71
2.5.4	望遠鏡, 観測機器, ソフトウェアの製作と開発	73
2.5.5	TAO 計画	76
2.5.6	TAO 6.5 m 望遠鏡用近赤外線エッセル分光観測装置 NICE	83
2.6	論文及び出版物	86
2.6.1	英文報告	86
2.6.2	和文その他の解説記事	97
2.7	学会, 研究会における発表	97
2.7.1	日本天文学会 2020 年秋季年会, 弘前大学 (オンライン開催) (2020/09/08-09/10)	97
2.7.2	日本天文学会 2021 年春季年会, 東京工業大学 (オンライン開催) (2021/03/16-03/19)	98
2.7.3	JpGU - AGU Joint Meeting 2020 : Virtual, オンライン大会 (2020/07/12-16)	100
2.7.4	国際研究会	100
2.7.5	国内研究会	101
2.7.6	その他の講演 (談話会等)	103
2.7.7	研究会の主催	103
2.8	天文センター談話会	103
2.9	広報普及活動・社会貢献	104
2.9.1	特別公開	104

2.9.2	東大オープンキャンパス	104
2.9.3	センターホームページ改修	105
2.9.4	普及講演	105
2.9.5	プレスリリース	105
2.9.6	雑誌等取材記事	105
2.10	その他の活動	105
2.10.1	講義等(学部)	105
2.10.2	講義等(大学院)	106
2.10.3	各種委員	106
2.10.4	科研費等	106
2.10.5	PI 共同利用時間	107
2.10.6	国外出張	108
2.10.7	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	KWFC を用いた研究	132
3.2.4	写真乾板を用いた研究	134
3.2.5	望遠鏡とドームの保守, 整備	135
3.2.6	計算機の保守, 整備	136
3.2.7	ネットワーク・通信機器の保守, 整備	138
3.2.8	データアーカイブ	138
3.2.9	所員の研究活動	139
3.2.10	論文および出版物	140
3.2.11	天文電報等	145
3.2.12	学会, 研究会等での報告	147
3.2.13	学生実習	149
3.2.14	地域貢献事業	151
3.2.15	教育(パブリックアウトリーチ)・広報活動	155
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	175

3.4.1	宿泊	175
3.4.2	日誌	175
3.4.3	役務, 営繕工事等	176
3.4.4	晴天率・観測統計	176
3.4.5	環境安全衛生	177
3.4.6	環境維持	178
3.5	所員	179
3.5.1	教員および職員	179
3.5.2	外国人来訪研究者	179
3.5.3	木曾観測所共同利用相談会 (Zoom によるオンライン開催, 2020/11/30)	179
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 (2021 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-2020年度)	510名	(うち2020年度11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-2020年度)	709名	(うち2020年度26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-2019年度)	382名	(うち2020年度5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-2019年度)	7名	(うち2020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-2019年度)	22名	(うち2020年度1名)
博士課程退学者・論文博士	(1990年度-2019年度)	10名	(うち2020年度0名)
論文博士(天文以外の出身者)	(1990年度-2019年度)	8名	(うち2020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

越本 直季 (PD) [田村]
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

MRIDUSMITA Buragohain [左近]
WANG Long [藤井]

1.2.4 特任研究員

吉田 敬 [梅田]
熊本 淳 [藤井]
Livingston John Henry [田村]
森 昇志 [相川]
楊 毅 [田村]
CATALDI Gianni [相川]

1.2.5 客員共同研究員

Ryan Masami LAU [左近]

1.2.6 名誉教授

海野 和三四 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准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本原顕太郎教授、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准教授、また、非常勤講師として宇宙科学研究所の井上一名誉教授、福島登志夫名誉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)
准教授 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 郷田直輝 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
准教授 原弘久 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 片坐 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	板根晶規(2020年9月18日卒業)	池邊蒼太	黄 天銳	越 諒太郎
	清水利憲	武田佳大	辻田旭慶	徳野鷹人
	西野耀平	水谷洋輔		西垣萌香
3年	有田淳也	井上修平	神原祐樹	小林将理
	津々木里咲	成瀬日月	長谷川智也	波多野 駿
				小道雄斗
				船越菜月

(次ページに続く)

1.3.2 大学院学生 ([]内は指導教員)

- D3 石塚将斗 [田村] (2020年9月18日修了)
 ZHANG Jin [田村] (2020年9月18日修了)
 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)
 石田 剛 [河野] 一木 真 [土居] 崔 仁士 [相川]
 須藤貴弘 [戸谷] 辰馬未沙子 [小久保] DE LEON Jerome Pitogo [田村]
 森 寛治 [中村] 山口正行 [田村]
 JIAN Mingjie [田村] (2018年9月21日進学)
 LIN Haoxiang [戸谷] (2018年9月21日進学)
 LUO Yudong [中村] (2018年9月21日進学)
- D2 有馬宣明 [土居] 石塚典義 [原] 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)
- D1 安藤 誠 [嶋作] 遠藤いずみ [相川] 沖野大貴 [本間]
 櫛引洸佑 [本原] 高倉隼人 [関本] 谷口大輔 [小林]
 聖川昂太郎 [梅田] 星野 遥 [小久保] 御堂岡拓哉 [海老沢]
 森 万由子 [田村] 山崎雄太 [中村] 吉成直都 [藤井]
 吉村勇紀 [河野]
 張 也弛 [大内] (2020年9月24日進学)
- M2 張 也弛 [大内] (2020年9月18日修了)
 川上知洋 [深川] 朝野哲郎 [藤井] 石本 梨花子 [柏川]
 宇野慎介 [河野] 大野望海 [原] 小川貴士 [土居]
 桶屋誠人 [片坐] 木下真一 [中村] 栗山直人 [茂山]
 桑田敦基 [田村] 黄 燦 [奥田] 後藤光希 [深川]
 五島雛子 [嶋作] 酒井 直 [大内] 沈 有程 [梅田]
 高村美恵子 [本間] 橋 健吾 [宮田] 恒次翔一 [峰崎]
 富永愛侑 [海老沢] 中津野侃貴 [郷田] 中村洋貴 [本原]
 長谷川龍斗 [深川] 平田圭佑 [相川] 紅山 仁 [小林]
 三橋一輝 [阪本] 吉田雄城 [小久保] NAGELE CHRISTOPHER [梅田]
 LUO Tianyin [梅田] (2019年9月20日入学)
 張 天放 [土居] (2019年9月20日入学)
- M1 足達洋亮 [深川] 小川卓馬 [郷田] 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 奔 [大内] (2020年9月24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 (2020 年 6 月 8 日取得)

藤井 善範 Fast localization of coalescing binaries with gravitational wave detectors and low frequency vibration isolation for KAGRA

博士論文 (2020 年 9 月 18 日取得)

石塚 将斗 Studies of exoplanets with high resolution spectroscopy
ZHANG Jin Near-Infrared Polarimetric Differential Imaging Instruments with the Subaru Coronagraphic Extreme Adaptive Optics

博士論文 (2021 年 3 月 19 日取得)

須藤 貴弘 The Extreme Universe and Multi-Wavelength Sky Probed by TeV Gamma-Ray Observations: Pulsar TeV Halos, Radio Emission from Quiescent Galaxies, and Black-Hole Jets
DE LEON Discovery and characterization of transiting exoplanets with diverse radii and ages
Jerome Pitogo
森 寛治 Evolution of Low- and Intermediate-mass Stars with Physics beyond the Standard Model

修士論文 (2020 年 9 月 18 日修了)

張 也弛 Lyman α Emitters Explored by the HETDEX Blind Spectroscopic Survey

修士論文 (2021年3月19日修了)

川上 知洋	ミリ波高解像度観測による Class I 原始星 TMC-1A の星周構造の研究
朝野 哲郎	Resonant orbits of the stars in the Milky Way disk
石本 梨花子	The Physical Origin of the Patchy Reionization
宇野 慎介	ミリ波サブミリ波帯メタルメッシュフィルターの開発
大野 望海	太陽フレアの高密度領域の研究
小川 貴士	Tomo-e Gozen によるブレアデス星団の変光星観測
桶屋 誠人	赤外線位置天文衛星 JASMINE の観測画像の既存観測データからの推定
木下 真一	Triggered star formation by shocks
栗山 直人	星周物質との相互作用によって輝く IIIn/Ibn 型超新星の親星における爆発的質量放出の研究
桑田 敦基	スパースモデリングを用いた地球型系外惑星における表面組成のグローバルマッピング
黄 燦	A Multiwavelength Study of 1.1mm-detected Galaxies in SXDF and SSA22
後藤 光希	非対称な原始惑星系円盤を持つ V1247 Ori におけるダスト成長
五島 雛子	Constraints on the Ly α Luminosity Function and Cosmic Reionization at $z=7.3$ with Subaru/Hyper Suprime-Cam
酒井 直	Development of a Machine Learning-Based Object Selection Method for the HETDEX Dark Energy Survey
沈 有程	初代星の星団形成における超音速ガス流の効果
高村 美恵子	超長基線電波干渉計観測による狭輝線セイファート 1 型銀河 1H 0323+342 における超臨界降着流の周辺環境の検証
橋 健吾	AKARI・WISE によるダストに埋もれた AGB 星の中間赤外線長期変光調査
富永 愛侑	LiteBIRD 衛星における宇宙線ノイズの影響評価と機上機器によるデータ処理の検討
中津野 侃貴	二重バー構造に対する中心質量集中の力学的影響の研究
中村 洋貴	Pa α 輝線で探る近傍 LIRG の空間分解した星形成活動および銀河相互作用の影響
平田 圭佑	リング・空隙構造をもつ原始惑星系円盤の物理構造と化学組成分布
紅山 仁	木曾 Tomo-e Gozen を用いた高速移動天体検出システムの開発及び即時追観測による微小地球接近小惑星の観測的研究
三橋 一輝	赤方偏移 4.6 付近での明るいサブミリ波銀河の性質
吉田 雄城	銀河渦状腕形成の素過程 — 重力散乱による軌道位相同期 —
NAGELE CHRISTO- PHER	Outcomes and Observables from Population III Supermassive Star Collapse via a General Relativistic Instability

課題研究発表

池邊 蒼太 [戸谷]	高速電波バーストの光度関数とその進化
黄 天銳 [茂山]	磁気回転風の非定常モデル
越 諒太郎 [土居]	Ia 型超新星のスペクトル細分類ごとの光度曲線の多様性
清水 利憲 [田村]	すばる望遠鏡用超補償光学系 SCEXAO と赤外線面分光器 CHARIS による低質量伴星の高コントラスト直接観測
武田 佳大 [柏川]	機械学習を用いた $z \sim 4$ における低密度領域銀河の検出
辻田 旭慶 [河野]	重力レンズ効果を用いた高赤方偏移星生成銀河の星間物質の研究

(次ページに続く)

徳野 鷹人 [梅田]	かじき座ガンマ型脈動変光星における内核と外層の振動の共鳴についての星震学
西垣 萌香 [嶋作]	Ly α 輝線と CIV 輝線を用いた $z \sim 2.2$ の暗い AGN の探査
西野 耀平 [酒向]	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
水谷 洋輔 [相川]	輻射輸送計算による原始星コアの物理構造の推定

1.4 授業

1.4.1 学部

教養学部主題科目

31649 (S セメスター) 全学自由研究ゼミナール「最新の宇宙像」 河野孝太郎・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 松永典之
 0520003 (A セメスター第4学期) 天文地学概論 戸谷友則・田村元秀・相川祐理・柏川伸成

天文学科3年

0520013 (S セメスター)	銀河天文学	嶋作一大・柏川伸成
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	田中培生
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	田中培生・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	柏川伸成

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・田中培生
0520044 (S セメスター)	星間物理学 II	河野孝太郎・本原顕太郎
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

35604-0008	(S セメスター)	天体力学特論Ⅲ	福島 登志夫
35604-0012	(S セメスター)	光赤外線天文学特論Ⅱ	SILVERMAN John
35604-0017	(S セメスター)	理論天体物理学特論Ⅱ	藤井 通子
35604-0021	(S セメスター)	太陽物理学特論Ⅰ	原 弘久
35604-0029	(A セメスター)	電波天文学特論Ⅳ	本間 希樹
35604-0031	(A セメスター)	銀河天文学特論Ⅰ	柏川 伸成
35604-0039	(A セメスター)	恒星物理学特論Ⅳ	田中 培生
35604-0043	(A セメスター)	星間物理学特論Ⅲ	深川 美里
35604-0049	(S セメスター)	高エネルギー天文学特論Ⅳ	井上 一
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
35604-3001	(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. 約 134 億光年先の天体「GN-z11」が観測史上最遠の銀河だと確定 (柏川)

Linhua Jiang(北京大学)らとの共同研究 GN-z11 から炭素イオンと酸素イオンが放つ光を検出することに成功し、これをもとに算出された赤方偏移は 10.957 で、GN-z11 が約 134 億光年先にある観測史上最遠の銀河であることが判明した (Jiang et al. 2021).

2. $z > 6$ 低光度クェーサーの近接領域サイズの測定 (石本, 柏川)

松岡良樹 (愛媛大), 尾上匡房 (MPIA), 泉琢磨 (国立天文台), Michael Strauss (プリンストン大) 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. これらは従来の約 1/100 の明るさのクェーサーでより低質量のブラックホールを内包していると考えられる. 2020 年度はこのサンプルのうち近赤外観測や ALMA 観測によってシステム赤方偏移がわかっているクェーサーについて近接領域サイズを測定した. これにより従来の測定を倍に増やすとともに光度のダイナミックレンジを大きく広げた. 従来からの指摘通り, 宇宙の中性度にはあまり依存性がないこと確認し, 近接領域サイズが極端に小さい若い年齢を持つと思われるクェーサーを数個発見した (Ishimoto et al. 2020).

3. $z \sim 4$ 原始銀河団の静止系紫外光度関数 (柏川)

利川潤 (バース大), 伊藤慧 (総研大), 久保真理子 (国立天文台) らとの共同研究. このプロジェクトでは, すばる HSC SSP の広域撮像データを活かして $z \sim 4$ の原始銀河団探査を行い, 従来の 20 倍ほどの統計的大規模サンプルを構築し, その普遍的性質を探ろうとしている. このサンプルに基づき, 静止系紫外光度関数を求めたところ, フィールドのものに比べて有意に明るい銀河が多く, 原始銀河団領域において, 星形成率が高く大質量の銀河の形成が促進されていることがわかった (Ito et al. 2020).

4. 銀河間ガスと銀河の関係 (柏川, 嶋作)

Yongming Liang (総研大) らとの共同研究. 背景クェーサーのスペクトルから測定された $z \sim 2$ における銀河間ガスの光学的厚みとライマン輝線銀河個数密度の相関を初めて定量的に測定した. 両者は比例関係にあるが, 銀河個数密度の極端に高いところではその相関が失われており, 高密度領域におけるガスのイオン化, あるいは中性水素ガスによるライマン α 線の減衰, などが原因だと考えられる (Liang et al. 2021).

5. すばる望遠鏡 Hyper Suprime-Cam による $z = 7.3$ Ly α 光度関数の導出と宇宙再電離への制限 (五島, 嶋作, 百瀬, 安藤)

山中郷史 (愛媛大学) らとの共同研究. 宇宙再電離の歴史を探るため, これまで様々な手法で宇宙空間の中性水素の割合 (x_{HI}) が求められてきた. そのうちの一つに, Ly α 輝線銀河 (LAE) の Ly α 光度関数の赤方偏移方向の進化を全銀河の UV 光度関数の進化と比べることで x_{HI} を見積もる手法がある. x_{HI} が大きいと, 銀河から出た Ly α 光子がそれだけ高い確率で散乱され, Ly α 光度関数が暗くなることを利用したものである. この方法による実質的な最遠方の測定は Konno et al. (2014) による $z = 7.3$ のものだが, この観測はサーベイ面積が狭いため, 明るい (したがって数密度の低い) LAE に対して十分な制限を与えることができなかった. そこで我々は, すばる望遠鏡 Hyper Suprime-Cam (HSC) の戦略枠サーベイで得られた合計約 3.0 平方度の狭帯域フィルター NB1010 のデータを用いて, 他の赤方偏移の観測と同等の宇宙体積で $z = 7.3$ の LAE を探査し, Ly α 光度関数の明るい側 ($L(\text{Ly}\alpha) \geq 10^{43.2}$ erg/s) に初めて制限を与えた. 探査の結果, LAE の検出個数は 0 個であった. この結果から明るい側の Ly α 光度関数も $z = 7.0$ から 7.3 の間で有意に光度低下していることが分かった. また本研究では, Ly α の IGM 透過率 (T) の計算は, 系統誤差を避けるため, 先行研究で用いられていた光度密度を用いる方法で

はなく、 $\text{Ly}\alpha$ 光度関数の光度方向の低下の度合から直接見積もる方法を用いた。その結果今回の $z = 7.3$ の探査の結果から $T \leq 0.77$ が得られ、この上限値を用いて x_{HI} を推定したところ $x_{\text{HI}} \geq 0.28$ が得られた。この結果は宇宙再電離は $z = 7.3$ においてまだ進行中であることを意味する。同様の解析を先行研究の $\text{Ly}\alpha$ 光度関数に適用したところ、 $z = 6.6$ と 7.0 では宇宙はほぼ完全に電離しているという結果を得た。

6. $z \sim 6.8$ 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。 $z \sim 7$ の銀河の $\text{Ly}\alpha$ 輝線は宇宙再電離と若い銀河に関する多くの情報をもたらすことが分かっており、可視や近赤外観測によってこうした銀河の $\text{Ly}\alpha$ 光度関数 (LF) や空間分布が調べられてきた。しかし、探査する天域によって $\text{Ly}\alpha$ LF の明るい側がばらつくという問題が生じている。そこで我々は、CHORUS project の一環として、すばる望遠鏡に搭載されている比較的広い帯域幅 ($\text{FWHM} = 330 \text{ \AA}$) を持つ中間バンドフィルター IB945 を用いることで COSMOS field (約 1.5 平方度) の $z \sim 6.8$ における明るい $\text{Ly}\alpha$ 輝線銀河 (LAE) を検出し、bright-end の $\text{Ly}\alpha$ LF を決定するという研究を行なっている。IB945 データは、最も深い場所において限界等級が 26.17 mag (5σ , $w/1.20''$ diameter aperture), その等級より明るい側での detection completeness が約 $40 - 90\%$ であることがわかった。探査の結果、 5σ 限界等級より明るい LAE を約 100 個検出した。今後は aperture や completeness の補正を行なって $\text{Ly}\alpha$ LF を導出し、他の redshift の LF と比較することで電離度の制限を行い、LAE の空間分布についての議論も行なう予定である。また、先行研究で検出された $z \sim 6.8$ LBGs に対して追加で $\text{Ly}\alpha$ 輝線の光度を測って EW 分布を導出し、それに基づいて当時の宇宙の中性度も制限する予定である。

7. 銀河間空間ガスの大規模構造と銀河の関係 (百瀬, 嶋作, 柏川, 安藤)

本原顕太郎, 寺尾恭範 (東京大学), 長峯健太郎 (大阪大学), 清水一紘 (四国学院大学), 日下部晴香 (University of Geneva), 中島王彦 (国立天文台), Lee Spitler (Macquarie University) との共同研究。銀河の進化過程を左右する銀河へのガス供給には、銀河がいる大規模な環境が影響していると考えられる。そこで我々は銀河と銀河間空間ガス (IGM) の相関を観測アーカイブデータとシミュレーションデータを用いて調べた。理論では、GADGET3-Osaka による宇宙論的流体シミュレーションから生成された擬似三次元 IGM トモグラフィデータと擬似銀河カタログを用いた (Shimizu et al. 2019; Nagamine et al. 2021 受理)。観測では、中性水素ガス HI による $\text{Ly}\alpha$ 輝線の吸収線系、 $\text{Ly}\alpha$ フォレストの観測データから再現された三次元 IGM トモグラフィデータ (CLAMATO プロジェクト, Lee et al. 2016, 2018) を IGM データとして使用した。銀河サンプルは、多波長の観測データ・銀河カタログが公開されている COSMOS 領域のカタログを使用した (e.g. Nakajima et al. 2012; Sobral et al. 2013; Laigle et al. 2016; Straatman et al. 2016; Konno et al. 2016)。これらのデータを用い、銀河と IGM 間の相関を距離の関数として導出し、どのような種族・性質の銀河が IGM の大規模な構造と強い相関を持つか調べた。その結果、理論研究では、IGM-銀河の相関関数は、銀河の質量、特にダークハロー質量に強く依存していることが明らかとなった。これは現在の標準宇宙モデル (ΛCDM) から予想される構造形成理論と矛盾しない。一方観測研究では、IGM-銀河の相関関数が銀河種族に依存して変化していることが明らかとなった。このことは、銀河種族によって属する Mpc 規模のガス密度環境が異なることを示唆している。これら2つの研究は銀河の複数のパラメータに対して IGM-銀河の相関関係を初めて系統的に調査した独創的な研究である。理論・観測研究それぞれを投稿論文として発表した (Momose et al. 2021a, b)。

8. 銀河間空間ガスの大規模構造と $\text{Ly}\alpha$ 輝線で明るい銀河の関係 (百瀬, 嶋作, 柏川, 安藤)

長峯健太郎 (大阪大学), 清水一紘 (四国学院大学), 日下部晴香 (University of Geneva) との共同研究。宇宙における最大の構造であるダークマターの大規模構造は、観測的には銀河の大規模分布から推定されている。最近、指標とする銀河が $\text{Ly}\alpha$ 輝線で明るい銀河 (LAE) かそれ以外の星形成銀河種族かによって、大規模構造の過密領域の位置が数 Mpc 程度ずれることが報告されだした (e.g., Toshikawa et al. 2016;

Shimakawa et al. 2017; Shi et al. 2019). その原因として, assembly bias の違い (Shi et al. 2019, 2020) や過密領域にある大量の中性水素ガス (HI) による視線方向における Ly α 輝線の減光 (Shimakawa et al. 2017) が提案されている. 上記二つのモデルのうち, 我々は後者の可能性について先行研究で議論を行っていた. というのも, IGM-LAE の相関関数から, LAE は IGM の密度ピークより 2–3 Mpc 程度離れたところに位置していることが示唆されたためである (Momose et al. 2021a). しかし我々の先行研究では銀河周囲の全方向の平均的なガス密度を調査していたため, IGM の密度ピークに対する LAE のずれの具体的な方向までは特定できなかった. そこで本研究では IGM-LAE の相関関数を transverse 方向, 視線方向と分けて計算し, IGM の密度ピークに対するずれの方向をより詳細に調査した. その結果, LAE の周囲 Mpc において, 視線方向の手前側の IGM HI 密度がその奥側よりも約 2 倍程度低いことがわかった. このことは, LAE は統計的に, IGM 密度ピークの手前側に存在している描像を示唆する. その理由としては, IGM 密度ピークやその奥にいる LAE から放射された Ly α 輝線は, LAE の手前の HI に吸収され観測されにくくなっているためであると考えられる. 一方で比較として調査した他星形成銀河種族では, IGM-LAE に見られたような IGM HI 密度分布の非一様性は見られず, transverse 方向でも視線方向でも, IGM HI 密度は銀河のいる場所が最も高く, 銀河から離れるにつれて低くなっていた. つまり, 一般的な星形成銀河種族は IGM HI の大規模構造に沿って分布している一方で, IGM ピークやその奥にいる LAE からの Ly α 輝線が吸収されて観測されないため, LAE の分布は IGM ピークの手前側に偏っていることが示唆された. この結果から, 本研究からは, 銀河種族間で見られた大規模構造の過密領域のずれの原因として IGM HI による Ly α 輝線の減光を支持する結果が得られた. 本研究は投稿論文としてまとめ, 既に出版されている (Momose et al. 2021c). また本学理学部の web ページにおいてプレスリリースも行った.

<https://www.s.u-tokyo.ac.jp/ja/press/2021/7356/>

9. $z = 2$ 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を開始したところで, 現在も研究中である.

10. 宇宙論的シミュレーションと Ly α 輻射輸送計算で明かす Ly α 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, Ly α 輝線を指標として CGM を観測し (Ly α 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 Ly α 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 Ly α 輝線の輻射輸

送計算を組み込んで Ly α ハローを生成する. この Ly α ハローを地上望遠鏡の分解能を想定して擬似観測し, Ly α 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. 本年度は, 初期解析結果を欧州天文学会にてポスター発表した.

11. $z \sim 2$ における原始銀河団コアの系統的探査法の開発とそのメンバー銀河の性質 (安藤, 嶋作, 百瀬)
原始銀河団中の最も重いダークマターハローである原始銀河団コア及びそのメンバー銀河の性質は, コアの特定の難しさから観測的研究が進んでいない. そこで, コアを系統的に特定する手法の開発と, そのメンバー銀河の星質量関数や星形成活動などの調査を行なった. ダークマターハローの質量進化に着目すると, コアを特定するには $z \sim 2$ の宇宙で DMH 質量が $> 2 - 3 \times 10^{13} M_{\odot}$ のダークマターハローを探せばよい. そこで, 星質量が非常に大きな銀河のペアをコアに属する系の候補として選び出し, クラスタリング解析の手法でダークマターハロー質量推定することで, コアとして妥当な系かを確認するという手順で, 1.5 平方度の領域において 75 個のコア候補を特定した. 銀河進化シミュレーションとの比較から, この探査法は現在までにおとめ座銀河団程度の質量に進化するコアのおよそ半数程度を探し出せるとわかっている. コアに属する銀河の星質量関数とコアに属さない銀河のそれとの比較から, コアでは重い銀河の形成が促進されていることがわかった. また, 星形成を停止した銀河の割合をコアと一般領域とで比べると, コアの方が 3 倍程度高いことがわかった. これらはコア領域での環境効果が $z \sim 2$ で既に生じていることを示唆する. 以上の結果は査読付き論文として MNRAS で出版された.
12. 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)
銀河団における星形成活動は, $z < 1$ において一般フィールド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 28 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ている.

1.5.2 宇宙の高エネルギー現象

1. 中性子星連星合体からの電波残光と高速電波バーストへの示唆 (戸谷, Lin)
高速電波バーストは連星中性子星合体から生じるという説が提唱されているが, その検証として, 高速電波バーストの数年後に電波残光を探査するということが考えられる. 我々は, 最新の電波残光モデルを用いて, 既知の高速電波バーストの位置を電波で追観測することで, このシナリオをどれだけ検証できるかを定量的に調べた. 現状では強い制限はつけられないが, これから, 高速電波バーストの数が増えていくにしたがって, この説を検証できることを示した.
2. 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.

3. CTA で検出が期待される近傍星形成銀河 (戸谷)

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、近傍銀河のカタログから、CTA でどれぐらいの銀河が検出されるかを見積もった。

4. ミリ秒パルサーと銀河の電波放射 (須藤)

近年の観測で、星形成率が低いにも関わらず電波光度の高い銀河が報告され、その起源は謎であった。須藤は Stockholm University の Tim Linden 氏, Ohio State University の John Beacom 氏との共同研究で、今まで考えられてこなかった、ミリ秒パルサーという種族の天体の作り出す電子陽電子の放射が重要になる可能性を指摘。観測データの解析を行い、この仮説でデータがよく説明できることを示した。

5. Centaurus A での粒子加速 (須藤)

ガンマ線観測により、Centaurus A と呼ばれる近傍の活動銀河核のジェットで粒子が高エネルギーまで加速されていることが報告された。須藤は大阪大の井上芳幸氏, 立教大の Dmitry Khangulyan 氏との共同研究で、Centaurus A のジェットにおける粒子加速と放射のモデル化を行った。その結果、本天体のジェット内に多数みられる knot 領域で粒子加速が起きているというシナリオで観測が説明しうることを指摘した。

1.5.3 銀河系および星間物質

1. フェルミバブルの研究 (戸谷)

戸谷は、早稲田大の片岡淳や東大名誉教授の祖父江義明らと共同で、銀河系中心部にみられる拡散ガンマ線放射、いわゆるフェルミバブルの研究を行い、電波で見られるスパーと呼ばれる構造と、X線拡散放射との関係、およびその物理解釈を行った。

2. 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 ($>C=O$) 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つ

た。2019年8月に、分子科学研究所極端紫外光研究施設(UVSOR)の共同利用の枠組みで、九州大学野口高明および広島大学藪田ひかるらの協力のもと、XANES顕微鏡(STXM)を用いたX線吸収端近傍構造(XANES)分光分析を実施し、宇宙曝露実験回収試料に対して炭素、窒素、酸素のXANESのデータを取得し、宇宙環境曝露が有機物の化学構造や物性に及ぼす影響を調べた。

3. 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NCCの赤外吸収特性を調べた結果、主に3.29, 6.25, 8, 11.4 μm にピークを持ち、QCCや各種PAHをはじめとする既知の物質よりも、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周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NCC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"としてAstrophysical Journalに受理された。

4. 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を利用した窒素含有炭素質ダストの新規宇宙曝露実験(遠藤, 左近, 尾中)

これまでの室内ダスト合成実験に基づいて、2.45GHzマイクロ波電源装置を用いて炭化水素と窒素ガスを材料に合成した急冷窒素含有炭素質QNCCが、新星の周囲で合成される有機物の赤外スペクトルの特徴を極めてよく再現することを明らかにしたが、同時に、炭素質隕石中の不溶性有機物(Insoluble Organic Matter; IOM)の赤外線分光特性ともよく一致することを明らかにした。2015年-2018年にかけて実施した炭素質ダストの宇宙曝露実験から、炭素質ダストが宇宙環境曝露によって水酸基(OH)および共役ケトン(>C=O)に対応する赤外バンド構造を獲得することが明らかになったと踏まえて、「QNCCを宇宙環境に曝露して回収した物質と、IOMとの物性比較を行う」新規の宇宙曝露実験に着手した。このQNCCの曝露環境実験は、太陽系の始原的な有機物の起源として、新星などの恒星に由来する有機物が寄与する可能性を調査することを目的とする。これまでに、たんぼぼ2ミッションの枠組みにおいて、宇宙曝露実験の実験サンプルの準備と事前分析を実施した。実験サンプルは2019年7月に国際宇宙ステーションに届けられたのち、同年8月22日以降宇宙曝露が開始された。2020年10月27日に船内回収を行ったのち、2021年2月16日に筑波宇宙センターで地上に持ち帰った実験試料を受け取り東京大学に移送した。2021年2月18日に実験試料のチーム内分配作業を行い、赤外顕微分光分析を実施した。分子科学研究所UVSOR施設共同利用の枠組みでのXANESによる分析を2021年7月に予定している。

5. DFT Study on N incorporated Polycyclic Aromatic hydrocarbons (PANHs)(左近, Buragohain, 遠藤 Ekant Vats および Amit Pathak (Banaras Hindu University, India), 尾中 敬(明星大学)らとともに、中性(Neutral), 陽イオン(Cationic)およびプロトン化(Protonated)の状態にあるnaphthalene, pyrene,

および perylene に対して、窒素原子が混入した場合の赤外スペクトルへの影響を調査した。その結果、N-H および N-H₂ 結合の振動モードの feature がそれぞれ波長 2.8 および 3.0 μm に見られることがわかった。また、通常 6.2 μm feature は中性分子の場合では弱く抑えられるが、窒素が混入することによって、中性の状態でも 6.2 μm feature が 11.2 μm feature と同程度の強度を示すことを明らかにした。

6. Eclipsing Binary Populations across the Northern Galactic Plane from the KISOGP Survey (N. Matsumaga; N. Kobayashi (IoA), H. Maehara, N. Ukita (NAOJ), F. Ren, H. Zhang, W. Sun (Peking Univ.), R. de Grijs (Macquarie Univ.), L. Deng, X. Chen, C. Liu (NAOC))

We present a catalog of eclipsing binaries in the northern Galactic plane from the Kiso Wide-Field Camera Intensive Survey of the Galactic Plane (KISOGP). We visually identified 7055 eclipsing binaries spread across $\sim 330 \text{ deg}^2$, including 4197 W Ursa Majoris/EW-type, 1458 β Lyrae/EB-type, and 1400 Algol/EA-type eclipsing binaries. For all systems, *I*-band light curves were used to obtain accurate system parameters. We derived the distances and extinction values for the EW-type objects from their period-luminosity relation. We also obtained the structure of the thin disk from the distribution of our sample of eclipsing binary systems, combined with those of high-mass star-forming regions and Cepheid tracers. We found that the thin disk is inhomogeneous in number density as a function of Galactic longitude. Using this new set of distance tracers, we constrain the detailed structure of the thin disk. Finally, we report a global parallax zero-point offset of $\Delta\pi = -42.1 \pm 1.9 \text{ (stat.)} \pm 12.9 \text{ (syst.)} \mu\text{as}$ between our carefully calibrated EW-type eclipsing binary positions and those provided by Gaia Early Data Release 3. Implementation of the officially recommended parallax zero-point correction results in a significantly reduced offset. Additionally, we provide a photometric characterization of our EW-type eclipsing binaries that can be applied to further analyses. Published as Ren et al. (2021, AJ, 161, 176).

1.5.4 恒星

1. 大質量星の最終進化の多次元シミュレーション (吉田, 梅田)

固武慶 (福岡大学), 滝脇知也 (国立天文台), 高橋亘 (AEI), 中村航 (福岡大学), D. Aguilera-Dena (クレタ大学), N. Langer (ボン大学) との共同研究。本研究では大質量星の重力崩壊直前数分間における進化の多次元シミュレーションを行い、ケイ素や酸素を多く含む層における対流の性質を調べ、対流による非球対称性が超新星爆発に与える影響を議論する。今年度は広いケイ素/酸素対流層を持つ低金属量の高速回転大質量星における約 100 秒間にわたる最終進化の 3 次元流体シミュレーションを行なった。そして、このケイ素/酸素対流層で酸素 shell 燃焼に起因する最大 Mach 数 0.1 程度の大規模で強い乱流が起こることを示した。また、赤道面上では密度分散やケイ素質量比の分布に渦状腕構造などの非軸対称構造が見られた。さらに、対流層内では 1 次元の星の進化計算での仮定とは異なる比角運動量分布が一定に近くなる構造が現れた。これら非球対称、非軸対称構造の構造は超新星爆発など星の重力崩壊とそれに伴う爆発現象に影響を与えるかもしれない。

2. 星の対流層における overshoot の種族 III ブラックホール連星合体による GW190521 形成への影響 (吉田, 梅田, 聖川)

谷川衝 (総合文化), 衣川智弥 (宇宙線研) との共同研究。GW190521 はブラックホール連星合体と考えられているが推定される片方のブラックホール質量が pair-instability mass gap にありその形成過程が問題となっている。この研究では大質量星における対流層境界における物質混合の効果 (overshoot) に注目し、overshoot の大きさがさまざまな連星の進化とブラックホール連星の形成に与える影響について調べた。そして、従来のモデルよりも小さな overshoot 効果の場合には、種族 III 大質量星において ~ 90 太陽質量の星が脈動電子対生成不安定を起こさずに重力崩壊して ~ 90 太陽質量のブラックホールを形成し

うことを示した。一方で、従来の overshoot のモデルでは GW190521 を再現するような質量のブラックホール連星を形成することはできない。そのため現状では overshoot の不定性があるため GW190521 が種族 III 星の連星起源であるとは結論づけられない。

3. 超新星残骸 Cassiopeia A におけるニュートリノ駆動対流により運ばれた高エントロピー ejecta(吉田, 梅田)

佐藤寿紀, 長瀧重博, 小野正臣 (理研), 前田啓一 (京都大学), B. Grefenstette (CalTech), B. J. Williams (NASA GSFC), J. P. Hughes (Rutgers Univ.) との共同研究。この研究では X 線観測衛星 Chandra で観測した超新星残骸 Cassiopeia A (I Ib 型超新星) の Fe 過剰の領域における Ti, Cr, Fe, Mn の存在度比を調べた。Fe 過剰な物質は超新星 ejecta の最深部で生成されると考えられるが、我々は爆発的元素合成計算をすることでこの領域における Ti/Fe 比, Cr/Fe 比の観測値を再現しうる爆発環境について探索した。そして、観測で得られる組成比が高エントロピーで陽子過剰の環境下で達成されることがわかった。このような高エネルギーで陽子過剰の環境は近年進められている超新星爆発の多次元シミュレーションから示されるニュートリノ加熱によって生じる対流領域で達成される環境と等しく、この組成比が得られたことは、この領域がニュートリノ加熱により放出された陽子過剰の環境下にあったことを支持する。

4. 大質量星の後期進化における対流層境界での物質混合と中質量元素合成への影響 (吉田, 梅田)

高橋亘 (AEI) との共同研究。星の対流層境界における物質混合に影響する overshoot の効果は水素燃焼層においては星の表面温度の変化の観測からある程度わかっているがそれ以降についてはよくわかっていない。そして、大質量星の後期進化において overshoot の効果が重力崩壊直前の組成構造に影響を与える可能性がある。一方、金属欠乏星の組成分布は理論的に求められた初代大質量星が進化した超新星、極超新星の組成でよく再現されるが、カリウムの観測量を再現することはまだ難しい。本研究では overshoot 効果の大質量星の後期進化への依存性とカリウムを含めた Si-Ca という中質量元素の生成過程について調べる。今年度は太陽系金属量を持つ 10-25 太陽質量の星について overshoot の効果を調べた。その結果、系統性までは得られないものの大きな overshoot の場合にはカリウムが作られやすくなる傾向が得られた。一方で、中質量元素全体が作られすぎる問題も現れた。

5. Head-on collision of a white dwarf and a neutron star (Feng, Umeda)

This is a joined study with Ke-Jung Chen from ASIAA. This research is done in two stages, construction of progenitor white dwarf by stellar evolution simulation and a simpler stellar model followed by hydrodynamical simulation during the collision process. In the first stage, to understand how different structures of a white dwarf effect the explosion process and the products, multiple white dwarf progenitors are built with a simpler stellar model, which is developed based on the work by Frank Timmes. Because of the simplicity in physics that the code contains, several CO white dwarf with different mass and center temperature can be generated. Another method to build white dwarfs is to adopt widely used MESA code (Modules for experiments in Stellar Astrophysics), which gives more realistic stellar models yet more challenging to tune. The explosion induced by a merging neutron star is simulated by hydrodynamical simulation code FLASH. Before the process of inducing explosions, due to the nature of the stellar evolution codes and an Eulerian hydrodynamical code, the models are not ensured to be stable initially. Microscopic physics such as the equation of state of the star and some numerical treatment are needed to achieve stability, which is the current progress of continuing work for now.

The stability of the star after the mapping from Lagrangian code (MESA or Timmes) to Eulerian code FLASH is challenging to be reached. The common Helmholtz equation of state is used, but the numerical difference of them does disable the model. Not converged and oscillating thermal dynamical properties have been magnified during the simulation process and give nonphysical results. The source of the instability could be the nature of the star generation code or something yet have to be solved.

6. 非軸対称性が引き起こす超新星ニュートリノ集団振動 (財前, 吉田, 梅田)

固武慶 (福岡大学), 滝脇知也 (国立天文台), 堀内俊作 (バージニア工科大学), John F. Cherry (University of South Dakota) らとの共同研究. これまで超新星爆発におけるニュートリノ集団振動を計算する際には, ニュートリノ同士の相互作用に対して軸対称を仮定して方位角方向の積分を解析的に実施する計算方法を取っていた. しかし方程式の線形化を用いたフレーバーの線形安定性解析によって, 非軸対称性がこれまでとは別の振動効果を生じさせる可能性が提唱された. 本研究では実際に運動量空間を3次元に引き上げて計算を行うようなコードを開発し, 実際の超新星爆発シミュレーションにおいてこの非軸対称性がどのような効果をもたらすか調べた. その結果, 軸対称を課した場合にはニュートリノ振動が見られなかった時刻において非軸対称性が成長し振動効果を引き起こすことがわかった. 一方で衝撃波が通過してその背面の物質密度が一時的に高くなった時刻帯では非軸対称の成長が抑えられている振る舞いもまた見られた.

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. フレーバーの線形安定性解析により超新星爆発内部においてこの条件を満たしうる領域が調べられてきているが, 実際にそれがどのように非線形成長していくかはまだ不明なことが多い. 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を線形安定性解析によって明らかにした. 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3フレーバー効果が生じる様子も得られた.

8. 非常に重たい初代星由来の連星ブラックホール合体 (聖川, 吉田, 梅田)

谷川衝 (東京大学), 衣川智弥 (宇宙線研) との共同研究. 金属を含まない初代星は非常に重たい ($\sim 1000M_{\odot}$) 星が誕生するとされている. 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可能性がある. 我々はこのように非常に重たい初代星由来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, などを見積もっている.

9. 初代星の星団形成における超音速ガス流の効果についての計算とその解析 (沈, 梅田)

平野信吾 (九州大学) との共同研究. 再電離期におけるダークマター・バリオン間の速度差が宇宙初期の構造形成に影響することが指摘されている. 初代星形成において, ダークマターハロー内でのバリオンの重力収縮を抑制するため, 星形成を遅らせる効果がある. また, 数値シミュレーションを行った先行研究から, 大きなバリオン流速のもとでは始原ガス雲が分裂することが確認された. 本研究では, 星形成ガス雲にクローズアップしたスケールでの構造形成について, 系統的な調査を行った. 計算の結果, SVの大きさが同じ場合, ダークマターミニハローは高赤方偏移で形成されたものほど大質量に成長する傾向があることが分かった. また, SVが大きいほど, 星形成ガス雲内の重力不安定領域の質量が増加し, 形成される星質量の最大値も大きくなることが分かった. さらに, SVが大きいほど, 形成されるガス雲が球対称 \rightarrow フィラメント状 \rightarrow より複雑な構造へと変化し, 星形成ガス雲は複数に分裂しやすくなることが分かった. 分裂した星形成ガス雲は, 将来的に複数の初代星や近接連星を形成すると考えられるため, 重力波源となる大質量ブラックホール連星を形成する可能性も高まる.

10. Collapse of $\sim 10^4 M_{\text{sun}}$ population III supermassive stars with neutrino transfer (C. Nagele, H. Umeda, T. Yoshida, K. Takahashi (AEI), K. Sumiyoshi (Numazu College))

The origin of supermassive black holes (SMBHs) is one of the interesting problems of high Redshift

astronomy. Observationally, we know that quasars driven by SMBHs exist in the early universe, but there is no satisfactory method of generating such massive objects in the short amount of time required. One proposed scenario for SMBH formation is the direct collapse scenario, whereby supermassive Pop III stars collapse into intermediate mass black holes, that can then grow to be the observed SMBHs. We simulated the stellar evolution, and then explosion or collapse into a black hole that occurs soon after the general relativistic instability in the helium core. We used three different 1D codes, all including the effects of general relativity. First we used a stellar evolution code, then a hydrodynamics code, and finally a hydrodynamics code including neutrino transfer.

11. 質量放出の金属量依存性 (西嶋, 梅田, 吉田)

質量放出の金属量依存性を明らかにすることを目的に, アルフベン波駆動風による質量放出について関連する研究を調査した.

12. Stellar models of Betelgeuse constrained using observed surface conditions (Luo T., Umeda H., Yoshida T., 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 have completed the data simulation and subsequent analysis, and are currently preparing the final manuscript. We report differences in our results when compared with current literature with regards to the initial mass and the current stage of evolution. In our results, we found a larger initial mass range of 12 to 26 solar masses, while other recent studies generally prefer 20 solar masses. We also found that Betelgeuse can possibly be near the end of its lifetime and undergo an imminent supernova. Also, we report some discrepancy with respect to the initial rotation velocity, as the currently accepted velocity is too large and unable to reproduce the surface abundances of Betelgeuse in our modelling. Finally, our results bode well for the merger models which were proposed in two recent studies as a method to reproduce the rapid observed surface rotation of Betelgeuse.

13. γ Dor 型脈動変光星で検出されるロスビー・モードを用いた内部構造診断 (高田)

R.-M. Ouazzani (パリ天文台), 齊尾 (東北大学) らとの共同研究. 恒星表面で検出される振動から内部の構造を探るとい星震学の研究は, 近年コロナ, ケプラー等の宇宙探査機による観測によって飛躍的に進展した. 特に大きな成果の一つは, さまざま星の内部自転構造が明らかになってきたことであり, 恒星内部で角運動量がどう輸送されるかという問題に貴重な情報を与えている. 本研究では, かじき座ガンマ (γ Dor) 型変光星という太陽の 1.4 倍から 2 倍の質量をもつ主系列星に注目する. この星は太陽に比べて自転が速い (周期約 1 日) ため, 振動はコリオリ力の影響を強く受ける. 最もよく検出される振動は, ケルビン・モードとよばれる赤道付近で大きな振幅を持つものであり, これを用いた内部構造診断法については, 既に研究が発表されている. その原理は, 横軸に振動モードの周波数, 縦軸に隣り合う周波数の差の平方根をとって図 (診断図) を作ると, 観測点はほぼ一直線にならび, その横座標軸との交点が内部自転周波数の平均値を与えるというものである. 一方今回の研究では, 最近同定されたもう一つのタイプの振動であるロスビー・モードを用いた方法を考案する. これは, (地球上でも観測される) ロスビー波で構成される固有振動モードであり, 中緯度付近に大きな振幅を持つ. 今回の方法は, ケルビン・モードの場合の診断図による方法の拡張であり, 両者を統一的に捉えることができる. この方法を, 実際にケプラー探査機で観測された星のデータに適用したところ, ケルビン・モードだけを用いる場合と比較して, はるかに高い精度で平均の内部自転周波数を決定できることがわかった.

14. Rotation of the convective core in γ Dor stars measured by dips in period spacings of g modes coupled with inertial modes (M. Takata)

In collaboration with H. Saio (Tohoku University) and others. The relation of period spacing (ΔP) versus period (P) of dipole prograde g modes is known to be useful to measure rotation rates in the g-mode cavity of rapidly rotating γ Dor and slowly pulsating B (SPB) stars. In a rapidly rotating star, an inertial mode in the convective core can resonantly couple with g-mode propagative in the surrounding radiative region. The resonant coupling causes a dip in the P - ΔP relation, distinct from the modulations due to the chemical composition gradient. Such a resonance dip in ΔP of prograde dipole g modes appears around a frequency corresponding to a spin parameter $2f_{\text{rot}}(\text{cc})/\nu_{\text{co-rot}} \sim 8$ –11 with $f_{\text{rot}}(\text{cc})$ being the rotation frequency of the convective core and $\nu_{\text{co-rot}}$ the pulsation frequency in the co-rotating frame. The spin parameter at the resonance depends somewhat on the extent of core overshooting, central hydrogen abundance, and other stellar parameters. We can fit the period at the observed dip with the prediction from prograde dipole g modes of a main-sequence model, allowing the convective core to rotate differentially from the surrounding g-mode cavity. We have performed such fittings for 16 selected γ Dor stars having well-defined dips, and found that the majority of γ Dor stars we studied rotate nearly uniformly, while convective cores tend to rotate slightly faster than the g-mode cavity in less evolved stars.

15. On the first δ Sct–roAp hybrid pulsator and the stability of p and g modes in chemically peculiar A/F stars (M. Takata)

In collaboration with S. J. Murphy (University of Sydney) and others. Strong magnetic fields in chemically peculiar A-type (Ap) stars typically suppress low-overtone pressure modes (p modes) but allow high-overtone p modes to be driven. KIC 11296437 is the first star to show both. We obtained and analysed a Subaru spectrum, from which we show that KIC 11296437 has abundances similar to other magnetic Ap stars, and we estimate a mean magnetic field modulus of 2.8 ± 0.5 kG. The same spectrum rules out a double-lined spectroscopic binary, and we use other techniques to rule out binarity over a wide parameter space, so the two pulsation types originate in one δ Sct–roAp hybrid pulsator. We construct stellar models depleted in helium and demonstrate that helium settling is second to magnetic damping in suppressing low-overtone p modes in Ap stars. We compute the magnetic damping effect for selected p and g modes, and find that modes with frequencies similar to the fundamental mode are driven for polar field strengths ≤ 4 kG, while other low-overtone p modes are driven for polar field strengths up to ~ 1.5 kG. We find that the high-order g modes commonly observed in γ Dor stars are heavily damped by polar fields stronger than 1–4 kG, with the damping being stronger for higher radial orders. We therefore explain the observation that no magnetic Ap stars have been observed as γ Dor stars. We use our helium-depleted models to calculate the δ Sct instability strip for metallic-lined A (Am) stars, and find that driving from a Rosseland mean opacity bump at $\sim 5 \times 10^4$ K caused by the discontinuous H-ionization edge in bound-free opacity explains the observation of δ Sct pulsations in Am stars.

16. Star Formation Timescales of the Halo Populations from Asteroseismology and Chemical Abundances (M. Takata)

In collaboration with T. Matsuno (University of Groningen) and others. We combine asteroseismology, optical high-resolution spectroscopy, and kinematic analysis for 26 halo red giant branch stars in the Kepler field in the range of $-2.5 < [\text{Fe}/\text{H}] < -0.6$. After applying theoretically motivated corrections to the seismic scaling relations, we obtain an average mass of $0.97 \pm 0.03 M_{\odot}$ for our sample of halo stars. Although this maps into an age of ~ 7 Gyr, significantly younger than independent age estimates

of the Milky Way stellar halo, we considered this apparently young age to be due to the overestimation of stellar mass in the scaling relations. There is no significant mass dispersion among lower red giant branch stars ($\log g > 2$), which constrains the relative age dispersion to $< 18\%$, corresponding to < 2 Gyr. The precise chemical abundances allow us to separate the stars with $[\text{Fe}/\text{H}] > -1.7$ into two $[\text{Mg}/\text{Fe}]$ groups. While the $[\alpha/\text{Fe}]$ and $[\text{Eu}/\text{Mg}]$ ratios are different between the two subsamples, $[\text{s}/\text{Eu}]$, where s stands for Ba, La, Ce, and Nd, does not show a significant difference. These abundance ratios suggest that the chemical evolution of the low-Mg population is contributed by Type Ia supernovae, but not by low- to intermediate-mass asymptotic giant branch stars, providing a constraint on its star formation timescale as $100 \text{ Myr} < \tau < 300 \text{ Myr}$. We also do not detect any significant mass difference between the two $[\text{Mg}/\text{Fe}]$ groups, thus suggesting that their formation epochs are not separated by more than 1.5 Gyr.

17. 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)

Ryan Lau (宇宙研) らとともに, 2019年10月11日に, すばる望遠鏡共同利用観測 S19B-126 “A Census of Dusty Wolf-Rayet Stars with COMICS (PI. Lau, R.)”に参加し, 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観測を行った. WR125 は, WC7 型の Wolf Rayet 星と O9 型の伴星の連星系で, 28.3 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-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, 500–600K のダスト放射の連続光成分に加えて, 8–9 μm 付近に broad なバンド放射を確認した. Wolf-Rayet 星に付随し broad な 8 μm バンドとして特徴付けられる未同定赤外バンドについて, 実験室で生成する窒素含有炭素質物質との比較を行い, 終焉の大質量星を起原とする有機物の性質を調べた.

18. Line-depth ratios as indicators of effective temperature and surface gravity (N. Matsunaga, M. Jian, D. Taniguchi, S. S. Elgueta)

The analysis of stellar spectra depends upon the effective temperature (T_{eff}) and the surface gravity ($\log g$). However, the estimation of $\log g$ with high accuracy is challenging. A classical approach is to search for $\log g$ that satisfies the ionization balance, i.e., the abundances from neutral and ionized metallic lines being in agreement. We propose a method of using empirical relations between T_{eff} , $\log g$ and line-depth ratios, for which we meticulously select pairs of Fe I and Fe II lines and pairs of Ca I and Ca II lines. Based on YJ -band (0.97–1.32 μm) high-resolution spectra of 42 FGK stars (dwarfs to supergiants), we selected five Fe I–Fe II and four Ca I–Ca II line pairs together with 13 Fe I–Fe I pairs (for estimating T_{eff}), and derived the empirical relations. Using such relations does not require complex numerical models and tools for estimating chemical abundances. The relations we present allows one to derive T_{eff} and $\log g$ with a precision of around 50 K and 0.2 dex, respectively, but the achievable accuracy depends on the accuracy of the calibrators’ stellar parameters. It is essential to revise the calibration by observing stars with accurate stellar parameters available, e.g., stars with asteroseismic $\log g$ and stars analyzed with complete stellar models taking into account the effects of non-local thermodynamic equilibrium and convection. In addition, the calibrators we used have a limited metallicity range, $-0.2 < [\text{Fe}/\text{H}] < +0.2$ dex, and our relations need to be tested and re-calibrated based on a calibrating dataset for a wider range of metallicity. Accepted for publication in MNRAS (Matsunaga et al. 2021).

19. Effective temperatures of red supergiants estimated from line-depth ratios of iron lines in the YJ bands, 0.97–1.32 μm (D. Taniguchi, N. Matsunaga; N. Kobayashi, S. Kondo, H. Sameshima (IoA),

and WINERED team)

Determining the effective temperatures of red supergiants (RSGs) observationally is important in many aspects of stellar physics and galactic astronomy, yet some significant difficulties for it remain due to model uncertainty. Among spectroscopic approaches to determining the temperatures, the methods making use of atomic lines in high-resolution spectra has some advantages compared to the conventional methods using molecular bands; relatively shallow atomic lines are less affected by the uncertain temperature structure in the upper atmosphere of RSGs. A promising approach is the line-depth ratio (LDR) method using ratios of line depths of two atomic absorption lines, which has been successfully applied to various kinds of late-type stars (e.g. Gray & Johnson 1991, Taniguchi et al. 2018). We established the relations between effective temperature and LDR of two neutral Fe lines based on calibrating red giants. Our LDR indicators are expected to give temperatures consistent for both red giants and RSGs because the LDR of two neutral Fe lines are insensitive to the surface gravity (Jian et al. 2020). We then determined the effective temperatures of ten nearby RSGs observed with the WINERED spectrograph (near-infrared *YJ* bands) with a precision of ~ 40 K. The resultant effective temperatures show good agreement with the Geneva's stellar evolution model. Published as Taniguchi et al. (2021, MNRAS, 502, 4210).

20. Studying the metallicity and gravity effect on infrared LDR- T_{eff} relations using WINERED spectra (M. Jian, N. Matsunaga, D. Taniguchi, S. S. Elgueta, and WINERED team)

As the gravity effect and metallicity effect on infrared line-depth ratio (LDR) present, we make use of the information stored inside these effects for the calibration of infrared LDR- T_{eff} relations using WINERED spectra. The LDR- T_{eff} relations for solar-metal dwarfs and supergiants are calibrated using the spectra of 20 dwarfs and 18 supergiants covering the spectral of G0–K4 and F7–K5, respectively. The precision of T_{eff} determined from our LDR relations is 10–30 K. We then include the metallicity terms in a new set of LDR- T_{eff} relations calibrated from F9–K3 dwarfs and G5–M0 giants with $-0.7 < [\text{Fe}/\text{H}] < 0.4$. These relations are used in a Bayesian approach for determining T_{eff} and $[\text{Fe}/\text{H}]$ simultaneously using LDR measurements. The precision in the derived stellar parameters is around 20 K in T_{eff} and 0.05 dex in $[\text{Fe}/\text{H}]$ for both dwarfs and giants.

21. Behavior of infrared helium absorption feature in 10830 Å (M. Jian, N. Matsunaga, D. Taniguchi, S. S. Elgueta, and WINERED team)

Stellar helium abundance is a fundamental stellar parameter which may shed light on several important astrophysical questions, such as the formation history of multiple stellar populations in the globular cluster and the double red clumps found in part of the Milky Way bulge. The helium absorption at 10830 Å is a relatively strong spectral line that could be easily observed using high-resolution spectrograph. However, this line is formed in the stellar chromosphere, and no solid chromosphere model is available for most of the stars. To study the behavior of the helium line, it is necessary to acquire more observation and establish chromosphere model for the target stars.

An observation on globular cluster M22 using infrared spectrograph iSHELL mounted in IRTF was performed in August 2020. The spectra of 3 giants with enhanced Na abundance and 2 giants with normal Na abundance in M22 are acquired, along with 7 spectra for bright giants. The signal-to-noise ratios of M22 targets are not high enough to judge whether the giants with enhanced Na abundance show different behavior compared with those with normal Na abundance. Summing up the spectra may help enhance the signal-to-noise ratio.

A collaboration with Xiaoting Fu and Angela Bragaglia was then established, with high-resolution and

high signal-to-noise ratio spectra of member stars in open cluster Stock 2 available. The resolution of these spectra is ~ 50000 , higher than that of the WINERED spectra. Thus, the atomic lines at around 10830 \AA can be better separated, and their oscillator strengths can be calibrated by these spectra and provide a more precise equivalent width estimation to the helium line in WINERED spectra.

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

We are developing a method to derive precise and accurate stellar parameters such as effective temperature (T_{eff}), surface gravity ($\log g$), and chemical abundances of Cepheids on the basis of high resolution spectra in the YJ -bands (between 9760 and 13200 \AA). The main sample of the observed Cepheids corresponds to bright Cepheids in the solar neighborhood, whose stellar parameters have been well determined. Together with the spectra of Cepheids located at $3\text{--}8 \text{ kpc}$ in the southern Galactic disk discovered recently by the Optical Gravitational Lensing Experiment (OGLE).

The line-depth ratio (LDR) method has been used to estimate the effective temperature. However, the parameter range of Cepheids ($5000 < T_{\text{eff}} < 6500 \text{ K}$ and $2.5 < \log g < 1.0 \text{ dex}$) has not been covered by previous works on the LDR method with YJ -band spectra (e.g., Taniguchi et al. 2018, Jian et al. 2019). Recently, Matsunaga et al. (2021) proposed a method to obtain both T_{eff} and $\log g$ altogether using LDRs for stars in a wide temperature range ($4750\text{--}6100 \text{ K}$). They selected 13 line pairs of the Fe I-Fe I combination for obtaining T_{eff} and 9 pairs with neutral and ionized lines combined (Fe I-Fe II or Ca I-Ca II) for estimating $\log g$. We tested their pairs with Cepheids, but found that a significant fraction of the lines they used tend to be too weak in warmer Cepheids. Therefore, we selected new line pairs and identified 11 Fe I-Fe I pairs that work better for deriving T_{eff} of Cepheids than the pairs reported by Matsunaga et al. (2021). On the other hand, we discovered that Cepheids follow a tight $T_{\text{eff}}\text{--}\log g\text{--}P$ relation and this allows us to derive $\log g$ precisely with P and T_{eff} determined in advance (P is previously estimated while T_{eff} can be obtained from the LDR relation we have found).

Another edge of this project is identifying absorption lines visible in the Cepheids' spectra that are useful for abundance measurements over different pulsation phases. We have identified and confirmed some absorption lines of heavy rare earth elements reported in Matsunaga et al. (2020) as well as biogenic elements such as Phosphorus and Sulfur which will be useful for a variety of disciplines including astrochemistry and astrobiology.

23. Absorption Lines in the $0.91\text{--}1.33 \mu\text{m}$ Spectra of Red Giants for Measuring Abundances of Mg, Si, Ca, Ti, Cr, and Ni (N. Matsunaga, D. Taniguchi; K. Fukue (Kyoto Sangyo Univ.) and WINERED team)
- Red giants show a large number of absorption lines in both optical and near-infrared wavelengths. Still, the characteristics of the lines in different wave passbands are not necessarily the same. We searched for lines of Mg I, Si I, Ca I, Ti I, Cr I, and Ni I in the z' , Y , and J bands ($0.91\text{--}1.33$), that are useful for precise abundance analyses, from two different compilations of lines, namely, the third release of Vienna Atomic Line Database (VALD3) and the catalog published by Melendez & Barbuy in 1999 (MB99). We selected sufficiently strong lines that are not severely blended and ended up with 191 lines (165 and 141 lines from VALD3 and MB99, respectively), in total, for the six elements. Combining our line lists with high-resolution ($\lambda/\Delta\lambda = 28,000$) and high signal-to-noise ratio (>500) spectra taken with the WINERED spectrograph, we measured the abundances of the six elements in addition to Fe I of two prototype red giants, i.e., Arcturus and $\mu \text{ Leo}$. The resultant abundances show reasonable agreement with the values in the literature within $\sim 0.2 \text{ dex}$, indicating that the available oscillator strengths are acceptable, although the abundances based on the two line lists show systematic differ-

ences by 0.1–0.2 dex. Furthermore, to improve the precision, solid estimation of the microturbulence (or the microturbulences if they are different for different elements) is necessary as far as the classical hydrostatic atmosphere models are used for the analysis. Published as Fukue et al. (2021, ApJ, 913, 62).

1.5.5 太陽系外惑星および星惑星形成

1. 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. HiCIAO/SCExAO/CHARIS 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効率的に惑星などの軽い伴星を効率的に発見する手法を開発し, 太陽型恒星からわずか 20au しか離れていない伴星 HD 33632 Ab を発見した (Currie et al. 2020). その SCExAO/CHARIS 1.1–2.4 micron spectra と 3.78 micron 測光は フィールドの L/T 遷移天体と一致しており, いわば HR 8799 cde 惑星より年老いた表面重力の大きい塵の少ない天体と考えられる. アストロメトリと光度から求めた質量はお互いによく一致していることも重要である. さらに, HD 15115 の残骸円盤の高解像度面分光にも成功した (Kellen et al. 2020).

2. 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. 若い惑星である AU Mic b や K2-25 b のロシター効果を初検出し, 若い惑星系の軌道軌道面が傾いていないことを実証した (Hirano et al. 2020; Gaidos et al. 2020). さらに, IRD を用いて系外惑星において OH ラジカルを初検出した (Nugroho et al. 2021).

3. 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 の新偏光器を用いた Kwon 博士他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, 星形成における磁場の役割を解明した (Kandori et al. 2020 ほか).

4. 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 衛星の地上フォローアップ観測を進めた (Nielsen et al. 2020 ほか).

5. 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・運用に参与している (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・運用に参与している.

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器の開発を 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だの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.

6. 星形成コアの化学進化 (相川)

低質量星原始星コアではさまざまな分子種が検出されている。特にメタノールなど6原子以上の大型有機分子が豊富に検出されるコアは Hot Corino とよばれる。一方、不飽和炭素鎖分子が検出されるコアは WCCC (Warm Carbon Chemistry) コアとよばれる。星形成前の冷たいコアから原始星コアまでの星間物質進化を一貫して解いた我々のモデルでは、大型有機分子は氷マントル中での CO への水素付加およびラジカル反応により生成し、原始星近傍の 100K 以上の領域で昇華して回転輝線で観測される。一方、不飽和炭素分子は原始星近傍で昇華したメタンの気相反応で生成される。モデルではこれら2つの分子種は1つのモデルコアの中で生成可能である。観測では、最近になって両方の分子種をもつコアが見つかったが、従来から Hot Corino として有名なコアでは炭素鎖分子の輝線が弱く、WCCC として有名なコアでは大型有機分子輝線が弱いことが知られている。このようなコア毎の分子組成の多様性は、星形成前のコアの物理状態に起因する氷組成の違いに因ると推測されている。そこで星形成コアの分子進化モデルにおいて、星形成前のコアの温度、紫外線減光、重力収縮開始までの時間を変化させ、原始星コアの組成への影響を数値的に調べた。その結果、炭素鎖分子の少ない Hot Corino は星形成前のコアが比較的高温なモデルなどで再現できるが、WCCC 天体で大型有機分子が少ない傾向は再現出来なかった。大型有機分子ガスは炭素鎖分子が増加する領域よりも高温領域で昇華することから、大型有機分子輝線の検出されない天体では、そのような中心領域でダスト連続波が厚くなったり、ケプラー円盤ができていいる可能性がある。この研究結果を学術論文にまとめ出版した。

7. 原始惑星系円盤の分子輝線高空間分解能観測：重水素濃縮 (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た。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 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ている。今年度は Gianni Cataldi 特任研究員と修士1年生の大和義英が中心となって DCN, HCN, N₂D⁺, N₂H⁺ の解析結果を行い、円盤内での DCN/HCN 比, N₂D⁺/N₂H⁺ 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 H₂D⁺ による交換反応だけでなく、CH₂D⁺ による交換反応の寄与があることを示した。この結果は現在、学術論文に投稿中である。この研究に関連して修士2年平田圭佑は、MAPS で観測された5天体のうち IM Lup, MWC 480 の2天体について、MAPS プロジェクト内で構築された円盤のダスト密度分布モデルを用いて、円盤内でのガス温度や分子組成分布の数値計算を行った。C/O 元素比や電離率、ガス質量などを変えた計算を行い、分子組成は C/O 比に強く依存すること、C/O 比の高いモデルのほうが観測から導出された分子柱密度と整合的であることを示した。この結果を修士論文にまとめた。

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

MAPS プロジェクトで得られた HCO⁺ および H¹³CO⁺ 輝線解析を行い、HCO⁺ 柱密度の半径分布を5つの原始惑星系円盤について得た。MAPS プロジェクト内で得られた CO 柱密度および CO depletion factor を利用して分子層における HCO⁺ 存在度の半径分布を得た。HCO⁺ は円盤の分子層において主要なイオン分子であり、その存在度は電離度またはその下限値と考えられる。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る。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 N₂D⁺, N₂H⁺ 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。前項で得た N₂H⁺, N₂D⁺ 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

考えられる。これらの結果は学術論文にまとめ ApJS に掲載決定となった。上記も含めて、MAPS では計 20 本の論文を ApJS に投稿し、現在 11 本が掲載決定となっている。これらの論文には、相川は Co-PI として、Cataldi 研究員および大和義英（修士 2 年）は Imaging team メンバーとして共著者となっており、プロジェクト内査読にも貢献した。

9. デブリ円盤のガス探査 (Cataldi)

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、デブリ円盤で一酸化炭素ガス輝線の検出されており、ガスの起源やそこから推定される惑星系形成過程への制約が議論されている。Cataldi は ALMA 望遠鏡を用いて、デブリ円盤 HD32297 において炭素原子輝線を検出した。CO 輝線と炭素原子輝線の強度比は、大量の CO 供給がある一方、炭素原子が 10^3 年程度の短時間で取り除かれることを示唆する。炭素原子がダストに吸着されて CO が再生成されるようなモデルが整合的である。この研究結果を学術論文にまとめた。また East Asian ALMA Science Workshop 2021 での招待講演等で発表を行った。

10. 原始星周囲での円盤形成 (森)

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。分子輝線のドップラーシフトを用いて空間構造と速度構造を同時に解析する (P-V 図) ことによって中心星の質量や質量降着率、円盤サイズなどが導出できる。森は、原始星エンベロープから円盤への質量降着流の数値解を用いて、輻射輸送計算による疑似観測を行い、P-V 図が降着流の角運動量や中心星質量にどのように依存するかを明らかにした。また P-V 図から推定される中心星質量が、仮定する降着流のモデルによってどれほど変わるかを定量的に調べた。

11. VLA による Hot Corino における NH_3 , NH_2D 観測 (大和)

原始星周囲では降着してきたガスが加熱され、ダスト表面に凍結していた氷成分が昇華する。これらは星周円盤に取り込まれると再度氷となり、惑星系形成の材料となると考えられる。よって原始星コアでは星間氷や惑星系材料物質の組成を観測的に詳細に調べられる。特に Hot Corino と呼ばれる原始星コアではメタノールなどの多数の大型有機分子が検出されており、ALMA などで盛んに観測が行われている。大和（修士 1 年）は古家健次（国立天文台）らとともに、Hot Corino 天体の 1 つである NGC 1333 IRAS 4A の NH_3 および NH_2D 観測データの解析を行った。 NH_3 は窒素の主要分子であるが、輝線波長が長いので ALMA では観測できない。解析の結果、 NH_3 の存在度は赤外での星間氷観測と整合的であることが示された。一方、 NH_2D 輝線も検出し、従来の理論的な予測よりも NH_3 氷の重水素濃縮度が高いことも分かった。

1.5.6 太陽系

1.5.7 機器・ソフトウェア開発

1. Thirty Meter Telescope (TMT) 第二期観測装置に搭載を目指す赤外線観測装置 MICH I の開発 と中間赤外線面分光技術の開発 (左近)

Chris Packahm (フロリダ大), 本田 (岡山理科大学) らと、TMT に第二期観測装置として搭載を目指す赤外線観測装置 MICH I のサイエンス検討および開発を行っている。中間赤外線補償光学 (MIRAO) と組み合わせる事で、0.1 秒各を切る空間解像度で系内の星周物質の空間構造や空間変化を調べることが可能となり、特に、効率的に二次元のスペクトル情報を得る目的で赤外波長域での面分光機能に高い需要がある。これまでに、TMT/MICH I の光学設計検討を基に、大型フォーマット (スライス数 11 枚) のイメージスライサーユニットの試作を実施し結像性能評価を行った。

2. 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 (Sakon et al. 2021, “Mid-infrared Spectrometer and Camera for the Origins Space Telescope”), 2021年1月に受理された。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継続している。

3. すばる望遠鏡 COMICS による N-band 低分散分光データの評価：天体のスリット上での捕獲位置による分光データへの影響とその補正手法の開発 (遠藤, 左近)

天文センターの道藤翼, 宮田隆志らとともに、過去に取得したすばる望遠鏡中間赤外装置 COMICS を用いた中間赤外線 N-band 低分散分光のデータを詳細に調査し、天体の輝度中心がスリット中央からずれることによって、取得される NL 分光データの傾きが系統的に変化することを見出した。この現象は、これまでに知られているスリット効率の補正では単純には説明できないことがわかった。この傾きのばらつきを補正するため、傾きを天体の輝度中心のスリット中央からのずれの関数として表現し、取得されたスペクトルの傾きに施すべき補正量を定量的に評価した。

4. Development of a new precise continuum normalization method (D. Taniguchi, N. Matsunaga; N. Kobayashi (IoA))

In this era of high-resolution high-accuracy spectroscopy with a large number of targets, it is urgent to develop accurate and automatic data-analysis methods. One of the most important steps during the reduction of high-resolution spectra is the continuum normalization, which is difficult to automate especially for late-type stars. Here we develop a new continuum normalization method named Support Vector Continuum normalization (SVC). SVC first chooses pixels within the continuum wavelengths making use of a machine-learning algorithm Support Vector Machine, and then determines the continuum shape by fitting these pixels with a spline function. We tested the accuracy of SVC using pseudo observed model spectra of red supergiants, and found that the accuracy is ~ 1.5 times higher than that with the usual sigma-clipping method.

1.6 論文および出版物

1.6.1 英文報告

出版済 (2020 年)

1. Lin H., Totani T.: Detectability of radio afterglows from binary neutron star mergers and implications for fast radio bursts, MNRAS, 498, 2384–2390 (2020)
2. Sudoh, T., Inoue, Y., Khangulyan, D., 2020 “Physical Conditions and Particle Acceleration in the Kiloparsec Jet of Centaurus A”, ApJ Letters, 901, L27

3. Kandori, R., Tamura, M., Saito, M. and 9 more. 2020, “Distortion of Magnetic Fields in BHR 71”, *ApJ*, 892, 128
4. Gaidos, E.; Hirano, T.; Mann, A. W. and 18 more. 2020, “Zodiacal exoplanets in time - X. The orbit and atmosphere of the young ‘neptune desert’-dwelling planet K2-100b”, *MNRAS*, 495, 650.
5. Tampo, Y., Naoto, K., Isogai, K. and 51 more. 2020, “First detection of two superoutbursts during the rebrightening phase of a WZ Sge-type dwarf nova: TCP J21040470+4631129”, *PASJ*, 72, 49.
6. Nielsen, L. D., Brahm, R., Bouchy, F. and 74 more. 2020, “Three short-period Jupiters from TESS. HIP 65Ab, TOI-157b, and TOI-169b”, *A&A*, 639, 76.
7. Luque, R., Casasayas-Barris, N., Parviainen, H. and 27 more. 2020, “The JCMT BISTRO Survey: Magnetic Fields Associated with a Network of Filaments in NGC 1333”, *ApJ*, 899, 28.
8. Hirano, T., Krishnamurthy, V., Gaidos, E. and 19 more. 2020, “Limits on the Spin-Orbit Angle and Atmospheric Escape for the 22 Myr Old Planet AU Mic b”, *ApJ*, 899, L13.
9. Louie, D., Narita, N., Fukui, A. and 5 more. 2020, “Simulations Predicting the Ability of Multi-color Simultaneous Photometry to Distinguish TESS Candidate Exoplanets from False Positives”, *PASP*, 132, 084403.
10. Kandori, R., Tamura, M., Saito, M. and 9 more. 2020, “Distortion of Magnetic Fields in the Dense Core SL 42 (CrA-E) in the Corona Australis Molecular Cloud Complex”, *ApJ*, 900, 20.
11. Uyama, T., Currie, T., Christiaens, V. and 27 more. 2020, “SCEXAO/CHARIS High-contrast Imaging of Spirals and Darkening Features in the HD 34700 A Protoplanetary Disk”, *ApJ*, 900, 135.
12. Luque, R., Casasayas-Barris, N., Parviainen, H. and 27 more. 2020, “Obliquity measurement and atmospheric characterisation of the WASP-74 planetary system”, *A&A*, 642, 50.
13. Nowak, G., Luque, R., Parviainen, H. and 97 more. 2020, “The CARMENES search for exoplanets around M dwarfs. Two planets on opposite sides of the radius gap transiting the nearby M dwarf LTT 3780”, *A&A*, 642, 173.
14. Kemmer, J., Stock, S., Kossakowski, D. and 93 more. 2020, “Discovery of a hot, transiting, Earth-sized planet and a second temperate, non-transiting planet around the M4 dwarf GJ 3473 (TOI-488)”, *A&A*, 642, 236.
15. Lawson, K., Currie, T., Wisniewski, J. P. and 23 more. 2020, “SCEXAO/CHARIS Near-infrared Integral Field Spectroscopy of the HD 15115 Debris Disk”, *AJ*, 160, 163.
16. Gaidos, E., Hirano, T., Wilson, D. J. and 20 more. 2020, “Zodiacal exoplanets in time - XI. The orbit and radiation environment of the young M dwarf-hosted planet K2-25b”, *MNRAS*.498, L119.
17. Currie, T., Brandt, T. D., Kuzuhara, M. and 27 more. 2020, “SCEXAO/CHARIS Direct Imaging Discovery of a 20 au Separation, Low-mass Ratio Brown Dwarf Companion to an Accelerating Sun-like Star”, *ApJ*, 904, L25.
18. Hirano, T., Kuzuhara, M., Kotani, T. and 15 more. 2020, “Precision radial velocity measurements by the forward-modeling technique in the near-infrared”, *PASJ*, 72, 93.

19. Aikawa, Y., Furuya, K., Yamamoto, S., Sakai, N. 2020, “Chemical Variation among Protostellar Cores: Dependence on Prestellar Core Conditions”, *ApJ* 897, 110
20. Sai, J., Ohashi, N., Saigo, K., Matsumoto, T., Aso, Y., Takakuwa, S., Aikawa, Y., Kurose, I., Yen, H-W., Tomisaka, K., Tomida, K., Machida, M. N., 2020, “Disk Structure around the Class I Protostar L1489 IRS Revealed by ALMA: A Warped-disk System”, *ApJ*, 893, 51.
21. Shimonishi, T., Das, A., Sakai, N., Tanaka, K. E. I., Aikawa, Y., Onaka, T., Watanabe, Y., Nishimura, Y., 2020., “Chemistry and physics of a low-metallicity hot core in the Large Magellanic Cloud”, *ApJ*, 891, 164, 24pp.
22. Lee, S., Lee, J.-E., Aikawa, Y., Herczeg, G., Johnstone, D., 2020, “The Circumstellar Environment around the Embedded Protostar EC 53”, *ApJ*, 889, 20, 12pp.
23. Cataldi, G., Wu, Y., Brandeker, A., Ohashi, N., Moór, A., Olofsson, G., Ábrahám, P., Asensio-Torres, R., Cavallius, M., Dent, W. R. F., Grady, C., Henning, T., Higuchi, A. E., Hughes, A. M., Janson, M., Kamp, I., Kóspál, A., Redfield, S., Roberge, A., Weinberger, A., Welsh, B. 2020, “The Surprisingly Low Carbon Mass in the Debris Disk around HD 32297”, *ApJ.*, 892, 99.
24. Bianchi, E., Chandler, C. J., Ceccarelli, C., Codella, C., Sakai, N., López-Sepulcre, A., Maud, L. T., Moellenbrock, G., Svoboda, B., Watanabe, Y., Sakai, T., Ménard, F., Aikawa, Y., et al. 2020, “FAUST I. The hot corino at the heart of the prototypical Class I protostar L1551 IRS5”, *MNRAS*, 498, L87.
25. Toshikawa, J., Malkan, M.A., Kashikawa, N., Overzier, R., Uchiyama, H., Ota, K., Ishikawa, S., Ito, K., 2020, “Discovery of Protoclusters at $z \sim 3.7$ and 4.9: Embedded in Primordial Superclusters”, *ApJ*, 888, 89, 24pp.
26. Marinello, M., Overzier, R. A., Röttgering, H. J. A., Kurk, J. D., De Breuck, C., Vernet, J., Wylezalek, D., Stern, D., Duncan, K. J., Hatch, N., Kashikawa, N., Lin, Y.-T., Nemmen, R. S., Saxena, A., 2020, “VLT/SINFONI study of black hole growth in high-redshift radio-loud quasars from the CARLA survey”, *MNRAS*, 492, 199, 28pp.
27. Zhang, H., Ouchi, M., Itoh, R., Shibuya, T., Ono, Y., Harikane, Y., Inoue, A. K., Rauch, M., Kikuchi-hara, S., Nakajima, K., Yajima, H., Arata, S., Abe, M., Iwata, I., Kashikawa, N., Kawanomoto, S., Kikuta, S., Kobayashi, M. A. R., Kusakabe, H., Mawatari, K., 2020, “CHORUS. III. Photometric and Spectroscopic Properties of Ly α Blobs at $z = 4.9 - 7.0$ ”, *ApJ*, 891, 177, 14pp.
28. Ogura, K., Umehata, H., Taniguchi, Y., Matsuda, Y., Kashikawa, N., Sheth, K., Murata, K., Kajisawa, M., Kobayashi, M. A. R., Murayama, T., Nagao, T., 2020, “ALMA band 8 observations of DLA 2233+131 at $z = 3.150$ ”, *PASJ*, 72, 29, 11pp.
29. Ito, K., Kashikawa, N., Toshikawa, J., Overzier, R., Kubo, M., Uchiyama, H., Liang, Y., Onoue, M., Tanaka, M., Komiyama, Y., Lee, C.-H., Lin, Y.-T., Marinello, M., Martin, C. L., Shibuya, T., 2020, “The UV Luminosity Function of Protocluster Galaxies at $z \sim 4$: The Bright-end Excess and the Enhanced Star Formation Rate Density”, *ApJ*, 899, 5, 22pp.
30. Silverman, J. D., Tang, S., Lee, K.-G., Hartwig, T., Goulding, A., Strauss, M. A., Schramm, M., Ding, X., Riffel, R. A., Fujimoto, S., Hikage, C., Imanishi, M., Iwasawa, K., Jahnke, K., Kayo, I., Kashikawa, N., Kawaguchi, T., Kohno, K., Luo, W., Matsuoka, Y., 2020, “Dual Supermassive Black Holes at Close Separation Revealed by the Hyper Suprime-Cam Subaru Strategic Program”, *ApJ*, 899, 154, 11pp

31. Kato, N., Matsuoka, Y., Onoue, M., Koyama, S., Toba, Y., Akiyama, M., Fujimoto, S., Imanishi, M., Iwasawa, K., Izumi, T., Kashikawa, N., Kawaguchi, T., Lee, C.-H., Minezaki, T., Nagao, T., Noboriguchi, A., Strauss, M. A., 2020, “Subaru High-z Exploration of Low-Luminosity Quasars (SHELLQs). IX. Identification of two red quasars at $z > 5.6$ ”, PASJ, 72, 84, 14pp.
32. Ishimoto, R., Kashikawa, N., Onoue, M., Matsuoka, Y., Izumi, T., Strauss, M. A., Fujimoto, S., Imanishi, M., Ito, K., Iwasawa, K., Kawaguchi, T., Lee, C.-H., Liang, Y., Lu, T.-Y., Momose, R., Toba, Y., Uchiyama, H., 2020, “Subaru High-z Exploration of Low-luminosity Quasars (SHELLQs). XI. Proximity Zone Analysis for Faint Quasar Spectra at $z \sim 6$ ”, ApJ, 903, 60, 14pp.
33. Niida, M., Nagao, T., Ikeda, H., Akiyama, M., Matsuoka, Y., He, W., Matsuoka, K., Toba, Y., Onoue, M., Kobayashi, M. A. R., Taniguchi, Y., Furusawa, H., Harikane, Y., Imanishi, M., Kashikawa, N., Kawaguchi, T., Komiyama, Y., Shirakata, H., Terashima, Y., Ueda, Y., 2020, “The Faint End of the Quasar Luminosity Function at $z \sim 5$ from the Subaru Hyper Suprime-Cam Survey”, ApJ, 904, 89, 14pp.
34. Ishikawa, S., Kashikawa, N., Tanaka, M., Coupon, J., Leauthaud, A., Toshikawa, J., Ichikawa, K., Oogi, T., Uchiyama, H., Niino, Y., Nishizawa, A. J., 2020, “The Subaru HSC Galaxy Clustering with Photometric Redshift. I. Dark Halo Masses versus Baryonic Properties of Galaxies at $0.3 \leq z \leq 1.4$ ”, ApJ, 904, 128, 33pp.
35. Uchiyama, H., Akiyama, M., Toshikawa, J., Kashikawa, N., Overzier, R., Nagao, T., Ichikawa, K., Marinello, M., Imanishi, M., Tanaka, M., Matsuoka, Y., Komiyama, Y., Ishikawa, S., Onoue, M., Kubo, M., Harikane, Y., Ito, K., Namiki, S., Liang, Y., 2020, “Faint Quasars Live in the Same Number Density Environments as Lyman Break Galaxies at $z \sim 4$ ”, ApJ, 905, 125, 12pp.
36. Inoue, A. K., Yamanaka, S., Ouchi, M., Iwata, I., Shimasaku, K., Taniguchi, Y., Nagao, T., Kashikawa, N., Ono, Y., Mawatari, K., Shibuya, T., Hayashi, M., Ikeda, H., Zhang, H., Liang, Y., Lee, C.-H., Hilmi, M., Kikuta, S., Kusakabe, H., Furusawa, H., Hayashino, T., Kajisawa, M., Matsuda, Y., Nakajima, K., Momose, R., Harikane, Y., Saito, T., Kodama, T., Kikuchihara, S., Iye, M., Goto, T., 2020, “CHORUS. I. Cosmic Hydrogen Reionization Unveiled with Subaru: Overview”, PASJ, 72, 101, 17pp.
37. Gu, L. et al. (additional 8 authors including Shimasaku, K.), “Implications of the mild gas motion found with Hitomi in the core of the Perseus cluster”, 2020, A&A, 638, 138, 15pp.
38. Silverman, J. D. et al. (additional 32 authors including Kashikawa, N. and Shimasaku, K.), “Dual Supermassive Black Holes at Close Separation Revealed by the Hyper Suprime-Cam Subaru Strategic Program”, 2020, ApJ, 899, id.154, 12pp.
39. Liang, Y. et al. (additional 13 authors including Kashikawa, N. and Shimasaku, K.), “Statistical Correlation between the Distribution of Ly α Emitters and Intergalactic Medium HI at $z \sim 2.2$ Mapped by the Subaru/Hyper Suprime-Cam”, 2021, ApJ, 907, id.3, 21pp.
40. Inoue, A. K. et al. (additional 30 co-authors including Shimasaku, K. and Momose, R.), “CHORUS. I. Cosmic Hydrogen Reionization Unveiled with Subaru: Overview”, 2020, PASJ, 72, 101, 17pp.
41. Ishimoto, R. et al. (additional 16 co-authors including Momose, R.), “Subaru High-z Exploration of Low-luminosity Quasars (SHELLQs). XI. Proximity Zone Analysis for Faint Quasar Spectra at $z \sim 6$ ”, 2020, ApJ, 903, id.60, 11pp.

42. Ando, M., Shimasaku, K., Momose, R., “A systematic search for galaxy proto-cluster cores at $z \sim 2$ ”, 2020, MNRAS, 496, pp.3169–3181
43. Toba, Y. et al. (additional 27 co-authors including Momose. R.), “Search for Optically Dark Infrared Galaxies without Counterparts of Subaru Hyper Suprime-Cam in the AKARI North Ecliptic Pole Wide Survey Field”, 2020, ApJ, 899, Issue 1, id.35
44. Umeda, H., Yoshida, T., Nagele, C., Takahashi, K., 2020, “Pulsational Pair-instability and the Mass Gap of Population III Black Holes: Effects of Overshooting”, ApJ, 905, L21 (4pp), [DOI: 10.3847/2041–8213/abcb96].
45. Nagele, C., Umeda, H., Takahashi, K., Yoshida, T., Sumiyoshi, K., 2020, MNRAS 496, 1224–1231, [DOI: 10.1093/mnras/staa1636].
46. Orlando, S., Ono, M., Nagataki, S., Miceli, M., Umeda, H., Ferrand, G., Bocchino, F., Petruk, O., Peres, G., Takahashi, K., Yoshida, T., 2020, “Hydrodynamic simulations unravel the progenitor-supernova-remnant connection in SN 1987A”, A&A 636, A22 (19pp), [DOI: 10.1051/0004-6361/201936718].
47. Sato, T., Yoshida, T., Umeda, H., Nagataki, S., Ono, M., Maeda, K., Hirai, R., Hughes, J. P., Williams, B. J., Maeda, Y., 2020, “A Subsolar Metallicity Progenitor for Cassiopeia A, the Remnant of a Type IIb Supernova”, ApJ 893, 49 (9pp), [DOI: 10.3847/1538–4357/ab822a].
48. Chiba, Y., Katsuda, S., Yoshida, T., Takahashi, K., Umeda, H., 2020, “First detection of X-ray line emission from Type II_n supernova 1978K with XMM-Newton’s RGS”, PASJ 72, 25 (10pp), [DOI: 10.1093/pasj/psz148].
49. Tanikawa, A., Yoshida, T., Kinugawa, T., Takahashi, K., Umeda, H., 2020, “Fitting formulae for evolution tracks of massive stars under extreme metal-poor environments for population synthesis calculations and star cluster simulations”, MNRAS 495, 4170–4191, [DOI: 10.1093/mnras/staa1417].
50. Suzuki, T., Chiba, S., T., Yoshida, T., Nakazato, K., Sakuda, M., Takahashi, K., Umeda, H., 2020, “Neutrino-nucleus reactions on oxygen and neon for nucleosynthesis and supernova neutrino detection”, Journal of Physics: Conf. Ser., 1643, id 012027, (6pp), [DOI: 10.1088/1742-6596/1643/a/012027].
51. Zaizen, M., Cherry, John F., Takiwaki, T., Horiuchi, S., Kotake, K., Umeda, H., and Yoshida, T., 2020 “Neutrino halo effect on collective neutrino oscillation in iron core-collapse supernova model of a 9.6 M_{\odot} star”, J. Cosmol. Astropart. Phys. 06 (2020) 011, [DOI: 10.1088/1475-7516/2020/06/011]
52. Hatta, Y., Sekii, T., Takata, M., Kurtz, D. W., 2020, “Asteroseismic Study of KIC 11145123: Its Structure and Rotation”, in Dynamics of the Sun and Stars; Honoring the Life and Work of Michael J. Thompson, edited by Monteiro, Mário J. P. F. G.; García, Rafael A.; Christensen-Dalsgaard, Jørgen; McIntosh, Scott W.. Astrophysics and Space Science Library, Vol. 57. Cham: Springer International Publishing, 2020, pp. 243–249.
53. Murphy, S. J., Saio, H., Takada-Hidai, M., Kurtz, D. W., Shibahashi, H., Takata, M., Hey, D. R., 2020, “On the first δ Sct–roAp hybrid pulsator and the stability of p and g modes in chemically peculiar A/F stars”, MNRAS, 498, 4272–4286.
54. Ouazzani, R.-M., Lignières, F., Dupret, M.-A., Salmon, S. J. A. J., Ballot, J., Christophe, S., Takata, M., 2020, “First evidence of inertial modes in γ Doradus stars: The core rotation revealed”, A&A, 640, A49.

55. Takata, M., Ouazzani, R.-M., Saio, H., Christophe, S., Ballot, J., Antoci, V., Salmon, S. J. A. J., Hijikawa, K., 2020, “A diagnostic diagram for γ Doradus variables and slowly pulsating B-type stars”, *A&A*, 635, A106.
56. Takata, M., Ouazzani, R. -M., Saio, H., Christophe, S., Ballot, J., Antoci, V., Salmon, S. J. A. J., 2020, “Inferring the internal structure of γ Doradus variables from Rossby modes. Extension of the ν - $\sqrt{\Delta\nu}$ diagram”, *A&A*, 644, A138.
57. Kamizuka, T., Miyata, T., Sako, S., Ohsawa, R., Asano, K., Uchiyama, M. S., Mori, T., Yoshida, Y., Tachibana, K., Michifuji, T., Uchiyama, M., Sakon, I., Onaka, T., Kataza, H., Aoki, T., Doi, M., Hatsukade, B., Kato, N., Kohno, K., Konishi, M., Minezaki, T., Morokuma, T., Numata, M., Motohara, K., Sameshima, H., Soyano, T., Takahashi, H., Tanabé, T., Tanaka, M., Tarusawa, K., Koshida, S., Tamura, Y., Terao, Y., Kushibiki, K., Nakamura, H., Yoshii, Y., 2020, “The University of Tokyo Atacama Observatory 6.5m telescope: On-sky performance evaluations of the mid-infrared instrument MIMIZUKU on the Subaru telescope”, *Proceedings of the SPIE*, Volume 11447, id. 114475X 19 pp. doi: 10.1117/12.2560789
58. Sakon, I., Roellig, T. L., Ennico-Smith, K., Matsuo, T., Ikeda, Y., Yamamuro, T., Enya, K., 2020, “The mid-infrared spectrometer/camera (MISC) for the Origins Space Telescope”, *Proceedings of the SPIE*, Volume 11443, id. 114436K 8 pp. doi: 10.1117/12.2561949
59. Wada, T., Kaneda, H., Kokusho, T., Suzuki, T., Morihana, K., Tsuchikawa, T., Kuroda, Y., Ishikawa, D., Oyabu, S., Isobe, N., Ishihara, D., Matsuhara, H., Nagase, K., Nakagawa, T., Ootsubo, T., Yamagishi, M., Maeshima, H., Onishi, S., Matsumoto, K., Itoh, S., Uchiyama, M., Lau, R., Ebihara, H., Inami, H., Kawabata, K., Kasaba, Y., Sakanoi, T., Ita, Y., Akiyama, M., Sakon, I., Kamizuka, T., Miyata, T., Tsumura, K., Naruse, M., Ohyama, Y., Wang, S.-Y., Shibai, H., “SPICA Mid-infrared Instrument (SMI): The latest design and specifications” ., *Proceedings of the SPIE*, Volume 11443, id. 114436G 20 pp. doi: 10.1117/12.2561157
60. Matsuo, T., Greene, T. P., Johnson, R. R., McMurray, R. E., Roellig, T., Ennico-Smith, K., Helvensteijn, B. P., Kashani, A., Shibai, H., Sumi, T., Itoh, S., Sakon, I., Yamamuro, T., Ikeda, Y., Manome, T., Iida, N., Yanagibashi, K., Kamiura, M., 2020, “Laboratory experiment of densified pupil spectrograph for the Origins Space Telescope”, *Proceedings of the SPIE*, Volume 11443, id. 114436D 7 pp. doi: 10.1117/12.2560421
61. Roellig, T. L., McMurtry, C., Greene, T., Matsuo, T., Sakon, I., Staguhn, J., 2020, “Mid-infrared detector development for the Origins Space Telescope”, *Journal of Astronomical Telescopes, Instruments, and Systems*, Volume 6, id. 041503 doi: 10.1117/1.JATIS.6.4.041503
62. Lau, R. M., Hankins, M. J., Han, Y., Endo, I., Moffat, A. F. J., Ressler, M. E., Sakon, I., Sanchez-Bermudez, J., Soullain, A., Stevens, I. R., Tuthill, P. G., Williams, P. M., 2020, “Resolving Decades of Periodic Spirals from the Wolf-Rayet Dust Factory WR 112”, *ApJ*, 900, id. 190 doi: 10.3847/1538-4357/abaab8
63. Lau, R. M., Eldridge, J. J., Hankins, M. J., Lamberts, A., Sakon, I., Williams, P. M., 2020, “Revisiting the Impact of Dust Production from Carbon-Rich Wolf-Rayet Binaries”, *ApJ*, 898, id. 74 doi: 10.3847/1538-4357/ab9cb5
64. Buragohain, M., Pathak, A., Sakon, I., Onaka, T., 2020, “DFT Study on Interstellar PAH Molecules with Aliphatic Side Groups ”, *ApJ*, 892, id. 11 doi: 10.3847/1538-4357/ab733a

65. Onaka, T., Nakamura, T., Sakon, I., Ohsawa, R., Wu, R., Kaneda, H., Lebouteille, V., Roellig, T. L., 2020, “Processing of nano dust particles in galaxies”, *Astronomy in Focus XXX*, presented at IAU XXX General Assembly, Vienna, Austria. *Proceedings of the IAU*, 2020, pp. 391-392 doi: 10.1017/S1743921319004873
66. Endo, I., Sakon, I., Onaka, T., Helton, A. L., Lau, R. M., Kimura, S., Wada, S., Ogawa, N., Ohkouchi, N., Kebukawa, Y., 2020, “Quenched Nitrogen-included Carbonaceous Composite (QNCC): A powerful candidate of the carriers of the UIR bands in classical novae”, *Laboratory Astrophysics: From Observations to Interpretation*, held 14-19 April 2019 in Cambridge, UK. Edited by F. Salama and H. Linnartz. *Proceedings of the International Astronomical Union*, Volume 350, pp. 425-426 doi: 10.1017/S1743921319006409
67. Braga, Bono, Fiorentino, Stetson, Dall’Ora, Salaris, da Silva, Fabrizio, Marinoni, Marrese, Mateo, Matsunaga, Monelli, Wallerstein, 2020, “Separation between RR Lyrae and Type II Cepheids and their importance for determination: the case of omega Cen”, *A&A*, 644, A95.
68. Sameshima, Yoshii, Matsunaga, Kobayashi, Ikeda, Kondo, Hamano, Mizumoto, Arai, Yasui, Fukue, Kawakita, Otsubo, Bono, Saviane, 2020, “Mg II and Fe II Fluxes of Luminous Quasars at $z \sim 2.7$ and the Evaluation of the Baldwin Effect in the Flux-to-abundance Conversion Method for Quasars”, *ApJ*, 904, 162.
69. Bono, Braga, Crestani, Fabrizio, Sneden, Marconi, Preston, Mullen, Gilligan, Fiorentino, Pietrinferni, Altavilla, Buonanno, Chaboyer, da Silva, Dall’Ora, Degl’Innocenti, Di Carlo, Ferraro, Grebel, Iannicola, Inno, Kovtyukh, Kunder, Lemasle, Marengo, Marinoni, Marrese, Martinez-Vazquez, Matsunaga, Monelli, Neeley, Nonino, Moroni, Prudil, Stetson, Thevenin, Tognelli, Valenti, Walker, 2020, “On the Metamorphosis of the Bailey Diagram for RR Lyrae Stars”, *ApJ*, 896, L15.
70. Jian, Taniguchi, Matsunaga, Kobayashi, Ikeda, Yasui, Kondo, Sameshima, Hamano, Fukue, Arai, Otsubo, Kawakita, 2020, “The effect of surface gravity on line-depth ratios in the wavelength range 0.97–1.32 μm ”, *MNRAS*, 494, 1724.
71. Matsunaga, Taniguchi, Jian, Ikeda, Fukue, Kondo, Hamano, Kawakita, Kobayashi, Otsubo, Sameshima, Takenaka, Tsujimoto, Watase, Yasui, Yoshikawa, 2020, “Identification of Absorption Lines of Heavy Metals in the Wavelength Range 0.97–1.32 μm ”, *ApJS*, 246, 10.
72. Sinha, Sharma, Pandey, Yadav, Ogura, Matsunaga, Kobayashi, Bisht, Pandey, Ghosh, 2020, “Variable stars in the Sh 2–170 H II region”, *MNRAS*, 493, 267.
73. Urago, Omodaka, Nagayama, Watabe, Miyanosita, Matsunaga, Burns, 2020, “The 3D Distribution of Long-period Mira Variables in the Galactic Disk”, *ApJ*, 891, 50.
74. Wang, D’Orazi, Matsunaga, Bono, 2020, “The chemical feature of Miras in 47 Tuc based on the WINERED spectra”, *IAUS*, 351, 540.
75. Zenko, Nagata, Kurita, Kino, Nishiyama, Matsunaga, Nakajima, 2020, “Magnetic field structure of the Galactic plane from differential analysis of interstellar polarization”, *PASJ*, 72, 27.
76. Deng, Sun, Jian, Jiang, Yuan, 2020, “Intrinsic Color Indices of Early-type Dwarf Stars”, *AJ*, 159, 208.

出版済 (2021 年)

1. Kataoka J., Yamamoto M., Nakamura Y., Ito S., Sofue Y., Inoue Y., Nakamori T., Totani T. 2021. “Origin of Galactic Spurs: New Insight from Radio/X-Ray All-sky Maps”, *ApJ*, 908
2. Sudoh, T., Linden, T., Beacom, J., 2021 “Millisecond pulsars modify the radio-star-formation-rate correlation in quiescent galaxies”, *Physical Review D*, 103, 083017
3. Parviainen, H., Palle, E., Zapatero-Osorio, M. R. and 43 more. 2021, “TOI-519 b: A short-period substellar object around an M dwarf validated using multicolour photometry and phase curve analysis”, *A&A*, 645, 16.
4. Yen, H.-W., Koch, P. M., Hull, C. L. H. and 43 more. 2021, “The JCMT BISTRO Survey: Alignment between Outflows and Magnetic Fields in Dense Cores/Clumps”, *ApJ*, 907, 33.
5. Narang, M., Manoj, P., Ishwara Chandra, C. H. and 6 more. 2021, “In search of radio emission from exoplanets: GMRT observations of the binary system HD 41004”, *MNRAS*, 500, 4818.
6. Chen, G., Palle, E., Parviainen, H. and 25 more. 2021, “An enhanced slope in the transmission spectrum of the hot Jupiter WASP-104b”, *MNRAS*, 500, 5420.
7. Sha, L., Huang, C. X., Shporer, A. and 70 more. 2021, “TOI-954 b and K2-329 b: Short-period Saturn-mass Planets that Test whether Irradiation Leads to Inflation”, *AJ*, 161, 82.
8. Pattle, K., Lai, S.-P., Di Francesco, J. and 26 more. 2021, “JCMT POL-2 and BISTRO Survey Observations of Magnetic Fields in the L1689 Molecular Cloud”, *ApJ*, 907, 88.
9. Ngoc, N. B. Diep, P. N., Parsons, H. and 146 more. 2021, “Observations of Magnetic Fields Surrounding LkH α 101 Taken by the BISTRO Survey with JCMT-POL-2”, *ApJ*, 908, 10.
10. Nugroho, S. K., Kawahara, H., Gibson, N. P. and 23 more. 2021, “First Detection of Hydroxyl Radical Emission from an Exoplanet Atmosphere: High-dispersion Characterization of WASP-33b Using Subaru/IRD”, *ApJ*, 910, L9.
11. Okoda, Y., Oya, Y., Francis, L., Johnstone, D., Inutsuka, S., Ceccarelli, C., Codella, C., Chandler, C., Sakai, N., Aikawa, Y., et al. 2021, “FAUST. II. Discovery of a Secondary Outflow in IRAS 15398-3359: Variability in Outflow Direction during the Earliest Stage of Star Formation?”, *ApJ*, 910, 11.
12. 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
13. Moór, A., Abraham, P., Szabó, G., Vida, K., Cataldi, G. et al. 2021, “A New Sample of Warm Extreme Debris Disks from the ALLWISE Catalog”, *ApJ*, 910, 27
14. Liang, Y., Kashikawa, N., Cai, Z., Fan, X., Prochaska, J. X., Shimasaku, K., Tanaka, M., Uchiyama, H., Ito, K., Shimakawa, R., Nagamine, K., Shimizu, I., Onoue, M., Toshikawa, J., 2021, “Statistical Correlation between the Distribution of Ly α Emitters and Intergalactic Medium H I at $z \sim 2.2$ Mapped by the Subaru/Hyper Suprime-Cam”, *ApJ*, 907, 3, 21pp.
15. Jiang, L., Kashikawa, N., Wang, S., Walth, G., Ho, L. C., Cai, Z., Egami, E., Fan, X., Ito, K., Liang, Y., Schaerer, D., Stark, D. P., 2021, “Evidence for GN-z11 as a luminous galaxy at redshift 10.957”, *Nat. Astronomy*, 5, 256, 6pp.

16. Jiang, L., Wang, S., Zhang, B., Kashikawa, N., Ho, L. C., Cai, Z., Egami, E., Walth, G., Yang, Y.-S., Zhang, B.-B., Zhao, H.-B., 2021, “A possible bright ultraviolet flash from a galaxy at redshift $z \sim 11$ ”, *Nat. Astronomy*, 5, 262, 6pp.
17. Izumi, T., Onoue, M., Matsuoka, Y., Strauss, M. A., Fujimoto, S., Umehata, H., Imanishi, M., Kawamuro, T., Nagao, T., Toba, Y., Kohno, K., Kashikawa, N., Inayoshi, K., Kawaguchi, T., Iwasawa, K., Inoue, A. K., Goto, T., Baba, S., Schramm, M., Suh, H., Harikane, Y., Ueda, Y., Silverman, J. D., Hashimoto, T., Hashimoto, Y., Ikarashi, S., Iono, D., Lee, C.-H., Lee, K., Minezaki, T., Nakanishi, K., Nakano, S., Tamura, Y., Tang, J.-J., 2021, “Subaru High- z Exploration of Low-luminosity Quasars (SHELLQs). XII. Extended [C II] Structure (Merger or Outflow) in a $z = 6.72$ Red Quasar”, *ApJ*, 908, 235, 12pp.
18. 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”, *ApJ*, 909, 117, 21pp.
19. 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.
20. 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
21. Kim, S. J. et al. (additional 23 co-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
22. Ando, M., Shimasaku, K., Momose, R., “A systematic search for galaxy proto-cluster cores at $z \sim 2$ ”, 2021, *IAUS*, 359, 166
23. Yoshida, T., Takiwaki, T., Kotake, K., Takahashi, K., Nakamura, K., Umeda, H., 2021, “Three-dimensional Hydrodynamics Simulations of Precollapse Shell Burning in the Si- and O-rich Layers”, *ApJ* 908, id. 44 (18pp), [DOI: 10.3847/1538-4357/abd3a3].
24. Zaizen, M., Horiuchi, S., Takiwaki, T., Kotake, K., Yoshida, T., Umeda, H., and Cherry, John F., 2021 “Three-flavor collective neutrino conversions with multi-azimuthal-angle instability in an electron-capture supernova model” *Phys. Rev. D* 103, 063008 (2021), [DOI: 10.1103/PhysRevD.103.063008]
25. 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.
26. Saio, H., Takata, M., Lee, U., Li, G., Van Reeth, T., “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.
27. 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”, 2021, *Journal of Astronomical Telescopes, Instruments, and Systems*, Volume 7, id. 011013 doi: 10.1117/1.JATIS.7.1.011013
28. 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
29. 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., Lipsky, 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., Tajdarani, 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
30. 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
31. 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.
32. 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.
33. 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.
34. 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.
35. 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.
36. 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.
37. 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.

印刷中

1. Óberg, K. I., & MAPS team. 2021, “MAPS I: Program Overview and Highlights”, accepted to *ApJS*
2. Czekala, I., & MAPS team. 2021, “MAPS II: CLEAN Strategies for Synthesizing Images of Molecular Line Emission in Protoplanetary Disks”, accepted to *ApJS*
3. Law, C., & MAPS team. 2021, “MAPS III: Characteristics of Radial Chemical Substructures”, accepted to *ApJS*
4. Bosman, A. D., & MAPS team. 2021, “MAPS VII: Sub-stellar O/H and C/H and super-stellar C/O in planet feeding gas”, accepted to *ApJS*
5. Ilee, J. D., & MAPS team. 2021, “MAPS IX: Distribution and properties of the large organic molecules HC₃N, CH₃CN and c-C₃H₂”, accepted to *ApJS*
6. Bergner, J. B., & MAPS team. 2021, “MAPS XI: CN and HCN as Tracers of Photochemistry in Disks”, accepted to *ApJS*
7. Aikawa, Y., Cataldi, G., Yamato, Y. & MAPS team. 2021, “MAPS XIII: Molecules with ALMA at Planet-forming Scales (MAPS) XIII: HCO⁺ and disk ionization structure”, accepted. to *ApJS*

8. Sierra, A., & MAPS team. 2021, “MAPS XIV: Revealing disks substructures in multi-wavelength continuum emission”, accepted to ApJS
9. Bosman, A. D., & MAPS team. 2021, “MAPS XV: Tracing Protoplanetary Disk Structure within 20 au”, accepted to ApJS
10. Teague, R., & MAPS team. 2021, “MAPS XVIII: Kinematic Substructure in the Disks of HD 163296 and MWC 480”, accepted to ApJS
11. Schwarz, K.R., & MAPS team, “MAPS XX: The Massive Disk Around GM Aurigae”, 2021, accepted to ApJS
12. 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”, accepted to ApJ
13. 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”, accepted to ApJ
14. 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, Issue 7855, 537-540, [DOI: 10.1038/s41586-021-03391-9].
15. Shimakawa, R. et al. (additional 10 co-authors including Momose. R.), “Subaru Hyper Suprime-Cam excavates colossal over- and underdense structures over 360 deg² out to $z = 1$ ”, 2021, MNRAS, in press.
16. 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, in press.
17. Momose, R., Shimizu, I., Nagamine, K., Shimasaku, K., Kashikawa, N., Kusakabe, H., “Connection between Galaxies and HI in Circumgalactic and Intergalactic Media: Variation according to Galaxy Stellar Mass and Star Formation Activity”, 2021, ApJ, in press.
18. Ono, Y. et al. (additional 27 co-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, in press.
19. 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, in press
20. Onaka, T., Kimura, T., Sakon, I., Shimonishi, T., 2021, “Discovery of two infrared objects with strong ice absorption in the AKARI slit-less spectroscopic survey of the Galactic Plane”, ApJ, in press eprint arXiv:2105.11660
21. Matsunaga, Jian, Taniguchi, Elgueta, 2021, “Line-depth ratios as indicators of effective temperature and surface gravity”, MNRAS, in press

1.6.2 和文論文および解説記事

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 2021」, 2020, 丸善

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 2020 年秋季年会, 弘前大学 (オンライン開催) (2020/9/8–9/10)

1. 須藤貴弘: “Millisecond Pulsars Modify the Radio-SFR Correlation in Quiescent Galaxies”, 「日本天文学会秋季年会」, オンライン, 2020/9/8–10.
2. 森万由子ほか: “地上望遠鏡を用いた TRAPPIST-1g トランジット分光による惑星大気と主星表面の不均一性の解析”
3. Cataldi, G.: “The surprisingly low carbon mass in the debris disk around HD 32297” (口頭発表)
4. 大和 義英, Gianni Cataldi, 相川祐理, ALMA MAPS Collaboration: 「原始惑星系円盤における N₂H⁺, N₂D⁺輝線観測データの解析」(口頭発表)
5. 森昇志, 相川祐理, 大屋瑤子, 山本智: 「流体力学に基づいた回転降着エンベロープの模擬観測: 中心星質量の推定」(口頭発表)
6. Rieko Momose, Kazuhiro Shimasaku, Nobunari Kashikawa (University of Tokyo), Kentaro Nagamine (Osaka University), Ikkoh Shimizu (Shikoku Gakuin University), Kimihiko Nakajima (NAOJ), Haruka Kusakabe (University of Geneva), Yasunori Terao, Makoto Ando, Kentaro Motohara (University of Tokyo), Lee Spitler (Macquarie University): IGM–galaxy connections around AGNs, Z134a
7. 吉田敬, 滝脇知也, 固武慶, 高橋亘, 中村航, 梅田秀之: 重力崩壊直前の大質量星の酸素-ケイ素対流燃焼層における 3次元対流の進化, N04a
8. 高田将郎 (東大理), R.-M. Ouazzani(パリ天文台), 齊尾英行 (東北大理), S. Christophe(パリ天文台), J. Ballot(トゥールーズ大学), V. Antoci(デンマーク工科大学), S.J.A.J. Salmon(ジュネーブ天文台): γ Dor 型脈動変光星で検出されるロスビー・モードを用いた内部構造診断, N30a
9. 松永典之, 前原裕之, 浮田信治, 坂本強, 小林尚人, 青木勉, 征矢野隆夫, 樽澤賢一, 猿楽祐樹, 三戸洋之, 酒向重行, 諸隈智貴, 土居守, 中田好一, 泉奈都子, 板由房, 小野里宏樹: KWFC 銀河面変光天体探査 (KISOGP)–V, N21a
10. Mingjie Jian, Noriyuki Matsunaga, Daisuke Taniguchi (The University of Tokyo) and WINERED team: The chromospheric helium line at 10830 Å: observational trends with stellar parameters and the synthetic spectra, N31a
11. 福江慧, 池田優二, 河北秀世 (京都産業大学), 松永典之, 近藤荘平, 谷口大輔, 鮫島寛明, 小林尚人 (東京大学), 濱野哲史, 安井千香子, 辻本拓司 (国立天文台), WINERED 開発チーム: 近赤外線高分散分光器 WINERED : Mg, Si, Ca, Ti, Cr, Ni の化学組成導出に用いる YJ バンド中の吸収線の選定, N32a

12. 谷口大輔, 松永典之, 小林尚人 (東京大学): SVC: 高分散分光スペクトルの連続波を高精度に規格化する新手法, N33a

1.7.1 日本天文学会 2021 年春季年会, 東京工業大学 (オンライン開催) (2021/3/16–3/19)

1. 下野直弥, 戸谷友則, 須藤貴弘 Cherenkov Telescope Array による星形成銀河からのガンマ線検出の見込み
2. 塚越崇ほか: ALMA 多波長画像解析で探る TW Hya の原始惑星系円盤のスペクトル指数分布
3. 桑田敦基ほか: スパースモデリングによる地球型系外惑星の表面組成の全球マッピング
4. 平野照幸ほか: 若い系外惑星の軌道傾斜角測定
5. 葛原昌幸ほか: 惑星や褐色矮星の伴星が引き起こす固有運動の加速に着目した高コントラスト直接撮像探査
6. 大宮正士ほか: IRD-SSP による M 型星周りの惑星サーベイ: 2 年目の観測状況
7. 相川祐理, Gianni Cataldi, 大和義英, MAPS team, 「原始惑星系円盤における HCO+ 輝線の高空間分解能観測」, (口頭発表)
8. Cataldi, G., Yamato, Y., Aikawa, Y. & MAPS team, “Resolving DCN/HCN towards five protoplanetary disks using the MAPS data”, (口頭発表)
9. 大和 義英, 古家健次, 相川祐理, Magnus V. Persson, John J. Tobin, Vianny Taquet, Jes. K. Jorgensen, Mihkel Kama, “VLA observations of ammonia lines towards the Class 0 protostar NGC1333 IRAS4A” (口頭発表)
10. 五島雛子, 嶋作一大ほか: すばる望遠鏡/HSC による $z = 7.3$ Ly α 光度関数と宇宙再電離への制限, X29a.
11. 遠藤いずみ, 左近 樹, 他 “WR125 の中間赤外線分光観測-天体のスリット上での捕獲位置による分光データへの影響とその補正”, N16a

1.7.2 国際研究会

1. Tomonori Totani, “Gamma-ray bursts as a probe of intergalactic medium and cosmic reionization”, Invited talk at workshop “Probing the Extragalactic Universe with High Energy and Very High Energy Sources” Dec. 9–11, 2020, online
2. Sudoh, T., “Millisecond Pulsars Modify the Radio-SFR Correlation” Connecting high-energy astroparticle physics for origins of cosmic rays and future perspectives, Remote, 2020/12/7–10.
3. Sudoh, T., “Discovery Prospects for TeV Halos and Physics Implications” 1st workshop on gamma-ray halo around pulsars, Remote, 2020/12/1–3.
4. Lin, H., “Detectability of radio afterglows from FRBs produced by neutron star mergers”, Fast Radio Bursts 2020 Thailand Meeting, online, Jul. 6–9, 2020
5. Lin, H., “Afterglows from neutron stars and fast radio bursts”, Connecting high-energy astroparticle physics for origins of cosmic rays and future perspectives (CRPHYS2020), YITP, Kyoto University, Japan, Dec. 7–10, 2020

6. Yuri Aikawa, “Astrochemistry in planetary system formation: from molecular clouds to protoplanetary disks and planetary system material”, Astrobiology session at JpGU-AGU 2020, online, July.12–16, invited presentation
7. Cataldi, G. “Observations of gas in debris disks with ALMA”, East Asian ALMA Science Workshop 2021, online, 2021.02.17–2.19, invited talk
8. Yoshihide Yamato, Gianni Cataldi, Yuri Aikawa, & MAPS team, “ALMA MAPS Collaboration Deuterium fractionation and ionization in protoplanetary disks probed by N_2H^+ and N_2D^+ ”, East Asia ALMA Science Workshop 2021, 2021.2.17–19, online, oral presentation
9. Yuri Aikawa, Gianni Cataldi, Yoshihide Yamato, & MAPS team, “ HCO^+ and ionization structure in protoplanetary disks”, East Asia ALMA Science Workshop 2021 2021.2.17–19, online, oral presentation
10. Cataldi, G., Yamato, Y., Aikawa, Y. & MAPS team, “Resolved DCN/HCN profiles towards five protoplanetary disks”, From cores to codes: planning for the next steps in planet formation, 2021.3.9–11, online, oral presentation
11. Yoshihide Yamato, Gianni Cataldi, Yuri Aikawa, ALMA MAPS Collaboration, “Deuterium fractionation and ionization rate in proto-planetary disks by MAPS project”, From cores to codes: planning for the next setps in planet formation 2021.3.9–11, online, oral presentation
12. Shoji Mori, Satoshi Okuzumi, Masanobu Kunitomo, Xuening Bai “Evolution of the Water Snowline in Magnetized Protoplanetary Disks”, Building Blocks of Planets, online, April 14–16, 2020, oral presentation
13. Cataldi, G., Yamato, Y., Aikawa, Y. & MAPS team, “Resolved DCN/HCN profiles towards five protoplanetary disks from the MAPS data”, Five Years After HL Tau, 2020.12.7–11, online, pre-recorded oral presentation
14. Yoshihide Yamato, Gianni Cataldi, Yuri Aikawa, ALMA MAPS Collaboration, “ALMA Observations of N_2H^+ and N_2D^+ in Protoplanetary Disks”, Five Years After HL Tau: A new era on planet formation 2020.12.7–11, online, pre-recorded oral presentation
15. Cataldi, G., Yamato, Y., Aikawa, Y. & MAPS team, “Radial profiles of DCH/HCN towards five protoplanetary disks”, ALMA/45m/ASTE Users Meeting 2020, 2021.01.5–7, virtual conference, poster
16. Yoshihide Yamato, Gianni Cataldi, Yuri Aikawa, & MAPS Collaboration, “ALMA MAPS Collaboration ALMA Observations of N_2H^+ and N_2D^+ in Protoplanetary Disks”, ALMA/45m/ASTE Users Meeting FY2020 2021.1.5–7, online, poster
17. Yuri Aikawa, Gianni Cataldi, Yoshihide Yamato, & MAPS Collaboration, “Chemistry of Planet Formation: HCO^+ and ionization degree in protoplanetary disks”, ALMA/45m/ASTE Users Meeting FY2020 2021.1.5–7, online, poster
18. Kashikawa, N.: “High- z protocluster survey with Subaru/HSC”, Workshop on Proto-clusters: Galaxies in Confinement, Online, 2020/8/31–9/4 (invited talk).
19. Ishimoto, R.: “Proximity zone analysis for faint quasar spectra at $z \sim 6$ ”, SAZERAC presents: Quasars During Reionization, Online, 2020/12/3–4

20. Momose, R. et al.: “Environmental Dependence of Galactic Populations Traced by Ly α Forest Tomography”, PFS Collaboration Meeting 2021, Online, 2021/03
21. Momose, R. et al.: “The diversity of IGM-galaxy connection at redshift $z = 2 - 3$ ”, Galaxy Evolution Workshop 2020, Online, 2021/02
22. Momose, R. et al.: “Systemic investigations for mock observed Lyman-alpha halos”, European Astronomical Society Annual Meeting, Online, 2020/06
23. Ando, M., Shimasaku, K., Momose, R.: “A systematic search for galaxy protocluster cores at $z \sim 2$ ”, Protoclusters: Galaxy evolution in confinement, online, 2020/8/31-9/4
24. Sakon, I., “The mid-infrared spectrometer/camera (MISC) for the Origins Space Telescope”, Space Telescopes and Instrumentation 2020: Optical, Infrared, and Millimeter Wave, 13-18 December 2020, San Diego, California, USA, poster presentation (online)
25. Taniguchi, D., “Unbiased effective temperatures of red supergiants from iron absorption lines”, Cool Stars 20.5, Virtual, 2021/5/2-4 (poster)

1.7.3 国内研究会

1. Tomonori Totani, “Emergence of life in an inflationary universe”, Invited talk at RESCEU summer school 2020, August 17-19, Tokyo, Japan
2. 須藤貴弘: “Millisecond Pulsars Modify the Radio-SFR Correlation”, 「高エネルギー宇宙物理学研究会 2020」, オンライン, 2020/12/14-17.
3. 須藤貴弘: “Millisecond Pulsars Modify the Radio-SFR Correlation”, 「第33回理論懇シンポジウム」, オンライン, 2020/12/23-25.
4. 下野直弥: “Prospects of newly detecting star-forming galaxies by the Cherenkov Telescope Array”, 「高エネルギーガンマ線でみる極限宇宙 2020」 オンライン, 2020/12/3-4
5. 森昇志, 奥住聡, 國友正信, Bai Xuening: “磁氣的に降着する原始惑星系円盤におけるスノーラインの移動:地球型惑星の形成過程への示唆”(口頭発表)「日本惑星科学会 2020 年秋季講演会」, オンライン, 2020, 11/12-14
6. 大和義英, Gianni Cataldi, 相川祐理: “ALMA MAPS Collaboration 「原始惑星系円盤における N₂H⁺, N₂D⁺ 輝線観測データの解析”(口頭発表), 「日本惑星科学会秋季講演会」, オンライン, 2020/11/12-14
7. 相川祐理: “The JCMT Transient Survey”, ワークショップ「北半球で口径最大 & 焦点面装置とっても充実サブミリ波単一鏡 JCMT を使ってみよう & 使い倒そう!!」, オンライン, 2021, 1/5-1/7 (招待講演)
8. Cataldi, G.: “Observations of carbon gas in debris disks” (oral presentation), 新学術領域「星惑星形成」2020 年度大研究会, virtual conference, 2020.09.30-10.03.
9. Cataldi, G., Yamato, Y., Aikawa, Y. & MAPS team: “Resolved DCN/HCN profiles towards five protoplanetary disks from the MAPS data” (oral presentation), ALMA Grant Fellow Symposium, 2020, 2020.12.08 and 2020.12.15, virtual conference
10. 森昇志, 奥住聡, 國友正信, Bai Xuening: “磁氣的に降着する原始惑星系円盤におけるスノーラインの移動:地球型惑星の形成過程への示唆”(口頭発表), 「惑星系形成若手研究会」, オンライン, 2021, 2/22-24

11. 大和 義英, Gianni Cataldi, 相川祐理: “ALMA MAPS Collaboration: ALMA 高空間分解能観測で探る原始惑星系円盤における重水素濃縮と電離状態” (口頭発表), 「惑星系形成若手研究会」, オンライン, 2021/2/22-24
12. 森 昇志, 奥住 聡, 國友 正信, Bai Xuening: “磁気降着円盤におけるスノーラインの進化:地球型惑星の形成過程への示唆” (口頭発表), 新学術領域「星惑星形成」2020 年度大研究会, オンライン, 2020, 9/30-10/3
13. 大和 義英, 古家健次, 相川祐理, Magnus V. Persson, John J. Tobin, Vianny Taquet, Jes. K. Jorgensen, Mihkel Kama: “Class 0 天体における NH₃ の VLA 観測” (口頭発表), 「分子雲から原始星誕生までを追う-新時代の星形成モデル構築に向けて-」, オンライン, 2020/12/1-3
14. 大和 義英, Gianni Cataldi, 相川祐理, ALMA MAPS Collaboration: “原始惑星系円盤における N₂H⁺, N₂D⁺輝線観測データの解析” (口頭発表), Nobeyama Science Workshop 2020, オンライン, 2020.9.15-16
15. 百瀬莉恵子: “Review for observational study of the IGM” (招待講演), Workshop for Galaxy and the IGM 2020, Online, 2020/08
16. 安藤誠: “宇宙の星形成最盛期 $z = 2$ における原始銀河団コアの系統的探査”, 2020 年度第 50 回天文・天体物理若手夏の学校, オンライン開催, 2020/8/24-8/27
17. 五島雛子: “すばる望遠鏡/HSC による $z = 7.3$ Ly α 光度関数と宇宙再電離への制限”, 初代星・初代銀河研究会 2020, 東北大学, オンライン参加, 2020/11/16-18
18. 吉田敬, “大質量星における ⁴⁰K と中質量元素の元素合成: 後期進化の対流混合による影響”, 新学術「地下宇宙」領域研究会, オンライン, 2020/6/2-3
19. 吉田敬, “大質量星における中質量元素の元素合成の後期進化における対流による影響”, 第 7 回超新星ニュートリノ研究会, オンライン, 2021/1/7-8
20. 吉田敬, “A Three-dimensional Hydrodynamics Simulation in the Si/O-rich Convective Layer for the Final Evolution of a Fast-rotating Massive Star”, 令和 2 年度国立天文台天文シミュレーションプロジェクトユーザーズミーティング, 国立天文台, 2021/01/19-20 (ポスター)
21. 財前真理, “超新星爆発において軸対称性を破るニュートリノ集団振動”, 第 33 回理論懇シンポジウム, オンライン, 2020/12/23-25 (ポスター)
22. 財前真理, “非軸対称性が引き起こす超新星ニュートリノ集団振動”, 新学術「地下宇宙」第 7 回超新星ニュートリノ研究会, オンライン, 2021/01/07-08
23. 財前真理, “超新星爆発において非軸対称性が引き起こすニュートリノ集団振動 (Collective neutrino oscillation induced by non-axial symmetry in supernovae)”, 令和 2 年度国立天文台天文シミュレーションプロジェクトユーザーズミーティング, 国立天文台, 2021/01/19-20 (ポスター)
24. 左近 樹: “赤外測光観測データとスペクトルエネルギー分布の理解”, 研究会「多波長研究のための観測データの使い方・見方」, Zoom 開催, 2020/11/24-25, 招待講演
25. 左近 樹: “Origins Space Telescope ミッションへの参加”, 2020 年度光学赤外線天文連絡会シンポジウム「データ解析の新展開 2020」, Zoom 開催, 2020/9/14-17
26. 松永典之: “銀河系中心部 (バルジ+中心核バルジ) のミラ型変光星”, JASMINE Consortium Annual Meeting, 2020/11/24-25, オンライン開催

27. Scarlet S. Elgueta: “Derivation of Temperature and Surface Gravity of Classical Cepheids using LDR relations”, WINERED 研究会 2020, オンライン, 2021/3/11–12
28. Mingjie Jian: “Helium spectral lines at 10830 Å: observational trends with stellar parameters”, WINERED 研究会 2020, オンライン, 2021/3/11–12
29. 谷口大輔: “赤色超巨星を用いた銀河円盤の研究”, WINERED 研究会 2020, オンライン, 2021/3/11–12
30. 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”, 連星系・変光星研究会 2020, オンライン, 2021/1/29–31

1.7.4 その他の講演

1. Tomonori Totani: “Emergence of life in an inflationary universe”, an online seminar at RIKEN, Japan, 2020 May 11
2. 下野直弥: “Prospects of newly detecting star-forming galaxies by the Cherenkov Telescope Array”, Cherenkov Telescope Array CR SWG call, 2020/12/4
3. 相川祐理: “星・惑星系形成領域のアストロケミストリー”, 京都大学宇宙物理学教室談話会, 2020/08/04
4. 相川祐理: “星と惑星系の誕生”, 東京大学 Executive Management Program, 2021/02/20
5. 柏川伸成: “High-z galaxies and their environment”, RESCUE summer school, 2020/08/17
6. 柏川伸成: “宇宙の謎, 東大の研究室を覗いてみよう”, 2021/03/24
7. 百瀬莉恵子: “銀河進化を解き明かそう”, みなと科学館, 2021/03/27
8. Momose. R.: “Environmental dependence of galactic properties traced by Ly α forest absorption”, Seminar, Yunnan University, 2020/12
9. Momose. R.: “Environmental dependence of galactic properties traced by Ly α forest absorption”, Seminar, Tsinghua University, 2020/04
10. Masamichi Zaizen: “Collective neutrino oscillation with symmetry breaking in supernova neutrinos”, 東京大学, 天文学教室談話会, 2021/01/12
11. Itsuki Sakon: “The Mid-infrared Spectrometer and Camera (MISC) Wide Field Imager (MISC WFI) as an Upscope”, the Origins Space Telescope Technology Update Meeting Series, 2020/9/28, Online
12. Itsuki Sakon: “Challenging aspects of the Mid-Infrared Spectrometer Camera (MISC)”, the Origins Space Telescope Technology Update Meeting Series, 2020/6/22, Online
13. 谷口大輔: “NIR Spectroscopy of Red Supergiants at around the Galactic Bar-End Region”, Seminar at Astronomical Observatory of Padova, Italy, 2019/5/31
14. 谷口大輔: “AI が教えてくれる宇宙の秘密”, 第15回サイエンスカフェ in 松江, 島根, 2019/12/14

1.8 その他の活動

1.8.1 記者会見, プレスリリース, 新聞報道

1. 柏川伸成: 「134億光年先の最も遠い銀河を同定 最遠方銀河から酸素と炭素を検出」, 東京大学理学部プレスリリース, 2020/12/16
2. 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. 相川祐理: 星・惑星系形成領域のアストロケミストリー (集中講義), 京都大学宇宙物理学専攻
2. 百瀬莉恵子: 物性物理フロンティア, 日本女子大学
3. 吉田敬: コンピュータリテラシー 1, 2, 明治学院大学
4. 松永 典之: 物理学特論 V, 新潟大学理学部
5. 松永 典之: 特別講義 B, 岐阜大学工学部

1.8.5 委員その他

戸谷	学内	天文学専攻専攻長 理学系研究科進学指導担当教員 理学系研究科学生支援室運営委員 理学系研究科ハラスメント防止委員会委員 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
	他機関	日本天文学会代議員 国立天文台 プロジェクト評価委員会委員
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
相川	学内	天文学専攻専攻教育会議議長 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 Organizing Committee Member 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
柏川	学内	教務委員 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
高田	他機関	The good vibrations seminar series (International community of asteroseismologists), steering committee member
左近	学内	環境安全管理室天文学専攻室員
	他機関	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メンバー
松永	学内	理学系研究科ネットワーク委員

1.8.6 科研費等

戸谷	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
須藤	特別研究員奨励費 [18J20943] 銀河の形成進化と超高エネルギー宇宙ニュートリノの起源
Lin	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
田村	新学術研究計画研究 [18H05442] 赤外線による若い惑星とハビタブル惑星の観測の新機軸
Kwon	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
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
柏川	基盤研究 (A)(分担) [17H01114] すばる HSC 狭帯域深宇宙探査で暴く宇宙再電離: CHORUS プロジェクト
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 基盤研究 (A)(分担) [17H01114] すばる HSC 狭帯域深宇宙探査で暴く宇宙再電離: CHORUS プロジェクト
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)
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

- 基盤研究 (A)(分担) [17H01130] 大質量星の多次元進化から解き明かす爆発的コンパクト天体形成メカニズムの統一的解明
- 吉田 新学術領域科研費公募研究 [20H05249] 大質量星における ^{40}K と中質量元素の元素合成：後期進化の対流混合による影響
- 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
- 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
2020年度 特別研究員奨励費 (Mridusmita Buragohain) [19F19029] 融合的な手法に基づく星間芳香族炭化水素の性質の理解
- 松永 国際共同研究加速基金 (国際共同研究強化 (B)) [19KK0080] 近赤外線高分散分光観測で探る銀河系円盤の未開拓領域における中性子捕獲元素の合成
科研費・基盤研究 (B) [18H01248] セファイド変光星の多次元情報に基づく銀河系円盤の進化過程の検証
特別推進 (分担) [16H06287] 近赤外線重力マイクロレンズ観測による冷たい系外惑星及び浮遊惑星の探索

1.8.7 出張記録

- 嶋作 一大 2020/11/17–18, 仙台市, 東北大学, 初代星・初代銀河研究会 2020, 参加.
- 吉田 敬 2021/2/12, 京都大学基礎物理学研究所, 研究打ち合わせ.

1.9 来訪者

氏名	所属	受入	期間	備考
固武慶	福岡大学	吉田	2020/11/21	研究議論
高橋亘	AEI	吉田	2021/2/3–10	研究議論
石井彩子	AEI	吉田	2021/2/3–10	研究議論

1.10 教室談話会

回	日付	講演者 (所属)	講演タイトル
1708	2020/7/14	Atsushi Tanimoto 谷本 敦 (Department of Physics, The University of Tokyo)	Development of Monte Carlo Based X-Ray Clumpy Torus Model and Its Applications to Nearby Obscured Active Galactic Nuclei
1709	2020/10/13	Yutaka Hirai 平居 悠 (RIKEN 理化学研究所)	Enrichment of Heavy Elements in Dwarf Galaxies and the Milky Way
1710	2020/10/27	Ryo Ohsawa 大澤 亮 (IoA 天文センター)	Observing the interplanetary dust grains as meteors
1711	2020/11/10	Kanji Mori 森 寛治 (東大天文D3/国立天文台 NAOJ)	Evolution of Low- and Intermediate-mass Stars with Neutrino Magnetic Moment
1712	2020/12/15	Takahiro Sudoh 須藤 貴弘 (天文学教室 D3)	New Theoretical Insights into the Nonthermal Sky Based on Observations of Very-High-Energy Particles
1713	2020/12/22	Takayuki Tomaru 都丸 隆行 (国立天文台 NAOJ/東大天文)	New Gravitational Wave Astronomy and Detection
1714	2021/1/12	Masamichi Zaizen 財前 真理 (天文学教室 D2)	Collective neutrino oscillation with symmetry breaking in supernova neutrinos
1715	2021/1/26	Hiroaki Sameshima 鮫島寛明 (東大・天文センター)	クエーサーの輝線で探る宇宙の化学進化

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
田中 培生		mtanaka	70188340
小林 尚人		naoto	50280566
峰崎 岳夫	070.3238.6174	minezaki	60292835
酒向 重行	070.1264.4575	sako	90533563
田辺 俊彦	080.4348.3758	ttanabe	90179812
諸隈 智貴	070.1349.3758	tmorokuma	10594674
廿日出 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ェーサーの研究。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・クェーサーの研究。

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

- 銀河・銀河団の形成と進化: ALMA 等を使ったミリ波サブミリ波帯銀河探査と多波長追及観測。大質量銀河やクェーサー, 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 計画は天文センター教員有志での検討の後、平成11年度後半から天文センター内で公の議論を開始し、平成12年度に天文センターの将来を語りあうための懇談会を設け議論を深めた。この懇談会では、天文センター設立以来の研究及び進められてきたプロジェクトを総括し、それに基づいて、国立共同利用機関である国立天文台などとも密接な協力を保ちつつ、大学独自の大型計画の推進を強力に進めることが重要であるという合意を得た。さらに、平成12年11月24日の天文センター所員会議で天文センターの計画として正式に承認された。平成13年度、20年度には天文学専攻と合同で外部評価を受け、特に、TAO 計画に対しては、計画の独自性及び科学的目的の斬新性に対して大変高い評価を受けた。日本学術会議天文研連においても平成14年度よりTAO 計画について議論され、計画の重要性の認識と強い支持が、平成14年10月には天文研連委員長談話という形で、平成15年には特別議事録という形で表明されている。また、平成15年1月にはチリ大学と東京大学との間で学術協定及び科学協定が締結され、両大学間での学術交流の促進とTAO 計画の推進についての密接な協力関係が深まっている。また、平成17年には光学赤外線天文連絡会が運営委員会声明という形で、日本学術会議天文研連においても特別議事録という形で、TAO 計画の実現に対して強い支持が表明されている。この間、標高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が開始されており、平成21年3月に、1m望遠鏡を建設し、ファーストライト観測に成功した。1m望遠鏡完成を記念し、平成22年7月7日にはサンチャゴ市において東京大学主催、チリ外務省エネルギー科学技術局およびチリ科学技術庁と共催、在チリ日本国大使館の後援の下、記念式典を開催した(出席者約150名)。チリ共和国の記念切手も式典当日に発行された。miniTAO 望遠鏡は太陽系内から銀河まで各種の科学観測に用いられ、多くの成果をあげている。平成25年度末にはTAO 6.5m望遠鏡の製作予算が措置され、望遠鏡および付帯設備の設計製作が本格化した。平成28年には現地工事として山頂アクセス道路の拡張工事がスタートした。標高5,500m以上の地域はチリ法令では超高高度領域に当たり、そこでの活動には特別な許可が必要である。TAO プロジェクトはこの許可を令和1年8月に取得し、山頂工事を進めてきている。令和2年には新型コロナウイルスの蔓延を受け工事を6か月間停止することとなったが、安全対策を進めた結果、令和2年9月には工事を再開することができた。

より詳細については [2.5.5 TAO 計画参照](#)のこと。

2.2 教員, 職員, 名誉教授, 研究員等

2.2.1 教員及び職員

土居	守	(どい まもる, 教授)
河野	孝太郎	(こうの こうたろう, 教授)
宮田	隆志	(みやた たかし, 教授)
田中	培生	(たなか ますお, 准教授)
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)
田辺	俊彦	(たなべ としひこ, 助教)
諸隈	智貴	(もろくま ともぎ, 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, 2020.10-)
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, 2020.4-)*
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

竹腰	達哉	(たけこし たつや, 特任助教, 2017.11-2020.10)
上塚	貴史	(かみづか たかふみ, 特任研究員, 2011.4-2020.9)
大澤	亮	(おおさわ りょう, 特任助教, 2015.4-2021.3)
新納	悠	(にいのう ゆう, 特任助教, 2018.12-2021.3)
鮫島	寛明	(さめしま ひろあき, 特任助教, 2019.4-2021.3)
西村	淳	(にしむら あつし, 特任助教, 2021.3-2021.3)
西村	優里	(にしむら ゆり, 特任研究員, 2017.4-2021.3) ¹
王	涛	(Wang Tao (わん たお), 特任研究員, 2017.4-2020.12) ¹
浅野	健太郎	(あさの けんたろう, 特任研究員, 2018.9-2021.3)
諸隈	佳菜	(もろくま かな, 特任研究員, 2019.4-2021.3)
瀧田	怜	(たきた さとし, 特任研究員, 2020.7-2021.3)
梅畑	豪紀	(うめはた ひでき, 客員共同研究員, 2017.4-2021.3) ²
沼田	瑞樹	(ぬまた みずき, 特任専門員, 2019.3-2021.3)
青木	勉	(あおき つとむ, 特任専門員, 2019.4-2021.3)*

*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 34855m² 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 2138m² 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 30cm 光学望遠鏡 (三鷹構内敷地内), アタカマ 1m 望遠鏡.

2.5 研究活動

2.5.1 宇宙および系外銀河

1. 近傍 Ia 型超新星の intrinsic color の多様性 (有馬, 土居, 諸隈; 高梨 (東大 EMP))

Ia 型超新星が受けるダスト減光は、銀河系の減光則 (その平均値は $R_V = 3.1$; ただし $R_V = A_V/E(B-V)$ はダストサイズを表す選択減光と呼ばれるパラメータ) とは異なる, 粒子サイズの小さなダストを考えた場合の減光 ($R_V \sim 2$) を示すことが過去の研究によって示唆されている (e.g., Nobili and Goobar 2008; Kessler et al. 2009) が, そのダスト減光と Ia 型超新星自身の intrinsic な color は観測的に混在している. そこで我々は, 最大光度付近のスペクトルに見られる 2 本のケイ素の吸収線 (Si II 6355 Å, 5972 Å) の等価幅によって Ia 型超新星を 4 つのサブタイプに分類した Branch et al. (2006) に着目した. Branch サブタイプ情報を持つ 34 個の近傍 ($z < 0.04$) の Ia 型超新星の photometry データを文献から集め, 母銀河の形態分類と合わせて Ia 型超新星の intrinsic な color とそのダスト減光を調査した. 最大光度時の $B-V$, $V-R$ の 2 つの color に加え, SDSS の超新星サーベイ観測によって得られた Ia 型超新星のうち, ダスト減光をほとんど受けていないと考えられる bluest sample ($-0.14 \leq (M_B - M_V) \leq -0.10$) の, 光度曲線の幅を表す stretch factor と呼ばれるパラメータと B -, V -band 最大光度の関係 (= stretch-luminosity relation) および $B-V$ color の関係 (stretch-color relation) からの絶対等級と color の超過を調べた. その結果, 母銀河が早期渦巻銀河である Ia 型超新星は color-color diagram で最も赤い分布を示し, その分布は Branch サブタイプ毎に分けても変わらなかった. さらに絶対等級と color の超過の関係からは, Branch サブタイプの 1 つである Broad Line の赤い color を示す 3 つの超新星を除けば, 我々の Ia 型超新星サンプルは銀河系的なダスト減光則に近づいた. Broad Line の peculiar な 3 天体のうち 2 天体は less-dusty な環境である楕円銀河に出現しており, またこれらの peculiar な Broad Line サンプルは stretch factor の color 依存性が他と異なっていることが分かり, Broad Line サブタイプの intrinsic color の多様性を示唆する結果を得た. さらに近傍の約 70 天体から成る photometric サンプルを加えてフィッティングを行いダスト減光の R_V を評価したところ, 上記の Broad Line サンプル 3 天体を除いた場合には $R_V = 3.0^{+0.4}_{-0.3}$ (= 銀河系ダストの減光則と consistent) という結果を得た. これらの結果を日本天文学会刊行の欧文研究報告誌 (PASJ) に発表した (2021 年 4 月出版).

2. ALMA を用いた近傍棒渦巻銀河 NGC 1365 の研究 (江草美実; Yulong Gao (USTC/東京大学))

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, この銀河の ALMA データを解析し, 3 mm 連続波, CO(1-0) 輝線, CO(2-1) 輝線などの高分解能画像を得た. これらの画像と VLT/MUSE を含む他波長のデータから, 銀河中心部に非常に埋もれた特異な星形成領域が複数あること, 銀河中心部と棒状構造領域内では CO の輝線比の分散が大きいことを明らかにした. また, ALMA データと回転円盤モデルを組み合わせることで, 既に可視光データから検出されていたアウトフローとは異なる非円運動成分があることも発見した. そしてこの非円運動成分は, 円盤内でガスが動径方向に移動するアウトフローと考えられると結論した (Gao, Egusa, et al., 2021, ApJ accepted).

3. ALMA による近傍棒渦巻銀河 M 83 の全面マッピング (江草美実; 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). 2019 年度には ALMA のうち単一鏡 (TP array) のデータだけを使った解析結果を発表した (Koda et al., 2020, ApJ, 890, L10) が, 2020 年度には干渉計 (12m & 7m array) のデータも含めた CO(1-0) 輝線の画像作成が終了した. その結果をもとに, 円盤の力学的解析や分子雲同定などを進めている (廣田ほか 2021 年春季年会講演 R09b).

4. SWIMS による近傍 LIRG の近赤外線スリット分光 (榎引, 小西, 本原, 小山 (国立天文台))
 2019 年 1 月に国立天文台ハワイ観測所すばる望遠鏡での SWIMS の試験観測で取得した近傍 LIRG (Luminous Infrared Galaxy) のスリット分光データの解析を 2019 年度に引き続き行った. 観測天体は PARADISES (Paschen-Alpha Resolved Activity and Dynamics of Infrared Selected Extreme Starburst) survey (PI : 小山佑世) から選出した, 赤方偏移 (SDSS) $z = 0.15006$, $\log(L_{IR}/L_{\odot}) = 11.9$, $SFR_{IR} = 96.24M_{\odot}/\text{yr}^{-1}$ の活発な星形成を行う LIRG, PARADISES 6-01 である. PARADISES 6-01 は銀河相互作用の兆候を示し, 銀河相互作用による星形成活動の促進や衝撃波の影響, AGN の発現などを探るのに良い観測対象である.

我々は He の再結合線である HeI $1.87\mu\text{m}$ の輝線に着目した. Cloudy によるシミュレーションを用いて HeI $1.87\mu\text{m}$ と Pa α の輝線比によって銀河の星形成活動が現在進行形であるのか終わりつつあるのかを 5–10Myr の時間スケールで捉えられることを示し, その手法を PARADISES 6-01 に適用した. PARADISES 6-01 ではその輝線比の値が現在進行形の星形成活動と一致する値となった. これらの成果は日本天文学会 2020 年秋季年会で発表を行った. 今後はこの手法を様々な sSFR をもつ LIRG に適用し, HeI $1.87\mu\text{m}$ /Pa α 輝線比とその他の物理量の相関などから活発な星形成の原因やクエンチングの物理などを議論していく.

5. ALMA Lensing Cluster Survey (ALCS) : “El Gordo” 銀河団の背後にある $z = 4.3$ の銀河グループの発見 (河野, 廿日出, 諸隈佳菜; Y. Ao (紫金山天文台); D. Espada (SKA); K. I. Caputi, G. B. Caminha (Kapteyn Astronomical Institute); 藤本, F. Valentino, G. E. Gagdis (DAWN); 大内 (東大宇宙線研, 国立天文台); Sun, F., 江上 (University of Arizona); K. K. Knudsen (Chalmers University of Technology); L. Bradley, D. Coe (STScI); I. R. Smail (Durham); 梅畑 (理研); 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. その初期成果として, 「近赤外線に対応天体のない, 微弱なサブミリ波銀河」が約 1 桁の増光を受け 3 重像として観測されているシステムを El Gordo 銀河団方向で発見した. この ALMA で検出された銀河は, VLT/MUSE によるこの銀河団の観測で見出された, 4 つの $z \sim 4.3$ にある増光された銀河群のメンバーであると考えられ, こうした ALMA で検出された銀河が, 遠方の形成途上にある銀河群スケールの高密度領域の目印となり得ることを示した. 増光率を補正すると, この近赤外線で見出されていない ALMA 銀河は, この時代 ($z = 4.3$) の主系列星形成銀河であると推測される. 以上の成果を論文にまとめ出版した (Caputi, K., Kohno, K., et al., 2021, ApJ, 908, 146).

6. ALMA Lensing Cluster Survey (ALCS) : $z = 6.07$ における sub- L^* の [CII] $158\mu\text{m}$ 輝線銀河の発見 (河野, 廿日出, Wang, T., 吉村, 諸隈佳菜; Laporte, N. (Cambridge); 藤本, F. Valentino, G. E. Gagdis (DAWN); 大内 (東大宇宙線研, 国立天文台); F. Bauer (PUC); J. González-López (Carnegie); Y. Ao (紫金山天文台); D. Espada (SKA); K. I. Caputi, G. B. Caminha (Kapteyn Astronomical Institute); Sun, F., 江上 (University of Arizona); K. K. Knudsen (Chalmers University of Technology); L. Bradley, D. Coe (STScI); I. R. Smail (Durham); 梅畑 (理研); 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. その初期成果として, 強い増光を受けた

$z = 6.07$ の [CII]158 μm 輝線銀河を発見した。重力レンズモデルの詳しい検討により、この銀河の一部を重力レンズ効果の caustics (理論的には増光率が無限大) が横切っているという希少かつ重要なシステム (分光赤方偏移 6 以上では初めて) であることが明らかとなった。その大きな増光率 (約 30 - 160 倍) により、この時代における典型的な明るさよりも顕著に暗い (sub- L^*) 銀河の内部構造・速度構造を初めて明らかにした。今後 ALMA や JWST 等での追求観測を行う格好のターゲットになると期待される。さらに赤方偏移 6 の時代における [CII]158 μm 輝線光度関数の低光度側での観測的な制限をつけることに初めて成功した。これらの成果を 2 編の論文にまとめ、出版した (Laporte, N., et al., MNRAS, in press; Fujimoto, S., et al. ApJ, in press.).

7. クェーサーの分光観測で探る宇宙の化学進化 (鮫島, 吉井, 松永, 小林, 近藤; 池田, 新井, 福江, 河北, 大坪 (京都産業大学); 濱野, 安井 (国立天文台); 水本 (京都大学); G. Bono (Università di Roma Tor Vergata); I. Saviane (ESO))

クェーサーのスペクトルに見られる紫外輝線 Mg II, Fe II を用いると、クェーサーに付随する電離ガスの [Mg/Fe] 組成比を推定することができ、その組成比が赤方偏移に対してどのように進化したかを辿ることで、初期宇宙における星形成史の様子に迫ることができる。我々はより高赤方偏移での組成比の様子を探るため、東京大学と京都産業大学が共同開発した近赤外線高分散分光器 WINERED (PI :小林) をチリ共和国ラ・シヤ天文台の新技术望遠鏡 (NTT) に搭載し、2018 年 3 月に赤方偏移 ~ 2.7 のクェーサー 6 天体の分光観測を行った。SDSS で取得された大量の低赤方偏移 ($0.7 < z < 1.6$) クェーサーと併せて解析を行った結果、AGN の観測的性質として広く知られている「明るい天体ほど輝線の等価幅が小さくなる」という Baldwin 効果に、Mg II および Fe II の両輝線も従っていることを明らかにした。Baldwin 効果は水素やヘリウムの輝線でも見られることから化学組成とは関係のない現象と考えられ、それによる輝線等価幅の変化分を補正した場合と補正しない場合で導出される [Mg/Fe] 組成比の違いを調べたところ、化学進化モデルの予測と無矛盾となるためには Baldwin 効果の補正が必要であることが判明した。さらにその効果を補正することで、約 100 億年前の宇宙にどれだけ鉄が存在していたかをクェーサー観測から初めて制限を加えることに成功した。本研究成果は *AstroPhysical Journal* にて出版された (Sameshima et al. 2020) 他、東京大学理学系研究科広報室を通じてプレスリリース (天文学で探る鉄の起源—100 億年前の宇宙における鉄の存在量の推定に成功) を行った。

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

活動銀河核の波長 3–5 μm の放射は JHK バンド赤外線と共通のダストトーラス内縁部の高温ダストを放射源とする。波長 3–5 μm での dust reverberation 観測には遠方ターゲットについて波長補正の必要なくこれまで地上から行われてきた近傍活動銀河核の K バンドでの dust reverberation 観測と比較できること、ダスト減光の影響が小さいため 2 型活動銀河核についても dust reverberation が可能なこと、近赤外線多波長観測を行うことにより高温ダスト放射源の温度構造の情報が得られることなどの長所がある。しかしながら地上観測では感度に問題があり、大規模な dust reverberation 観測は行われてこなかった。それを可能にしたのが WISE 衛星による波長 3–5 μm での全天モニター観測である。これまでにおよそ ~ 10 年にわたるモニター観測データが得られており、可視光あるいは X 線モニター観測データと合わせて dust reverberation が行われるようになってきた (小久保 2018 年天文学会春季年会; Lyu et al. 2019; Noda et al. 2020; Yang et al. 2020)。ただ残念ながら WISE 衛星によるモニターデータは衛星運用の面で全天のほとんどの領域は半年に 1 回しか観測されず、疎な観測密度はダスト放射の変光遅延検出の信頼性について入念な検証が必要になることが多い。

実は衛星軌道の関係上、北黄極領域周辺の非常に狭い領域については WISE 衛星で 1 年中切れ目なく観測が行われ、モニター観測の時間サンプルリングの観点からは最高のデータが得られる。またその外側の領域についても 1 年間の観測回数が通常の領域より 1 桁以上も多く、観測限界を大幅に深くすることが可能になる。そこで我々は 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、活動銀河核として同定された 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た。その結果、100 個以上の活動銀河核について明らかな変光が確認され、いくつかの天体については連続的な光度曲線が得られている。変光の様子からブレーザー天体も区別することができた。今後は可視光・X 線モニター観測のアーカイブデータを解析し、3–5 μm 光度曲線との相関解析を行う予定である。

9. せいめい望遠鏡・TriCCS を用いた repeating Fast Radio Burst の可視-電波同時観測実施準備 (新納悠, 土居守, 酒向重行, Ji-an Jiang; 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); 橋本哲也 (National Tsing Hua University); 富永望 (甲南大学); 新沼浩太郎 (山口大学); 小久保充 (Princeton University); Di Li, Chao-Wei Tsai, Pei Wang, Chenhui Niu (National Astronomical Observatories of China))

Fast Radio Burst (FRB) は近年発見された新種の突発天体で、1 GHz 程度の周波数帯の電波で数ミリ秒間観測される。天の川成分を超える大きな分散指数 (Dispersion Measure = 視線上の自由電子柱密度, 以下 DM) を持つことから銀河系外の天体と考えられているが、その正体を特定する観測的証拠はほとんどない。これまでに 100 以上の FRB が発見され、そのうち約 20 天体については同一のソースから複数回の FRB 信号が検出されている (repeating FRB)。一方、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 もあり (non-repeating FRB)、これらは別種の天体現象である可能性が指摘されている。

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掛りである。FRB の他波長対応天体の探査は様々な観測波長やタイムスケールで行われているが、対応天体の発見には至っていない。木曾観測所の Tomo-e Gozen を用いて行われている可視光での短いタイムスケールの FRB 対応天体探査 (木曾観測所年次報告参照) をさらに発展させてより高い時間分解能と深い検出限界を達成するため、せいめい望遠鏡に搭載される新しい高速観測装置 TriCCS を用いて repeating FRB の可視-電波同時観測を行う。TriCCS はせいめい望遠鏡の 3.8 m の口径により 1.05 m の木曾シュミット望遠鏡に搭載された Tomo-e Gozen を上回る集光能力を持ち、さらに毎秒約 100 フレームの高速撮像を実施可能である。

2021 年度の TriCCS 運用開始に向けて、今年度は共同観測の相手となる電波観測所の研究グループと協議して観測計画の検討を進めた。また TriCCS の試験観測において高速撮像モードの試験データを取得し、短時間スケールでの測光の安定性や星像のゆらぎなど、TriCCS で短いタイムスケールの突発現象を探査するための前提となる情報を収集した。

10. 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, 河野; Aalto, Falstad, Onishi, König (Chalmers Univ. of Technology) 他)

近傍の U/LIRG では、中心核が大量のダストに覆われている。とりわけコンパクトかつダストの豊富な中心核 (Compact obscured nucleus; CON) では、温められたダストから放射された赤外線により HCN 分子が振動励起される。ALMA の観測プログラム CON-quest (PI: S. Aalto/Chalmers) は、近傍にある計 38 系におよぶ U/LIRG を高空間分解 (実スケールでおよそ 50 pc 相当) かつ高感度 (~0.5 mJy/beam) で観測し、CON の有無やその母銀河の性質を調べることを目指したものである。この観測では、CON に特徴的な振動励起状態の HCN のほか、基底状態の HCN や HCO⁺ が極めて高い S/N 比で捉えられており、CON-quest チームで分担して様々な観点から解析がなされている。HCN/HCO⁺ 輝線強度比は、銀河により、また各銀河内でも領域により異なる値を示すことが知られている。U/LIRG では中心核のエネルギー源 (AGN か星形成か) とこの比の関係が強い関心を集めており、望遠鏡の感度および空間分解能の向上につれて、背景にある物理状態や分子の生成・破壊プロセスの解明も含めた議論が盛んに続いている。とりわけ、中心核から放たれたアウトフローで HCN/HCO⁺ 比が高くなる例が見つかっており、関心が持たれる。そこで CON-quest サンプルでこの比がどのようになっているのか、HCN, HCO⁺ それぞれの 3–2 遷移輝線で詳細に調べた。HCN/HCO⁺ の積分強度比のマップを作成すると、銀河により多少の差は

あるものの、比は概ね1前後を示し、銀河によっては一部比が2を超える箇所が見られるものもあった。これをさらに速度方向にも分解すると、さらに3を超える高い比を示す箇所が現れるものが一部あった。それらの天体ではCO輝線の解析により分子アウトフローがあることが知られており、その形状と比の高い箇所はよく合致した。COやOH観測では分子アウトフローの形状が明らかになっていないものについても、HCN/HCO⁺比の空間・速度対称性の良さから判断して、比の高い箇所がアウトフローに対応していると考えられる。一方で、分子アウトフローが検出されているにも関わらず、HCN/HCO⁺比が顕著な高まりを示さないもの、比の高い箇所が見られるもののアウトフローの形状と合わないものもあった。これらのアウトフローは、高いHCN/HCO⁺比を示すアウトフローとは速度や経過時間、駆動機構などの物理状態が異なっていると考えられる。これらの結果は、現在、投稿論文として準備中である。

11. Cloverleaf クェーサーの分子探査と重力レンズモデル (西村, 河野, 石田; 小田川, 濤崎 (上越教育大学) 他)

先述のような近傍 U/LIRG の分子輝線観測を参考に、高赤方偏移のクェーサーとその母銀河でも分子輝線観測から物理化学状態を調べるために、ALMA を用いた分子輝線サーベイ観測を行った。ターゲットには、cosmic noon($z=2.56$) にあつて ULIRG 的な描像が当てはまることが期待される Cloverleaf クェーサーを選んだ。Cloverleaf は重力レンズを受けた系であり、その恩恵もあつてこの赤方偏移の銀河ではこれまでも多くの分子輝線が観測されている。今回の観測では、系外銀河でよく見られる分子種の輝線が多く含まれる 350 GHz 前後の周波数帯を、高空間分解 (0.5") かつ高感度 (50 μ Jy/beam) で観測を行った。その結果、とりわけ明るい CO 3-2 輝線に加え、高い S/N 比で HCO⁺(4-3), HCN(4-3), CN(3-2) を、さらに Cloverleaf において初めて HNC(4-3), CCH(4-3) の輝線を検出することができた。一方、近傍 U/LIRG で一般に検出される CS(7-6) や、先述のように CON を特徴付ける振動励起した HCN($v_2 = 1$) は未検出に留まった。これらの輝線の空間分布は分子種によって異なっており、CO や HCO⁺ に対して HCN や CN は異なる場所にピークを持つなど、銀河内の領域ごとに分子ガスの組成が異なることが示唆された。HCN と CN のピークの位置は、mid-IR や X-ray のピークと合致していた。HCN が相対的に明るくなるのは先述の通り、近傍 ULIRG のアウトフローで見られるが、さらに CN についても近年同様にアウトフローで明るくなっているケースが見つかつており (e.g., Ciccone et al. 2019), Cloverleaf でも中心核付近に特有の化学状態が生じている可能性がある。CO 3-2 輝線は極めて高い SN 比で、なおかつ速度分解して観測することができている。Cloverleaf については、様々な波長での観測をもとに重力レンズモデルが多々提案されており、この CO 3-2 輝線を用いたモデリングも上越教育大学の小田川氏と協力して進めている。これらのモデルを用いて重力レンズ効果を差し引いた元の像を復元すると、いずれのモデルを用いても明らかに南東から北西方向への速度勾配がある、回転している disk ないし ring と考えられる構造が見られた。これらの結果も投稿論文にまとめる準備を進めている。
12. 電波を用いた超高光度超新星およびその母銀河の研究 (廿日出文洋, 諸隈佳菜, 諸隈智貴; 冨永望 (甲南大); 林将央, 松田有一 (国立天文台); 田村陽一 (名古屋大); 元木業, 新沼浩太郎 (山口大))

太陽のおよそ 10 倍以上の質量を持つ星は、寿命を迎える際に超新星爆発を起こす。近年の大規模探査により、通常の超新星の 10~100 倍も明るい超高光度超新星が発見された。しかし、超高光度超新星の発生源やその環境的な要因については多くの謎が残されている。我々は、塵による吸収を受けない電波を用いることにより、超高光度超新星の観測的研究を進めている。

 - i) 超高光度超新星 SN 2017egm (赤方偏移 $z = 0.03063$) が発生した母銀河において、星の材料である分子ガスの性質を探るため、ALMA 望遠鏡を用いて観測を行った、その結果、I 型超高輝度超新星の母銀河において世界で初めて分子ガスの検出に成功した。空間的に分解した観測により、超新星が発生した環境は通常の星形成環境と分子ガスの性質が共通することが分かった。この結果は査読付き論文として出版された (Hatsukade et al., 2020, PASJ 72, L6).
 - ii) 超高光度超新星からの電波放射は母銀河における隠された星形成活動を系統的に探るため、VLA 電波干渉計を用いて 23 個の超高光度超新星の観測を行った。これまでに取得されたデータと合わせることで、

世界最大のサンプルを構築した。電波放射の起源や母銀河の活動についての詳細な研究を進めており、投稿論文として準備中である。

13. 次世代大型電波干渉計 ngVLA 計画の科学的検討 (廿日出文洋)

ngVLA(next generation Very Large Array : 次世代大型電波干渉計) は、合計 267 台のパラボラアンテナを北米全域に分散させて設置し、最大で約 9000 キロメートルの口径の電波望遠鏡を実現しようという次世代の大型電波望遠鏡計画である。日本における ngVLA の科学目標を策定することを目的として結成されたサイエンスワーキンググループのメンバーとして、科学的検討を行った。超高輝度超新星の電波観測について ngVLA-J Memo Series の執筆に貢献した。

14. 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, 鮫島; 野田 (大阪大学); 小久保 (東北大学, プリンストン大学))

超高光度赤外線銀河からクエーサーへの進化の描像として提案されてきた、銀河合体末期にガスの中心集中によって始まった星形成活動が、同時に活発となった活動銀河核活動の強い放射圧によってその集中したガスを吹き飛ばすことで停止するとするプロセスは、活動銀河核と銀河の共進化問題の鍵となる部分である。このプロセスを明らかにするためには深くダストに埋もれた obscured AGN におけるダスト分布を見通す必要がある。可視光ではこれを見通すことができないため、透過力の高い X 線によって視線水素柱密度の測定や遮蔽体の散乱立体角の測定などが行われている。しかし 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、吸収断面積が大きくガスの数百倍もの放射圧を受けるダストの分布を直接調べることはできない。

そこで我々は活動銀河核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、活動銀河核の 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を測定することが可能である。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 線で選択された活動銀河核に本手法を適用した結果、200 個以上の天体で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。ただしダスト減光量からもとめた視線水素柱密度よりも X 線観測による測定値が天体によっては 2 桁以上も大きいことがわかった。このことは過去の研究においても指摘されており、ダストトーラスの内側にあるダストのないガス雲の遮蔽によるものと考えられる。

15. 電波でフラットなスペクトルを示す blazar 候補天体カタログ (BROS) の作成 (諸隈; 伊藤亮介 (美星天文台); 内海洋輔 (スタンフォード大学); 井上芳幸 (大阪大学); 太田耕司 (京都大学); 土居明宏 (ISAS/JAXA); 川端弘治, 田中康之 (広島大学))

最新かつ高感度の電波と可視の天体カタログを利用して、Blazar Radio and Optical Survey (BROS) という新しい blazar 候補天体カタログを作成した。このカタログには、Dec. > -40° かつ銀河面外 ($|b| > 10^\circ$) の 88,211 個の天体が含まれている。観測周波数 0.15 GHz の TGSS カタログと観測周波数 1.4 GHz の NVSS カタログに掲載されている天体から $\alpha > -0.6$ ($F_\nu \propto \nu^\alpha$) のコンパクトなフラットスペクトラム電波源をリストアップした。さらに、Pan-STARRS1 の可視測光データを用いて、選択した天体の可視光対応天体を同定した。BROS 天体の 2 色図及び色等級図は、2 つの異なる集団からなっている。1 つは、クエーサーと BL Lac 型天体からなる「クエーサー」の集団であり、一方は、BL Lac 型天体を中心とした楕円銀河の集団である。後者の集団は、以前のカタログでも報告されていたが、BROS カタログでは、電波スペクトルのべきの閾値が小さいため、より大きなサンプルを新たに得ることができた。SED モデル計

算によると、この楕円銀河の集団は、赤方偏移 $z < 0.5$ に存在する天体から構成されていることが示され、このことは、 $\log N - \log S$ の power-law のべきが 1.49 ± 0.05 であることから支持される。この BROS カタログは、IceCube 実験で最近検出された PeV ニュートリノや超高エネルギー宇宙線の電磁波対応天体を同定するのに有用であり、また CTA のような将来の高感度 TeV 望遠鏡で検出可能な近傍の BL Lac 天体の同定にも役立つ。以上の結果を Itoh et al. 2021, ApJ 901, 3 として出版した。

16. CO Multi-line Imaging of Nearby Galaxies (COMING). X. Physical conditions of molecular gas and the local SFR-mass relation (Kana Morokuma-Matsui (Univ. of Tokyo); Kazuo Sorai (Hokkaido Univ.); Yuya Sato, Nario Kuno (Univ. of Tsukuba); Tsutomu Takeuchi T. (Nagoya Univ.); Dragan Salak (Univ. of Tsukuba); Yusuke Miyamoto (NAOJ); Yoshiyuki Yajima (Hokkaido Univ.); Kazuyuki Muraoka (Osaka Prefecture Univ.); Hiroyuki Kaneko (Joetsu Univ. of Education))

星形成銀河は星質量-星形成率プロット上で“星形成銀河の主系列 (SFMS)”と呼ばれる関係上に分布することが知られている。著者らは、国立天文台野辺山宇宙電波観測所の 45m 電波望遠鏡を用いたレガシープロジェクトの一つである COMING (CO Multi-line Imaging of Nearby Galaxies) で取得された近傍銀河の $^{12}\text{CO}(J=1-0)$ と $^{13}\text{CO}(J=1-0)$ データを用いて、銀河の星質量-星形成率プロット上での分布位置と分子ガスの性質の関係を調査した。その結果以下の2点を明らかにした：(1) 銀河の $^{12}\text{CO}(J=1-0)/^{13}\text{CO}(J=1-0)$ 比 (R_{1213}) は、SFMS からのズレ ($\Delta(\text{MS})$) と正の相関関係にあること (SFMS よりも星形成率が高い銀河ほど R_{1213} が大きくなること)、(2) $60\mu\text{m}$ と $100\mu\text{m}$ でのフラックス比や銀河の $^{12}\text{CO}(J=1-0)$ スペクトルの線幅と $\Delta(\text{MS})$ は正の相関関係にあること。これらの結果は、SFMS よりも星形成率が高い銀河の分子ガスほど、温度が高い・乱流が卓越していることを示唆する。

“CO Multi-line Imaging of Nearby Galaxies (COMING). X. Physical conditions of molecular gas and the local SFR-mass relation”として出版した (Morokuma-Matsui, Kana et al., 2020, PASJ, 72, 90)。

17. A phase-space view of cold-gas properties of Virgo-cluster galaxies : multiple quenching processes at work? (Kana Morokuma-Matsui (Univ. of Tokyo); Tadayuki Kodama (Tohoku Univ.); Tomoki Morokuma (Univ. of Tokyo), Kouichiro Nakanishi, Yusei Koyama, Takuji Yamashita, Shuheki Koyama (NAOJ); Takashi Okamoto (Hokkaido Univ.))

著者らは、天の川銀河から最も近い銀河団であるおとめ座銀河団のメンバー銀河の低温ガス (原子・分子ガス) のデータを収集し、通常環境にいる銀河 (フィールド銀河) との比較、銀河団中心からの距離・銀河の数密度・銀河団の位相空間上での分布位置に対する低温ガスの性質の依存性を通して、おとめ座銀河団で卓越する星形成抑制機構について調査した。その結果、以下を明らかにした：(1) 銀河団中心に近い・銀河数密度が高い・銀河団内部での相対速度が小さい銀河ほど、星形成活動性が低く、低温ガスの量も原子ガス・分子ガス共に少ないこと、(2) おとめ座銀河団銀河は、フィールド銀河で報告されている星形成銀河の主系列からの星形成率のずれ、 $\Delta(\text{MS})$ と、星質量に対する分子ガス質量の比 (μ_{H_2}) や星形成効率 (SFE_{H_2}) との正の相関関係から、優位に低 μ_{H_2} 側・高 SFE_{H_2} 側にずれていること。これらの結果を総合すると、銀河団中心近くでは、星形成によるガスの消費スピードよりも短いタイムスケールで起こるようなガスを剥ぎ取るプロセスが (ラム圧により剥ぎ取り)、銀河の星形成活動性に影響を与えていることを示唆している。この結果を論文にまとめ、ApJ に受理されている。

18. ALMA 26 arcmin² survey of GOODS-S at one-millimeter (ASAGAO) で検出された連続波天体の物理的性質と宇宙星形成密度への寄与 (山口裕貴, 河野, 廿日出, T. Wang, 吉村; Y. Ao (紫金山天文台); D. Espada (SKA); 但木 (国立天文台); J. Dunlop (Edinburgh); R. Ivison (ESO); 藤本 (DAWN, 東大宇宙線研); 早津 (東大物理, 国立天文台, ESO); 大内 (東大宇宙線研); 児玉 (東北大学); 江上 (University of Arizona); 日下部 (University of Geneva, 東大天文); 長尾 (愛媛大学); W. Rujopakarn (東大 IPMU, Chulalongkorn University); 田村 (名古屋大学); 上田 (京都大学); 梅畑 (理研); W.-H. Wang (ASIAA))
- 銀河がどのように星を形成し宇宙を現在の形につくりあげてきたのかという問題は、現代天文学が解明

すべき最重要課題の一つである。この問題の解決を目指す上で、宇宙初期から現在にわたる星形成活動の変遷とその原因を調べることは必要不可欠なステップである。近年の研究により、宇宙星形成密度の変遷が徐々に明らかになってきた。しかしながら、 $z \sim 3-4$ を超えるような高赤方偏移の宇宙における、ダストに覆われた星形成活動が果たす役割はまだ明らかにされていない。ダストに覆われた星形成活動は、遠赤外線からミリ波・サブミリ波と呼ばれる波長帯の光によって観測されるが、従来の単一鏡望遠鏡による観測では空間分解能の悪さに起因するコンフュージョン限界のために、高赤方偏移の宇宙におけるダストに覆われた星形成活動を完全に分解することは難しかった。そこで本研究では ALMA を用いた波長 1.2 mm 帯における無バイアスな深撮像プロジェクト “ALMA twenty-Six Arcmin2 survey of GOODS-S At One-millimeter (ASAGAO)”¹ で得られた高感度・高空間分解能データ ($\sigma \sim 30-70 \mu\text{Jy}$, 角度分解能 ~ 0.5 秒) を基に ASAGAO で検出された天体 (以降 ASAGAO 天体) の性質および宇宙星形成率密度への寄与を調査した。近赤外線 K バンドで検出された銀河のカタログである ZFOURGE カタログに対応天体を持つ 24 個の ASAGAO 天体 ($S/N > 4.5$) に対して多波長データ解析を行った。このサンプルサイズは観測波長 1.2mm における微弱な銀河 (フラックス密度 1.0 mJy 未満) の研究としては最大のものである。本研究では、可視光からミリ波帯における測光値に対し、SED モデルをフィットさせることで ASAGAO 天体の $\sim 90\%$ 程度が星形成銀河の主系列と呼ばれる関係を満たす一般的な星形成銀河 ($z \sim 1-3$) であることを示した。ところが同様の星形成活動を示す銀河であっても、ALMA で検出されていない銀河も多く発見された。銀河の赤外線光度と紫外線光度の比 ($\text{IRX} \equiv L_{\text{IR}}/L_{\text{UV}}$) に着目すると、ALMA で検出された天体は検出されていない天体に比べ系統的に $\sim 1-2$ 桁程度高い IRX 値を持っていることが明らかになった。本研究では ALMA のデータを用いることにより、K バンド対応天体をもつ ASAGAO 天体の宇宙星形成率密度への寄与を赤外線光度 $\sim 10^{11} L_{\odot}$ まで分解することができた。ASAGAO 天体の宇宙星形成率密度への寄与は、過去の研究によって得られた形と同様の形で進化することすなわち、 $z \sim 2-3$ でピークを示していることが判明した。これら ASAGAO 天体は $z \sim 2-3$ で宇宙の星形成率密度の大半を担っている一方、 $z \sim 2$ よりも近傍の宇宙では ASAGAO 天体よりも赤外線光度の暗い種族が星形成の主役になっていることが示された。以上の結果は Yamaguchi, Y., Kohno, K., Hatsukade, B., Wang, T., Yoshimura, Y., et al. 2020, PASJ, 69, 23 として出版された。

19. 超臨界降着を示す SMBH をもつ高赤方偏移 radio-loud クエーサー 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 孝太郎)

高赤方偏移クエーサーは近傍のクエーサーに比べて理論限界に近いような高い質量降着率をもつ傾向にある (e.g., De Rosa et al. 2014). また、近年の ALMA 等のミリ波/サブミリ波干渉計を用いた観測によって、このような高赤方偏移クエーサーの多くがダストに覆われた激しい星生成活動を伴っていることがわかってきた (e.g., Wang et al. 2016). これらの事実は、高赤方偏移領域の超臨界降着クエーサーが、SMBH とその母銀河が共に急速に成長している、両者にとって極めて重要な進化段階にあることを示唆している。そこで本研究は高赤方偏移クエーサー J0131-0321 に着目し、ALMA 望遠鏡を用いて取得された [CII] 158 μm 輝線と遠赤外線域の連続波放射 (観測波長 $\lambda_{\text{obs}} \sim 1$ mm) の観測データに対して解析を行った。J0131-0321 は、Mg II 輝線の分光スペクトルから赤方偏移 $z = 5.18$ と推定されている最遠方 radio-loud クエーサーの一つであり、超臨界降着を示す SMBH (エディントン比 $\lambda_{\text{Edd}} = 3.1$) をもつ。ALMA データに対する解析の結果、[CII] 輝線を S/N 比 ~ 5 で検出した (速度分解能 90 km/s). [CII] 輝線の観測周波数から推測される天体の赤方偏移 ($z = 5.192$) は、我々がこれまでに野辺山 45m 電波望遠鏡を用いて取得した同天体における CO(5-4) 輝線の観測値から推測される赤方偏移 ($z = 5.193$) とほぼ一致した。したがって本研究結果は、[CII] 輝線と CO 輝線の検出によってターゲット天体の母銀河の赤方偏移をより正確に同定した重要な研究成果である。積分強度図上で本天体の [CII] 輝線放射はクエーサー位置を中心として半径 ~ 1.5 arcsec の領域に広がっている。この領域における [CII] 輝線速度場を確認すると、母銀河の回転運動を示唆していると期待されるブルーシフト/レッドシフト速度成分が確認された。

¹<https://sites.google.com/view/asagao26/>

今後さらに解析を進め, [CII] 輝線の速度場情報を用いた母銀河の動力学調査や力学質量の推定などを行う予定である.

20. 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. 近傍クエ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/星質量比との間の相関を検証した. 計 33 天体のサンプルを用いた検証の結果, 両者の間に相関はみられなかった. 結果が先行研究と異なった要因は, 両者の選択したサンプルにおける分子ガスの分布の違いにあると考えられる. 先行研究でサンプルとして用いられたクエーサー天体はスターバースト領域が銀河中心に集中する傾向があるため, 分子ガスも比較的中心に集中して SMBH からの影響を受けやすいと期待される. そこで, より小さなスケールに着目するため, 我々は ALMA 望遠鏡で撮られた高分解能な CO 輝線観測データを用いて CO 輝線速度場のモデリングを行った. その解析結果を用いて中心 1 kpc スケールの力学的質量を推定し, 同スケールの低温分子ガス質量と合わせて低温分子ガス質量/力学的質量比を算出した. 8 天体についてこの値とエディントン比との間の相関を検証したところ, 上述した示唆と反し, 両者の間に強い負の相関がみられた. このような傾向には, AGN からの強い X 線放射によって AGN 周辺での CO 輝線放射が抑制された等の要因が考えられる. 実際, 近年の近傍銀河に対する高分解能観測によって, AGN 周辺で CO 輝線放射が顕著に弱い領域が検出されている. 現在 ALMA アーカイブデータを利用したサンプル数の拡大および論文化を進めている.

21. 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 (東北大学, 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張宇宙モデルやダークエネルギーの性質を明らかにするため, 東京大学 TAO 望遠鏡や京都大学せいめい望遠鏡による, 大きく赤方偏移した広幅輝線の reverberation mapping のための遠方活動銀河核の赤外線分光モニター観測の実施計画を検討している.

昨年度は東京大学 TAO 望遠鏡で実施する Super-MAGNUM プロジェクトについて, TAO 望遠鏡の高感度, 宇宙モデルの切り分けの容易さ, 他の大規模可視分光モニター計画の動向を鑑み, $5 < z < 8$ の宇宙初期のクエーサーに焦点を置いた Super-MAGNUM Legacy 計画の検討を進めた. この赤方偏移では YJ バンドに CIV 輝線が, HK バンドに MgII 輝線が入り, SWIMS によって同時観測が可能である. CIV 輝線に期待される変光遅延時間も $\sim 1 - 3$ 年程度であり, 長期モニター観測を実施すれば遅延時間を高い精度で測定可能である. このデータは膨張宇宙の測定以外にもクエーサーを使った化学進化研究やブラックホール成長, クエーサー周辺の銀河の様子など, 初期宇宙の研究に有用であることは間違いなく, reverberation mapping による膨張宇宙測定計画の詳細な検討と合わせて, 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.

2.5.2 銀河系および星間物質

1. 小マゼラン雲中の高密度ダスト雲におけるコンパクト CO クランプの検出 (竹腰達哉, 河野孝太郎; 徳田一起 (大阪府立大/国立天文台), 藤田真司, 村岡和幸, 大西利和 (大阪府立大); 泉奈都子 (ASIAA); 濤崎智佳 (上越教育大); 南谷哲宏 (国立天文台))

一酸化炭素 (CO) のミリ波帯の分子輝線観測は, 低温・高密度な水素分子ガス, そして星形成の母体となる巨大分子雲 (GMC) のトレーサーとして, 銀河系内や近傍銀河の観測的研究に用いられている. 一方近年, ALMA 望遠鏡や単一鏡において遠方銀河における CO 輝線の観測的研究が進展しているが, 星間物質の金属量が異なる環境において, CO 輝線が GMC 全体のよいトレーサーであるかは自明ではない. したがって, 異なる銀河環境下における低温ガスの描像を正確に明らかにするために, 低金属量環境下における CO 輝線がどのような天体を効率的にトレースするかを理解する必要がある. 近年 ALMA による高感度・高分解能観測によって, 銀河系の 1/5 から 1/10 の金属量を持つ近傍矮小銀河では, CO 輝線は典型的に数 pc 程度のコンパクトなクランプをトレースすることが明らかにされた. しかしこれらの観測は, 星形成が活発な領域に対する観測であり, 強い紫外線場による CO 分子ガスの光解離の影響を排除できない. そこで我々は, 銀河系の約 1/5 の金属量を持つ小マゼラン雲において, ASTE 望遠鏡を用いた 1.1mm 連続波で発見された高密度ダスト雲のうち, 星形成活動が弱い, または星形成がみられない 2 つの天体 (SW 6, SW 13) に対して, ACA を用いた $^{12}\text{CO}(J=1-0)$ 輝線の観測を行った. この結果, 星なしを含むコンパクトな CO クランプを計 26 個を検出することに成功した. これらの天体は, 近傍の矮小銀河が得られている CO クランプと同等の物理量, そしてサイズ線幅関係を示しており, コンパクトな CO 形成の様相を示す. その一方で, 銀河系のおよそ 10 倍, 近傍矮小銀河の CO クランプの 2-3 倍の CO-H₂ 変換係数を持ち, その星形成活動からも示唆されるように, CO 形成が十分に進んでいない化学的に極めて若い天体であると考えられる. また SW 6 と SW 13 において, GMC 全体での CO から見積もられるガス質量は, ダストから見積もられる質量のそれぞれわずか 28%, 7% しかなく, 特に SW 13 では CO 形成がほとんど進んでいないことを意味している. これらの結果は, 低金属量環境下における CO 形成は星形成に直結するコンパクトなクランプスケールで選択的に進み, より大きな GMC 相当のスケールでは十分に CO を形成しないことを示している.

2.5.3 恒星および系外惑星

1. 非変光 OH/IR 星の近赤外線長期変光現象の研究 (上塚, 中田, 大澤, 三戸, 浅野, 宮田; 柳澤, 泉浦 (国立天文台); 板 (東北大学); 小野里 (兵庫県立大学); 植田 (デンバー大学))

OH/IR 星は, 特徴的なプロファイルを持った OH メーザー輝線 (周波数 1612 MHz) を示し, かつ強い赤外線放射を示す天体である. このような天体は小・中質量星 ($M \sim 1-10 M_{\odot}$) の進化末期段階である漸近巨星分枝星 (AGB 星) と考えられており, OH メーザーや赤外線の放射は, AGB 星の活発な質量放出により放出された大量の星周ガス・ダストに起因するものと考えられている. 通常これらの放射強度は AGB 星の示す脈動変光に起因して長周期変光を示すが, 一部の OH/IR 星はこのような長周期変光を示さないことが知られている. このような天体は非変光 OH/IR 星と呼ばれており, AGB 段階を終えて post-AGB 段階へ移行しつつある天体だと考えられている. このため, 非変光 OH/IR 星は, 現在よく理解されていない AGB 段階から post-AGB 段階への恒星の進化を探るうえで非常に重要な観測対象である. 本研究ではこの非変光 OH/IR 星の, 数十年スケールでの近赤外線変光を調査し, その進化の過程でこういった現象が起きているかを明らかにする.

数十年スケールの近赤外線変光を調べるべく, 2MASS・UKIDSS・OAOWFC によるサーベイ観測データを用いて非変光 OH/IR 星の長期時間変動を探ったところ, 非変光 OH/IR 星 16 天体のうち 6 天体について, 数千日間の近赤外線変光データを取得できた. このデータを解析したところ, 6 天体すべてが増光していることが明らかとなり, 一天体については非常に高速に増光していることが明らかとなった. 加

えて、3天体については多色のデータを取得することができ、近赤外線カラーはどちらかという赤く変化していることが明らかとなった。従来、非変光 OH/IR 星は、AGB 期の終わりに質量放出を終え、これにより星周のガス・ダストが減っていき、赤化が減ることで明るく青く変化していくものと期待されていた。今回得られた結果はこの期待に反するものであるため、中心星の温度・光度変化、もしくは星周ダストの追加形成など、予想外の現象が非変光 OH/IR 星で起きていることを示唆するもので、AGB 段階から post-AGB 段階への進化を明らかにする重要な糸口となると考えられる。この結果について、日本天文学会 2020 年秋季年会での発表、および *Astrophysical Journal* 誌にて論文出版を実施した。

上記の通り、近赤外線カラーの長期時間変動が明らかになると、非変光 OH/IR 星で起きている現象についての重要な手掛かりとなるが、現在は解析可能な天体が非常に限られている。このカラーの観測サンプルを増やし、さらに現在の増光速度なども明らかにすべく、兵庫県立大学西はりま天文台 2m 望遠鏡搭載の近赤外線カメラ NIC を用いたフォローアップ観測を提案し、これが採択された。天候トラブル等により観測時期がずれ込んだため、限られた天体数ではあるが観測データの取得に成功した。現在そのデータ解析を実施しており、今後このフォローアップ観測データも加えたうえで、非変光 OH/IR 星に起きている現象の解明を進め、AGB 期以降の恒星進化について新たな知見を得たいと考えている。

2. AGB 星の長周期変光の終焉に関する研究 (上塚, 中田; 板 (東北大学); 小野里 (兵庫県立大学); 内山 (ISAS/JAXA))

近年様々なサーベイ観測が登場したことにより、膨大な時間変動データが生産されるようになってきている。その例の一つが NEOWISE ミッションである。このミッションは一旦運用を停止した WISE 衛星を再度稼働させたもので、これにより 2013 年以降、全天の赤外線サーベイモニタ観測が継続されている。このため非常に長いタイムスパンの近赤外線測光データを得ることが可能となり、これを用いることで、これまでなされてこなかった近赤外線を用いた長周期変光現象の研究が可能となってきた。我々はこれを利用し、AGB 星が通常示している長周期変光が、その進化の過程でいつ発現して終わるのか、その変光が質量放出現象とどのように関係しているのかを明らかにしたいと考えている。また、本研究の過程において、多様な天体について、天体種別と変光特性の関係も明らかになると考えており、これを逆に利用することで、変光特性からの天体分類手法の確立も狙いたいと考えている。

これまでに我々は、AGB 星候補に YSO 候補も含めた天体の NEOWISE データの解析を開始した。データ解析の結果、現在のデータセットでは 400–2000 日程度の周期変光についてある程度信頼できる周期推定が可能であることを確認した。さらに AGB 候補と YSO 候補には変光の傾向に差が見られ、YSO 候補の方がより長い周期の変光、もしくは単調な変光が見られる傾向を確認した。これらの傾向の検証を進めて天体分類手法の確立を目指すのと同時に、周期推定手法の信頼性の改善を図り、AGB 星の進化と長周期変光の関係を明らかにしていく。

3. AKARI/WISE を用いた AGB 星の中間赤外線変光調査 (橘健吾, 宮田隆志, 上塚貴史, 大澤亮, 中川亜紀治 (鹿児島大学), 瀧田怜, 内山瑞穂 (国立天文台), 板由房 (東北大学))

宇宙にあまねく存在するダストの主な供給源として、低中質量星の進化末期段階である漸近巨星分枝星 (AGB 星) が候補に挙がっている。しかし、そのダスト供給メカニズムは不明確である。近年の理論的な研究では、ダスト放出現象において脈動が大きな役割を持つことが提唱されており、マゼラン雲内の観測的な研究から、ダストに埋もれた AGB 星がダスト供給の大部分を担うことがわかってきている。ダストに埋もれた AGB 星は大変赤く、長周期変光を示すことから、その脈動の様子を捉えるには、放射エネルギーの大半を占める中間赤外線領域 (波長 10–30 μm) での長期間の変光調査が最適である。

本研究では AGB 星のダスト供給メカニズムを探るため、銀河系内の AGB 星を対象に、ダストに埋もれた AGB 星の観測に適した中間赤外線領域の変光特性を調査した。AKARI および WISE のスキャンデータをを用いることで、2006 年から 2011 年の 5 年間にわたる長期間の中間赤外線変光を調べた。

今回は、比較的ダスト埋もれた AGB 星が多い銀河系内の、表面組成が酸素過多で長い周期を持つ AGB

星について、波長 $18 \mu\text{m}$ での変光の様子を調べ、中間赤外線カラーや周期などの観測指標との関連を調査した。結果として、187 天体のサンプルに対して $[18 \mu\text{m}]$ 変光振幅と $[12 \mu\text{m}]-[22 \mu\text{m}]$ カラーに相関が確認された。輻射輸送計算に基づくと、この相関は星の光度変化率がダスト供給量に影響を及ぼすことを示唆するものであり、星の光度変化がダストの形成の効率に影響している可能性が示唆される。以上の研究成果について修士論文として報告したほか、現在査読誌への論文執筆中である。

4. すばる/COMICS による WR137 の観測 (道藤翼, 宮田隆志, 左近樹, 遠藤泉)

宇宙初期のダストについて理解する試みは、宇宙の化学進化を知る上で重要な課題である。このようなダストの性質の理解のために、超新星爆発によるダスト形成がこれまで研究されてきたが、それに至る前駆天体によるダスト供給の理解はそれほど進んでいない。Wolf-Rayet (WR) 星は、主に主系列質量が数十太陽質量を超える大質量星の終焉期の姿で、多くの Ib 型/Ic 型超新星の前駆天体と考えられている。特に、WC 型の WR 星と O 型星の連星系では、近日点通過のたびに周期的なダスト形成を起こすものが見つかってきている。それらの天体では、近日点通過時に、WR 星および O 型星の恒星風の衝突領域で外部からの紫外線が遮蔽され、ダストの凝縮が起こるといったシナリオが提案されているが、その過程を観測的に理解するためには近日点通過時刻付近の中間赤外線継続観測が重要となる。

本研究では、WR 星と O 型星の連星系で約 13 年周期でダスト形成を繰り返す WR137 について、すばる望遠鏡 COMICS を用いて 2009 年に実施した中間赤外線撮像、分光観測の結果を示す。撮像観測からは、2010 年の近日点通過に向かって、N($11.7 \mu\text{m}$) バンドでの増光の様子が捉えられた。また、中間赤外線スペクトル中には、 $9.7 \mu\text{m}$ の He II ($13 \rightarrow 11$) および $10.5 \mu\text{m}$ (He I および [S IV]) のほか、 $11.3 \mu\text{m}$ (He I + He II), $12.36 \mu\text{m}$ (He I + He II), $13.12 \mu\text{m}$ (HeII ($11 \rightarrow 10$)) などのラインを検出した。また、天体のスリット上での位置による取得スペクトルの傾きへの影響を詳細に評価した上で補正を実施し、信頼性の高い連続光放射スペクトルを得た今後は、連続光成分の温度進化を含めて、WR137 における近日点通過付近のダスト放射の性質とその時間変化を議論し、結果をまとめていく予定である。

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, 竹腰達哉, 河野孝太郎; 井上修平 (東大理); 丹羽佑果 (東工大); 大島泰, 都築俊宏, 川邊良平 (国立天文台); 長沼桐葉, 酒井剛 (電通大); 美馬寛 (理研); 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。

2020 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) シンプルな配線系を実現するフレキシブル基板を用いた冷却系での MKID 読出配線の設計、(4) 焦点面検出器と光学系を結合させるホーンアレイの製作と評価、(5) 望遠鏡との結像光学系の開発、を推進した。まず (1) の検出器チップは、平面直交モード変換器 (OMT)、平面ハイブリッドカプラーの設計を実施した。OMT は、ホーンアンテナと結合した際の帯域幅が TE11 と TE31 モードのカットオフ周波数で帯域が決まることを電磁界シミュレーショ

ンで示し、1 :2.3 の帯域幅が実現できることが分かった。平面ハイブリットカップラーにおいても、網羅的なパラメータ探査を行うことで、帯域幅 1 :2.4 の設計解を見出した。(2) の AR は、低誘電率膜の系統的な材料探査と THz 時間領域分光法を用いた測定を進め、さらに多段の薄膜シミュレーションを網羅的に探査することで、130-730GHz の帯域に渡って十分な透過率を実現する設計解を得た。(3) の新たな配線系は、シミュレーションによる詳細なデザイン検討が完了し、今後試作・測定を実施する予定である。(4) ホーンアレイは、シリコンウェハーと相性の良い低熱膨張シリコンアルミ合金でのホーンアレイを試作を行い、そのビーム形状がおおむね電磁界シミュレーションと一致することを確認した。(5) グリーンランド望遠鏡との結合光学系の設計においては、最大視野 18 分角の光学設計解を見出し、ASTE、JCMT など既存望遠鏡と比べて 5 倍もの視野面積を確保できることが明らかになった。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 用解析パイプラインと観測シミュレーションソフトウェアの開発 (上塚, 大澤; JASMINE End-to-End シミュレーショングループ)

観測的天文学において、天体の特性を定量的に調べるうえで天体までの距離を知ることは大変重要である。この情報を得るために位置天文観測が非常に重要であり、近年も Gaia ミッションによる高質な位置天文データが非常に重宝されている。しかし Gaia 衛星では観測が難しい星間ダストに埋もれた領域や、自身がダストをまとった天体などについては距離の情報が得られていない。この状況を変えるのが赤外線を用いた位置天文観測であり、そのようなプロジェクトの一つが JASMINE プロジェクトである。

JASMINE では現在、高精度位置天文観測達成のための観測シミュレーション (End-to-End シミュレーション) を進めており、そのための解析パイプライン、および観測シミュレーションの開発を進めている。我々はこの End-to-End シミュレーショングループに所属し、この活動を進めてきた。本年は、観測シミュレーションを行うために作られた個々のプログラムを統合し、適切な入力パラメータ設定を受けてコマンド一つで観測模擬データを生成する観測シミュレーション統合プログラムを開発した。加えて解析パイプラインの不具合修正なども行い、現在はこれらのプログラムを使って、位置天文観測に必要な高精度の点源検出アルゴリズムの開発・調整作業が実施できるようになった。

今後もこの活動を進め、高精度位置天文観測の実現に加え、高頻度近赤外線モニタリング観測の検討・実装も進め、JASMINE を用いて実現を狙うサイエンスケースの現実性検討も行っていくたい。

3. 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 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。その結果を評価するための実験室実験の準備も進めている。

4. 次世代大型サブミリ波単一鏡 LST/AtLAST 計画に向けた分光撮像観測装置の検討 (河野, 廿日出, 竹腰; 大島泰, 川邊良平 (国立天文台); 田村陽一, 谷口暁星 (名古屋大); 井上昭夫 (早稲田大); 森脇, 吉田 (東大物理); 梅畑 (理研); 濤崎 (上越教育大学); Klaassen, P. (Edinburgh); Mroczkowski, T. (ESO); Cicone, C. (Oslo); Bertoldi, F. (Bonn) ほか LST/AtLAST ワーキンググループ)

ALMA と相補的なディスカバリー・スペースの開拓を目指す、次世代大型サブミリ波単一開口望遠鏡では、大規模な分光撮像装置を実現し、サブミリ波帯での輝線銀河を広い天域にわたって無バイアスに探索・検出することが期待されている。現在我々が開発をリードしている MKID 検出器技術を活用した On-chip 型超伝導分光器の集積化を進め、200 GHz 帯, 255 GHz 帯, 350 GHz 帯の 3 バンドで空間方向に 1000-3000 画素を持ち、各画素で $R = 2000$ 程度の波長分解能での分光を行う “3 次元分光撮像装置” を実

現できれば、LST/AtLAST等の次世代広視野サブミリ波望遠鏡に組み合わせて大規模な分光撮像サーベイを行うことにより、赤方偏移が10を超える時代での、銀河形成最初期の星形成を捉え、[OIII]88 μ m輝線等の光度関数に制限をつけ得ることを示した。一方で、この実現のためには、合計1.5M画素の超伝導検出器が必要となる。近年、急速に広帯域化やマルチビーム化の研究が進むヘテロダイン受信機も含め、さらなる技術開発の方向性についても議論を行った。以上の結果をSPIEで発表し、proceedingsを出版された(Kohno, K., et al., 2020, SPIE proceeding 114530N; doi: 10.1117/12.2561238).

5. 超広帯域サブミリ波分光計 DESHIMA の ASTE 科学運用に向けた開発 (竹腰達哉, 吉村勇紀, 石田剛, 河野孝太郎; 松田慧一, Tom J. L. C. Bakx, 谷口暁星, 田村陽一(名大); 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、宇宙大規模構造や楕円銀河の形成過程の理解に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推進されてきた。その一方で、高赤方偏移のサブミリ波銀河での分光赤方偏移決定は限定的であり、効率的な赤方偏移決定を実現する広帯域かつ高感度の観測システムの実現が期待されている。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。DESHIMA は、220–440 GHz の帯域幅を、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ことを目指した、新しい観測装置である。チリ共和国アタカマ砂漠に設置されている直径10mのサブミリ波望遠鏡ASTEでの科学観測を、世界に先駆けて実現することを目指している。今年度は、ASTE望遠鏡での科学運用の開始に必要なソフトウェア環境の整備を推進した。まず、検出器で取得した生データをキャリブレーションするソフトウェアのリファクタリングを実施し、ソフトウェアの可読性や今後の拡張性を改善した。さらに、2017年の試験観測時に取得したデータを用いて、ビームマップやポインティング観測のデータ解析の自動化ツールを作成した。またオランダ主導のハードウェア開発では、検出器チップの結合効率の改善や、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が行われた。これらの改良によって、一夜の観測で赤方偏移4以上の重力レンズされたサブミリ波銀河の電離炭素・一酸化炭素輝線を検出し、その赤方偏移を決定できる感度を持つ見込みである。また、スニヤエフ・ゼルドビッチ効果を用いた銀河団中の高エネルギー電子の密度・温度の精密測定が検討され、X線観測とは独立にガス温度推定が可能であることが示された。DESHIMAによる新たなサイエンスケースとして期待される。

6. 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; 前田, 太田, 松林, 川端, 木野(京都大))

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。2枚のダイクロイックミラーを用いて可視光を3バンド(g,r,iまたはz)に分割して同時撮像が可能である。将来分光モードへの拡張も予定されており、また別途開発されている近赤外線偏光撮像装置とあわせると5バンド同時撮像が可能となる。2020年度は6月にgバンドで、また2月と3月に3バンドでの試験観測に成功した。焦点調整などは順調で、天体画像の取得は順調に行えており、2021年度後半のせいめい望遠鏡の共同利用観測に提供されることが決まった。ただし課題として高速読み出し時の安定性や迷光等があり、改善に取り組んでいる。

2.5.5 TAO 計画

天文センターでは南米チリアタカマ砂漠の標高 5,640 m の地点に赤外線観測に最適化した口径 6.5 m の大型望遠鏡を建設する計画 (TAO 計画) を推進中である。平成 12 年度に天文センター内で議論を開始して以来、サイト調査やアクセス道路の整備、望遠鏡の概念設計など準備を進めてきた。また平成 19 年度には先行望遠鏡である東京大学アタカマ 1 m 望遠鏡 (通称 miniTAO 望遠鏡) も観測を開始した。平成 24 年度には補正予算によって 6.5 m 望遠鏡の製作予算が措置され、望遠鏡本体および付帯設備の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ており、現在工事が進行中である。

TAO 計画全体進捗

1. TAO 計画の全体進捗 (吉井, 土居, 河野, 宮田, 田中, 本原, 峰崎, 酒向, 田辺, 諸隈 智貴, 廿日出, 小西, 江草, 高橋, 上塚, 鮫島, 浅野, 加藤, 青木, 征矢野, 樽沢, 沼田, 益原; 田村 (名古屋大学); 半田 (鹿児島大学); 越田 (国立天文台))

TAO 計画は平成 24 年から本格設置に向けて開発建設活動を進めてきている。今年度は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。チリでは作業員の安全確保のため、工事を 6 か月間にわたり中止した。また日本でも予定していた開発活動が行えないなどの影響を受けた。これらにより、望遠鏡設置スケジュールは 1 年ほど遅れることとなった。

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、平成 30 年から行っていた道路拡張工事が完了し、標高 5,000m のパンパラボラ平原からチャナントール山山頂に至る全長 8km のアクセス道路が完成した。また山頂の整備も進行し、山頂のレベル出しや基礎用の土木作業などが行われた。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。これらで得られた成果の一部は査読論文として発表を行った。

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 などの近隣計画とは状況を密にやり取りし、様々な面で協力関係が進んでいる。

2. TAO 望遠鏡本体等の製作 (吉井, 土居, 河野, 宮田, 田中, 本原, 峰崎, 酒向, 田辺, 諸隈 智貴, 廿日出, 小西, 江草, 高橋, 上塚, 鮫島, 浅野, 加藤, 青木, 征矢野, 樽沢, 沼田; 田村 (名古屋大学); 半田 (鹿児島大学); 越田 (国立天文台))

TAO 6.5m 望遠鏡は、主鏡口径 6.5m、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ペントカセグレン焦点を 2ヶ所を備える。観測装置は、基本的に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を劣化させないように、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。赤外線観測性能だけでなく紫外線観測性能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シュワート天文台リ

チャード・F・カリス・ミラーラボ (旧 SOML) が、望遠鏡鏡筒および架台を西村製作所が、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、以下の進捗があった。(1) 主鏡セル (PMC) はダミー主鏡 (DM) と空力アクチュエータを搭載した状態で、現地に輸送する予定であり、そのための設計と輸送準備が完了した。輸送準備が完了した PMC はツーソン空港にほど近い CAID 社の敷地に保管されている。(2) 第3鏡 (M3) アセンブリの組立作業のための handing fixture を設計・製作し、試験を完了した。(3) 主鏡 (M1) の吊上作業のための tri-spreader bar の設計・製作し、試験を完了した。(4) 完成された部品の梱包は完了し、それらはアリゾナ大学構内 (M1, M2(副鏡), M3 など)、CAID 社 (PMC, DM 関連)、Tucson Container 社 (その他) に分散して保管されている。(5) 以上によりチリへの貨物輸送の準備が整った。これらの輸送開始は 2021 年 7 月以降を予定している。

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 月に神戸港を出港し 12 月にチリ国アングモス港に到着した。陸上輸送時にポリスエスコートを要する大型貨物については、港近くの倉庫・ヤードに一時保管ののち、チャナントール山麓の標高 5000m にある中間保管場所に輸送する予定である。それ以外の品物は、チャナントール山麓の標高 5000m にある中間保管場所およびカラマの屋内倉庫にて保管中となっている。

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。そこで主鏡裏側に冷風を送って主鏡温度の制御を行う。このときに生じる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。国内で製作を進めていた冷却水生産設備は 2020 年秋に完成し、輸送用の梱包ののち横浜港 2020 年 10 月に輸出し 12 月にチリ国アングモス港に到着した。現在は標高 5000m にある中間保管場所にて保管中である。

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には清浄かつ乾燥した高圧空気の供給が必要である。このため各生産設備から主鏡セルに送る冷却水と高圧空気を輸送するための配管を望遠鏡本体内に通す必要がある。望遠鏡の方位軸・高度軸まわりの駆動を妨げずに通す必要があり、配管ルートやフレキシブルホースの具体的な検討を行なっている。

3. TAO 6.5m 蒸着装置 (吉井, 土居, 河野, 宮田, 田中, 本原, 峰崎, 酒向, 田辺, 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; 田村 (名古屋大学))

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。

このような作業を実現するために、蒸着チャンバーおよび電源、蒸着制御装置、真空ポンプ冷却用のチラー等の付帯機器が必要となるが、前年度までにほぼすべてのコンポーネントが完成し、国内に納品された。

前年度後半から2020年度初頭には、製作と並行して進められてきたこれらコンポーネントの設置、配管・配線の接続の設計案を基に、これら装置の組み立てがIHI横浜工場で行われた。この作業によって、実際の山頂での設置に必要な資材・量・長さの他、人工・作業時間等の情報を得ることができる。各装置の起動・基本動作といった初期試験を行った後、蒸着システムとしての総合試験が進められた。試験内容としては、(1)真空チャンバーとしての到達真空度、到達時間の測定(確認)、(2)鏡洗浄後蒸着直前に行われる鏡面上の酸化膜の除去、分子レベルの洗浄のためのイオンボンバードに必要な封入ガスの選定、電流・電圧の最適パラメータ出し、(3)金属蒸発時の印加電流・電圧値、印加のタイミング、継続時間などの最適値出し、(4)フィラメントへのアルミのプレウエット量の最適化、などである。これら全てにおいてTAOの光学性能を満たす鏡面の成膜が必要となる。

蒸着において真空度が高ければ高いほど膜の密着度が上がり、反射率も高くなることが知られている。可能な限りまた短時間での高真空を実現するために、4台のロータリーポンプ、4台のターボ分子ポンプ、4台のクライオポンプをハイブリッドに使用した結果、ボンバードが可能な真空度は1時間以内、蒸着可能な真空までは半日程度で達することが確認された。蒸着試験は、主鏡の曲率を模したサンプル台が設置され、計27枚のサンプルガラス(対称性を考慮し、直交する直径に渡る2軸と4分の1、90度の範囲のみにサンプルガラスを配置)で108箇所の成膜モニタリングを行なった。蒸着後はテープテストによる膜の密着強度、サンプル鏡の膜厚・反射率の測定などが実施された。試験は当初の予定よりも多くの計7回の試験が行われた。

イオンボンバードでは、最終的にすべてのサンプリング箇所でテープテストをクリアするボンバードパラメータを得ることができた。使用するガスは最終的には酸素を選択した。今回の蒸着試験では主鏡セルがない状態で行われたが、蒸発源(フィラメント)が主鏡セルにインストールされた主鏡までの距離と同じになるように調整して行われた。TAOの蒸着装置では147本のフィラメントを4系統の電源で制御する。フィラメントに含浸しているアルミニウムを効率よく、均一に蒸発させるために、プレヒーティング、第一発火、第二発火の3回に分けて電流(電圧)を印加して、蒸着が実行される。複数回の蒸着試験の結果、膜厚はやや厚めの箇所があるものの最低でも100nm以上あり、赤外線波長での観測には問題ない値となった。また、アルミ含浸量を内周と外周で異なる値のフィラメントを配置することで、膜の一様性も達成した。実際の現場での再蒸着は主鏡だけでなく、副鏡、第3鏡の蒸着も行われる。その場合は主鏡セルがない状態で行われるが、今回の試験がそのモニターとなっている。試験の結果、このシステムで同条件での成膜が可能であることが示された。これら性能評価詳細は、Takahashi et al. 2020 (SPIE2020)にまとめられている。

全ての性能評価試験を終えた蒸着システムは年度末のチリ輸送に備え、輸送のための分解・輸送梱包され、同じIHI横浜工場内に保管された。これらは2021年度初頭にチリへ輸送され、屋内倉庫および5000mベースに一時保管の後、年度後半には山頂へ輸送され、本格的な組み立てを開始する予定である。

4. TAO山頂施設の建設(吉井, 土居, 河野, 宮田, 田中, 本原, 峰崎, 酒向, 田辺, 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)

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。エンクロージャ上部の現地での建設作業は西村製作所が主導の下、2020年2月より開始されたが、チリ国内にて新型コロナウイルス感染症が拡大したため2020年3月に中断された。その後は部材の5,000mサイトへの輸送を中心に準備が進められたが、新型コロナウイルス感染症の状況は改善されず年度内の工事再開はかなわなかった。

観測運用棟の部材の製作は川田工業が主導の下、日本国内で進められ、2020年5-6月に埼玉県加須市にて構造体の仮組作業が実施された(図2.2左)。その後に部材は解体され9月に出発、12月に5,000mサイトに到着した。その後、他の小型部材も順次に輸送が行われた。新型コロナウイルス感染症の影響で現地建設工事を開始するに至らなかったが、設備施工図を作成する等、現地作業に向けて準備を進めた。

インテレクト社と共に観測運用棟に設置される発電機および電力設備の詳細設計を進めた。また、CCAT

計画と共同で、23kVA の高圧電力線とファイバネットワーク線を 5,000m サイトと山頂施設の間に敷設し、5,000m サイトに発電機を設置する検討を進めた。TAO 山頂施設には外部電力として 250kVA が供給される。山頂施設内の各種機器を遠隔制御するための検討や、miniTAO で使用した無線通信機器を再利用した通信手段の確立の検討を進めた。音羽電機工業と共に山頂施設を雷害から保護するための設備の設計も進めた。

インテレクト社によるコーディネートの下、現地チリでの建設作業を進めた。吉川教授(アラスカ大)の監修のもと山頂の地表付近の凍土の測定と地盤調査がおこなれた。強度が不十分と判断された場所は地盤改良がなされた。表層に凍土は観測されなかったが、雪解け水対策として建物外構の設計変更がなされた。チリ MOVITEC 社による山頂アクセス道路の拡張工事および山頂の造成工事が 2020 年 9 月に再開され、2021 年 1 月に完成した。その後、一部の箇所にて修正作業を進めている。チリ Preansa 社により製作された望遠鏡ピアおよび建物基礎用のプレキャストコンクリートブロックが 2020 年 9 月に 5,000m サイトに搬入され、一部の修正作業が実施された。12 月には山頂にて望遠鏡ピア用ベースコンクリートの打設が実施された。続いて望遠鏡ピア用プレキャストブロックの設置・組み立て作業が 2021 年 1-2 月に実施された。2 月には建物基礎用のベースコンクリートの打設が完了し、3 月に大部分のプレキャスト基礎が設置された(図 2.2 右)。

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)と共同で山頂および 5,000m サイトに気象観測装置を設置する計画が進められた。



図 2.1: (左) 蒸着チャンバーと東大 TAO メンバー. (右) 蒸着試験の様子.



図 2.2: (左) 仮組した観測運用棟の構造体, (右) 山頂にて組み上げられた望遠鏡ピア用プレキャストブロック.

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, 高橋, 加藤, 櫛引 洗佑, 中村 洋貴, 陳諾, 吉井, 土居, 河野, 宮田, 田中, 峰崎, 酒向, 田辺, 諸隈 智貴, 廿日出, 江草, 浅野, 大澤, 上塚, 鮫島, 西村, 青木, 征矢野, 樽沢, 田村 (名古屋大学); 半田 (鹿児島大学); 沖田, 服部, 田中, 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。

今年度の最も大きな進捗は, 国立天文台すばる望遠鏡での共同利用観測運用が正式に認められ, 既存の近赤外線装置 MOIRCS に代わって 2021 年前期 (S21A 期) から 2 年間に渡り PI 装置として共同利用に供することとなったことである。この決定に必要なであった装置性能の再評価のための試験観測を 2020 年 10 月に実施した。試験項目は, 2020 年 2 月に交換した検出器の冷却性能確認, 低気温での分光機械系の動作不具合の解消確認であった。検出器は science grade としては cosmetics があまり良くないことが判明したが, background-limited 観測のためのノイズ要求は満たしていることを確認した。分光機械系に関しても, 以前見られていた渋い動作は解消され, マスク交換動作を連続して実行できることを確認した。また, これまでの試験観測で得られたデータを用いて撮像データ解析パイプラインも一通り実装を完了した。今後, 共同利用で得られるより長時間積分のデータを利用して精度向上等の改良を続けていく予定である。

2. SWIMS-IFU の開発 (櫛引, 本原, 高橋, 小西, 加藤; 山形, 細島, 竹田 (理研); 森田 (東京電機大); 尾崎, 都築 (国立天文台))

面分光は天体像を分解し並べ直すことによって, 二次元空間を一度の露光で分光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。

2020 年度はまず SWIMS-IFU 光学素子の製造公差と設置公差の見直しを行った。これまでの開発経験に基づいて設定された公差によって達成される光学性能の確認とより厳しい公差を設定すべき要素の洗い出しを行った。結果として各ミラーの煽り角が透過率を下げることを確認されたため, それらの公差を現実的な範囲で厳しく設定しなおしたうえでモンテカルロ解析により光学性能評価を行った。各チャンネルの視野中心では 90-95% の高い透過率が達成される一方で, 視野端では特に端のチャンネルで 50% という低い透過率になってしまうことが分かったが, これらのチャンネルでは設計時点でケラレが生じることが分かっており透過率の変化としては 10% 程度である。

光学素子の製作においては SWIMS-IFU 内で望遠鏡瞳像が結像する瞳ミラーアレイが完成した。加工は特殊アルミ合金 RSA6061 を用いた超精密切削加工によって行われ, 鏡面の平均面粗さ RMS = 9.4 nm, 平均形状誤差 P-V = 212 nm とそれぞれ要求精度 RMS < 10 nm, P-V < 300 nm を達成した。しかし, ミラーアレイ全体の形状については測定精度の不足により正確な評価ができていない。また, 望遠鏡による天体像を分解するスライスミラーアレイ+PO0 についても, 一度目の加工を行った。各平面鏡の角度精

度が要求である誤差 0.01 度を満たさず再製作となったが、その原因が工具の角度較正手法にあることを明らかにし工程を改善することで、二度目の製作の目処を立てた。これらの超精密切削加工による開発に加え、SWIMS-IFU 全体を組み上げるためのベースプレートや完成後に全体を覆うカバー、必要なレンズの製作などを進め、2021 年度に実施する SWIMS-IFU の組み上げに向けて準備を進めた。

2021 年度は前半に残りの光学素子であるスライスミラーアレイ+PO0 と PO2 ミラーを完成させ、すべての光学素子を揃える。後半には 2020 年度に検討した公差に基づき SWIMS-IFU の組み上げと光学試験による調整を行う。光学試験ではスリットミラーアレイ上の擬似スリット像形状、瞳ミラーアレイ上の瞳像形状、射出光線の方向などを確認する。2021 年度内に SWIMS-IFU を完成させ、国立天文台ハワイ観測所すばる望遠鏡で共同利用を行う SWIMS へ搭載する。

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, 橋 健吾, 道藤 翼, 尾中, 左近, 吉井, 土居, 河野, 田中, 本原, 峰崎, 小西, 高橋, 田辺, 諸隈 智貴, 廿日出, 江草, 鮫島, 青木, 征矢野, 樽沢, 加藤, 櫛引 洸佑, 陳諾; 軸屋, 加藤 大智, 内田 宏太郎, 近藤 真吾 (金沢大学); 本田 (岡山理科大学); 内山, 片埜 (ISAS/JAXA); 田村 (名古屋大学); 半田 (鹿児島大学))

MIMIZUKU は TAO 6.5 m 望遠鏡に搭載する第一期中間赤外線測光分光装置である。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 2-38 μm という広い波長域をカバーし、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、宇宙における物質循環の理解を深めることを目指している。

MIMIZUKU は 2018 年度にすばる望遠鏡での試験観測を実施し、当時完成していた MIR-S チャンネルのファーストライトを達成した。その後 2019 年度に MIMIZUKU は日本に返送され、TAO 望遠鏡における科学運用に向けてアップグレード作業を行うこととなった(図 2.3)。

本年度は、2018 年度の観測データを解析し、MIR-S チャンネルの観測性能評価を進めた。結果として、撮像モードに関して、空間分解能が回折限界性能をほぼ達成しており、効率も概ね想定通りの性能を達成していることを確認した。分光モードについても波長分解能・効率が概ね設計通りの性能を達成していることを確認することができ、さらにこれまで地上観測では難しかった 20 μm 帯の分光観測が、フィールドスタッカーを利用することで可能になることを確認した。これらの結果に関して、SPIE 国際会議において発表を行い、Kamizuka et al. 2020 として集録論文にまとめた。

アップグレード作業に関しては、本年度は NIR チャンネル検出器の安定動作の実現、および冷却チョッパー開発を進めた。各研究開発の詳細を以下に述べる。

2. NIR チャンネル検出器の動作安定化(上塚, 酒向, 宮田, 大澤, 浅野, 西村, 橋 健吾, 道藤 翼)

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 μm)を搭載し、波長 2-5.3 μm をカバーする。この検出器について、昨年度までに光の検出が可能である様子まで確認することができたが、検出器の出力電圧に揺らぎが見られ、精密な光量の測定を阻害する問題が確認されていた。この問題を解決すべく、検出器の冷却動作試験を通して、出力電圧の揺らぎの要因を調査した。その結果、検出器の出力電圧を仲介している冷却バッファ回路によって揺らぎが引き起こされていることが判明し、この回路を利用しないことで検出器の出力電圧の安定化が実現できることを確認した(図 2.4)。



図 2.3: 三鷹でアップグレード作業を進める MIMIZUKU.

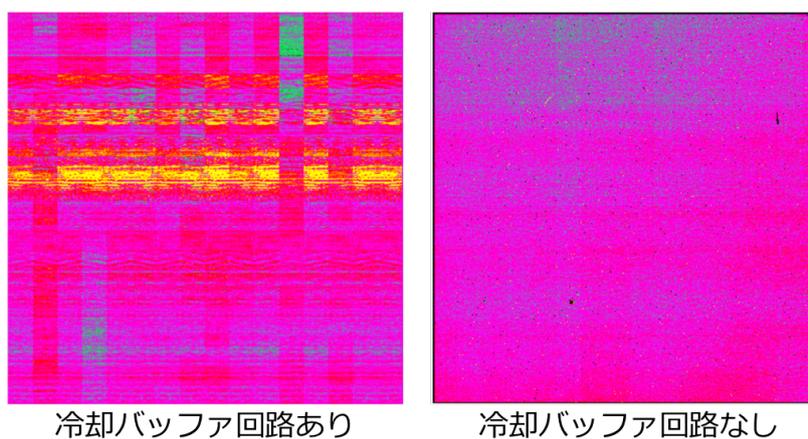


図 2.4: HIRG 検出器の出力画像. 左が冷却バッファ回路を介したとき, 右が冷却バッファ回路を介さないときの画像.

MIMIZUKU では検出器を搭載する低温部と検出器制御系を設置する常温部の距離が長くなるため, この間を接続する配線に大きな寄生容量が発生する. この寄生容量がある中でも十分に早い信号伝達を可能とするために, MIMIZUKU では低温部にバッファ回路を設置し, これを利用することとしている. しかし今回, この冷却バッファ回路が不安定であることが判明したため, 冷却バッファ回路を利用しないで NIR チャンネルの観測が可能かどうかを今後検討し, 可能であれば冷却バッファ回路のスキップ, 不可能であれば冷却バッファ回路の安定化を図ることで対応を進める予定である.

3. 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; 軸屋, 加藤 大智, 内田 宏太郎, 近藤 真吾 (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. この機構を搭載することで観測視野を高速に切り替えることが可能となり, 切り替えた視野それぞれで取得した画像を減算する

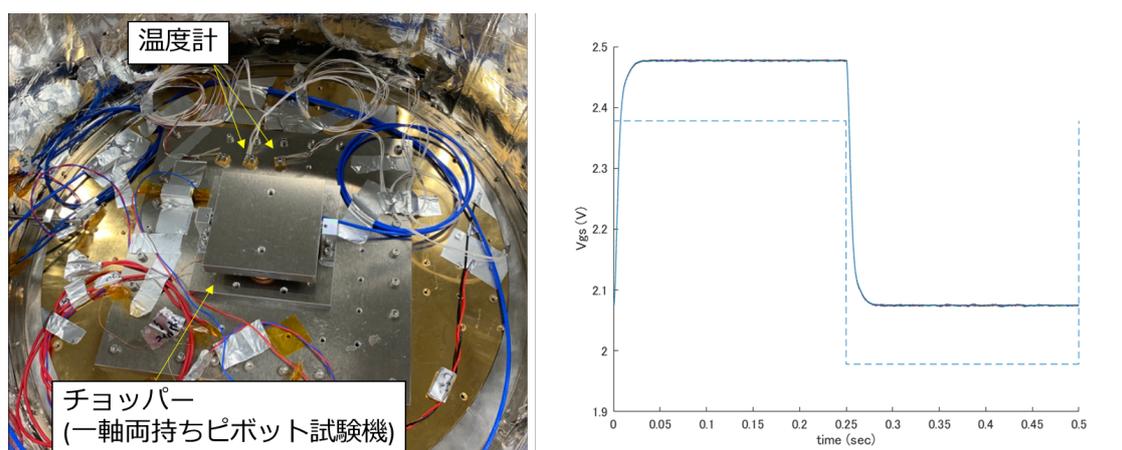


図 2.5: 左: 冷却動作に成功したねじりばね試験機の冷却試験の様子. 右: ギャップセンサーで測定されたねじりばね試験機の冷却環境下の動作 (実線). 2 Hz のチョッピング動作を約 30 ms の静定時間で達成できており, 実用化に足る動作特性をとっている.

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を観測することが可能となる. 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 (すばる望遠鏡での試験観測では望遠鏡の副鏡を駆動させることで同様の観測を実現していたが, TAO 望遠鏡では副鏡駆動が利用できない).

これまでの開発では, 冷却環境下においても常温と同等の振る舞いをする期待される部材を利用した設計し, 製作を進めてきた. さらに実際に製作した試験機を用いて制御側の開発を進め, 常温においては要求される動作にほぼ近い動作も実現できるようになっていた. 次の段階として, 本試験機を冷却環境下 (温度約 20 K) で動作試験をすることとなった. この冷却動作試験を実施した結果, 可動部の動きが固くなり, 正常に動作しなくなる様子が確認された.

この問題を解決すべく, 個々の部材の低温環境における特性を調査し, 個々の部材の特性は想定通り低温環境においても常温環境の物と大きく変化しないことを確認することができた. この結果を受け, 冷却チョッパーが動作しなくなった要因は, 可動部の動作の支点となっている一对のねじりばねの相対設置位置に問題があると考え, その設置位置を高精度化した試験機を製作し, 低温動作試験を実施した. その結果, 常温と遜色ない動作特性を低温環境においても実現できることを確認した (図 2.5). 今後この結果を踏まえて MIMIZUKU 搭載用のシステムを製作し, MIMIZUKU への実装・動作試験を実施していく.

本開発の常温における開発部分に関しては, SPIE 国際会議において発表を行い, 集録論文 (Honda et al. 2020) にまとめた.

2.5.6 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 (田中, 高橋, 浅野, 吉井, 土居, 河野, 宮田, 本原, 峰崎, 酒向, 田辺, 諸隈 智貴, 廿日出, 小西, 江草, 上塚, 鮫島, 加藤, 青木, 征矢野, 樽沢; 西村 (大阪府立大学/東京大学))

NICE (Near-Infrared Cross-dispersed Echelle spectrograph) は分光素子にエシェル回折格子, クロスディスペルザを採用し, 波長分解能 $\sim 2,600$ で, 近赤外の幅広い波長域 ($0.9\text{--}2.4\ \mu\text{m}$) をカバーする近赤外線中分散分光装置である. さらに, 適切な光学素子を選択することで撮像も行うことができる. 2000年

に設計・製作が開始された NICE は、これまでに国立天文台 1.5m 赤外シミュレータや北海道大学 1.6m ピリカ望遠鏡に搭載され、様々なタイプの恒星や金星などの近赤外分光観測を実施してきた。星の大气から得られる物理情報と大气モデルと詳細比較することで、質量放出や大气の運動に関する知見が得られた。NICE が TAO 6.5m 望遠鏡第一期観測装置として設置された際は、サイトの大气透過率の高さと、0.8–2.5 μm 近赤外線波長帯において切れ目ないデータ取得が可能となるため、前述の研究以外にもより多くの研究が一層進む事が期待される。

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、既存の Windows2000 計算機上で独立に駆動していた制御群系を、Linux ベースの望遠鏡統合制御ソフトウェアから制御可能にするシステムへと開発を進めた。具体的には、File I/O ベースのコマンド中継システムを新規に導入した Linux 計算機上に構築した。また検出器以外のハードウェアを Windows2000 計算機を介さず、直接 Linux 計算機から制御できるように仕様の変更、および実装を行った。これにより、遠隔操作を前提とする TAO 望遠鏡システムにより適したシステムへと改修された。複数あるハード的な改修のうち、(1) 冷凍機更新について新しい冷凍機に交換の後冷却試験を行ったところ、これまで 48 時間ほどかかっていた運用可能温度到達時間が 24 時間以下まで短縮した。これにより運用開始時および各種試験の時間の効率化が可能となった。(2) NICE はスリットに天体を導入し、露光中スリット上の天体位置の確認を行うためにスリットビューワが搭載されている。近赤外データの解析時の評価のために、スリットビューワのデータの同時取得を行う必要があるため、新しいスリットビューワへと更新した。(3) 今回の改修作業中に I-J フィルターの破損が確認された。そのため、ほぼ同仕様の新たな I-J フィルターを製作、インストールした。またこの機会に他のフィルターの透過特性の再測定も実施した。(4) TAO に移設した場合、視野サイズが変化するが、それに併せてスリットサイズの最適化も行う必要がある。これは運用やサイエンスにも関わるため、多方面からの検討を行っている。(5) TAO 望遠鏡に搭載するには専用のインターフェースが必要である。今後、NICE 以外の観測装置の搭載を鑑み、汎用の望遠鏡インターフェースを設計・製作した。これは SWIMS や MIMIZUKU の望遠鏡ナミス焦点への搭載時に使用する装置回転台車、装置取付台車などを共用できる構造となっている。

さらに NICE を用いたサイエンス検討も開始した。観測提案を募ったところ、太陽系天体から恒星、銀河、宇宙論に関するテーマまで 10 数件の提案があった。今後、効率的且つ最大限のサイエンスアウトプットを目指し、さらなる詳細検討を行う予定である。また、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進めている。

尚、上記 NICE の改修および TAO での観測性能概要については国際光工学会 2020 の集録に纏められている (Asano et al. 2020)。

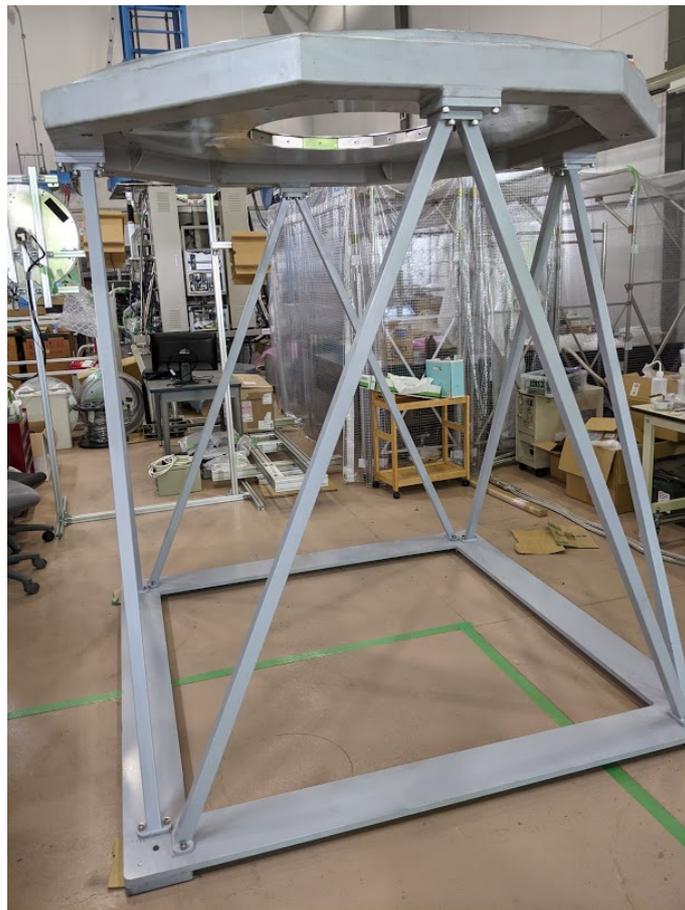


図 2.6: 小型観測装置用ナスミスインターフェース

2.6 論文及び出版物

2.6.1 英文報告

• Main journal

1. Akahori, T., Kitayama, T., Ueda, S., Izumi, T., Lee, K., Kawabe, R., Kohno, K., Oguri, M., and Takizawa, M., “Discovery of radio jets in the Phoenix galaxy cluster center”, 2020, PASJ 72, 62
2. Ao, Y., Zheng, Z., Henkel, C., Nie, S., Beelen, A., Cen, R., Dijkstra, M., Francis, P. J., Geach, J. E., Kohno, K., Lehnert, M. D., Menten, K. M., Wang, J., and Weiss, A., “Infalling gas in a Lyman- α blob”, 2020, NatAs 4, 670
3. Arimatsu, K., Hashimoto, G. L., Kagitani, M., Sakanoi, T., Kasaba, Y., Ohsawa, R., and Urakawa, S., “Evidence for a rapid decrease of Pluto’s atmospheric pressure revealed by a stellar occultation in 2019”, 2020, A&A 638, L5
4. Asano, T., Kodama, T., Motohara, K., Lubin, L., Lemaux, B. C., Gal, R., Tomczak, A., Kocevski, D., Hayashi, M., Koyama, Y., Tanaka, I., Suzuki, T. L., Yamamoto, N., Kimura, D., Konishi, M., Takahashi, H., Terao, Y., Kushibiki, K., Kono, Y., Yoshii, Y., and Swims Team, “Environmental Impact on Star-forming Galaxies in a $z \sim 0.9$ Cluster during the Course of Galaxy Accretion”, 2020, ApJ 899, 64
5. Bakx, T. J. L. C., Tamura, Y., Hashimoto, T., Inoue, A. K., Lee, M. M., Mawatari, K., Ota, K., Umehata, H., Zackrisson, E., Hatsukade, B., Kohno, K., Matsuda, Y., Matsuo, H., Okamoto, T., Shibuya, T., Shimizu, I., Taniguchi, Y., and Yoshida, N., “ALMA uncovers the [C II] emission and warm dust continuum in a $z = 8.31$ Lyman break galaxy”, 2020, MNRAS 493, 4294
6. Barnes, A. T., Kauffmann, J., Bigiel, F., Brinkmann, N., Colombo, D., Guzmán, A. E., Kim, W. J., Szűcs, L., Wakelam, V., Aalto, S., Albertsson, T., Evans, N. J., Glover, S. C. O., Goldsmith, P. F., Kramer, C., Menten, K., Nishimura, Y., Viti, S., Watanabe, Y., Weiss, A., Wienen, M., Wiesemeyer, H., and Wyrowski, F., “LEGO - II. A 3 mm molecular line study covering 100 pc of one of the most actively star-forming portions within the Milky Way disc”, 2020, MNRAS 497, 1972
7. Binggeli, C., Inoue, A. K., Hashimoto, T., Toribio, M. C., Zackrisson, E., Ramstedt, S., Mawatari, K., Harikane, Y., Matsuo, H., Okamoto, T., Ota, K., Shimizu, I., Tamura, Y., Taniguchi, Y., and Umehata, H., “A puzzling non-detection of [O III] and [C II] from a $z \approx 7.7$ galaxy observed with ALMA”, 2021, A&A 646, A26
8. Caputi, K. I., Caminha, G. B., Fujimoto, S., Kohno, K., Sun, F., Egami, E., Deshmukh, S., Tang, F., Ao, Y., Bradley, L., Coe, D., Espada, D., Grillo, C., Hatsukade, B., Knudsen, K. K., Lee, M. M., Magdis, G. E., Morokuma-Matsui, K., Oesch, P., Ouchi, M., Rosati, P., Umehata, H., Valentino, F., Vanzella, E., Wang, W.-H., Wu, J. F., and Zitrin, A., “ALMA Lensing Cluster Survey : An ALMA Galaxy Signposting a MUSE Galaxy Group at $z = 4.3$ Behind “El Gordo””, 2021, ApJ 908, 146
9. Chao, D. C.-Y., Chan, J. H.-H., Suyu, S. H., Yasuda, N., More, A., Oguri, M., Morokuma, T., and Jaelani, A. T., “Lensed quasar search via time variability with the HSC transient survey”, 2020, A&A 640, A88

10. Franco, M., Elbaz, D., Zhou, L., Magnelli, B., Schreiber, C., Ciesla, L., Dickinson, M., Nagar, N., Magdis, G., Alexander, D. M., Béthermin, M., Demarco, R., Daddi, E., Wang, T., Mullaney, J., Sargent, M., Inami, H., Shu, X., Bournaud, F., Chary, R., Coogan, R. T., Ferguson, H., Finkelstein, S. L., Giavalisco, M., Gómez-Guijarro, C., Iono, D., Juneau, S., Lagache, G., Lin, L., Motohara, K., Okumura, K., Pannella, M., Papovich, C., Pope, A., Rujopakarn, W., Silverman, J., and Xiao, M., “GOODS-ALMA : The slow downfall of star formation in $z = 2-3$ massive galaxies”, 2020, *A&A* 643, A30
11. Franco, M., Elbaz, D., Zhou, L., Magnelli, B., Schreiber, C., Ciesla, L., Dickinson, M., Nagar, N., Magdis, G., Alexander, D. M., Béthermin, M., Demarco, R., Daddi, E., Wang, T., Mullaney, J., Inami, H., Shu, X., Bournaud, F., Chary, R., Coogan, R. T., Ferguson, H., Finkelstein, S. L., Giavalisco, M., Gómez-Guijarro, C., Iono, D., Juneau, S., Lagache, G., Lin, L., Motohara, K., Okumura, K., Pannella, M., Papovich, C., Pope, A., Rujopakarn, W., Silverman, J., and Xiao, M., “GOODS-ALMA : Using IRAC and VLA to probe fainter millimeter galaxies”, 2020, *A&A* 643, A53
12. Harikane, Y., Ouchi, M., Inoue, A. K., Matsuoka, Y., Tamura, Y., Bakx, T., Fujimoto, S., Moriwaki, K., Ono, Y., Nagao, T., Tadaki, K., Ichi, T., Kojima, T., Shibuya, T., Egami, E., Ferrara, A., Gallerani, S., Hashimoto, T., Kohno, K., Matsuda, Y., Matsuo, H., Pallottini, A., Sugahara, Y., and Vallini, L., “Large Population of ALMA Galaxies at $z \sim 6$ with Very High [O III] $88 \mu\text{m}$ to [C II] $158 \mu\text{m}$ Flux Ratios : Evidence of Extremely High Ionization Parameter or PDR Deficit?”, 2020, *ApJ* 896, 93
13. Hatsukade, B., Morokuma-Matsui, K., Hayashi, M., Tominaga, N., Tamura, Y., Niinuma, K., Motogi, K., Morokuma, T., and Matsuda, Y., “Spatially resolved molecular gas properties of host galaxy of Type I superluminous supernova SN 2017egm”, 2020, *PASJ* 72, L6
14. Horiuchi, T., Morokuma, T., Misawa, T., Hanayama, H., and Kawaguchi, T., “A Comparison of Properties of Quasars with and without Rapid Broad Absorption Line Variability”, 2020, *AJ* 159, 237
15. Inoue, K. T., Matsushita, S., Nakanishi, K., and Minezaki, T., “ALMA 50-parsec-resolution Imaging of Jet-ISM Interaction in the Lensed Quasar MG J0414+0534”, 2020, *ApJL* 892, L18
16. Ishikawa, S., Kashikawa, N., Tanaka, M., Coupon, J., Leauthaud, A., Toshikawa, J., Ichikawa, K., Oogi, T., Uchiyama, H., Niino, Y., and Nishizawa, A. J., “The Subaru HSC Galaxy Clustering with Photometric Redshift. I. Dark Halo Masses versus Baryonic Properties of Galaxies at $0.3 \leq z \leq 1.4$ ”, 2020, *ApJ* 904, 128
17. Ishino, T., Matsuoka, Y., Koyama, S., Saeda, Y., Strauss, M. A., Goulding, A. D., Imanishi, M., Kawaguchi, T., Minezaki, T., Nagao, T., Noboriguchi, A., Schramm, M., Silverman, J. D., Taniguchi, Y., and Toba, Y., “Subaru Hyper Suprime-Cam view of quasar host galaxies at $z < 1$ ”, 2020, *PASJ* 72, 83
18. Ita, Y., Menzies, J. W., Whitelock, P. A., Matsunaga, N., Takayama, M., Nakada, Y., Tanabé, T., Feast, M. W., and Nagayama, T., “Light and colour variations of Mira variables in the Small Magellanic Cloud”, 2021, *MNRAS* 500, 82
19. Itoh, R., Utsumi, Y., Inoue, Y., Ohta, K., Doi, A., Morokuma, T., Kawabata, K. S., and Tanaka, Y. T., “Blazar Radio and Optical Survey (BROS) : A Catalog of Blazar Candidates Showing Flat Radio Spectrum and Their Optical Identification in Pan-STARRS1 Surveys”, 2020, *ApJ* 901, 3

20. Izumi, T., Nguyen, D. D., Imanishi, M., Kawamuro, T., Baba, S., Nakano, S., Kohno, K., Matsushita, S., Meier, D. S., Turner, J. L., Michiyama, T., Harada, N., Martín, S., Nakanishi, K., Takano, S., Wiklind, T., Nakai, N., and Hsieh, P.-Y., “ALMA Observations of Multiple CO and C Lines toward the Active Galactic Nucleus of NGC 7469 : An X-Ray-dominated Region Caught in the Act”, 2020, *ApJ* 898, 75
21. Izumi, T., Onoue, M., Matsuoka, Y., Strauss, M. A., Fujimoto, S., Umehata, H., Imanishi, M., Kawamuro, T., Nagao, T., Toba, Y., Kohno, K., Kashikawa, N., Inayoshi, K., Kawaguchi, T., Iwasawa, K., Inoue, A. K., Goto, T., Baba, S., Schramm, M., Suh, H., Harikane, Y., Ueda, Y., Silverman, J. D., Hashimoto, T., Hashimoto, Y., Ikarashi, S., Iono, D., Lee, C.-H., Lee, K., Minezaki, T., Nakanishi, K., Nakano, S., Tamura, Y., and Tang, J.-J., “Subaru High-z Exploration of Low-luminosity Quasars (SHELLQs). XII. Extended [C II] Structure (Merger or Outflow) in a $z = 6.72$ Red Quasar”, 2021, *ApJ* 908, 235
22. Jian, M., Taniguchi, D., Matsunaga, N., Kobayashi, N., Ikeda, Y., Yasui, C., Kondo, S., Sameshima, H., Hamano, S., Fukue, K., Arai, A., Otsubo, S., and Kawakita, H., “The effect of surface gravity on line-depth ratios in the wavelength range $0.97\text{--}1.32\ \mu\text{m}$ ”, 2020, *MNRAS* 494, 1724
23. Kamenon, S., Sawada-Satoh, S., Impellizzeri, C. M. V., Espada, D., Nakai, N., Sugai, H., Terashima, Y., Kohno, K., Lee, M., and Martín, S., “A Massive Molecular Torus inside a Gas-poor Circumnuclear Disk in the Radio Galaxy NGC 1052 Discovered with ALMA”, 2020, *ApJ* 895, 73
24. Kamizuka, T., Nakada, Y., Yanagisawa, K., Ohsawa, R., Ita, Y., Izumiura, H., Mito, H., Onozato, H., Asano, K., Ueta, T., and Miyata, T., “Long-term Near-infrared Brightening of Nonvariable OH/IR Stars”, 2020, *ApJ* 897, 42
25. Kataoka, J., Yamamoto, M., Nakamura, Y., Ito, S., Sofue, Y., Inoue, Y., Nakamori, T., and Totani, T., “Origin of Galactic Spurs : New Insight from Radio/X-Ray All-sky Maps”, 2021, *ApJ* 908, 14
26. Kato, N., Matsuoka, Y., Onoue, M., Koyama, S., Toba, Y., Akiyama, M., Fujimoto, S., Imanishi, M., Iwasawa, K., Izumi, T., Kashikawa, N., Kawaguchi, T., Lee, C.-H., Minezaki, T., Nagao, T., Noboriguchi, A., and Strauss, M. A., “Subaru High-z Exploration of Low-Luminosity Quasars (SHELLQs). IX. Identification of two red quasars at $z > 5.6$ ”, 2020, *PASJ* 72, 84
27. Kimura, Y., Yamada, T., Kokubo, M., Yasuda, N., Morokuma, T., Nagao, T., and Matsuoka, Y., “Properties of AGN Multiband Optical Variability in the HSC SSP Transient Survey”, 2020, *ApJ* 894, 24
28. Kitayama, T., Ueda, S., Akahori, T., Komatsu, E., Kawabe, R., Kohno, K., Takakuwa, S., Takizawa, M., Tsutsumi, T., and Yoshikawa, K., “Deeply cooled core of the Phoenix galaxy cluster imaged by ALMA with the Sunyaev-Zel’dovich effect”, 2020, *PASJ* 72, 33
29. Koda, J., Sawada, T., Sakamoto, K., Hirota, A., Egusa, F., Boissier, S., Calzetti, D., Meyer, J. D., Elmegreen, B. G., de Paz, A. G., Harada, N., Ho, L. C., Kobayashi, M. I. N., Kuno, N., Martín, S., Muraoka, K., Nakanishi, K., Scoville, N., Seibert, M., Vlahakis, C., and Watanabe, Y., “Systematic Variations of CO $J = 2\text{-}1/1\text{-}0$ Ratio and Their Implications in The Nearby Barred Spiral Galaxy M83”, 2020, *ApJL* 890, L10
30. 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., and 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
31. Kokubo, M. and Minezaki, T., “Rapid luminosity decline and subsequent reformation of the innermost dust distribution in the changing-look AGN Mrk 590”, 2020, MNRAS 491, 4615
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.tmp
33. Lee, M. M., Tanaka, I., Iono, D., Kawabe, R., Kodama, T., Kohno, K., Saito, T., and Tamura, Y., “Revisited Cold Gas Content with Atomic Carbon [C I] in $z = 2.5$ Protocluster Galaxies”, 2021, ApJ 909, 181
34. Mena, G., Yoshikawa, K., Pastén, C., Ochoa, F., Yoshii Y., Doi M., Miyata T., Takahashi H., Casassa, G., Sone, T., “Freeze-thaw cycles and snow impact at arid permafrost region in Chajnantor Volcano, Atacama, northern Chile”, 2021, Arctic, Antarctic, and Alpine Research, 53, 60–66
35. Mitsuhashi, I., Matsuda, Y., Smail, I., Hayatsu, N. H., Simpson, J. M., Swinbank, A. M., Umehata, H., Dudzevičiūtė, U., Birkin, J. E., Ikarashi, S., Chen, C.-C., Tadaki, K., Yajima, H., Harikane, Y., Inami, H., Chapman, S. C., Hatsukade, B., Iono, D., Bunker, A., Ao, Y., Saito, T., Ueda, J., and Sakamoto, S., “FIR-luminous [C II] Emitters in the ALMA-SCUBA-2 COSMOS Survey (AS2COSMOS) : The Nature of Submillimeter Galaxies in a 10 Comoving Megaparsec-scale Structure at $z \sim 4.6$ ”, 2021, ApJ 907, 122
36. Momose, R., Shimasaku, K., Kashikawa, N., Nagamine, K., Shimizu, I., Nakajima, K., Terao, Y., Kusakabe, H., Ando, M., Motohara, K., and Spitler, L., “Environmental Dependence of Galactic Properties Traced by Ly α Forest Absorption : Diversity among Galaxy Populations”, 2021, ApJ 909, 117
37. Mori, T. and Kataoka, A., “Modeling of the ALMA HL Tau Polarization by Mixture of Grain Alignment and Self-scattering”, 2021, ApJ 908, 153
38. Morokuma-Matsui, K., Sorai, K., Sato, Y., Kuno, N., Takeuchi, T. T., Salak, D., Miyamoto, Y., Yajima, Y., Muraoka, K., and Kaneko, H., “CO Multi-line Imaging of Nearby Galaxies (COMING). X. Physical conditions of molecular gas and the local SFR–mass relation”, 2020, PASJ 72, 90
39. Morokuma, T., Utsumi, Y., Ohta, K., Yamanaka, M., Kawabata, K. S., Inoue, Y., Tanaka, M., Yoshida, M., Itoh, R., Sasada, M., Tominaga, N., Mori, H., Kawabata, M., Nakaoka, T., Chogi, M., Abe, T., Huang, R., Kawahara, N., Kimura, H., Nagashima, H., Takagi, K., Yamazaki, Y., Liu, W., Ohsawa, R., Sako, S., Murata, K. L., Morihana, K., Gilligan, C. K., Isogai, K., Kimura, M., Wakamatsu, Y., Ohnishi, R., Takayama, M., Honda, S., Matsuoka, Y., Yamashita, T., Nagataki, S., and Tanaka, Y. T., “Follow-up observations for IceCube-170922A : Detection of rapid near-infrared variability and intensive monitoring of TXS 0506+056”, 2021, PASJ 73, 25
40. 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
41. Noda, H., Kawamuro, T., Kokubo, M., and Minezaki, T., “Dust reverberation mapping of type 2 AGN NGC 2110 realized with X-ray and 3–5 μm IR monitoring”, 2020, *MNRAS* 495, 2921
42. 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
43. Ohsawa, R., Hirota, A., Morita, K., Abe, S., Kastinen, D., Kero, J., Szasz, C., Fujiwara, Y., Nakamura, T., Nishimura, K., Sako, S., Watanabe, J.-ichi ., Aoki, T., Arima, N., Arimatsu, K., Doi, M., Ichiki, M., Ikeda, S., Ita, Y., Kasuga, T., Kobayashi, N., Kokubo, M., Konishi, M., Maehara, H., Miyata, T., Mori, Y., Morii, M., Morokuma, T., Motohara, K., Nakada, Y., Okumura, S.-. ichiro ., Sarugaku, Y., Sato, M., Shigeyama, T., Soyano, T., Takahashi, H., Tanaka, M., Tarusawa, K., Tominaga, N., Urakawa, S., Usui, F., Yamashita, T., and Yoshikawa, M., “Relationship between radar cross section and optical magnitude based on radar and optical simultaneous observations of faint meteors”, 2020, *P&SS* 194, 105011
44. Okabe, N., Dicker, S., Eckert, D., Mroczkowski, T., Gastaldello, F., Lin, Y.-T., Devlin, M., Romero, C. E., Birkinshaw, M., Sarazin, C., Horellou, C., Kitayama, T., Umetsu, K., Sereno, M., Mason, B. S., ZuHone, J. A., Honda, A., Akamatsu, H., Chiu, I.-N., Kohno, K., Lin, K.-Y., Medezinski, E., Miyazaki, S., Mitsuishi, I., Nishizawa, A. J., Oguri, M., Ota, N., Pacaud, F., Pierre, M., Sievers, J., Smolčić, V., Stanchfield, S., Tanaka, K., Yamamoto, R., Yang, C., and Yoshida, A., “Active gas features in three HSC-SSP CAMIRA clusters revealed by high angular resolution analysis of MUSTANG-2 SZE and XXL X-ray observations”, 2021, *MNRAS* 501, 1701
45. Pettitt, A. R., Dobbs, C. L., Baba, J., Colombo, D., Duarte-Cabral, A., Egusa, F., and Habe, A., “How do different spiral arm models impact the ISM and GMC population?”, 2020, *MNRAS* 498, 1159
46. Sameshima, H., Yoshii, Y., Matsunaga, N., Kobayashi, N., Ikeda, Y., Kondo, S., Hamano, S., Mizumoto, M., Arai, A., Yasui, C., Fukue, K., Kawakita, H., Otsubo, S., Bono, G., and Saviane, I., “Mg II and Fe II Fluxes of Luminous Quasars at $z \sim 2.7$ and the Evaluation of the Baldwin Effect in the Flux-to-abundance Conversion Method for Quasars”, 2020, *ApJ* 904, 162
47. 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”, 2021, *A&A* 646, A68
48. Scourfield, M., Viti, S., García-Burillo, S., Saintonge, A., Combes, F., Fuente, A., Henkel, C., Alonso-Herrero, A., Harada, N., Takano, S., Nakajima, T., Martín, S., Krips, M., van der Werf, P. P., Aalto, S., Usero, A., and Kohno, K., “ALMA observations of CS in NGC 1068 : chemistry and excitation”, 2020, *MNRAS* 496, 5308
49. Simpson, J. M., Smail, I., Dudzevičiūtė, U., Matsuda, Y., Hsieh, B.-C., Wang, W.-H., Swinbank, A. M., Stach, S. M., An, F. X., Birkin, J. E., Ao, Y., Bunker, A. J., Chapman, S. C., Chen, C.-C.,

- Coppin, K. E. K., Ikarashi, S., Ivison, R. J., Mitsuhashi, I., Saito, T., Umehata, H., Wang, R., and Zhao, Y., “An ALMA survey of the brightest sub-millimetre sources in the SCUBA-2-COSMOS field”, 2020, MNRAS 495, 3409
50. Sofue, Y., “Rotation Curve of the Milky Way and the Dark Matter Density”, 2020, Galax 8, 37
51. Sofue, Y., “Gravitational Focusing of Low-Velocity Dark Matter on the Earth’s Surface”, 2020, Galax 8, 42
52. Sofue, Y., “Dark Supernova Remnants Revealed by CO-Line Bubbles in the W43 Molecular Complex along the 4-kpc Galactic Arm”, 2021, Galax 9, 13
53. Sofue, Y., Kohno, M., and Umemoto, T., “Atlas of CO-line Shells and Cavities around Galactic Supernova Remnants with FUGIN”, 2021, ApJS 253, 17
54. Sofue, Y., “Galactic Center threads as nuclear magnetohydrodynamic waves”, 2020, PASJ 72, L4
55. Sofue, Y., “Dark supernova remnant”, 2020, PASJ 72, L11
56. Sofue, Y., “Focusing magnetohydrodynamic waves as a trigger of star formation”, 2020, PASJ 72, 21
57. Sofue, Y., “CO line and radio continuum study of elephant trunks : the Pillars of Creation in M16”, 2020, MNRAS 492, 5966
58. Sofue, Y. and Kohno, M., “CO-to-H₂ conversion and spectral column density in molecular clouds : the variability of the X_{CO} factor”, 2020, MNRAS 497, 1851
59. Sofue, Y., “Feedback between Sgr A and B : AGN-starburst connection in the galactic centre”, 2020, MNRAS 498, 1335
60. Tadaki, K.-ichi., Iono, D., Yun, M. S., Aretxaga, I., Hatsukade, B., Lee, M. M., Michiyama, T., Nakanishi, K., Saito, T., Ueda, J., and Umehata, H., “A Nonrotating Gas Component in an Extreme Starburst at $z = 4.3$ ”, 2020, ApJ 889, 141
61. Tadaki, K.-ichi., Belli, S., Burkert, A., Dekel, A., Förster Schreiber, N. M., Genzel, R., Hayashi, M., Herrera-Camus, R., Kodama, T., Kohno, K., Koyama, Y., Lee, M. M., Lutz, D., Mowla, L., Nelson, E. J., Renzini, A., Suzuki, T. L., Tacconi, L. J., Übler, H., Wisnioski, E., and Wuyts, S., “Structural Evolution in Massive Galaxies at $z \sim 2$ ”, 2020, ApJ 901, 74
62. Tajiri, T., Kawahara, H., Aizawa, M., Fujii, M. S., Hattori, K., Kasagi, Y., Kotani, T., Masuda, K., Momose, M., Muto, T., Ohsawa, R., and Takita, S., “Dippers from the TESS Full-frame Images. I. Results of the First One Year Data and Discovery of a Runaway Dipper”, 2020, ApJS 251, 18
63. Takekoshi, T., Karatsu, K., Suzuki, J., Tamura, Y., Oshima, T., Taniguchi, A., Asayama, S., Bakx, T. J. L. C., Baselmans, J. J. A., Bosma, S., Bueno, J., Chin, K. W., Fujii, Y., Fujita, K., Huiting, R., Ikarashi, S., Ishida, T., Ishii, S., Kawabe, R., Klapwijk, T. M., Kohno, K., Kouchi, A., Llombart, N., Maekawa, J., Murugesan, V., Nakatsubo, S., Naruse, M., Ohtawara, K., Pascual Laguna, A., Suzuki, K., Thoen, D. J., Tsukagoshi, T., Ueda, T., de Visser, P. J., van der Werf, P. P., Yates, S. J. C., Yoshimura, Y., Yurduseven, O., and Endo, A., “DESHIMA on ASTE : On-Sky Responsivity Calibration of the Integrated Superconducting Spectrometer”, 2020, JLTP 199, 231

64. Takekoshi, T., Karatsu, K., Suzuki, J., Tamura, Y., Oshima, T., Taniguchi, A., Asayama, S., Bakx, T. J. L. C., Baselmans, J. J. A., Bosma, S., Bueno, J., Chin, K. W., Fujii, Y., Fujita, K., Huiting, R., Ikarashi, S., Ishida, T., Ishii, S., Kawabe, R., Klapwijk, T. M., Kohno, K., Kouchi, A., Llombart, N., Maekawa, J., Murugesan, V., Nakatsubo, S., Naruse, M., Ohtawara, K., Pascual Laguna, A., Suzuki, K., Thoen, D. J., Tsukagoshi, T., Ueda, T., de Visser, P. J., van der Werf, P. P., Yates, S. J. C., Yoshimura, Y., Yurduseven, O., and Endo, A., “DESHIMA on ASTE : On-Sky Responsivity Calibration of the Integrated Superconducting Spectrometer”, 2020, *Journal of Low Temperature Physics*, 199, 231
65. Tampo, Y., Tanaka, M., Maeda, K., Yasuda, N., Tominaga, N., Jiang, J.-an ., Moriya, T. J., Morokuma, T., Suzuki, N., Takahashi, I., Kokubo, M., and Kawana, K., “Rapidly Evolving Transients from the Hyper Suprime-Cam SSP Transient Survey”, 2020, *ApJ* 894, 27
66. Teklu, B. B., Gao, Y., Kong, X., Lin, Z., and Liang, Z., “The Local Star Formation Rate Surface Density and Metallicity Relation for Star-forming Galaxies”, 2020, *ApJ* 897, 61
67. Umehata, H., Smail, I., Swinbank, A. M., Kohno, K., Tamura, Y., Wang, T., Ao, Y., Hatsukade, B., Kubo, M., Nakanishi, K., and Hayatsu, N. N., “ALMA Deep Field in SSA22. A near-infrared-dark submillimeter galaxy at $z = 4.0$ ”, 2020, *A&A* 640, L8
68. Uno, S., Takekoshi, T., Oshima, T., Yoshioka, K., Chin, K. W., Kohno, K., “Demonstration of wide-band metal mesh filters for submillimeter astrophysics using flexible printed circuits”, 2020, *Appl. Opt.*, 59, 13, 4143
69. Ushio, K., Ohta, K., Maeda, F., Hatsukade, B., and Yabe, K., “Internal Structure of Molecular Gas in a Main-sequence Galaxy With a UV Clump at $z = 1.45$ ”, 2021, *ApJ* 909, 84
70. 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., 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*.tmp
71. Yamaguchi, Y., Kohno, K., Hatsukade, B., Wang, T., Yoshimura, Y., Ao, Y., Dunlop, J. S., Egami, E., Espada, D., Fujimoto, S., Hayatsu, N. H., Ivison, R. J., Kodama, T., Kusakabe, H., Nagao, T., Ouchi, M., Rujopakarn, W., Tadaki, K.-ichi ., Tamura, Y., Ueda, Y., Umehata, H., and Wang, W.-H., “ALMA twenty-six arcmin² survey of GOODS-S at one millimeter (ASAGAO) : Millimeter properties of stellar mass selected galaxies”, 2020, *PASJ* 72, 69
72. Yamashita, T., Nagao, T., Ikeda, H., Toba, Y., Kajisawa, M., Ono, Y., Tanaka, M., Akiyama, M., Harikane, Y., Ichikawa, K., Kawaguchi, T., Kawamuro, T., Kohno, K., Lee, C.-H., Lee, K., Matsuoka, Y., Niida, M., Ogura, K., Onoue, M., and Uchiyama, H., “A Wide and Deep Exploration of Radio Galaxies with Subaru HSC (WERGS). III. Discovery of a $z = 4.72$ Radio Galaxy with the Lyman Break Technique”, 2020, *AJ* 160, 60
73. Yasui, C., Kobayashi, N., Saito, M., Izumi, N., and Skidmore, W., “Low-metallicity Young Clusters in the Outer Galaxy. III. Sh 2-127”, 2021, *AJ* 161, 139

74. Zhang, Y., Li, H.-B., L'uh, D., Takekoshi, T., Oshima, T., Gu, Q., "Atacama sub-millimeter telescope experiment polarimeter (APol) I : design and lab-test result", 2020, *Appl. Opt.*, 59, 8, 2593
75. Zhou, L., Elbaz, D., Franco, M., Magnelli, B., Schreiber, C., Wang, T., Ciesla, L., Daddi, E., Dickinson, M., Nagar, N., Magdis, G., Alexander, D. M., Béthermin, M., Demarco, R., Mullaney, J., Bournaud, F., Ferguson, H., Finkelstein, S. L., Giavalisco, M., Inami, H., Iono, D., Juneau, S., Lagache, G., Messias, H., Motohara, K., Okumura, K., Pannella, M., Papovich, C., Pope, A., Rujopakarn, W., Shi, Y., Shu, X., and Silverman, J., "GOODS-ALMA : Optically dark ALMA galaxies shed light on a cluster in formation at $z = 3.5$ ", 2020, *A&A* 642, A155

• Proceedings

1. Asano, K., Tanaka, M., Takahashi, H., Sameshima, H., Nishimura, A., Aoki, T., Doi, M., Hatsukade, B., Kato, N., Kamizuka, T., Kohno, K., Konishi, M., Minezaki, T., Miyata, T., Morokuma, T., Numata, M., Sako, S., Motohara, K., Soyano, T., Tanabé, T., Tarusawa, K., Koshida, S., and Yoshii, Y., "The University of Tokyo Atacama Observatory 6.5m telescope : update of the Near-Infrared Echelle Spectrograph NICE as a first light instrument", 2020, *Proc SPIE*, 11447, 114476I
2. Collao, J., Miyata, T., Yoshii, Y., Doi, M., Kohno, K., Tanaka, M., Minezaki, T., Sako, S., Morokuma, T., Tanabe, T., Hatsukade, B., Konishi, M., Kamizuka, T., Asano, K., Sameshima, H., Kato, N., Numata, M., Takahashi, H., Aoki, T., Soyano, T., Tarusawa, K., Iwano, H., Hamamichi, Y., and Mastubara, O., "The University of Tokyo Atacama Observatory 6.5m telescope : Safety management at the extremely high altitude at Chajnantor mountain", 2020, *Proc SPIE*, 11445, 1144567
3. Hatsukade, B., Kohno, K., Yamaguchi, Y., Umehata, H., Ao, Y., Aretxaga, I., Caputi, K. I., Dunlop, J. S., Egami, E., Espada, D., Fujimoto, S., Hayatsu, N., Hughes, D. H., Ikarashi, S., Iono, D., Ivison, R. J., Kawabe, R., Kodama, T., Lee, M., Matsuda, Y., Nakanishi, K., Ohta, K., Ouchi, M., Rujopakarn, W., Suzuki, T., Tamura, Y., Ueda, Y., Wang, T., Wang, W.-H., Wilson, G. W., Yoshimura, Y., Yun, M. S., and Asagao Team, "ALMA twenty-six arcmin² survey of GOODS-S at one millimeter (ASAGAO)", 2020, *Uncovering Early Galaxy Evolution in the ALMA and JWST Era. Proceedings of the International Astronomical Union, Volume 352*, pp. 239–240
4. Honda, M., Kamizuka, T., Jikuya, I., Miyata, T., Kato, K., Uchida, D., Kondo, S., Michifuji, T., and Yamada, K., "Development of a cold chopper for TAO/MIMIZUKU", 2020, *Proc SPIE*, 11451, 114514Z
5. Izumi, T., Onoue, M., Matsuoka, Y., Nagao, T., Strauss, M. A., Imanishi, M., Kashikawa, N., Fujimoto, S., Kohno, K., Toba, Y., Umehata, H., Goto, T., Ueda, Y., Shirakata, H., Silverman, J. D., Greene, J. E., Harikane, Y., Hashimoto, Y., Ikarashi, S., Iono, D., Iwasawa, K., Lee, C.-H., Minezaki, T., Nakanishi, K., Tamura, Y., Tang, J.-J., and Taniguchi, A., "Rapid evolution and transformation into quiescence? : ALMA view on $z > 6$ low-luminosity quasars", 2020, *Uncovering Early Galaxy Evolution in the ALMA and JWST Era. Proceedings of the International Astronomical Union, Volume 352*, pp. 139–143
6. Kamizuka, T., "Engineering observations of MIMIZUKU at Subaru", 2020, *Ground-Based Thermal Infrared Astronomy - Past 23*.
7. Kamizuka, T., Miyata, T., Sako, S., Ohsawa, R., Asano, K., Uchiyama, M. S., Mori, T., Yoshida, Y., Tachibana, K., Michifuji, T., Uchiyama, M., Sakon, I., Onaka, T., Kataza, H., Aoki, T., Doi,

- M., Hatsukade, B., Kato, N., Kohno, K., Konishi, M., Minezaki, T., Morokuma, T., Numata, M., Motohara, K., Sameshima, H., Soyano, T., Takahashi, H., Tanabé, T., Tanaka, M., Tarusawa, K., Koshida, S., Tamura, Y., Terao, Y., Kushibiki, K., Nakamura, H., and Yoshii, Y., “The University of Tokyo Atacama Observatory 6.5m telescope : On-sky performance evaluations of the mid-infrared instrument MIMIZUKU on the Subaru telescope”, 2020, Proc SPIE, 11447, 114475X
8. Kingsley, J., Strittmatter, P., Gonzales, K., Connors, T., Kingsley, B., Jannuzi, B., Yoshii, Y., Minezaki, T., “A domeless, mobile 2-meter telescope”, 2020, Proceedings of SPIE conference, 11445E, 3KK
 9. Kohno K., Kawabe, R., Tamura Y., Endo A., Baselmans J. J. A., Karatsu K., Inoue A., Moriwaki K., Hayatsu N. H., Yoshida N., Hatsukade B., Umehata H., Oshima T., Takekoshi T., Taniguchi A., Klaassen P., Mroczkowski T., Cicone C., Bertoldi F., Dannerbauer H., Tosaki T. : “Large format imaging spectrograph for the Large Submillimeter Telescope (LST)” 2020, Proceedings of SPIE, Volume 11453, id.114530N, 11 pp.
 10. Konishi, M., Motohara, K., Takahashi, H., Kato, N., Kushibiki, K., Nakamura, H., Chen, N., Kodama, T., Hayashi, M., Tanaka, I., Tadaki, K.-. ichi ., Toshikawa, J., Koyama, Y., Shimakawa, R., Suzuki, T. L., Asano, T., Okita, H., Koshida, S., Tateuchi, K., Todo, S., Kobayakawa, Y., Kitagawa, Y., Ohashi, H., Kono, Y., Terao, Y., Aoki, T., Asano, K., Doi, M., Hatsukade, B., Kamizuka, T., Kohno, K., Minezaki, T., Miyata, T., Morokuma, T., Numata, M., Sako, S., Sameshima, H., Soyano, T., Tanabé, T., Tanaka, M., Tarusawa, K., Ohsawa, R., Tachibana, K., Michifuji, T., and Yoshii, Y., “The University of Tokyo Atacama Observatory 6.5m telescope : On-sky performance of the near-infrared instrument SWIMS on the Subaru telescope”, 2020, Proc SPIE, 11447, 114475H
 11. Kushibiki, K., Hosobata, T., Takeda, M., Yamagata, Y., Morita, S.-. ya ., Motohara, K., Ozaki, S., Tsuzuki, T., Takahashi, H., Kono, Y., Konishi, M., Kato, N. M., Terao, Y., and Nakamura, H., “Fabrication of mirror arrays with an ultra-precision cutting technique for a near-infrared integral field unit SWIMS-IFU”, 2020, Proc SPIE, 11451, 114512Y
 12. Maccagni, F. M., Serra, P., Murgia, M., Govoni, F., Morokuma-Matsui, K., and Kleiner, D., “The recurrent nuclear activity of Fornax A and its interaction with the cold gas”, 2021, Galaxy Evolution and Feedback across Different Environments. Proceedings of the International Astronomical Union, Volume 359, pp. 141–146
 13. Michifuji, T., Kamizuka, T., Miyata, T., Sako, S., Ohsawa, R., Asano, K., Uchiyama, M. S., Mori, T., Yoshida, Y., Tachibana, K., and Uchiyama, M., “Development of flat fielding method in MIR for accurate photometry with TAO/MIMIZUKU”, 2020, Proc SPIE, 11447, 114479M
 14. Minezaki, T., Kono, Y., Vanzi, L., Zapata, A., Flores, M., Ramirez, S., Ohnaka, K., “Development of an experimental optical adaptive optics for small telescopes”, 2020, Proceedings of SPIE conference, 11448E, 6ZM
 15. Minezaki, T., Morokuma, T., Yoshii, Y., Doi, M., Miyata, T., Kohno, K., Tanaka, M., Motohara, K., Sako, S., Tanabe, T., Hatsukade, B., Konishi, M., Takahashi, H., Kamizuka, T., Sameshima, H., Asano, K., Kato, N., Numata, M., Aoki, T., Soyano, T., Tarusawa, K., Nishimura, M., Seki, T., Kajitani, N., Ikeda, Y., Yoshikawa, T., Matsumoto, Y., Nakamaru, S., “The University of Tokyo Atacama Observatory 6.5 m telescope : Development of the telescope and the control system”, 2020, Proceedings of SPIE conference, 11445E, 2RM

16. Miyata, T., “Mid infrared instrument MIMIZUKU for TAO 6.5m telescope”, 2020, Ground-Based Thermal Infrared Astronomy - Past 37.
17. Miyata, T., Yoshii, Y., Doi, M., Kohno, K., Tanaka, M., Motohara, K., Minezaki, T., Sako, S., Morokuma, T., Tanabe, T., Hatsukade, B., Takahashi, H., Kamizuka, T., Sameshima, H., Kato, N., Mumata, M., Aoki, T., Soyano, T., Tarusawa, K., Iwano, H., Hamamichi, Y., Matsubara, O., and Collao, J., “The University of Tokyo Atacama Observatory 6.5m telescope : site development”, 2020, Proc SPIE, 11445, 1144506
18. Motohara, K., Minowa, Y., Tanaka, I., Hattori, T., Koyama, Y., Konishi, M., Yanagisawa, K., Iwata, I., Wang, S.-Y., Chou, R. C. Y., Kimura, M., and Pazder, J., “ULTIMATE-Subaru : conceptual design of WFI, a near-infrared wide field imager”, 2020, SPIE 11447, 114470N.
19. Takahashi, H., Yoshii, Y., Doi, M., Miyata, T., Kohno, K., Tanaka, M., Motohara, K., Minezaki, T., Sako, S., Morokuma, T., Tanabé, T., Hatsukade, B., Konishi, M., Kamizuka, T., Asano, K., Sameshima, H., Kato, N., Numata, M., Aoki, T., Soyano, T., Tarusawa, K., Kawai, Y., and Ogawa, H., “The University of Tokyo Atacama Observatory 6.5m Telescope : Design of mirror coating system and its performances II”, 2020, Proc SPIE, 11445, 1144564
20. Tanaka, I., Ebizuka, N., Motohara, K., Hattori, T., Omata, K., Takahashi, H., Konishi, M., and Tanaka, Y., “Developing the wide-spectral coverage, very high-efficiency grisms for MOIRCS on Subaru Telescope”, 2020, SPIE 11451, 114515A.
21. Tamura, Y., Mawatari, K., Hashimoto, T., Inoue, A. K., Zackrisson, E., Christensen, L., Binggeli, C., Matsuda, Y., Matsuo, H., Takeuchi, T. T., Asano, R. S., Sunaga, K., Shimizu, I., Okamoto, T., Yoshida, N., Lee, M., Shibuya, T., Taniguchi, Y., Umehata, H., Hatsukade, B., Kohno, K., and Ota, K., “Detections of far-infrared [O III] and dust emission in a galaxy at $z = 8.312$: Early metal enrichment in the heart of the reionization era”, 2020, Challenges in Panchromatic Modelling with Next Generation Facilities. Proceedings of the International Astronomical Union, Volume 341, pp. 211–215
22. Tanaka, I., Ebizuka, N., Motohara, K., Hattori, T., Omata, K., Takahashi, H., Konishi, M., and Tanaka, Y., “Developing the wide-spectral coverage, very high-efficiency grisms for MOIRCS on Subaru Telescope”, 2020, Proceedings of the SPIE, Volume 11451, id. 114515A
23. Umehata, H., “ALMA Deep Field in the SSA22 proto-cluster at $z = 3$ ”, 2020, Uncovering Early Galaxy Evolution in the ALMA and JWST Era. Proceedings of the International Astronomical Union, Volume 352, pp. 157–161
24. Wada, T., Kaneda, H., Kokusho, T., Suzuki, T., Morihana, K., Tsuchikawa, T., Kuroda, Y., Ishikawa, D., Oyabu, S., Isobe, N., Ishihara, D., Matsuhara, H., Nagase, K., Nakagawa, T., Ootsubo, T., Yamagishi, M., Maeshima, H., Onishi, S., Matsumoto, K., Itoh, S., Uchiyama, M., Lau, R., Ebihara, H., Inami, H., Kawabata, K., Kasaba, Y., Sakanoi, T., Ita, Y., Akiyama, M., Sakon, I., Kamizuka, T., Miyata, T., Tsumura, K., Naruse, M., Ohyama, Y., Wang, S.-Y., and Shibai, H., “SPICA Mid-infrared Instrument (SMI) : The latest design and specifications”, 2020, SPIE 11443, 114436G.
25. Yoshii, Y., Doi, M., Miyata, T., Kohno, K., Tanaka, M., Minezaki, T., Sako, S., Morokuma, T., Tanabe, T., Hatsukade, B., Konishi, M., Kamizuka, T., Asano, K., Sameshima, H., Kato, N., Numata, M., Takahashi, H., Aoki, T., Soyano, T., Tarusawa, K., Yoshikawa, K., Motohara, K., Tamura, Y.,

Koshida, S., Handa, T., Bronfman, L., Ruiz, M., Hamuy, M., Mendez, R., and Escala, A., “The University of Tokyo Atacama Observatory 6.5m Telescope : overview and construction status”, 2020, Proceedings of the SPIE, Volume 11445, id. 1144514

26. Yoshikawa, K., Yoshii, Y., Doi, M., Miyata, T., Kohno, K., Tanaka, M., Motohara, K., Minezaki, T., Sako, S., Morokuma, T., Tanabe, T., Hatsukade, B., Konishi, M., Takahashi, H., Kamizuka, T., Sameshima, H., Kato, N., Numata, M., Aoki, T., Soyano, T., Tarusawa, K., Schorghofer, N., and Mena, G., “The University of Tokyo Atacama Observatory 6.5m telescope : Permafrost hazards and the high-altitude infrastructures”, 2020, Proc SPIE, 11445, 1144540

• Circulars & Telegrams

1. S. Melnikov, C. Hoegner, B. Stecklum. B. Stecklum. M. Jaeger, E. Prosperi, S. Prosperi. E. Prosperi. S. Foglia, G. Galli. G. Galli. L. Buzzzi. M. Tichy, J. Ticha. M. Tichy. J. Beniyama, S. Shigeyuki, R. Ohsawa, T. Morokuma. D. D. Balam. J. Camarasa. A. Mantero. R. Holmes. Measurers S. Foglia, L. Buzzzi, T. Linder, R. Holmes. M. Masek. H. Groeller. Measurers E. J. Christensen, G. A. Farneth, D. C. Fuls, A. R. Gibbs, A. D. Grauer, H. Groeller, R. A. Kowalski, S. M. Larson, G. J. Leonard, T. A. Pruyne, D. Rankin, R. L. Seaman, F. C. Shelly, K. W. Wierzchos. P. Birtwhistle. L. Grimm. G. Baj. G. Favero, R. Furgoni. R. Furgoni. R. Bacci. K. Korlevic. L. Hudin. X. Gao. Measurers M. Zhang, Z. Xu, Q.-Z. Ye. S. Urakawa, T. Fujiwara. D. Denisenko, H. Sato. C. Fornari. C. Jacques, E. Pimentel, J. Barros. C. Jacques. G. Wells. Measurers G. Wells, D. Bamberger. A. Mickleburgh., “MPEC 2020-G69 : 2020 GY1”, 2020, Minor Planet Electronic Circular, G69
2. S. Melnikov, C. Hoegner, B. Stecklum. B. Stecklum. M. Tichy, J. Ticha, M. Honkova. M. Tichy. S. Shigeyuki, J. Beniyama, R. Ohsawa, T. Morokuma. Y. Ivashchenko. T. Felber. H. Sato. R. Holmes. Measurers S. Foglia, L. Buzzzi, T. Linder, R. Holmes. D. C. Fuls. Measurers E. J. Christensen, G. A. Farneth, D. C. Fuls, A. R. Gibbs, A. D. Grauer, H. Groeller, R. A. Kowalski, S. M. Larson, G. J. Leonard, T. A. Pruyne, D. Rankin, R. L. Seaman, F. C. Shelly, K. W. Wierzchos. R. Bacci. T. Kluwak. K. Korlevic. L. Hudin. T. A. Bezluschenko. A. M. Kozhukhov. S. Okumura, T. Nimura., “MPEC 2020-H213 : 2020 HT7”, 2020, Minor Planet Electronic Circular, H213

[in press] • Main journal

1. Arima, N., Doi, M., Morokuma, T., Takanashi, N., “Intrinsic color diversity of nearby Type Ia supernovae”, 2021, PASJ, 73, 326
2. 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 in press (arXiv :2103.05867)
3. Yamagishi, M., Shimajiri, Y., Tokuda, K., Kawabe, R., Nakamura, F., Kamazaki, T., Nomura, H., Takekoshi, T., “ALMA view of the ρ Ophiuchi A PDR with a 360-au beam : the [CI] emission originate from the plane-parallel PDR and extended gas”, 2021, ApJ in press

投稿中のもの

- Main journal

1. Takekoshi, T., Tokuda, K., Fujita, S., Izumi, N., Kohno, K., Tosaki, T., Muraoka, K., Onishi, T., Minamidani, T., “Physical properties of compact CO clumps in the CO-deficient dust-selected clouds in the Small Magellanic Cloud”, 2021, submitted to ApJ

・集録

1. 井上修平, 大島泰, 陳家偉, 宇野慎介, 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」, 2021, 第40回天文学に関する技術シンポジウム2020集録
2. 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 : 「平面型直交モード変換器の帯域幅を制限する高次モード発生の解析」, 2021, 第40回天文学に関する技術シンポジウム2020集録

2.6.2 和文その他の解説記事

1. 江草美実・SPICAサイエンス検討会「近傍銀河・銀河系」班 : 「SPICAで見る近傍銀河と銀河系」, 2020, 天文月報, 757-765

2.7 学会, 研究会における発表

2.7.1 日本天文学会2020年秋季年会, 弘前大学(オンライン開催)(2020/09/08-09/10)

1. N22a : 橋健吾, 宮田隆志, 上塚貴史, 大澤亮(東京大学), 中川亜紀治(鹿児島大学), 瀧田怜(国立天文台), 内山瑞穂(宇宙科学研究所), 板由房(東北大学), 「AKARI, WISEによるダストに埋もれたAGB星の中間赤外線長期変光調査」
2. N27a : 上塚貴史, 中田好一, 大澤亮, 三戸洋之, 浅野健太郎, 宮田隆志(東京大学), 柳澤顕史, 泉浦秀行(国立天文台), 板由房(東北大学), 小野里宏樹(兵庫県立大学), 植田稔也(デンバー大学), 「非変光OH/IR星の近赤外線長期増光現象の発見」
3. P126a : 川邊良平(NAOJ), 吉村勇紀, 竹腰達哉, 廿日出文洋, 河野孝太郎(東大), 酒井剛(電気通信大), 田中邦彦(慶応大), 谷口暁星, 田村陽一(名古屋大), 大島泰, 島尻芳人(NAOJ), 前澤裕之, 米津鉄平(大阪府立大) David Hughes, David Sánchez-Arguelles, Arturo Gómez-Ruiz, Iván Rodríguez-Montoya, Javier Zaragoza-Cardiel, Edgar Colin, Miguel Chavez-Dagostino (INAOE), Pete Schloerb, Kamal Souccar, Min Yun (UMass), 「LMT50m鏡に搭載した2mm帯受信機B4Rによるオリオン分子雲(OMC-1)の高感度分子輝線マッピング観測 : デモ科学観測の概要と輝線同定」
4. P308a : 前澤裕之, 浜口優輝, 米津鉄平, 富原彩加, 西村淳(大阪府立大), 田中培生, 高橋英則(東京大学), 高橋幸弘, 佐藤光輝, 高木聖子, 大野辰遼(北海道大学), 今井正堯(産業総合技術研究所), 奥村真一郎(日本スペースガード協会), Yeon Joo Lee(Technical University of Berlin), 他 NICEグループ, 「近赤外中分散エッセル分光器/PIRKA望遠鏡による金星大気物質循環へのアプローチ」
5. V108a : 田村陽一, 萩本将都, 谷口暁星, 山本宏昭(名古屋大), 川邊良平, 鎌崎剛, 小嶋崇文(国立天文台), 酒井剛(電気通信大), 原田健一, 谷口達, 小関研介(エレクトクス工業), 田中邦彦(慶応大), 廿日出文洋, 竹腰達哉, 河野孝太郎, 吉村勇紀(東京大), 井上昭雄(早稲田大), 橋本拓也(筑波大), 他 FINERチーム, 「北半球最高感度ミリ波サブミリ波ヘテロダイン受信システムLMT-FINER I. デジタルサイドバンド分離広帯域分光計ファームウェアの開発」

6. V125a : 河野孝太郎, 廿日出文洋, 竹腰達哉, 江草芙実 (東京大学), 田村陽一, 谷口暁星 (名古屋大学), 井上昭雄 (早稲田大学), 川邊良平, 大島泰, 石井峻 (国立天文台), 遠藤光 (デルフト工科大学), 唐津謙一 (SRON), 梅畑豪紀 (理化学研究所), 濤崎智佳 (上越教育大学) ほか LST ワーキンググループ, 「Large Submillimeter Telescope (LST) : 5」
7. V204a : 酒向重行, 大澤亮, 諸隈智貴, 新納悠, 土居守, 茂山俊和, 小林尚人, 小西真広, 高橋英則, 近藤荘平, 森由貴, 青木勉, 紅山仁 (東京大学), 渡部潤一, 瀧田怜 (国立天文台), 富永望 (甲南大学), 田中雅臣 (東北大学), 奥村真一郎 (日本スペースガード協会), 池田思朗 (統計数理研), Tomo-e Gozen コラボレーション, 「木曾広視野 CMOS カメラ Tomo-e Gozen による広域動画サーベイ」
8. V205a : 道藤翼, 宮田隆志, 上塚貴史, 酒向重行, 大澤亮, 浅野健太郎, 橋健吾, 左近樹 (東京大学), 「TAO 6.5 m 望遠鏡用中間赤外線観測装置 MIMIZUKU : 二視野合成機構 Field Stacker を用いたフラット作成とその効能」
9. V207a : 松林 和也, 前田 啓一, 太田 耕司 (京都大学), 酒向 重行, 土居 守, 近藤 荘平, 小川 貴士, 紅山 仁 (東京大学), 「せいめい望遠鏡用 可視光 3 色同時撮像 CMOS カメラ TriCCS の開発」
10. X26a : 水越翔一郎, 河野孝太郎, 江草芙実, 廿日出文洋, 峰崎岳夫 (東京大学), 斎藤俊貴 (MPIA), 田村陽一 (名古屋大学), 伊王野大介, 植田準子, 松田有一, 川邊良平 (国立天文台), Minju Lee (MPE), Min S. Yun (UMASS), Daniel Espada (SKA), 「Physical Characterization of Serendipitously Uncovered mm-wave Line Emitting Galaxies behind the Local LIRG VV114」
11. X27a : 牛尾海登, 太田耕司, 前田郁弥 (京都大学), 矢部清人, 廿日出文洋 (東京大学), 「Molecular gas distribution in a main sequence galaxy with a UV clump at $z = 1.45$ 」
12. X29a : 櫛引洸佑 (東京大学), 本原顕太郎 (国立天文台, 東京大学), 小西真広, 高橋英則, 加藤夏子, 寺尾恭範, 中村洋貴, 陳諾 (東京大学), 沖田博文, 越田進太郎, 小山佑世, 田中壱 (国立天文台ハワイ観測所), 吉井讓 (東京大学, アリゾナ大学), 「近傍 LIRG の近赤外線複数輝線から探る銀河相互作用の影響」

2.7.2 日本天文学会 2021 年春季年会, 東京工業大学 (オンライン開催) (2021/03/16–03/19)

1. N11b : 有馬宣明, 土居守, 諸隈智貴, 高梨直紘 (東京大学), 「近傍 Ia 型超新星の intrinsic color & dust extinction の多様性」
2. N12a : 橋健吾, 宮田隆志, 上塚貴史, 大澤亮, 瀧田怜 (東京大学), 中川亜紀治 (鹿児島大学), 内山瑞穂 (宇宙科学研究所), 板由房 (東北大学), 「AKARI, WISE による AGB 星の中間赤外線長期変光調査」
3. N16a : 遠藤いずみ, 道藤翼, 左近樹, 宮田隆志 (東京大学), 大坪貴文 (国立天文台), Ryan Lau (ISAS/JAXA), 「WR125 の中間赤外線分光観測 - 天体のスリット上での捕獲位置による分光データへの影響とその補正」
4. P114b : 米津鉄平, 前澤裕之 (大阪府立大学), 川邊良平 (NAOJ), 吉村勇紀, 廿日出文洋, 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), Pete Schloerb, Kamal Souccar, Min Yun (UMass), 「2mm 帯受信機 B4R/LMT50m 望遠鏡搭載による Orion-KL 領域試験観測の解析報告」
5. R09b : 廣田晶彦 (国立天文台), 幸田仁 (Stony Brook U.), 江草芙実 (東京大学), 坂本和 (ASIAA), 澤田剛士 (国立天文台), 「Whole disk mapping of molecular clouds in M83」

6. R14a : Y. Nishimura (The University of Tokyo/NAOJ), S. Aalto, N. Falstad, K. Onishi, S. K. Onig (Chalmers University of Technology), and the CON-quest collaboration, 「Spatially and spectrally resolved HCN/HCO⁺ ratios in ultraluminous and luminous infrared galaxies from the CON-quest sample」
7. V202a : 田中壺 (Subaru Telescope)、海老塚昇 (理研)、本原顕太郎 (国立天文台)、児玉忠恭 (東北大学)、服部堯、小俣浩司、田中陽子 (Subaru Telescope)、高橋英則 (東大木曾観測所)、小西真広 (東大天文センター), 「MOIRCS に搭載された広帯域高効率な新グリズムの開発と性能評価」
8. V207a : 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, 本原顕太郎, 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, 上塚貴史, 高橋英則, 青木勉, 征矢野隆夫, 樽沢賢一, 加藤夏子, 鮫島寛明, 浅野健太郎 (東京大学), 「東京大学アタカマ天文台 TAO 6.5m 望遠鏡計画 現地建設進捗状況」
9. V208a : 酒向重行, 大澤亮, 諸隈智貴, 新納悠, 瀧田怜, 土居守, 茂山俊和, 小林尚人, 小西真広, 高橋英則, 近藤莊平, 森由貴, 青木勉, 紅山仁 (東京大学), 渡部潤一 (国立天文台), 富永望 (甲南大学), 田中雅臣 (東北大学), 奥村真一郎 (日本スペースガード協会), 池田思朗 (統計数理研), Tomo-e Gozen コラボレーション, 「木曾 Tomo-e Gozen の広域動画サーベイのデータ公開に向けた開発」
10. X02a : Shuo Huang (UTokyo/NAOJ), Ryohei Kawabe (NAOJ), Bunyo Hatsukade, Kotaro Kohno (UTokyo), Hideki Umehata (RIKEN), 「Galaxy SED Fitting using Nonparametric Star Formation History Model」
11. X08a : 萩本将都, 田村陽一, 谷口暁星, Tom Bakx, 松田慧一, 戸上陽平 (名古屋大学), 吉村勇紀, 廿日出文洋, 河野孝太郎 (東京大学), 酒井剛 (電気通信大学), 田中邦彦, (慶應義塾大学), 竹腰達哉 (北見工業大学), 大島泰, 川邊良平 (国立天文台), D. Hughes, D. Sánchez-Arguelles, A. Gómez-Ruiz, I. Rodríguez- Montoya, M. Chavez-Dagostino (INAOE), P. Schloerb, M. S. Yun (UMass) 他 LMT/B4R チーム, 「LMT/B4R の初期科学成果 : 極高光度サブミリ波銀河の一酸化炭素輝線観測」
12. X10b : 西村優里 (東京大学/国立天文台), 原田ななせ (国立天文台), 渡邊祥正 (芝浦工業大学), 下西隆 (新潟大学), 中島拓 (名古屋大学), 高野秀路 (日本大学), 小田川琢郎, 濤崎智佳 (上越教育大学), 石田剛, 河野孝太郎, 相川祐理, 山本智 (東京大学), 「重力レンズクェーサー Cloverleaf における 350 GHz 帯分子輝線サーベイ」
13. X13a : 三橋一輝 (東京大学), 松田有一 (国立天文台), 早津夏己 (Ecole Normale Superieure), 梅畑豪紀 (理化学研究所), 五十嵐創 (Durham University), 但木謙一, 伊王野大介, 植田準子, 阪本成一 (国立天文台), 矢島秀伸 (筑波大学), 播金優一, 廿日出文洋 (東京大学), 稲見華恵 (広島大学), 斎藤智樹 (兵庫県立大学), 「赤方偏移 4.6 の大規模構造におけるサブミリ波銀河の性質」
14. X14a : Hideki Umehata (RIKEN), Kotaro Kohno, Bunyo Hatsukade, Tao Wang (U. Tokyo), Kouichiro Nakanishi (NAOJ), Yoichi Tamura (Nagoya U.), Mariko Kubo (Ehime U.), Natsuki N. Hayatsu (Ecole Normale Superieure), Ian Smail, A.M. Swinbank (Durham U.), Yiping Ao (PMO), 「ALMA Deep Field in SSA22 :A near-infrared-dark submillimeter galaxy at z=4.0」
15. X15a : Mariko Kubo (Ehime University), Hideki Umehata (RIKEN), Charles C. Steidel (California Institute of Technology), Yuichi Matsuda (NAOJ), Masaru Kajisawa (Ehime University), Toru Yamada (JAXA/ISAS), Ichi Tanaka (NAOJ), Kotaro Kohno (University of Tokyo, IoA), Yoichi Tamura (Nagoya University), Kouichiro Nakanishi (NAOJ), Bunyo Hatsukade, Kianhong Lee (University of Tokyo, IoA), Keiichi Matsuda (Nagoya University), 「A massive quiescent galaxy confirmed in a protocluster at z=3.09」

16. X26a : Tom Bakx, Y. Tamura (Nagoya University), E. Zackrisson, I. Shimizu, T. Hashimoto, H. Umehata, A. Inoue, H. Matsuo, T. Okamoto, N. Yoshida, Y. Taniguchi, B. Hatsukade, Y. Matsuda, K. Mawatari, T. Shibuya, K. Kohno, K. Ota, M. Lee, 「Dust at high redshift; an observational perspective」
17. Y03a : 坂井郁哉 (サイエンスステーション, 東京大学), 丹羽佑果 (サイエンスステーション, 東京工業大学), 大島由佳, 宮田隆志, 吉井讓 (サイエンスステーション, 東京大学), 大澤亮, 高橋英則, 森由貴 (東京大学), 他銀河学校 2020 スタッフ, サイエンスステーション, 「高校生向け天文学実習「銀河学校」のオンライン実施報告」

2.7.3 JpGU - AGU Joint Meeting 2020 : Virtual, オンライン大会 (2020/07/12–16)

1. P-PS07 : Ryou Ohsawa, Jin Beniyama, Shigeyuki Sako, Seitaro Urakawa, Shin-ichiro Okumura, Jun-ichi Watanabe, Makoto Yoshikawa, and Tomoki Morokuma 「Near-Earth Asteroid Survey with Tomo-e Gozen」

2.7.4 国際研究会

1. Kamizuka T. : “Engineering observations of MIMIZUKU at Subaru”, 2020/10/12–16, “Ground-based thermal infrared astronomy - past, present and future”, online,
2. Michifuji T. : “Photometric accuracy with Multi-Field imager in MIR wavelength”, 2020/10/12–16, “Ground-based thermal infrared astronomy - past, present and future”, online,
3. Miyata T. : “Mid infrared instrument MIMIZUKU for TAO 6.5m telescope”, 2020/10/12–16, “Ground-based thermal infrared astronomy - past, present and future” (invited), online,
4. Tachibana, K. : “Investigation of mid-infrared long-term variability of dusty AGB stars by using AKARI and WISE data”, 2020/10/12–16, “Ground-based thermal infrared astronomy - past, present and future”, online,
5. Kohno K. : “Broader bandwidth – extragalactic science cases”, 2020/10/14–16, “The ALMA 2030 Vision : Design considerations for Digitizers, Backend and Data Transmission System” (invited), online
6. Hatsukade, B. : “Gamma-ray Bursts, Progenitors and Host Galaxies”, 2020/11/09–11, “International Research Network Extragalactic astrophysics and Cosmology (NECO) on-line Workshop : Probing the Universe with High and Very High Energy Sources” (invited), online
7. Kamizuka, T. : “The University of Tokyo Atacama Observatory 6.5m telescope : On-sky performance evaluations of the mid-infrared instrument MIMIZUKU on the Subaru telescope”, 2020/12/13–18, “SPIE Astronomical Telescopes + Instrumentation”, online
8. Kohno K., Kawabe, R., Tamura Y., Endo A., Baselmans J. J. A., Karatsu K., Inoue A., Moriwaki K., Hayatsu N. H., Yoshida N., Hatsukade B., Umehata H., Oshima T., Takekoshi T., Taniguchi A., Klaassen P., Mroczkowski T., Cicone C., Bertoldi F., Dannerbauer H., Tosaki T. : “Large format imaging spectrograph for the Large Submillimeter Telescope (LST)”, 2020/12/13–18, “SPIE digital forum, Astronomical Telescope + Instrumentation 2020”, on-line

9. Konishi, M. : “The University of Tokyo Atacama Observatory 6.5m telescope : On-sky performance of the near-infrared instrument SWIMS on the Subaru telescope”, 2020/12/13–18, “SPIE Astronomical Telescopes + Instrumentation”, online
10. Minezaki, T. : “The University of Tokyo Atacama Observatory 6.5 m telescope : Development of the telescope and the control system”, 2020/12/13–18, “Astronomical Telescopes + Instrumentation”, San Diego, USA (online)
11. Minezaki, T. : “Development of an experimental optical adaptive optics for small telescopes”, 2020/12/13–18, “Astronomical Telescopes + Instrumentation”, San Diego, USA (online)
12. Kohno K. : “Science Advisory Committee (SAC) report”, 2021/01/05–07, “ALMA/45m/ASTE Users Meeting 2020”, on-line
13. Kohno K. : “Future plans of KAKENHI program I : DESHIMA2.0 on ASTE campaign 2021”, 2021/01/05–07, “ALMA/45m/ASTE Users Meeting 2020”, on-line
14. Kohno K. and ASAGAO & ALCS collaboration : “Dust-enshrouded galaxies uncovered by ALMA deep surveys”, 2021/01/19–22, “CONquest workshop”, on-line
15. Nishimura Y. : “Spatially and spectrally resolved HCN/HCO⁺ ratios in the CONquest galaxies”, 2021/01/19, “CON-quest workshop 2021”, online
16. Kohno K. and DESHIMA/MOSAIC/B4R/FINER collaboration : “Uncovering obscured galaxies using Large Millimeter Telescope and ALMA”, 2021/01/31–02/02, “2nd International Colloquium of Mexican and Japanese Studies : Distance, Interconnectedness and Sharing”, on-line
17. Doi, M. Collao, J., on behalf of TAO project : “The University of Tokyo Atacama Observatory (TAO) Project”, 2021/03/03–04, “Chajnantor Working Group 2021”, online

2.7.5 国内研究会

1. 河野 : “Review : AGN observations” (招待講演), 2020/08/03–07, 銀河・銀河間ガス研究会 2020, オンライン
2. 諸隈智貴 : 「Tomo-e Gozen High-Cadence Transient Survey」, 2020/08/17–19, 2020 年度せいめいユーザーズミーティング+大学望遠鏡ユーザーズミーティング, オンライン
3. 新納悠 : 「高速カメラ TriCCS による Fast Radio Burst 可視光観測の可能性」, 2020/8/17–19, せいめいユーザーズミーティング, オンライン
4. 諸隈佳菜 : 「居住環境が銀河の低温星間物質・星形成の性質に与える影響」 (招待講演), 2020/08/24–27, 第50回天文・天体物理若手夏の学校, オンライン
5. 大澤亮 : 「東京大学木曾観測所 Tomo-e Gozen のデータ解析」, 2020/09/14–17, 2020 年度光学赤外線天文連絡会シンポジウム「データ解析の新展開 2020」, オンライン
6. 上塚 : 「地上中間赤外線データの活用への課題」, 2020/09/14–17, 2020 年度光学赤外線天文連絡会シンポジウム「データ解析の新展開 2020」, オンライン
7. 上塚 : 「東京大学アタカマ天文台 (TAO) プロジェクトの現状」, 2020/09/14–17, 2020 年度光学赤外線天文連絡会シンポジウム「データ解析の新展開 2020」, オンライン

8. 宇野慎介, 竹腰達哉, 陳家偉, 河野孝太郎, 大島泰, 吉岡佳輔: 「サブミリ波帯多色カメラ用光学バンドパスフィルターの開発」, 2020/09/15, Nobeyama Science Workshop 2020, オンライン開催
9. 大澤亮: 「東京大学・木曾観測所の活動報告」, 2020/11/10-12, 第11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
10. 諸隈智貴: 「Tomo-e Gozen High-Cadence Transient Survey」, 2020/11/10-12, 第11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
11. 新納悠: 「中小口径望遠鏡と高速カメラによる Fast Radio Burst 可視光観測の可能性」, 2020/11/11, OISTER workshop, オンライン
12. 橘健吾: 「これまで実施した AGB 星に関する研究紹介と MIMIZUKU を用いた今後の展望, 及び開発計画」, 2020/12/01-02, 第9回 可視赤外線観測装置技術ワークショップ 2020, オンライン
13. 道藤翼: 「TAO/MIMIZUKU に向けた冷却チョッパーの開発」, 2020/12/01-02, 第9回 可視赤外線観測装置技術ワークショップ 2020, オンライン
14. Wang, T.: “New insights into the environmental effects on galaxy star formation at high redshifts”, 2020/12/08, 15, ALMA Grant Fellow Symposium 2020, オンライン
15. 河野: 「超広帯域観測で探る宇宙の構造形成史」(招待講演), 2020/12/21-22, 宇宙電波懇談会シンポジウム 2020 年度「極限性能で切り開く電波天文学」, オンライン
16. 諸隈智貴: 「可視光における超広視野観測と電波観測とのシナジー」(招待講演), 2020/12/21-22, 宇宙電波懇談会シンポジウム 2020 年度「極限性能で切り開く電波天文学」, オンライン
17. 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: 「平面型直交モード変換器の帯域幅を制限する高次モード発生の解析」, 2021/01/29, 第40回天文学に関する技術シンポジウム, オンライン
18. 大澤亮: 「東京大学木曾観測所モザイク CMOS カメラ「トモエゴゼン」による高速移動天体サーベイ」, 2021/02/26, 第9回 スペースデブリワークショップ, オンライン
19. 小西: 「On-sky performances of SWIMS on the Subaru Telescope」, 2021/03/03-05, Subaru Users Meeting FY2020, オンライン
20. 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: 「サブミリ波帯多色カメラ用光学バンドパスフィルターの開発」, 2021/03/09, 第21回ミリ波サブミリ波受信機ワークショップ, オンライン開催
21. 大澤亮: 「東京大学木曾観測所トモエゴゼンによる微小地球接近小惑星の動画観測」, 2021/03/10-11, 天体の衝突物理の解明 (XVI)/第12回スペースガード研究会, オンライン
河野: 「銀河と大質量ブラックホールの形成と進化: 観測の到達点と次の課題」(招待講演), 2021/03/29-31, (サブ) ミリ波単一鏡の革新で挑む, 天文学の未解決問題, オンライン
22. 西村優里: 「近傍銀河を理解するための銀河形内分子雲ラインマッピング」 2021/03/29-31, (サブ) ミリ波単一鏡の革新で挑む, 天文学の未解決問題, オンライン

2.7.6 その他の講演 (談話会等)

1. 諸隈智貴 : 「Optical Variability Surveys for Active Galactic Nuclei」, 2020/06/04, 千葉大学 ICEHAP セミナー, オンライン
2. 大澤亮 : 「Observing the interplanetary dust grains as meteors」, 2020/10/27, 第 1710 回 天文学教室 談話会, 東京大学天文学教室 (オンライン)
3. Yuri Nishimura : “Molecules near and far : Multiline observations toward Galactic, local, and high-redshift systems”, 2020/12/16, Chalmers Astrophysics Colloquium, Online
4. 河野 : “Dust-enshrouded galaxies uncovered by ALMA deep surveys”, 2021/02/11, Joint ALMA Observatory - ESO colloquium, オンライン

2.7.7 研究会の主催

1. “2020 年度光学赤外線天文連絡会シンポジウム「データ解析の新展開 2020」”, 世話人 (板, 稲見, 大朝, 住, 野上, 深川, 本田, 諸隈智貴, 古澤, 秋山), 2020/9/14-17, オンライン
2. “第 11 回光赤外線天文学大学間連携ワークショップ”, 世話人 (山中, 大朝, 楠根, 高木, 高橋, 中岡, 永山, 野上, 花山, 堀内, Schramm, 村田, 諸隈智貴, 関口), 2020/11/10-12, オンライン
3. “第 9 回 可視赤外線観測装置技術ワークショップ 2020”, 坂野井健, 秋山正幸, 海老塚昇, 尾崎忍夫, 片片壱宏一, 栗田光樹夫, 菅井肇, 高橋英則, 松林和也, 早野裕, 美濃和陽典, 宮田隆志, 本原頭太郎, 吉田道利, 和田武彦, 2020/12/01-02, オンライン

2.8 天文センター談話会

回	月日	講演者 (所属)	題目
359	2020/10/08	Po-Feng, WU (East Aian Core Observatory Association Fellow)	The blind men and the elephant : Multiple evolutionary paths from star-forming galaxies to quiescence
360	2020/10/15	行方宏介 (京都大学)	Stellar superflares on late-type stars - recent results by 3.8-m Seimei telescope - (京大 3.8m せいめい望遠鏡で迫る恒星スーパーフレア)
361	2020/12/03	瀧田怜 (IoA/U. Tokyo)	「あかり」アーカイブデータ AKARI data archive project
362	2020/12/10	野田博文 (大阪大学)	X 線観測による巨大 BH 近傍の研究と XRISM を用いた展望
363	2020/12/17	大澤亮 (IoA/U. Tokyo)	流星の観測から探る惑星間空間ダスト
364	2021/01/21	鮫島寛明 (IoA/U. Tokyo)	キューサーの輝線で探る宇宙の化学進化
365	2021/01/28	浅野健太郎 (IoA/U. Tokyo)	The Near-Infrared Echelle Spectrograph NICE as a first light instrument for the TAO 6.5m telescope
366	2021/02/18	Maria Giovanna Dainotti (NAOJ)	The Optical Luminosity-Time Correlation for More than 100 Gamma-Ray Burst Afterglows

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、2020年10月24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(大学院生ミニ講演、博士の部屋)を行った。また、国立天文台特設サイトにおけるライブ配信の中で、土居センター長による特別講演も行われた。

- 特別講演：“超新星とダークエネルギーの謎” (講師：土居)
- ライブ配信 (院生会)
 - － 13:00-14:30 「院生ミニ講演」
 - － 15:00-16:00 「博士の部屋」
- 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
 - － 木曾観測所シュミット望遠鏡デモ動画

ライブ配信については、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。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。

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、東京2020オリンピックによる影響を考慮し、令和2年7月11日(土)及び12日(日)に本郷キャンパスにて開催する予定であった。しかし、新型コロナウイルス(COVID-19)による混乱の収束が見込めないことから、以下の2回に分けてオンラインにて開催することとなった。

- 第1弾：9/21(月・祝)、22(火・祝) 10-18時
リアルタイムでの参加が必要なライブ配信やオンライン質問会等を中心に実施
- 第2弾：2021/1/6(水)-2021/1/19(火)
録画した説明会や模擬講義の配信など、オンデマンド企画の配信

本センターの田中培生准教授が実行委員長を務めた。

本センターからは、第2弾における天文学科のムービー約20分間のうちの約5分間を使用して、土居守センター長による本センターの紹介を行った。内容は例年のオープンキャンパスでの展示に沿った形で

- センターの歴史
- 木曾観測所の紹介
- 電波研究の紹介
- TAO プロジェクトの紹介

とした。また、江草実助教授がオンデマンド映像配信で「渦巻銀河を作るには」というタイトルの研究紹介・講義を行った。

2.9.3 センターホームページ改修

令和2年10月12日に本センターのホームページをリニューアル公開した。新しいホームページの制作にあたっては、制作費用を抑えるためトップページとサブページの2種のデザインフォーマットの作成のみを制作会社に依頼し、スタイルシートの変更やコンテンツの実装等の作業は広報係で行った。また、これまでは本センター保有のウェブサーバ上でサイトを運営していたが、情報システムチームのウェブホスティングサーバに移設する作業も合わせて行った。

2.9.4 普及講演

1. 大澤亮：「小惑星から地球を守れ」、2020/09/13、『コズミックフロント☆NEXT』連携講座 第6回、NHK文化センター横浜ランドマーク教室

2.9.5 プレスリリース

1. 大澤亮, 酒向重行：「東京大学木曾観測所トモエゴゼンと京都大学生存圏研究所 MU レーダーによって微光流星の同時観測に成功」2020/11/11, 東京大学 (ウェブリリース)

2.9.6 雑誌等取材記事

1. 河野：「大学の勉強ってこんなにおもしろい！ vol. 121 天文学のゲンバ - 最先端のアルマ望遠鏡で銀河の歴史や成り立ちを探る」, ドリームナビ (四谷大塚)

2.10 その他の活動

2.10.1 講義等 (学部)

土居, 河野, 宮田, 田中, 小林, 本原, 峰崎, 田辺, 酒向, 諸隈 智貴, 廿日出, 江草	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, 田中, 小林, 本原, 峰崎, 酒向, 諸隈 智貴, 廿日出, 江草	天文学科 3 年	基礎天文学観測 I・II (S A セメスター)
河野, 本原	天文学科 4 年	星間物理学 II (S セメスター)
田中	天文学科 3 年	天体輻射論 I (A セメスター)
諸隈 智貴, 廿日出	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)
相川, 田中	天文学科 4 年	星間物理学 I (S セメスター)

2.10.2 講義等 (大学院)

田中 大学院 恒星物理学特論 IV (A セメスター)

2.10.3 各種委員

土居	日本天文学会	代議員
土居	日本天文学会	天文教育普及賞選考委員長
土居	日本学術振興会	学術システム研究センター専門委員
土居	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	日本天文学会	代議員
河野	日本天文学会	選挙管理委員会 委員長
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	国立天文台	周波数保護小委員会 委員
河野	天文学振興財団	選考委員会 委員
河野	ALMA	ALMA Science Advisory Committee (ASAC), chair
河野	NRAO	ngVLA Science Advisory Council, member
河野	ESA	SPICA Science Study Team (SST), 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
田中	理学部	広報委員
峰崎	東京大学	理学系研究科男女共同参画委員会委員
峰崎	国立天文台	大学院教育委員会委員
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
廿日出	国立天文台	特別公開運営委員
江草	日本天文学会	天文月報 編集委員
江草	日本天文学会	代議員
江草	JAXA 宇宙科学研究所	SPICA 国内研究推進委員会 委員

2.10.4 科研費等

土居 (分担者)	科研費基盤研究 (S) (課題番号 16H06341), (2016–2020) 第5年度, 4,100 千円 課題名: 高速掃天観測による連星中性子星合体現象の研究
土居 (代表者)	科研費基盤研究 (S) (課題番号 18H05223), (2018–2022) 第3年度, 22,800 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	科研費基盤研究 (S) (課題番号 17H06130), (2017–2022) 第4年度, 11,300 千円

- (代表者) 課題名：ミリ波サブミリ波帯輝線銀河の無バイアス探査に基づく隠された宇宙星形成史の研究
河野 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
- (代表者) 課題名：ダストに隠された銀河の活動性とその進化の研究
宮田 科研費新学術領域研究 (18H05440) 第3年度, 4,000 千円
- (分担者) 課題名：巨大分子雲における星団形成機構の観測的解明
宮田 科研費基盤研究 (B) (20H01943) (2020-2024) 第1年度, 3,300 千円
- (代表者) 課題名：高精度熱赤外線モニタ観測の実現とそれによる系外微惑星の研究
峰崎 科研費基盤研究 (B) (課題番号 20H02359), (2020-2022) 第1年度, 450 千円
- (分担者) 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 科研費基盤研究 (A) (課題番号 20H00179), (2020-2024) 第1年度, 500 千円
- (分担者) 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
廿日出 文部科学省卓越研究員事業 (課題番号 16811531), (2016-2020), 第5年度, 2,000 千円
- (代表者) 課題名：分子ガスおよび塵の高空間分解能観測によるガンマ線バースト発生環境の解明
廿日出 科研費基盤研究 (C) (課題番号 19K03925), (2019-2021), 第2年度, 800 千円
- (代表者) 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 科研費基盤研究 (A) (課題番号 20H00172), (2020-2023) 第1年度, 700 千円
- (分担者) 課題名：ALMA 受信機を活用した中性炭素原子輝線の広域分光撮像による低金属量分子雲の研究
江草 科研費若手研究 (課題番号 17K14259), (2017-2020) 第4年度, 600 千円
- (代表者) 課題名：近傍渦巻銀河における腕構造の寿命
江草 科研費基盤研究 (A) (課題番号 20H00172), (2020-2023) 第1年度, 300 千円
- (分担者) 課題名：ALMA 受信機を活用した中性炭素原子輝線の広域分光撮像による低金属量分子雲の研究
高橋 科研費基盤研究 (B) (課題番号 18H01249), (2018-2021) 第3年度, 1,700 千円
- (代表者) 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 科研費基盤研究 (C) (課題番号 20K04023), (2020-2022) 第1年度, 2,300 千円
- (代表者) 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
竹腰 科研費若手研究 (課題番号 19K14754), (2019-2020) 第2年度, 1,200 千円
- (代表者) 課題名：サブミリ波帯多色サーベイ観測による宇宙星形成史の解明
大澤 科研費若手研究 (課題番号 18K13599), (2018-2021) 第3年度, 300 千円
- (代表者) 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 科研費基盤研究 (B) (課題番号 20H01942), (2020-2024) 第1年度, 5,800 千円
- (代表者) 課題名：可視光広域高速撮像による高速電波バースト対応天体探査
鯨島 科研費基盤研究 (C) (課題番号 19K03917), (2019-2021) 第2年度, 1,000 千円
- (代表者) 課題名：近赤外線高分散分光器 WINERED を用いたスペクトルライブラリーの構築
鯨島 科研費国際共同研究強化 (B) (課題番号 19KK0080), (2019-2022) 第2年度, 5,070 千円
- (分担者) 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 科研費若手研究 (課題番号 18K13577), (2018-2021) 第3年度, 800 千円
- (代表者) 課題名：高赤方偏移クエーサーの分子化学組成研究
諸隈佳菜 科研費特別研究員奨励費 (課題番号 19J40004), (2019-2021) 第2年度, 1,000 千円
- (代表者) 課題名：ALMA ガス観測で探る銀河団環境下での実は多様な銀河星形成抑制機構
諸隈佳菜 科研費基盤研究 (B) (課題番号 19H01931), (2019-2021) 第2年度, 500 千円
- (分担者) 課題名：銀河団形成領域の高分解能計算と広視野・高分解能観測で解き明かす銀河と銀河団の進化
石田剛 科研費特別研究員奨励費 (DC1) (課題番号 18J21092), (2018-2021) 第3年度, 900 千円
- (代表者) 課題名：重力レンズ効果の高解像像復元と高赤方偏移爆発的星形成銀河の星形成機構に関する研究
山下祐依 科研費特別研究員奨励費 (DC1) (課題番号 19J22279), (2019-2021) 第2年度, 1,000 千円
- (代表者) 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 科研費特別研究員奨励費 (DC1) (課題番号 20J22050), (2020-2022) 第1年度, 1,100 千円
- (代表者) 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

2.10.5 PI 共同利用時間

上塚	兵庫県立大学西はりま天文台 2m 望遠鏡 「無変光 OH/IR 星の近赤外線長期色変化の探査」
新納	すばる望遠鏡, ToO 観測 (S20A, S20B) 「Subaru Follow-up of Fast Radio Bursts」
廿日出	VLA, 20A (2020 Jun–2020 Oct) 「Constraining Superluminous Supernova Models and Obscured Star Formation in Hosts」
諸隈 智貴	すばる望遠鏡, 2020/08–2021/01 「Optical Follow-Up Observations for IceCube High-Energy Neutrino Sources」 (S20B-049) せいめい望遠鏡, 2020/7–2020/12 「Spectroscopic Follow-up for Rapid Transients Discovered by Tomo-e Gozen High-Cadence Transient Survey」 (20B-N-CT06)
諸隈 佳菜	せいめい望遠鏡, 2021/01–2021/06 「Spectroscopic Follow-up for Rapid Transients Discovered by Tomo-e Gozen High-Cadence Transient Survey」 (21A-N-CT08)
諸隈 佳菜	VLA, 2020/12–2021/03 「Atomic hydrogen in Blueberry galaxies with a high ionization parameter」 (20B-209)
諸隈 佳菜	VLA, 2021/03–2021/05 「Are Blueberry galaxies as HI-deficit as Lyman-continuum leakers?」 (21A-187)

2.10.6 国外出張

1. 宮田 :

2020/12/09–17, TAO サイト (サンペドロ・デ・アタカマ/チリ), 大型赤外線望遠鏡建設に向けた現地作業スケジュール調整等

2.10.7 来訪研究者

1. Yulong Gao (University of Technology and Science of China, Graduate Student) : [河野, 江草], 特別研究学生, 2019/09/01–2020/08/31

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 荘平	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
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て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

以下に、現在の木曾観測所事業の3つの柱について、共同利用運営からの移行についても触れながらまとめる:

(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 を用いた固体撮像素子技術を導入し、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。対して次世代の装置として開発を進めてきた超広視野 CMOS カメラ「Tomo-e Gozen」が2019年度10月より本格運用を開始した。

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った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、本来であれば Tomo-e Gozen による最新成果を活発に議論する場になっていたと思われるが、残念ながら COVID-19 の影響を鑑み、中止とせざるを得なかった。

(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。今年度も3年生6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2年生の学生3名が夏季に行った。例年、他にも三重大学、文教大学、東京学芸大学、日本女子大学、大妻女子大学合同による実習が夏季に行われるが、今年度はCOVID-19の影響を鑑み中止とした。

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。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年からは、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」による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10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)。前主力装置 KWFC でも多くのデータが5年の間に取得されており、それをを用いたサイエンスは継続され、今後も論文化が続くと期待される (§3.2.3)。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 (§3.2.4)。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 (§3.2.5) は常に観測所運営の要であり、毎年度数多くの作業等が着実に行われている。さらに、Tomo-e Gozen では多くの計算機が運用されており、計算機の保守・整備 (§3.2.6) やネットワーク・通信機器の保守・整備 (§3.2.7) 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 (§3.2.8)。観測所とその所員による成果を所員の研究活動 (§3.2.9)、論文および出版物 (§3.2.10)、天文電報等 (§3.2.11)、そして学会・研究会等での報告 (§3.2.12) 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 (§3.2.13) 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 (§3.2.14)、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 (§3.2.15) にまとめた。

3.2.1 木曾広視野動画カメラ Tomo-e Gozen の開発

Tomo-e Gozen は 2fps の連続撮像が可能な視野 20 平方度の CMOS カメラと、それに直結した大規模データ処理部からなる 105cm シュミット望遠鏡用の広視野動画観測システムである。84 台の高感度 CMOS センサがシュミット望遠鏡の視野 ($\phi 9$ 度) を覆う。センサを常温常圧下で用いることで装置の軽量化と省スペース化を実現し、シュミット望遠鏡の主焦点への大型カメラの搭載を可能にしている。これにより、最大 2fps の超広視野高速観測を世界で初めて実現する。Tomo-e Gozen は 2019 年 9 月に完成し、翌 10 月より定常的なサーベイ観測を開始した。以下に今年度に行った Tomo-e Gozen の開発の詳細をまとめる。

● Tomo-e Gozen カメラの光学系および電気系の改修

Tomo-e Gozen カメラの光学系および電気系の改修を実施した (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)。観測データを評価した結果、Tomo-e Gozen カメラの Q2, Q3 ユニットのセンサに入射するビームの一部がウィンドウホルダにより蹴られていることがわかった。光線追跡計算を実施した後に Q2, Q3 ユニットのウィンドウホルダの再製作と交換を実施した。結果、入射ビームの蹴られは解消された。しかし、Q1, 2, 3, 4 ユニットの一部のセンサの外縁にて約 50 画素幅の蹴られが生じていることが新たにわかった。今後、より最適化したウィンドウホルダを製作する予定である。

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を生じる問題が発生した。これらの問題を解消・安定化するために、IF_DRV ボード, SER ボード, DRV ボードを予備ボードに交換した。外気温が低い日に発生する傾向があるため、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 の計算機群の性能強化と維持作業の実施

(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 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。2020 年 6 月には Tomo-e Gozen アーカイブシステムの RAID ストレージの再構築を実施した。以前までのストレージは RAIDZ1+RAIDZ1 (RAID 50 相当) で冗長化をしていた。総ス

ストレージ容量は 255 TB ほどであった。しかしながらこの構成は障害耐性が低いため、RAIDZ2+RAIDZ2 でストレージを再構築することにした。合わせてストレージ計算機 `tomoeurv-node0` に搭載されているハードディスクを 6 TB から 12 TB の製品に換装した。これによって総ストレージ容量 274 TB を確保しつつ、データロストする危険性を 2 桁ほど低下させた。

2020 年 12 月にはディスク容量を確保するためにストレージ計算機 `tomoeurv-node1,2` のハードディスクを 8 TB から 18 TB の製品に換装した。これによりアーカイブシステムのストレージ総量は 469 TB に増加した。2021 年度には `tomoeurv-node0` のハードディスクを 18 TB の製品に換装することも予定している。

2020 年 3 月には一時バッファシステムに新しい計算機 `tomoebuf-node3` を導入した。一時バッファシステムのストレージ計算機は合計 4 台になり、データ取得計算機から一時バッファシステムへのデータ転送が安定化した。

使用している計算機の数が多いため、機器の故障は定期的に発生する。2020 年 4 月 28 日にはアーカイブシステムの計算機 `tomoeurv-node2` でハードディスクの障害が発生したため該当のハードディスクを交換した。2020 年 5 月 4 日にも同じく `tomoeurv-node2` でハードディスクが故障したため交換を実施している。2021 年 3 月 25 日には一時バッファシステムの計算機 `tomoebuf-node2` でハードディスクが故障したため交換した。冗長なファイルシステムを使用していることと、故障を 1 日以内に発見して即座に対処しているため、現在までにデータロストに至ったことはない。

上記以外にも 2020 年 4 月には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のを発見した。画像データを作成するタイミングと GPS から時刻を読みだすタイミングで競合が発生したことが原因である。問題となっている箇所に十分な待ち時間を加えることで対処した。2021 年 3 月にも GPS タイムスタンプに問題があることを発見した。調査の結果 GPS ロガーにトリガを送っていたシステムの電源環境が不安定になり、正しく時刻が記録できない状態になっていたことがわかった。電源環境を見直すことによって GPS ロガーが正しく機能することを確認した。また、画像データに記載されている GPS 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、データ解析段階で検出してエラーを報告するようにソフトウェアを改修した。2021 年 3 月 15 日には、アーカイブシステムに記録されているデータを検索するためのシステムで予期せぬエラーが出力されるという報告を受け、調査を実施した。記録されているデータの総量が増えたため、ウェブサーバのタイムアウト時間以内でデータの検索が完了していなかったことが原因だった。ウェブサーバのタイムアウト設定を変更することによって暫定的に対処した。

● Tomo-e Gozen 情報公開用計算機の構築

(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)。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情報公開用の計算機を設置した。10 Gbps のアンマネージドプラススイッチを介して理学系研究科の DMZ ネットワークに接続している。全学共通ファイアウォールにより、インターネット側は木曾広域連合のネットワークを介した木曾観測所の一部の計算機との通信のみ許可されている。その他に情報公開用のウェブサーバとしての機能を持たせるために http, https 通信が開放されている。https による通信を行うために、サーバ証明書も導入した。理学系研究科 TLRA が発行する証明書は無料で利用できる。

木曾観測所との iperf3 によるデータ転送試験においては約 4 Gbps の速度が出ているが、実際のデータでは約 1 Gbps 程度で落ち着いている。これは現実のデータは小さいサイズのものが多く、またデータの読み出し部分の速度も影響していると考えられる。

● Tomo-e Gozen Sky Atlas の開発

(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 が毎晩観測する 7000 平方度超の天域のデータをクイックルックするためのシステムを構築した。クイックルックとして扱うために、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 を用いた。また単なるクイックルックだけでなく、教育・広報用のデータとしても扱えるように、ビューアのインターフェースを整えた。まず、毎晩のデータを公開するために HiPS 形式への変換の自動化を行った。明け方に観測が終了したのち、その日に取得した一次処理済みのデータを本郷キャンパス理学部 1 号館に設置したデータ公開用サーバに転送を行う。転送されたデータから HiPS データへの変換はこの公開用サーバで行う。作成された HiPS データはデータリストに登録され、ビューアからはこのデータリストを参照して Tomo-e の毎晩の HiPS データにアクセスを行う。データの転送、および変換は昼ごろには完了している。次にビューア側の開発も行った。Tomo-e のデータ一覧はデータリストとして渡されており、ユーザが好きな日付のデータを選択して閲覧できるようにした。また複数の観測日のデータがあることで、小惑星のような移動天体や超新星のような変光天体が見られる。これらの天体を分かりやすくするために、それぞれをカタログ化してビューア上で表示できるようにした。特に小惑星については Minor Planet Center より軌道要素を取得し、毎晩の座標を計算することで、移動の様子が視覚的に分かりやすくなった。教育用の観点からは、より身近な天体である月や火星等の惑星のプロットや星座の表示等も可能にした。

● Tomo-e Gozen 計画の新ウェブサイトの作成と装置・観測情報のリアルタイム公開の実現

(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 計画の新ウェブサイトを作成した。また、このウェブサイトから装置と観測の情報をリアルタイムに公開するシステムを構築した。これまでは天文センターのウェブの 1 コンテンツであったものを Tomo-e Gozen として独立させて情報公開用計算機上に構築した。合わせて、これまでは木曾観測所のネットワークでしか閲覧できなかった、望遠鏡ステータスや気象情報等の一部をインターネットから取得できるようにした。これらは木曾の web サーバからリバースプロキシによって提供される。また Science Working Group が管理するコンテンツについても同様に公開した。これらのコンテンツはパスワードによってアクセス制限をかけている。以上の整備により、外部の共同研究者との情報共有が簡単になった。

● 突発天体サーベイ用データベースの性能調査

(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しきれていない状態であった。そこでデータベース、およびそのフロントエンドとなるウェブビューアの性能調査を行った。一つ目の問題としては、複数のテーブルの結合処理にあった。データ一覧を表示するために複数のテーブルから情報を得る必要があったが、それぞれのテーブルには千万行オーダーのデータが格納されており、それらの結合に時間がかかっていた。この問題は PostgreSQL の機能である「実体化ビュー」により、必要なデータをあたかも単一のテーブルのように持たせることで解消が可能である。注意点として、パイプライン処理によってデータベースは常に更新がされるため、この実体化ビューもある程度の頻度で更新する必要がある。この更新頻度は、来年度以降に実際のデータを見ながら決定する。二つ目の問題として、テーブル定義があげられた。PostgreSQL における CHAR(n) 型のような「n 文字の文字列」は、データサイズを圧縮するために用いられてきたが、現在の計算機ではデータを切り詰める必要性は乏しく、むしろ不要な処理が入ることで性能を悪化させる一因となる。これはデータベース全体の設計をやり直す必要があるため、来年度の梅雨時期の観測所メンテナンスに合わせて対処することにした。次にウェブビューア側には、所謂「N+1 問題」が存在した。これはまず対象となるデータの一覧を取得し、そのデータ一件毎に再度必要なデータを検索するため、本来は一回のデータベース問い合わせですむ処理を N+1 回の問い合わせに増やしている。この問題の解決のために、一覧として表示するべきデータの整理を行い、前述の実体化ビューに組み込むことにした。来年度のデータベース改修に合わせてこの部分も修正する予定である。

- **Tomo-e Gozen の遠隔自動観測ソフトウェアの改良**

Tomo-e Gozen の遠隔自動観測に関するソフトウェアの改良を行った（森, 大澤, 酒向, 高橋, 近藤, 青木, 土居, 小林, 瀧田, 諸隈智貴, 新納, ; Tomo-e Gozen 開発チーム). 気象情報を表示する Weather Monitor のページをリロードせず, シームレスに値やグラフが更新されるように改良した. また, 気象情報の蓄積が増えてデータベースの検索処理が重くなる問題が発生していたため, 表示に必要な情報をオンメモリで保持し, 情報取得にかかる負荷を削減した. 過去の気象情報を参照するツールが存在していなかったため, 指定した日付・データ種別の1日分のグラフを表示するウェブページ「Weather Data Search」を作成した. 気象情報データベースの「望遠鏡内温度・湿度」と「ドーム内温度・湿度」の名称が実体と直結せずにわかりにくかったため, 実体がわかる名称に修正した.

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 (§1) では 1 晩の間に同じ天体を複数回観測することにより突発天体の早期発見を目指している。2020 年度は解析パイプラインの高速化を達成、突発天体を抽出する分類器の性能も向上させた。差分解析の性能向上を目指して Tomo-e Gozen 自身のデータで作成した reference 画像の準備を進めている。Tomo-e Gozen の広視野と高い観測効率は重力波イベントの可視対応天体探査に対しても高いパフォーマンスを発揮する。2020 年度は LIGO and Virgo Collaboration による第三期観測ラン (O3) のデータ解析を進めた (§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) にも活用されている。2020 年度は新たに 14 天体の地球接近小惑星を発見した。また、京都大学 3.8 m せいめい望遠鏡との連携観測も実施している。

上記以外にも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。2019 年 11 月には Tomo-e Gozen と京都大学 MU レーダによる同時観測を実施した。145 件の散在流星を検出し、放射点ごとの質量分布関数を得ることに成功している。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。現在解析を進めている (§4)。Tomo-e Gozen の広視野高速撮像能力は Fast Radio Burst の観測に大きなアドバンテージがある。今年度は特異な電波バーストを発生させた銀河系内マグネターの同時観測や Canadian Hydrogen Intensity Mapping Experiment との non-repeating Fast Radio Burst の共同探査を実施した (§5)。白色矮星ではいくつかの変動現象が秒スケールで生じることが期待されており、形成進化史を理解する上で重要な鍵となりうる。白色矮星の広視野高頻度モニタリングを実現するための試験観測とパイプライン開発が進められている (§6)。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を元に機械学習アルゴリズムから候補天体を選定し複数の金属欠乏性の同定に成功した。今後は視野全体を覆う狭帯域フィルタを作成して北天全体の探査を実施する (§7)。2019 年 4 月には X 線トランジェント天体 MAXI J820+070 の再増光現象の光赤外線天文学大学間連携ネットワークを用いた多波長観測を実施した。高温のガスが移流によってブラックホールに降着することでジェットが噴出し、シンクロトロン放射によって可視光が発生するというモデルが観測をよく説明することがわかった (§8)。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。X 線と可視光の変動は高い相関を示しており、X 線に対する可視光の遅延から、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 (§9)。

これまでに取得したアーカイブデータをもちいたサイエンスも進められている。高頻度突発天体サーベイによって 2018 年 10 月から 2021 年 1 月までに取得したデータから、プレアデス星団に属する恒星の明るさを調査したところ 10 個の M 型星によるフレアの検出に成功した (§10)。高頻度突発天体サーベイのデータには数多くの太陽系小天体が含まれている。これらの検出時の明るさと太陽位相角を調べることで、小惑星表面の散乱特性を推定するために重要な、位相角曲線を得ることができる。2020 年 4 月 11 日までに検出されたデータを解析することにより 44,323 天体を検出することができた。多くの天体についてはデータ量がまだ十分でないが、今後サーベイを続けていくことで多くの小惑星で密な位相角曲線を密に得ることができると期待される (§11)。

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。高頻度突発天体サーベイからより暗い高速移動天体を抽出するための試みも進められている。天体の移動方向を仮定せずらしながら足し合わせる「重ね合わせ法」を Tomo-e Gozen のデータに適用するためのプログラムの改修や計算機環境の整備を実施した (§12)。秒スケール可視光突発天体を探査するためのソフトウェア開発も進行している。2020 年 3 月までに取得した計 54 時間のデータを元に、動画の各フレームで天体検出・対応付けをして、突発天体のカタログを作成することを目指している (§13)。また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。GPU を活用した物体検出アルゴリズム Single Shot Multibox Detector によって、人工的に埋め込んだ突発天体をリアルタイムで同定することに成功している (§14)。

1. 高頻度突発天体サーベイ

諸隈智貴, 酒向重行, 大澤亮, 土居守, 有馬宣明 (東京大学・天文学教育研究センター); 富永望 (甲南大学); 田中雅臣 (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 (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) を生かした突発天体高頻度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。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), 小惑星の位相角曲線の研究 (§11), 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。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 年度は解析パイプラインを大幅に改修することで、解析の高速化を実現し、上記のサーベイデータをほぼ 1 日のうちに解析することができている。具体的には、2021 年 1 月に shinohara12 が導入されたこと、一部解析パイプラインが高速化されたことにより、翌日の観測の前までにデータ解析が終了する環境が整っている。また、Transient Name Server (TNS) に報告されている天体について Tomo-e Gozen で発見日以前にデータが取得されている場合に Tomo-e Gozen Slack 上にアラートが流れるように設定し、Tomo-e Gozen で光度の立ち上がりが見出された天体についてせいめい望遠鏡可視光面分光装置 KOOLS-IFU による追観測を行った。今後、高頻度観測による発見と同一夜中の追観測の実現のため、さらなる計算機の増強を進める。同パイプラインは、重力波電磁波対応天体サーベイ観測データの解析にも一部改変して使用されている。

また、差分処理した画像上で突発天体候補を効率よく検出すべく、Convolutional Neural Network を用いた分類器を実装している。今年度は、学習データのラベル間違いを同定、半教師あり学習を用いる手法を実装することにより、この分類器も大幅に改修した。その結果、これまでの分類器よりも誤検出を 6 分の 1 程度に削減することに成功した。

さらに、画像差分に使用する参照画像を、Pan-STARRS の r バンドから Tomo-e Gozen 自身のものに変更すべく、深い Tomo-e Gozen 画像の作成及び引き算処理の試験を行ってきた。特に、見かけで大きな銀河に対しては顕著な改善が見られ、暗い突発天体の検出効率及び測光精度に向上が見られた。2021 年夏に全てのサーベイ領域において Tomo-e Gozen データを用いた深い reference 画像の準備を終える予定である。

2019 年から 2020 年にかけて見つかった TNS に登録されている突発天体に対して網羅的な調査を行ったところ、全 486 天体中 86 天体では Tomo-e Gozen のサーベイデータがもっとも早い検出データとなっていることが分かった。また、2019 年 4 月に M100 において発見された Ca-rich transient SN 2019ehk

に関しては、TNS 発見報告日直前に Tomo-e Gozen での上限値が 2 点得られており、そのデータを含めた論文が Nakaoka et al. (2021, ApJ, 912, 30; arxiv:2005.02992) として受理された。

2. 重力波イベントの可視光対応天体探査

新納悠, 諸隈智貴, 大澤亮, 土居守, 酒向重行 (東京大学天文学教育研究センター); 茂山俊和 (東京大学ビッグバン宇宙国際研究センター); 冨永望 (甲南大学); 田中雅臣 (東北大学)

LIGO and Virgo Collaboration による重力波検出器の第三期観測ラン (O3) が 2019 年度いっぱいでも終了したことを受け、今年度は O3 期間中の重力波イベント追観測で取得されたデータの解析に取り組んだ。天文学教育研究センター・木曾観測所は重力波イベントの対応天体探査を目的とした学際共同グループ J-GEM に参加しており、Tomo-e Gozen によって重力波イベント追観測を行うと共に、他の参加機関が取得したものを含む観測結果全体の分析にも貢献している。

Tomo-e Gozen によって O3 期間中に取得した重力波追観測データについては、Tomo-e Gozen の画像データから突発天体を探し出すソフトウェアのアップデートが進んで処理の高速化と天体候補真偽識別の精度向上が実現したことをうけて、全データの再解析を行った。現在は再解析によって選び出された変動天体候補の精査を進めている。

O3 期間中の J-GEM による追観測とその解析結果の概要は論文 (Sasada et al. 2021, PTEP, 05A104) にまとめられて出版された。また、すばる望遠鏡による ToO 観測を含めて J-GEM による重点的な追観測が行われた重力波イベント S190510g についてはすばる望遠鏡の観測データに関する個別の解析が Ohgami et al. (2021, PASJ, 73, 350) として発表されている。S190510g は発見時のアラートの段階で中性子星連星の合体と見られており、すばるによる追観測は S190510g の距離においてキロノバを検出するのに十分な感度を持ったものであったが、すばるの視野内に S190510g に付随したものと見られる天体は見つかっていない。

3. 地球接近小惑星サーベイ

紅山仁, 大澤亮, 酒向重行, 瀧田怜, 諸隈智貴 (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、高頻度突発天体サーベイ (§1) の観測データからの NEO の探索を行い 2020 年度は新たに 14 天体の NEO を発見した。これにより 2021 年 3 月 31 日時点で Tomo-e Gozen が発見した NEO は 22 天体となった。2020 年に大型サーベイ計画 (Pan-STARRS, ALTAS, Catalina Sky Survey, WISE) 以外で発見された NEO は 89 天体であり、Tomo-e Gozen はその約 15% にあたる 13 天体を発見している [1]。加えて今年度は発見天体を含む合計 45 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 (図 3.1 左)。この成果は NEO 発見システムの開発と合わせ紅山が修士論文としてまとめた [2] (図 3.1 右)。また年度末には Tomo-e Gozen を用いて高速自転を検出した 2021 EX₁ に対しせいめい望遠鏡を用いた連携観測を実施し、小惑星のスペクトル型推定にも成功している。光度曲線観測、多色観測ともに今後さらに観測天体数を増やし微小小惑星の起源や性質を明らかにすることを計画している。

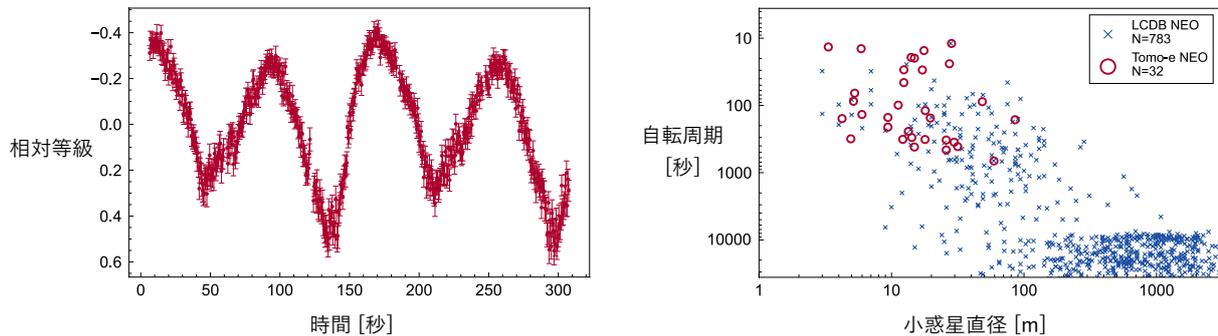


図 3.1: 2020 年度 NEO 観測成果の例. (左) Tomo-e Gozen で発見し即時追観測を行った微小 NEO 2020 UQ₆ の光度曲線. 周期 162 秒の高速自転を検出した. (右) 微小 NEO の直径と自転周期の関係. 先行研究 (青バツ印, LCDB[3]) では検出が難しい微小小惑星の高速自転を Tomo-e Gozen (赤マル印) の高速観測により多数検出した.

[1] NASA JPL Center for Near Earth Object Studies, https://cneos.jpl.nasa.gov/stats/site_all.html

[2] 紅山仁, 2021, 東京大学大学院理学系研究科 修士論文

[3] The asteroid lightcurve database, <http://www.minorplanet.info/lightcurvedatabase.html>

4. 京都大学 MU レーダ & Tomo-e Gozen 微光流星同時観測

森田晃平, 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); 藤原康徳 (総合研究大学院大学); 中村卓司, 西村耕司 (国立極地研究所); 渡部潤一 (国立天文台)

太陽系を形成した固体物質は, 合体集積と衝突破壊を繰り返して現在の惑星, 衛星, 小天体 (小惑星・彗星・流星体 (メテオロイド), 惑星間塵 (ダスト)) を生み出してきた. つまり, 太陽系天体の直径や質量の個数分布は, 平衡状態に達した太陽系の衝突と集積の進化史を反映しているといえる. しかし, これらの小天体の観測手法は多岐に渡っており, 固体物質のサイズ分布を統計的・統一的に一つの線として繋ぐことはできていない. 本研究では, メテオロイド (meteoroid) と呼ばれる直径数 $10\ \mu\text{m}$ –数 $10\ \text{cm}$ の太陽系固体物質のうち, 観測的にサイズ決定が困難である直径数 $10\ \mu\text{m}$ –数 $100\ \mu\text{m}$ (質量 μg – mg 程度) を精度良く決定し, ダスト・メテオロイドのサイズ分布を明らかにすることと, 地球流入メテオロイドの軌道進化について調べることを目的としている.

2018 年度の研究では, 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: 観測周波数 $330\ \text{Hz}$) と東京大学木曾観測所の Tomo-e Gozen (フレームレート $2\ \text{Hz}$) を用いた微光流星の同時観測を実行して, 可視光等級で約 10 等級の微光流星を検出できることが確認された. 2018 年 4 月 18 日–4 月 22 日の Tomo-e Gozen (Q1) を用いた同時観測では, 36 時間で合計 226 個の散在流星を検出することに成功した. 一方, 2019 年 11 月 4 日–11 月 6 日の観測では, Tomo-e Gozen (full: Q1–Q4) を用いた 16 時間の同時観測データの取得に成功し, 145 個の散在流星を検出することができた. 図 3.2 の等級分布で比較すると, 2019 年も同様の等級範囲を観測していることが確認できた. また, 2019 年は 2018 年に比べて高速流星の検出が比較的多いことが分かる (図 3.3). これは, 2018 年に比べて 2019 年の観測では, 地球の公転速度が寄与する地球向点 (Apex) からのメテオロイドを多く検出したためと説明される (図 3.4). Apex 起源の散在流星は, 見かけの速度が速いため微光流星が多く, 質量換算

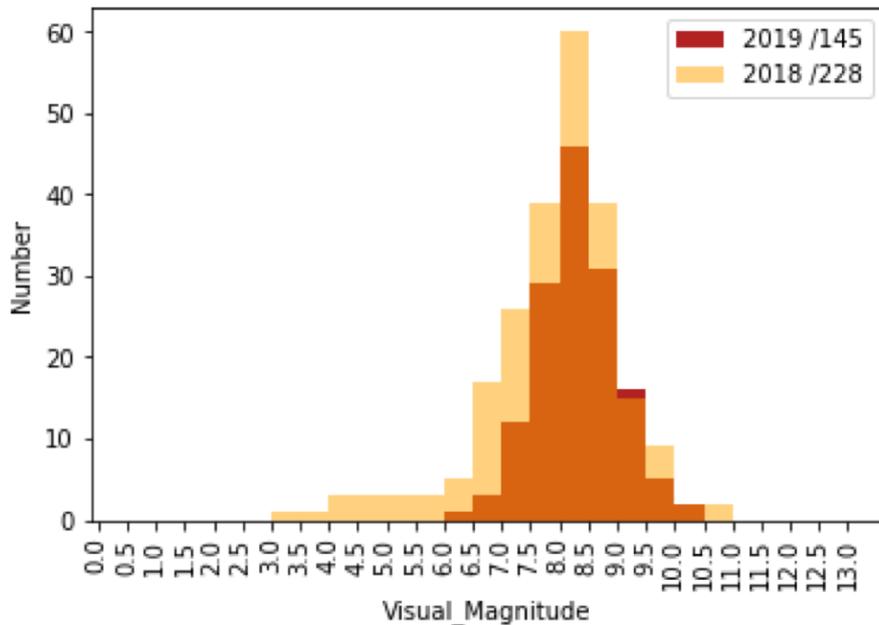


図 3.2: MU-Tomo-e Gozen 同時流星の等級分布の比較. 2018 年 (Q1) と 2019 年 (Q1–Q4) で観測された同時流星の可視絶対等級 (天頂距離 100 km 換算).

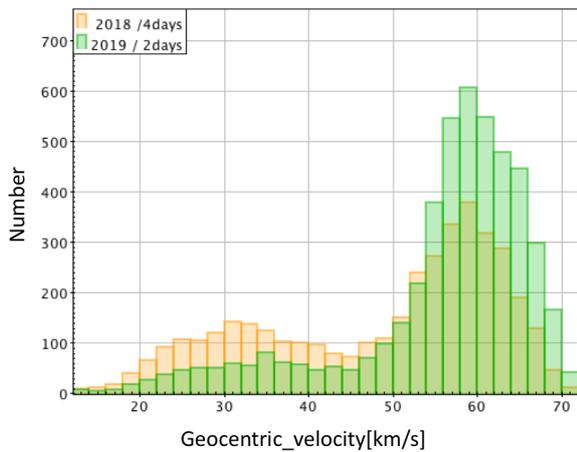


図 3.3: MU-Tomo-e Gozen 同時流星の対地速度分布の比較.

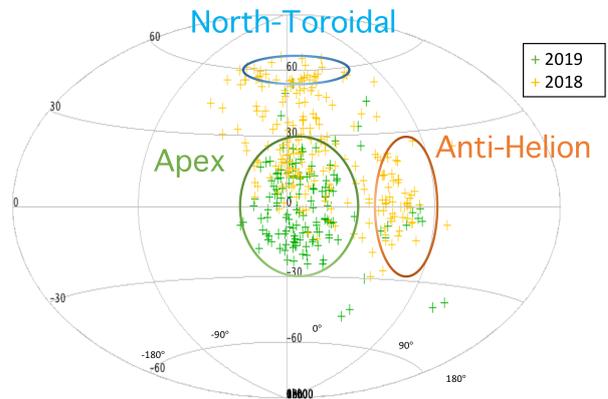


図 3.4: MU-Tomo-e Gozen 同時流星の放射点分布 (黄道座標系).

では、 $100 \mu\text{g}$ – 1 mg の範囲での質量分布関数を決定することができた。2019 年に観測された散在流星の質量分布を放射点ごとに調査した結果を図 3.5 に示す。212 個の Apex 起原流星から光度関数 (質量関数) $r = 2.26 \pm 0.014$ (0.1 – 1 mg) と決定することができた。この値は、同質量範囲の Grün model の質量関数と調和的な結果となっている。次に、同時流星の軌道を軌道長半径 (a) と離心率 (e) で示し、母天体で分類すると図 3.6 のようになる。高速流星の起源としては、離心率の大きな Halley type と Jupiter family type の活動彗星であり、Tisserand's parameter が 3 以上の小惑星に分類される Encke type (彗星-小惑星遷移天体) や、木星以遠の Chiron type も検出されている。

2020 年 12 月 12 日–12 月 14 日は、ふたご座流星群の極大を狙った同時観測を実施した。極大前後は曇天であったが、約 18 時間の同時観測に成功し、同時分光データの組成情報も含めて、現在データ解析を進

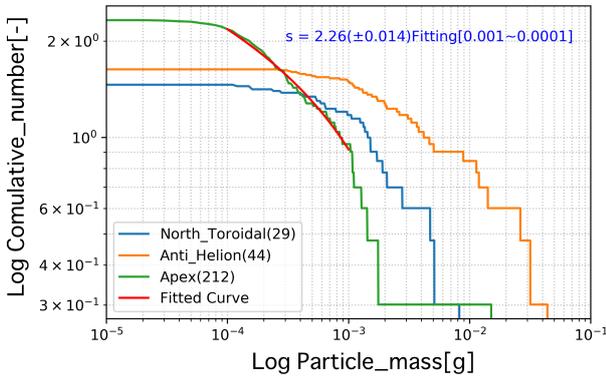


図 3.5: MU-Tomo-e Gozen 同時流星の放射点ごとの質量分布関数.

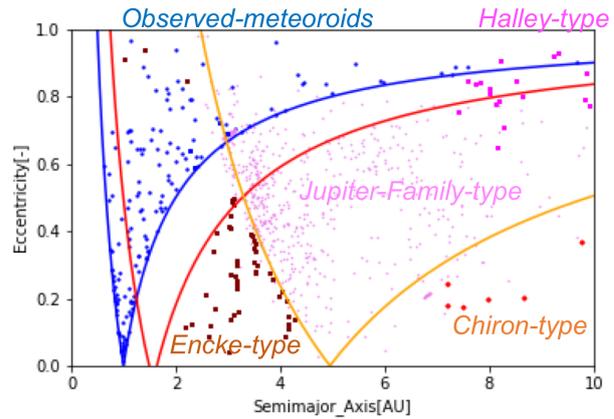


図 3.6: MU-Tomo-e Gozen 同時流星の (a-e) 軌道分布と起原の分類.

めている. 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「DESTINY+」が, 2021 年 5 月に JAXA のプロジェクトに正式決定し, 2024 年度の打ち上げを予定している. MU レーダーと Tomo-e Gozen を用いた「ふたご座流星群」の同時観測から得られる微光流星のサイズ (質量) 分布関数は, 活動小惑星の起源と進化に関する知見を探究することに繋がり, また, DESTINY+ 探査機搭載ダスト検出器を用いたダスト検出量を推定する上でも重要なデータとなるため, 今後も継続して観測データの取得を行っていきたい.

5. Fast Radio Burst の可視光対応天体探査

新納悠, 土居守, 酒向重行, 諸隈智貴, 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); Ji-an Jiang (東京大学 Kavli IPMU); 富永望 (甲南大学); 田中雅臣 (東北大学); 新沼浩太郎 (山口大学); 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 2007 年に初めて発見された新種の天体現象である. FRB は ~ 1 GHz 程度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, 数 Jy 程度のフラックス密度をもつ. FRB の発生源やそのメカニズムは未だ判明しておらず, 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もはっきりしていない. 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, これまでに FRB の他波長対応天体で確かな物は発見されていない. 特に可視光観測においては既存の観測装置のほとんどが CCD センサーを用いているため, 1 回画像を取得するために 10 秒程度以上の時間スケールを必要としており, FRB の可視光対応天体が電波での放射と同様に秒以下のタイムスケールの現象である場合, 従来の観測での検出は難しい.

FRB の可視光対応天体を発見するため, Tomo-e Gozen を用いて複数の電波観測所と高時間分解能同時観測を実施している. 既知の repeating FRB や, 2020 年 4 月に FRB に類似した電波バーストを発生させた銀河系内マグネター SGR 1935+2154 に対して山口大学の山口 32m 電波望遠鏡や中国貴州省の 500 メートル開口球面電波望遠鏡 (FAST) と同時に監視観測を行った. 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 24 fps の高速観測を実現した. これらの同時観測で得られた電波・可視両波長のデータについて現在解析が進められている.

Non-repeating FRB はいつどこで発生するか事前に予測することができないため、その探査には広い視野が必要である。Tomo-e Gozen は広視野と高時間分解能を兼ね備え、短いタイムスケールで non-repeating FRB の可視光対応天体探査を実施可能な世界で唯一の観測装置と言える。2021年3月にはカナダのドミニオン電波天文台に設置された広視野電波観測装置 Canadian Hydrogen Intensity Mapping Experiment (CHIME) との同時広視野探査を開始した。2021年度中に同時探査視野内での FRB 発生はなかったが、共同探査は今後も継続して行う。

6. 白色矮星の秒スケール変動探査

檜山和己, 川名好史朗, 大澤亮, 河原創, 藤澤幸太郎, 茂山俊和 (東京大学); 逢澤正嵩 (上海交通大学)

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 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。

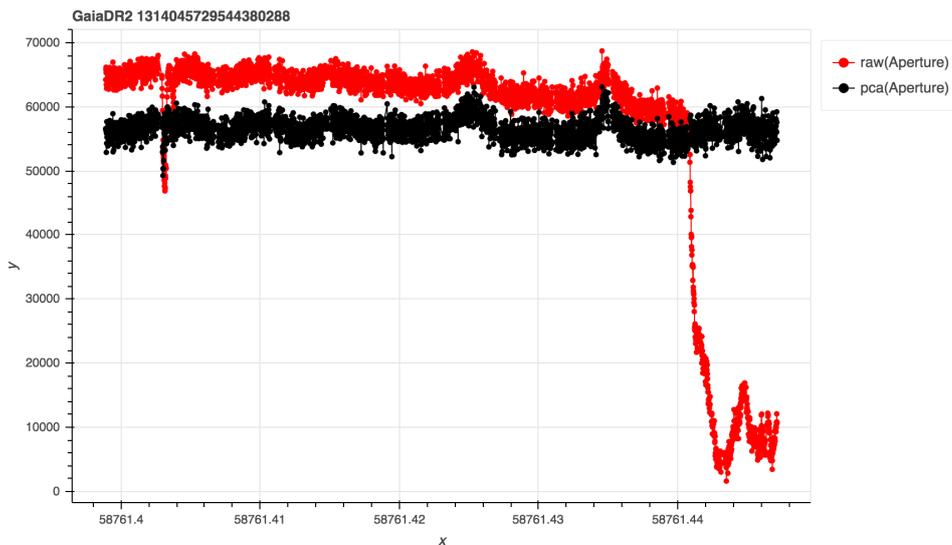


図 3.7: hzlc パイプラインで自動的に検出した脈動白色矮星 GD 358 のライトカーブ。

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。Gaia カタログの中には19等より明るい白色矮星候補天体がおよそ10,000個存在、ほぼ全天に分布しており、Tomo-e Gozen カメラの広視野特性も活きる。2019年10月のTomo-e Gozen の本格運用開始以後、我々は不定期に2Hz読み出しの探査観測を実施し、これまでに合計およそ5hrの晴天データを取得した。本年度はこのデータを用いてCMOS動画からターゲット天体のライトカーブを抽出するパイプラインの開発に成功、実際のデータ解析を開始し、約200個の白色矮星について秒スケール変動を探査した(図3.7)。現在のところ有意な信号は発見できていないが、今後、さらにデータを取得して探査を継続する予定である。

7. 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

岩崎巧実, 岡田寛子, 冨永望 (甲南大学), 本田敏志 (兵庫県立大学), 諸隈智貴 (東京大学)

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、高分散分光追観測での詳細な元素組成の決定、の順で行われる。そのため、金属欠乏星を用いた宇宙初期の化学進化の解明には高分散分光追観測が容易な明るい候補星の選出が重要となるが、従来の探査観測は遠方の活動銀河核などの観測と並行して行われたため、選出される候補星は暗く、特に追観測の容易な 9–12 等級の明るい星の探査は不十分であった。

金属欠乏星の探査法として近年注目を集めているのが、Skymapper survey や CFHT を用いた Pristine survey に代表される狭帯域フィルターを用いる方法である。狭帯域フィルターを用いることで視野内の星全てについて情報を得られるため、有力な金属欠乏星探査法として注目されている。Skymapper survey は v バンドと呼ばれる Ca H&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 $[\text{Fe}/\text{H}] < -7.1$ の金属欠乏星を発見しており、Pristine survey はより Ca H&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。

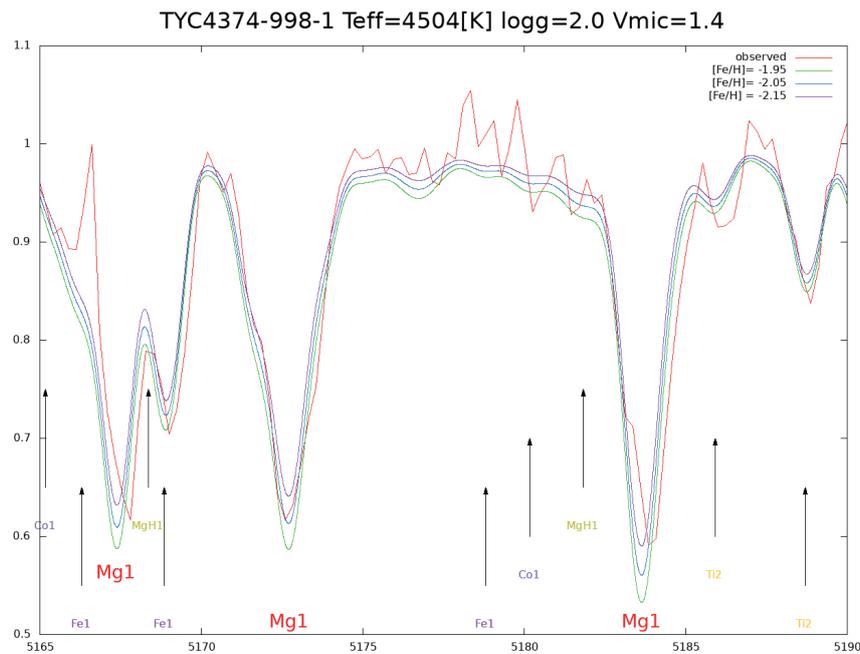


図 3.8: 2020 年 12 月の観測で得られた最小の金属量を持つ恒星のスペクトル (赤) とモデルスペクトル (青, 大気パラメータは表面温度 $T_{\text{eff}} = 4503$ K, 表面重力 $\log(g) = 2.0$, 金属量 $[\text{Fe}/\text{H}] = -2.05$, 微視的乱流速度 $V_{\text{mic}} = 1.4 \text{ km s}^{-1}$) との比較. 緑, 紫は青から金属量を 0.1 dex ずつずらしたモデルスペクトル.

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、Ca H&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を 2019 年 3 月, 2020 年 9 月に行った。その後、Random Forest, Deep Neural Network, XG Boost, LightGBM といった機械学習を用いて候補星を選択した。それらの候補星のうち合計約 200 天体に対して 2020 年 2, 9, 12 月, 西はりま天文台なゆた望遠鏡 Medium And Low-dispersion Long-slit Spectrograph (MALLS) を用いて追観測を行った。MALLS を用いた追観測では、金属量の推定に適した、波長分解能 $R \sim 7500$ で S/N を優先 (> 50) した波長 520 nm の Mg の線の観測を行った。その結果、一天体ではあるものの目標とした $[\text{Fe}/\text{H}] < -2$ の低

金属量を持った金属欠乏星 TYC4374-998-1 の同定に成功し、また複数の $[\text{Fe}/\text{H}] \sim -2$ の金属欠乏星を同定した (図 3.8). TYC4374-998-1 が低金属量であることを示したのは我々が初めてである. 一方で、残念ながら、選択効率は Pristine survey に比べると大きく劣っていた. その原因は本パイロット観測では既製品フィルターを用いたため、最も重要な Ca H&K と狭帯域フィルターの透過領域が完全に一致していなかったためと考えられる. 今後、Tomo-e Gozen の全 chip に特注の狭帯域フィルターを設置して北天全体の明るい金属欠乏星探索観測を行う予定である.

8. ブラックホール X 線連星 MAXI J1820+070 の多波長観測

村田勝寛, 安達稜, 庭野聖史, 河合誠之 (東京工業大学); 諸隈智貴, 大澤亮 (東京大学)

MAXI J1820+070 は 2018 年 3 月 11 日 12:50 UT に MAXI/GSC が発見した、へびつかい座にある X 線トランジェント天体であり (ATel#11399), X 線から電波までさまざまな波長によってフォローアップ観測が実施されている. 総光度の大きさや光度に高速変動が見られることから、ハード状態にあるブラックホール連星であると考えられている (ATel#11418, 11421, 11423, ほか). 同天体は 2018 年 7 月 5 日にソフト状態へと遷移した後 (ATel#11820), 同年 9 月 26 日に再びハード状態に戻り (ATel#12057, 12061, 12064), バーストを終えた (ATel#12534). 2019 年 3 月 12 日には可視光で再び明るくなったことが報告されており (ATel#12567), 同年 8 月 10 日に 2 度目の (ATel#13014), 2020 年 2 月 19 日に 3 度目の再増光が可視光で検出されており (ATel#13502), 引き続き注目されている天体である. 我々は、光赤外線大学大学間連携の ToO 観測により MAXI J1820+070 の観測を行ってきた.

本年度は、MAXI J1820+070 の 1 度目の再増光現象に対して実施した木曾シュミット望遠鏡/Tomo-e Gozen, なゆた望遠鏡, SaCRA 望遠鏡, MITSuME 明野 50 cm 望遠鏡, X 線観測装置 NICER での集中的な多波長同時観測データの解析を進めた. 観測は明るさのピーク付近である 2019 年 3 月 23 日と、そこから徐々に暗くなっていくフェーズにある 2019 年 4 月 15 日の 2 回行われた. まず、2019 年 3 月 23 日は X 線と可視光との間に相関する数十秒スケールの変動が見られ、変動成分に注目して解析すると、どちらも SED が $F_\nu \propto \nu^{-0.6}$ に従う power-law 成分であり、2 つのエネルギー帯を単純な外挿で接続できる可能性があった. 一方、2019 年 4 月 15 日でも X 線と可視光、近赤外線との間に相関する数十秒スケールの変動が同様に見られたものの、その SED は可視光・近赤外線では $F_\nu \propto \nu^{-0.2}$, X 線では $F_\nu \propto \nu^{-0.5}$ に従う power-law 成分であり、単純な外挿や連続する broken power-law では説明できない normalization であった. 2019 年 4 月 15 日には Tomo-e と NICER の高時間分解観測から、X 線変動が可視光のそれに対して 0.7 秒程度先行していたことが分かった. この単純に接続できない成分であることと 0.7 秒の time lag を説明するモデルを議論したところ、ブラックホール近辺に存在する ADAF (Advection-Dominated Accretion Flow) が X 線を放射し、ADAF 中の物質がブラックホールに落ちてジェットが噴出され、シンクロトロン放射によって可視光が発生する、というモデルが一番よく説明できることが分かった.

9. 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)

宇宙にある様々な降着円盤天体は、なんらかの物理機構によってガスが中心星に間欠的に降着することで突発現象を引き起こす. 降着円盤天体の 1 つである矮新星はタイムスケールが短く、円盤の外縁から可視光, 中心付近の高温プラズマから X 線を放射している. 典型的な U-Gem 型矮新星 SS Cyg 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 倍増光している. この増光現象の原因を探るため 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 日分のデータセットを取得した (図 3.9, W1 から W4 が日付に対応している).

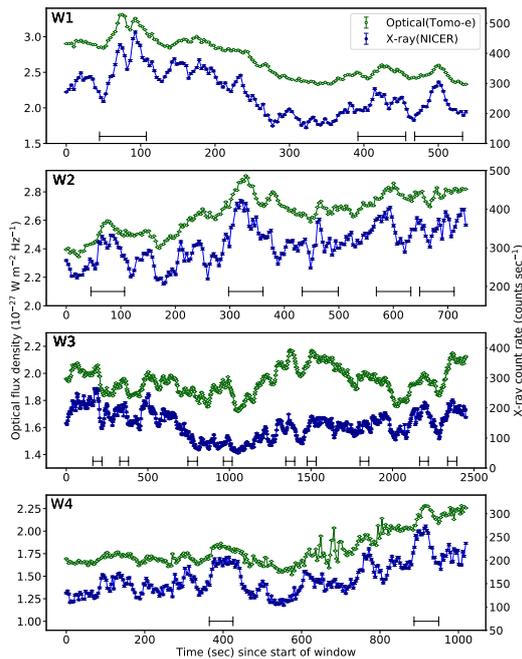


図 3.9: 横軸が時間 (秒), 縦軸が可視光のフラックス密度と X 線のカウントレート. 緑が Tomo-e Gozen, 青が NICER のデータを示している.

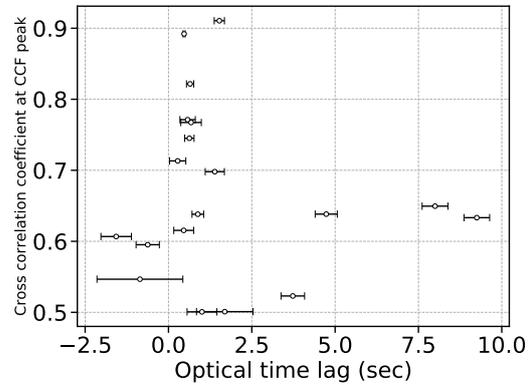


図 3.10: 横軸が可視光の遅延, 縦軸が CCF の最大値を表す. CCF の最大値が 0.65 より大きなショットは正の遅延を持つ.

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 0.9 を超える日もあった. 過去の XMM-Newton を用いた UV と X 線の同時観測 (Balman & Revnivtsev, 2012) では, このような高い相関は見られていなかった. 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 19 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 0.3 から 2 秒程度遅延していることがわかった. 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 SS Cyg 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.

一方で W3 では相関が低くなる時間帯が見られた. X 線のスペクトル解析の結果, その時間帯では低エネルギー側のパワーが低くなっていることがわかった. 何らかの原因で X 線のスペクトルが変化し, X 線照射の強さに影響を与えていると考えられる. 更なる X 線データの解析, 追観測を理化学研究所の木邑氏を中心に進めている.

10. プレアデス星団の変光星観測

小川貴士, 土居守, 諸隈智貴, 酒向重行 (東京大学)

Tomo-e Gozen による Northern Sky Transient Survey のデータを用いて, プレアデス星団の恒星の変光の研究を行った. Gaia Early Data Release3 (EDR3) の年周視差等を用いて選出した星の座標を元に Tomo-e Gozen の 2018 年 10 月から 2021 年 1 月までの天体の明るさの変動を検出した. 二重星をのぞくなどの厳しい条件付けを行い, 10 個の M 型フレア星の検出に成功した. 変動の大きなフレア ($\Delta V > 0.75$ mag) の検出能力に限ってみれば ASAS-SN といった全天サーベイの先行研究とほぼ同じであり, Tomo-e Gozen の通常サーベイでも充分強力な変光星検出能力があることを示した. 結果は小川貴士の修士論文として発表した.

11. Tomo-e Gozen 高頻度突発天体サーベイで得られた太陽系小天体の位相角曲線

吉田二美 (産業医科大学・千葉工業大学); 伊藤孝士 (国立天文台); 浦川聖太郎 (日本スペースガード協会); 寺居剛 (国立天文台); 富永望 (甲南大学); 諸隈智貴, 酒向重行, 大澤亮 (東京大学); 田中雅臣 (東北大学); 濱崎凌 (甲南大学); Tomo-e Gozen 開発チーム

Tomo-e Gozen の広視野撮像能力 (FOV ~ 20 平方度) を活かして, 木曾観測所から見えるほぼ全天をサーベイする Tomo-e Gozen 高頻度突発天体サーベイ (§1) が 2019 年から行なわれている. このサーベイは一晩に同じ領域を数時間あけて複数回撮像し, 超新星のショックブレイクアウトや他種の突発現象の早期発見を主たる目的とするが, 私たちはこのサーベイの画像で検出された 44,000 を超える既知の太陽系小天体 (Small Solar System Body, SSSB) に注目し, それらの検出時の明るさと太陽位相角を調べ, 各太陽系小天体の位相角曲線を取得した. 一般に太陽系小天体の位相角曲線には, 小天体表面の微視的および巨視的ないくつもの物理的効果によりその形が影響を受ける. 例えば, 太陽位相角 (α) がおよそ 20 度以下の場合には微視的な影響が発生すると言われ, この範囲の位相角では小天体表面で反射光の干渉が発生して $\alpha \sim 0$ で天体の明るさが急上昇する. このような現象が見られる天体では表面層の空隙率が高いことが示唆される. また, α が 20 度より大きいと, 巨視的な粗さ (光の波長より大きい孔, クレーター, 山など) が位相曲線の形状を支配する. このように位相角曲線は, 小惑星の表面を解像できないような地上からの観測にも関わらず, 小惑星表面の散乱特性を推定することのできる重要でユニークなツールと言える.

位相角曲線は各天体の絶対等級 (H) を推定するためにも使用される. H は小惑星のサイズを決定する重要なパラメータの 1 つであり, $\alpha = 0$ での SSSB の明るさがその H に対応する. SSSB は常に $\alpha = 0$ で観測されるとは限らないため, H を推定するには異なる α で小惑星の明るさを測り, 各データポイントからモデルを使って, $\alpha = 0$ での明るさを外挿して H を求める. この時, 以下の二点に留意する必要がある. (1) 小天体の自転による光度変化の影響を低減するために, 各 α でライトカーブを取得する必要がある, (2) 小天体の位相角が変化するのを待つ必要がある. したがって, 既存の小天体カタログではほとんどの小天体の H は典型的なスローパラメーター (G) が 0.15 (メインベルト小惑星の典型的な値) であるという仮定の下で推定されている. しかしながら, G の値は小惑星の種類やアルベドに依存することもよく知られている (Shevchenko et al. A&A 626, A87 (2019); Muinonen et al. in Asteroid III p.124 (2002)). したがって, 現状では多くの小天体で H の値が正確に求められているとは言い難い.

以上のような理由から, 我々は高頻度突発天体サーベイで様々な位相角で検出された小天体のデータを利用して, 小惑星表面の散乱特性や小天体の絶対等級という極めて重要な値を直接測定あるいは正確に決定するために個々の天体の位相角曲線をコレクションしている. これまでに検出された太陽系小天体は表 3.2 の通りである.

図 3.11 は高頻度突発天体サーベイで検出された 44323 個の SSSB の位相角曲線をプロットした例である. 位相角曲線は 2 つの異なるモデルでフィッティングした: (1) Lumme-Bowell G モデルと (2) Muinonen et al. G_{12} モデル. 多くの SSSB ではまだ十分な数のデータポイントが集められていないが, 高頻度突発天体サーベイは向こう数年にわたって継続する予定であるため, より多くの小天体でより密な位相角曲線を得られると思われる.

これまでの結果は以下の国際会議で発表した.

- Fumi Yoshida, Takashi Ito, Seitaro Urakawa, Tsuyoshi Terai, Nozomu Tominaga, Tomoki Morokuma, Shigeyuki Sako, Ryou Ohsawa, Masaomi Tanaka, Ryo Hamasaki, Tomo-e Gozen collaboration: Phase curves of $\sim 20,000$ small solar system bodies obtained by the Tomo-e Gozen transient survey. JPGU2020
<https://confit.atlas.jp/guide/event/jpgu2020/subject/PPS07-P19/advanced>
- Fumi Yoshida, Tomoko Arai, Ko Ishibashi, Peng Hong, Ryo Ishimaru, Takaya Okamoto, Jun-ichi Watanabe, DESTINY+ collaborators: Observational campaigns of (3200) Phaethon in 2017-2019.

表 3.2: 2020 年 4 月 11 日までに本サーベイで検出された太陽系小天体

Asteroid category	Total number of detected asteroids
Aten (NEO, PHA)	5
Aten (NEO)	11
Amor (NEO, PHA)	4
Amor (NEO)	68
Apollo (NEO, PHA)	33
Apollo (NEO)	54
Mars-crossing	510
Inner main belt	703
Main belt asteroids	41263
Outer main belt	1410
Jupiter Trojans	248
Centaur	5
Trans Neptunian	9
Total	44323

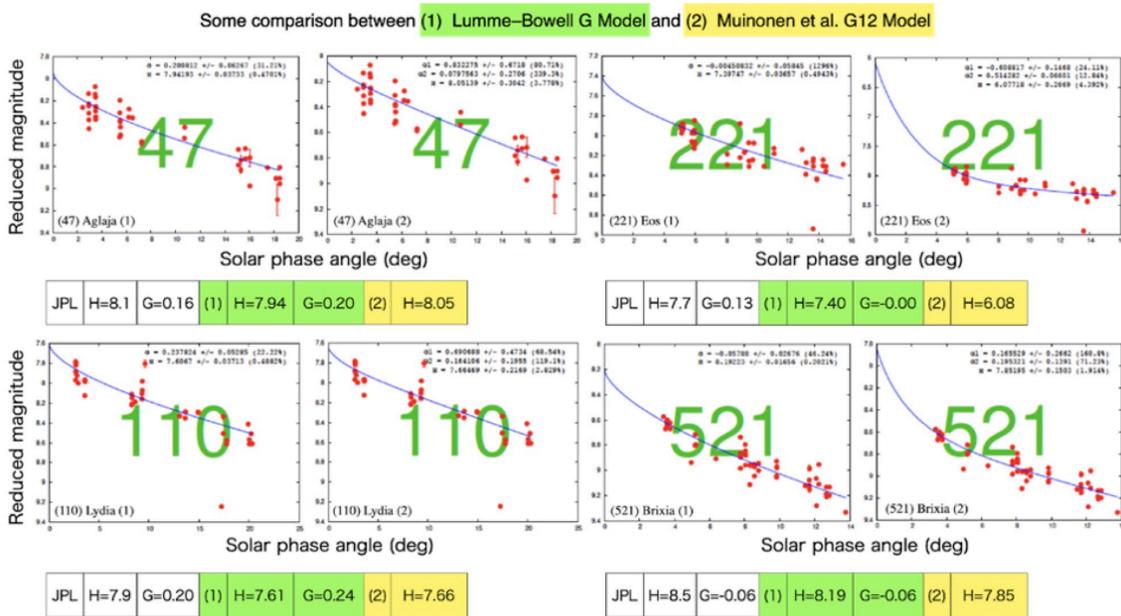


図 3.11: 2020 年 4 月 11 日までに Tomo-e Gozen のデータから取得した位相角曲線の例. 各点は各位相角で測定された小惑星の見かけの明るさから距離の効果を取り除いた明るさ (reduced magnitude). Horizons/JPL のカタログに掲載されている H の値および Lumme-Bowell G モデルと Muinonen et al. G_{12} モデルを使って求めた H の値も記した.

JPGU2020

<https://confit.atlas.jp/guide/event/jpgu2020/subject/PPS07-P23/advanced>

- Yoshida, F.; Ito, T.; Urakawa, S.; Terai, T.; Tominaga, N.; Morokuma, T.; Sako, S.; Ohsawa, R.; Tanaka, M.; Hamasaki, R.; Tomo-e Gozen Collaboration: Phase curves of $\sim 40,000$ small solar system bodies obtained by the Tomo-e Gozen transient survey. AAS Division of Planetary Science meeting #52, id. 208.06. Bulletin of the American Astronomical Society, Vol. 52, No. 6 e-id 2020n6i208p06 (2020)

<https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/2020DPS....5220806Y/abstract>

<https://dps52-aas.ipostersessions.com/default.aspx?s=F3-BE-35-AE-C5-B9-44-E4-A3-CE-58-9E-C5-85-CA-EF>

- Yoshida, Fumi; Ito, Takashi; Urakawa, Seitaro; Terai, Tsuyoshi; Tominaga, Nozomu; Morokuma, Tomoki; Sako, Shigeyuki; Ohsawa, Ryou; Tanaka, Masaomi; Hamasaki, Ryo: Phase curves of $\sim 40,000$ small solar system bodies obtained by the Tomo-e Gozen transient survey. 14th Europlanet Science Congress 2020, held virtually, 21 September 2020 - 9 October, 2020. Online at <https://www.epsc2020.eu/>, id. EPSC2020-330 (2020)
<https://meetingorganizer.copernicus.org/EPSC2020/EPSC2020-330.html>

12. 微小天体サイズ分布の解明：Tomo-e Gozen と重ね合わせ法による高速移動微小天体の検出

奥村真一郎, 浦川聖太郎 (日本スペースガード協会); 柳沢俊史, 吉川 真 (宇宙航空研究開発機構); 酒向重行, 大澤 亮, 紅山 仁, 高橋英則 (東京大学・天文学教育研究センター)

小惑星の物理的な特徴を解明することは太陽系の形成過程に対する知見を得ることにつながるが、このような物理情報の一つがサイズ分布である。小惑星のサイズ分布は、これまでに経験した衝突・破壊・合体の履歴を反映したものであるが、微小サイズの小惑星はその構造や軌道進化が大サイズの小惑星のものとは異なると考えられており、その素過程を解明するためにも微小サイズ小惑星のサイズ分布は極めて重要である。直径数十mより小さい小惑星は、地球に接近し、明るくなったタイミングでないと観測が困難であるが、地球に近づけば近づくほど見かけの速度は大きくなる。そのため CCD による長時間露出の観測では露出中に天体が素子間を移動することによる影響を受けて感度が低下し (トレイルロス), 実際の明るさにのわりに検出が難しい。Tomo-e Gozen は高速読み出しが可能であるため、トレイルロスの影響を受けにくく高速移動天体の観測に対して有効であり、すでに 2021 年 3 月までに 22 個の地球接近小惑星を発見している (報告 [Tomo-e Gozen を用いた研究](#) を参照)。

われわれは、さらに小サイズの地球接近小惑星を数多く検出する事を目指し、短時間露出の画像を多数枚、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、1枚の画像では検出の難しい微小な移動天体を検出できる「重ね合わせ法」を Tomo-e Gozen へ導入する作業を 2018 年から進めてきた。2018 年度には解析プログラムを Tomo-e Gozen 用に改修、2019 年度から 2020 年度にかけてプログラムの最適化を進めるとともに木曾観測所へ専用計算機を導入し、プログラムをインストールした。新発見された地球接近小惑星は即座に追跡観測を実施し、軌道を決定してやらないと見失ってしまう。そのため可能な限り、リアルタイムでのデータ処理が必要である。マルチコア計算機の導入とプログラムの改修により、32 チップ分の処理を行うのに当初は 5 分以上の時間を必要としていたのに対し、現状では 1 分以下で処理が可能となった。

今後は解析プログラムを定常的に自動運用できる様なシステムを構築するとともに完全なリアルタイム処理を実現するために必要な計算機の増強も計画している。

13. Tomo-e Gozen による秒スケール可視光突発天体探査のための解析パイプラインの開発

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

可視光による短時間突発現象の探査は、高い時間分解能と広い視野を必要とする。過去には Pan-STARRS1 のアーカイブデータ (g, r -band ≈ 22.5 mag, $S/N > 10$) による継続時間 33 min (Berger et al. 2013), また Dark Energy Camera (DECam; g -band ≤ 23 mag) による 1.17 min (Andreoni et al. 2020) といった sub-hour から minute-scale の探査が、さらに Gaia 衛星を用いた 15sec までの timescale の突発天体探査も行われきた (Wevers et al. 2018)。最大 2Hz の高速読み出しが可能で CMOS センサと約 20 平方

度の広視野を活かした観測により, Tomo-e Gozen はさらに一桁短い秒スケールという新たなパラメータスペースの探査を可能にする. ガンマ線では秒からサブ秒にかけて続くバースト現象 gamma-ray burst (GRB) が, また近年になって電波で発見されたミリ秒の継続時間の fast radio burst (FRB) (Lorimer et al. 2007) などの突発現象が知られているが, 可視光対応天体の prompt emission を捉える事でそれらのバーストの起源やメカニズムの解明, さらには可視光による無バイアスなサーベイによって新たな突発現象の発見に繋がることが期待される.

このような背景から我々は Tomo-e Gozen による秒スケール可視光突発天体探査を進めている (Richmond et al. 2020). 太陽光の反射によってフラッシュ天体のように光る人工天体やスペースデブリの検出を避けるため, 地球影領域に向けて 2019 年 11 月から 2020 年 3 月にわたって 1 Hz の観測を実施した. 得られた観測データは計 54 時間 (~ 100 TB), $850 \text{ deg}^2 \cdot \text{hour}$ となり, Tomo-e Gozen のプロトタイプモデル (8 枚の CMOS センサを搭載し, 視野は約 1.9 平方度) を使った Richmond et al. (2020) の約 8.5 倍となった.

現在は取得データの解析パイプラインの整備を進めている. 開発中の本パイプラインは Python ベースで書かれており, source detection, photometry の部分は SExtractor (Bertin & Arnouts 1996) を, model PSF 作成のプロセスには DAOPHOT (Stetson 1987) の Python パッケージをそれぞれ用いている. 1 Hz, 120 フレームの cube FITS の入力データは二次元に落として個々の 120 フレームに分けられる. また stacked image を作るプロセスも存在し, SExtractor による isophotal detection 後に検出された各 source に固有の ID を付けた segmentation map と呼ばれる reference image が生成される. その ID を参照して各フレームでの source detection の際に紐付けをする仕組みをとっている. segmentation ID の無い (正確には 0 の ID を持つ) ピクセル上で検出された各フレーム上の source をリストした突発天体候補のカタログを生成する仕組みである. Model PSF を作る上で適当な星を画像上で選ぶために, SExtractor の出力カタログにあるパラメータ調査を行い, source の 2 次モーメントと有効半径 (r_e ; 天体の全光度の半分を含む半径) のプロットから銀河や二重星といった天体を除く上で有用であることが分かった. 今後は model PSF を作成し, PSF を使った場合と使わなかった場合の感度比較を行いつつパイプラインの完成を目指す.

14. Tomo-e Gozen 動画データにおけるリアルタイム突発天体同定手法の開発

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, 諸隈智貴 (東京大学); 富永望 (甲南大学); 吉田直紀 (東京大学)

木曾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 1 フレームだけ現れるような短時間突発天体を効率的に, リアルタイムで発見すべく, 物体検出アルゴリズム Single Shot Multibox Detector (SSD) を用いた手法を開発した.

新しく開発した手法は, 動画の連続する時系列を 3 もしくは 5 フレーム入力し, (1) 通常为天体, (2) 突発天体, (3) 背景への 3 クラスに分類するものである. これにより, 各フレームにおける通常为天体検出や, 時系列カタログの処理を行うことなく, 即時に突発天体を同定することが可能となった.

この手法を人工的に埋め込んだ突発天体に対してテストしたところ (図 3.12), $S/N > 5$ の天体に対して 90% 以上の検出効率, かつ 95% の検出精度 (本物/(本物+誤検出)) を達成した. また, 本手法は GPU で実装され, 時間方向 120 フレーム (2 Hz サンプリングの場合 60 秒) の動画を 40 秒程度で解析できており, リアルタイムの処理が可能であることも確認している. この手法を実際に観測されたデータに適用することで, 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フラッシュの光度分布を明らかにできると期待される.

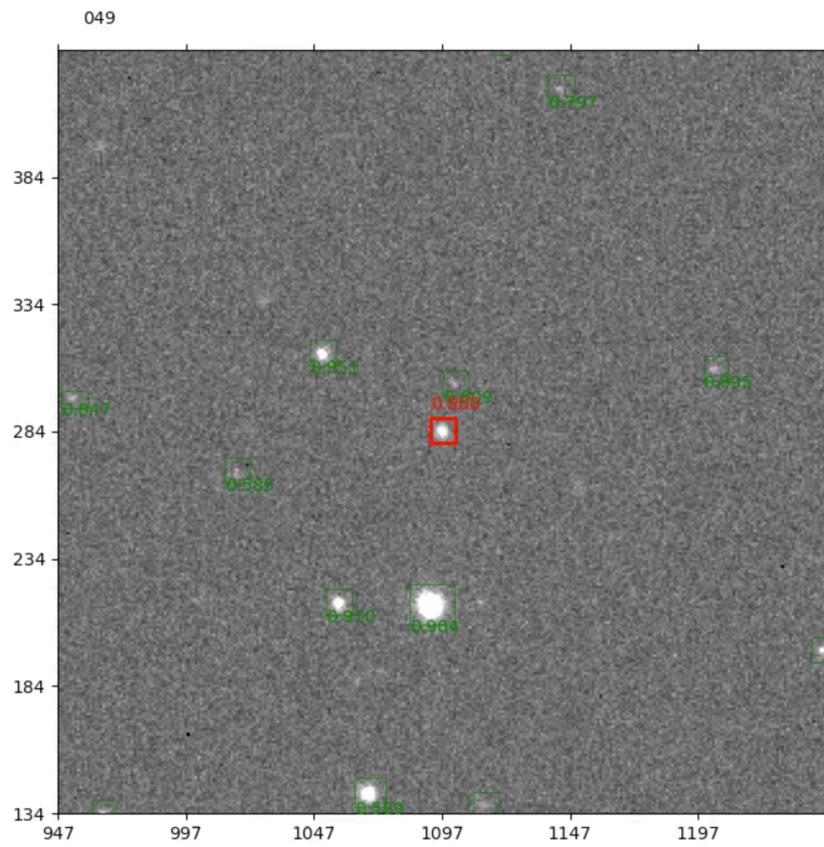


図 3.12: SSD で検出された通常の天体 (緑) と突発天体 (赤). 突発天体はテスト用に人工的に埋め込まれたもの.

3.2.3 KWFC を用いた研究

1. KISOGP-KWFC 銀河面変光天体探査

松永典之(東京大学・天文学教室), 小林尚人(東京大学・木曾観測所); 前原裕之(国立天文台); KISOGP チーム

KWFC Intensive Survey of the Galactic Plane (KISOGP) は, KWFC を用いて北半球の銀河面の約 330 平方度を反復して観測し, 変光星を探索する 2012 年に開始した大規模プロジェクトの一つである. *I* バンドを用いて, 5 秒積分を 1 回, 60 秒積分を 3 回という露光をセットとして, 80 の各観測視野をおおよそ月に一回程度の頻度で観測を繰り返した(ただし, 観測頻度は銀経に応じて異なる). 2012 年 4 月に観測を開始し, 2017 年 3 月までに 25780 回の露光を行って, すべての観測を終了した. 実露光時間は合計 328 時間, 望遠鏡操作や読み出しのオーバーヘッドにその 4 倍程度がかかるため, それらを含めた総観測時間は約 1640 時間であった.

前年度に続けて, 変光星カタログや関連する論文の出版に向けて, 解析と論文執筆を進めた. KISOGP で調べられる天体は *I* バンド等級が 9–17.5 mag 前後の約 700 万天体であり, これまでの解析で 5 万天体以上の変光を検出した. 2020 年度の特筆すべき進展は, (a) 中国にいる共同研究者が主著者となった食連星に関する論文を出版したこと, (b) 銀河系円盤にいる金属量の低い RR ライリ変光星についての研究を進めたことの 2 つである.

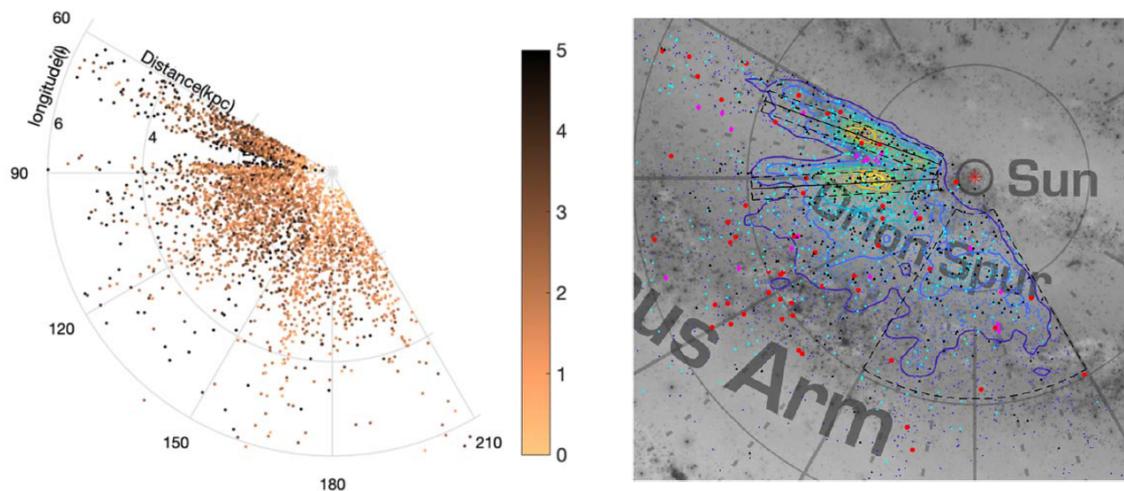


図 3.13: KISOGP で検出した W UMa 型食連星の分布. (左) 太陽系を原点(距離ゼロ)として銀河面に投影した位置を各点が示し, その色は星間減光 $A(V)$ の大きさを表す. (右) W UMa 型食連星の分布を等高線で表した上に, KISOGP で検出し Gaia EDR3 による高精度の年周視差が得られている W UMa 型以外の食連星を黒点, 大質量星形成領域をマゼンダ色, セファイドを赤色の点で示した. 背景の画像は, NASA/JPL-Caltech/R. Hurt (Spitzer Science Center) によるもの.

(a) 食連星は, 周期的な変光天体の中では比較的多く見つかる種類のものであり, KISOGP で検出した数万個の変光星のうち, 7055 個が食連星に分類された. 食連星のうち, 2 つの星が接触している W UMa 型の天体には周期光度関係が存在し, それによって距離を見積もることができる. 2MASS 近赤外線測光カタログと組み合わせて星間赤化・減光を調べた上で得た距離によれば, 我々が検出した W UMa 型食連星は数百 pc の近傍から 6 kpc 程度までの距離に分布していた(図 3.13). その分布にもとづいて, 銀河系円盤の構造を議論することができる. また, 3 kpc 程度までの距離の天体に対しては, Gaia 衛星によって測定された年周視差 (Gaia EDR3 のカタログ) と比較を行って, 距離の尺度がよく一致していることを確認で

きた. 北京大学の大学院生 Fangzhou REN が主導した研究 (博士号取得に関わる研究) で, *Astronomical Journal* 誌 (Vol. 161, 176) で出版された.

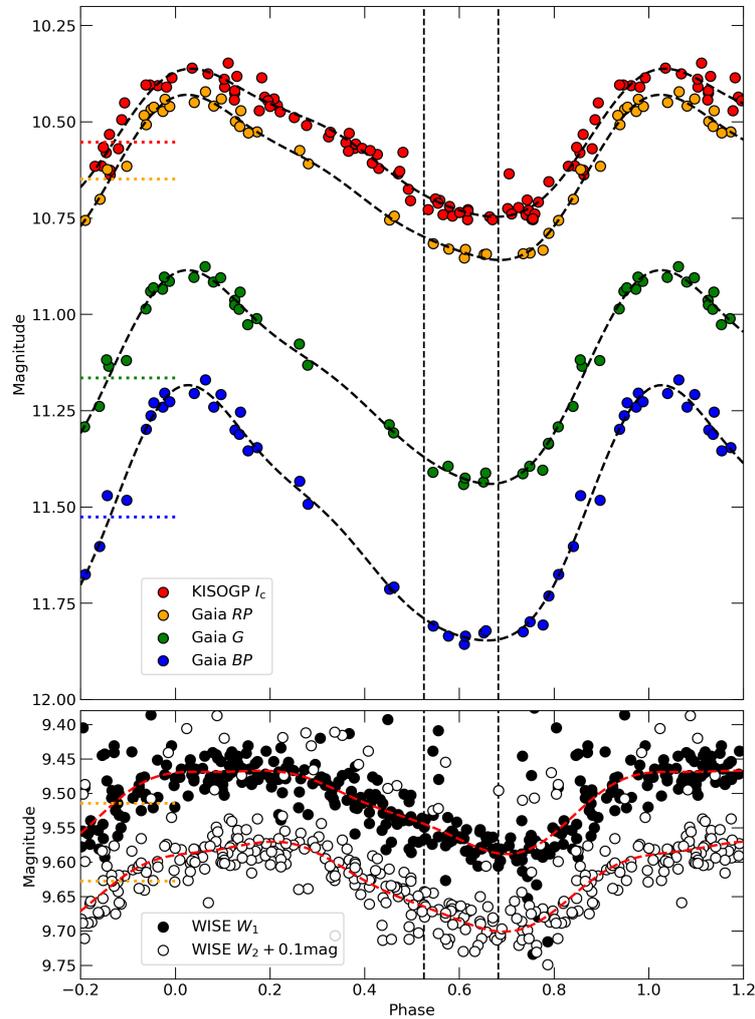


図 3.14: KISOGP で発見した金属量の低い RR ライリ型変光星の変光曲線. 上段には, KISOGP による I バンドと Gaia 衛星による G , BP , RP の 3 バンドのデータを示す. 下段には, WISE 衛星の W_1 バンド (中心波長は約 $3.4\ \mu\text{m}$) と W_2 バンド (約 $4.6\ \mu\text{m}$) のデータを示すが, 両者が重なるのを避けるために W_2 に $0.1\ \text{mag}$ を加えている.

(b) KISOGP では, ミラ, セファイドなどの周期的な脈動変光星を多く検出しているが, RR ライリ型変光星はそれほど多くなく, 高々数十個程度と見積もっている. それらは 10 Gyr 前後と年齢の高い星であり, 主にハローおよびバルジに付随しているため, KISOGP が探査した銀河系円盤において特に数が多いと考えられるわけではない. しかし, 少数であっても銀河系円盤に付随する RR ライリがあるとすれば, それらは銀河系円盤の形成時期に対する情報を与えてくれるものと期待される. 銀河系円盤に付随する RR ライリの候補も調べられているが (たとえば, Prudil et al. 2020, *MNRAS*, 492, 3408), 銀河面領域の探査はまだ不完全であり, どのような RR ライリがあるか全貌は明らかになっていない. 我々は, KISOGP で検出した RR ライリの中的一天体を WINERED 近赤外線分光器で観測し, その星の金属量が $[\text{Fe}/\text{H}] = -2\ \text{dex}$ よりも低いことを発見した. さらに, 分光観測で得た視線速度と Gaia EDR3 で得られる固有運動を組み合わせて得られる軌道は, 銀河面から $1.2\ \text{kpc}$ よりも離れることはなく, 離心率が 0.34

という銀河系円盤中にある古い星の軌道と似たものであることが分かった。この星がどのような起源をもつのか現時点では不明だが、銀河系形成初期の情報を探るための貴重な天体である。図 3.14 に、この天体のさまざまな波長における変光曲線を示す。

2. 高エネルギーニュートリノ事象 IceCube-170922A に対する可視近赤外追観測

諸隈智貴, 大澤亮, 酒向重行 (東京大学・天文学教育研究センター); 内海洋輔 (スタンフォード大学); 太田耕司, 山中雅之, 川端美穂 (京都大学); 田中康之, 川端弘治, 笹田真人, 中岡竜也 (広島大学); 井上芳幸 (大阪大学); 伊藤亮介 (美星天文台); 冨永望 (甲南大学); 田中雅臣 (東北大学); 吉田道利, 山下拓時 (国立天文台); 松岡良樹 (愛媛大学); 長滝重博 (理化学研究所); 村田勝寛 (東京工業大学); Gilligan, Christina K. (Dartmouth College); 高山正輝, 本田敏志 (兵庫県立大学); 森鼻久美子 (名古屋大学)

南極の IceCube 実験により 2017 年 9 月 22 日に検出された高エネルギーニュートリノ事象 IceCube-170922A に対して、可視・近赤外線での追観測を行なった。本事象のニュートリノ到来方向の位置決定精度は約 1 度であったが、かなた望遠鏡 HONIR を用いた即時追観測により明らかになった近赤外線 (J バンド) における急激な減光や、Fermi 衛星によるガンマ線の増光から、ブレーザー TXS 0506+056 が対応天体であると考えられる。これは高エネルギーニュートリノ事象としては初の電磁波対応天体の同定となる。

木曾シュミット望遠鏡 KWFC では、ToO 観測として、本ブレーザーを含む誤差領域全体に対して、アラート直後から g, r, i バンドでの撮像観測を実行した。開発中の Tomo-e Gozen Q1 を用いた 2Hz 読み出しのデータも 10 分程度取得したが、秒スケールの変動は検出されなかった。ASAS-SN グループによるモニター観測の結果とあわせると、ガンマ線同様、可視光でも、ニュートリノ検出より数日前から天体の増光が始まっている。また、このブレーザーの可視・近赤外における光度変動の structure function を求めたところ、他の論文で得られている SDSS quasar や blazar の光度変動よりはやや大きな値が得られたが、統計的な有意度は低く、光度変動の観点ではこの天体が特別な変動を示している blazar という証拠はなく、また、ニュートリノの検出時期が特別な時期であったという示唆も得られなかった。また、かなた望遠鏡で取得した偏光データの解析により、ニュートリノ検出の約半年後に偏光度及び偏光方位角の変動が検出された。これらの結果を査読論文として出版した (Morokuma et al. 2021, PASJ, 73, 25)。

3.2.4 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存在を周知して利用を促進するため、写真乾板デジタル化についての記事を準備し、天文月報へ投稿した。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枚のスキャンを行った。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、カラーフィルムのデータについても写真乾板と同じデータアーカイブシステムで公開を行うべく準備を進めている。

3.2.5 望遠鏡とドームの保守, 整備

105cm シュミット望遠鏡

2020年7月に木曾地方に特別警戒情報が出される集中豪雨があった。観測所ではシュミットドームのスリットからの雨漏りが発生し、望遠鏡・観測床を含め、広い範囲での被害があった。望遠鏡は、鏡筒内に水が溜まったこともあり、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。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、次年度に2012年以降の主鏡再蒸着を行うことを計画している。

2019年度からの持ち越し課題にあった望遠鏡の制御系に関しての不具合（制御計算機とコントローラの時刻不具合、ドーム回転位置異常、HA表示の不具合等）の再調査および修繕を西村製作所の協力を得て行なった。時刻の不具合については、GPS機能の再設定をすることで改善した。ドーム回転位置異常については、どの位相（タイミング）で発生するかを確定したが、他にどのタイミングで起こるかどうかはまだわからないため、ドーム回転の左右回転数を独立に計測するカウンターを設置した。2021年5月現在で、イニシャルに異常が起こる点以外での発生は確認されていない。HA表示については、望遠鏡の機械的座標と計算上の天体（天空）座標との不一致によって起こることが判明した。これについてはどのように運用を行うかに関わるため、引き続き次年度以降検討を継続する。2020年度は他に以下のような保守・整備を行った。

- 望遠鏡制御計算機（ontake）バックアップ機立ち上げ
- シュミット望遠鏡一部再塗装
- シュミット望遠鏡ミラーカバーリミット位置調整
- シュミット補正板清掃
- 20cm 案内望遠鏡レンズ清掃
- トロリー架線点検及び走行レールグリスアップ
- 観測床台車レール部木材交換
- 観測床クリーニング
- シュミット望遠鏡原点精度確認

望遠鏡の天体導入精度の向上のため、望遠鏡の原点位置の確認を行った。シュミット望遠鏡には赤経、赤緯の両軸に機械的な目盛り環があるが、その目盛りを1/10刻みにした目盛りとその副尺を用意し、原点合わせと位置の測定を繰り返した。その結果、原点合わせの再現精度としては、両軸共に、最小測定精度の1 arcmin程度以下であることが分かった。

- ドーム電灯遠隔システム

昨年度、望遠鏡制御室と観測床の電灯をリモート制御できるようにハードウェアを設置した。本年度は、これをリモートで制御できるように、シュミットコントローラーにその機能を実装した。一方で、動作が完了するのに時間がかかることと、複数個所から同時に命令された場合を想定していないなどがあり、今後それらに対処するような改良が必要である。

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、前年度に赤道儀制御機構 (ATLASTER + ステラナビゲータ) に刷新され、さらに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を行った。2020 年度はさらに引き続き駆動ドライバの更新も行い、これらにより安定した高速駆動が可能になった。運用も星の会、サポーターズクラブのメンバーを中心に一般利用を念頭に置いたストレスフリーな活用を進めることができた。また次年度以降、望遠鏡とドームの同期制御を目指して改修を行うことを検討しており、情報収集などを行っている。

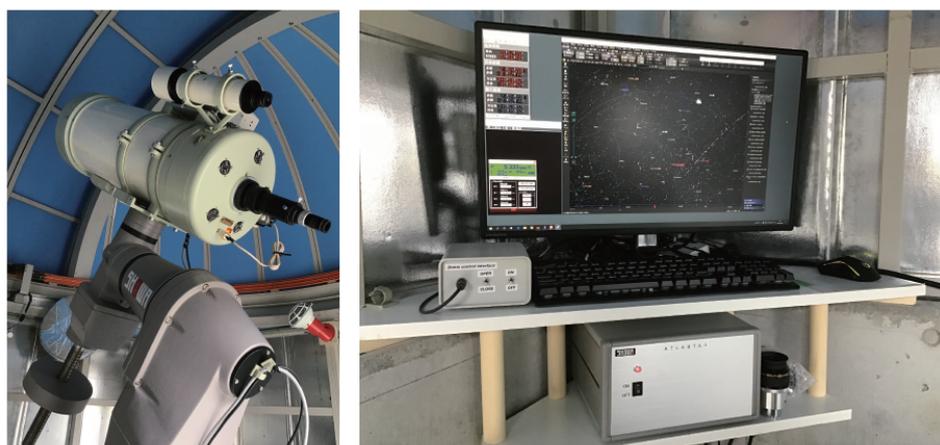


図 3.15: (左) 刷新された 30cm 望遠鏡. (右) 新しい制御システム (画面) .

3.2.6 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 や研究用計算機の拡充, 既存計算機のバックアップのため, 新規計算機の受け入れおよび立ち上げを行った。

- 情報公開用計算機 tomoe.mtk 新規購入, 本郷へ設置, 運用開始 (7 月)
- 望遠鏡・ドーム制御用計算機のバックアップ機立ち上げ (1 月)
- 突発天体サーベイ用計算機 shinohara12 新規受入, 運用開始 (2 月)
- 突発天体サーベイ用計算機のためのラック・UPS を本館計算機室に新規導入 (3 月)。

- Tomo-e Gozen 一時保存用バッファ計算機 `tomoebuf-node3` 新規購入, 運用開始 (3月)
- 地球接近小惑星用計算機 `neo1`, `fpga1` セットアップ, 運用開始 (3月)
- 教育/研究用共用計算機 `fopm-kiso` 新規購入, 設置 (3月)
- 教育/研究用共用計算機 `fopm-hongo` 新規購入, 本郷へ設置 (3月)

既存計算機・設備の拡充

- Tomo-e Gozen アーカイブシステム
RAID ストレージ再構築と `tomoeurv-node0` のハードディスク換装を行った (6月). また, 12月には `tomoeurv-node1,2` のハードディスク換装も行い, 容量を拡張した. 詳細は [3.2.1](#) を参照.
- 環境監視用計算機
Tomo-e Gozen 新ウェブページでの情報公開に対応するため, `teru` に 10Gbps 対応のネットワークカードを新規追加した (1月). また, `teru` の設置環境改善のため, 本館計算機室 ラック#3 に搭載した (3月).
- 本館計算機室の整備
今後の計算機増加に備え, 本館計算機室の 200V 電源 (三相 30A) を 2 個増設した (9月).
- 事務業務端末リプレイス (11月)

障害対応

- Tomo-e Gozen アーカイブシステム
`tomoeurv-node2` でハードディスク障害が 2 回発生し, ハードディスクを交換した (4月 28日, 5月 4日).
- 国立天文台アーカイブシステム SMOKA 計算機
計画停電時に `panda3` が故障したため, 国立天文台天文データセンターより代替機をもらって交換した (6月 30日).
- 突発天体サーベイ用計算機
突発天体サーベイ用計算機のラック (本館計算機室 ラック#2) に搭載した UPS が故障したため, 代替機を新規購入して交換した (9月 9日). UPS の設置は, 業者 1 名と観測所員の補助で行った.
`lustre` でハードディスク障害が 4 回発生し, ハードディスクを交換した (10月 15日, 10月 28日, 11月 20日, 1月 21日).
`shinohara 8-11` の電源ユニットの 1 つが故障したため, 代替品を購入して交換した (2月).
- 観測用計算機
`kaneto` の電源ユニットが故障したため, 代替品を購入して交換した (1月 12日).
- Tomo-e Gozen 一時保存用バッファ計算機
`tomoebuf-node2` でハードディスク障害が 1 回発生し, ハードディスクを交換した (3月 25日)
- 環境監視用計算機
本館玄関ホールの環境監視用 6 面ディスプレイに故障が頻発していたため, 各ディスプレイへの UPS 設置と Display ケーブルの交換を実施した (3月).

3.2.7 ネットワーク・通信機器の保守, 整備

- 10 Gbps 外部ネットワークの整備 (7月)
10 Gbps 外部ネットワークの固定 IP アドレスを 16 個取得して所内のデータアーカイブシステムや研究用計算機に割り当て, 本郷の情報公開用計算機へのデータ転送を開始した。セキュリティ対策として, 10 Gbps 外部ネットワーク用のネットワークスイッチを新たに設置してアクセス制御を行った。
- ドコモレピーター修理 (9月)
ドコモ携帯の電波増幅用に設置していたレピーターに動作不具合があったため, 修理を行った。
- 理学系ネットワークスイッチリプレイス (9月)
理学系管理のネットワークスイッチ (本館計算機室) で管理ログインできない障害が発生したため, 代替機を提供してもらいリプレイスした。
- ネットワーク障害への対応 (12月)
12月16日-18日にかけて大学のネットワークで障害が散発し, ルーター再起動などを行って対処した。
- FAX 回線障害への対応 (2月)
1月下旬から FAX が送信できない不具合が発生し, NTT の FAX 回線を修理した。当初 FAX 機の不具合を疑っており, ゼロックス複合機の FAX 機能を有効化したため, この機会に切り替えた。
- 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。

3.2.8 データアーカイブ

SMOKA (Subaru Mitaka Okayama Kiso Archive)

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。2020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 21 件あり, 1KCCD のデータは 1213 フレーム, 2KCCD のデータは 1537 フレーム, KWFC のデータは 36053 フレームの利用があった。今年度は, 2012 年以降の気象データと全天カメラの画像を SMOKA のカレンダー検索にて公開し, KWFC の観測期間の気象状況が確認できるようになった。気象データと全天カメラの画像は SMOKA の計算機へ転送を続けており, 2020 年 10 月からは, SMOKA の全天モニタ画像公開システム (OZSKYMON) で全天カメラ画像の公開を開始した。2012 年 8 月から前日までの全天カメラの画像を検索することができ, 研究・教育用の利用が期待される。

2019 年 9 月からは, 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 (詳細は, 3.2.4 を参照)。

Tomo-e Gozen によって取得した生データの一部と解析済みデータを SMOKA にアーカイブするためのシステムの構築も進めている。今年度は, 解析済みデータを 10 Gbps 外部ネットワークを通じて国立天文台にある計算機へ転送するため, ネットワーク接続を確立し, 転送方法の検討と試験を進めた。

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

2. スターバースト銀河 NGC253 の空間分解された星形成活動

高橋英則 (東京大学・木曾観測所); 中西康一郎, 松尾宏 (国立天文台)

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. 近赤外エシェル分光器 (NICE) による金星大気の観測

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); 前澤裕之, 築山大輝 (大阪府立大学); 高橋幸弘, 佐藤光輝, 高木聖子, 大野辰遠 (北海道大学); 今井正堯 (産業技術総合研究所)

近赤外エシェル分光器 (NICE) は, 田中研で開発された近赤外中分散分光撮像装置で, 金星探査機あかつきと共同で金星大気の観測を行うことを主目的として 2011 年より北海道大学 1.6m ピリカ望遠鏡のカセグレン焦点に搭載された。これまで大質量星チームとしての WR 星, LBV 星などの観測の他, 2017 年度から大阪府立大学, 北海道大学と共同研究で金星大気の観測を本格的に開始した。サイエンスとしては, 近赤外線にある分子輝線を使って, CO₂ を主大気とする金星の大気における低層と高層を繋ぐ物質循環や G 型星 (太陽) の活動によって駆動される化学反応素過程を解明しようとするものである。初年度か

ら装置の再立ち上げや動作試験, 試験観測, 実観測に向けての準備を進め, 2018年度には前年度に行った K-band より観測感度が高く, 金星大気の特徴を抽出しやすい H-band での観測を行った。金星は太陽との離角が小さいため実質的な観測時間が限られ, さらに明け(宵)の明星など観測条件(大気の影響)も非常に厳しい。そこで観測モードを限定し, 観測シーケンスを予め詳細に計画することで, 短時間での観測に対応した。2019年度は, 金星大気由来のスペクトルを再現するため, 強度および変動が大きな地球大気との差し引きや標準星による校正, ベースラインの補正, 波長校正など慎重に取得データの解析を進めた上で, HITRAN や HITEMP などの大気放射輸送モデルから予想されるスペクトルと比較した。その結果, 金星大気由来の CO₂ 吸収線特徴の検出に成功していることを確認できた。これらのデータについては引き続き詳細解析を進めている。北海道のサイトでの近赤外での金星スペクトルの観測が可能であることを初めて示すことができたが, 太陽との離隔や観測シーズンなどから観測できるタイミングや時間は限定的となる。そこで, さらにこの結果を受け, より大気透過率が高く, 可観測波長範囲も広がるのが予想される TAO サイトからの NICE での観測を計画している。同じアタカマにある ALMA との同時観測も計画しており, 複数波長の異なる高度のデータの同時観測を実現することで, 金星の化学物質の循環・分布・変動の実態解明と, 精密な大気モデルの構築が可能になると期待される。

4. 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。昨年度までに近赤外 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)の設計, 製作を進めた。さらにこれを保持し, 2枚のエタロンのギャップを可変にする駆動機構の概念設計を行った。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。次年度以降, 駆動機構の製作を行い, 光学素子と組み合わせた光学特性試験を行う。

3.2.10 論文および出版物

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

欧文論文

[2020]

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

“The effect of surface gravity on line-depth ratios in the wavelength range 0.97-1.32 μm ”

Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, Volume 494, Issue 2, pp.1724-1734 (04/2020)

2. Horiuchi, T.; Morokuma, T.; Misawa, T.; Hanayama, H.; Kawaguchi, T.
“A Comparison of Properties of Quasars with and without Rapid Broad Absorption Line Variability ”
The Astronomical Journal, Volume 159, Issue 5, id.237, 18 pp. (05/2020)
3. Kimura, Y.; Yamada, T.; Kokubo, M.; Yasuda, N.; Morokuma, T.; Nagao, T.; Matsuoka, Y.
“Properties of AGN Multiband Optical Variability in the HSC SSP Transient Survey ”
The Astrophysical Journal, Volume 894, Issue 1, id.24, 23 pp. (05/2020)
4. Tampo, Y.; Tanaka, M.; Maeda, K.; Yasuda, N.; Tominaga, N.; Jiang, J.; Moriya, T. J.; Morokuma, T.; Suzuki, N.; Takahashi, I.; Kokubo, M.; Kawana, K.
“Rapidly Evolving Transients from the Hyper Suprime-Cam SSP Transient Survey ”
The Astrophysical Journal, Volume 894, Issue 1, id.27, 13 pp. (05/2020)
5. Arimatsu, K.; Hashimoto, G. L.; Kagitani, M.; Sakanoi, T.; Kasaba, Y.; Ohsawa, R.; Urakawa, S.
“Evidence for a rapid decrease of Pluto’s atmospheric pressure revealed by a stellar occultation in 2019 ”
Astronomy & Astrophysics, Volume 638, id.L5, 4 pp. (06/2020)
6. Kamizuka, T.; Nakada, Y.; Yanagisawa, K.; Ohsawa, R.; Ita, Y.; Izumiura, H.; Mito, H.; Onozato, H.; Asano, K.; Ueta, T.; Miyata, T.
“Long-term Near-infrared Brightening of Nonvariable OH/IR Stars”
The Astrophysical Journal, Volume 897, Issue 1, id.42, 20 pp. (07/2020)
7. Chao, D. C. -Y.; Chan, J. H. -H.; Suyu, S. H.; Yasuda, N.; More, A.; Oguri, M.; Morokuma, T.; Jaelani, A. T.
“Lensed quasar search via time variability with the HSC transient survey ”
Astronomy & Astrophysics, Volume 640, id.A88, 17 pp. (08/2020)
8. Hatsukade, B.; Morokuma-Matsui, K.; Hayashi, M.; Tominaga, N.; Tamura, Y.; Niinuma, K.; Motogi, K.; Morokuma, T.; Matsuda, Y.
“Spatially resolved molecular gas properties of host galaxy of Type I superluminous supernova SN 2017egm ”
Publications of the Astronomical Society of Japan, Volume 72, Issue 4, id.L6 (08/2020)
9. Asano, T.; Kodama, T.; Motohara, K.; Lubin, L.; Lemaux, B. C.; Gal, R.; Tomczak, A.; Kocevski, D.; Hayashi, M.; Koyama, Y.; Tanaka, I.; Suzuki, T. L.; Yamamoto, N.; Kimura, D.; Konishi, M.; Takahashi, H.; Terao, Y.; Kushibiki, K.; Kono, Y.; Yoshii, Y. Swims Team
“Environmental Impact on Star-forming Galaxies in a $z \sim 0.9$ Cluster during the Course of Galaxy Accretion ”
The Astrophysical Journal, Volume 899, Issue 1, id.64 (08/2019)
10. Itoh, R.; Utsumi, Y.; Inoue, Y.; Ohta, K.; Doi, A.; Morokuma, T.; Kawabata, K. S.; Tanaka, Y. T.
“Blazar Radio and Optical Survey (BROS): A Catalog of Blazar Candidates Showing Flat Radio Spectrum and Their Optical Identification in Pan-STARRS1 Surveys ”
The Astrophysical Journal, Volume 901, Issue 1, id.3, 12 pp. (09/2020)
11. Tajiri, T.; Kawahara, H.; Aizawa, M.; Fujii, M. S.; Hattori, K.; Kasagi, Y.; Kotani, T.; Masuda, K.; Momose, M.; Muto, T.; Ohsawa, R.; Takita, S.
“Dippers from the TESS Full-frame Images. I. Results of the First One Year Data and Discovery of a

Runaway Dipper ”

The Astrophysical Journal Supplement Series, Volume 251, Issue 2, id.18, 18 pp. (12/2020)

12. Sameshima, H.; Yoshii, Y.; Matsunaga, N.; Kobayashi, N.; Ikeda, Y.; Kondo, S.; Hamano, S.; Mizumoto, M.; Arai, A.; Yasui, C.; Fukue, K.; Kawakita, H.; Otsubo, S.; Bono, G.; Saviane, I.
“Mg II and Fe II Fluxes of Luminous Quasars at $z \sim 2.7$ and the Evaluation of the Baldwin Effect in the Flux-to-abundance Conversion Method for Quasars ”
The Astrophysical Journal, Volume 904, Issue 2, id.162, 13 pp. (12/2020)
13. Ohsawa, R.; Hirota, A.; Morita, K.; Abe, S.; Kastinen, D.; Kero, J.; Szasz, C.; Fujiwara, Y.; Nakamura, T.; Nishimura, K.; Sako, S.; Watanabe, J.; Aoki, T.; Arima, N.; Arimatsu, K.; Doi, M.; Ichiki, M.; Ikeda, S.; Ita, Y.; Kasuga, T.; Kobayashi, N.; Kokubo, M.; Konishi, M.; Maehara, H.; Miyata, T.; Mori, Y.; Morii, M.; Morokuma, T.; Motohara, K.; Nakada, Y.; Okumura, S.; Sarugaku, Y.; Sato, M.; Shigeyama, T.; Soyano, T.; Takahashi, H.; Tanaka, M.; Tarusawa, K.; Tominaga, N.; Urakawa, S.; Usui, F.; Yamashita, T.; Yoshikawa, M.
“Relationship between radar cross section and optical magnitude based on radar and optical simultaneous observations of faint meteors ”
Planetary and Space Science, Volume 194, article id. 105011. (12/2020)

[2021]

1. Morokuma, T.; Utsumi, Y.; Ohta, K.; Yamanaka, M.; Kawabata, K. S.; Inoue, Y.; Tanaka, M.; Yoshida, M.; Itoh, R.; Sasada, M.; Tominaga, N.; Mori, H.; Kawabata, M.; Nakaoka, T.; Chogi, M.; Abe, T.; Huang, R.; Kawahara, N.; Kimura, H.; Nagashima, H.; Takagi, K.; Yamazaki, Y.; Liu, W.; Ohsawa, R.; Sako, S.; Murata, K. L.; Morihana, K.; Gilligan, C. K.; Isogai, K.; Kimura, M.; Wakamatsu, Y.; Ohnishi, R.; Takayama, M.; Honda, S.; Matsuoka, Y.; Yamashita, T.; Nagataki, S.; Tanaka, Y. T.
“Follow-up observations for IceCube-170922A: Detection of rapid near-infrared variability and intensive monitoring of TXS 0506+056”
Publications of the Astronomical Society of Japan, Volume 73, Issue 1, pp.25-43 (02/2021)
2. Gabriela Mena; Kenji Yoshikawa; Norbert Schorghofer; César Pastén; Felipe Agustin Ochoa; Yuzuru Yoshii; Mamoru Doi; Takeshi Miyata; Hidenori Takahashi; Gino Casassa; Toshio Sone,
“Freeze-thaw cycles and snow impact at arid permafrost region in Chajnantor Volcano, Atacama, northern Chile”
Arctic, Antarctic, and Alpine Research, Volume 53, Issue 1, p.60–66 (02/2021)
3. Yasui, C.; Kobayashi, N.; Saito, M.; Izumi, N.; Skidmore, W.
“Low-metallicity Young Clusters in the Outer Galaxy. III. Sh 2-127 ”
The Astronomical Journal, Volume 161, Issue 3, id.139, 15 pp. (03/2021)
4. 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 KISO GP Survey ”
The Astronomical Journal, Volume 161, Issue 4, id.176, 14 pp. (04/2021)
5. 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)

国際会議集録等

[2020]

1. Niino, Y.; Morokuma, T.; Sako, S.; Ohsawa, R.; Shikauchi, M.; Konishi, M.; Doi, M.; Shigeyama, T.; Tominaga, N.; Hamasaki, R.; Tanaka, M.; Yoshida, M.
“Optical followup observations of gravitational wave events with the wide-field CMOS camera Tomo-e Gozen ”
Yamada Conference LXXI: Gamma-ray Bursts in the Gravitational Wave Era 2019, proceedings of the conference held 28 October - 1 November 2019 in Yokohama, Kanagawa, Japan, pp.199-200 (05/2020)
2. Yoshida, F.; Ito, T.; Urakawa, S.; Terai, T.; Tominaga, N.; Morokuma, T.; Sako, S.; Ohsawa, R.; Tanaka, M.; Hamasaki, R.
“Phase curves of $\sim 40,000$ small solar system bodies obtained by the Tomo-e Gozen transient survey ”
14th Europlanet Science Congress 2020, held virtually, 21 September 2020 - 9 October, 2020. Online at <https://www.epsc2020.eu/>, id. EPSC2020-330 (09/2020)
3. Yoshida, F.; Ito, T.; Urakawa, S.; Terai, T.; Tominaga, N.; Morokuma, T.; Sako, S.; Ohsawa, R.; Tanaka, M.; Hamasaki, R.; Tomo-e Gozen Collaboration
“Phase curves of $\sim 40,000$ small solar system bodies obtained by the Tomo-e Gozen transient survey ”
AAS Division of Planetary Science meeting #52, id. 208.06. Bulletin of the American Astronomical Society, Vol. 52, No. 6 e-id 2020n6i208p06 (10/2020)
4. Kawahara, H.; Masuda, K.; Kotani, T.; Tada, S.; Kataza, H.; Ikari, S.; Aohama, H.; Hosonuma, T.; Mikuriya, W.; Ikoma, M.; Kasahara, S.; Sako, S.; Sugita, S.; Tatsumi, E.; Yoshioka, K.
“LOTUS: wide-field monitoring nanosatellite for finding long-period transiting planets ”
Proceedings of the SPIE, Volume 11443, id. 1144316 8 pp. (12/2020)
5. Miyata, T.; Yoshii, Y.; Doi, M.; Kohno, K.; Tanaka, M.; Motohara, K.; Minezaki, T.; Sako, S.; Morokuma, T.; Tanabe, T.; Hatsukade, B.; Takahashi, H.; Kamizuka, T.; Sameshima, H.; Kato, N.; Mumata, M.; Aoki, T.; Soyano, T.; Tarusawa, K.; Iwano, H.; Hamamichi, Y.; Matsubara, O.; Collao, J.
“The University of Tokyo Atacama Observatory 6.5m telescope: site development ”
Proceedings of the SPIE, Volume 11445, id. 1144506 7 pp. (12/2020)
6. Yoshii, Y.; Doi, M.; Miyata, T.; Kohno, K.; Tanaka, M.; Minezaki, T.; Sako, S.; Morokuma, T.; Tanabe, T.; Hatsukade, B.; Konishi, M.; Kamizuka, T.; Asano, K.; Sameshima, H.; Kato, N.; Numata, M.; Takahashi, H.; Aoki, T.; Soyano, T.; Tarusawa, K.; Yoshikawa, K.; Motohara, K.; Tamura, Y.; Koshida, S.; Handa, T.; Bronfman, L.; Ruiz, M.; Hamuy, M.; Mendez, R.; Escala, A.
“The University of Tokyo Atacama Observatory 6.5m Telescope: overview and construction status ”
Proceedings of the SPIE, Volume 11445, id. 1144514 12 pp. (12/2020)
7. Minezaki, T.; Morokuma, T.; Yoshii, Y.; Doi, M.; Miyata, T.; Kohno, K.; Tanaka, M.; Motohara, K.; Sako, S.; Tanabe, T.; Hatsukade, B.; Konishi, M.; Takahashi, H.; Kamizuka, T.; Sameshima, H.;

- Asano, K.; Kato, N.; Numata, M.; Aoki, T.; Soyano, T.; Tarusawa, K.; Nishimura, M.; Seki, T.; Kajitani, N.; Ikeda, Y.; Yoshikawa, T.; Matsumoto, Y.; Nakamaru, S.
“The University of Tokyo Atacama Observatory 6.5 m telescope: Development of the telescope and the control system ”
Proceedings of the SPIE, Volume 11445, id. 114452R 7 pp. (12/2020)
8. Yoshikawa, K.; Yoshii, Y.; Doi, M.; Miyata, T.; Kohno, K.; Tanaka, M.; Motohara, K.; Minezaki, T.; Sako, S.; Morokuma, T.; Tanabe, T.; Hatsukade, B.; Konishi, M.; Takahashi, H.; Kamizuka, T.; Sameshima, H.; Kato, N.; Numata, M.; Aoki, T.; Soyano, T.; Tarusawa, K.; Schorghofer, N.; Mena, G.
“The University of Tokyo Atacama Observatory 6.5m telescope: Permafrost hazards and the high-altitude infrastructures ”
Proceedings of the SPIE, Volume 11445, id. 1144540 15 pp. (12/2020)
9. Takahashi, H.; Yoshii, Y.; Doi, M.; Miyata, T.; Kohno, K.; Tanaka, M.; Motohara, K.; Minezaki, T.; Sako, S.; Morokuma, T.; Tanabé, T.; Hatsukade, B.; Konishi, M.; Kamizuka, T.; Asano, K.; Sameshima, H.; Kato, N.; Numata, M.; Aoki, T.; Soyano, T.; Tarusawa, K.; Kawai, Y.; Ogawa, H.
“The University of Tokyo Atacama Observatory 6.5m Telescope: Design of mirror coating system and its performances II ”
Proceedings of the SPIE, Volume 11445, id. 1144564 14 pp. (12/2020)
10. Collao, J.; Miyata, T.; Yoshii, Y.; Doi, M.; Kohno, K.; Tanaka, M.; Minezaki, T.; Sako, S.; Morokuma, T.; Tanabe, T.; Hatsukade, B.; Konishi, M.; Kamizuka, T.; Asano, K.; Sameshima, H.; Kato, N.; Numata, M.; Takahashi, H.; Aoki, T.; Soyano, T.; Tarusawa, K.; Iwano, H.; Hamamichi, Y.; Mastubara, O.
“The University of Tokyo Atacama Observatory 6.5m telescope: Safety management at the extremely high altitude at Chajnantor mountain ”
Proceedings of the SPIE, Volume 11445, id. 1144567 6 pp. (12/2020)
11. Konishi, M.; Motohara, K.; Takahashi, H.; Kato, N.; Kushibiki, K.; Nakamura, H.; Chen, N.; Kodama, T.; Hayashi, M.; Tanaka, I.; Tadaki, K.; Toshikawa, J.; Koyama, Y.; Shimakawa, R.; Suzuki, T. L.; Asano, T.; Okita, H.; Koshida, S.; Tateuchi, K.; Todo, S. Kobayakawa, Y.; Kitagawa, Y.; Ohashi, H.; Kono, Y.; Terao, Y.; Aoki, T.; Asano, K.; Doi, M.; Hatsukade, B.; Kamizuka, T.; Kohno, K.; Minezaki, T.; Miyata, T.; Morokuma, T.; Numata, M.; Sako, S.; Sameshima, H.; Soyano, T.; Tanabé, T.; Tanaka, M.; Tarusawa, K.; Ohsawa, R.; Tachibana, K.; Michifuji, T.; Yoshii, Y.
“The University of Tokyo Atacama Observatory 6.5m telescope: On-sky performance of the near-infrared instrument SWIMS on the Subaru telescope ”
Proceedings of the SPIE, Volume 11447, id. 114475H 15 pp. (12/2020)
12. Kamizuka, T.; Miyata, T.; Sako, S.; Ohsawa, R.; Asano, K.; Uchiyama, M. S.; Mori, T.; Yoshida, Y.; Tachibana, K.; Michifuji, T.; Uchiyama, M.; Sakon, I.; Onaka, T.; Kataza, H.; Aoki, T.; Doi, M.; Hatsukade, B.; Kato, N.; Kohno, K.; Konishi, M.; Minezaki, T.; Morokuma, T.; Numata, M.; Motohara, K.; Sameshima, H.; Soyano, T.; Takahashi, H.; Tanabé, T.; Tanaka, M.; Tarusawa, K.; Koshida, S.; Tamura, Y.; Terao, Y.; Kushibiki, K.; Nakamura, H.; Yoshii, Y.
“The University of Tokyo Atacama Observatory 6.5m telescope: On-sky performance evaluations of the mid-infrared instrument MIMIZUKU on the Subaru telescope ”
Proceedings of the SPIE, Volume 11447, id. 114475X 19 pp. (12/2020)

13. Asano, K.; Tanaka, M.; Takahashi, H.; Sameshima, H.; Nishimura, A.; Aoki, T.; Doi, M.; Hatsukade, B.; Kato, N.; Kamizuka, T.; Kohno, K.; Konishi, M.; Minezaki, T.; Miyata, T.; Morokuma, T.; Numata, M.; Sako, S.; Motohara, K.; Soyano, T.; Tanabé, T.; Tarusawa, K.; Koshida, S.; Yoshii, Y.
“The University of Tokyo Atacama Observatory 6.5m telescope: update of the Near-Infrared Echelle Spectrograph NICE as a first light instrument ”
Proceedings of the SPIE, Volume 11447, id. 114476I 8 pp. (12/2020)
14. Michifuji, T.; Kamizuka, T.; Miyata, T.; Sako, S.; Ohsawa, R.; Asano, K.; Uchiyama, M. S.; Mori, T.; Yoshida, Y.; Tachibana, K.; Uchiyama, M.
“Development of flat fielding method in MIR for accurate photometry with TAO/MIMIZUKU ”
Proceedings of the SPIE, Volume 11447, id. 114479M 9 pp. (12/2020)

[2021]

1. Sarugaku, Y.; Otsubo, S.; Ikeda, Y.; Kobayashi, N.; Kimura, N.; Kato, K.; Kondo, S.; Kawakita, H.
“Conceptual design of a compact space-borne IR high-resolution cross-dispersed spectrograph realized by germanium immersion grating and all-cordierite reflective optical system ”
Proceedings of the SPIE, Volume 11443, id. 114435T 8 pp. (01/2021)

3.2.11 天文電報等

[2020]

1. Niino, Y.; Morokuma, T.; Sako, S.; Ohsawa, R.; Beniyama, J.; Kokubo, M.; Tomo-e Gozen Collaboration
“No optical bursts detected from SGR J1935+2154 by 24 fps observations with Tomo-e Gozen ”
GRB Coordinates Network, Circular Service, No. 27678 (05/2020)
2. Kokubo, M.; Mitsuda, K.; Morokuma, T.; Tominaga, N.; Tanaka, M.; Moriya, T. J.; Yoachim, P.; Ivezic, Z.; Sako, S.; Doi, M.
“VizieR Online Data Catalog: Follow-up obs. of the type IIIn SN KISS15s (Kokubo+, 2019) ”
VizieR On-line Data Catalog: J/ApJ/872/135. (08/2020)
3. Ohgami, T.; Tominaga, N.; Morokuma, T.; Terai, T.; Takagi, Y.; Yanagisawa, K.; Yoshida, M.; Onozato, H.; Sasada, M.; Tanaka, M.; Utsumi, Y.; J-GEM Collaboration
“LIGO/Virgo S200224ca: Subaru/Hyper Suprime-Cam follow-up observations ”
GRB Coordinates Network, Circular Service, No. 27205 (02/2020)
4. Tominaga, N.; Tanaka, M.; Morokuma, T.; Utsumi, Y.; Yamaguchi, M. S.; Yasuda, N.; Tanaka, M.; Yoshida, M.; Fujiyoshi, T.; Furusawa, H.; Kawabata, K. S.; Lee, C. -H.; Motohara, K.; Ohsawa, R.; Ohta, K.; Terai, T.; Abe, F.; Aoki, W.; Asakura, Y.; Barway, S. Bond, I. A.; Fujisawa, K.; Honda, S.; Ioka, K.; Itoh, Y.; Kawai, N.; Kim, J. H.; Koshimoto, N.; Matsubayashi, K.; Miyazaki, S.; Saito, T.; Sekiguchi, Y.; Sumi, T.; Tristram, P. J.
“VizieR Online Data Catalog: Subaru HSC counterpart candidates of GW170817 (Tominaga+, 2018) ”
VizieR On-line Data Catalog: J/PASJ/70/28. (02/2020)

5. Onaka, T.; Nakamura, T.; Sakon, I.; Ohsawa, R.; Wu, R.; Kaneda, H.; Lebouteille, V.; Roellig, T. L.
“Processing of nano dust particles in galaxies ”
Astronomy in Focus XXX, presented at IAU XXX General Assembly, Vienna, Austria. Proceedings of the IAU, 2020, pp. 391-392 (03/2020)
6. Kondo, S.; Fukue, K.; Matsunaga, N.; Ikeda, Y.; Taniguchi, D.; Kobayashi, N.; Sameshima, H.; Hamano, S.; Arai, A.; Kawakita, H.; Yasui, C.; Izumi, N.; Mizumoto, M.; Otsubo, S.; Takenaka, K.; Watase, A.; Asano, A.; Yoshikawa, T.; Tsujimoto, T.
“VizieR Online Data Catalog: FeI lines in NIR spectra of Arcturus & mu Leo (Kondo+, 2019) ”
VizieR On-line Data Catalog: J/ApJ/875/129. (09/2020)

[2021]

1. Itoh, R.; Utsumi, Y.; Inoue, Y.; Ohta, K.; Doi, A.; Morokuma, T.; Kawabata, K. S.; Tanaka, Y. T.
“VizieR Online Data Catalog: Blazar Radio and Optical Survey (BROS) (Itoh+, 2020) ”
VizieR On-line Data Catalog: J/ApJ/901/3. Originally published in: 2020ApJ...901....3I (03/2021)

学位論文

1. 紅山 仁
「木曾 Tomo-e Gozen を用いた高速移動天体検出システムの開発及び即時追観測による微小地球接近小惑星の観測的研究」
東京大学 令和2年度 修士論文
2. 小川 貴士
「Tomo-e Gozen によるプレアデス星団の変光星観測」
東京大学 令和2年度 修士論文
3. 安達 稜
「ブラックホール X 線連星 MAXI J1820+070 の多波長観測に基づく再増光現象の放射過程の研究」
東京工業大学 令和2年度 修士論文
4. 森田 晃平
“Size Distribution of Small Meteoroids Derived from Simultaneous Observations of Fain Meteors using MU Radar and Schmidt Telescope and its Application to Orbital Evolution ”
日本大学 令和2年度 修士論文
5. 岩崎 巧実
「狭帯域フィルターを用いた金属欠乏星探査観測およびその分光追観測」
甲南大学 令和2年度 修士論文

和文論文・解説記事他

[2020]

1. 植田稔也 (デンバー大学), 三戸洋之 (東京大学), 大塚雅昭 (京都大学), 中田好一 (東京大学)
「QP 輝線画像抽出法：誰でもできる面分光」
天文月報, 第 113 巻, 第 9 号, pp.552-562. (2020 年 9 月)

2. Toshikazu Shigeyama, Shigeyuki Sako
 “Research of binary neutron star merger phenomenon by high speed sweeping observation ”
 Impact, Volume 2020, Number 5, pp. 13-15 (11/2020)

[2021]

1. 吉田英人 (東京大学)
 「東京大学木曾観測所夜天光全天カメラに記録されていた 2001 年しし座流星群」
 天文月報, 第 114 巻, 第 1 号, pp.47-51. (2021 年 1 月)

3.2.12 学会, 研究会等での報告

日本天文学会 2020 年秋季年会 (弘前大学 (オンライン開催), 2020/09/08–10)

1. 松永典之 (東京大学), 前原裕之 (国立天文台, 京都大学), 浮田信治 (国立天文台), 坂本強 (元・日本スペースガード協会), 小林尚人, 青木勉, 征矢野隆夫, 樽澤賢一 (東京大学), 猿楽祐樹 (京都産業大学), 三戸洋之, 酒向重行, 諸隈智貴, 土居守, 中田好一 (東京大学), 泉奈都子 (茨城大学), 板由房 (東北大学), 小野里宏樹 (兵庫県立大学)
 N21a 「KWFC 銀河面変光天体探査 (KISOGP) – V」
2. 上塚貴史, 中田好一, 大澤亮, 三戸洋之, 浅野健太郎, 宮田隆志 (東京大学), 柳澤顕史, 泉浦秀行 (国立天文台), 板由房 (東北大学), 小野里宏樹 (兵庫県立大学), 植田稔也 (デンバー大学)
 N27a 「非変光 OH/IR 星の近赤外線長期増光現象の発見」
3. 福江慧, 池田優二, 河北秀世 (京都産業大学), 松永典之, 近藤荘平, 谷口大輔, 鮫島寛明, 小林尚人 (東京大学), 濱野哲史, 安井千香子, 辻本拓司 (国立天文台), WINERED 開発チーム
 N32a 「近赤外線高分散分光器 WINERED : Mg, Si, Ca, Ti, Cr, Ni の化学組成導出に用いる YJ バンド中の吸収線の選定」
4. 谷口大輔, 松永典之, 小林尚人 (東京大学)
 N33a 「SVC:高分散分光スペクトルの連続波を高精度に規格化する新手法」
5. 前澤裕之, 浜口優輝, 米津, 富原彩加, 西村淳 (大阪府立大), 田中培生, 高橋英則 (東京大学), 高橋幸弘, 佐藤光輝, 高木聖子, 大野辰遼 (北海道大学), 今井正堯 (産業総合技術研究所), 奥村真一郎 (日本スペースガード協会), YeonJooLee(TechnicalUniversityofBerlin), 他 NICE グループ
 P308a 「近赤外中分散エシエル分光器/PIRKA 望遠鏡による金星大気物質循環へのアプローチ」
6. 酒向重行, 大澤亮, 諸隈智貴, 新納悠, 土居守, 茂山俊和, 小林尚人, 小西真広, 高橋英則, 近藤荘平, 森由貴, 青木勉, 紅山仁 (東京大学), 渡部潤一, 瀧田怜 (国立天文台), 富永望 (甲南大学), 田中雅臣 (東北大学), 奥村真一郎 (日本スペースガード協会), 池田思朗 (統計数理研), Tomo-e Gozen コラボレーション
 V204a 「木曾広視野 CMOS カメラ Tomo-e Gozen による広域動画サーベイ」
7. 道藤翼, 宮田隆志, 上塚貴史, 酒向重行, 大澤亮, 浅野健太郎, 橋健吾, 左近樹 (東京大学)
 V205a 「TAO6.5m 望遠鏡用中間赤外線観測装置 MIMIZUKU:二視野合成機構 FieldStacker を用いたフラット作成とその効能」
8. 櫛引洸佑 (東京大学), 本原顕太郎 (国立天文台, 東京大学), 小西真広, 高橋英則, 加藤夏子, 寺尾恭範, 中村洋貴, 陳諾 (東京大学), 沖田博文, 越田進太郎, 小山佑世, 田中壱 (国立天文台ハワイ観測所), 吉井讓 (東京大学, アリゾナ大)
 X29a 「近傍 LIRG の近赤外線複数輝線から探る銀河相互作用の影響」

日本天文学会 2021 年春季年会 (東京工業大学 (オンライン開催), 2021/03/16-19)

1. 有馬宣明, 土居守, 諸隈智貴, 高梨直紘 (東京大学)
N11b 「近傍 Ia 型超新星の intrinsic color & dust extinction の多様性」
2. 橘健吾, 宮田隆志, 上塚貴史, 大澤亮, 瀧田怜 (東京大学), 中川亜紀治 (鹿児島大学), 内山瑞穂 (宇宙科学研究所), 板由房 (東北大学)
N12a 「AKARI, WISE による AGB 星の中間赤外線長期変光調査」
3. 岩崎巧実, 富永望 (甲南大学), 本田敏志 (兵庫県立大学), 諸隈智貴 (東京大学), Tomo-eGozen コラボレーション
N13a 「Tomo-eGozen による狭帯域フィルター金属欠乏星探索およびなゆた望遠鏡 MALLS による中分散分光追観測」
4. 安井千香子, 齋藤正雄 (国立天文台), 小林尚人 (東京大学), 泉奈都子 (茨城大学, ASIAA), Warren Skidmore (TMT International Observatory)
P209a 「銀河系外縁部における低金属量星生成領域 Sh2-127 の近赤外深撮像」
5. 加藤晴貴 (京都産業大学), 安井千香子 (国立天文台), 池田優二 (京都産業大学), 小林尚人 (東京大学), 他 WINERED チーム
P210a 「若い中質量星 HD200775 の原始惑星系円盤に見られた光蒸発の兆候」
6. 水本岬希 (京都大学), 鮫島寛明, 小林尚人 (東京大学), 他 WINERED チーム
S15a 「超高速アウトフローと近赤外 [Fe II]/[P II] 輝線強度比との関係」
7. 田中壺 (Subaru Telescope), 海老塚昇 (理研), 本原顕太郎 (国立天文台), 児玉忠恭 (東北大学), 服部堯, 小俣浩司, 田中陽子 (Subaru Telescope), 高橋英則 (東大木曾観測所), 小西真広 (東大天文センター)
V202a 「MOIRCS に搭載された広帯域高効率な新グリズムの開発と性能評価」
8. 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, 本原顕太郎, 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, 上塚貴史, 高橋英則, 青木勉, 征矢野隆夫, 樽沢賢一, 加藤夏子, 鮫島寛明, 浅野健太郎 (東京大学)
V207a 「東京大学アタカマ天文台 TAO6.5m 望遠鏡計画 現地建設進捗状況」
9. 酒向重行, 大澤亮, 諸隈智貴, 新納悠, 瀧田怜, 土居守, 茂山俊和, 小林尚人, 小西真広, 高橋英則, 近藤荘平, 森由貴, 青木勉, 紅山仁 (東京大学), 渡部潤一 (国立天文台), 富永望 (甲南大学), 田中雅臣 (東北大学), 奥村真一郎 (日本スペースガード協会), 池田思朗 (統計数理研), Tomo-eGozen コラボレーション
V208a 「木曾 Tomo-eGozen の広域動画サーベイのデータ公開に向けた開発」
10. 山中雅之 (京都大学), 高木聖子 (北海道大学), 高橋隼 (兵庫県立大学), Malte Schramm, 大朝由美子 (埼玉大学), 中岡竜也 (広島大学), 永山貴宏 (鹿児島大学), 野上大作 (京都大学), 村田勝寛 (東京工業大学), 楠根貴成 (名古屋大学), 諸隈智貴 (東京大学), 花山秀和, 堀内貴史, 関口和寛 (国立天文台), 他光赤外線大学間連携事業メンバー V209a 「光赤外線大学間連携事業の活動報告」
11. 坂井郁哉 (サイエンスステーション, 東京大学), 丹羽佑果 (サイエンスステーション, 東京工業大学), 大島由佳, 宮田隆志, 吉井讓 (サイエンスステーション, 東京大学), 大澤亮, 高橋英則, 森由貴 (東京大学), 他銀河学校 2020 スタッフ, サイエンスステーション
Y03a 「高校生向け天文学実習「銀河学校」のオンライン実施報告」

12. 衣笠健三 (国立天文台野辺山), 大西浩次 (長野高専), 青木勉 (東大木曾観測所), 吉住千亜紀 (飯田市美術博物館), 宮地美由紀 (塩尻星の会), 川村晶, 他「長野県は宇宙県」連絡協議会
Y09b 「長野県は宇宙県」キーワードラリー 2020」
13. 大西浩次 (国立長野高専), 陶山徹 (長野市立博物館), 早川尚志 (名古屋大学), 衣笠健三 (国立天文台野辺山), 青木勉, 小林尚人, 森由貴 (東大木曾観測所), 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), 岩田重一, 是枝敦子 (しなの星空散歩会きらきら), 長野県天文文化研究会メンバー, 「長野県は宇宙県」連絡協議会メンバーほか
Y13a 「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」

日本天文学会第 23 回ジュニアセッション (東京工業大学 (オンライン開催), 2021/3/20)

1. 銀河学校 2020: 齊藤龍輝 (2020 年卒) (日本大学豊山高等学校), 泉理穂 (高 2) (筑波大学附属高等学校), 木村萌恵 (高 2) (東京都立日比谷高等学校), 朝比奈真乙 (高 1) (浦和明の星女子高等学校)
「二色図からみる暗黒星雲が周りの星に与える影響」

木曾シュミットシンポジウム 2020

木曾観測所では毎年, 木曾観測所の施設を用いた観測・研究の発表議論を行う場として「木曾シュミットシンポジウム」を行っているが, 2020 年度は COVID-19 感染拡大防止のため通常の開催が難しく, 開催を見送った。

普及講演

1. 大澤: 「木曾観測所「トモエゴゼン」が挑む微光流星の観測」, 2021/02/06, 第 5 回「長野県は宇宙県」ミーティング

3.2.13 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一つである。

2020 年度は, 学部 3 年生 6 名と TA1 名に代表者を加えた合計 8 名が 2020 年 10 月 21 日-23 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。残念ながら天気は良くなかったが, 短時間の晴れ間に必要最低限の観測は行なえた。取得したデータは (1) g バンド, 2 分露出 \times 6 ポインティング, (2) i バンド, 2 分露出 \times 6 ポインティングである。観測の際は, まず観測所スタッフの大澤亮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, 望遠鏡やカメラの操作, 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, 大澤さんの指導のもと, 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。一次解析の中で最も難しい作業

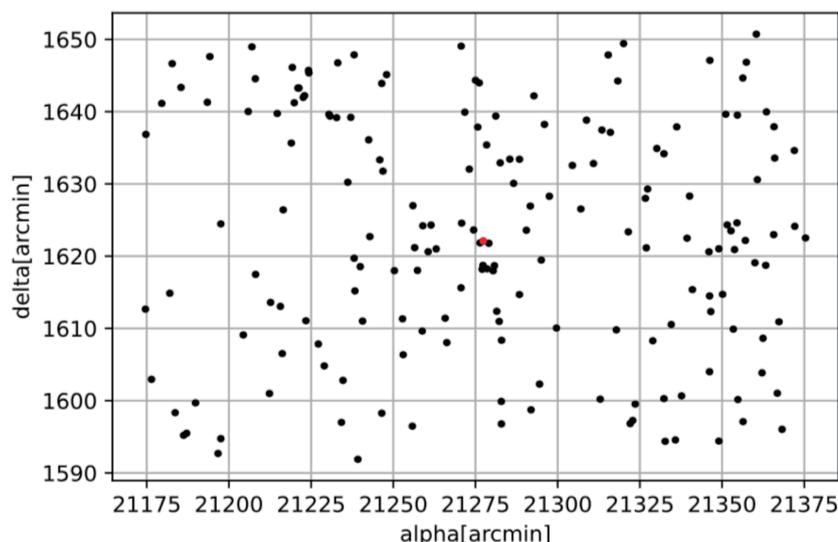


図 3.16: 早期型銀河の天球分布 (津々木里咲氏のレポートより)

である「画像のつなぎ合わせ」が2019年度から大澤さんの開発したソフトにより自動化されており、そのおかげで天体検出の作業に十分時間を割くことができている。図 3.16 は解析の結果得られた $3.5^\circ \times 1.0^\circ$ の領域における早期型銀河の天球分布である (津々木里咲のレポートより)。中心付近の銀河の集団がターゲットの銀河団である。Tomo-e Gozen の広い視野のおかげで銀河団の周囲の銀河まで観測できている。

2. 天文学観測による天文学教育の実践と教材開発 (5 大学合同実習)

伊藤信成 (三重大学), 濱部勝 (日本女子大学), 山縣朋彦 (文教大学), 西浦慎悟 (東京学芸大学), 下井倉ともみ (大妻女子大学)

2020年8月18日(火)–21日(金)に実施予定であったが、COVID-19 感染拡大防止のため中止となった。

3. 天体観測ワークショップ 甲南大学理工学部物理学科 2 年生向け実習授業

富永望 (甲南大学), 諸隈智貴 (東京大学・天文学教育研究センター)

今年度から単位を取得できる「天体観測ワークショップ」としての開催となった。甲南大学理工学部物理学科の2年生3名が参加し、オンラインによる事前学習を行った後に、木曾観測所に滞在しこれまで彼ら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。9/15-18の3晩の観測で 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, NICER との同時観測との共同であった。初日はなんとか晴天に恵まれ、Tomo-e を用いた観測を行うことができた。

ま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、M13, M20, M31, M35, M51, M52, M77, M82, Bol324 であった。その後、実際に自分たちで取得したデータに対して、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、学生たちは天文学の研究に欠かせない天体観測・データ解析の実感をつかみ、自分で観測した画像を自分で解析するという喜びを知ったと考えられる。彼らが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。

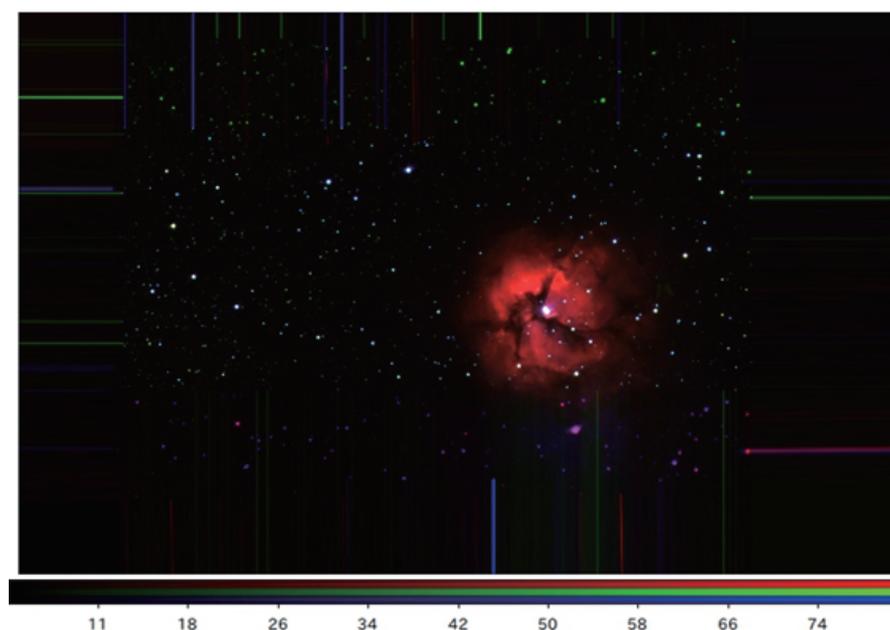


図 3.17: 学生が3色合成した M20 の画像

4. Tomoe 突発天体・変動天体観測に向けた甲南大学観測実習 富永望 (甲南大学), 諸隈智貴 (東京大学・天文学教育研究センター)

2021年2月15日(月)–18日(木)に、3年生を対象として実施予定であったが、COVID-19感染拡大防止のため中止となった。

3.2.14 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。以下に今年度行った木曾観測所に関連した活動についてまとめる。

「長野県は宇宙県」連絡協議会

2017年2月に、「長野県は宇宙県」連絡協議会が創設され、それ以降様々な活動を行いながら天文学会やシンポジウムなどを通じて「長野県は宇宙県」の活動について紹介を行ってきた。2017年以降毎年行ってきた「長野県は宇宙県」スタンプラリーは新型コロナウイルス蔓延防止のため、オンラインにて「長野県は宇宙県」キーワードラリー2020として12月12日から2月28日まで実施した。実施内容は長野県内の研究所や各天文関係団体から提供された動画コンテンツを参加者に視聴して頂き、その中に出てくるキーワードやクイズに答えてもらい、長野県内の天文施設や美しい星空の魅力をたくさんの方々知ってもらうことを目標とした。提供

実施日時	内容 (実施場所)	参加人数	担当職員
6月13日	第1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
7月13日	第2回長野県は宇宙県コアミーティング (オンライン)	13名	小林, 青木, 森
7月24日	第5回星空継続観察ミーティング (於: 塩尻市北部交流センター+オンライン)	28名	青木
8月24日	第3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
9月30日	第4回長野県は宇宙県コアミーティング (オンライン)	12名	小林, 青木, 森
11月2日	第5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
11月21日	第6回星空継続観察ミーティング (於: 塩尻市北部交流センター+オンライン)	45名	青木, 高橋, 森
11月21日	第4回長野県天文愛好者連絡会 (於: 塩尻市北部交流センター+オンライン)	45名	青木
12月1日	第6回長野県は宇宙県コアミーティング (オンライン)	11名	小林, 青木, 森
12月12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)	9名	小林, 青木, 森
12月12日 -2月28日	キーワードラリー 2020		
12月12日	キーワードラリー 2020 キックオフイベント (於: 木曾観測所)	約200名 (オンライン)	青木, 森, 高橋, 近藤
1月25日	第8回長野県は宇宙県コアミーティング (オンライン)	9名	青木
2月6日	第5回「長野県は宇宙県」ミーティング及び公開講演会 (於: 木曾文化公園+オンライン)	282名	小林, 青木, 森, 高橋, 近藤



図 3.19: 「長野県は宇宙県」公開講演会の様子

図 3.20: 第5回「長野県は宇宙県」ミーティング
集合写真

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年度までの3年間に亘る事業計画を立て実施してきたが、令和2年度は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ている。今年度の主な事業としては、地元の教職員を対象とした研修会を木曾観測所で2回実施した他、昨年度と同様に「星の学校」企画として、御嶽山自然学習会と星空観察会を組み合わせた企画の検討会や宿泊業者のための星空観察プランの勉強会を10月と12月に行なった。また、懸案であったシュミット望遠鏡ドームの2階観覧室に望遠鏡の動作説明用に動画を活かしたデジタルサイネージを設置した。このシステムは見学時間内及び来客時のみ稼働するようラズパイを用いてプログラムされている。その他「長野県は宇宙県」連絡協議会などが主催する公開講演会（木曾文化公園文化ホールで

開催)の後援なども行なった。また、今後の協議会活動のPR用にポストカードの製作も行なった。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	打合せ会議(於:木曾観測所)	9名	小林, 青木
7月3日	第1回役員会(於:木曾合同庁舎)	9名	青木
8月26日	通常総会(書面決議)	12名	青木, 小林
9月11日	委員会及び現地検討会(於:王滝村)	約10名	青木, 小林
10月13日	自然学習会及び星の学校(於:王滝村)	29名	青木, 高橋, 近藤
11月13日	教職員を対象とした研修会(於:木曾観測所)	9名	青木
11月26日	教職員を対象とした研修会(於:木曾観測所)	8名	青木, 高橋
12月15日	星の学校(於:木曾観測所)	12名	青木, 高橋
2月6日	公開講演会:吉川真 (於:木曾文化公園+オンライン)	282名	小林, 青木, 高橋, 近藤, 森
3月9日	第2回役員会(於:木曾合同庁舎)	14名	小林, 青木



図 3.21: 星の学校 (9月11日版) 用案内チラシ(左)と、新たに開発した地産地消を目指した夕食メニュー(右)

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24日	星の会総会(於:木曾観測所+オンライン)	11名	オブザーバー:青木, 高橋, 近藤
6月21日	イベント等(部分日食観察会)検討会 (於:木曾観測所)	11名	青木, 高橋
11月5日	上松小学校高学年対象 冬の星座観望会 (於:上松小学校)	23名	協力:青木
12月5日	木曾星の会 30cm 望遠鏡を用いた観測実習 (於:木曾観測所)	4名	協力:青木, 高橋

その他の活動

実施日時	実施場所・内容	人数	担当職員
10月10日	木曾観測所サポーターズクラブ講習会と認定試験	受講生 11名	高橋, 青木, 近藤
10月17日	木曾町ジュニアマイスター 望遠鏡見学, 星の話, 4D2U 体験	親子 37+5名	高橋, 青木, 近藤

3.2.15 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 2020

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 23 回銀河学校は, 2020 年 3 月 24 日 (火)–27 日 (金) に開催予定であったが, COVID-19 感染拡大防止のため延期し, 8 月 9 日 (日)–11 日 (火) に Zoom を使ったオンライン形式で開催した。初のオンライン開催で様子がわからなかったこと, 緊急事態宣言時の休校の影響により夏休みが短縮され日程を確保し辛かったことにより, 例年の銀河学校より短い 3 日間 (1 日目: 14 時–21 時, 2 日目: 10 時–18 時, 3 日目: 17 時–19 時) の日程で実施した。

実習は, Zoom でのやりとりを基本とし, 質問や連絡用に Slack を, データ共有のために Google Drive と pukiwiki を利用した。実習の内容は現地開催時と基本的には同じで, 班長を務める研究者が用意したテーマをもとに, 観測データの解析, 考察, 結果発表という天文学研究の一連の流れを体験することを目指した。ただし, 105 cm シュミット望遠鏡を使った天体観測は Zoom を通じた見学のみとし, 解析に使う観測データは事前に班長が用意したものをを用いた。遠隔で説明・確認しながらの解析作業は困難も多かったが, TA の根気強く丁寧な指導の結果, 全員がやり遂げることができた。現地開催と異なり時間の制約が厳しかったことや, 解析に予定よりも時間がかかったことから, 考察と結果発表の時間を十分とれなかったことが残念であったが, 参加者からは満足の声を得ることができ, 意義深いイベントとなった。実習形式のイベントをオンラインで開催する手応えを得られたことも, 大きな収穫であった。

● 対象

全国の高校生

● 日程・形式

2020 年 8 月 9 日 (日) – 11 日 (火)・Zoom を使ったオンライン形式

● 担当者

講師: 大澤亮, 高橋英則

TA: 菊地原正太郎, 紅山仁, 大島由佳, 坂井郁哉 (東京大学); 島田明音 (愛媛大学); 丹羽佑果 (東京工業大学); 嶋田理央 (慶應義塾大学); 大村充輝 (九州大学)

スタッフ: 森由貴, 小林尚人, 近藤莊平, 青木勉

- **参加人数**
高校生(新大学生含む)19名(3月開催への応募者74名から抽選で選ばれた24名の中の参加希望者)
- **研究テーマ**
暗黒星雲の正体を探れ
- **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

銀河学校 2021

第24回銀河学校を、2021年3月26日(金)–29日(月)に開催した。COVID-19感染拡大防止のため、前回に引き続きオンライン形式で開催した。

前回同様に Zoom でのやりとりを基本とし、質問や連絡用に Slack を、データ共有のために Google Drive を利用した。実習の内容は現地開催時と基本的には同じで、班長を務める研究者が用意したテーマをもとに、観測データの解析、考察、結果発表という天文学研究の一連の流れを体験することを目指した。今回も解析に使う観測データは事前に班長が用意したものをういたが、参加者それぞれに撮影したい天体の観測レシピを作成してもらい、それを実行することで、105 cm シュミット望遠鏡を使った観測の実際を体験してもらった。今回は例年と同じ4日間の日程を確保したため、考察の時間を十分にとることができた。しっかりした発表会まで行うことができ、充実した内容となった。

- **対象**
全国の高校生
- **日程・形式**
2021年3月26日(金) – 29日(月)・Zoom を使ったオンライン形式
- **担当者**
講師: 高橋英則, 新納悠
TA: 大島由佳, 坂井郁哉, 杉山純菜, 直川史寛, 田中匠(東京大学); 大村充輝(九州大学); 石川諒(東北大学); 岡本尚子(東京農業大学); 照井孝之介(東京海洋大学)
スタッフ: 森由貴, 小林尚人, 近藤莊平, 青木勉
- **参加人数**
高校生24名(応募者35名から抽選)
- **研究テーマ**
銀河系測量
- **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2高校に対し実施した(※)。例年は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、宿泊や食事を伴わず、広い場所を確保して COVID-19 感染のリスクを抑えるため、今年度はそれぞれの高校へ出張して開催した。シュミット望遠鏡や星空を見てもらえなかったことは残念であるが、宇宙年齢をもとめる実習は例年通りの内容で実施することができ、参加者の満足度も上々であった。

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 40名	7月28-29日	主講師: 高橋, 副講師: 近藤, サポート: 森, TA: 伊東大輔(信大・総合医理工・D3), 新井宏典(信大・教育・B4)
長野県飯山高校**	2年生 29名	10月2-3日	主講師: 高橋, 副講師: 近藤, サポート: 森, TA: 谷口大輔(東大・天文・D1), 劉強(信大・理・B4)

**SSH(スーパーサイエンスハイスクール指定校)

(※) 長野県木曾青峰高校と長野県伊那北高校も実施を予定していたが、COVID-19 感染拡大防止のため、観測所見学と講義を行うことで代替した。

木曾観測所特別公開(2020年8月1日)

今年度は COVID-19 の感染リスクを考慮し、8月1日にオンラインで開催した。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。

105 cm シュミット望遠鏡内部にビデオカメラを入れて、内部に取り付けられている「トモエゴゼンカメラ」を見せる試みや、夜間にトモエゴゼンを使って実際に観測している様子の中継するなど、例年の特別公開にはない企画も行った。また、YouTube のチャット機能を利用して、視聴者がリアルタイムに感想や質問を書き込めるようにした結果、一方通行の配信ではなく、視聴者も参加している雰囲気を作り出すことができた。視聴数も事前の予想を上回る数で、最も多い時間帯には350名ほど、全体を通して常に200名以上の視聴があり、オンラインイベントの需要が感じられた。これまで現地へなかなか足を運べなかった人にも木曾観測所の様子を知ってもらえる、有意義なイベントとなった。

なお、例年は名古屋大学宇宙地球環境研究所とあわせて開催しているが、今年度は名古屋大学の公開は中止となった。

- 第1部「木曾観測所のおはなし」(15時~16時)

木曾観測所の概要紹介, 105 cm シュミット望遠鏡デモンストレーション, 鏡筒内のトモエゴゼンカメラの公開, 歴代の観測装置紹介

- 第2部「最新観測装置トモエゴゼンのおはなし」(17時～18時)

講演会「動き出したトモエゴゼン」

酒向 重行 (天文センター 准教授), 大澤 亮 (天文センター 特任助教), 新納 悠 (天文センター 特任助教), 紅山 仁 (天文学専攻 修士2年)

- 第3部「シュミット望遠鏡で空をみる」(18時半～19時半, 20時～21時)

観測システムの紹介, キャリブレーションデータ取得の様子, トモエゴゼンを使った観測の中継



図 3.22: 講演会の様子



図 3.23: トモエゴゼン観測中継の様子

東大オープンキャンパス (2020年9月21日-22日, 2021年1月6日-19日)

毎年東大本郷キャンパスで開かれている理学部オープンキャンパスだが, 2020年は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。1回目は9月21, 22日にライブ配信で, 2回目は2021年1月6日から19日までオンデマンド配信が行われた。木曾観測所は2回目に配信された天文学科紹介のムービーの中で, 観測所の紹介という形で参加した。

天文学教育研究センター特別公開 (三鷹 2020年10月24日)

2020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10月24日(土)に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, 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。また, 国立天文台特設サイトにおけるライブ配信の中で, 土居センター長による特別講演も行われた。

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ポスター, 木曾観測所紹介動画, シュミット望遠鏡のデモンストレーション動画を公開した。

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で撮影したオリオン大星雲(M42)の, B, V, N6590, N5013, N4873 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ー, 教育機関等に幅広く配布された。



図 3.24: シュミット望遠鏡デモンストレーション動画の一部



図 3.25: 2021 年のカレンダー

木曾観測所 ロゴマークの制作

青木氏・征矢野氏・樽澤氏が定年を迎えるにあたり、木曾観測所のロゴマークを制作した。デザインは、科学プロデューサー&グラフィックデザイナーの野呂和史氏に依頼した。シュミットドームのスリット越しに見た星空をイメージし、ロゴ全体の形状は東京大学の「銀杏」となっている。また、中心の星は木曾観測所が探究してきた宇宙の象徴、星に向かって伸びた流れ星の光芒は、木曾観測所が目指してきた「観測・研究」「教育」「地域連携」の三本柱を表現している。開所当時から観測者が、そしてシュミット望遠鏡が見続けているスリット越しの星空に、これからも望遠鏡をのぞかせ、宇宙を探究し続けてほしいという三氏の想いが込められたロゴマークとなった。ロゴマークのお披露目のため、ロゴマークを配したステッカーとボールペン、封筒を作成し、関係者へ配布した。今後も、プレゼンやリリース資料、グッズ制作などで活用していく予定である。



図 3.26: 木曾観測所ロゴマーク



図 3.27: ロゴマークお披露目のグッズ

その他のアウトリーチ活動

COVID-19 に関する緊急事態宣言が出されたことを契機に, 4/18-5/15 の期間は一般見学を休止した. 5月-8月の間には, 団体見学の申込が3件, 授業の申込が2件あったが, いずれも先方の判断でキャンセルとなった. 9月以降は主に長野県内の学校から見学や講座の要望があり, 感染防止対策を講じて受け入れを行った.

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
9月10日	木曾青峰高校 高大連携特別講座 「赤外線で探る星の素性」	高校1・2年生 60名	高橋
11月18日	玉滝中学職場体験	中学2年生 5名	高橋, 近藤
12月2日	松本県ヶ丘高校見学・講義 「木曾観測所発信トモエゴゼンで探る星の最期」	高校2年生 38名	高橋, 近藤, 青木, 森
12月17日	木曾青峰高校見学・4D2U 上映	高校2年生 26名	青木, 高橋, 近藤
3月13日	伊那北高校見学・4D2U 上映・講義 「木曾観測所とトモエゴゼンと重たい星と」	高校1年生 33名	高橋, 近藤, 青木, 森

プレスリリース

1. Web リリース: 東京大学木曾観測所トモエゴゼンでアトラス彗星を観測

2020年4月3日に, トモエゴゼンで観測した地球に接近中のアトラス彗星 (C/2019 Y4) の動画を web リリースした. 本リリースに直接伴ったメディアでの紹介はなかった.

2. Web リリース: 東京大学木曾観測所トモエゴゼンで水星探査機ベピコロンボを観測

2020年4月10日に, トモエゴゼンで観測した地球スイングバイ中の水星探査機ベピコロンボの動画を web リリースした.

メディアでの紹介

web ニュース 4月10日 朝日新聞

3. プレスリリース: 東京大学木曾観測所トモエゴゼンと京大大学生存圏研究所 MU レーダーによって微光流星の同時観測に成功

2020年11月11日に、トモエゴゼンと京都大学生存圏研究所 MU レーダーを用いた微光流星同時観測の成果について、プレスリリースを行った。

メディアでの紹介

新聞	11月12日	市民タイムス 17面
	11月12日	信濃毎日新聞 29面
web ニュース	11月17日	朝日新聞 21面
	11月11日	日本経済新聞電子版
	11月11日	朝日新聞デジタル
	11月11日	sorae
	11月12日	中日新聞 (電子版)
雑誌	11月18日	アストロアーツ
		星ナビ 2021年2月号

4. Web リリース: 東京大学木曾観測所トモエゴゼンで「はやぶさ2」を観測

2020年12月3-5日に、トモエゴゼンで観測した「はやぶさ2」探査機の動画を web リリースした。

メディアでの紹介

新聞	12月4日	信濃毎日新聞 1面
	12月5日	信濃毎日新聞 1面
	12月6日	信濃毎日新聞 1面
	12月7日	信濃毎日新聞 23面
	12月8日	市民タイムス 1面
web ニュース	11月17日	朝日新聞 21面
	12月7日	読売新聞オンライン

その他 各メディアでの紹介

1. 新聞・Web ニュース

5月18日	変動する宇宙 動画で観測	日本経済新聞 9面
6月28日	変わりゆく宇宙見つめる	日本経済新聞 26面
7月28日	ネオワイズ彗星 木曾でも	信濃毎日新聞 23面
7月29日	特別公開 今夏はオンライン	信濃毎日新聞 21面
7月31日	東大観測所 オンラインであす施設公開	市民タイムス 1面
9月6日	生まれたての星たちの姿 (ばら星雲写真使用)	福島民報 13面
11月15日	天体観望会 秋の夜空楽しむ	市民タイムス 1面
11月21日	小惑星「リュウグウ」の砂 地球に到達の可能性 観測に挑戦	NHK ニュース web
12月11日	「長野県は宇宙県」連絡協議会 あすからオンラインで催し	信濃毎日新聞 33面
1月21日	銀河学校 オンラインで	市民タイムス 1面
1月27日	宇宙県連絡協 オンラインでラリー	市民タイムス 1面
2月5日	あすの「はやぶさ2」講演 吉川さんリモート出演に	市民タイムス 1面
2月7日	はやぶさ2 木曾で語る 吉川・JAXA 准教授	信濃毎日新聞 17面
2月10日	「はやぶさ2」成功振り返る	市民タイムス 1面

2. 雑誌・情報誌

三鷹の森 星ナビ 2021年2月号

3. テレビ

3月4日 コズミックフロント☆NEXT NHK BS プレミアム
「惑星探査の先駆け“ひてん”波乱万丈の軌跡」

4. 書籍・出版物など

2020年7月 書籍「シリーズ現代の天文学 第16巻 ー電波天文学ー」
写真「オリオン大星雲(カラー写真)」使用
2020年7月 書籍「ついに見えたブラックホール: 地球サイズの望遠鏡がつかんだ謎」(谷口義明 著)
写真「おとめ座銀河団」使用
2020年7月 書籍「天文宇宙検定公式問題集2級銀河博士 2020~2021年版」
写真「ふくろう星雲(M97)」「らせん星雲(NGC7293)」使用
2020年9月 書籍「[新版]星と星座 DVDつき(小学館の図鑑・NEO 8)」
写真「池谷・張彗星」使用
2021年2月 書籍「宇宙まるごとQ&A」
写真「おとめ座銀河団」使用

5. その他

9月11日 NOGANO 観光アカデミー#3 インターネット配信
「長野県は宇宙県だって知ってる? 日本一の星空
だけじゃない長野と宇宙の深いつながり」
木曾観測所紹介
12月4日 「冬の天の川」 大阪市立科学館 プラネタリウム
-2月28日 写真「ばら星雲」「かもめ星雲」使用
3月6日- 「宇宙に近い場所 ~上伊那で星を見上げて~」 伊那文化会館 プラネタリウム
木曾観測所紹介

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舎 〒 399-5607 長野県木曾郡上松町大字小川 1935 番地

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

- 建物, 敷地総面積

建物合計 2,618 m²

敷地は次のように三ヶ町村に跨がっている.

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

3.3.2 105cm シュミット望遠鏡

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

	頂角	直径	分散 (於 H γ /A band)	重量
対物プリズム 1	2°	105cm	800/3800 Å/mm	121kg
対物プリズム 2	4°	105cm	170/1000 Å/mm	245kg

焦点距離 330cm	像スケール 62.6 秒/mm
口径比 F/3.1	視野 6° × 6°

3.3.3 30cm 望遠鏡

表 3.3: 主な仕様

望遠鏡	高橋製作所 ミューロン (300 Dall-Kirkham 式)
口径	300 mm
焦点距離	3572 mm
望遠鏡架台	SHOWA 25E 赤道儀
赤道儀制御器	ATLASTAR basic
フォーカス制御ソフト	Focus Infinity ver1.2
天体導入ソフト	ステラナビゲーター ver.11

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
データ生成レート (最大)	4.9 MB / フレーム (全領域読み出し) 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

カメラ D810 を使用した可視全天カメラは、2020年4月で使用開始以来5年半を超過し、シャッターの機械的な耐用年数に近づいていると推測されていた。今後も中断無く観測を継続するため、比較的安価なカメラ D3400 を使用した新たな全天カメラシステムを作成、2020年4月から試験運用を開始した。試験運用の結果、問題が無いことが分かり、2020年6月1日に旧全天カメラを止め、新可視全天カメラに完全移行させた。観測者への利便性を考慮し、当初はすべての時間帯で2分間隔で行うよう設定していた。2020年10月末にカメラが止まる不具合が発生し始め、以後、その発生頻度が上がっていった。不具合の状況や撮影頻度を考えるとシャッターの機械的な耐久に達したと考えられた。そこで、2020年11月10日に今まで使用していたカメラ D3400 を新たに購入したカメラ D3500 と交換した。同時に、カメラの耐久日数を上げるため、観測とは関係ない昼の間の撮影頻度を落とした。新旧システムの仕様はそれぞれ以下の通りである。

新可視全天カメラ

カメラ	Nikon D3500
制御 PC	allsky (Interface 社製 Linux)
観測範囲	天頂角 0-90 度の範囲
観測波長	可視
観測頻度	7時-16時：20分に1度 16時-翌日7時：2分に1度
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、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

旧可視全天カメラ

カメラ	Nikon D810
制御 PC	camera_control (Ubuntu Linux)
観測範囲	天頂角 0-90 度の範囲
観測波長	可視
観測頻度	10 分に 1 度
設置場所	木曾観測所本館屋上

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 度の赤外線放射を測定している。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、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。制御 PC 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 社のおんどとりをそれぞれ 1 台ずつ設置し、温度と湿度の測定、気象監視データベースへ記録するとともに、観測者の閲覧可能な web ページでの表示を行っている。

3.3.7 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 は多くの計算機によって運用されている。望遠鏡ドーム1階にあるドーム計算機室には3台のサーバラックが設置されており、それぞれデータ取得用計算機、一時保存用バッファ計算機、データ解析用計算機が格納されている。データ取得用計算機はカメラの駆動と4つのカメラモジュールから生成されるデータの取得を担当している。一時保存用バッファ計算機はカメラから出力された画像データを数日間保管する役割をになっている。一時保存用バッファ計算機に保管されたデータは一定の期間が経過すると自動的に消去される。データ解析用計算機は一時保存用バッファ計算機からデータを取得して、予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生成されたデータはデータアーカイブシステムのデータベースに登録され、ストレージノードに保管される。それぞれの計算機の名前と役割を表 3.9 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

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

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、光度曲線の周期解析を実行するための計算機、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導入されている。また、2020 年度には研究用計算機の増大を見越して計算機ラックを新規に導入した。各計算機の名前と用途について表 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#2)	突発天体サーベイ
shinohara2	本館計算機室 (ラック#2)	突発天体サーベイ
shinohara3	本館計算機室 (ラック#2)	突発天体サーベイ
shinohara4	本館計算機室 (ラック#2)	突発天体サーベイ
shinohara5	本館計算機室 (ラック#2)	突発天体サーベイ
shinohara6	本館計算機室 (ラック#2)	突発天体サーベイ
shinohara7	本館計算機室 (ラック#2)	突発天体サーベイ
shinohara8	本館計算機室 (ラック#2)	突発天体サーベイ
shinohara9	本館計算機室 (ラック#2)	突発天体サーベイ
shinohara10	本館計算機室 (ラック#2)	突発天体サーベイ
shinohara11	本館計算機室 (ラック#2)	突発天体サーベイ
shinohara12	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#2)	突発天体サーベイ
gwdata	本館計算機室 (ラック#2)	突発天体サーベイ
lustre	本館計算機室 (ラック#2)	突発天体サーベイ
naginata	本館計算機室 (ラック#3)	HeSO サーベイ
apollo	本館計算機室 (ラック#3)	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た。詳細は [3.2.1](#) 参照。

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。今後は従来のWindowsPCをコンソールとして使い、fopm-kisoで解析を行う計画である。

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、大学内の別系統のネットワークにつながっている。

3.3.8 観測所のネットワーク設備

木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、YAMAHA の VPN ルータを用いた VPN も未だ有効であるが、バックアップとしてユーザーを限定して運用している。

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。2020 年 10 月 21 日のオリオン座流星群では、瞬間視聴者数約 12,000 人、一晩の視聴回数が 260 万回を超えるアクセスがあった。2021 年 1 月には「朝日新聞宇宙部」として天文・宇宙に特化したサブチャンネルも開始された。このサイトでは、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で木曾観測所とは異なる天域、時刻の星空も楽しめるようになっている。

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。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た。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自動投稿している。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

2020 年度は通年運用を行ったが、夏季の気温が上昇する期間に幾度かカメラの保護機能により、自動シャットダウンがあった。カメラの自動復帰機能がないために気付いた職員が対応していたが、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 年度は、このカメラシステムを参考にし、木曾観測所独自のライブ配信用カメラシステムの立ち上げを行った。より高感度で耐環境性 (高温度耐性) のあるカメラ (SONY α 7sIII) を採用するなど、安定的な配信を可能とする設計とした。今後は、現在のカメラシステムとの画像などの比較を中心に性能評価、動作の安定性などの検証を行うとともに、観測所内外を含めて設置場所の検討を行っていく。



図 3.28: 2020 年 10 月 21 日のオリオン座流星群の際の YouTube 視聴データ

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を選択した。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。

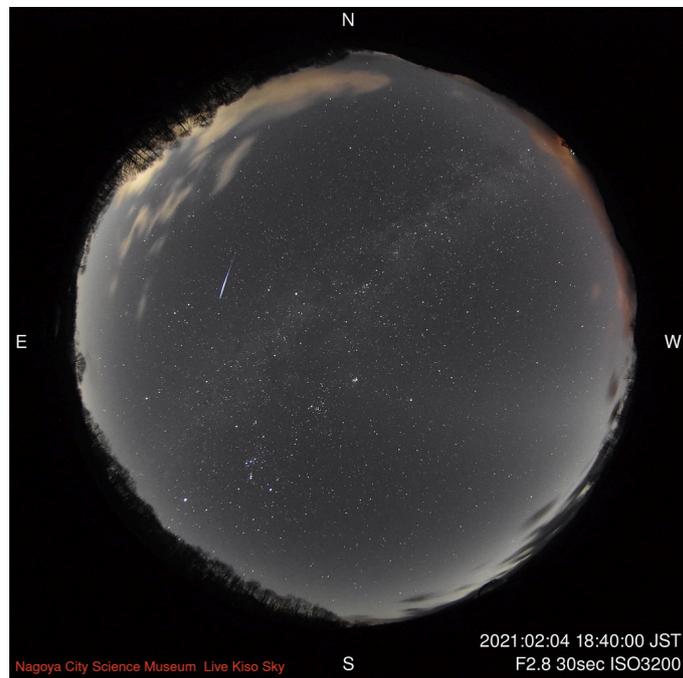


図 3.29: 木曾の星空と明るい流星 (2021年2月4日)

3.4 運用, 管理

3.4.1 宿泊

平成24年に旅館業経営許可を取得し、旅館営業を行っている。木曾観測所と上松宿舎の本年度の滞在者数は下記の通りであった。本年度は新型コロナウイルス感染症の影響により、滞在者が大きく減少した。

所属機関	延人数(人)	滞在期間(人・日)
東京大学(天文センター)	4	365
東京大学(センター以外)	15	47
国立天文台	1	2
他大学・他機関	16	53
外国	0	0
高校生	0	0
その他	11	13
計	47	480

3.4.2 日誌

2020年	4月1日	名古屋市科学館全天カメラ公開開始	
	4月17日-5月31日	新型コロナウイルス感染症全国緊急事態宣言	
	7月8日	大雨特別警報発令	
	8月1日	木曾観測所特別公開 (YouTubeによるオンライン開催)	
	8月9日-11日	第23回 銀河学校 (Zoomによるオンライン開催)	
	8月17日	上松宿舎光化	
	11月6日	産業医巡視	
	11月30日	木曾観測所共同利用相談会 (Zoomによるオンライン開催)	
	2021年	2月6日	「長野県は宇宙県」ミーティング (於: 木曾文化公園)
		3月15日	トモエゴゼン新ウェブページ公開
3月26日-29日		第24回 銀河学校 (Zoomによるオンライン開催)	

3.4.3 役務, 営繕工事等

2020年	4月	セレナ 12カ月点検 ドーム・夜天光浄化槽清掃 消火器・警報機バッテリー交換 30 cm 望遠鏡赤道儀修理
	6月	実験室外扉修理
	7月	セレナ バックモニター設置
	8月	構内草刈り 暖房ボイラー点検
	9月	火災報知器保守点検 本館・ドーム計算機室電源拡張工事
	10月	本館浄化槽清掃 廃品回収
	11月	浄化槽法定検査 灯油タンク点検
2021年	1月	シュミット望遠鏡コントローラー修理・機能追加 ゼロックス複合機 FAX 機能追加 PDS 室外扉交換
	2月	厨房レンジフード・エアコンクリーニング コンプレッサーメンテナンス 上松宿舎 101・102・201 号室 ガス警報器交換 上松宿舎洗面所給湯工事 乾板閲覧室内窓取付工事 本館食堂・1階トイレ給湯器追加工事 図書室故障クーラー撤去・除湿器設置工事 厨房外扉交換・二重窓化 実験室故障クーラー撤去 ドーム工作室フライス盤修理 上松宿舎 101・201・202 号室 内窓取付・ガラス修理
	3月	厨房壁タイル補修 上松宿舎雨漏り修理工事 上松宿舎 101 号室内装工事 夜天光エアコン取替 夜天光暗室故障クーラー撤去 ドーム観測床洗浄 セレナ 12カ月点検 夜天光カーペット貼替 本館屋上防水工事 火災報知器保守点検

3.4.4 晴天率・観測統計

2012年からの晴天率・観測統計を図 3.30 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。

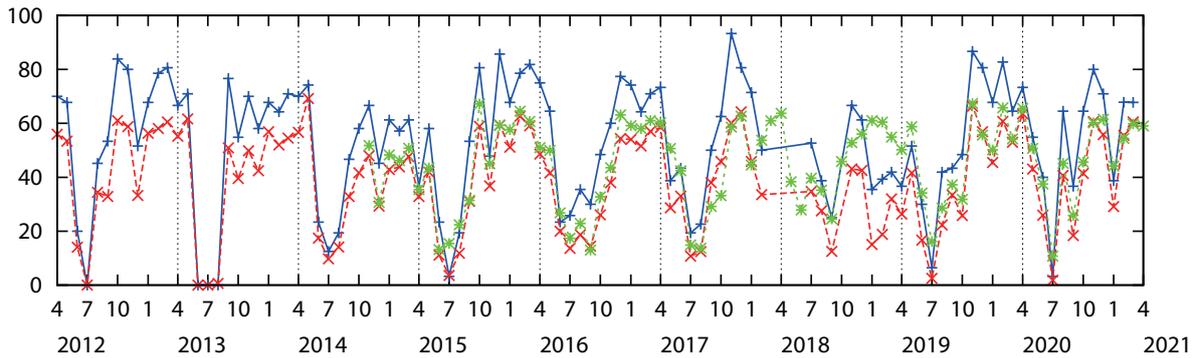


図 3.30: 晴天率と観測効率. 青色が日効率, 赤色が時間効率, 緑色が晴天率を表す.

また、年ごとの晴天率を図 3.31 に示す. 6年間の平均に対し、2020年は概ね平均より良い晴天率であった.

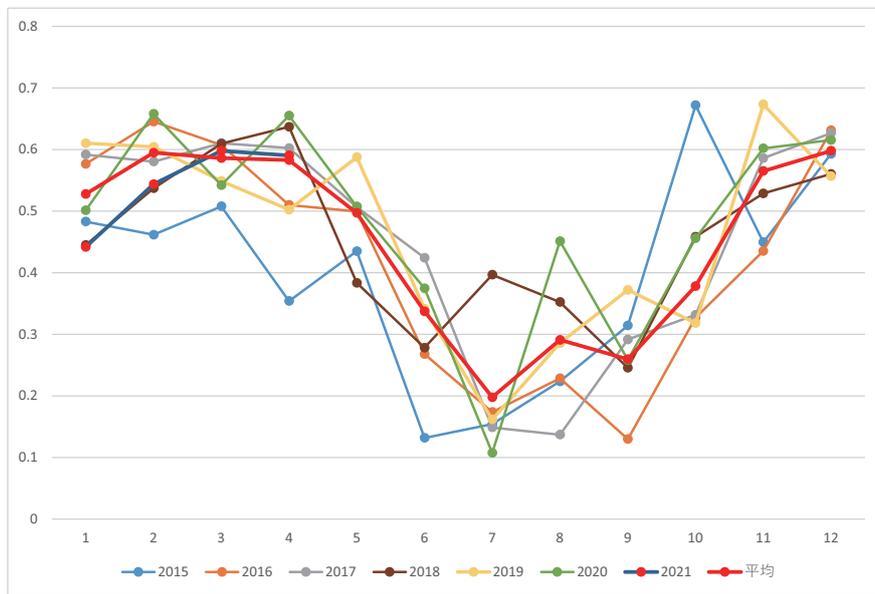


図 3.31: 年毎の晴天率

3.4.5 環境安全衛生

産業医巡視

産業医巡視が11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

日常の観測所の本館、ドーム、夜天光観測施設の整理や敷地内の環境整備を進めることで、多くの不要物が溜まっていた。そこで10月22日にそれら不要物を廃品処理業者に回収してもらった。

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。見学時はドームや講義室の換気を行っている。また、宿泊については1部屋1人という制限を設けている。設備の対策としては、冬季も手洗いをしっかり行えるように、本館1階トイレと食堂に給湯器を追加してお湯が使えるようにした。

3.4.6 環境維持

道路沿い草刈り

本館、ドーム、夜天光観測施設、道路周辺の草刈りや樹木の整備を中心とした管理を年間を通して実施している。草刈りは、通常業務として観測所員が実施する他にシルバー人材センターへの委託や、昨年度まで観測所職員であった征矢野氏、樽澤氏に業務委託として進めていただいた。

ドーム北側斜面整備

ドーム北側斜面は、前回の木の伐採(2015年2-3月)から5年が経過しており、徐々に樹木が成長し、場所によっては背丈を超える高さまでに達していた。そこで、2020年11-12月に征矢野氏に業務委託して、ドーム北側斜面のガードレール外側から石垣までの範囲について、樹木の伐採、草刈りを中心に整備を進めていただいた。

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 荘平 (技術職員, 2020/04/01-)
青木 勉 (特任専門員)
森 由貴 (特任専門職員)
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)
 大澤 亮 (特任助教)

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 (Zoom によるオンライン開催, 2020/11/30)

相談会メンバー	土居 守 (センター長)	
	小林 尚人 (観測所長)	高橋 英則 (木曾観測所)
	田村 元秀 (東京大学)	渡部 潤一 (国立天文台)
	富田 晃彦 (和歌山大学)	中西 裕之 (鹿児島大学)

3.5.4 記録事項

1. 科学研究費補助金等

茂山 俊和

(土居 守 分担)

土居 守

(酒向 重行 分担)

田中 貴浩

(計画研究 B03 代表 吉田道利)

(酒向 重行 分担)

奥村 真一郎

(酒向 重行 分担)

渡部 潤一

(酒向 重行 分担)

高橋 英則

大澤 亮

土居 守

酒向 重行

山本 泰生

新納 悠

科学研究費補助金 基盤研究 (S) (2016-2021)

「高速掃天観測による連星中性子星合体现象の研究」

光赤外線天文学大学間連携 (2017-2021)

「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」

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」

科学研究費補助金 基盤研究 (B) (2018-2021)

「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 基盤研究 (B) (2018-2021)

「太陽系外縁小天体の高速広域探査」

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」

科学研究費補助金 若手研究 (2018-2022)

「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)

「爆発直後からの観測による Ia 型超新星の起源解明」

国立天文台 共同研究開発 (2019-2021)

「高速タイムドメイン観測用 CMOS カメラモジュールの開発」

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」

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」

2. 委員その他

- 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	全学自由研究ゼミナール	東大教養学部	2020 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	2020 年度夏学期
諸隈 智貴	全学自由研究ゼミナール	東大教養学部	2020 年度夏学期
諸隈 智貴	基礎天文学実験	東大理学部	2020 年度夏学期

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
小林 尚人	修士課程 (M2)	紅山 仁	木曾広視野高速カメラ Tomo-e Gozen による微小地球接近小惑星の探索
小林 尚人	修士課程 (D1)	谷口 大輔	WINERED による星の化学組成の導出

5. 学位取得

- 紅山 仁 2021 年 3 月, 修士 (理学)
「木曾 Tomo-e Gozen を用いた高速移動天体検出システムの開発及び即時追観測による
微小地球接近小惑星の観測的研究」

6. 国外出張

なし