

## Ⅱ 物理科学専攻

- ・物理学プログラム
- ・物理学科



# 1 物理科学専攻・物理学プログラム

## 1-1 専攻・プログラムの理念と目標

物理科学専攻・物理学プログラムでは、物質と時空・宇宙に関する物理現象とそれを支配している基礎法則の研究を行う。純粋科学の研究活動を基盤とした高度専門教育を通じて、優れた人材を産業・教育の分野に送り出す。そのために、学内の共同利用施設である放射光科学研究センターや宇宙科学センターとの連携も強化する。

## 1-2 専攻・プログラムの組織と運営

2020年度より、物理学プログラムとして新体制が始まったが、過渡期なので旧の物理科学専攻と合同運営を行っている。その物理科学専攻・物理学プログラムは、宇宙・素粒子科学講座、物性科学講座および、放射光科学研究センター所属の放射光科学講座からなる。それぞれの講座には数人で構成された、より専門化された研究グループがある。日常的な研究や教育などは主として研究グループ単位で行われている。人事や入試などの大きな問題には講座や専攻単位で運営が行われている。物理科学専攻・物理学プログラムの教育資格は、基本的に教授と准教授は教育資格1（博士課程前期後期学生の主・副指導教員になることができる）、助教は教育資格2（博士課程後期学生の副指導教員、博士課程前期学生の主・副指導教員になることができる）あるいは教育資格3（博士課程前期後期学生の副指導教員になることができる）、あるいは教育資格4（授業のみ担当）である。助教の教育資格の変更は、物理科学専攻・物理学プログラム内規に定めた基準を満たした場合に可能となる。

### 1-2-1 教職員（2020年4月時点での講座の教職員を以下に示す。）

宇宙・素粒子科学講座

素粒子論（理論）

両角卓也（准教授）

清水勇介（助教）

石川健一（准教授）

宇宙物理学（理論）

小嶋康史（教授）

岡部信広（准教授）

クォーク物理学

志垣賢太（教授）

山口頼人（准教授）

本間謙輔（助教）

三好隆博（助教）

<理学研究科LAN担当>

高エネルギー宇宙

深澤泰司（教授）

高橋弘充（准教授）

内田悠介（特任助教）

可視赤外線天文学

川端弘治\*（教授）

植村 誠\*（准教授）

稲見華恵\*（助教）

観山正見\*（特任教授）

水野恒史\*（准教授）

笹田真人\*（特任助教）

\*：宇宙科学センター協力教員

## 物性科学講座

### 構造物性

黒岩芳弘（教授）

Kim Sangwook（助教）

森吉千佳子（教授）

### 電子物性

中島伸夫（准教授）

石松直樹（助教）

### 光物性

木村昭夫（教授）

Munisai Nuermairaiti（助教）

### 分子光科学

関谷徹司（准教授）

吉田啓晃（助教）

和田真一（准教授）

## 放射光科学講座（放射光科学研究センター所属）

### 放射光物性

生天目博文（教授）

佐藤 仁（准教授）

泉 雄大（助教）

島田賢也（教授）

澤田正博（准教授）

Shiv Kumar（助教）

奥田太一（教授）

松尾光一（准教授）

宮本幸治（准教授）

### 放射光物理

加藤政博（教授）

## プログラム事務

前田 緑

宮本曜子

秦 真貴子

### 1-2-1 教員の異動

ここ数年、定年退職や転出が毎年あり、2019年度末にも1名が退職した。内部昇格等や比較的若手層の採用があったが、将来的な人事構想が不透明で、教育及び研究活動への影響が心配される。さらなる人事計画を進めたい。

2020年4月1日

採用

清水勇介（素粒子論 助教）

採用

Shiv Kumar（放射光物性 助教）

2020年5月1日

採用

八野 哲（クォーク物理学 助教）

2020年10月1日

採用

木坂将大（宇宙物理 助教）

2021年1月31日

転出

泉 雄大（放射光物性 助教）

### 1-3 専攻・プログラムの大学院教育

理学研究科のアドミッション・ポリシー、カリキュラム・ポリシー、ディプロマ・ポリシーに則り専攻・プログラムのポリシーを以下のように設定し、教育を行っている。

#### 1-3-1 大学院教育の目標とアドミッション・ポリシー

##### [1] アドミッション・ポリシー

博士の学位を取り、物理関連分野の教育職，研究職，高度技術職を目指す人，及び現代物理の基礎を修め修士の学位を取り，その物理的知見を基に産業・教育の分野で活躍したい人を求めています。また社会人や留学生も積極的に受け入れます。

##### [2] カリキュラム・ポリシー

- (1) 理学の基盤学問としての物理学の専門的知識を習得し，高度職業人及び研究者を養成する。
- (2) 真理を探究する手法を習得すること及び国際的に協力し，又は競争できる能力を実践的学習を通じて習得させることを目的とする。

##### [3] ディプロマ・ポリシー

##### 博士課程前期

自然界に働く普遍的な法則や基本原理の解明を目指した専門的教育研究活動を通して，課題探求能力及び問題解決能力を高め，真理探究への感性及び総合的判断力を培い，以下の能力のいずれかを身につけること。

- (1) 基礎科学のフロンティアを切り開く力を持った研究者としての能力。
- (2) 専門的知識，技能及び応用力を身につけた技術者としての能力。
- (3) 専門的知識及び識見を有しリーダーシップを発揮できる力量のある教育者としての能力。

##### 博士課程後期

自然界に働く普遍的な法則や基本原理の解明を目指した専門的教育研究活動を通して，課題探求能力及び問題解決能力を高め，真理探究への感性及び総合的判断力を培い，以下の能力のいずれかを身につけること。

- (1) 基礎科学のフロンティアを切り開いて国際的に活躍できる研究者としての能力。
- (2) 高度の専門的知識，技能及び幅広い応用力を持ち国際的に通用する先進的な科学技術を創造できる技術者としての能力。
- (3) 高度の専門的知識及び識見を有しリーダーシップを発揮できる力量のある教育者としての能力。

大学院授業担当

2020年度【前期】物理学プログラム 授業時間割表				
曜日	時限	科目	教員	教室
月	1.2 3.4	量子場の理論	両角	A004
	5.6			
	7.8			
	9.10			
火	1.2	宇宙物理学	小畷	A017
	3.4	相対論的宇宙論	岡部	A004
	5.6			
	7.8			
	9.10			
水	1.2			
	3.4			
	5.6			
	7.8			
	9.10			
木	1.2			
	3.4	X線ガンマ線宇宙観測	深澤	C104
		光赤外線宇宙観測	川端, 植村	C104
	5.6			
	7.8	X線ガンマ線宇宙観測	深澤	C104
		放射光科学持論 A・B	生天目	放射光科学研究センター201
9.10	光赤外線宇宙観測	川端, 植村	C104	
金	1.2			
	3.4	クォーク物理学	志垣	C104
		高エネルギー物理学	高橋 (徹)	A004
	5.6	高エネルギー物理学	高橋 (徹)	A004
	7.8	クォーク物理学	志垣	C104
	9.10			
備考	放射光科学院生実験 (黒岩, 島田, 澤田, 佐藤, 松尾, 中島, 和田, 宮本, 加藤, 集中), 物理学特別講義 A (次世代電波望遠鏡が切り拓く新たな天文学) (客員教員, 集中), 物理学特別講義 B (ハイパー核物理) (客員教員, 集中), 物理学エクスターンシップ (深澤, 集中), 物理学特別研究 (各教員, 集中)			

2020年度【後期】物理学プログラム 授業時間割表				
曜日	時限	科目	教員	教室
月	1.2			
	3.4			
	5.6 7.8	構造物性物理学	黒岩	B101
	9.10	Introductory course to advanced physics	島田, 岡部, 木村, 稲見, 宮本, 松尾, 稲垣, 志垣	E209
火	1.2 3.4	素粒子物理学	稲垣	B101
	5.6			
	7.8			
	9.10			
水	1.2 3.4	格子量子色力学	石川	A004
	5.6	電子物性物理学	中島	B101
	7.8	光物性論	木村	B101
	9.10			
木	1.2			
	3.4			
	5.6 7.8	表面物理学	奥田	C104
	9.10			
金	1.2			
	3.4			
	5.6			
	7.8			
	9.10	Introductory course to advanced physics	奥田, 岡部, 木村, 稲見, 宮本, 松尾, 稲垣, 志垣	E209
備考	物理学特別講義 C (イオン交換性層状無機化合物の基礎と応用 (客員教員, 集中), 物理学特別講義 D (放射光 X 線吸収分光法での材料解析) (客員教員, 集中), 物理学エクスターンシップ (深澤, 集中), 物理学特別研究 (各教員, 集中))			

### 1-3-2 大学院教育の成果とその検証

博士課程前期では、研究する上で必要な内容を講義およびセミナー等で修得できており、特別な場合を除き、2年間で修士の学位を取得し、就職または進学している。博士課程後期では、研究室単位でより密着して指導が行われている。

博士課程前期の入学定員30名に対し、24名(内部生20名, 他大学から4名)が入学している。

博士課程後期の入学定員15名に対しては、3名（内部生3名，他大学から0名）が進学している。

### 1-3-3 大学院生の国内学会発表実績

- |                             |      |
|-----------------------------|------|
| ○ 博士課程前期の学生が共同発表者の発表件数      | 19 件 |
| ○ 博士課程後期の学生が共同発表者の発表件数      | 17 件 |
| ○ 博士課程前期・後期の学生が共に共同発表者の発表件数 | 6 件  |
| コロナ禍により例年より大幅減少             |      |

### 1-3-4 大学院生の国際学会発表実績

- |                             |      |
|-----------------------------|------|
| ○ 博士課程前期の学生が共同発表者の発表件数      | 55 件 |
| ○ 博士課程後期の学生が共同発表者の発表件数      | 37 件 |
| ○ 博士課程前期・後期の学生が共に共同発表者の発表件数 | 19 件 |
| コロナ禍により例年より大幅減少             |      |

### 外国人留学生の受入状況

- |             |      |
|-------------|------|
| ○ 博士課程前期在籍者 | 1 名  |
| ○ 博士課程後期在籍者 | 13 名 |

### 1-3-5 修士論文発表実績

2020年度（29名）

	氏名	論文題目	指導教員	主査	副査
1	河野 嵩	光電子分光による Co 基ホイスラー合金のハー フメタル及びトポロジカル電子状態の研究	木村	木村	佐藤
2	清水 健	真空紫外円二色性法を用いた単糖類によるアポ ミオグロビンの構造安定化に関する研究	松尾	松尾	和田
3	熊谷学人	偏光X線吸収分光法によるチタン酸ストロンチ ウム薄膜の歪み誘起強誘電性の研究	中島	中島	黒岩
4	尾田拓之慎	高分解能角度分解光電子分光を用いた銅酸化物 超伝導体 $\text{La}_{2-x}\text{Sr}_x\text{CuO}_4$ の多体相互作用の評価	木村	木村	関谷
5	山本華文	内殻励起イオン脱離から探る芳香族単分子膜の 電子緩和過程におけるフッ素置換効果	和田	和田	松尾
6	近藤丈仁	J-PARC E16 実験 GEM 飛跡検出器のトリガ信 号回路改良	志垣	志垣	植村
7	豊田直哉	有限温度における量子補正と質量に対する温度 効果	両角	両角	岡部
8	秋丸直人	エステル基を含む分子の内殻励起による解離過 程の理論的計算	関谷	関谷	生天目
9	小澤秀介	角度分解光電子分光を用いたルテニウム酸化物 超伝導体 $\text{Sr}_2\text{RuO}_4$ における多体効果の実験的評 価	木村	木村	島田



10	松本拓真	X線発光分光による銅硫化物の金属非金属転移の研究	佐藤	佐藤	木村
11	鈴木一毅	塑性流動を伴うマグネターの磁場進化	小畠	小畠	高橋
12	眞弓達矢	軟X線磁気円二色性による超薄膜構造Co/h-BN/Feの層間磁気結合の研究	澤田	澤田	中島
13	倉持慶太郎	X線吸収分光を用いた超高压領域における5d遷移金属の電子状態の研究	石松	石松	奥田
14	柴田早由里	GHz帯集光系を用いた低質量暗黒成分の試験的探索	本間	本間	水野
15	牟田美慧	ゼオライト型化合物 $\text{Sr}_8[\text{AlO}_2]_{12}(\text{MoO}_4)_2$ の構造と相転移に及ぼすカルシウムイオン置換効果	森吉	森吉	石松
16	杉山祐紀	Gravitational waves in Kasner spacetimes and Rindler wedges	稲垣	稲垣	本間
17	高橋 光	二次元イジングモデル上での高次テンソル繰り込み群の評価	石川	石川	小畠
18	山本龍哉	シミュレーションを用いた広がった天体に対するIXPE衛星の偏光観測実現性の評価	水野	水野	稲垣
19	金森 奨	Gd-T化合物( $T=\text{Fe}, \text{Co}$ )における高压下の水素誘起磁気転移の研究	石松	石松	澤田
20	服部真央	ビスマスを含むペロブスカイト型酸化物の固溶体に関する構造みだれの研究	黒岩	黒岩	宮本
21	奈女良朱里	衝突銀河団 Abell1750 の弱重力レンズ解析	岡部	岡部	稲見
22	山本涼一	すばる望遠鏡 HSC サーベイを使った宇宙の大規模構造探査	岡部	岡部	志垣
23	桐田勇利	真空内四光波混合における光学素子起因背景光の評価と sub-eV アクシオンの粒子の予備探索	本間	本間	加藤
24	大矢元海	The Detector Control System for the Muon Forward Tracker at ALICE (ALICE 実験前方ミュオン粒子飛跡検出器制御系)	志垣	志垣	両角
25	眞武寛人	ガンマ線を発する電波銀河のX線統計解析によるX線放射起源の推定	深澤	深澤	石川
26	大間々知輝	ブラックホールジェットの時ムラグ解析手法の開発と応用	植村	植村	山口
27	谷口真彦	Cartan形式のF(R)修正重力理論	稲垣	稲垣	深澤
28	竹本紘子	内殻吸収分光を用いた熱電変換材料チオスピネル型 $\text{Cu}_2\text{CoTi}_3\text{S}_8$ の電子状態の研究	木村	木村	森吉
29	JI YINGBO	Analysis of high order perturbative behaviour in numerical stochastic perturbation theory through Fokker-Planck Equation (Fokker-Planck 方程式による数値確率摂動理論の高次ふるまいの解析)	石川	石川	小畠

### 1-3-6 博士学位

2020年度（課程博士9名）

- [1] Soheila Abdollahi                      2020年7月20日授与（甲）  
Deep Morphological and Spectral Studies of Supernova Remnant CTB 37A with *Fermi*-LAT  
(*Fermi* ガンマ衛星 LAT による超新星残骸 CTB 37A の形状とスペクトルの詳細研究)  
主査：深澤泰司  
副査：小畠康史，志垣賢太，水野恒史，高橋弘充
- [2] ZHENG MINGTIAN                      2020年9月4日授与（甲）  
High-resolution angle-resolved photoemission study of oxygen adsorbed Fe/MgO(001)  
(高分解能角度分解光電子分光による酸素吸着した Fe/MgO(001)の研究)  
主査：島田賢也  
副査：奥田太一，森吉千佳子
- [3] Zhao Qing                              2020年9月4日授与（甲）  
Nature of chemical bonds in double perovskite-type oxide BaBiO<sub>3</sub> and related oxides visualized  
by synchrotron-radiation X-ray diffraction  
(放射光 X 線回折により可視化された二重ペロブスカイト型酸化物 BaBiO<sub>3</sub> および関連  
酸化物の化学結合の性質)  
主査：黒岩芳弘  
副査：木村昭夫，生天目博文
- [4] FAN DONGXIAO                      2020年9月18日授与（甲）  
Photoluminescence Properties of Distorted Titanates Investigated by X-ray Absorption  
Spectroscopy  
(X 線吸収分光法による歪んだチタン酸化物のフォトルミネセンスの研究)  
主査：中島伸夫  
副査：生天目博文，木村昭夫，森吉千佳子
- [5] 中平夕貴                              2021年3月4日授与（甲）  
Crystal structure and phase transition of barium aluminate and calcium strontium sulfoaluminate  
by synchrotron radiation X-ray diffraction  
(放射光 X 線回折によるバリウムアルミネートとカルシウムストロンチウムサルホア  
ルミネートの結晶構造と相転移に関する研究)  
主査：森吉千佳子  
副査：木村昭夫，島田賢也，中島伸夫
- [6] 星野知也                              2021年3月4日授与（乙）  
Measurement of low transverse-momentum direct photons in Cu+Cu collisions at  $\sqrt{s_{NN}} = 200$   
GeV  
(核子対あたり重心系衝突エネルギー200 GeV 銅+銅原子核衝突における低横運動量直  
接光子の測定)  
主査：志垣賢太  
副査：小畠康史，深澤泰司，山口頼人

- [7] 宮下剛夫 2021年3月23日授与（甲）  
Low-Energy Electronic States in the Vicinity of Mott Insulating Phase of Ruthenates and Cuprates  
(ルテニウム酸化物および銅酸化物のモット絶縁相近傍の低エネルギー電子状態)  
主査：木村昭夫  
副査：黒岩芳弘，島田賢也，井野明洋
- [8] 吉川智己 2021年3月23日授与（甲）  
Light- and spin- induced electronic structures of novel topological materials  
(光およびスピんに誘起された新奇トポロジカル物質の電子構造)  
主査：木村昭夫  
副査：生天目博文，森吉千佳子，樋口克彦
- [9] 安部友啓 2021年3月23日授与（甲）  
Materials structure physics on ferroelectric titanates and their aerosol deposition films using synchrotron radiation X-ray diffraction  
(放射光 X 線回折を用いた強誘電体チタン酸化合物とそのエアロゾルデポジション膜の構造物性)  
主査：黒岩芳弘  
副査：木村昭夫，奥田太一

#### 1-3-7 TAの実績

2020年度は、博士課程前期の学生を17名、博士課程後期の学生を2名（通年：4名、前期：7名、後期：8名）採用した。主たる業務は学部の実験及び演習を補助することであるが、大学院生が科目内容の再確認と教授法の技能の修得に役立った。

#### 1-3-8 大学院教育の国際化

博士課程後期の定員充足は喫緊の課題である。2013年度中から検討してきた外国人留学生特別選抜を活用して、中国トップレベルの大学（中国科学院や復旦大学等）との連携の下で優秀な学生を見出す独自の取組みを継続している。しかし、本来、博士課程後期の定員充足は日本人学生の受入れで達成されるべきである。そのためには経済的支援の充実と海外派遣等を含む国際的な研究交流の活性化が不可欠と考えられる。2017年度から外国人教員による授業や研究指導を開始した。さらに、外国人を招待した研究室セミナーや共同研究（実験）などに院生を積極的に参加させている。例えば、物性科学講座の研究室では学内の放射科学研究センター（HiSOR）や高輝度光科学研究センター（SPring-8）などで国際共同実験に参画させている。大学院生には自身の研究の位置づけを確認させるとともに、外国人を含む本学以外の研究者や学生と交流させ、様々な研究方法や共同研究のあり方を実践的に習得させている。

物理学プログラム（博士課程前期）

科目区分	授業科目の名称	配当年次 (注)	単位数		要修得単位数	
			必修	選択必修		
大学院共通科目	持続可能な発展科目	Hiroshimaから世界平和を考える	1・2		1	1単位以上
		Japanese Experience of Social Development-Economy,Infrastructure,and peace	1・2		1	
		Japanese Experience of Human Development-Culture,Education,and Health	1・2		1	
		SDGsへの学問的アプローチA	1・2		1	
		SDGsへの学問的アプローチB	1・2		1	
		SDGsへの実践的アプローチ	1・2		2	
		ダイバーシティの理解	1・2		1	
	キャリア開発・データリテラシー科目	データリテラシー	1・2		1	1単位以上
		医療情報リテラシー	1・2		1	
		人文社会系キャリアマネジメント	1・2		2	
		理工系キャリアマネジメント	1・2		2	
		ストレスマネジメント	1・2		2	
		情報セキュリティ	1・2		2	
		MOT入門	1・2		1	
アントレプレナーシップ概論	1・2		1			
研究科共通科目	国際性	アカデミック・ライティングI	1		1	1単位以上
		海外学術活動演習A	1・2		1	
		海外学術活動演習B	1・2		2	
	社会性	MOTとベンチャービジネス論	1・2		1	2単位以上
		技術戦略論	1・2		1	
		知的財産及び財務・会計論	1・2		1	
		技術移転論	1・2		1	
		技術移転論演習	1・2		1	
		未来創生思考（基礎）	1・2		1	
		ルール形成のための国際標準化	1・2		1	
		理工系のための経営組織論	2		1	
		起業案作成演習	1・2		1	
		事業創造演習	1・2		1	
		フィールドワークの技法	1・2		1	
		インターンシップ	1・2		1	
		データビジュアライゼーションA	1・2		1	
		データビジュアライゼーションB	1・2		1	
		環境原論A	1・2		1	
		環境原論B	1・2		1	

プログラム専門科目	Introductory course to advanced physics	1	2		10単位	25単位以上
	物理学特別演習A	1	2			
	物理学特別演習B	1	2			
	物理学特別研究	1~2	4			
	量子場の理論	1		2	8単位以上	
	素粒子物理学	1		2		
	格子量子色力学	1		2		
	宇宙物理学	1		2		
	相対論的宇宙論	1		2		
	クォーク物理学	1		2		
	高エネルギー物理学	1		2		
	X線ガンマ線宇宙観測	1		2		
	光赤外線宇宙観測	1		2		
	放射光科学特論A	1		1		
	放射光科学特論B	1		1		
	構造物性物理学	1		2		
	電子物性物理学	1		2		
	光物性論	1		2		
	表面物理学	1		2		
	放射光科学院生実験	1		1		
	物理学特別講義A	1・2		1		
	物理学特別講義B	1・2		1		
	物理学特別講義C	1・2		1		
	物理学特別講義D	1・2		1		
	物理学エクスターンシップ	1・2		2		
	物理学演習I	1		2		
	物理学演習II	1		2		
	他プログラム専門科目					

【履修方法及び修了要件】

修了に必要な単位数を30単位以上とし、以下のとおり修得し、かつ必要な研究指導を受けた上で、修士論文の審査及び最終試験又は博士論文研究基礎力審査に合格すること。

修了要件単位数：30単位以上

- (1) 大学院共通科目：2単位以上
  - ・持続可能な発展科目：1単位以上
  - ・キャリア開発・データリテラシー科目：1単位以上
- (2) 研究科共通科目：3単位以上
  - ・国際性科目：1単位以上
  - ・社会性科目：2単位以上

(3) プログラム専門科目：25 単位以上

- ・物理学プログラム専門科目：18 単位以上（必修科目 10 単位及び選択必修科目 8 単位以上）
- ・他プログラム専門科目：2 単位以上

なお、指導教員の許可を得て他専攻・他研究科等の専門科目の単位を修得した場合には、「他プログラム専門科目」に含むことができる。

(注) 配当年次

1：1 年次に履修，2：2 年次に履修，1～2：1 年次から 2 年次で履修，1・2：履修年次を問わない

物理学プログラム（博士課程後期）

科目 区分	授業科目の名称	配当年次 (注)	単位数		要修得 単位数	
			必修	選択 必修		
大学院 共通科目	持続可能な発展科目	スペシャリスト型SDGsアイディアマ イニング学生セミナー	1・2・3		1	1 単位 以上
		SDGsの観点から見た地域開発セミナ ー	1・2・3		1	
		普遍的平和を目指して	1・2・3		1	
	キャリア開発・デー タリテラシー科目	データサイエンス	1・2・3		2	1 単位 以上
		パターン認知と機械学習	1・2・3		2	
		データサイエンティスト養成	1・2・3		1	
		医療情報リテラシー活用	1・2・3		1	
		リーダーシップ手法	1・2・3		1	
		高度イノベーション人財のためのキ ャリアマネジメント	1・2・3		1	
		事業創造概論	1・2・3		1	
		イノベーション演習	1・2・3		2	
		長期インターンシップ	1・2・3		2	
研究科共 通科目	国際性	アカデミック・ライティングII	1・2・3		1	1 単位 以上
		海外学術研究	1・2・3		2	
	社会性	経営とアントレプレナーシップ	1・2・3		1	1 単位 以上
		Technology Strategy and R&D Management	1・2・3		1	
		技術応用マネジメント概論	1・2・3		1	
		未来創造思考（応用）	1・2・3		1	
自然科学系長期インターンシップ	1・2・3		2			
プログラム 専門科目	物理学特別研究	1～3	12		12単位	

【履修方法及び修了要件】

修了に必要な単位数を16単位以上とし、以下のとおり単位を修得し、かつ必要な研究指導を受けた上で、博士論文の審査及び最終試験に合格すること。

修了要件単位数：16単位以上

- (1) 大学院共通科目：2単位以上
  - ・持続可能な発展科目：1単位以上
  - ・キャリア開発・データリテラシー科目：1単位以上
- (2) 研究科共通科目：2単位以上
  - ・国際性科目：1単位以上
  - ・社会性科目：1単位以上
- (3) プログラム専門科目：12単位

(注) 配当年次

1～3：1年次から3年次で履修，1・2・3：履修年次を問わない

## 就職情報

### 博士課程前期

進学：博士課程後期進学 8名

企業：西日本電信電話（株） 2名，京セラ（株） 1名，  
中国電力ネットワーク（株） 1名，（株）メイテック 1名，  
エヌ・ティ・ティ・コミュニケーションズ（株） 1名，日本電音（株） 1名，  
東京エレクトロン（株） 1名，西日本旅客鉄道（株） 1名，  
（株）キーエンス 1名，住友商事（株） 1名，アンリツ（株） 1名，  
ビジネステクノクラフツ（株） 1名，  
日本タタ・コンサルタンシー・サービスズ（株） 1名，  
トヨタ自動車（株） 1名，（株）バイク王&カンパニー 1名，  
（株）タムロン 1名

その他：厚生労働省1名，兵庫県教育委員会 1名

## 学生の表彰

広島大学 エクセレント・スチューデント・スカラシップ 成績優秀学生表彰者：1名

広島大学 大学院理学研究科長表彰者：1名



## 1-4 専攻・プログラムの研究活動

### 1-4-1 物理科学専攻・物理学プログラムの教員が主導する研究拠点の活動

物理科学専攻・物理学プログラムの教員が主導する研究拠点として、広島大学自立型研究拠点 極限宇宙研究拠点 (Core-U : Core Research for Energetic Universe) があるが、詳しい活動内容は拠点の報告書を参照されたい。

### 1-4-2 RA の実績

物理科学専攻・物理学プログラムの研究活動を支えるRAとして、2020年度は11名の日本人学生及び7名の留学生の博士課程後期大学院生を採用した。

氏名	学年	研究グループ	指導教員
佐久間大樹	D3	宇宙物理学	小畠康史
安部友啓	D3	構造物性	黒岩芳弘
宮下剛夫	D3	光物性	木村昭夫
河村優太	D2	素粒子論	両角卓也
下地寛武	D2	素粒子論	稲垣知宏
松尾大和	D2	素粒子論	稲垣知宏
今里郁弥	D2	高エネルギー宇宙	深澤泰司
石坂仁志	D2	光物性	木村昭夫
木村優斗	D1	宇宙物理学	小畠康史
大佐古拓海	D1	クォーク物理学	志垣賢太
加藤盛也	D1	電子物性	中島伸夫
WU LIN	D3	構造物性	黒岩芳弘
ZHANG KE	D3	放射光物性・物理	島田賢也
BENOIT NICHOLAS JAMES	D2	素粒子論	両角卓也
楊 冲	D2	高エネルギー宇宙	深澤泰司
HOU XUEYAO	D2	放射光物性・物理	澤田正博
KUMAR AMIT	D2	放射光物性・物理	島田賢也
JI YINGBO	D1	素粒子論	石川健一

### 1-4-3 研究グループの研究活動

物理科学専攻・物理学プログラムの研究活動を研究グループごとに以下の項目でまとめる。

- 研究活動概要（発表論文、講演等を含む）
- 学生の国際・国内学会等での活動状況
- 学会ならびに社会での活動
- 研究助成金の受入状況、学術団体等からの受賞実績
- その他

## 宇宙・素粒子科学講座

### ○素粒子論グループ

#### 研究活動の概要

##### (I) 素粒子と重力の理論 (稲垣)

###### (i) 極限状態にあるフェルミオン系

右巻きのフェルミオンと左巻きのフェルミオンに対して独立に定義された変換をカイラル変換と呼ぶ。質量を持たないフェルミオンに対する強い相互作用の理論はカイラル変換の下で不変であり、カイラル対称性を持つ。フェルミオンとその反粒子の間からなる複合演算子が期待値を持つことでカイラル対称性が自発的に破れることが知られており、例えば、核子の質量の大部分はクォークと反クォークが凝縮することで生成されている。複合演算子の期待値は、系のサイズ、温度、密度、磁場、曲率といった環境に左右され、環境を変えることで核子の質量も変化する。

2020年度は、強い相互作用をするフェルミオンの理論として4体フェルミ相互作用モデルを取り上げ、系のサイズと境界条件、および強い磁場がカイラル対称性の破れに及ぼす影響を調べた。有限サイズ中でのフェルミオン系に対しては、有効ポテンシャルの分析により理論の相構造を詳細に決定し、系のサイズを小さくしていったときにカシミア力が引力から斥力へ転じる安定なサイズの存在を確認することに成功した。また、化学ポテンシャルを導入することで安定なサイズが存在する条件が大きく緩和させることを明らかにした。(国際会議一般公演[9], 国内学会一般講演[29,30,31,32])

強い磁場中でのフェルミオン系に対しては、磁場を大きくするとカイラル対称性の破れが強くなるマグネティックカタリシスと呼ばれる現象が知られている。我々は、アップ、ダウンの2フレーバークォークが存在する系において、化学ポテンシャルの影響を考慮すると逆にカイラル対称性の破れが弱まる場合があることを見つけ、2004年に発表した学術論文で報告している。2020年度の研究では、より現実に近いアップ、ダウン、ストレンジの3フレーバークォークが存在する場合の解析を行い、磁場の影響でカイラル対称性の破れが強くなるマグネティックカタリシスが生じるのか、逆にカイラル対称性の破れが弱まる反マグネティックカタリシスが生じるのかの条件を調べた。(国際会議一般公演[10], 国内学会一般講演[35,36,37])

###### (ii) インフレーションと宇宙背景輻射のゆらぎ

地平線問題、平坦性問題、モノポール問題と呼ばれる宇宙論の諸問題は、熱的ビッグバン以前に空間が急激に加速膨張するインフレーション期を経たと考えることにより、初期状態として特別な状況を考えること無しに解決できる。加速膨張を引き起こすエネルギー源としては、インフラトンと呼ばれるスカラー場のポテンシャルエネルギーが宇宙を支配していると仮定するのが一般的である。スローロールシナリオでは、このインフラトン場がある大きさのエネルギーを持った状態から基底状態へとゆっくりと遷移する事で、十分な宇宙膨張が引き起こされた後にインフレーション期が終焉すると考える。

インフレーション期の宇宙におけるインフラトン場の大きさは、ポテンシャルエネルギーの形に大きく依存するが、プランクスケール近傍から出発するとした場合に無視できなくなると考えられているのが量子重力の効果である。量子重力の理論は未だに解明されていない

が、強い重力場中では量子重力の効果により一般相対性理論が修正されると考える修正重力理論として、例えば、高曲率時空中で曲率の高次項が効いてくると仮定した $F(R)$ 修正重力理論がある。 $F(R)$ 重力理論では、インフラトン場によるエネルギー源無しに宇宙が加速膨張する可能性が知られており、現在の加速膨張の源である暗黒エネルギーとの関係も議論されている。

2020年度の研究では、フェルミオン系の導入も見据えてアインシュタインの一般相対性理論のCartan形式による記述から出発して、 $F(R)$ 修正重力理論をCartan形式で記述することに成功した。また、Cartan形式で記述された修正重力理論として、宇宙背景輻射とその温度揺らぎの詳細な観測により厳しく制限されているインフレーション期のポテンシャルエネルギーと矛盾がないモデルが構築可能なことを示した。(原著論文[1], 国際会議一般公演[1], 国内学会一般講演[1,2])

## (II) 格子量子色力学を用いた強い相互作用の研究 (石川)

### (i) ラージ $N$ 極限におけるツイストされた時空縮約モデルの研究

$SU(N)$  格子ゲージ理論は、 $N$ を無限に持っていった極限で時空の自由度を内部空間に吸収できてしまう可能性がある。通常格子ゲージ理論は4次元格子上で定義されるが、江口・川合は格子点が1点しかない理論(江口・川合モデル)を考えた。江口・川合モデルには $Z(N)$ 対称性があり、江口・川合はこの対称性が破れていない時、通常のゲージ理論と江口・川合モデルが同じSchwinger-Dyson方程式を満たし同等であることを示した。強結合相ではこの対称性は破れていないが、物理的に重要な弱結合相および中間結合相では $Z(N)$ 対称性は破れてしまい、2つの理論は同等ではない。この困難を回避するために、大川とゴンザレス・アロヨは理論にtwisted境界条件を課するtwisted江口・川合モデルを提案した。

令和2年度はtwisted江口・川合モデルに随伴表現のマヨラナフェルミオンを一つ含むモデル(マヨラナフェルミオンを一つ含む行列モデル)の計算準備を始めた。 $N=1$ 超対称性を持つヤン・ミルズモデルはQCDを含む通常のヤン・ミルズモデルと同様に、漸近自由性やカイラル対称性の破れ、閉じ込め現象を呈するモデルである。超対称性により理論的性質がよいためQCDの非摂動現象の理論的解明のために研究が進められている。特にゲージ群 $SU(N)$ の $N$ が無限大の極限はこれらの非摂動現象の理論的解明につながると期待されている。twisted江口・川合モデルに随伴表現のマヨラナフェルミオンを一つ含むモデルはこの $N=1$ 超対称性を持つヤン・ミルズモデルの $N$ が無限大の極限を効率よく探求できる格子上のモデルである。令和2年度はこのマヨラナフェルミオンを一つ含む行列モデルを計算するためのシミュレーションプログラムを作成した。このモデルはマヨラナフェルミオンを含むため、その分配関数にパフィアンという行列式を反対称行列に一般化したものが含まれる。パフィアンを分配関数の重みとして取り入れるために我々は有理多項式ハイブリッドモンテカルロ法(RHMC法)を用いた。パフィアンは実数であるが、符号になる可能性があるため、パフィアンの絶対値をモンテカルロ法の統計重みとして採用する。パフィアンの絶対値は対象となる行列の2乗の行列式の1/4乗根で表すことができる。RHMC法では有理多項式近似をこの行列式の1/4乗根で精度よく近似する。この際、対象となる行列の2乗の行列の最大と最小の固有値を求めて、有理多項式近似の精度を倍精度実数の精度で保証する必要がある。マヨラナフェルミオンから誘起される行列は数学的には $J$ -対称エルミート行列と呼ばれる行列である。この行列の最大・最小固有値を効率的に求めるための固有値計算アルゴリズムとその実装を行い、RHMC法の加速を行った。固有

値計算アルゴリズムとその実装について論文発表した(原著論文[2], 国内学会一般講演[7])。また前年度に引き続き数値摂動論に基づくリサージェンス構造の探索のための作用の複素鞍点の探索プログラムの開発を行っている(国内学会一般講演[8])。

## (ii) 格子QCDに関するその他の計算

### 1) 格子 QCD による物理点での形状因子の研究

格子QCDを用いた第一原理計算による核子や軽い原子核の性質の導出が世界的に進められてきている。物理的クォーク質量における計算ではクォーク質量が軽いため核子の持つ仮想パイ中間子の放出吸収に伴う核子や原子核の有効体積の広がりによる有限体積効果への系統誤差の増加を抑えるために、非常に大きな物理体積での計算が必要になってきている。平成29年度から筑波大学, 東北大学, 理研の共同研究者とともに, 物理クォーク質量での核子1つが有限体積効果を受けないような大きな体積としておよそ  $(10\text{fm})^4$  の大きさの体積の物理点格子QCDモンテカルロ計算を行っている。この大きな体積に対して有限体積効果を調べるために $(5\text{fm})^4$ や $(8\text{fm})^4$ の体積の計算も並行して行っている。

令和2年度にはK中間子のK13崩壊の形状因子の結果について論文発表を行った。K中間子のK13崩壊とは $K \rightarrow \pi l \nu$ の3体崩壊であり, この崩壊の形状因子はカビボ-小林-益川行列の成分の一つである $|V_{us}|$ を実験値から引き出すために必要な理論部品である。QCDの効果により形状因子を摂動的に計算することは不可能であるため格子QCDを用いた第一原理計算が必要不可欠である。 $(10\text{fm})^4$ の大きさの体積を用いることにより格子上での運動量の解像度が向上し形状因子の4元運動量移行 $q^2$ がゼロへの内挿の誤差を低減でき, 物理点での計算によりクォーク質量に関する外挿の誤差を取り除くことができた。結果として $|V_{us}| = 0.2255(13)(4)$ という精度の良い結果を得た(原著論文[3])。また前年度に引き続き大体積での核子構造の研究を行っている(国内学会一般講演[5,6])。

### 2) スーパーコンピュータ富岳に向けた格子 QCD シミュレーションプログラムの開発

ポスト京計算機の計画が2014年より始まっており, スーパーコンピュータ「富岳」として2021年度から供用が始まっている。2020年度は富岳の実機が理研神戸計算科学研究センターに設置が開始されるにともない実機を用いた格子QCD向けシミュレーションプログラム開発とコードデザインの最終段階の研究を行った。コードデザインでの成果については研究会等で発表を行った(原著論文[4], 国内学会一般講演[3,4])。

## (III) 素粒子の現象論 (両角)

### (i) マヨラナニュートリノが担うレプトン数の時間発展 (両角, 清水)

ビッグバンの残存物である宇宙背景ニュートリノはその温度が約 2K 程度と予測されており, この温度に相当するニュートリノの静止エネルギーは約  $10^{-4}(\text{eV})$  である。これより重いニュートリノは 2K という低温では非相対論的になる。このような極めて小さい運動量をもつニュートリノのレプトン数の時間発展を研究した。ニュートリノがマヨラナ質量を初期時刻で獲得したと仮定し, その後のレプトン数(電子ニュートリノ数, ミューオンニュートリノ数, タウニュートリノ数)の時間発展を各レプトン数に対するハイゼンベルク演算子を構成することで導いた。特にニュートリノの運動量が小さい場合には, レプトン数は最大 $\pm 1$ の振幅で振動し, その振動の仕方はニュートリノの絶対質量やマヨラナ位相と呼ばれる CP 対称性の破れに敏感であることが示した。以上の研究結果を国際学術誌に発表し, 国際会議

と国内研究会で報告した。(原著論文[5], 国際会議招待講演[1] 国際会議一般講演[3]国内学会一般講演[9,10,11,18]) Dirac 質量型ニュートリノの時に上記の研究を拡張した。(国際会議一般講演[6], 国内学会一般講演[23,26])

(ii) 標準模型を超える理論の CP 対称性の破れと B 中間子物理 (両角, 清水, 山本)

標準模型を超える理論, 特にベクトルライククォークを含む理論を研究している。低エネルギーでこの理論の効果を探索するために, 低エネルギー有効理論の方法を使って, 模型を検証する方法を検討した。特に Tree レベルのフレーバーを変える中性カレントによる CP の破れを研究した。(国内学会一般講演[12])

(iii) Higgs 粒子に対応するスカラー粒子が 2 種類あるような模型の低エネルギー有効理論を研究した。2 種類のうち重いスカラー粒子を積分し, 軽いスカラー粒子の自由度のみを残した低エネルギー有効作用を経路積分法を使って導出した。(国際会議一般講演[4] 国内学会一般講演[19,20,21])

(iv) レプトンの混合行列 (PMNS 行列) の適当な 2 つの要素からマヨラナ型位相と呼ばれる, 荷電レプトンの位相変換で不変な位相を定義できる。ブランコとレベロらはこれらの位相を用いて 3 世代模型の PMNS 行列を再構成できることを示した。このことからマヨラナ型位相が基本的な物理量であることがわかる。一方, 軽いニュートリノに関して 3 種類ではなく, さらにもう一つの軽いニュートリノの存在が議論されている。このニュートリノは弱い相互作用をしないためステライルニュートリノと呼ばれている。本研究ではステライルニュートリノが存在する枠組みにマヨラナ型位相を拡張することを目指して研究している。(両角, 山本)

(v) 初期宇宙におけるスカラー場による粒子数生成と境界における発散の問題。

初期時刻を指定してその後の任意の時刻における物理量の期待値を場の量子論の手法で計算する場合, 境界発散と呼ばれる, 紫外発散とは異なる種類の発散に遭遇する。初期宇宙における粒子数生成の問題においても, 境界発散が生じる。これに対する相殺項を導入して境界発散を含まない場の方程式の解を見つける方法を研究している。

(国際会議一般講演[7], 国内学会一般講演[24])

(vi) Left-Right asymmetric model におけるフレーバー構造 (両角, 清水, 山本)

Left-Right asymmetric model におけるクォークフレーバーの構造を研究した。Left-Right asymmetric model は, 質量の階層性を自然に導出することができるモデルとして知られている。3 世代モデルでは 19 個の CP violating phase を有し, 1 世代のみのモデルであったとしても, 1 つの CP violating phase を有している。このモデルにおける Weak basis invariance な量を求め, その影響がどの現象に現れるか議論した。(国内学会一般講演[14])

(vii) ニュートリノの質量行列が持つ階数の繰り込み群による変化(両角, 清水)

シーソー模型に関してニュートリノの有効質量行列の階数(ランク)の繰り込み群による変化を調べた。(国際会議一般講演[5,8], 国内学会一般講演[25,38])

#### (IV) 素粒子の現象論 (清水)

素粒子標準模型は電磁気力・弱い力・強い力の3つの力をゲージ対称性を用いて説明する模型である。近年のヒッグス粒子の発見により、標準模型は成功を収めている。また、ニュートリノ振動実験の結果により、ニュートリノには小さい質量があり、レプトンセクターには大きな世代混合があることが分かった。しかし、標準模型では素粒子の世代ごとの質量の大きさの違いやクォークセクターとレプトンセクターの世代混合の大きさの違いを自然に説明することが出来ない。この問題を解決する手段の一つとして素粒子の世代に対してフレーバー対称性を用いる方法がある。特に、フレーバー対称性として非可換離散対称性を用いることにより、レプトンの大きな世代混合を自然に導くことができる。先行研究により、非可換離散対称性を用いた模型は数多くあり、模型を構築する上で必要になってくるスカラー場(フラボン)の数も多くなり、フラボンの真空構造も含め模型が複雑化しているという問題点がある。この問題を解決する方法として、超弦理論由来のモジュラー対称性を用いた研究が盛んに行われている。論文業績であげた論文ではフラボンを用いず、モジュラー対称性の部分群である非可換離散群を自然に用いることができ、フラボンを用いたフレーバー模型より少ないパラメータで素粒子の質量や世代混合を説明・予言することができた。また、CP対称性の破れの大きさを予言し、レプトン数の非対称性に関連したレプトジェネシスと呼ばれる機構を用いて宇宙の粒子・反粒子非対称性の大きさを解析した。(原著論文[7,8], 国際会議招待講演[2], 国内学会一般講演[39])

#### 原著論文

- [1] Tomohiro Inagaki, Masahiko Taniguchi, “Gravitational waves in modified Gauss–Bonnet gravity”, *International Journal of Modern Physics D* Vol. 29, No. 10, 2050072, doi: 10.1142/S0218271820500728(2020).
- [2] Ken-Ichi Ishikawa, Tomohiro Sogabe, “A thick-restart Lanczos type method for Hermitian J-symmetric eigenvalue problems”, *Japan J. Indust. Appl. Math.* 38, 233 - 256 (2021), <https://doi.org/10.1007/s13160-020-00435-x>.
- [3] Junpei Kakazu, Ken-Ichi Ishikawa, Naruhito Ishizuka, Yoshinobu Kuramashi, Yoshifumi Nakamura, Yusuke Namekawa, Yusuke Taniguchi, Naoya Ukita, Takeshi Yamazaki, and Tomoteru Yoshié (PACS Collaboration), “ $K_{I3}$  form factors at the physical point on  $(10.9 \text{ fm})^3$  volume”, *Phys. Rev. D* 101, 094504, DOI: 10.1103/PhysRevD.101.094504.
- [4] 金森逸作, 中村宜文, 似鳥啓吾, 辻 美和子, 向井優太, 三吉郁夫, 松古栄夫, 石川健一, 「低レイテンシuTofuインターフェースを用いた格子QCD計算における通信の高速化」, 研究報告ハイパフォーマンスコンピューティング(HPC) (ISSN:21888841), vol.2020-HPC-177, no.22, pp.1-8, 2020-12-14.
- [5] ©Apriadi Salim Adam, Nicholas Benoit, Yuta Kawamura, Yamato Matsuo, Takuya Morozumi, Yusuke Shimizu, Yuya Tokunaga, Naoya Toyota, “Time evolution of lepton number carried by Majorana neutrinos”, *Progress of Theoretical and Experimental Physics*, Volume 2021, Issue 5, May2021, 053B01, (p1-p22).
- [6] D.A.Faroughy, G.Isidori, F.Wilsch and K.Yamamoto, “Flavour symmetries in the SMEFT,” *JHEP08(2020)*, 166 doi:10.1007/JHEP08(2020)166.
- [7] Tatsuo Kobayashi, Yusuke Shimizu, Kenta Takagi, Morimitsu Tanimoto, Takuya H. Tatsuishi,

- Hikaru Uchida, “CP violation in modular invariant flavor models”, 101, 055046, Physical Review D.
- [8] Tatsuo Kobayashi, Yusuke Shimizu, Kenta Takagi, Morimitsu Tanimoto, Takuya H. Tatsuishi, “Modular S3-invariant flavor model in SU(5) grand unified theory”, Volume 2020, Issue 5, May 2020, 053B05, Progress of Theoretical and Experimental Physics.

国際会議

(招待講演)

- [1] ©Takuya Morozumi, Apriadi Salim Adam, Nicholas J. Benoit, Yuta Kawamura, Yamato Matsuo, Yusuke Shimizu, Yuya Tokunaga, Naoya Toyota, “Time variation of Lepton Family Number of Majorana Neutrinos”, Beyond Standard Model: From Theory to Experiment (BSM2021), online, 2021年3月29日-4月2日[2021年3月30日発表].
- [2] Yusuke Shimizu, “Origin of favor structures for elementary particles”, The 1st IIT Bombay-Hiroshima workshop for Frontiers of Neutrino Physics, online, 2020年10月26日-10月30日[2020年10月29日発表].
- [3] Kei Yamamoto, “Flavor symmetry and New physics”, The 1st IIT Bombay-Hiroshima workshop for Frontiers of Neutrino Physics, online, 2020年10月26日-30日[2020年10月30日発表].

(一般講演)

- [1] Masahiko Taniguchi\*, Tomohiro Inagaki, “The vierbein formalism in F(R) gravity with spinor”, online JGRG workshop 2020, online, 2020年11月23日-27日[2020年11月25日ポスター発表]
- [2] Issaku Kanamori\*, Sinya Aoki, Yasumichi Aoki, Tatsumi Aoyama, Takumi Doi, Shoji Hashimoto, Ken-Ichi Ishikawa, Takashi Kaneko, Hideo Matsufuru, Tomoya Nagai, Yoshifumi Nakamura, “Preparation of LQCD code for Fugaku”, the 3rd R-CCS international symposium, 2021年2月15日-16日, RIKEN R-CCS, Kobe, Japan, ONLINE [2021年2月16日発表].
- [3] ©Takuya Morozumi, Apriadi Salim Adam, Nicholas J. Benoit, Yuta Kawamura, Yamato Matsuo, Yusuke Shimizu, Yuya Tokunaga, Naoya Toyota, “Lepton Number Violation in a unified framework (Revised)”, The 1st IIT Bombay-Hiroshima workshop for Frontiers of Neutrino Physics, online, 2020年10月26日-30日[2020年10月28日発表].
- [4] Yuta Kawamura\*, Apriadi Salim Adam, Takuya Morozumi, “Effective Potential for two Higgs doublet model with small Dirac Neutrino mass”, online Frontiers in Neutrino Physics, 2020年10月26日-30日[2020年10月30日発表]
- [5] ©Benoit Nicholas J.\*, Morozumi Takuya, Shimizu Yusuke, Takagi Kenta, Yuu Akihiro, “A Study of Renormalization Group Effects on the Mass of the Lightest Neutrino”, Frontiers in Neutrino Physics 2020, online, 2020年10月26日-30日[2020年10月28日口頭発表]
- [6] ©Adam Apriadi Salim, Benoit Nicholas J.\*, Kawamura Yuta, Matsuo Yamato, Morozumi Takuya, Shimizu Yusuke, Toyota Naoya, “Dirac Neutrino Lepton Number in a Unified Framework”, Frontiers in Neutrino Physics 2020, online, 2020年10月26日-30日[2020年10月28日口頭発表]

- [7] Adam Apriadi Salim, Benoit Nicholas J.\*, Morozumi Takuya, Nagao Keiko I., Takata Hiroyuki, “Initial Time Renormalization of a Non-Equilibrium Effective Field Theory”, Frontiers in Neutrino Physics 2020, online, 2020 年 10 月 26 日-30 日 [2020 年 10 月 29 日 口頭発表]
- [8] ©Benoit Nicholas J.\*, Morozumi Takuya, Shimizu Yusuke, Takagi Kenta, Yuu Akihiro, “A Study of Renormalization Group Effects on the Mass of the Lightest Neutrino”, 10<sup>th</sup> International Conference on the Exact Renormalization Group 2020, YITP-W-20-09, online, 2020 年 11 月 2 日-6 日 [2020 年 11 月 5 日 口頭発表]
- [9] Hiromu Shimoji\*, Tomohiro Inagaki, Yamato Matsuo, “Phase structure in Gross-Neveu model at finite density on torus”, The 1st IIT Bombay-Hiroshima workshop for Frontiers of Neutrino Physics, 2020 年 10 月 26 日-30 日 [2020 年 10 月 29 日発表]
- [10] Yamato Matsuo\*, T. Inagaki, H. Shomiji, “Linear correction for four fermi interaction model in Magnetic field”, The 1st IIT Bombay-Hiroshima workshop for Frontiers of Neutrino Physics, 2020 年 10 月 26 日-30 日 [2020 年 10 月 30 日発表]
- [11] Yuki Sugiyama\*, “The Unruh effect from GWs in Rindler and Kasner spacetime”, online JGRG workshop 2020, online, 2020 年 11 月 23 日-27 日 [2020 年 11 月 23 日ポスター発表]

国内学会

(招待講演)

該当無し

(一般講演)

- [1] 谷口真彦\*, 稲垣知宏, 「四脚場を用いた $F(R)$ 修正重力理論」, 令和 2 年度瀬戸内サマーインスティテュート(SSI2020), オンライン, 2020 年 9 月 9 日-11 日 [2020 年 9 月 9 日発表]
- [2] 谷口真彦\*, 稲垣知宏, 「Cartan 形式の  $F(R)$ 修正重力理論」, 日本物理学会 第 76 回年次大会 (2021 年), オンライン, 2021 年 3 月 12 日-15 日 [2021 年 3 月 12 日発表]
- [3] 金森逸作\*, 中村宜文, 似鳥啓吾, 辻美和子, 向井優太, 三吉郁夫, 松古栄夫, 石川健一, 「低レイテンシ uTofu インターフェースを用いた格子 QCD 計算における通信の高速化」, 第 177 回ハイパフォーマンスコンピューティング研究発表会, 2020 年 12 月 21 日-22 日, オンライン [2020 年 12 月 22 日発表]
- [4] 石川健一, 金森逸作\*, 松古栄夫, 「汎用コード Bridge++ を用いたマルチプラットフォーム向けマルチグリッドソルバーの実装」, 日本物理学会第 76 回年次大会 (2021 年), 2021 年 3 月 12 日-15 日, オンライン [2021 年 3 月 13 日発表]
- [5] 辻 竜太郎\*, 青木保道, 石川健一, 藏増嘉伸, 佐々木勝一, 新谷栄吾, 山崎 剛, 「核子中クォークが担う運動量及びヘリシティ割合の物理点格子 QCD 計算」, 日本物理学会第 76 回年次大会 (2021 年), 2021 年 3 月 12 日-15 日, オンライン [2021 年 3 月 15 日発表]
- [6] 辻 竜太郎\*, 青木保道, 石川健一, 藏増嘉伸, 佐々木勝一, 新谷栄吾, 山崎 剛, 「物理点 2+1 フレーバー格子 QCD による核子構造の研究」, 日本物理学会 2020 年秋季大会, 2020 年 9 月 14 日-17 日, オンライン [2020 年 9 月 15 日発表]
- [7] 石川健一\*, 曾我部知広, 「随伴表現のウィルソンディラック行列のための固有値ソルバーの開発」, 日本物理学会 2020 年秋季大会, 2020 年 9 月 14 日-17 日, オンライン [2020 年 9



月 15 日発表]

- [8] 石川健一, 「自動微分を用いた作用の複素停留点の探索の練習 (Gross-Witten-Wadia (GWW) 模型を例として)」, 瀬戸内サマーインスティテュート (SSI2020), 2020 年 9 月 9 日-11 日, オンライン [2020 年 9 月 11 日発表]
- [9] ©Takuya Morozumi, Apriadi Salim Adam, Nicholas J. Benoit, Yuta Kawamura, Yamato Matsuo, Yusuke Shimizu, Yuya Tokunaga, Naoya Toyota, “Time evolution of Lepton Family Number carried by Majorana Neutrinos”, 7 th KEK-PH Lectures and Workshop (KEK-PH Flavor 2020), online [2021 年 3 月 24 日発表]
- [10] ©Takuya Morozumi, Apriadi Salim Adam, Nicholas J. Benoit, Yuta Kawamura, Yamato Matsuo, Yusuke Shimizu, Yuya Tokunaga, Naoya Toyota, “Lepton Number Violation in a unified framework, revised”, Flavor physics workshop 2020 (FPWS2020), 2020 年 11 月 24 日-27 日, online [2020 年 11 月 27 日発表]
- [11] ©両角卓也, ニコラス ジェームス ベンワ, 河村優太, 松尾大和, 清水勇介, アプリアディサリムアダム, 「マヨラナ質量による大きなレプトンファミリー数の生成」, 日本物理学会 秋季大会, 2020 年 9 月 14 日-17 日, オンライン [2020 年 9 月 17 日発表]
- [12] ©両角卓也, 河村優太, 清水勇介, 高橋隼也, 豊田直哉, 山本 恵, 「B 中間子稀崩壊の形状因子と新物理への感度」, 日本物理学会第 76 回年次大会, 2021 年 3 月 12 日-15 日, オンライン [2021 年 3 月 14 日発表]
- [13] 両角卓也, 「マヨラナニュートリノとワイルニュートリノのボゴリューボフ変換と 1 粒子状態の時間発展について」, 瀬戸内サマーインスティテュート (SSI2020), 2020 年 9 月 9 日-11 日, オンライン [2020 年 9 月 11 日発表]
- [14] ©山本 恵\*, 河村優太, 両角卓也, 清水勇介, Apriadi Salim Adam, 豊田直哉 「Left-Right asymmetric model and flavor observables」, 日本物理学会第 76 回年次大会 (2021 年), 2021 年 3 月 12 日-15 日, オンライン [2021 年 3 月 14 日発表]
- [15] 山本 恵, 「フレーバー対称性と新物理」 Flavor Physics Workshop 2020, 2020 年 11 月 24 日-27 日, オンライン [2020 年 11 月 26 日発表]
- [16] 山本 恵, 「Flavor symmetry and New physics」, 瀬戸内サマーインスティテュート (SSI2020), 2020 年 9 月 9 日-11 日, オンライン [2020 年 9 月 9 日発表]
- [17] 山本 恵, 「フレーバー対称性と素粒子標準模型有効場の理論」, 基研研究会 素粒子物理学の進展 2020, 2020 年 8 月 31 日-9 月 4 日, オンライン [2020 年 9 月 1 日発表]
- [18] ©河村優太\*, アプリアディ サリム アダム, ニコラス ジェームス ベンワ, 松尾大和, 両角卓也, 清水勇介, 徳永裕也, 豊田直哉, 「マヨラナニュートリノのレプトン数の時間発展」, 日本物理学会 第 76 回年次大会 (2021 年), オンライン, 2021 年 3 月 12 日-15 日 [2021 年 3 月 15 日発表]
- [19] 河村優太\*, アプリアディ サリム アダム, 両角卓也, 「SMEFT from two Higgs doublet」, Flavor physics workshop 2020 (FPWS2020), オンライン, 2020 年 11 月 24 日-27 日 [2020 年 11 月 26 日発表]
- [20] 河村優太\*, アプリアディ サリム アダム, 両角卓也, 「有効理論を用いた Two Higgs 模型の研究」, 日本物理学会 秋季大会 (2020 年), オンライン, 2020 年 9 月 14 日-17 日 [2020 年 9 月 16 日発表]
- [21] 河村優太\*, アプリアディ サリム アダム, 両角卓也, 「Study of Two Higgs model using

- effective theory」, 瀬戸内サマーインスティテュート(SSI2020), オンライン, 2020年9月9日-11日[2020年9月9日発表]
- [22] 豊田直哉\*, 「有限温度におけるベクトル中間子の質量幅の変化」, 瀬戸内サマーインスティテュート (SSI2020), オンライン, 2020年9月9日-11日[2020年9月10日発表]
- [23] ©Adam Apriadi Salim, Benoit Nicholas J.\*, Kawamura Yuta, Matsuo Yamato, Morozumi Takuya, Shimizu Yusuke, Toyota Naoya, 「Lepton Number for Dirac neutrino in a unified framework」, 素粒子物理学の進展 (PPP) 2020, YITP-W-20-08, online, 2020年08月31日-9月4日 [Slack ポスター発表]
- [24] Adam Apriadi Salim, Benoit Nicholas J.\*, Morozumi Takuya, Nagao Keiko I., Takata Hiroyuki, 「Initial Time Renormalization of a Non-Equilibrium Effective Field Theory」, 令和2年度瀬戸内サマーインスティテュート(SSI2020), online, 2020年09月9日-11日[口頭発表]
- [25] ©Benoit Nicholas J.\*, Morozumi Takuya, Shimizu Yusuke, Takagi Kenta, Yuu Akihiro, 「A Study of Renormalization Group Effects on a Texture Neutrino Mass Matrix」, Flavor Physics Workshop 2020, online, 2020年11月24日-27日 [2020年11月26日 口頭発表]
- [26] ©Adam Apriadi Salim, Benoit Nicholas J.\*, Kawamura Yuta, Matsuo Yamato, Morozumi Takuya, Shimizu Yusuke, Toyota Naoya, 「Evolution of Lepton Number for Dirac Neutrinos in a Unified Framework」, 日本物理学会 第76回年次大会 (2021年), Online, 2021年3月12日-15日[2021年3月15日 口頭発表]
- [27] 高橋 光, 「テンソル繰り込み群における Fixed Point Tensor」, 瀬戸内サマーインスティテュート (SSI2020), オンライン, 2020年9月9日-11日[2020年9月9日発表]
- [28] 杉山祐紀, 「リンドラー時空とカスナー時空の重力波の Unruh 効果」, 瀬戸内サマーインスティテュート (SSI2020), オンライン, 2020年9月9日-11日[2020年9月10日発表]
- [29] 下地寛武, 「有限温度・有限密度 Gross-Neveu 模型における Casimir 効果とその安定性」, KEK 理論センター研究会「熱場の量子論とその応用」, 2020年8月24日-26日, オンライン[2020年8月25日ポスター発表]
- [30] 下地寛武\*, 稲垣知宏, 松尾大和, 「NJL 模型における化学ポテンシャルの寄与と安定サイズ」, 日本物理学会 2020年秋季大会, 2020年9月14日-17日, オンライン[2020年9月15日口頭発表]
- [31] 下地寛武, 「有限温度・有限密度 Gross-Neveu 模型における相構造と安定なサイズ」, 瀬戸内サマーインスティテュート(SSI2020), 2020年9月9日-11日, オンライン[2020年9月9日口頭発表]
- [32] 下地寛武\*, 稲垣知宏, 松尾大和, 「コンパクト化された空間を伴う有限温度 Gross-Neveu 模型における相構造の解析」, 日本物理学会第76回年次大会(2021年), 2021年3月12日-15日, オンライン[2021年3月15日口頭発表]
- [33] 杉山祐紀, 「リンドラー時空とカスナー時空の重力波からの Unruh 効果」, KEK 理論センター研究会「熱場の量子論とその応用」, 2020年8月24日-26日, オンライン[2020年8月24日ポスター発表]
- [34] 杉山祐紀\*, 山本一博, 小林 努, 「カスナー時空とリンドラー領域における重力波による Unruh 効果」, 日本物理学会第76回年次大会(2021年), 2021年3月12日-15日, オンライン[2021年3月15日口頭発表]

- [35] 松尾大和, 稲垣知宏, 木村大自, 下地寛武, 「Zeta 関数正則化による 3-フレーバーNambu-Jona-Lasinio モデルの解析」, 日本物理学会第 76 回年次大会(2021 年), 2021 年 3 月 12 日-15 日, オンライン[2021 年 3 月 14 日口頭発表]
- [36] 木村大自, 下地寛武, 松尾大和, 稲垣知宏, 「NJL 模型における強磁場中の低温・高密度領域の解析」, 日本物理学会第 76 回年次大会(2021 年), 2021 年 3 月 12 日-15 日, オンライン[2021 年 3 月 14 日口頭発表]
- [37] 松尾大和, 稲垣知宏, 下地寛武, 「zeta 関数正則化による 4 体フェルミ相互作用模型に対する非一様相と磁場の効果の解析」, 日本物理学会 2020 年秋季大会, 2020 年 9 月 14 日-17 日, オンライン[2020 年 9 月 15 日口頭発表]
- [38] ◎ニコラス・ジェームス・ベンワ, 両角卓也, 清水勇介\*, 高木堅太, 由宇朗大, 「ニュートリノ質量行列のくりこみ群の効果」, 日本物理学会第 76 回年次大会(2021 年), 2021 年 3 月 12 日-15 日, オンライン[2021 年 3 月 15 日口頭発表]
- [39] 河村優太, 松尾大和, 清水勇介, 高橋隼也, 「フレーバー対称性における真空構造とニュートリノ模型」, 日本物理学会 2020 年秋季大会, 2020 年 9 月 14 日-17 日, オンライン[2020 年 9 月 17 日口頭発表]

#### 学生の学会発表実績

##### (国際会議)

- 博士課程前期の学生が共同発表者の発表件数 2 件
- 博士課程後期の学生が共同発表者の発表件数 6 件
- 博士課程前期・後期の学生が共に共同発表者の発表件数 3 件

##### (国内会議)

- 博士課程前期の学生が共同発表者の発表件数 6 件
- 博士課程後期の学生が共同発表者の発表件数 14 件
- 博士課程前期・後期の学生が共に共同発表者の発表件数 8 件

#### 各種研究員と外国人留学生の受入状況

日本学術振興会特別研究員 (PD)	1名	山本 恵
外国人留学生 (博士前期課程 2018年10月入学)	1名	Ji Yingbo (姫 英博)
外国人留学生 (博士後期課程 2019年10月入学)	1名	Nicholas James Benoit

- SSH セミナー 高等学校による大学訪問  
該当無し

#### ○ セミナー・講演会開催実績

- [1] 石川健一: 「高性能計算物理勉強会 (HPC-Phys)」アドバイザー  
 第7回勉強会, 2020年6月17日(水) 15:00-17:30頃, オンライン  
 第8回勉強会, 2020年9月24日(木) 15:00-17:30頃, オンライン  
 第9回勉強会, 2020年12月3日(木) 15:00-17:30頃, オンライン  
 第10回勉強会, 2021年2月4日(木) 15:00-17:30頃, オンライン

- [2] 両角卓也 : CORE-U セミナー世話人
- ・ 2020 年度第 5 回 極限宇宙研究拠点(CORE-U)セミナー  
日時：2020 年 12 月 7 日  
場所：オンライン  
講師：谷本盛光氏（新潟大学名誉教授）  
題目：素粒子の世代を対称性で探る
  - ・ 2020 年度第 6 回 極限宇宙研究拠点(CORE-U)セミナー  
日時：2021 年 2 月 24 日  
場所：オンライン  
講師：九後太一氏（京都大学基礎物理学研究所，特任教授）  
題目：Photon/Graviton の存在定理

○ 国際共同研究・国際会議開催実績

- [1] 国際共同研究 稲垣知宏  
Theory of Modified Gravity: ICREA, Barcelona  
共同研究者 Sergei D. Odintsov
- [2] 国際共同研究 石川健一  
Twisted Reduced Marix model: Universidad Autónoma de Madrid  
共同研究者 Antonio Gonzalez-Arroyo
- [3] 国際共同研究 両角卓也  
(1)Time Variation of Particle Number: Tomsk State Pedagogical University (Russia)  
共同研究者 Takata Hiroyuki  
(2) Time Variation of Lepton Number: LIPI (Indonesian Institute of Sciences)  
共同研究者 Apriadi Salim Adam
- [4] 国際会議 両角卓也  
The 1st IIT Bombay-Hiroshima workshop for Frontiers of Neutrino Physics,  
2020年10月26日-30日（オンライン）

社会活動・学外委員

○ 学協会委員

- [1] 稲垣知宏 : 情報処理学会情報処理教育委員会幹事
- [2] 稲垣知宏 : 情報処理学会一般情報教育委員会委員
- [3] 稲垣知宏 : 日本パグウォッシュ会議運営委員会委員
- [4] 石川健一 : 筑波大学計算科学研究センター共同研究委員会委員
- [5] 石川健一 : 今後の HPCI を使った計算科学発展のための検討会委員

○ 講習会・セミナー講師

該当無し

研究助成金の受入状況

- [1] 稲垣知宏 : 科学研究費補助金基盤研究（C）, 一般情報教育知識空間の構築と探索（2019年度～2021年度, 研究代表者, 2020年度 2,000千円）

- [2] 石川健一：高性能汎用計算機高度利用事業・「富岳」成果創出加速プログラム「シミュレーションで探る基礎科学：素粒子の基本法則から元素の生成まで」（2020年度・受託機関：高エネルギー加速器研究機構，分担機関：広島大学，2020年度分担：550千円）
- [3] 両角卓也：科学研究費補助金基盤研究（C），背景ニュートリノのレプトン数と宇宙の粒子数生成機構（2017年度～2021年度，研究代表者，2020年度 650千円）
- [4] 両角卓也：科学研究費補助金基盤研究（B），統合解析による新物理の高精度探索（2016年度～2020年度，研究分担者，2020年度 130千円）
- [5] 山本 恵：日本学術振興会特別研究員奨励研究費「フレーバー物理で探る素粒子標準模型を超える新物理の研究」（2018年度～2020年度，2020年度 1,300千円）

## ○宇宙物理学グループ

研究活動の概要（小寫康史）

### (I) 中性子星の磁場

マグネターを含む強磁場をもつ中性子星を，この数年間の研究対象としている。永年の時間尺度で星内部の磁場の時間変化が外部の磁気圏にひずみとエネルギーが徐々に蓄えられ，ある臨界状態に達した際，フレアなどの突然のエネルギー放出に繋がると考えられる。観測的にその進化の時間尺度は数千年程度とされ，それが得られる物理的機構に関して，中性子星のクラスト（殻）部分の磁場進化モデルがある。局所的に磁場が強くなると，磁場のストレスが蓄積され，変形の弾性限界を超えた場合に起きる可塑性な流れ（plastic flow）を考慮にした，磁場進化の数値シミュレーションを行った。その結果，粘性係数がある範囲の場合，磁場のエネルギーが循環的な運動エネルギーに効率的に転化され，磁場進化へ大きな影響があることが分かった。その結果は公表論文として発表された。さらに，中性子星の凹凸が生じる可能性を検討したが，先行研究で主張される程度ほど大きくならないことを示した。

### (II) ブラックホール近傍の電磁氣的現象の解明

ブラックホール近傍では中心に落ちるガスと外向けにジェットが発生するが，電磁氣的なエネルギーの輸送過程を理論的に研究している。ブラックホール磁気圏を理論的に構成する近似的なモデルとして，電場と磁場の大きさが等しい電磁場(Null Electro-Magnetic fields)による荷電粒子の加速を調べた。加速される粒子の最大のエネルギーはブラックホールの質量と磁場強度の積の2/3のべきでスケールされる。その結果は公表論文として発表された。

### (III) 重力波

日本の重力波望遠鏡（KAGRA）や将来計画の観測衛星DECIGOなどの重力波関連の研究をした。また，データ解析での独自の可能性として，機械学習を用いたモデル分析を引き続き検討している。

研究活動の概要（岡部信広）

銀河団の弱い重力レンズ解析を中心とする多波長観測の研究を行った。銀河団は宇宙で最大の天体であり，その質量の約85%が暗黒物質で占められ，目で見ることが出来る通常の物質（バリオン）のうち高温ガスが約10%，銀河が約5%占められる。高温ガスはX線衛星やス

ニヤエフ・ゼルドビッチ(SZ)効果を観測する電波望遠鏡で、銀河は光学望遠鏡を通して観測される。これらの観測から銀河団の質量分布を測定するためには様々な仮定が必要となる。一方、背景銀河に対する弱い重力レンズ効果は銀河団の力学状態によらず、銀河団の質量分布を測定する唯一の観測手法である。また、各構成要素を直接観測する複数の手法を組み合わせる研究を多波長研究と呼ぶ。

本年度は筆頭著者として以下の内容の1本論文を発表した。すばる望遠鏡HSC-SSPサーベイで発見された3つのCAMIRA銀河団に対してグリーンバンク望遠鏡MUSTANG-2の高角度分解能SZ効果イメージとXXLサーベイによるX線イメージのジョイント解析を行った。ジョイント解析ではガスの密度と温度分布のパラメータとその中心の位置をフリーパラメータとしたベイジアンフォワードモデリングを行った。これにより、スロッシングや20keV以上の高温成分など様々な新しい知見を発見した。加えて、HSC-SSPの光学測光データ、弱い重力レンズ質量、XXLのGMRTの電波放射データなどの多波長データを組み合わせた研究を行った。ガスの銀河団衝突ブーストの議論、フェルミ1次粒子加速効率の議論、数値シミュレーションとの比較を行った。技術革新による高角度分解能SZ効果とX線のジョイント解析は銀河団ガス研究への大きな変革をもたらす。1) 複数の温度構造を持つガスの研究が可能になる。2) X線スペクトラム解析で行われていたように手で領域を決める必要がなく、ガスの物理パラメータや空間分布を同時に決定することができる。3) X線の温度分布の角度分解能はせいぜい数平方分であったがジョイントSZ+X線解析では0.05平方分程度になる。4) X線観測では発見することが困難であった20keV以上の温度構造を発見することができる。などが挙げられる。本研究に関して、すばる望遠鏡、XMM-Newton衛星、グリーンバンク望遠鏡の同時イメージリリースを行った。

また、銀河団の銀河や多波長研究や重力レンズに関する論文を3本共著で発表した。コラボレーションミーティングでの依頼講演を複数行った。

## 研究活動の概要 (木坂将大)

### (I)ブラックホール近傍の放電現象

ブラックホールから放出される相対論的ジェット生成機構の解明、特に相対論的ジェットの内部にどのように物質が供給されるかは宇宙物理学における重要な課題の一つである。これに対し、粒子の加速と生成過程を取り入れた一般相対論的プラズマ粒子シミュレーションを用いて、ブラックホール近傍での放電現象の研究をしている。活動銀河核から観測される時間変動の激しい超高エネルギーガンマ線帯域の増光現象(フレア)は、ブラックホール近傍での放電現象に起因すると考えられているものの、その発生原因はわかっていない。そこで数値シミュレーションを用いてフレアの原因を探った。結果として、ブラックホール近傍の磁気圏構造の変化により強い電場を誘起し、1桁以上のガンマ線光度の増光が起こることがわかった。これらの結果は、将来的に詳細なガンマ線フレアに対する観測データが得られた際に、その原因に対する理論的解釈を与える上で重要となる。

### (II)かにパルサーからの巨大電波パルス

最近報告された新しい謎の電波突發現象「高速電波バースト」の正体解明に向けた研究を行っている。有力候補として注目されているのは、「かにパルサー」を含む10個程度の中性子

星から、通常のほぼ一定の明るさの電波パルスとは別に10倍以上の強度を持ち散発的に発生する「巨大電波パルス」である。電波だけでは情報が限られるため、他の波長帯での検出を目指して多くの研究が行われてきた。かにパルサーからの巨大電波パルスに対しては、電波と同時に可視光でも増光することが知られている。しかし、それ波長の振る舞いはわかっていない。そこで我々はX線と電波で同時に観測を行い、巨大電波パルスに同期してX線も4%増光することを初めて発見した。わずか4%であるものの、これは巨大電波パルスで放出されるエネルギーが、これまで考えられていたよりも10-100倍も大きいことを意味する。結果は公表論文として発表した。巨大電波パルスを起こす現象によるエネルギー消費がこれまでの予想より大きいことは、高速電波バーストを放出できる期間が非常に短いことを意味し、結果として高速電波バーストの正体として若い中性子星からの巨大電波パルスという考えは否定されることがわかった。

#### 原著論文

- [1] Y. Kojima and K. Suzuki, “Magnetic-field evolution with large-scale velocity circulation in a neutron-star crust”, MNRAS (2020), 494, p.3790.
- [2] J. Kovar, Y. Kojima, P. Slany, Z. Stuchlik, V. Karas, “Charged fluids encircling compact objects: force representations and conformal geometries”, Class. and Quant. Grav. (2020) 37, id.245007.
- [3] Y. Kojima and Y. Kimura, “Particle Acceleration Driven by Null Electromagnetic Fields Near a Kerr Black Hole”, Universe (2021), 7, p.1.
- [4] T. Akutu et al (Kagra Collaboration) (Y. Kojima 96番目/251人), “Application of independent component analysis to the iKAGRA data”, Prog. of Theor. and Exp. Phys. (2020), 4, id.053F01.
- [5] B. P. Abbott et al (Y. Kojima 420番目/1322人), “Prospects for observing and localizing gravitational-wave transients with Advanced LIGO, Advanced Virgo and KAGRA”, Living Reviews in Relativity (2020), Volume 23, Issue 1, article id.3.
- [6] ©T. Enoto et al. (H. Takahashi 8番目/19人, Y. Kojima 17番目/19人), “NinjaSat: an agile CubeSat approach for monitoring of bright x-ray compact objects”, Proceedings of the SPIE (2020), Volume 11444, id. 114441V.
- [7] T. Akutu et al (Kagra Collaboration) (Y. Kojima 95番目/244人), “Vibration isolation systems for the beam splitter and signal recycling mirrors of the KAGRA gravitational wave detector”, Class. and Quant. Grav. (2021) 38, id.065011.
- [8] A. Alabi, A. Romanowsky, D. Forbes, J. Brodie, N. Okabe, “An expanded catalogue of low surface brightness galaxies in the Coma cluster using Subaru/Suprime-Cam”, MNRAS, 496, 3182-3197 (2020)
- [9] Y. Higuchi, N. Okabe, P. Merluzzi, C. Haines, G. Busarello, and M. Amata, “Shapley supercluster survey: mapping the dark matter distribution”, MNRAS, 497, 52-66 (2020)
- [10] N. Okabe, S. Dicker, D. Eckert, T. Mroczkowski, F. Gastaldello, and 30 others, “Active gas features in three HSC-SSP CAMIRA clusters revealed by high angular resolution analysis of MUSTANG-2 SZE and XXL X-ray observations”, MNRAS, 501, 1701-1732
- [11] V. Ghirardini, E. Bulbul, D. Hoang, M. Klein, N. Okabe, and 25 others, “Discovery of a supercluster in the eROSITA Final Equatorial Depth Survey: X-ray properties, radio halo, and double relics”, A&A, 647, A4 (2021)
- [12] T. Enoto et al. (S. Kisaka 3番目/37人, corresponding author) “Enhanced X-ray Emission

Coinciding with Giant Radio Pulses from the Crab Pulsar”, Science, 372, 187-190 (2021)

著書, 総説

小嶋康史 相対論と宇宙の辞典 (朝倉書店) 分担

著作

該当無し

国際会議

(依頼講演)

- [1] N. Okabe : “Updates of cluster science in the HSC survey” Joint XXL-HSC meeting, 2020年7月7日-8日, Online, (国際コラボレーションミーティング, 参加者約30名)
- [2] N. Okabe : “Baryon Budgets in the XXL clusters” Joint XXL-HSC meeting, 2020年7月7日-8日, Online, (国際コラボレーションミーティング, 参加者約30名)

(一般講演)

- [1] S. Kisaka : “Energy conversion efficiency in magnetospheric gaps around Kerr black holes”, Black Hole Astrophysics with VLBI: Multi-Wavelength and Multi-Messenger Era, 2021年1月18日-20日, オンライン, 参加者70名

国内学会

(招待講演)

該当無し

(依頼講演)

- [1] 木坂将大 : 「高速電波バーストのブレイクスルー」第33回 理論懇シンポジウム, 2020年12月23日-25日, オンライン, 参加者320名

(一般講演)

- [1] 小嶋康史, 他 : 「中性子星の磁場進化へのクラスター (殻) の可塑性変形の効果」日本天文学会秋季年会 2020年9月10日 オンライン
- [2] 小嶋康史, 木村優斗 : 「ブラックホール近傍のヌル電磁場による粒子加速」日本物理学会2020年秋季大会 2020年9月14日 オンライン
- [3] 岡部信広, Simon Dicker, Dominique Eckert, and the HSC-GBT-XXL collaboration “Active gas features in three HSC-SSP CAMIRA clusters revealed by high angular resolution analysis of MUSTANG-2 SZE and XXL X-ray observations” 日本天文学会 2020年秋季年会
- [4] 木坂将大, 榎戸輝揚, 寺澤敏夫, 他33名 : 「かにパルサーの巨大電波パルスに伴うX線超過の理論モデル」日本天文学会春季年会, 2021年3月16日-19日, オンライン, 参加者 800名
- [5] 木坂将大 : 「GRPモデル再考」研究会「中性子星および関連現象～興味ある課題を検討しよう～」, 2020年12月22日, オンライン, 参加者15名
- [6] 木坂将大 : 「Magnetospheric gaps around stellar mass black holes」高エネルギー宇宙物理学研究会2020, 2020年12月14,17日, オンライン, 参加者80名



学生の学会発表実績

(国際会議)

- 博士課程前期の学生が共同発表者の発表件数 0 件
- 博士課程後期の学生が共同発表者の発表件数 0 件
- 博士課程前期・後期の学生が共に共同発表者の発表件数 0 件

(国内学会)

- 博士課程前期の学生が共同発表者の発表件数 3 件
- 博士課程後期の学生が共同発表者の発表件数 1 件
- 博士課程前期・後期の学生が共に共同発表者の発表件数 0 件

社会活動・学外委員

○学協会委員

- [1] 小嶋康史：物理雑誌 Prog. Theo. Exp. Phys. 編集委員
- [2] 岡部信広：天文月報 編集委員
- [3] N. Okabe：HSC collaboration, cluster working group chair
- [4] N. Okabe：HSC-XXL collaboration, negotiator
- [5] N. Okabe：HSC-eROSITA collaboration, cluster working group coordinator

○講習会・セミナー講師

- [1] 小嶋康史：2020年ノーベル賞解説セミナー「ペンローズのブラックホール物理学の偉業」2020年12月12日 広島大学東広島キャンパス(オンライン)
- [2] 木坂将大：山形大学宇宙談話会、「中性子星の状態方程式への制限の現状と今後」2020年11月26日 オンライン
- [3] 木坂将大：PSR Bi-Monthly Meeting, 「高速電波バーストとパルサー電波放射」, 2020年12月5日, オンライン
- [4] 木坂将大：京都大学APゼミ, 「ブラックホール磁気圏での電磁カスケード」, 2020年12月21日, オンライン
- [5] 木坂将大：理化学研究所 知の共有ゼミ, 「Central Engine of Fast Radio Bursts」, 2021年2月1日, オンライン
- [6] 木坂将大：山形大学宇宙談話会, 「高速電波バーストとそのエネルギー源」, 2021年2月4日, オンライン

○SSHセミナー, 講演会開催実績, 講習会  
該当無し

国際共同研究・国際会議開催実績

該当無し

○各種研究員と外国人留学生の受入状況

- [1] 小嶋康史：南 岳 (大学院D4) (山本一博転出による受け入れ変更)
- [2] 小嶋康史：Ar Rohim (大学院D3) (山本一博転出による受け入れ変更)

#### ○研究助成金の受入状況

- [1] 小嶋康史：科学研究費補助金，基盤研究（C）（2019～2022年度，代表，2020年度1,040千円）「磁気圏変動現象を通じて探る中性子星やブラックホール物理」
- [2] 小嶋康史：科学研究費補助金，新学術領域研究 重力波物理学・天文学：創世記（2017～2021年度，分担，2020年度1,300千円）
- [3] 岡部信広：国際共同研究加速基金（国際共同研究強化(B)）代表 2019～2024年度「HSC-SSP 光学サーベイと eROSTIA X線サーベイによる精密宇宙論」 2020年度 1,000千円
- [4] 岡部信広：基盤研究（C）代表 2020～2022年度「高角度分解能 SZ 効果と X線ジョイント解析による銀河団ガス物理の解明」 2020年度 1,500千円
- [5] 木坂将大：科学研究費補助金，基盤研究（B）（2018～2021年度，分担，2020年度350千円）「中性子星種族の多様性とそれを作り出す中性子星磁気圏の多様性・変動性の起源の解明」
- [6] 木坂将大：科学研究費補助金，若手研究（2019～2021年度，代表，2020年度1,000千円）「ブラックホール磁気圏での電磁カスケード現象の解明」

#### ○その他特記すべき事項

エクセレントスチューデントスカラシップ（1人）

日本学術振興会特別研究員DC2（1人）

### ○クォーク物理学グループ

#### 研究活動の概要

宇宙創成のシナリオ完成を目指し，欧州CERN研究所LHC加速器における国際共同実験研究ALICEにおいて高エネルギー原子核衝突により生成する超高温クォーク物質の究明を進めている。2020年はLHC加速器の第2期長期停止期間2年目にあたり，2022年からの第3期運転に向けて検出器の大幅な高度化を継続して推進した。特にALICE実験の主要な検出器高度化計画である前方ミュオン粒子飛跡検出器MFTの開発建設を，フランスなどの研究機関およびCERN研究所と連携して進めている。前方領域におけるミュオン粒子を用いた新測定や高精度測定を実現する要となる検出器である。併せて2015年から2018年の第2期運転で収集済の衝突実験データの物理解析にも注力し，ALICE国際共同実験共著として査読学術論文39編を公表した。前方クォークコニアの集団運動測定により重クォークの熱的挙動に迫るなど，高精度高統計データ解析から高温解放クォーク相の性質解明が進む。またハイペロンと核子の相互作用など，ハドロン物理に対する特徴的な知見獲得能力を示した。ALICE実験以前から継続してきた米国BNL研究所RHIC加速器における国際共同実験研究PHENIXにおいては，衝突点近傍半導体検出器を用いた解放重クォーク挙動の解明を重点的に進め，これらの成果を含めてPHENIX国際共同実験共著として査読学術論文8編を公表した。同実験による熱的光子の系統的測定解析に基づき，本研究室出身（2017年3月単位取得退学）星野知也が2021年3月に広島大学から博士（理学）の学位を取得した。また，ビッグバン直後の宇宙膨張と冷却に伴い強い相互作用が支配する物質相転移と並行して生成した可能性のある暗黒成分を含めた真空構造の理解に，光子散乱を探針として挑んでいる。併せて，クォーク・グルーオン・プラズマ

と高強度磁場との相互作用による巨視的な運動を理論的に解明すべく、先進的な高精度磁気流体数値解法の開発を進めると共に、電磁プラズマ物理との学際領域の創生を目指している。

志垣賢太教授は、上述のMFT検出器の制御供給作業要素共同座長として制御系の総責任を担う。広島大学に立上げた同検出器制御系の開発ベンチを活用し、CERN研究所が開発するGBT-SCAチップの新規採用に伴う技術基盤や有限オートマトンを用いた制御アルゴリズム実装などの個々の要素を統合して実装準備を整え、2020年度はCovid-19のために遠隔ながら国際協力の下に、LHC加速器への実機設置に伴う制御系実装を進めた。併せて、新検出器を用いた物理解析を可能とする飛跡再構成アルゴリズムの開発、同検出器を用いるカイラル対称性回復現象の探索や原子核偏心衝突で生成する宇宙最高強度磁場の直接検出に向けた物理検討も進めている。また、科研費新学術領域研究の計画研究代表者、日仏素粒子物理学研究所実施事業の日本側代表者に加え、2020年度から新たな科研費基盤研究(A)を代表者として獲得し、研究展開を加速している。日本国内においても、J-PARC(茨城県)において、理化学研究所、高エネルギー加速器研究機構、京都大学などと物質質量起源に迫る共同実験研究を進め、2020年度には初期運転を遂行した。また、日本原子力研究開発機構との共同研究契約に基づき、J-PARC RCS加速器における取出ビーム品質の高精度測定手法研究を進めた。日本物理学会実験核物理領域プログラム委員、核物理委員、高エネルギー加速器研究機構素粒子原子核研究所研究計画委員に選任されるなど、対外貢献も増している。教育面では、大学院博士後期学生3名、同前期学生5名、学部卒業研究生2名を直接指導し、修士(理学)2名、学士(理学)2名、および上述の論文博士1名を輩出した。

山口頼人准教授は、上述のMFT検出器の制御運用責任者として、2022年稼働に向けた制御系開発と試験運転を牽引している。同検出器の通常運転制御にとどまらず、検出器状態監視と異常時の安全装置を有限オートマトンを基礎とする制御系に実装した。Covid-19の影響で現地訪問は困難だが、2020年秋に同検出器がALICE実験内部へ設置されてからは現地研究者の協力を得て遠隔操作による実機を用いた試験運転を日々行っている。また、同検出器による飛跡再構成精度向上によるミュー粒子対不変質量分解能の改善をシミュレーションを用いて定量的に評価した。加えて、同実験第2期運転のデータを用い、sクォークを複数含む複ストレンジダイバリオン探索を進めている。複ストレンジダイバリオンから2バリオン間の結合エネルギー決定により、フレーバーSU(3)空間でのバリオン間相互作用について他測定では得られない知見をもたらす。2020年度は、2バリオン不変質量分布に含まれる背景事象評価の基礎的研究を集中的に進めた。さらに、物理実験の検出器技術を産業・工業利用に応用するため、サイエナジー社と長崎総合科学大学の浜垣特命教授、大山教授と産学連携共同研究を行っている。非破壊検査用シリコンセンサーの信号読出高速化を目指し、FPGAによる論理回路を用いた基礎研究を進めた。上記の研究は大学院博士前期学生2名、学部卒業研究生2名と共にいった。

本間謙輔助教は、宇宙の暗黒成分の源となり得る光と弱く結合するsub-eV質量領域にある未知素粒子を、誘導共鳴光子散乱(真空内四光波混合)過程を介して探索することを目指し、欧州連合で承認された超高強度レーザーを用いるExtreme Light Infrastructureプロジェクト(ELI)を推進した。並行して、京都大学化学研究所にて中規模のレーザーを用いた探索データを複数回収した。加えて、質量がsub- $\mu$ eVにあり得る暗黒エネルギー源の探索を目指し、GHz帯域のマイクロ波を用いた真空内四光波混合探索の提案とその感度を算出し、重力的に弱い未知

素粒子にも感度を持ち得る結果を得た。この内容については既に出版を終え、広島大学からプレスリリースを実施し、中国新聞等のメディアに掲載された。さらに、上記提案された探索手法の実現性を検証すべく、GHz帯域ビームを集光するための光学系の設計・試作の上で、予備的探索を実施した。これらの関連し合う成果は複数の国内会議にて報告した。以上の研究課題を通じ、本専攻大学院前期博士課程学生2名を研究指導した。また、直線偏光を持って集光された微弱光子群の偏光状態の測定を通じて、理学部卒業研究生1名の研究も指導した。

三好隆博助教は、宇宙プラズマ物理の理論・シミュレーション研究及びプラズマ流体モデルに対する先進的な数値解法の研究開発を広く推進すると共に、高エネルギー原子核物理とプラズマ物理の学際領域の創生を目指す。名大ISEEの草野教授、井上特任助教（2020年9月からニュージャージー工科大准教授）、JAXAの鳥海国際トップヤングフェローと太陽プラズマ物理に関する共同研究を進めている。太陽フレアなど太陽大気中の爆発現象の解明と予測のための重要基盤として、本共同研究では、太陽光球面ベクトル磁場から太陽大気中の磁気静水圧平衡磁場を外挿する磁気流体力学緩和法を開発する。特に2020年度は、太陽浮上磁場を模擬した非定常な磁気流体力学シミュレーションの結果と比較検証する準備を進めた。本共同研究に関連し、卒業研究生1名を直接指導した。また、宇宙プラズマ爆発現象における最重要な物理過程である磁気リコネクションに関する研究を神戸大の銭谷特命准教授と共同で進めている。特に低ベータプラズマにおけるプラズモイド型磁気リコネクションの理論モデルを構築すると共に数値シミュレーションにより検証を行い、その成果を学術論文として公表した。併せて、磁気流体力学方程式に対する数値解法の研究開発も推進している。JAMSTECの簗島研究員、横浜国立大の北村准教授と共同で、非圧縮に近い流れから極超音速流れに至るまで全速度領域において高精度かつ頑強な磁気流体力学数値解法を開発し、学術論文として公表した。また、磁気流体力学数値解法の高次精度数値補間に関する基礎的研究を簗島氏と実施し、学術論文として公表した。さらには、高エネルギー原子核物理、宇宙・天体物理と関連する新たな学際領域の創生を目指し、名大の野中准教授、駒澤大の高橋講師らと議論を深めている。本共同研究は、新規に獲得した科学研究費補助金の基盤研究（C）（代表）及び野中氏が代表を務める基盤研究（S）（分担）に関連する。特に2020年度は、相対論的磁気流体力学方程式に対する先進的な数値解法の研究開発を行う準備をすると共に、非相対論的カイラル磁気流体力学に関する基礎的な研究を進めた。

八野哲助教は、ALICE実験において物質の質量獲得機構や物質の階層構造の解明に向けた研究を行っている。上述のMFT検出器導入によりミュー粒子対質量分解能が向上し、物質質量の起源の解明に繋がるカイラル対称性回復によるハドロン質量変化が測定可能となる。特にソフトウェア開発を牽引し、同検出器のデータ取得および解析の準備を進めている。2020年度は同検出器を用いた新しい飛跡再構成アルゴリズムの開発を主導し、機械学習を用いるアルゴリズムの開発により飛跡純度および再構成効率を大幅に向上させた。また、同実験第2期運転データを用い、重心系エネルギー13 TeVの陽子-陽子衝突においてミュー粒子対に崩壊した低質量ベクトル中間子の収量を解析した。その結果、生成粒子数の多い稀事象において低横運動量領域の低質量ベクトル中間子の収量減少を発見した。陽子+陽子衝突では生成しないと考えられてきた高温クォーク物質の生成を示唆する結果である。一方、既存検出器だけではミュー粒子対質量分解能が十分でなく、高温クォーク物質生成の是非を明らかにすることはできない。質量分解能向上により高温クォーク物質生成の真偽に迫る可能性を示しており、MFT検出器の重要性が注目される結果である。

原著論文

- [1] © S.Acharya, [K.Shigaki](#), [Y.Yamaguchi](#), [S.Yano](#), *et al.*, “Centrality dependence of  $J/\psi$  and  $\psi(2S)$  production and nuclear modification in p-Pb collisions at  $\sqrt{s_{NN}} = 8.16$  TeV”, 10.1007/JHEP02(2021)002, *JHEP* **02**, 002, 2021.
- [2] © S.Acharya, [K.Shigaki](#), [Y.Yamaguchi](#), [S.Yano](#), *et al.*, “Pion-kaon femtoscopy and the lifetime of the hadronic phase in Pb-Pb collisions at  $\sqrt{s_{NN}} = 2.76$  TeV”, 10.1016/j.physletb.2020.136030, *Phys. Lett. B* **813**, 136030, 2021
- [3] © S.Acharya, [K.Shigaki](#), [Y.Yamaguchi](#), [S.Yano](#), *et al.*, “Production of  $\omega$  mesons in pp collisions at  $\sqrt{s} = 7$  TeV”, 10.1140/epjc/s10052-020-08651-y, *Eur. Phys. J. C* **80**, 1130, 2020.
- [4] © S.Acharya, [K.Shigaki](#), [Y.Yamaguchi](#), [S.Yano](#), *et al.*, “Elliptic and triangular flow of (anti)deuterons in Pb-Pb collisions at  $\sqrt{s_{NN}} = 5.02$  TeV”, 10.1103/PhysRevC.102.055203, *Phys. Rev. C* **102**, 055203, 2020.
- [5] © S.Acharya, [K.Shigaki](#), [Y.Yamaguchi](#), [S.Yano](#), *et al.*, “ $J/\psi$  elliptic and triangular flow in Pb-Pb collisions at  $\sqrt{s_{NN}} = 5.02$  TeV”, 10.1007/JHEP10(2020)141, *JHEP* **10**, 141, 2020.
- [6] © S.Acharya, [K.Shigaki](#), [Y.Yamaguchi](#), [S.Yano](#), *et al.*, “Measurement of isolated photon-hadron correlations in  $\sqrt{s_{NN}} = 5.02$  TeV pp and p-Pb collisions”, 10.1103/PhysRevC.102.044908, *Phys. Rev. C* **102**, 044908, 2020.
- [7] © S.Acharya, [K.Shigaki](#), [Y.Yamaguchi](#), [S.Yano](#), *et al.*, “Constraining the Chiral Magnetic Effect with charge-dependent azimuthal correlations in Pb-Pb collisions at  $\sqrt{s_{NN}} = 2.76$  and 5.02 TeV”, 10.1007/JHEP09(2020)160, *JHEP* **09**, 160, 2020.
- [8] © S.Acharya, [K.Shigaki](#), [Y.Yamaguchi](#), [S.Yano](#), *et al.*, “Dielectron production in proton-proton and proton-lead collisions at  $\sqrt{s_{NN}} = 5.02$  TeV”, 10.1103/PhysRevC.102.055204, *Phys. Rev. C* **102**, 055204, 2020.
- [9] © S.Acharya, [K.Shigaki](#), [Y.Yamaguchi](#), [S.Yano](#), *et al.*, “Unveiling the strong interaction among hadrons at the LHC”, 10.1038/s41586-020-3001-6, *Nature* **588**, 232-238, 2020.
- [10] © S.Acharya, [K.Shigaki](#), [Y.Yamaguchi](#), [S.Yano](#), *et al.*, “Production of light-flavor hadrons in pp collisions at  $\sqrt{s} = 7$  and  $\sqrt{s} = 13$  TeV”, 10.1140/epjc/s10052-020-08690-5, *Eur. Phys. J. C* **81**, 256, 2021.
- [11] © S.Acharya, [K.Shigaki](#), [Y.Yamaguchi](#), [S.Yano](#), *et al.*, “Z-boson production in p-Pb collisions at  $\sqrt{s_{NN}} = 8.16$  TeV and Pb-Pb collisions at  $\sqrt{s_{NN}} = 5.02$  TeV”, 10.1007/JHEP09(2020)076, *JHEP* **09**, 076, 2020.
- [12] © S.Acharya, [K.Shigaki](#), [Y.Yamaguchi](#), [S.Yano](#), *et al.*, “Transverse-momentum and event-shape dependence of D-meson flow harmonics in Pb-Pb collisions at  $\sqrt{s_{NN}} = 5.02$  TeV”, 10.1016/j.physletb.2020.136054, *Phys. Lett. B* **813**, 136054, 2021.
- [13] © S.Acharya, [K.Shigaki](#), [Y.Yamaguchi](#), [S.Yano](#), *et al.*, “Multiplicity dependence of  $J/\psi$  production at midrapidity in pp collisions at  $\sqrt{s} = 13$  TeV”, 10.1016/j.physletb.2020.135758, *Phys. Lett. B* **810**, 135758, 2020.
- [14] © S.Acharya, [K.Shigaki](#), [Y.Yamaguchi](#), [S.Yano](#), *et al.*, “Measurement of the low-energy antideuteron inelastic cross section”, 10.1103/PhysRevLett.125.162001, *Phys. Rev. Lett.* **125**, 162001, 2020.
- [15] © S.Acharya, [K.Shigaki](#), [Y.Yamaguchi](#), [S.Yano](#), *et al.*, “ $J/\psi$  production as a function of charged-particle multiplicity in p-Pb collisions at  $\sqrt{s_{NN}} = 8.16$  TeV”, 10.1007/JHEP09(2020)162, *JHEP* **09**, 162, 2020.
- [16] © S.Acharya, [K.Shigaki](#), [Y.Yamaguchi](#), [S.Yano](#), *et al.*, “Search for a common baryon source in high-multiplicity pp collisions at the LHC”, 10.1016/j.physletb.2020.135849, *Phys. Lett. B* **811**, 135849, 2020.
- [17] © S.Acharya, [K.Shigaki](#), [Y.Yamaguchi](#), [S.Yano](#), *et al.*, “Measurement of nuclear effects on  $\psi(2S)$  production in p-Pb collisions at  $\sqrt{s_{NN}} = 8.16$  TeV”, 10.1007/JHEP07(2020)237, *JHEP* **07**, 237, 2020.
- [18] © S.Acharya, [K.Shigaki](#), [S.Yano](#), *et al.*, “(Anti-)deuteron production in pp collisions at  $\sqrt{s} = 13$  TeV”, 10.1140/epjc/s10052-020-8256-4, *Eur. Phys. J. C* **80**, 889, 2020.

- [19] © S.Acharya, [K.Shigaki](#), [Y.Yamaguchi](#), [S.Yano](#), *et al.*, “Multiplicity dependence of  $\pi$ , K, and p production in pp collisions at  $\sqrt{s} = 13$  TeV”, 10.1140/epjc/s10052-020-8125-1, *Eur. Phys. J. C* **80**, 693, 2020.
- [20] © S.Acharya, [K.Shigaki](#), [Y.Yamaguchi](#), [S.Yano](#), *et al.*, “Coherent photoproduction of  $\rho^0$  vector mesons in ultra-peripheral Pb-Pb collisions at  $\sqrt{s_{NN}} = 5.02$  TeV”, 10.1007/JHEP06(2020)035, *JHEP* **06**, 035, 2020.
- [21] © S.Acharya, [K.Shigaki](#), [Y.Yamaguchi](#), [S.Yano](#), *et al.*, “Higher harmonic non-linear flow modes of charged hadrons in Pb-Pb collisions at  $\sqrt{s_{NN}} = 5.02$  TeV”, 10.1007/JHEP05(2020)085, *JHEP* **05**, 085, 2020.
- [22] © S.Acharya, [K.Shigaki](#), [Y.Yamaguchi](#), [S.Yano](#), *et al.*, “Non-linear flow modes of identified particles in Pb-Pb collisions at  $\sqrt{s_{NN}} = 5.02$  TeV”, 10.1007/JHEP06(2020)147, *JHEP* **06**, 147, 2020.
- [23] © S.Acharya, [K.Shigaki](#), [S.Yano](#), *et al.*, “Investigation of the p- $\Sigma^0$  interaction via femtoscopy in pp collisions”, 10.1016/j.physletb.2020.135419, *Phys. Lett. B* **805**, 135419, 2020.
- [24] © S.Acharya, [K.Shigaki](#), [S.Yano](#), *et al.*, “Longitudinal and azimuthal evolution of two-particle transverse momentum correlations in Pb-Pb collisions at  $\sqrt{s_{NN}} = 2.76$  TeV”, 10.1016/j.physletb.2020.135375, *Phys. Lett. B* **804**, 135375, 2020.
- [25] © S.Acharya, [K.Shigaki](#), [S.Yano](#), *et al.*, “Underlying Event properties in pp collisions at  $\sqrt{s} = 13$  TeV”, 10.1007/JHEP04(2020)192, *JHEP* **04**, 192, 2020.
- [26] © S.Acharya, [K.Shigaki](#), [S.Yano](#), *et al.*, “Production of (anti-) $^3\text{He}$  and (anti-) $^3\text{H}$  in p-Pb collisions at  $\sqrt{s_{NN}} = 5.02$  TeV”, 10.1103/PhysRevC.101.044906, *Phys. Rev. C* **101**, 044906, 2020.
- [27] © S.Acharya, [K.Shigaki](#), [S.Yano](#), *et al.*, “Centrality and transverse momentum dependence of inclusive  $J/\psi$  production at midrapidity in Pb-Pb collisions at  $\sqrt{s_{NN}} = 5.02$  TeV”, 10.1016/j.physletb.2020.135434, *Phys. Lett. B* **805**, 135434, 2020.
- [28] © S.Acharya, [K.Shigaki](#), [S.Yano](#), *et al.*, “Probing the effects of strong electromagnetic fields with charge-dependent directed flow in Pb-Pb collisions at the LHC”, 10.1103/PhysRevLett.125.022301, *Phys. Rev. Lett.* **125**, 022301, 2020.
- [29] © S.Acharya, [K.Shigaki](#), [S.Yano](#), *et al.*, “Jet-hadron correlations measured relative to the second order event plane in Pb-Pb collisions at  $\sqrt{s_{NN}} = 2.76$  TeV”, 10.1103/PhysRevC.101.064901, *Phys. Rev. C* **101**, 064901, 2020.
- [30] © S.Acharya, [K.Shigaki](#), [S.Yano](#), *et al.*, “ $\Upsilon$  production in p-Pb collisions at  $\sqrt{s_{NN}} = 8.16$  TeV”, 10.1016/j.physletb.2020.135486, *Phys. Lett. B* **806**, 135486, 2020.
- [31] © S.Acharya, [K.Shigaki](#), [S.Yano](#), *et al.*, “Evidence of Spin-Orbital Angular Momentum Interactions in Relativistic Heavy-Ion Collisions”, 10.1103/PhysRevLett.125.012301, *Phys. Rev. Lett.* **125**, 012301, 2020.
- [32] © S.Acharya, [K.Shigaki](#), [S.Yano](#), *et al.*, “Azimuthal correlations of prompt D mesons with charged particles in pp and p-Pb collisions at  $\sqrt{s_{NN}} = 5.02$  TeV”, 10.1140/epjc/s10052-020-8118-0, *Eur. Phys. J. C* **80**, 979, 2020.
- [33] © S.Acharya, [K.Shigaki](#), [S.Yano](#), *et al.*, “Multiplicity dependence of  $K^*(892)^0$  and  $\phi(1020)$  production in pp collisions at  $\sqrt{s} = 13$  TeV”, 10.1016/j.physletb.2020.135501, *Phys. Lett. B* **807**, 135501, 2020.
- [34] © S.Acharya, [K.Shigaki](#), [S.Yano](#), *et al.*, “Global baryon number conservation encoded in net-proton fluctuations measured in Pb-Pb collisions at  $\sqrt{s_{NN}} = 2.76$  TeV”, 10.1016/j.physletb.2020.135564, *Phys. Lett. B* **807**, 135564, 2020.
- [35] © S.Acharya, [K.Shigaki](#), [S.Yano](#), *et al.*, “ $K^*(892)^0$  and  $\phi(1020)$  production at midrapidity in pp collisions at  $\sqrt{s} = 8$  TeV”, 10.1103/PhysRevC.102.024912, *Phys. Rev. C* **102**, 024912, 2020.
- [36] © S.Acharya, [K.Shigaki](#), [S.Yano](#), *et al.*, “Measurement of electrons from semileptonic heavy-flavour hadron decays at midrapidity in pp and Pb-Pb collisions at  $\sqrt{s_{NN}} = 5.02$  TeV”, 10.1016/j.physletb.2020.135377, *Phys. Lett. B* **804**, 135377, 2020.
- [37] © S.Acharya, [K.Shigaki](#), [S.Yano](#), *et al.*, “Measurement of the (anti-) $^3\text{He}$  elliptic flow in Pb-Pb collisions at  $\sqrt{s_{NN}} = 5.02$  TeV”, 10.1016/j.physletb.2020.135414, *Phys. Lett. B* **805**, 135414, 2020.

- [38] © S.Acharya, [K.Shigaki](#), [S.Yano](#), *et al.*, “Production of charged pions, kaons, and (anti-)protons in Pb-Pb and inelastic pp collisions at  $\sqrt{s_{NN}} = 5.02$  TeV”, 10.1103/PhysRevC.101.044907, *Phys. Rev. C* **101**, 044907, 2020.
- [39] © S.Acharya, [K.Shigaki](#), [S.Yano](#), *et al.*, “Global polarization of  $\Lambda$   $\bar{\Lambda}$  hyperons in Pb-Pb collisions at  $\sqrt{s_{NN}} = 2.76$  and 5.02 TeV”, 10.1103/PhysRevC.101.044611, *Phys. Rev. C* **101**, 044611, 2020.
- [40] © U. A. Acharya, [K. Homma](#), [K. Shigaki](#), [Y. Yamaguchi](#), *et al.*, “Transverse single-spin asymmetries of midrapidity  $\pi^0$  and  $\eta$  mesons in polarized p+p collisions at  $\sqrt{s} = 200$  GeV”, 10.1103/PhysRevD.103.052009, *Phys. Rev. D* **103**, 052009, 2021.
- [41] © U. A. Acharya, [K. Homma](#), [K. Shigaki](#), [Y. Yamaguchi](#), *et al.*, “Transverse momentum dependent forward neutron single spin asymmetries in transversely polarized p+p collisions at  $\sqrt{s} = 200$  GeV”, 10.1103/PhysRevD.103.032007, *Phys. Rev. D* **103**, 032007, 2020.
- [42] © U. A. Acharya, [K. Homma](#), [K. Shigaki](#), [Y. Yamaguchi](#), *et al.*, “Production of  $\pi^0$  and  $\eta$  mesons in U+U collisions at  $\sqrt{s_{NN}} = 192$  GeV”, 10.1103/PhysRevC.102.064905, *Phys. Rev. C* **102**, 064905, 2020.
- [43] © U. A. Acharya, [K. Homma](#), [K. Shigaki](#), [Y. Yamaguchi](#), *et al.*, “Polarization and cross section of midrapidity  $J/\psi$  production in p+p collisions at  $\sqrt{s} = 510$  GeV”, 10.1103/PhysRevD.102.072008, *Phys. Rev. D* **102**, 072008, 2020.
- [44] © U. A. Acharya, [K. Homma](#), [K. Shigaki](#), [Y. Yamaguchi](#), *et al.*, “Production of  $b\bar{b}$  at forward rapidity in p+p collisions at  $\sqrt{s} = 510$  GeV”, 10.1103/PhysRevD.102.092002, *Phys. Rev. D* **102**, 092002, 2020.
- [45] © U. A. Acharya, [K. Homma](#), [K. Shigaki](#), [Y. Yamaguchi](#), *et al.*, “Measurement of jet-medium interactions via direct photon-hadron correlations in Au+Au and d+Au collisions at  $\sqrt{s} = 200$  GeV”, 10.1103/PhysRevC.102.034326, *Phys. Rev. C* **102**, 054910, 2020.
- [46] © U. A. Acharya, [K. Homma](#), [K. Shigaki](#), [Y. Yamaguchi](#), *et al.*, “Measurement of charged pion double spin asymmetries at midrapidity in longitudinally polarized p+p collisions at  $\sqrt{s} = 510$  GeV”, 10.1103/PhysRevD.102.032001, *Phys. Rev. D* **102**, 032001, 2020.
- [47] © U. A. Acharya, [K. Homma](#), [K. Shigaki](#), [Y. Yamaguchi](#), *et al.*, “Measurement of  $J/\psi$  at forward and backward rapidity in p+p, p+Al, p+Au, and  $^3\text{He}+\text{Au}$  collisions at  $\sqrt{s} = 200$  GeV”, 10.1103/PhysRevC.102.014902, *Phys. Rev. C* **102**, 014902, 2020.
- [48] © K. Yamakawa, A. Augustinus, G. Batigne, P. Chochula, M. Oya, S. Panebianco, O. Pinazza, [K. Shigaki](#), R. Rieulent, [Y. Yamaguchi](#), “Design and implementation of detector control system for muon forward tracker at ALICE”, 10.1088/1748-0221/15/10/T10002, *J. Instrum.* **15**, T10002, 2020.
- [49] A. Nobuhiro, Y. Hirahara, [K. Homma](#), *et al.*, “Extended search for sub-eV axion-like resonances via four-wave mixing with a quasi-parallel laser collider in a high-quality vacuum system”, 10.1093/ptep/ptaa075, *Progress of Theoretical and Experimental Physics* 2020, 073C01, 2020.
- [50] [K. Homma](#) and Y. Kirita, “Stimulated radar collider for probing gravitationally weak coupling pseudo Nambu-Goldstone bosons”, 10.1007/JHEP09(2020)095, *Journal of High Energy Physics* 09, 095, 2020.
- [51] [K. Homma](#), “Study of virtual vacuum polarizations in a strong electromagnetic field”, scopus:2-s2.0-85081047860, Proceedings of NANOBEAM 2005, 36th ICFA Advanced Beam Dynamics Workshop 457-464, 2020.
- [52] S. Zenitani, [T. Miyoshi](#), “Plasmoid-dominated turbulent reconnection in a low- $\beta$  plasma”,

10.3847/2041-8213/ab8b5d, *Astrophys. J. Lett.* **894**, L7, 2020.

- [53] T. Minoshima, K. Kitamura, T. Miyoshi, “A multistate low-dissipation advection upstream splitting method for ideal magnetohydrodynamics”, 10.3847/1538-4365/ab8ace, *Astrophys. J. Suppl.* **248**, 12, 2020.
- [54] T. Miyoshi, T. Minoshima, “A short note on reconstruction variables in shock capturing schemes for magnetohydrodynamics”, 10.1016/j.jcp.2020.109804, *J. Comput. Phys.* **423**, 109804, 2020.

#### 国際会議

(招待講演)

該当無し

(依頼講演)

該当無し

(一般講演)

- [1] T. Miyoshi, “Structure formation in chiral magnetohydrodynamics: Effect of background magnetic field”, JpGU-AGU Joint Meeting 2020 (online, 2020年7月12日-16日)
- [2] T. Minoshima, K. Kitamura, T. Miyoshi, “A multistate low-dissipation advection upstream splitting method for ideal magnetohydrodynamics”, JpGU-AGU Joint Meeting 2020 (online, 2020年7月12日-16日)

#### 国内学会

(招待講演)

- [1] 志垣賢太 : 「ALICE Upgrade and Physics Topics (I)」新学術領域研究 “量子クラスターで読み解く物質の階層構造” 第4回研究会 (オンライン, 2020年5月28日)
- [2] 志垣賢太 : 「Relativistic Heavy Ion (*i.e.* Nucleus) Collisions」KEK 研究会 “素粒子・原子核の交点” (オンライン, 2020年8月31日-9月1日)
- [3] 志垣賢太 : 「高エネルギー原子核衝突で探るクォーク階層とハドロン階層にまたがる物理」, 日本物理学会シンポジウム (オンライン, 2021年3月15日)
- [4] 山口頼人 : 「Multi-strange dibaryon search at LHC-ALICE」新学術領域研究 “量子クラスターで読み解く物質の階層構造” 第5回研究会 (オンライン, 2020年9月24-25日)
- [5] 本間謙輔 : 「多波長電磁波衝突を用いた真空構造への多角的アプローチ -地上散乱実験は重力結合へ到達し得るか-」東北大学電子光学研究センターELPH セミナー (オンライン, 2021年2月25日)

(依頼講演)

該当無し

(一般講演)

- [1] 本間謙輔, 桐田勇利, 井上峻介, 橋田昌樹, 阪部周二, 中宮義英, Liviu Neagu, Ovidiu Tesileanu, 他 SAPHIRES collaboration : 「二色の直線-円偏光パルスレーザーを組み合わせた誘導共鳴散乱による sub-eV 質量領域のアクシオンの探索」, 日本物理学会第76回年次大会 (オンライン, 2021年3月12日-15日)
- [2] 三好隆博, 鳥海 森, 草野完也, 井上 諭 : 「磁気静水圧平衡非フォースフリー磁場モデル



による太陽浮上磁場の再構成：背景温度分布の影響」, 日本天文学会2020年秋季年会（オンライン, 2020年9月8日-10日）

- [3] 三好隆博：「カイラル磁気流体力学における背景磁場効果」, STE シミュレーション研究会・KDK シンポジウム合同研究会（オンライン, 2021年3月29日-31日）
- [4] ◎八野 哲, 志垣賢太, 山口頼人, 他 ALICE Collaboration：「Measurement of forward low-mass dimuon in small collision system at LHC-ALICE」, 日本物理学会2020秋季大会（オンライン, 2020年9月14日-17日）
- [5] ◎八野 哲, 志垣賢太, 山口頼人, 他 ALICE Collaboration：「Forward muon reconstruction performance with ALICE in Run 3」, 日本物理学会第76回年次大会（オンライン, 2021年3月12日-15日）
- [6] ◎大矢元海, 志垣賢太, 山口頼人, 八野 哲, 他 ALICE Collaboration：「ALICE 実験前方ミュー粒子飛跡検出器の現地コミッショニングにおける制御系動作試験」, 日本物理学会2020年秋季大会（オンライン, 2020年9月14日-17日）
- [7] 桐田勇利, 本間謙輔, 井上峻介, 橋田昌樹, 阪部周二, 中宮義英, Liviu Neagu, Ovidiu Tesileanu, 他 SAPHIRES Collaboration：「真空内四光波混合実験によるアクシオンの粒子の高感度探索に向けた光学素子起因背景光の評価」, 日本物理学会2020年秋季大会（オンライン, 2020年9月14日-17日）
- [8] ◎木村健斗, 石川健一, 志垣賢太：「ALICE 実験  $\mu$  粒子検出領域における強磁場起因仮想光子偏光度の定量評価」, 日本物理学会2020年秋季大会（オンライン, 2020年9月14日-17日）
- [9] ◎大矢元海, 志垣賢太, 八野 哲, 山口頼人, 他 ALICE Collaboration：「ALICE 実験前方ミュー粒子飛跡検出器の稼働に向けた制御系の試験運用」, 日本物理学会第76回年次大会（オンライン, 2021年3月12日-15日）
- [10] 桐田勇利, 本間謙輔, 井上峻介, 橋田昌樹, 阪部周二, 中宮義英, Liviu Neagu, Ovidiu Tesileanu, 他 SAPHIRES Collaboration：「真空内四光波混合実験における光学素子起因背景光の定量的評価と sub-eV 質量領域アクシオンの粒子の高感度探索」, 日本物理学会第76回年次大会（オンライン, 2021年3月12日-15日）
- [11] 柴田早由里, 本間謙輔, 桐田勇利：「ディラトン探索に向けた GHz 帯誘導光子コライダー 集光系開発の現状」, 日本物理学会2021年年次大会（オンライン, 2021年3月12日-15日）
- [12] ◎徳本涼香, 志垣賢太, 八野 哲, 山口頼人, 他 ALICE Collaboration：「ALICE 実験におけるダイバリオン不変質量再構成の基礎解析」, 日本物理学会第76回年次大会（オンライン, 2021年3月12日-15日）
- [13] ◎江島 廉, 志垣賢太, 八野 哲, 山口頼人：「前方ミュー粒子の多重散乱を考慮した ALICE 実験 Run 3における飛跡再構成」, 日本物理学会第76回年次大会（オンライン, ポスター, 2021年3月12日-15日）
- [14] 銭谷誠司, 三好隆博：「Plasmoid-dominated turbulent reconnection in a low-beta plasma」, 第148回地球電磁気・地球惑星圏学会講演会（オンライン, 2020年11月1日-4日）

学生の学会発表実績

（国際会議）

○ 博士課程前期の学生が共同発表者の発表件数

0 件

- 博士課程後期の学生が共同発表者の発表件数 0 件
- 博士課程前期・後期の学生が共に共同発表者の発表件数 0 件  
(国内学会)
- 博士課程前期の学生が共同発表者の発表件数 9 件
- 博士課程後期の学生が共同発表者の発表件数 0 件
- 博士課程前期・後期の学生が共に共同発表者の発表件数 0 件

セミナー・講演会開催実績

- [1] 志垣賢太：第31回 Heavy Ion Pub 研究会（オンライン, 2020年9月28日）世話人

社会活動・学外委員

(学協会委員)

- [1] 志垣賢太：日本物理学会実験核物理領域プログラム委員
- [2] 志垣賢太：核物理委員会委員
- [3] 志垣賢太：高エネルギー加速器研究機構素粒子原子核研究所研究計画委員
- [4] 志垣賢太：高温高密度QCD物質オープンフォーラム 世話人
- [5] 志垣賢太：日本の核物理の将来ワーキンググループ 第4分野委員
- [6] 志垣賢太：長崎総合科学大学 客員教授
- [7] 志垣賢太：筑波大学 連携教員
- [8] 志垣賢太：理化学研究所 客員研究員
- [9] 志垣賢太：日本学術振興会 特別研究員等審査会専門委員
- [10] 志垣賢太：日本学術振興会 国際事業委員会書面審査員・書面評価員
- [11] 本間謙輔：レーザー学会超高強度レーザーの学術応用調査専門委員会委員
- [12] 三好隆博：地球電磁気・地球惑星圏学会（SGEPSS）太陽地球惑星系科学シミュレーション分科会 代表幹事

(講習会・セミナー講師)

- [1] 志垣賢太：科研費獲得セミナー講師「科研費」（広島大学, オンライン, 2020年8月24日）

国際共同研究・国際会議開催実績

(国際共同研究)

- [1] 志垣賢太, 山口頼人, 本間謙輔：国際共同研究PHENIX実験実施（米国BNL研究所）
- [2] 志垣賢太, 山口頼人：国際共同研究ALICE実験実施（欧州CERN研究所）
- [3] 本間謙輔：国際共同研究Extreme Light Infrastructure Nuclear Physics（ELI-NP）プロジェクト実施（ルーマニアIFIN-HH研究所）

(国際会議開催)

該当無し

高大連携事業への参加状況

該当無し

## 研究助成金の受入状況

- [1] 志垣賢太：科学研究費補助金, 新学術領域研究 (研究領域提案型) 計画研究 (2020年度, 19,600千円)「クォーク階層とハドロン階層を繋ぐ動的機構」代表
- [2] 志垣賢太：科学研究費補助金,基盤研究 (A) (2020年度, 5,100千円)「至高エネルギー原子核衝突におけるミュオン粒子測定:運動学領域と測定技術の新たな邂逅」代表
- [3] 志垣賢太：日仏素粒子物理学研究所, 2018年度実施課題 (2020年度, 250千円)「ALICE Forward Upgrade for High Precision High Statistics Single- and Di-Muon Measurements at the LHC」日本側代表
- [4] 山口頼人：国際共同研究加速基金,国際共同研究強化 (B) (2020年度, 400千円)「次世代高輝度重イオン衝突実験がもたらすストレンジネス核物理の新展開」分担
- [5] 本間謙輔：科学研究費補助金,基盤研究 (B) (2020年度, 1,170千円)「真空内四光波混合によるsub-eV暗黒場の高感度探索」代表
- [6] 本間謙輔：科学研究費補助金,挑戦的研究 (萌芽) (2020年度, 2,600千円)「暗黒エネルギー源探索へ向けたGHz帯誘導共鳴光子衝突実験実現性の検証」代表
- [7] 本間謙輔：京都大学化学研究所課題提案型共同研究 (2020年度, 1,300千円)「真空内四光波混合の探索」代表
- [8] 三好隆博：科学研究費補助金,基盤研究 (C) (2020年度, 2,000千円)「学際領域を切り拓く相対論的磁気流体力学に対する高解像度数値解法の開発」代表
- [9] 三好隆博：科学研究費補助金,基盤研究 (S) (2020年度, 150千円)「高エネルギー原子核衝突実験の理解に基づく超高温QCD物質・QCD相転移現象の解明」分担
- [10] 三好隆博：科学研究費補助金,基盤研究 (B) (2020年度, 150千円)「LHC鉛原子核衝突:フォトンで探る極初期状態 (initial stage)」分担
- [11] 八野 哲：科学研究費補助金,研究活動スタート支援 (2020年度, 1,440千円)「高エネルギー重イオン衝突における前方ミュオン粒子対測定で紐解くハドロン質量の起源」代表
- [12] 八野 哲：科学研究費補助金,基盤研究 (A) (2020年度, 500千円)「至高エネルギー原子核衝突におけるミュオン粒子測定:運動学領域と測定技術の新たな邂逅」分担

## ○高エネルギー宇宙・可視赤外線天文学グループ

### 研究活動の概要

2020年度は、フェルミガンマ線衛星とかなた望遠鏡他を用いた観測を軸に、次期X線ガンマ線観測小型衛星計画、かなた望遠鏡次期検出器の開発、重力波対応天体探査用チベット望遠鏡HinOTORIの開発などを柱として活動を行った。かなた望遠鏡関係の研究は、宇宙科学センターと強い協力関係の下で進めている。学位論文としては、博士論文1編 (S. Abdollahi)、修士論文3編 (大間々, 眞武, 山本)、卒業論文6編 (古賀, 竹内, 末岡, 星岡, 福満, 山口) を発表した。また、広島大学自立型研究拠点として極限宇宙研究拠点 (Core-U) に関する活動も進めた。

### [フェルミ衛星, MAGIC望遠鏡によるガンマ線観測]

フェルミ衛星は、打ち上げから13年目を迎えたが、特に故障もなく全天ガンマ線サーベイを続けている。本グループも、かなた望遠鏡との多波長観測を進めた。また、重力波・ニュートリノ・潮汐力突破現象対応ガンマ線天体の探査にさらに関わった。重力波対応天体の探

査においては、関連鄭他のガンマ線バーストに関するフェルミチームのモニター体制に参加している。その他、データプロセス管理とデータプロセスのモニタ当番に、ポストドクと学生が参加するとともに、2度のフェルミ衛星全体会議に参加して、研究の情報交換を行った。また、本年度からTeVガンマ線を観測するMAGIC望遠鏡チーム入り、データモニターや観測提案などで活動を行った（深澤，今澤）。さらに、次期大型TeVガンマ線望遠鏡CTAでの活動も立ち上げつつある。

ジェット天体である電波銀河について、61個の電波銀河について、X線の観測データを集めて系統的な解析を行い、ガンマ線光度関数、X線とガンマ線のスペクトルの比較、時間変動について調査を進め（深澤，眞武）、その一部は眞武修論文としてまとめられた。また、電波銀河の中でガンマ線で明るいM87のX線短時間変動を見つけ、HST-1という中心核から離れた場所でもTeV電子が加速されている示唆を得て、論文を投稿した。ブレイザー天体BL Lacがガンマ線で歴史的に明るくなったため、かなた望遠鏡で詳細観測を継続し、長期間、短時間の変動で興味深い結果を得た。同時に、MAGIC望遠鏡とフェルミのTeV/GeVのガンマ線との相関を調べている（今澤，間）。

フェルミ衛星はその広い視野を生かし、銀河系内の宇宙線と星間物質をプローブすることができる。2020年度は高銀緯原子雲領域の解析を進め、ガンマ線を中心とした多波長データから、空間的に離れた領域のスペクトルが酷似していることを明らかにし論文として出版した。また地球上での直接観測と合わせた宇宙線スペクトルの推定の枠組みを完成させ、2020年9月の物理学会で報告した（水野）。

#### [Swift衛星，XMM-Newton衛星などのX線データ解析]

すばる超広視野カメラHSCサーベイで検出された銀河団について、重力レンズとともにX線による質量測定を行い、銀河団の進化や宇宙論パラメータに制限を与えるプロジェクトを進めている。本年度引き続きXMM-Newton衛星の銀河団系統的データ解析の手法を改良して約20個の銀河団に解析を広げた。また、その中にあった衝突銀河団についての詳細X線データ解析を進め、温度・密度・圧力・エントロピーマップを2種類の方法で作成し、衝突の様子を考察し、論文執筆を進めた（Poon，楊）。

恒星質量ブラックホールや中性子星に降着する物質の状態、またこれらコンパクト天体の物理量を明らかにするため、すざく、XMM-Newton，Swift衛星などで観測されたIGR J00362+6122のデータ解析を進めた。詳細解析の結果、過去に報告されていたパルス周期を更新して、より有意なパルス検出結果を得て、軌道周期と光度の相関を出した結果、中性子星の自転周期や光度から、磁場がマグネター並みに強い可能性があることが示唆される（内田）。

ブラックホール連星として有名なGRS1915+105は、2018年から歴史的にX線で暗い状態に突入したままとなっている。そのため、その状態変化の理由やジェット放射の有無を調べるため、かなた望遠鏡により近赤外線モニター観測を開始した。また、電波との同時観測も試みた。その結果、この状態では歴史的に近赤外線で明るい状態になっていることが確認された。ただ、その赤外線がジェット由来か降着物質由来かは区別できなかったが、論文として発表した（今澤）。

#### [将来X線ガンマ線観測に向けた活動]

2022年度に打ち上げを目指している次期X線天文衛星XRISMにプロジェクトメンバーとして参加している。広島大学からは深澤がサイエンス検討、水野と高橋が準備チームのサブグ

ループリダーを務めており、科学運用計画の策定やソフトウェアの検証を取りまとめた。内田はX線精密分光器のチームメンバーとして、各種機器試験にリモート監視当番として参加し、機器性能評価に貢献した。

2021年に打ち上げが予定されている初のX線偏光観測衛星IXPEについて、広島大学からは水野がScience Collaboratorとして参加している。専用のシミュレーション・解析ソフトウェアを用いて、ブラックホール連星およびパルサー風星雲・超新星残骸の観測実現性を検証し、2020年3月の国際会議で発表し集録にまとめた。ブラックホール連星については竹内卒論、パルサー星雲・超新星残骸については山本修論としてまとめられた。

日米瑞の国際協力で進めている硬X線集光偏光計X(L)-Calibur気球実験では、高橋が日本側代表として参画している。2018年の南極フライトに続く次回の2022年の北極圏でのフライトでは、より大型な日本製のFFAST望遠鏡を搭載する。FFAST望遠鏡の支持構造の位置調整および較正実験を、SPring-8の硬X線ビームを利用して7月と12月に実施し、高橋、内田、学生が参加した。2022年フライトの予想感度は投稿論文にまとめた。

スウェーデンとは、宇宙での利用実績に乏しいGAGGシンチレータとMPPC光検出器の衛星軌道上での特性を評価するため、1 kg弱のCUBES検出器を2020年にキューブサットとして打ち上げる予定で準備を進めている。上空でのデータ処理ソフトウェアの一部を共同開発し、山口卒論としてまとめられた。

重力波源の探査を目的として、ガンマ線バーストの到来方向を超小型衛星群を用い(到来時間差を測定する)、精度よく決めるプロジェクトCAMELOTをハンガリーとの国際協力で推進している。2020年度は初号機・二号機を製作・試験した。初号機は2021年3月に無事打ち上げることができ、現在その運用を行っている。衛星バスおよび検出器は正常に動作し、観測データを取得している。将来のより高感度な観測に向け、MPPC光検出器のタイプの違いによる放射線耐性の違いを、若狭湾エネルギー研究センターの陽子線を用いて比較した。また、関連して、搭載したSiPMの放射線劣化について調べた結果を2つの論文として発表するとともに、今後搭載する可能性のあるGAGGシンチレータについての結果も論文として発表した。

ひとみ衛星で我々が開発した軟ガンマ線観測装置の復活を目指した磁気再結合観測衛星計画PhoENiXでは、太陽フレアに伴う軟ガンマ線偏光観測の検討を進めるとともに、搭載検出器の規模の検討を進め、ISAS公募型小型衛星に応募した。フェルミ衛星に続いて全天ガンマ線モニターを行うものとし、アメリカで立ち上がったMeVガンマ線観測衛星計画AMEGOに広島大学のメンバーも加わっている。AMEGOはNASAの大型ミッション(Probe)カテゴリに提案して選定が進められているが、中型ミッションカテゴリ(MIDEX)にも提案するため、規模を縮小したAMEGO-X計画が立ち上がり、我々も参加した。特に1MeV以下のデータ解析(コンプトン再構成)について、我々がひとみ衛星SGDで蓄積したノウハウを用いて再構成アルゴリズムの開発を開始し、末岡卒論としてまとめられた。

#### [かなた望遠鏡等を用いた可視赤外線観測]

年間200晩程度にわたり、東広島天文台のかなた望遠鏡を用いた活動銀河核や超新星、ガンマ線バースト、X線連星、前主系列星、重力波対応天体等の観測を実施し、そのデータに基づいた研究を行っている。観測を実施するのは、主に大学院生とポスドクである。2017年8月以降、ほぼすべての観測を主として東広島キャンパス内からリモートで実施しており、東広島天文台に車で通っていた頃に比べると格段に安全性・利便性が高まっている。これは、2018年7月の豪雨災害による東広島天文台へのアクセス道の被害や、2020年春からの新型コロナウイルス

イルス禍に対しても有効に働き、ほぼ途切れない観測が実施できている。観測データの利用率や論文生産率は、この10年にわたり、国内の他の同クラス望遠鏡と比較して同等以上を維持できている。これには、可視光と近赤外線同時観測が可能な汎用型の可視赤外線同時カメラHONIRと、一回の露出で直線偏光パラメータの取得が可能な一露出型可視広視野偏光撮像器HOWPolといった、同規模の望遠鏡では世界的にもユニークな機能を持つ観測装置が常時装着され、機動性の高い望遠鏡と共に日常的にメンテナンスがなされる体制を維持できていることも貢献している。2020年度も望遠鏡や観測装置には年間を通じて大きなトラブルはなかった。11月には、望遠鏡の主鏡面のアルミ膜再蒸着作業を、国立天文台ハワイ観測所岡山分室にて、国立天文台や188cm鏡ユーザーグループの協力の下、広島大学の学生と教員との共同作業で遂行した。

かなた望遠鏡で行われた観測のうち1割程は、国内外の共同研究により、他機関の研究者がPIとなって実施した観測であり、天文学コミュニティの中でかなた望遠鏡が一つの観測研究拠点となっている表れでもある。2020年度にかなた望遠鏡で実施された主な研究テーマとして、活動銀河核やX線連星、超新星、高エネルギーニュートリノ源天体が挙げられる。

活動銀河核やX線連星に関しては、BL Lacをはじめとする複数のブレイザー天体の可視近赤外偏光モニターを実施し、ガンマ線やX線のフレアに同期した可視近赤外線光の特徴からブラックホールから噴き出るジェットとその磁場の幾何構造を見出す研究を引き続き行っている（今澤，笹田，植村）。系内のブラックホール天体GRS1915+105について、そのX線での活動性が過去に例のないほど弱まっている時期の近赤外線偏光モニターを実施し、その解析も進めている（今里）。また、今年度は激しい活動性を示すX線連星の代表格であるGX 339-4の可視光とX線光の速い時間変動の相関を新たな統計的手法を用いて解析し、新たな順相関性を見出すなどの成果が挙げられている（大間々修論）。

超新星に関しては、主としてかなた望遠鏡を用いた観測に基づき、カルシウムリッチトランジェントとも呼ばれる特殊なIb型超新星 SN 2019ehk における光度曲線の初期ピークの存在と本ピークの早い減光、およびピーク光度が高かった特徴を見出し、親星がコンパクト天体との近接連星系をなし、親星の外層大気が剥がされて星周空間に漂っている環境で引き起こされた超新星であると推論している（中岡，川端ほか）。また、京都大学せいめい望遠鏡などとの共同観測により、通常の光度－減光率の関係性に載らない暗いIax型超新星 SN 2019muj において、後期に爆発の燃え残りと考えられる緩やかに減光し続ける放射成分があることを見出すなどしている。さらに、星周物質との衝突起源と考えられる明るい放射を示すII型超新星 SN 2017hccの後期に見いだされた赤外超過成分を、放出物質中で新たに生成されたダスト（固体微粒子）の熱放射で説明することができるかの検討が進められた。またSN 2017hccと同類の超新星と考えられるSN 2018hfgの光度を超新星成分が暗くなったフェーズでも正しく評価するため、背景の明るい母銀河成分を丁寧に引き去るためのデータ解析手法の研究も進んだ（星岡卒論）。

かなた望遠鏡ではこれ以外にも、重力波アラートやIceCubeニュートリノアラートに応じた対応天体探索観測のほか、ガンマ線バースト、各種変光星、ブラックホール連星等の多波長・多モード観測が行われている。また、そのためのデータ解析パイプラインの開発や観測環境の整備、観測装置の開発・保守が行われている。2020年度は、HONIRにおける撮像データに加え、偏光撮像データの自動リダクションパイプラインの整備が進んだ（森，笹田）。また、突発天体が現れた際に自動的に観測をリスケジュールするための検討が進められた（古賀卒論）。

光・赤外線天文学大学間連携(以下、OISTER。2011年度～)の参加大学として、OISTERの枠組みを通じて共同観測を実施している。昨年度は計11件43夜の観測を実施した。この観測の中には、矮新星や太陽系内天体、太陽系外惑星など、広島大学のメンバーではカバーしきれていない観測も行われており、研究テーマの多様性を生んでいる。また、本連携事業では大学院生の連携教育にも力を入れており、天文画像データ解析ツールIRAFの合同オンライン講習会を企画し実施するなどしている。2020年度は宇宙科学センターの研究者がその講師を務めている。

かなた望遠鏡の現主力装置である可視赤外線同時カメラHONIRにおいて、現在空いている近赤外チャンネルの1スロットに安価で手配のし易い国内メーカー製の検出器の導入を目指して、国立天文台、鹿児島大、浜松ホトニクスなどとInGaAs検出器の共同開発を進めており、2020年度に納品した最新ロットの1.3k×1.3kピクセルモデルの性能評価を進めているところである。

### [その他の可視光赤外線グループの活動]

世界的な天文観測の好サイトとして期待されている中国・チベット地区に、口径50cmのパイロット望遠鏡を設置するHinOTORIプロジェクトが、2012年以来、中国科学院国家天文台、紫金山天文台と共同で進められている。2020年度はコロナ禍で現地でのハードウェアの修理・整備は叶わなかったほか、現地の電力供給状況が不安定で観測そのものも殆ど行われなかったが、2019年11月に得た試験観測データを用いて装置やサイトの評価を行い、論文化を進めている(笹田、川端ほか)。

イベント・ホライズン・テレスコープ(EHT)は世界各地にあるサブミリ波望遠鏡を連携させて観測することで視力300万を達成し、ブラックホールの事象の地平面に迫ることを目的としたプロジェクトである。宇宙科学センターの特任助教がそのチームの正式なメンバーとして加わっており、2021年3月にはメシエ87(M87)銀河中心にある超巨大ブラックホールのシャドウ(影)の偏波パターンを解析し、磁場構造を見出したとする研究成果が公表された。またM87銀河中心に対して過去に例のない同時多波長観測を行うことによってガンマ線の放射領域がシャドウ近傍からではないことを発見する研究結果も公表された(笹田)。また、この解析で用いられているスパースモデリング技術を用いた画像処理を従来の電波観測データに適用した結果、従来の画像処理よりも細かい構造を確認することができた(福満卒論)。

宇宙航空研究開発機構(JAXA)宇宙科学研究所(ISAS)と欧州宇宙機関(ESA)が主導する赤外線衛星SPICAプロジェクトに関して、観測装置SMIの光学設計変更に伴う公差解析を実施した(稲見)。残念ながら現行のSPICAプロジェクトの中止が年度途中でESA、JAXAから発表されたことから、計画の大きな変更を余儀なくされている状況である。

また、遠方のガンマ線バーストを捜索する将来衛星HiZ-GUNDAMの開発メンバーとして参加し、同衛星の赤外線望遠鏡による観測シミュレーションや仕様検討を行った(川端、秋田谷)。

アタカマ大型ミリ波サブミリ波干渉計(ALMA)に関し、Co-PIとして参画している宇宙初期の銀河輝線を探るALMA大型プロジェクトREBELSが採択され、観測が進行中である。別のALMA大型プロジェクトASPECSにおいて、ハッブル・ウルトラ・ディープ・フィールドでのCO分子輝線のサーベイ観測が完了し、同領域の可視光でのMUSE観測の結果も合わせて解析を行い、査読論文を発表した(稲見)。

ジェームズ・ウェッブ宇宙望遠鏡(JWST)の初期科学観測プログラム観測のシミュレーショ

ンを行い、実際の観測に備えている（稲見）。

第360回国際天文学連合シンポジウムに採択された国際会議 *Astronomical Polarimetry*（偏光天文学）2020をオンライン＋一部対面（会場：東広島芸術文化ホールくらら）の形式で2021年3月22-26日に実施した。1970年代より不定期に、最近では5-7年おきに実施されている国際会議で、アジア・オセアニア地域では初の開催となった。参加者総数は29か国169名に上り、盛会であった。現地開催実行委員長を川端が務めたほか、当グループの教員の多くが現地実行委員として運営に参加した。

#### 原著論文

- [1] ◎ASASSN-18aan: An eclipsing SU UMa-type cataclysmic variable with a 3.6-hr orbital period and a late G-type secondary star, Wakamatsu, Y., Akitaya, H. (14th), Sasada, M. (24th), Nakaoka, T. (29th), and 40 colleagues, Publications of the Astronomical Society of Japan, (2021)
- [2] ◎Optical follow-up observation for GW event S190510g using Subaru/Hyper Suprime-Cam, Ohgami, T., Sasada, M. (12th), Akitaya, H. (13th), and 13 colleagues, Publications of the Astronomical Society of Japan, (2021)
- [3] ◎Time-resolved spectroscopy and photometry of M dwarf flare star YZ Canis Minoris with OISTER and TESS: Blue asymmetry in the H $\alpha$  line during the non-white light flare, Maehara, H., Sasada, M. (13th), Akitaya, H. (14th), and 15 colleagues, Publications of the Astronomical Society of Japan, 73, 44 (2021)
- [4] ◎Follow-up observations for IceCube-170922A: Detection of rapid near-infrared variability and intensive monitoring of TXS 0506+056, Morokuma, T., Kawabata, K. S. (5th), Sasada, M. (10th), Nakaoka, T. (14th), and 34 colleagues, Publications of the Astronomical Society of Japan, 73, 25 (2021)
- [5] ◎Multi-wavelength photometry during the 2018 superoutburst of the WZ Sge-type dwarf nova EG Cancri, Kimura, M., Akitaya, H. (18th), Kawabata, K. S. (40th), Nakaoka T. (42th), Sasada, M. (47th), and 44 colleagues, Publications of the Astronomical Society of Japan, 73, 1 (2021)
- [6] Regulating Star Formation in Nearby Dusty Galaxies: Low Photoelectric Efficiencies in the Most Compact Systems, McKinney, J., Inami, H. (6th), and 6 colleagues, The Astrophysical Journal, 908, 238 (2021)
- [7] Observations of Magnetic Fields Surrounding LkH $\alpha$  101 Taken by the BISTRO Survey with JCMT-POL-2, Ngoc, N. B., Kawabata, K. S. (66th), and 147 colleagues, The Astrophysical Journal, 908, 10 (2021)
- [8] 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  $z \sim 4.6$ , Mitsuhashi, I., Inami, H. (15th), and 21 colleagues, The Astrophysical Journal, 907, 122 (2021)
- [9] Investigating the Effect of Galaxy Interactions on the Enhancement of Active Galactic Nuclei at  $0.5 < z < 3.0$ , Shah, E. A., Inami, H. (16th), and 31 colleagues, The Astrophysical Journal, 904, 107 (2020)
- [10] GOODS-ALMA: Using IRAC and VLA to probe fainter millimeter galaxies, Franco, M., Inami, H. (16th), and 34 colleagues, Astronomy and Astrophysics, 643, A53 (2020)
- [11] GOODS-ALMA: The slow downfall of star formation in  $z = 2-3$  massive galaxies, Franco, M.,



- Inami, H. (17th), and 35 colleagues, *Astronomy and Astrophysics*, 643, A30 (2020)
- [12] Gravitational Test beyond the First Post-Newtonian Order with the Shadow of the M87 Black Hole, Psaltis, D., Sasada, M. (154th), and 186 colleagues, *Physical Review Letters*, 125, 141104 (2020)
- [13] Feature selection for classification of blazars based on optical photometric and polarimetric time-series data, Uemura, M., and 3 colleagues, *Publications of the Astronomical Society of Japan*, 72, 74 (2020)
- [14] Direct Evidence of Two-component Ejecta in Supernova 2016gkg from Nebular Spectroscopy, Kuncarayakti, H., Kawabata, K. S. (14th), and 18 colleagues, *The Astrophysical Journal*, 902, 139 (2020)
- [15] The ALMA Spectroscopic Survey in the Hubble Ultra Deep Field: Constraining the Molecular Content at  $\log(M^*/M_{\odot}) \sim 9.5$  with CO Stacking of MUSE-detected  $z \sim 1.5$  Galaxies, Inami, H., and 21 colleagues, *The Astrophysical Journal*, 902, 113 (2020)
- [16] The ALMA Spectroscopic Survey Large Program: The Infrared Excess of  $z = 1.5$ -10 UV-selected Galaxies and the Implied High-redshift Star Formation History, Bouwens, R., Inami, H. (18th), and 23 colleagues, *The Astrophysical Journal*, 902, 112 (2020)
- [17] The Evolution of the Baryons Associated with Galaxies Averaged over Cosmic Time and Space, Walter, F., Inami, H. (28th), and 32 colleagues, *The Astrophysical Journal*, 902, 111 (2020)
- [18] The ALMA Spectroscopic Survey in the Hubble Ultra Deep Field: Multiband Constraints on Line-luminosity Functions and the Cosmic Density of Molecular Gas, Decarli, R., Inami, H. (13th), and 21 colleagues, *The Astrophysical Journal*, 902, 110 (2020)
- [19] The ALMA Spectroscopic Survey in the Hubble Ultra Deep Field: CO Excitation and Atomic Carbon in Star-forming Galaxies at  $z = 1$ -3, Boogaard, L. A., Inami, H. (17th), and 17 colleagues, *The Astrophysical Journal*, 902, 109 (2020)
- [20] Two Flares with One Shock: The Interesting Case of 3C 454.3, Lioudakis, I., Uemura, M. (20th), and 19 colleagues, *The Astrophysical Journal*, 902, 61 (2020)
- [21] GOODS-ALMA: Optically dark ALMA galaxies shed light on a cluster in formation at  $z = 3.5$ , Zhou, L., Inami, H. (20th), and 31 colleagues, *Astronomy and Astrophysics*, 642, A155 (2020)
- [22] The ALMA Spectroscopic Survey in the Hubble Ultra Deep Field: The Nature of the Faintest Dusty Star-forming Galaxies, Aravena, M., Inami, H. (17th), and 21 colleagues, *The Astrophysical Journal*, 901, 79 (2020)
- [23] Monitoring the Morphology of M87\* in 2009-2017 with the Event Horizon Telescope, Wielgus, M., Sasada, M. (181th), and 217 colleagues, *The Astrophysical Journal*, 901, 67 (2020)
- [24] Blazar Radio and Optical Survey (BROS): A Catalog of Blazar Candidates Showing Flat Radio Spectrum and Their Optical Identification in Pan-STARRS1 Surveys, Itoh, R., Kawabata, K. S. (7th), and 6 colleagues, *The Astrophysical Journal*, 901, 3 (2020)
- [25] The MUSE Hubble Ultra Deep Field Survey. XV. The mean rest-UV spectra of Ly $\alpha$  emitters at  $z > 3$ , Feltre, A., Inami, H. (15th), and 23 colleagues, *Astronomy and Astrophysics*, 641, A118 (2020)
- [26]  $\odot$  Trigonometric parallax of O-rich Mira variable star OZ Gem (IRAS 07308+3037): A confirmation of the difference between the P-L relations of the Large Magellanic Cloud and the Milky Way, Urigo, R., Nakaoka, T. (11th), Kawabata, K. S. (14th), and 11 colleagues, *Publications of the Astronomical Society of Japan*, 72, 57 (2020)
- [27] A Comparison of the Stellar, CO, and Dust-continuum Emission from Three Star-forming HUDF

- Galaxies at  $z \sim 2$ , Kaasinen, M., Inami, H. (17th), and 18 colleagues, *The Astrophysical Journal*, 899, 37 (2020)
- [28] The JCMT BISTRO Survey: Magnetic Fields Associated with a Network of Filaments in NGC 1333, Doi, Y., Kawabata, K. S. (68th), and 136 colleagues, *The Astrophysical Journal*, 899, 28 (2020)
- [29] A Compton-thick nucleus in the dual active galactic nuclei of Mrk 266, Iwasawa, K., Inami, H. (5th), and 7 colleagues, *Astronomy and Astrophysics*, 640, A95 (2020)
- [30] Event Horizon Telescope imaging of the archetypal blazar 3C 279 at an extreme 20 microarcsecond resolution, Kim, J.-Y., Sasada, M. (178th) and 352 colleagues, *Astronomy and Astrophysics*, 640, A69 (2020)
- [31] Verification of Radiative Transfer Schemes for the EHT, Gold, R., Sasada, M. (170th), and 206 colleagues, *The Astrophysical Journal*, 897, 148 (2020)
- [32] THEMIS: A Parameter Estimation Framework for the Event Horizon Telescope, Broderick, A. E., Sasada, M. (156th), and 192 colleagues, *The Astrophysical Journal*, 897, 139 (2020)
- [33] ©Variations of the physical parameters of the blazar Mrk 421 based on analysis of the spectral energy distributions, Yamada, Y., Uemura, M. (2nd), Fukazawa, Y. (4th), and 3 colleagues, *Publications of the Astronomical Society of Japan*, 72, 42 (2020)
- [34] VLA-ALMA Spectroscopic Survey in the Hubble Ultra Deep Field (VLASPECS): Total Cold Gas Masses and CO Line Ratios for  $z = 2$ -3 Main-sequence Galaxies, Riechers, D. A., Inami, H. (14th), and 17 colleagues, *The Astrophysical Journal*, 896, L21 (2020)
- [35] The MUSE Hubble Ultra Deep Field Survey. XIV. Evolution of the Ly $\alpha$  emitter fraction from  $z = 3$  to  $z = 6$ , Kusakabe, H., Inami, H. (8th), and 19 colleagues, *Astronomy and Astrophysics*, 638, A12 (2020)
- [36] Late-phase Spectropolarimetric Observations of Superluminous Supernova SN 2017egm to Probe the Geometry of the Inner Ejecta, Saito, S., Kawabata, K. S. (8th), and 7 colleagues, *The Astrophysical Journal*, 894, 154 (2020)
- [37] ©Evidence for planetary hypothesis for PTF0 8-8695 b with five-year optical/infrared monitoring observations, Tanimoto, Y., Nakaoka T. (7th), Akitaya, H. (17th), Kawabata, K. S. (19th), and 15 colleagues, *Publications of the Astronomical Society of Japan*, 72, 23 (2020)
- [38] Elevated ionizing photon production efficiency in faint high-equivalent-width Lyman- $\alpha$  emitters, Maseda, M. V., Inami, H. (14th), and 17 colleagues, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 493, 5120 (2020)
- [39] ©SN 2019ein: New Insights into the Similarities and Diversity among High-velocity Type Ia Supernovae, Kawabata, M., Nakaoka, T. (4th), Kawabata, K. S. (5th), Akitaya, H. (7th), Imazato, F. (13th), Kimura, H. (17th), Sasada, M. (32th), Takagi, K. (37th), and 33 colleagues, *The Astrophysical Journal*, 893, 143 (2020)
- [40] ALMA Imaging of the CO (7-6) Line Emission in the Submillimeter Galaxy LESS 073 at  $z = 4.755$ , Zhao, Y., Inami, H. (7th), and 10 colleagues, *The Astrophysical Journal*, 892, 145 (2020)
- [41] SYMBA: An end-to-end VLBI synthetic data generation pipeline. Simulating Event Horizon Telescope observations of M 87, Roelofs, F., Sasada, M. (171th), and 207 colleagues, *Astronomy and Astrophysics*, 636, A5 (2020)
- [42] ©“The Fourth Catalog of Active Galactic Nuclei Detected by the Fermi Large Area Telescope,”

- Ajello, M., Fukazawa, Y. (36th), Mizuno, T. (75th), Poon, H. (95th), and 114 coauthors, ApJ 892, 105 (2020)
- [43] ©“Fermi Large Area Telescope Fourth Source Catalog,” Abdollahi, S., Fukazawa, Y. (58th), Mizuno, T. (111th), Poon, H. (133th), Takahashi, H. (156th), and 163 coauthors, ApJS 247, 33 (2020)
- [44] ©“First Fermi-LAT Solar Flare Catalog,” Ajello, M., Fukazawa, Y. (25th), Mizuno, T. (52th), and 82 coauthors, ApJS 252, 13 (2021)
- [45] ©“Sensitivity of the Cherenkov Telescope Array for probing cosmology and fundamental physics with gamma-ray propagation,” Abdalla, H., Fukazawa, Y. (164th), Mizuno, T. (292th), Takahashi, H. (442th), and 504 coauthors, JCAP 2, 48 (2021)
- [46] ©“High-energy emission from a magnetar giant flare in the Sculptor galaxy,” Ajello, M., Fukazawa, Y. (36th), Mizuno, T. (68th), Poon, H. (81th), and 105 coauthors, Nature Astronomy 11 (2021)
- [47] “On the Origin of the Gamma-Ray Emission toward SNR CTB 37A with Fermi-LAT,” Abdollahi, S., Fukazawa, Y. (3rd), and 3 coauthors, ApJ 896, 76 (2020)
- [48] ©Origin of the UV to X-Ray Emission of Radio Galaxy NGC 1275 Explored by Analyzing Its Variability; Imazato, F., Fukazawa, Y., Sasada, M., Sakamoto, T., The Astrophysical Journal, Volume 906, Issue 1, id.30, 12 pp(2021)
- [49] © The simulation framework of the timing-based localization for future all-sky gamma-ray observations with a fleet of CubeSats; Ohno, M., Werner, N., Pl, A., Mszros, L. Ichinohe, Y., pa, J., Topinka, M., Munz, F., Galgcz, G., Fukazawa, Y., Mizuno, T., Takahashi, H., Uchida, N., Torigoe, K., Hirade, N., Hirose, K., Mataka, H., Nakazawa, K., Hisadomi, S., Odaka, H., Proceedings of the SPIE, Volume 11454, id. 114541Z 9 pp. (2020)
- [50] ©GRBAlpha: a 1U CubeSat mission for validating timing-based gamma-ray burst localization; Pl, A., Ohno, M., Mszros, L., Werner, N., Ripa, J., Frajt, M., Hirade, N., Hudec, Jn., Kapu, J., Koleda, M., Laszlo, R., Lipovsk, P., Mataka, H., melko, M., Uchida, N., Csk, B., Enoto, T., Frei, Zsolt., Fukazawa, Y., Galgcz, G., Proceedings of the SPIE, Volume 11444, id. 114444V 9 pp. (2020)
- [51] ©Origin of the in-orbit instrumental background of the Hard X-ray Imager onboard Hitomi ; Hagino, K., Mizuno, T.(6th), Fukazawa, Y.(21th), Takahashi, H.(38th) 他45名, Journal of Astronomical Telescopes, Instruments, and Systems, Volume 6, id. 046003 (2020)
- [52] Cosmological Evolution of Flat-spectrum Radio Quasars Based on the Swift/BAT 105 Month Catalog and Their Contribution to the Cosmic MeV Gamma-Ray Background Radiation ; Toda, K., Fukazawa, Y., Inoue, Y., The Astrophysical Journal, Volume 896, Issue 2, id.172, 7 pp. (2020)
- [53] ©“XL-Calibur - a second-generation balloon-borne hard X-ray polarimetry mission”, Abarr, Q., Mizuno, T. (24th), Takahashi, H. (32nd), Uchida, Y. (38th), Astroparticle Physics, 126, 102529 (2021)
- [54] ©“XL-Calibur: the next-generation balloon-borne hard x-ray polarimeter”, Maeda, Y., Fukazawa, Y. (12th), Mizuno, T. (29th), Takahashi, H. (41st), Uchida, Y. (45th), Society of Photo-Optical Instrumentation Engineers (SPIE) Conference Series, 11444, 114442X (2021)
- [55] ©“New method to make a smooth surface on Carbon Fiber Reinforced Plastic (CFRP) substrate”, Awaki, H., Takahashi, H. (21st), Uchida, Y. (22nd), Society of Photo-Optical Instrumentation

- Engineers (SPIE) Conference Series, 11444, 114447P (2021)
- [56] “Super DIOS mission for exploring “dark baryon””, Sato, K., Uchida, Y. (24th), Society of Photo-Optical Instrumentation Engineers (SPIE) Conference Series, 11444, 114445O (2021)
- [57] ©“Detail plans and preparations for the science operations of the XRISM mission”, Terada, Y., Takahashi, H. (5th), Mizuno, T. (7th), Fukazawa, Y. (15th), Uchida, Y. (35th), Society of Photo-Optical Instrumentation Engineers (SPIE) Conference Series, 11444, 114445E (2021)
- [58] ©“The XRISM science data center: optimizing the scientific return from a unique x-ray observatory”, Loewenstein, M., Takahashi, H. (13th), Mizuno, T. (15th), Fukazawa, Y. (21st), Uchida, Y., (29th), Society of Photo-Optical Instrumentation Engineers (SPIE) Conference Series, 11444, 114445D (2021)
- [59] ©“Status of x-ray imaging and spectroscopy mission (XRISM)”, Tashiro, M., Fukazawa, Y. (50th), Mizuno, T. (115th), Takahashi, H. (159th), Uchida, Y. (171st), Society of Photo-Optical Instrumentation Engineers (SPIE) Conference Series, 11444, 1144422 (2021)
- [60] ©“Annealing of proton radiation damages in Si-PM at room temperature”, N. Hirade, H. Takahashi (2nd), Y. Fukazawa(6th), T. Mizuno(7th), Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment, 986, 164673 (2021)
- [61] ©“Attenuation characteristics of a Ce:Gd<sub>3</sub>Al<sub>2</sub>Ga<sub>3</sub>O<sub>12</sub> scintillator”, N. Uchida, H. Takahashi (2nd), T. Mizuno(4th), Y. Fukazawa(5th), Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment, 986, 164725 (2021)
- [62] ©“Silicon photomultiplier (Si-PM) comparisons for low-energy gamma ray readouts with BGO and CsI (Tl) scintillators”, H. Takahashi, T. Mizuno(5th), Y. Fukazawa(6th), Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment, 989, 164945 (2021)
- [63] “Dust polarized emission observations of NGC 6334. BISTRO reveals the details of the complex but organized magnetic field structure of the high-mass star-forming hub-filament network”, D. Arzoumanian, K. S. Kawabata(66th), Astronomy & Astrophysics, 647, A78 (2021)
- [64] “First M87 Event Horizon Telescope Results. VII. Polarization of the Ring”, K. Akiyama, M. Sasada(199th), The Astrophysical Journal, 910, L12 (2021)
- [65] “First M87 Event Horizon Telescope Results. VIII. Magnetic Field Structure near The Event Horizon”, K. Akiyama, M. Sasada(190th), The Astrophysical Journal, 910, L13 (2021)
- [66] “Polarimetric Properties of Event Horizon Telescope Targets from ALMA”, C. Goddi, M. Sasada(199th), The Astrophysical Journal, 910, L13 (2021)

総説

該当無し

国際会議

(招待講演)

- [1] Hanae Inami (Invited panelist), “How can we continue building this community, especially for early-career researchers?”, ESO IR2020 Ground-based thermal infrared astronomy -- past,

present and future, 2020.10.12-16, Online

- [2] Mahito Sasada (Invited), “Shot analysis of Kepler-observed blazar and related topics”, Sandwich workshop 2021, PECS (under Slovakia-ESA collaboration), 2021.2.15, Online
- [3] Hikomitsu Takahashi, “Hard X-ray polarimetry in the stratosphere”, COSPAR2021, 2021.2.2, Online
- [4] Hikomitsu Takahashi, “XL-Calibur, the next-generation balloon-borne hard X-ray polarimeter”, COSPAR2021, 2021.2.3, Online
- [5] Hikomitsu Takahashi, “Final results from the PoGO+ hard X-ray polarimetry mission”, COSPAR2021, 2021.2.3, Online

(一般講演)

- [1] Fukazawa, Y., “Luminosity Function of 4FGL MAGN”, Fermi-LAT collaboration meeting, 2020.8.31 – 2020.9.4, online, 130
- [2] Fukazawa, Y., “High-E emission component, population, and contribution to EGB of GeV radio galaxies”, Fermi-LAT collaboration meeting, 2021.3.15-19, online, 130
- [3] Mizuno, T., “MBM53-55 & Pegasus loop using HI line profile”, Fermi-LAT collaboration meeting, 2021.3.15-19, online, 130
- [4] Fukazawa, Y., “The radio-galaxy NGC 1218 (3C 78)”, MAGIC collaboration EGAL Cycle 16 Proposals - Second iteration. 2020.10.8, Online, 60
- [5] M. Uemura, “Finding Features in Erratic Polarization Variations of Blazars”, oral, Astronomical Polarimetry 2020, 2021.3.22-26, Higashi-Hiroshima, 150 people
- [6] M. Sasada, “Spectropolarimetric Observation for NGC 1275 With Subaru/FOCAS”, poster, Astronomical Polarimetry 2020, 2021.3.22-26, Higashi-Hiroshima, 150 people
- [7] K. S. Kawabata, “Optical Polarimetry for Bright Early Afterglow of GRB 180720B”, poster, Astronomical Polarimetry 2020, 2021.3.22-26, Higashi-Hiroshima, 150 people
- [8] H. Takahashi, “XL-Calibur, the Next-generation Balloon-borne Hard X-ray Polarimeter”, oral, Astronomical Polarimetry 2020, 2021.3.22-26, Higashi-Hiroshima, 150 people
- [9] Ryo Imazawa, “Microvariability of BL Lacertae in Optical and Near-Infrared Bands During 2020 Flare”, poster, Astronomical Polarimetry 2020, 2021.3.22-26, Higashi-Hiroshima, 150 people
- [10] Ryuuuya Yamamoto, “Simulation Study of IXPE Capability for the Crab Nebula and Supernova Remnants”, poster, Astronomical Polarimetry 2020, 2021.3.22-26, Higashi-Hiroshima, 150 people
- [11] Natsuko Hazama, “Optical and Near-Infrared Photopolarimetric Monitoring of BL Lacertae During 2020 Flaring State”, poster, Astronomical Polarimetry 2020, 2021.3.22-26, Higashi-Hiroshima, 150 people
- [12] Fumiki Mori, “Construction for Automatic Analysis System for Photopolarimetric Data Obtained by HONIR/Kanata Telescope”, poster, Astronomical Polarimetry 2020, 2021.3.22-26, Higashi-Hiroshima, 150 people
- [13] H. Takahashi, “Radiation damage of Hamamatsu Si-PMs (MPPCs)” GRB Nanosats meeting, 2020.6.1, Online, 30
- [14] ©T. Mizuno, H. Takahashi et al. “XRISM Science Operation Team (SOT) report,” XRISM Team Meeting #3, 2020.11.30-2020.12.4, online, 100 participants

- [15] ©H. Takahashi, T. Mizuno et al., “XRISM Science Operation Team (SOT) report,” XRISM Science Meeting #3, 2020.6.22-24, online, 100 participants
- [16] H. Takahashi, “Japanese X-ray polarization activities”, High Energy AstroPhysics Association meeting, 2021.3.8-10, Online, 150
- [17] Imazawa, R., “Flare Advocates Report P222”, MAGIC AGN meeting, 2021.1.14, online, 60

国内会議

(招待講演, 依頼講演)

- [1] 植村 誠:「解の決まらない問題とサンプリング 天文学のケーススタディー」, スマートサンプリング講演会, 2020年9月11日, オンライン, 100名
- [2] 深澤泰司:「MeVガンマ線観測計画レビュー」, 宇宙線研究者会議将来検討タウンミーティング, 2021年3月30日, 100名, オンライン
- [3] 水野恒史, 他:「X線偏光観測衛星IXPE」 2020年11月11日, OISTER workshop, 100名, オンライン
- [4] 深澤泰司:「第3期将来計画検討委員会答申報告」, 第20回高宇連研究会, 2021年3月8日-10日, オンライン, 70名

(一般講演)

- [1] 高橋弘充:「硬X線偏光観測実験XL-Calibur気球実験計画の2022年フライトへ向けた準備状況」, 春の物理学会, 2021年3月12日-15日, オンライン
- [2] 今澤 遼:「宇宙利用に向けた光検出器MPPCの陽子放射線耐性」, 春の物理学会, 2021年3月12日-15日, オンライン
- [3] 植村 誠:「情報理論を用いた突発現象の追跡観測に関する意思決定の自動化」, 春の天文学会, 2021年3月16日-19日, オンライン
- [4] 高橋弘充:「大質量X線連星GX 301—2における増光時の円盤降着の幾何構造」, 春の天文学会, 2021年3月16日-19日, オンライン
- [5] 眞武寛人:「ガンマ線を発する電波銀河のX線統計解析(2)」, 春の天文学会, 2021年3月16日-19日, オンライン
- [6] 水野恒史:「宇宙線直接観測とガンマ線観測による近傍宇宙線スペクトルの研究(2)」, 秋の物理学会, 2020年9月14日-17日, オンライン
- [7] 高橋弘充:「シンチレータによる低エネルギーガンマ線検出に向けたMPPCの性能比較」, 秋の物理学会, 2020年9月14日-17日, オンライン
- [8] 深澤泰司:「電波銀河のガンマ線背景放射への寄与」, 秋の天文学会, 2020年9月8日-10日, オンライン
- [9] 高橋弘充:「硬X線偏光観測実験XL-Calibur気球の2022年フライトへ向けた準備状況」, 秋の天文学会, 2020年9月8日-10日, オンライン
- [10] 楊 沖:「XMM衛星データを用いたMCXCJ0157.4-0550の2次元温度密度構造の解析3」, 秋の天文学会, 2020年9月8日-10日, オンライン
- [11] 大間々知輝:「GX 339—4 の X 線と可視光光度曲線のタイムラグ解析:可視光が先行する順相関成分」, 秋の天文学会, 2020年9月8日-10日, オンライン
- [12] 眞武寛人:「突発天体位置決定に向けた超小型衛星CAMELOTの開発現状」, 秋の天文学会, 2020年9月8日-10日, オンライン

- [13] 山本龍哉：「シミュレーションを用いたIXPE衛星による広がった天体の軟X線偏光解析手法の研究」, 秋の天文学会, 2020年9月8日-10日, オンライン
- [14] 今澤 遼：「電波銀河M87の軟 ~ 硬X線スペクトルの推移および中心コアとHST-1の光度変動」, 秋の天文学会, 2020年9月8日-10日, オンライン
- [15] 高橋弘充：「日米欧の国際協力で推進する硬X線集光偏光計XL-Calibur気球計画」, 第21回宇宙科学シンポジウム, 2021年1月6日-7日, オンライン, 200名
- [16] 高橋弘充：「日米欧の国際協力で推進する硬X線集光偏光計XL-Calibur計画」, 2020年度大気球シンポジウム, 2020年11月5日-6日, オンライン, 50名
- [17] 高橋弘充：「中印の将来計画」高宇連将来計画タウンミーティング, 2020年7月27日, オンライン, 100名
- [18] 今澤 遼：「電波銀河 IC310/NGC1275 の GeV/TeV ガンマ線の時間変動の研究」, 天文・天体物理若手夏の学校2020, 2020年8月24日-27日・オンライン, 30人
- [19] 今澤 遼：「ブレーザーBL Lacertaeフレア期の測光偏光モニター観測」, 第11回光赤外線天文学大学間連携ワークショップ, 2020年10月10日-12日, オンライン, 100人
- [20] 今里郁弥：「ブラックホールX線連星GRS 1915+105の X-ray low luminous state時の近赤外線長期変動成分の放射起源について」, 第11回光赤外線天文学大学間連携ワークショップ, 2020年11月10日-12日, オンライン, 100人
- [21] 今里郁弥：「GRS 1915+105の近赤外線長期モニター観測」, かなた内部ワークショップ, 2020年6月29日, オンライン, 20人
- [22] 濱田大晴：「IIn型超新星SN2017hccの可視近赤外線観測に基づく研究」, 口頭発表, かなた内部ワークショップ, 2020年6月29日, オンライン, 20人
- [24] 濱田大晴：「IIn型超新星SN2017hccの観測的研究」, ポスター発表, せいめい望遠鏡ユーザーズミーティング, 2020年8月17日-19日, オンライン, 100人
- [24] 濱田大晴：「赤外超過が観測されたIIn型超新星SN2017hccの星周ダストの時間進化」, ポスター発表, 光赤外線天文学大学間連携ワークショップ, 2020年11月10日-12日, オンライン, 100人
- [25] 濱田大晴：「爆発後期に赤外超過を示したIIn型超新星SN2017hccの星周ダストについて」, 口頭発表, 超新星研究会, 2020年11月18日-19日, オンライン, 31人
- [26] 金子彩音：「IIn型超新星 SN 2019vxm」, 口頭発表, かなた内部ワークショップ, 2020年6月29日, オンライン, 20人
- [27] 間 夏子：「IceCube天体多波長観測」, 口頭発表, かなた内部ワークショップ, 2020年6月29日, オンライン, 20人
- [28] 森 文樹：「偏光データ自動解析とブレーザー」, 口頭発表, かなた内部ワークショップ, 2020年6月29日, オンライン, 20人
- [29] 森 文樹：「かなた望遠鏡の偏光撮像データの自動解析システム構築および性能の評価」, ポスター発表, せいめい望遠鏡ユーザーズミーティング, 2020年8月17日-19日, オンライン, 100人
- [30] 大間々知輝：「GX 339-4のX線と可視光光度曲線のタイムラグ解析」, ポスター発表, せいめい望遠鏡ユーザーズミーティング, 2020年8月17日-19日, オンライン, 100人
- [31] Yun Jeung：「Optical and NIR observations of transitional Type Ia SN 2018gv」, ポスター発表, せいめい望遠鏡ユーザーズミーティング, 2020年8月17日-19日, オンライン, 100人
- [32] 森 文樹：「かなた望遠鏡/HONIRにおける偏光撮像データの即時自動解析システムの構

築」,ポスター発表,光赤外線天文学大学間連携ワークショップ,2020年11月10日-12日,オンライン,100人

- [33] 川端弘治:「かなた経緯,GRB即時観測,SGMAP」,口頭発表,かなた内部ワークショップ,2020年6月29日,オンライン,20人
- [34] 秋田谷 洋:「かなた観測装置の状況」,口頭発表,かなた内部ワークショップ,2020年6月29日,オンライン,20人
- [35] 中岡竜也:「この1年間のかなた観測サマリー,大学間連携対応」,口頭発表,かなた内部ワークショップ,2020年6月29日,オンライン,20人
- [36] 笹田真人:「J-GEM対応,IceCube(AMON)対応」,口頭発表,かなた内部ワークショップ,2020年6月29日,オンライン,20人
- [37] 中岡竜也:「超新星2:観測状況・SN 2019ehk」,口頭発表,かなた内部ワークショップ,2020年6月29日,オンライン,20人
- [38] 植村 誠:「追跡観測の意思決定の自動化 ー情報理論の枠組みを用いてー & Conclusion」,口頭発表,かなた内部ワークショップ,2020年6月29日,オンライン,20人
- [39] 川端弘治:「広島大学宇宙科学センター:活動概要」,口頭発表,せいめい望遠鏡ユーザーズミーティング,2020年8月17日-19日,オンライン,100人
- [40] 植村 誠:「広島大学かなた望遠鏡と観測装置の使用状況」,口頭発表,せいめい望遠鏡ユーザーズミーティング,2020年8月17日-19日,オンライン,100人
- [41] 秋田谷 洋:「かなた望遠鏡における装置運用・開発」,口頭発表,せいめい望遠鏡ユーザーズミーティング,2020年8月17日-19日,オンライン,100人
- [42] 笹田真人:「かなた望遠鏡による突発天体の即時フォローアップ観測」,口頭発表,せいめい望遠鏡ユーザーズミーティング,2020年8月17日-19日,オンライン,100人
- [43] 植村 誠:「データ科学・機械学習的な手法の応用例」,2020年度光赤天連シンポジウム,2020年9月15日,オンライン,100名
- [44] 中岡竜也:「広島大学の活動報告」,口頭発表,光赤外線天文学大学間連携ワークショップ,2020年11月10日-12日,オンライン,100人
- [45] 笹田真人:「重力波観測ランO3におけるJ-GEMの可視・近赤外フォローアップ観測」,口頭発表,光赤外線天文学大学間連携ワークショップ,2020年11月10日-12日,オンライン,100人
- [46] 秋田谷 洋:「光赤外線大学間連携への期待」,口頭発表,光赤外線天文学大学間連携ワークショップ,2020年11月10日-12日,オンライン,100人

#### 学生の学会発表実績

##### (国際会議)

○博士課程前期の学生が共同発表者の発表件数	6件
○博士課程後期の学生が共同発表者の発表件数	0件
○博士課程前期・後期の学生が共に共同発表者の発表件数	0件

##### (国内会議)

○博士課程前期の学生が共同発表者の発表件数	17件
○博士課程後期の学生が共同発表者の発表件数	2件
○博士課程前期・後期の学生が共に共同発表者の発表件数	2件



#### セミナー・講演会開催実績

- [1] 植村 誠, 他, 宇宙科学センター教員: オンライン宇宙セミナー「火星の月から水惑星の起源を探る火星衛星探査計画MMX」, 2020年11月1日, オンライン, 100名, 主催
- [2] 深澤泰司, 他: 2020年ノーベル賞解説セミナー, 広島大学理学融合教育研究センター・極限宇宙研究拠点共同開催, 2020年12月12日, オンライン, 200名

#### 高大連携事業への参加状況

- [1] 植村 誠: グローバルサイエンスキャンパス (GSC) 広島, 2020年4月-2021年3月, 高校生の指導

#### 国内研究会開催

- [1] 植村 誠: 「天文データ科学の新しい潮流」(日本天文学会2021年春季年会企画セッション), 2021年3月17日-18日, 100名, 主催
- [2] 深澤泰司: 「高宇連将来検討タウンミーティング 2030年代を見据えた将来計画検討」, 2020年7月27日, 60名, 主催 (オンライン)
- [3] 深澤泰司: 「MeVガンマ線リサーチグループ会議」, 2021年3月23,26日, 20名, 主催 (オンライン)
- [4] 稲見華恵, 他: 「光学赤外線天文連絡会シンポジウム」, 2020年09月14日-17日, 主催 (オンライン)
- [5] 高橋弘充, 他: 「第20回高宇連研究会」, 2021年3月8日-10日, 150名, 主催 (オンライン)
- [6] 笹田真人, 他: 「多波長研究のための観測データの使い方・見方」, 2020年11月24日-25日, 100名, 主催 (オンライン)

#### 国際会議, 国際研究会開催

- [1] ◎LOC: 川端弘治 (代表), 秋田谷 洋 (副代表), 深澤泰司, 稲見華恵, 松村雅文, 水野恒史, 永井 洋, 中岡竜也, 笹田真人, 新永浩子, 高橋弘充, 内田悠介, 植村 誠  
SOC: 新永浩子 (chair), B-G Andersson (co-chair), A. M. Magalhaes (co-chair), F. Menard (co-chair), E. Falgarone, J. L. Hoffman, 石黒正晃, 川端弘治, 松村雅文, T. Pillai, S. Potter, C. V. Rodrigues, 田村元秀: Astronomical Polarimetry 2020 – New Era of Multi-Wavelength Polarimetry, 2021年3月22日-26日, 東広島芸術文化ホールくらら (オンライン併用のハイブリッド開催), 169名 (うち現地参加8名)
- [2] SOC: 稲見華恵, 他: “East-Asian ALMA Science Workshop 2021”, 2021年02月17日-19日

#### 講演会・セミナー講師

- [1] 川端弘治: 「サイエンスレクチャー やはりブラックホールが最強か? 最新の宇宙科学」, 2021年3月8日, 安田女子中学・高等学校 (オンライン講義), 高1,2生, 20名参加
- [2] 川端弘治: 「サイエンスレクチャー やはりブラックホールが最強か? 最新の宇宙科学」, 2021年3月9日, 広島大学附属東雲中学校 (オンライン講義), 中3生, 28名参加
- [3] 稲見華恵: スウィンバーン工科大学 コロキウム, 2020年09月24日, オンライン
- [4] 笹田真人: 「ブラックホールと天文学」, 2020年10月22日, 岐阜県立大垣東高等学校 (オンライン連携講座), 高校1年生, 40名

- [5] 植村 誠：「銀河系の中心にある巨大ブラックホールの発見,の解説」, 2020年ノーベル賞解説セミナー, 広島大学理学融合センター・極限宇宙研究拠点共同開催, 2020年12月12日, オンライン, 200名

#### 社会活動, 学会委員

- [1] 深澤泰司：高エネルギー宇宙連絡会将来検討委員, 委員長
- [2] 深澤泰司：ガンマ線観測衛星フェルミ衛星国際チーム予算委員メンバー
- [3] 深澤泰司：ガンマ線観測衛星フェルミ衛星国際チームシニアサイエンスアドバイザー委員メンバー
- [4] 深澤泰司：宇宙航空研究開発機構宇宙科学研究所 MeVガンマ線観測衛星検討リサーチグループ代表者
- [5] 深澤泰司：宇宙航空研究開発機構宇宙科学研究所 小規模計画「フェルミガンマ線宇宙望遠鏡による高エネルギー宇宙観測の推進」：研究代表者
- [6] 深澤泰司：XRISM衛星Participating Scientist
- [7] 深澤泰司：日本物理学会代議員
- [8] 川端弘治：日本天文学会 欧文研究報告編集委員会 委員
- [9] 川端弘治：日本天文学会 天体発見賞選考委員会 委員
- [10] 川端弘治：国立天文台 TMT科学諮問委員会 委員
- [11] 川端弘治：国立天文台 光・赤外線天文学研究教育大学間連携協議会委員
- [12] 川端弘治：兵庫県立大学天文科学センター運営委員会 外部委員
- [13] 川端弘治：マツダ財団科学わくわくプロジェクト実行委員会 委員
- [14] 植村 誠：TMT International Science Development Teams 委員
- [15] 植村 誠：日本学術会議総合工学委員会科学的知見の創出に資する可視化分科会可視化の新パラダイム策定小委員会 委員
- [16] 稲見華恵：JAXA/ISAS SPICAサイエンス検討会「近傍銀河・銀河系」班 委員
- [17] 稲見華恵：ESA SPICA Science Study Team (SST) / Science Working Group “Galaxy Evolution Working Group” 委員
- [18] 稲見華恵：TMT International Science Development Teams 委員
- [19] 稲見華恵：光学赤外線天文連絡会運営委員会 委員
- [20] 高橋弘充：高エネルギー宇宙物理連絡会運営委員会 委員
- [21] 高橋弘充：日本物理学会代議員
- [22] 高橋弘充：宇宙航空研究開発機構宇宙科学研究所 大気球委員会 委員
- [23] 高橋弘充：宇宙航空研究開発機構宇宙科学研究所 小規模計画「XL-Calibur気球実験」：研究代表者
- [24] 水野恒史：日本物理学会 宇宙線宇宙物理領域 副代表
- [25] 稲見華恵：すばる望遠鏡観測プロポーザル審査員
- [26] 稲見華恵：次世代大型望遠鏡アクセスWG 委員
- [27] 稲見華恵：すばる科学諮問委員会 委員

#### 外部評価委員

- [1] 深澤泰司：金沢大学先進宇宙理工学研究センター外部評価委員
- [2] 川端弘治：国立天文台 プロジェクト評価委員会 委員

各種研究員と外国人留学生の受入状況  
研究員4名(科研費3件, 大学間連携1件)  
留学生(D: 3名, M: 0名, 研究生: 0名)

#### 国際共同研究

- [1] 深澤泰司, 水野恒史, 高橋弘充, Helen Poon, Fermi LAT collaboration (主にアメリカ, イタリア, フランスの450名), 約10の国内研究機関: 宇宙ガンマ線観測衛星フェルミによる高エネルギー宇宙観測の研究
- [2] 深澤泰司, 水野恒史, 高橋弘充, 内田悠介, XRISM (主にアメリカ, オランダ, イギリスの100名), ISAS/JAXA, 約20の国内研究機関: X線観測衛星XRISMによる高エネルギー宇宙観測の研究
- [3] 深澤泰司, 水野恒史, 高橋弘充, 内田悠介, MeVガンマ線衛星計画AMEGO (主にアメリカ): 次期MeVガンマ線衛星計画AMEGOに関する共同研究
- [4] 高橋弘充, 水野恒史, 深澤泰司, Prof. Mark Piece (スウェーデン, スウェーデン王立工科大学), 名大など: “超小型衛星CUBES, GRBガンマ線偏光小型衛星SPHiNX計画”
- [5] 水野恒史, 深澤泰司, 高橋弘充, IXPE衛星 (主にイタリア, アメリカ), 理研, 名大, 阪大, 山形大: X線偏光観測衛星IXPE
- [6] 深澤泰司, 水野恒史, 高橋弘充, CTA collaboration (主にヨーロッパ, アメリカの約200名), 東大宇宙線研など約20の国内研究機関: 次世代TeVガンマ線望遠鏡の開発
- [7] Norbert Werner, 大野雅功, 深澤泰司, 水野恒史, 高橋弘充, Eotvos大学などハンガリー機関, 名大, 京大, 理研: 重力波対応SGRB観測超小型衛星群計画
- [8] 高橋弘充, 水野恒史, 深澤泰司, 内田悠介, Prof. Henric Krawczynski (アメリカ, ワシントン大学), 阪大, 名大など: 硬X線偏光気球実験X-Calibur
- [9] 深澤泰司, 水野恒史, IceCube collaboration (主にアメリカ, 他にヨーロッパなど): 高エネルギーニュートリノ対応天体の研究
- [10] 高橋弘充, Dr. 濱口健二, Dr. Michael Corcoran, アメリカ・NASA/GSFC: 大質量連星Eta Carinaeの国際共同研究
- [11] 高橋弘充, Dr. 岡島 崇 (アメリカ, NASA), 京大, 理研など: X線CubeSat開発
- [12] 水野恒史, “Jessica Metzger (Chicago Univ. USA), Andrew Strong (MPE, German), Elena Orlando (Stanford Univ., USA)”: 星間空間宇宙線スペクトルの研究
- [13] 川端弘治, 植村 誠, 笹田真人, 秋田谷 洋, LIGO-Virgo Collaboration (California Institute of Technology, European Gravitational Wave Observatory 他), 内海洋輔・米国・Stanford University: 重力波の電磁波対応現象の探索
- [14] 川端弘治, 中岡竜也, “D. Sahu, G. C. Anupama (India, Indian Institute of Astrophysics), Shashi B. Pandey (India, Aryabhata Research Institute of Observational-Sciences)”: 近傍超新星の多バンドモニター観測研究
- [15] 川端弘治, 植村 誠, 笹田真人, Yao Yongqiang (Chinese Academy of Science, National Astronomical Observatory of China): 西チベット阿里観測所におけるHinOTIRIプロジェクトの推進
- [16] 川端弘治, 笹田真人, 中岡竜也, 秋田谷 洋, “IceCube collaboration (University of Alberta, Stanford University, 他多数), 内海洋輔・米国・Stanford University”: IceCube高エネルギーニュートリノ対応天体の研究

- [17] 川端弘治, Antonio Mario Magalhaes, Universidade de São Paulo, ブラジル : 可視偏光サーベイによる銀河磁場・星間物質・突発天体の研究
- [18] 稲見華恵, “Lee Armus (California Institute of Technology, USA), Vassilis Charmandaris (University of Crete, Greece) 他” : 近傍宇宙の高光度赤外線銀河の研究
- [19] 稲見華恵, Fabian Walter 他, (Max Planck Institute for Astronomy) : ミリ波サブミリ波を用いた深宇宙探査
- [20] 稲見華恵, Mark Dickinson 他, “(National Optical Astronomy Observatory, USA)” : 遠方宇宙の高光度赤外線銀河の研究
- [21] 稲見華恵, MUSE Consortium, “(France, Netherlands, Germany, Switzerland, Portugal)” : 超広視野可視光線面分光装置MUSEを用いた深宇宙探査
- [22] 笹田真人, Event Horizon Telescope Collaboration, “(Harvard University, MIT, NAOJ 他)” : 巨大ブラックホールの影の観測
- [23] 稲見華恵, Rychard Bouwens, 他 (Leiden University オランダ, 英国, 米国, スイス他) : ALMA 大型プロジェクトREBELS
- [24] 稲見華恵, Desika Narayanan (フロリダ大学) : ダスト吸収曲線の研究

#### 研究助成金の受け入れ状況

- [1] 深澤泰司 : 科学研究費補助金新学術領域研究 (研究領域提案型) (計画研究)  
平成29-33年度「高エネルギー観測で探る重力波天体」研究分担者, 令和2年度直接経費6,000千円
- [2] 深澤泰司 : 高エネルギー加速器研究機構 日米協力事業費「GLAST衛星開発」研究代表者, 令和2年度直接経費3,000千円
- [3] 深澤泰司 : 宇宙航空研究開発機構宇宙科学研究所 小規模計画「フェルミガンマ線宇宙望遠鏡による高エネルギー宇宙観測の推進」: 研究代表者, 平成29-33年度, 令和2年度直接経費4,500千円
- [4] 水野恒史 : 科学研究費補助金基盤研究(B) 平成29-令和2年度「GeVガンマ線観測を基軸とした多波長観測による星間ガスの定量」研究代表者, 令和2年度直接経費1,400千円
- [5] 水野恒史 : 科学研究費補助金基盤研究(A) 平成31-令和5年度「X線偏光観測による回転するブラックホールの時空構造の解明」研究分担者, 令和2年度直接経費500千円
- [6] 水野恒史 : 二国間交流事業 平成31-令和2年度「超小型衛星CAMELOTによる重力波対応天体のガンマ線観測」, 研究代表者, 令和2年度直接経費総額2,450千円
- [7] 高橋弘充 : 東北大学金属材料研究所共同研究 令和2年度「新規開発シンチレータの詳細測定と応用」研究代表者, 令和2年度直接経費 300千円
- [8] 高橋弘充 : 宇宙航空研究開発機構宇宙科学研究所 小規模計画「XL-Calibur気球実験」研究代表者, 平成31-令和4年度, 令和2年度直接経費 3,900千円
- [9] 高橋弘充 : 科学研究費補助金基盤研究(B) 平成31-令和3年度「世界最高感度の硬X線の偏光観測で実現する超巨大ブラックホールの相対論的効果の測定」研究代表者, 令和2年度直接経費3,500千円
- [10] 高橋弘充 : 二国間交流事業 平成31-32年度「新しい天体観測手法である高エネルギー偏光測定を持続的な発展に向けた日米共同研究」研究代表者, 令和2年度直接経費1,900千円
- [11] 高橋弘充 : 科学研究費補助金基盤研究(S) 平成31-令和5年度「X線・ガンマ線偏光観測で開拓する中性子星超強磁場の物理」研究分担者, 令和2年度直接経費15,000千円

- [12] 川端弘治: 科学研究費補助金基盤研究(A) 平成30-32年度「全天可視偏光サーベイで解き明かす銀河系構造と宇宙突発現象のメカニズム」研究分担者, 令和2年度直接経費6,800千円
- [13] 川端弘治: 科学研究費補助金新学術領域研究(研究領域提案型)(計画研究) 平成29-令和3年度「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」研究分担者, 令和2年度直接経費5,700千円
- [14] 川端弘治: 国立天文台 光・赤外線天文学研究教育大学間連携事業 平成29-令和3年度 令和2年度度配分額 5,500千円
- [15] 秋田谷 洋: 科学研究費補助金基盤研究(C) 令和2-4年度「星形成領域の星間直線偏光三次元空間マッピングによる塵粒子特性・磁場構造の解明」, 研究代表者, 令和2年度直接経費 2,300千円
- [16] 稲見華恵: 科学研究費助成事業 研究活動スタート支援 令和1-2年度, 「宇宙進化を決定づける赤外線銀河のガス・ダストと星形成メカニズムの解明」研究代表者, 令和2年度直接経費 1,430千円
- [17] 稲見華恵: 伊藤科学振興会, 令和1-5年度「ジェームズ・ウェッブ宇宙望遠鏡で観測する赤外線銀河の性質」, 研究代表者, 100万円
- [18] 笹田真人: 科学研究費助成事業 若手研究, 令和1-3年度「電波と可視の多波長偏光観測から探る活動銀河核ジェットの粒子加速領域の探査」 令和2年度直接経費 1,500千円, 研究代表者
- [19] 笹田真人: 科学研究費助成事業 基盤研究(B), 2019~2021年「次世代の国際VLBI観測網で明らかにする巨大ブラックホールジェットの磁力線構造」 令和2年度直接経費 300千円, 研究分担者
- [20] 笹田真人: 科学研究費助成事業 国際共同研究加速基金(国際共同研究強化(B)), 2019-2024年「事象の地平線スケールの動画解析で探る巨大ブラックホールの動的描像」 令和2年度直接経費300千円, 研究分担者
- [21] 稲見華恵: ALMA 共同科学研究事業 FY2021, 自然科学研究機構 国立天文台, “A Systematic Study of the Dust Build-up in the Epoch of Reionization”, 研究代表者, ポスドク1名雇用 + 研究費100万円

その他,報道,特記事項

- [1] 稲見華恵: 広島大学「ダイバーシティ研究環境実現イニシアティブ」事業 動画出演
- [2] 稲見華恵: FM Tokyo「サステナ デイズ」出演(2020年7月30日)
- [3] 稲見華恵: ASPECS 広島大学プレスリリース(2020年9月24日)
- [4] 稲見華恵: 国立天文台 ALMAニュース掲載(2020年9月24日)
- [5] 稲見華恵: 科学新聞 1面 ASPECS関連の研究成果 報道(2020年10月23日)
- [6] 稲見華恵: 中国新聞 呉・東広島面(2020年11月24日)
- [7] 川端弘治: 聖教新聞「宇宙を調べる新たな眼」(2020年10月27日)
- [8] 深澤泰司, 水野恒史, 高橋弘充, 大野雅功, Norbert Werner, 他: 「広島大学が開発に参加した超小型衛星がロシアより打ち上げられました」: 2021年3月23日 広島大学web press release

## 物性科学講座

### ○構造物性グループ

#### 研究活動の概要

構造物性グループは、黒岩芳弘教授、森吉千佳子教授、Kim Sangwook助教の3人で構成されている。Kim助教は、2020年2月に赴任した。

我々の研究グループでは、SPring-8 BL02B2において、放射光粉末X線回折の手法を用いて精密な電子密度分布を求め、誘電分極や電気伝導などの物質機能、また電荷移動や熱振動などの相転移の起源に関わる構造情報を結晶構造上に可視化することで、固体の構造物性について議論してきた。これらの電子密度研究に係わる研究テーマに対して、先導的な高い研究成果が期待できる研究者が携わる研究分野としてSPring-8において利用者指定型の重点研究課題（パワーユーザー課題）が創始され、黒岩教授が「粉末結晶による精密構造物性の研究」の研究代表者（BL02B2粉末構造解析ビームライン、パワーユーザー代表）として平成15年度から平成17年度にかけて3年間、研究を牽引した。この指名は依頼されたものであり、構造物性グループの従来研究成果およびSPring-8で果たしてきた役割が高く評価されたものと考えている。平成17年度に評価委員会から最高の評価を得ることができ、その結果、平成18年度から、再び3年間継続された。平成21年度から、新たな重点研究課題「構造物性研究の基盤としての粉末回折法の開発」を立ち上げ、SPring-8の利用研究を5年間推進した。

黒岩教授が牽引してきたBL02B2でのパワーユーザー課題は平成25年度で一度終了して、平成27年度からは名称を変え、森吉教授を代表者とする新たな利用者指定型の重点研究課題（パートナーユーザー課題）「粉末・多粒子X線回折による高速構造計測基盤の構築」（平成27年度－平成30年度）、「外場変化物質科学研究を実現する高エネルギーX線多目的一次元回折」（平成31年度（令和元年度）－令和2年度）を立ち上げ、現在に至っている。この課題の実施により森吉教授がBL02B2の年間の約16%のビームタイムを獲得した。しかし、令和2年度前期は、新型コロナウイルス感染症拡大防止対策のために、SPring-8の共同利用が停止された。そのため、当初、令和2年度末で終了予定であったパートナーユーザー課題は、令和3年度前期まで延長されることとなった。また、令和2年度後期においても、緊急事態宣言の度に、共同利用研究を行うことができなかった。このようなコロナ禍の困難な状況においても、我々の研究グループは、限られたパートナーユーザー課題のビームタイムの中でビームラインの高度化に協力すると同時に、利用研究として様々な物質、特に酸化物強誘電体の構造物性について共同利用研究を行った。産業技術総合研究所と共同研究したエアロゾル・デポジション法を用いた常温衝撃固化により成膜された酸化物強誘電体薄膜の選択配向と原材料の化学結合との関係に関する研究成果が注目され、黒岩教授が日本セラミックス協会から学会誌への解説記事の執筆を依頼されると同時に、応用物理学会からは秋季学術講演会での招待講演の依頼を受けた。また、中国の蘇州大学とは、光ルミネッセンス材料に関する国際共同研究を行い、ペロブスカイト型酸化物の電荷秩序状態の可視化に関する研究成果を含むいくつかの研究論文を公表した。一方、従来、全電子密度分布を可視化することで構造物性研究を行ってきたが、粉末結晶構造解析のレベルを一段階上げることに成功し、物性や相転移に直接かかわる価電子の空間分布だけを選択的に可視化する技術を開発した。この成果は、大学院生の博士論文の一部になると同時に、学生は、エクセレント・スチューデント・スカラシップ表彰を受けた。山梨大学等とは、鉛を使わない圧電材料を開発するという元素戦略プロジェクトの一つとして、 $\text{BaTiO}_3$ と $\text{BiFeO}_3$ の固溶体をベースとしたセラミック材料について共同研究を行

い、まったく新しい仕組みで強誘電性・圧電性の発現するセラミック材料を発見した。自発分極の大きさはBaTiO<sub>3</sub>より大きく、圧電定数はPZTに匹敵した。公表した研究論文についてはプレス発表も行った。山梨大学とは、酸化物強誘電体材料について、多くの共同研究を行っている。強誘電体以外では、北海道大学や首都大学東京等の研究グループと行っている超伝導体や熱電材料等についての共同研究について、いくつかの成果を論文にまとめた。島根大学等との層状複水酸化物についての共同研究でも成果が得られ、森吉教授を中心に学会発表が行われた。さらに、企業1社と共同研究を行っており、研究成果が得られている。

このように、SPring-8 BL02B2の重点研究課題では、国内外の大学・研究所・企業との共同研究を通して、今までに確立してきた我々の実験・解析手法によりハイスループットが実現されている。一方、平成20年にSPring-8 BL02B1単結晶構造解析ビームラインに新しい回折装置が導入された。我々のグループは設計段階から参加し、コミッションング実験を行い設計どおりに装置が機能することを確認し、その成果を公表した。平成21年度から森吉教授がこの単結晶ビームラインのパワーユーザーメンバーに選任され、重点研究課題「単結晶高分解能電子密度分布解析による精密構造物性研究」を5年間推進した。BL02B2粉末構造解析ビームラインの重点研究課題と合わせて、2つの重点研究課題において我々構造物性グループのメンバーがそれぞれ利用者指定されたことにより、放射光粉末回折実験および放射光単結晶回折実験を両輪とした構造物性研究が強力に推進できる環境が整った。

BL02B1でもパワーユーザー課題は一度終了し、平成26年度より5年間、新たに、パートナーユーザー課題「Application of synchrotron radiation in materials crystallography」が、日本、デンマーク、フランス、イギリスのグループによる国際共同研究として開始された。日本からは黒岩教授が参加し、強誘電体の電場印加下での静的および動的構造変化と誘電特性との関係について研究を開始した。平成31年度（令和元年度）からは、黒岩教授がパートナーユーザー課題から発展した長期利用課題「2次元検出器を用いた電子密度・時分割・高圧・3次元PDFによる高エネルギーX線物質構造科学研究」に参加し、現在に至っている。しかし、この長期利用課題もコロナ禍で令和3年度前期まで延長されることとなった。時分割実験では、50ピコ秒の時間分解能で一瞬の動きを構造解析する手法を開発したことで、研究は格段に進展した。任意の時間で構造解析した結晶構造を繋ぎ合せてアニメーションを作成することも可能になった。この技術を応用して、交流電場下で誘電緩和状態にある瞬間の誘電体の結晶構造を時間分解X線結晶構造解析で明らかにするプロジェクトを開始している。強誘電体に対する時間分解X線構造解析は、薄膜やセラミックス試料を用いたものが主流で、試料中の基板や粒界の影響を含む現象を観測していた。単結晶試料を用いた時間分解X線回折実験では、基板等の影響を受けない圧電体本来の性質を測定できる。対象は圧電体材料に限らないため、蓄電デバイス等、様々な電子デバイスが実際に動作している瞬間の結晶構造を原子レベルで透視して観測することが可能となり、物質機能と結晶構造を一対一に対応させた材料開発に大いに貢献できると期待されている。名古屋市立大学等との共同研究では、リラクサー強誘電体についての時分割実験の研究成果を論文にまとめた。一方、鉛系および非鉛系強誘電体の構造研究について、BL02B1での電場印加下単結晶構造解析の成果とBL02B2での粉末電子密度解析の成果を相補的にコンバインさせた利用研究を開始した。鉛系の強誘電体において、電場印加下で見られる特異な原子変位パターンの起源が鉛と酸素間の共有結合によることが2つのビームラインからの成果としてKim助教によりまとめられた。

平成30年度より広島大学（学長）と量子科学技術研究開発機構（量子ビーム科学部門長）との間で、共同研究「コヒーレントX線を利用した強誘電体一粒子計測」が締結された。量子

科学技術研究開発機構が次代の東北放射光施設計画SLiT-Jの事業主体者となったことにより、X線回折による強誘電体の一粒子計測に学識経験のある黒岩教授が広島大学側の研究総括責任者に指名された。従来のX線回折実験では原子位置を問題にして構造解析を行ってきたが、今後はこれに加えて粒子の外形やドメイン構造も回折実験から同時に明らかになると期待している。共同研究はSPRing-8のBL22XUで行われ、20 nmサイズ程度のナノ粒子の外形や内部のひずみ構造を非破壊で3次元的に可視化することに成功した。

一方、構造物性研究グループでは、教育や社会貢献に係わる事業も積極的に行ってきた。平成23年度に立ち上げた広島県立祇園北高校とのJSTのサイエンス・パートナーシップ・プログラム (SPP) は平成27年度からはポストSPPプログラムとして継続され、機能物質の結晶育成を競うコンテスト (クリスタルコンペ) を平成31年度 (令和元年度) も継続した。しかし、令和2年度の模擬授業およびクリスタルコンペは、コロナ禍で中止となった。令和3年度から再開することとした。また、広島大学と釜山大学 (韓国) との間の学術・教育交流に関する大学間協定書に基づく国際交流事業として、釜山大学のSchool of Nanoscience and Technologyと先進理工系科学研究科物理学プログラムの放射光物性グループとの間でナノテクノロジーと放射光科学をテーマに学生ワークショップを開催してきた。開催場所を交互にしながら継続して毎年開催しており、平成31年度 (令和元年度) は第11回大会として黒岩教授が広島大学側組織委員長として釜山大学で開催した。令和2年度は、広島大学での開催を予定して準備を進めていたが、コロナ禍で中止せざるを得ない状況となってしまった。黒岩教授は、日本の誘電体研究者のプラットフォームになることを目指して令和元年12月2日に設立した社団法人日本誘電体学会の理事副会長をつとめている。森吉教授は、いくつかの学会の要職をつとめながら、日本学術会議の連携会員としても活躍している。Kim助教は、国際誌の編集委員に就任した。

#### 原著論文

- [1] H. S. Mallik, I. Fujii, G. P. Khanal, S. Kim, S. Ueno, T. S. Suzuki, and S. Wada, “Fabrication of <111>-oriented BaTiO<sub>3</sub> ceramics by high magnetic field electrophoretic deposition using hexagonal-tetragonal co-existing BaTiO<sub>3</sub> powder”, *J. Ceram. Soc. Jpn.* **128** (2020) 469-474.
- [2] © Q. Zhao, T. Abe, C. Moriyoshi, S. Kim, A. Taguchi, H. Moriwake, H.-T. Sun and Y. Kuroiwa, “Charge Order of Bismuth Ions and Nature of Chemical Bonds in Double Perovskite-type Oxide BaBiO<sub>3</sub> Visualized by Synchrotron Radiation X-ray Diffraction”, *Jpn. J. Appl. Phys.* **59** (2020) 095505/1-8.
- [3] © Y. Kuroiwa, S. Kim, I. Fujii, S. Ueno, Y. Nakahira, C. Moriyoshi, Y. Sato and S. Wada, “Piezoelectricity in Perovskite-type Pseudo-cubic Ferroelectrics by Partial Ordering of Off-centered Cations”, *Commun. Mater.* **1** (2020) 71/1-8. 【プレスリリース】
- [4] © S. Kim, S. Noda, T. Abe, Y. Yokoi, Y. Nakahira, C. Moriyoshi and Y. Kuroiwa, “Electric-field-induced Structural Changes for Cubic System of Lead-free and Lead-based Perovskite-type Oxides”, *Jpn. J. Appl. Phys.* **59** (2020) SPPA05/1-5.
- [5] © T. Abe, L. Wu, C. Moriyoshi, Y. Kuroiwa, M. Suzuki, K. Shinoda, R. Aoyagi and J. Akedo, “Synchrotron Radiation X-ray Diffraction Evidence for Nature of Chemical Bonds in Bi<sub>4</sub>Ti<sub>3</sub>O<sub>12</sub> Ceramic Powders and Grain-orientation Mechanism of Their Films Formed by Aerosol Deposition Method”, *Jpn. J. Appl. Phys.* **59** (2020) SPPA04/1-5.
- [6] © T. Abe, S. Kim, C. Moriyoshi, Y. Kitanaka, Y. Noguchi, H. Tanak and Y. Kuroiwa, “Visualization



of Spontaneous Electronic Polarization in Pb Ion of Ferroelectric PbTiO<sub>3</sub> by Synchrotron-radiation X-ray Diffraction”, *Appl. Phys. Lett.* **117** (2020) 252905/1-6.

- [7] © H. Li, Q. Liu, J.-P. Ma, Z.-Y. Feng, J.-D. Liu, Q. Zhao, Y. Kuroiwa, C. Moriyoshi, B.-J. Ye, J.-Y. Zhang, C.-K. Duan and H.-T. Sun, “Theory-guided Defect Tuning through Topochemical Reactions for Accelerated Discovery of UVC Persistent Phosphors”, *Adv. Optical. Mater.* **8** (2020) 1901727/1-8.
- [8] © D. Urushihara, T. Matsumura, K. Nakajima, K. Fukuda, T. Abe, C. Moriyoshi, Y. Kuroiwa and T. Asaka, “Charge Ordering and Successive Phase Transitions of Mixed-valence Iron Oxide GdBaFe<sub>2</sub>O<sub>5</sub>”, *J. Solid. State Chem.* **282** (2020) 121069/1-7.
- [9] © M. Nagao, A. Miura, D. Urushihara, Y. Maruyama, Y. Goto, Y. Mizuguchi, C. Moriyoshi, Y. Kuroiwa, Y. Wang, S. Watauchi, T. Asaka, Y. Takano, K. Tadanaga and I. Tanaka, “Flux Growth and Superconducting Properties of (Ce,Pr)OBiS<sub>2</sub> Single Crystals”, *Front. Chem.* **8** (2020) 44/1-8.
- [10] © S. Aoyagi, A. Aoyagi, H. Osawa, K. Sugimoto, Y. Nakahira, C. Moriyoshi, Y. Kuroiwa and M. Iwata, “Rotational Intersite Displacement of Disordered Lead Atoms in a Relaxor Ferroelectric during Piezoelectric Lattice Straining and Ferroelectric Domain Switching”, *Phys. Rev. B* **101** (2020) 064104/1-9.
- [11] © J.-P. Ma, J.-K. Chen, J. Yin, B.-B. Zhang, Q. Zhao, Y. Kuroiwa, C. Moriyoshi, L. Hu, O. M. Bakr, O. F. Mohammed and H.-T. Sun, “Doping Induces Structural Phase Transitions in All-Inorganic Lead Halide Perovskite Nanocrystals”, *ACS Materials Lett.* **2** (2020) 367-375.
- [12] © R. Kiyama, Y. Goto, K. Hoshi, R. Jha, A. Miura, C. Moriyoshi, Y. Kuroiwa, T. D. Matsuda, Y. Aoki and Y. Mizuguchi, “Bulk Superconductivity Induced by Se Substitution in Self-doped BiCh<sub>2</sub>-based Compound CeOBiS<sub>2-x</sub>Se<sub>x</sub>”, *J. Phys. Soc. Jpn.* **89** (2020) 064702/1-6.
- [13] © B.-B. Zhang, J.-K. Chen, J.-P. Ma, X.-F. Jia, Q. Zhao, S.-Q. Guo, Y.-M. Chen, Q. Liu, Y. Kuroiwa, C. Moriyoshi, J. Zhang and H.-T. Sun, “Antithermal Quenching of Luminescence in Zero-Dimensional Hybrid Metal Halide Solids”, *J. Phys. Chem. Lett.* **11** (2020) 2902-2909.
- [14] © K. Morino, Y. Goto, A. Miura, C. Moriyoshi, Y. Kuroiwa and Y. Mizuguchi, “Crystal Structure and Thermoelectric Transport Properties of As-Doped Layered Pnictogen Oxyselenides NdO<sub>0.8</sub>F<sub>0.2</sub>Sb<sub>1-x</sub>As<sub>x</sub>Se<sub>2</sub>”, *Materials* **13** (2020) 2164/1-11.
- [15] © A. Yamashita, R. Jha, Y. Goto, A. Miura, C. Moriyoshi, Y. Kuroiwa, C. Kawashima, K. Ishida, H. Takahashi and Y. Mizuguchi, “Evolution of Two Bulk-superconducting Phases in Sr<sub>0.5</sub>RE<sub>0.5</sub>FBiS<sub>2</sub> (RE: La, Ce, Pr, Nd, Sm) by External Hydrostatic Pressure Effect”, *Sci. Rep.* **10** (2020) 12880/1-8.
- [16] © K. Hoshi, M. Kimata, Y. Goto, A. Miura, C. Moriyoshi, Y. Kuroiwa, M. Nagao, and Y. Mizuguchi, “Two-fold Symmetry of In-plane Magnetoresistance Anisotropy in the Superconducting States of BiCh<sub>2</sub>-based LaO<sub>0.9</sub>F<sub>0.1</sub>BiSSe Single Crystal”, *J. Phys. Commun.* **4** (2020) 095028/1-7.
- [17] © R. Jha, Y. Goto, R. Higashinaka, A. Miura, C. Moriyoshi, Y. Kuroiwa and Y. Mizuguchi, “Improvement of Superconducting Properties by Chemical Pressure Effect in Eu-doped La<sub>2-x</sub>Eu<sub>x</sub>O<sub>2</sub>Bi<sub>3</sub>Ag<sub>0.6</sub>Sn<sub>0.4</sub>S<sub>6</sub>”, *Physica C: Superconductivity and its applications* **576** (2020) 1353731/1-9.
- [18] © K. Hoshi, S. Sakuragi, T. Yajima, Y. Goto, A. Miura, C. Moriyoshi, Y. Kuroiwa and Y. Mizuguchi, “Structural Phase Diagram of LaO<sub>1-x</sub>F<sub>x</sub>BiSSe: Suppression of the Structural Phase

Transition by Partial F Substitutions”, *Cond. Matter* **5** (2020) 81/1-10.

- [19] A. Asaki, H. Akamatsu, G. Hasegawa, T. Abe, Y. Nakahira, S. Yoshida, C. Moriyoshi, and K. Hayashi, “Ferroelectricity of dion-jacobson layered perovskites CsNdNb<sub>2</sub>O<sub>7</sub> and RbNdNb<sub>2</sub>O<sub>7</sub>”, *Jpn. J. Appl. Phys.* **59** (2020) SPPC041/1-6.

#### 著書など

(編集雑誌)

- [1] N. Fujimura and Y. Kuroiwa [Guest Editor-in-Chief and Guest Editor-in-Charge], Y. Cho, M. Iwata, K. Kakimoto, I. Kanno, K. Kato, M. Kimura, S. Kojima, H. Nagata, M. Shimizu and T. Tsurumi; *Ferroelectric Materials and Their Applications*, *Jpn. J. Appl. Phys.* Vol. 59, No. SP (2020) Special Issue: (総論文数 32編), The Japan Society of Applied Physics, IOP Publishing (2020年9月4日発行) .

#### 総説

- [1] 黒岩芳弘, “放射光で観た室温セラミックコーティング膜の選択配向と原料粉末の化学結合の特徴”, *セラミックス* **55** (2020) 727-730.

#### 研究報告

- [1] B. Iversen, J. Overgaard, Y. Kuroiwa and E. Nishibori, “FY2014 Partner User Activity Report Application of Synchrotron Radiation in Materials Crystallography”, *SPring-8/SACLA 利用者情報誌* **25** (2020) 96-102.
- [2] 森吉千佳子, 久保田佳基, 西堀英治, “2015 年度指定パートナーユーザー活動報告 1 粉末・多粒子 X 線回折によるその場構造計測基盤の構築”, *SPring-8/SACLA 利用者情報誌* **25** (2020) 103-113.

#### 国際会議

(招待講演)

該当無し

(一般講演)

- [1] C. Moriyoshi, H. Hoashi, E. Nii, T. Fujimura, and R. Sasai; “Crystal Structure and Anion Selectivity of Halide-Anion-Intercalated Ni-Al Layered Double Hydroxides”, The 4th Asian Clay Conference (ACC-2020), (2020.6.8-9, Fully-online style, THAILAND).
- [2] R. Sasai, T. Fujimura, C. Moryioshi and S. Kawaguchi; “In Situ Observation of Structure Change of Layered Double Hydroxide During Anion-Exchange Reaction by Novel Time-Resolved Synchrotron-Radiation X-ray Diffraction Measurement System”, The 4th Asian Clay Conference (ACC-2020), (2020.6.8-9, Fully-online style, THAILAND).
- [3] © C. J. Bartel, A. Miura, Y. Goto, Y. Mizuguchi, C. Moriyoshi, Y. Kuroiwa, Y. Wang, T. Yaguchi, M. Shirai, M. Nagao, N. C. Rosero-Navarro, K. Tadanaga, G. Ceder, and W. Sun; “Thermodynamic modeling and in situ experimentation to understand solid-state synthesis pathways”, 20 Virtual AIChE Annual Meeting, (2020.11.6-20, Fully-online style).
- [4] A. Miura, C. J. Bartel, Y. Goto, Y. Mizuguchi, C. Moriyoshi, Y. Wang, T. Yaguchi, M. Shirai, M.

Nagao, N. C. Rosero-Navarro, K. Tadanaga, G. Ceder, and W. Sun; “Visualization and rationalization of the synthesis path of  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$ ”, The 200 International Chemical Congress of Pacific Basin Societies (Pacifichem2020), (2020.12.15-20, Online style, Honolulu, Hawaii, USA)).

- [5] ◎ 宮内隆輝, 佐藤幸生, 寺西 亮, 金子賢治, Kim Sangwook, 藤井一郎, 上野慎太郎, 中平夕貴, 森吉千佳子, 黒岩芳弘, 和田智志: 「 $0.8\text{BiFeO}_3-0.2\text{BaTiO}_3$ の原子分解能電子顕微鏡解析」, Materials Research Meeting (MRM) Forum 2020, (2020年12月7日-9日, オンライン)

#### 国内学会

(招待講演)

- [1] 黒岩芳弘: 「セラミック材料の化学結合の特徴と常温衝撃固化現象」, 第81回応用物理学会秋季学術講演会, (2020年9月8日-11日, オンライン)

(依頼講演)

- [1] E. Nishibori, B. B. Iversen, J. Overgaard and Y. Kuroiwa: 「Advanced Structural Materials Science using High Energy X-ray with Two Dimensional Detector」, SPring-8シンポジウム2020, (2020年9月18日, オンライン)
- [2] 森吉千佳子, 久保田佳基, 西堀英治: 「外場変化物質科学研究を実現する高エネルギーX線多目的一次元回折」, SPring-8シンポジウム2020, (2020年9月18日, オンライン)

(一般講演)

- [1] 大和田謙二, 菅原健人, 安部友啓, 上野哲朗, 町田晃彦, 綿貫 徹, 上野慎太郎, 藤井一郎, 和田智志, 黒岩芳弘: 「コヒーレント X 線回折を利用した  $\text{BaTiO}_3$  ナノ結晶の 3 次元イメージング II」, 第 37 回強誘電体会議(FMA-37), (2020 年 5 月 27 日-30 日, コープイン京都, 京都 (COVID-19 により現地開催中止・要旨集発行))
- [2] ◎ 安部友啓, Wu Lin, 森吉千佳子, 黒岩芳弘, 鈴木宗泰, 篠田健太郎, 青柳倫太郎, 明渡純: 「放射光 X 線回折による  $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$  エアロゾルデポジション膜の構造評価」, 第 37 回強誘電体会議(FMA-37), (2020 年 5 月 27 日-30 日, コープイン京都, 京都 (COVID-19 により現地開催中止・要旨集発行))
- [3] ◎ 野田翔太, 安部友啓, 横井優人, 中平夕貴, 森吉千佳子, Sangwook Kim, 黒岩芳弘: 「鉛イオンの有無によるペロブスカイト型酸化物の立方晶構造に対する電場誘起構造の差異」, 第 37 回強誘電体会議(FMA-37), (2020 年 5 月 27 日-30 日, コープイン京都, 京都 (COVID-19 により現地開催中止・要旨集発行))
- [4] ◎ 宮内隆輝, 佐藤幸生, 寺西 亮, 金子賢治, Kim Sangwook, 藤井一郎, 上野慎太郎, 中平夕貴, 森吉千佳子, 黒岩芳弘, 和田智志: 「 $0.8\text{BiFeO}_3-0.2\text{BaTiO}_3$  のナノおよび原子スケール構造解析」, 日本物理学会 2020 年秋季大会, (2020 年 9 月 8 日-11 日, オンライン)
- [5] ◎ 中平夕貴, 若松 徹, 寺崎一郎, 谷口博基, 森吉千佳子, 黒岩芳弘: 「充填ゼオライト  $M_8[\text{AlO}_2]_{12}(\text{SO}_4)_2$  ( $M = \text{Sr}, \text{Ca}$ ) の  $I43m$  相の構造歪み」, 日本結晶学会令和 2 年 (2020 年) 度年会および会員総会, (2020 年 11 月 27 日-28 日, オンライン)
- [6] 安部友啓, 廣海朋子, 森吉千佳子, 河口彰吾: 「二次元検出器用回折強度処理プログラム FLAT-X の開発」, 日本結晶学会令和 2 年 (2020 年) 度年会および会員総会, (2020 年 11 月 27 日-28 日, オンライン)
- [7] 廣海朋子, 安部友啓, 森吉千佳子, 河口彰吾: 「デバイリング上の回折強度分布の均一性

自動評価」, 日本結晶学会令和 2 年 (2020 年) 度年会および会員総会, (2020 年 11 月 27 日-28 日, オンライン)

- [8] ◎ 兼島 輝, 安部友啓, 森吉千佳子, 黒岩芳弘:「ペロブスカイト型酸化物の X 線粉末回折パターンの機械学習」, 日本結晶学会令和 2 年 (2020 年) 度年会および会員総会, (2020 年 11 月 27 日-28 日, オンライン)
- [9] ◎ 漆原大典, 松村知輝, 中島健太, 浅香 透, 福田功一郎, 安部友啓, 森吉千佳子, 黒岩芳弘:「混合原子価化合物  $GdBaFe_2O_5$  の電荷秩序化と逐次相転移」, 2020 年日本セラミックス協会東海支部学術研究発表会, (2020 年 11 月 28 日, 名古屋工業大学 (COVID-19 により現地開催中止・要旨集発行))
- [10] ◎ 安部友啓, 黒岩芳弘, 森吉千佳子, 鈴木宗泰, 篠田健太郎, 青柳倫太郎, 明渡 純:「強誘電体  $Bi_4Ti_3O_{12}$  エアロゾルデポジション膜の配向メカニズム」, 日本電子材料技術協会第 57 回秋期講演大会, (2020 年 12 月 4 日, オンライン)
- [11] ◎ 三浦 章, C. J. Bartel, 後藤陽介, 水口佳一, 森吉千佳子, 黒岩芳弘, Y. Wang, 矢口紀恵, 白井 学, 長尾雅則, N. C. Roser-Navarro, 忠永清治, G. Ceder, W. Sun:「 $YBa_2Cu_3O_{7-x}$  の固相合成を視て理解する」, 第 14 回物性科学領域横断研究会, (2020 年 12 月 4 日-5 日, オンライン)
- [12] ◎ 宮内隆輝, 佐藤幸生, 寺西 亮, 金子賢治, Kim Sangwook, 藤井一郎, 上野慎太郎, 中平夕貴, 森吉千佳子, 黒岩芳弘, 和田智志:「 $(1-x)BiFeO_3-xBaTiO_3$  ( $x = 0.2, 0.3, 0.4$ ) における Bi イオン変位とナノ構造の関係」, 応用物理学会主催「強制的秩序とその操作に関わる研究会第 12 回講演会」, (2021 年 1 月 4 日, オンライン)
- [13] ◎ 三浦 章, Bartel Christopher, 後藤陽介, 水口佳一, 森吉千佳子, 黒岩芳弘, Yongming Wang, 矢口紀恵, 白井 学, 長尾雅則, Rosero-Navarro Nataly Carolina, 忠永清治, Ceder Gerbrand, Sun Wenhao:「 $YBa_2Cu_3O_{6+x}$  の固相合成反応の観察と反応モデルの構築」, 日本セラミックス協会 2021 年年会, (2021 年 3 月 23 日-25 日, オンライン)
- [14] 井藤浩明, 設楽一希, 森吉千佳子, 後藤陽介, 藤井孝太郎, 八島正知, N. C. Roser-Navarro, 三浦 章, 忠永清治:「LiCl および  $YCl_3$  の固相反応におけるエネルギーランドスケープの描写」, 日本セラミックス協会 2021 年年会, (2021 年 3 月 23 日-25 日, オンライン)
- [15] 笹井 亮, 藤村卓也, 藤井康裕, 河口彰吾, 石原信輔, 森吉千佳子:「2 次元無機ナノ空間内における水の状態とイオン交換特性」, セラミックス協会 2021 年年会サテライトプログラム「第 4 回水資源の確保と保全に向けた材料・技術研究講演」, (2021 年 3 月 23 日, オンライン)
- [16] HyunWook Nam, Ichiro Fujii, Sangwook Kim, Shintaro Ueno, Takaaki Ishii, Satoshi Wada:「Domain contribution by various poling process in lead-free polycrystalline  $BiFeO_3$ - $BaTiO_3$  based piezoelectric ceramics」, 第 68 回応用物理学会春季学術講演会, (2021 年 3 月 16 日-19 日, オンライン)

#### 学生の学会発表実績

(国際会議)

- |                             |     |
|-----------------------------|-----|
| ○ 博士課程前期の学生が共同発表者の発表件数      | 1 件 |
| ○ 博士課程後期の学生が共同発表者の発表件数      | 1 件 |
| ○ 博士課程前期・後期の学生が共に共同発表者の発表件数 | 0 件 |

(国内学会)

- 博士課程前期の学生が共同発表者の発表件数 0 件
- 博士課程後期の学生が共同発表者の発表件数 9 件
- 博士課程前期・後期の学生が共に共同発表者の発表件数 2 件

セミナー・講演会開催実績

- 学会等  
該当無し
- セミナー・講習会等  
該当無し

社会活動・学外委員

- 学協会委員
  - [1] 黒岩芳弘 : (一社)日本誘電体学会 (DESJ) 理事 副会長
  - [2] 黒岩芳弘 : (一社)日本物理学会 (JPS) 代議員
  - [3] 黒岩芳弘 : (公社)日本セラミックス協会 (CerSJ) セラミックコーティング研究体 世話人
  - [4] 黒岩芳弘, 森吉千佳子 : 強誘電体会議 (FMA) 運営委員会 委員
  - [5] 黒岩芳弘 : 強誘電体会議 (FMA) 論文委員会 委員
  - [6] 黒岩芳弘, 森吉千佳子 : 強誘電体会議 (FMA) 優秀発表賞選考委員会 委員
  - [7] 黒岩芳弘 : Japanese Journal of Applied Physics (JJAP) Vol. 59, No. SP (2020) Special Issue: Ferroelectric Materials and Their Applications, Guest Editor-in-Chief and Guest Editor-in-Charge (編集委員会ゲスト編集委員およびゲスト編集委員長)
  - [8] 黒岩芳弘 : Asian Ferroelectric Association (AFA), Executive Board (執行役員会委員, 日本代表)
  - [9] 黒岩芳弘 : Journal of Advanced Dielectrics (JAD), Editorial Board (編集委員会委員)
  - [10] 森吉千佳子 : 日本学術会議 連携会員 (IUCr 分科会幹事・結晶学分科会委員)
  - [11] 森吉千佳子 : 日本結晶学会 評議員
  - [12] 森吉千佳子 : 日本結晶学会 男女共同参画推進委員
  - [13] 森吉千佳子 : 日本セラミックス協会 男女共同参画推進委員
  - [14] 森吉千佳子 : 広島県物理教育研究推進会事務局, 会計幹事
  - [15] 森吉千佳子 : 応用物理学会リフレッシュ理科教室 (広島会場), 実行委員長
  - [16] Sangwook Kim : Materials, Topic Editor for Advanced and Functional Ceramics and Glasses
- 外部評価委員等
  - [1] 黒岩芳弘 : 量子科学技術研究開発機構 委員会 (2 件)
  - [2] 黒岩芳弘 : 日本原子力研究開発機構 委員会
  - [3] 黒岩芳弘 : SPring-8/SACLA 委員会
- 学内委員等
  - [1] 森吉千佳子 : 広島大学放射光科学研究センター運営委員
  - [2] 黒岩芳弘 : 広島大学評価委員会1号委員, 他

○ 客員教授,研究員等

- [1] 黒岩芳弘, 森吉千佳子 : (公財)高輝度光科学研究センター (JASRI) 外来研究員
- [2] 森吉千佳子 : SPring-8 BL02B2 粉末構造解析ビームライン, パートナーユーザー, 代表

○ 講習会・セミナー講師

(集中講義)

該当無し

(セミナー講師)

該当無し

国際共同研究・国際会議開催実績

○ 国際共同研究

- [1] 黒岩芳弘 : SPring-8 BL02B1 単結晶構造解析ビームライン, 長期利用課題 (2019-2021 年度), 参加国: 日本, デンマーク
- [2] 森吉千佳子 : SPring-8 BL02B2 粉末結晶構造解析ビームライン, パートナーユーザー課題 (2019-2021 年度), 参加国: 日本, デンマーク
- [3] 黒岩芳弘, 森吉千佳子 : SPring-8 BL02B2 利用研究課題一般課題, Prof. Hong-Tao Sun, College of Chemistry, Soochow University, P. R. China
- [4] 黒岩芳弘, 森吉千佳子 : SPring-8 BL02B2 利用研究課題一般課題, Dr. Zhigang Zhang, Chinese Academy of Sciences, P. R. China

○ 国際会議開催実績

該当無し

高大連携事業への参加状況

該当無し

○ その他の模擬授業

該当無し

○ 中・高校生に対するTA

該当無し

各種研究員と外国人留学生の受入状況

○ 外国人留学生

- [1] 黒岩芳弘 : 大学院理学研究科博士課程後期, 2016 年 10 月入学生, 1 名 (中国)
- [2] 黒岩芳弘 : 大学院理学研究科博士課程後期, 2018 年 10 月入学生, 1 名 (中国)

○ 各種研究員

該当無し

研究助成金の受入状況

- [1] 黒岩芳弘 (代表) : 科学研究費補助金基盤研究 (B) (一般) (2020年度, 11,180千円) 「擬立方晶フラクチャード強誘電体の巨大圧電応答機構解明のための構造計測手法の構築」

- [2] 黒岩芳弘 (分担) : 科学研究費補助金基盤研究 (B) (一般) (2020年度, 520千円) 「ナノ結晶一粒子に対するマルチスケールX線構造解析システムの開発」
- [3] 黒岩芳弘 (研究統括責任者) : (2020年度, 0千円) 量子科学技術研究開発機構・広島大学共同研究「コヒーレントX線を利用した強誘電体一粒子計測に関する研究」
- [4] 黒岩芳弘, 森吉千佳子 : 企業共同研究費 (2020年度, 3,000千円)
- [5] 森吉千佳子 (代表) : 栢森情報科学振興財団2020年度助成金 (2020-2021年度, 800千円) 「放射光エックス線回折実験で得られる多量データと失敗データの機械学習による活用」
- [6] 森吉千佳子 (代表) : SPring-8 パートナーユーザー課題 (2019-2020 年度, BL02B2) 「外場変化物質科学研究を実現する高エネルギーX線多目的一次元回折」 (BL02B2 粉末構造解析ビームラインでの年間 16%のビームタイムとビームタイム使用に係わる消耗品費, 学生・教員を含むグループ全員の出張旅費, SPring-8 で使用する消耗品費) (2020 年度, 約 2,000 千円)

その他特記すべき事項

- 学術団体等からの受賞実績  
該当無し

- 学内表彰・受賞

- [1] 安部友啓 (D3) : 広島大学エクセレント・スチューデント・スカラシップ表彰, 2020 年 12 月 22 日

## ○電子物性グループ

研究活動の概要

放射光X線を用いた分光学的手法による物性研究の展開を図っている。特に、放射光の元素感受性や軌道選択性を活かした実験手法を通して、誘電体・合金・磁性体において物性発現の決め手となる電子状態の探究を推進している。さらに、放射光X線のもつ偏光特性やパルス特性も活かしながら、空間及び時間に関する反転対称性に注目することで、構造相転移や磁気相転移に伴う電子状態の変化を捉えた研究を行っている。

本研究グループでは、高輝度光科学研究センター (SPring-8) や高エネルギー加速器研究機構放射光実験施設 (KEK-PF) において、さまざまな外場 (圧力・電場・磁場・温度・紫外線) を試料に印加した状態でX線回折 (XRD), X線吸収分光 (XAS), X線発光分光 (XES) および光電子分光 (PES) による結晶構造と電子状態のその場測定 (*in situ*測定) を実施している。高圧力印加による磁性体の構造及び磁気相転移に関する従来の研究から、さらに空間・時間反転対称性の破れに伴う局所構造と電子状態の変化に注目した研究を行っている。また、パルス電場印加下のXAS及びXESの時間分解測定による誘電体中の電気分極の外場応答に関する研究を実施しており、外場印加による電子励起状態に関するX線分光学的研究の新展開を目指している。

ここ数年は、実験データの理論的な解釈にも力を入れている。XASのシミュレーションソフトは汎用的なものがいくつか提供されているが、それぞれに一長一短があるため、必要に応じてシミュレーション結果の再検討を重ねる必要がある。さらに、物質中の複雑な乱れも

考慮するために、逆モンテカルロ法に基づくモデル計算や、一電子近似の枠組みを超えて電子相関を取り込んだバンド計算とそれに基づくスペクトル計算なども始めている。

#### (1) X線発光分光による誘電体の研究

XESは局所歪みに由来する固体内の低エネルギー励起（電荷移動励起・バンド内励起、マグノン励起）の検出に適している。また、電子検出法ではないことから、電場や圧力をはじめとする様々な外場を動的に加えることができる。これはXESを誘電体研究に用いる大きな利点である。この利点を活用して、チタン酸化物の構造変化を反映する電荷移動励起（ $\sim 10$  eV）に着目し、単位格子内における誘電分極のゆらぎを電子状態の立場から研究している点だが、本研究グループの取り組みの独創的な点である。励起光のエネルギーを連続的に変化させながら各エネルギーで得られる発光スペクトルを連続的に測定する自動測定プログラムを導入し、X線吸収分光法の新たな手法である高エネルギー分解蛍光X線検出分光法（HERFD-XAFS）を実現した。現在、国内の3グループの研究チームがこのプログラムや手法を活用しており、研究成果を生み出している。これまでも進めてきたOperando-XES測定（電子デバイスなどの作動条件下でのXES測定）と、この自動測定技術の組み合わせによって、新物質や低次元系の示す新奇誘電性を見つけ出ししていくことが究極の目標である。

#### SrTiO<sub>3</sub>の新規強誘電性の探求

SrTiO<sub>3</sub>は量子ゆらぎによって強誘電相の発現が抑制されて常誘電相に留まる量子常誘電体である。このゆらぎに打ち勝つ外場（電場・元素置換・応力）を加えることで、環境負荷の小さいSrTiO<sub>3</sub>を強誘電体に転用する試みが進められている。特に、応力は物質に簡単に加えることができるため、近年NatureやScienceなどの速報性の高い雑誌でもたびたび議論されている。しかし、誘電性の直接証拠であるヒステリシス測定は報告されておらず、応力によるSrTiO<sub>3</sub>の強誘電性出現については未だ結論が出ていない。これまでに、一軸応力下および曲げ応力下でSrTiO<sub>3</sub>単結晶を用いたX線分光測定および誘電率測定を進めてきたが、単結晶中に生じるひび割れが要因となってどちらの応力条件下においても期待された強誘電性の出現は観測されなかった。

そこで、共同研究者に10 nm厚の極薄膜をレーザー蒸発法により作製してもらった。蒸着基板を圧縮応力と引張応力の異なる歪みが生み出されるものを選び、放射光の偏光特性と元素選択性を活かしたX線分光測定を行った結果、応力の違いによってSrTiO<sub>3</sub>薄膜に誘起される双極子モーメントの向きが面直（圧縮）あるいは面内（引張）へと変化することが分かった。現在、電子相関を考慮した電子状態の計算を進めており、測定結果と理論的な解釈との整合性を検証している。分極を配向制御することで、実用的な大きさの分極をもつ強誘電体に転化する方法を探求している。

#### BaTiO<sub>3</sub>薄膜のパルス電場印加下の時分割分光測定

BaTiO<sub>3</sub>に電場を印加して誘電分極が生じると、逆圧電効果により結晶に歪みが生じる。電場に対する格子の伸びを調べたX線回折による研究報告は幾つかあるが、特にパルス電場に対するリアルタイムな応答では大きな格子歪みが現れている。また、交流電場を印加している状態で瞬間的に表れる「0 V」の状態と、全く電場を印加していない状態とでは、同じ「0 V」でも何かが異なると指摘されてきた。そこで、XAS測定により電子状態の変化を動的に捉えることが本研究の目的である。BaTiO<sub>3</sub>単結晶の分極制御に必要な電場は極めて大きく高速



応答測定には向いていない。これを解決するために、東工大のグループに100 nm厚程度のエピタキシャル薄膜を作製していただいた。1s→3d遷移に対応する前吸収構造ピーク（プリエッジピーク）に、分極反転に同期した強度変化が観測された。さらに、理論的な解釈のついていないスペクトルの肩構造に、印加電場の大きさに比例した強度変化を見出した。多重散乱理論に基づいたシミュレーション計算を併用しながら、実験で得られたスペクトル変化と電子状態の対応を明らかにした。その成果を、材料学で権威のある雑誌（Acta Materialia）に掲載し、同時に大学広報グループを通じて、関係機関とともに報道発表（プレスリリース）した。

これまで専らTi原子に着目した測定を行ってきたが、Ba原子に着目した研究にも着手している。Tiに比べ、X線のエネルギーが高いこととXASの信号強度変化が小さいことがこれまでほとんど研究されてこなかった理由である。本グループでは、薄膜試料を使って電場応答を大きく引き出す工夫をしたことに加え、逆モンテカルロ法によるモデルシミュレーションによる確度の高い考察を行っている。

## （2）光電子分光法を活用した電子状態測定の新展開

### 共鳴硬X線光電子分光法

SPring-8・名古屋大学・大阪府立大学の共同開発により、これまで汎用的ではなかった硬X線共鳴光電子分光法が一般ユーザーにも共用されるようになった。本研究グループは、令和2年度の供用開始前に試験運用する機会を得た。これまで光電子分光法でいわゆるチャージアップ（帯電）により測定が困難とされてきた誘電体物質での光電子分光測定に挑戦し、ある程度の成功を収めた。入射X線エネルギーを固定した通常の光電子分光測定に加え、XAS測定のように入射エネルギーを各元素の吸収端に共鳴させながら測定する共鳴光電子分光を、Ti KおよびBa L3吸収端で行った。構成元素の各内殻準位から光電子に加え、オージェ電子といわれる特定内殻準位を共鳴的に励起した光電子の検出をすることで、多体効果を取り込んだ部分電子状態密度の実験的測定が可能になった。現在、本格的な測定を進めるために、すでに測定されたデータの詳細な解析を進めている。この測定手法が確立されれば、これまで実現不可能と思われてきた誘電体の価電子帯と伝導帯の正確な電子状態測定が可能になり、物性の理解と物質機能の改善に大きく貢献するものと期待している。

### オペランド光電子分光法

本研究グループでは、TiO<sub>2</sub>ナノ粒子を用いた触媒活性評価と表面バンド折れ曲がりの研究を行ってきた。未だ十分に解決に至っていないTiO<sub>2</sub>の触媒活性のメカニズムとして、活性の場が物質表面だけであるのか、なぜ幾つかある構造異性体の中でアナターゼ構造の活性が高いのか、結晶サイズと活性の違いはなぜ起こるのかなど、枚挙に暇がない。共同研究者と協力のもとで、単結晶試料の異なる面方位の触媒活性を丁寧に調べるのが重要であるとの理解に至った。そこで、光電子分光測定装置に、放射光X線と紫外線レーザーの焦点を合わせて入射し、有機分子を吸着させたTiO<sub>2</sub>表面における脱離速度の違いを図った。面方位による違いなど、これまで十分に議論されてこなかった情報について、現在解析を進めている。

## （3）高圧下での物性研究

### 元素選択的な弾性特性からみるインバー効果の起源

インバー効果として知られるFe<sub>65</sub>Ni<sub>35</sub>合金の小さな熱膨張率は、大きな自発体積磁歪が熱膨

張を相殺する現象である。しかし、原子間結合のポテンシャルがどのように磁気構造の影響を受けるか？というミクロな視点でみると、インバー効果の起源は未だ分かっていない。現在最も有力な理論とされるNon-collinear spin structureモデルによると、Feの持つ磁気モーメントの格子の収縮に対する揺らぎがNi原子のそれよりも大きいことで生じる弾性異常が、 $\text{Fe}_{65}\text{Ni}_{35}$ のインバー効果の起源とされる。本研究ではこの理論の実験的な検証として、吸収元素周りの局所構造を取り出すことができる広域X線吸収微細構造 (EXAFS) を高圧下で測定することで、元素選択的な体積弾性率の異常を探索している。 $\text{Fe}_{65}\text{Ni}_{35}$ インバー合金の場合、強磁性相の特徴である小さな体積弾性率が主にFe周りの軟らかい結合が担うことを報告した。本研究ではさらに、逆モンテカルロ法による構造解析を導入し、Fe-Fe、Fe-Ni、Ni-Ni原子対を分離した合金構造の可視化を試み、インバー効果の理解を進めている。

#### 合金および金属間化合物における水素化効果の研究

水素を圧力媒体としてフェリ磁性体のラーベス相化合物 $\text{GdFe}_2$ を加圧すると、水素との直接反応によって常磁性転移を起こし、さらに加圧すると常圧とは異なる強磁性相が生じることが放射光メスバウアー分光法とX線磁気円二色性測定 (XMCD) で観測されている。さらに $\text{GdFe}_2$ よりもフェリ磁性への転移温度が低い $\text{GdCo}_2$ に着目して、水素による磁気状態の変化を高圧下で調べたところ、 $\text{GdCo}_2$ の場合も2段階の磁気転移が見出だされた。詳細にみると、XMCDの圧力変化には $\text{GdFe}_2$ とはいくつか異なる相違が見出されている。以上のこれまでの実験は重希土類フェリ磁性化合物が実験対象だったが、強的な磁気カップリングを示す軽希土類の磁性化合物は水素の効果の理解のために重要である。このため永久磁石材料の一つである $\text{SmCo}_5$ に着目し、高圧下で水素化した場合のXMCDを測定している。さらにXMCDではこれまで観測できなかった希土類元素の磁化の反転を見出すために、遷移金属の組成が多い $\text{Gd}_2\text{TM}_{17}$  (TM=Fe, Co) 化合物における水素誘起の圧力変化にも測定を着手した。

#### Multi-Mbar領域のXAS測定

100 GPaから1 TPaまでのmulti-Mbar領域では水素の金属化や室温超伝導など常圧下では見られない新奇物性の発現が期待される。ドイツのDubrovinskyらが開発した2段式ダイヤモンドアンビルセル(ds-DAC)は、multi-Mbarの静的圧力発生の有効な手法となっている。現在、世界の複数のグループでds-DACのアンビルの材質・形状等の技術開発が進められている。ds-DACの発生圧力は加圧された試料体積と状態方程式から評価するため、現在、X線回折が主な測定手法である。しかし、試料体積は広域 X線吸収微細構造 (EXAFS) 振動でも導出でき、かつX線吸収端近傍構造 (XANES) は吸収原子の電子軌道の非占有状態密度に対応する情報を含む。このため、これらを総称したXAFSとds-DACを組み合わせれば、multi-Mbar領域で結晶構造と電子状態を同時に検出できる利点がある。しかしこの取り組みはまだ着手されていない。そこで我々は、ds-DACで5d遷移金属を加圧してL2,3端XAFS測定を行い、multi-Mbar領域におけるXAFSの測定精度や有用性を検証している。

#### 共同研究

学外の教育研究機関との共同研究として、以下の研究を推進している。

- ESRF での新規実験テーマ提案に向けた共同研究
- 愛媛大学 GRC との共同研究、ナノ多結晶ダイヤモンドアンビルの提供と高圧発生技術の共同研究

- ・産総研, 広大先端研からの純良試料の提供
- ・東京理科大学, XAFS 解析技術の共同研究
- ・ラトビア大学との新規スペクトル解析に基づくチタン酸ストロンチウムおよびチタン酸バリウムの局所分極
- ・東京工業大学理学研究科と天然チタン酸化物単結晶を用いた光触媒研究
- ・東京工業大学フロンティア材料研究所から酸化物薄膜の試料提供 (酸化ハフニウム薄膜, チタン酸バリウム薄膜, アルミフェライト薄膜)
- ・静岡大学工学部から良質の元素置換型ペロブスカイトチタン酸化物の資料提供
- ・弘前大学理工学研究科と放射光X線発光分光 (硬X線および軟X線) の共同研究
- ・Spring-8, 大阪府立大学と共鳴硬X線光電子分光の共同研究

#### 原著論文

- [1] Dielectric response of BaTiO<sub>3</sub> electronic states under AC fields via microsecond time-resolved X-ray absorption spectroscopy; S. Kato, N. Nakajima, S. Yasui, S. Yasuhara, D. Fue, J. Adachi, H. Nitani, Y. Takeichi, A. Anspoks; Acta Materialia 207, 116681 (2021) [6 Pages] doi:10.1016/j.actamat.2021.116681
- [2] ○Strong variant selection observed in the  $\alpha$ - $\epsilon$  martensitic transition of iron under quasihydrostatic compression along [111]<sub>α</sub>; Naoki Ishimatsu, Daiki Miyashita, and Saori I. Kawaguchi; Phys. Rev. B 102, 054106 (2020) [10 Pages] doi:10.1103/PhysRevB.102.054106
- [3] Melting curve and phase relations of Fe-Ni alloys: implications for the Earth's core composition; R. Torchio, S. Boccato, F. Miozzi, A. D. Rosa, N. Ishimatsu, I. Kantor, N. Sevelin - Radiguet, R. Briggs, C. Meneghini, T. Irifune, G. Morard; Geophys. Res. Lett. 47, e2020GL088169 (2020) [6 Pages] doi:10.1029/2020GL088169
- [4] Photoluminescence mechanism of self-activated titanate phosphors investigated by x-ray absorption spectroscopy under UV irradiation; Dongxiao Fan, Nobuo Nakajima, and Seiya Kato; J. Phys.:Condens. Matter 32, 355503 (2020) [6 Pages] doi:10.1088/1361-648X/ab8cdd

#### 著書

該当無し

#### 国際会議

(招待講演)

##### [1] Naoki Ishimatsu

「Iron and Fe-Ni Invar alloy: complementary approach to their structural and magnetic transitions by using XAS/XMCD and XRD」

MEx group meeting@ESRF (2020.12.10, オンライン開催)

(一般講演)

該当無し

国内学会

(依頼講演)

[1] 石松直樹

「NPDを用いたX線吸収分光による高压物性研究の現状」

第7回愛媛大学先進超高压科学研究拠点(PRIUS)シンポジウム (2021.3.2, オンライン)

(一般講演)

[1] ◎○石松直樹, 岩崎 駿, 甲佐美宇, 加藤盛也, 中島伸夫, 北村尚斗, 河村直己, 水牧仁一朗, 野村龍一, 柿澤 翔, 角谷 均, 入船徹男

「Fe-Niインバー合金の圧力下EXAFSとXRDを用いたRMC法による合金構造解析」

日本物理学会 第76回年次大会 (2021.3.12-15, オンライン)

[2] 石本賢太郎, 金森 奨, 石松直樹, 河村直己, 河口沙織, 榊 浩司, 中村優美子, 中野智志

「希土類金属磁石材料SmCo<sub>5</sub>の水素雰囲気高压下の磁気構造と結晶構造」

日本物理学会 第76回年次大会 (2021.3.12-15, オンライン)

[3] 小泉堯嗣, 本多史憲, 河村直己, 小林慎太郎, 河口沙織, 石松直樹, 佐藤芳樹, 本間佳哉, 青木 大

「放射光X線を用いたUTe<sub>2</sub>の高压相の結晶構造解析」

日本物理学会 第76回年次大会 (2021.3.12-15, オンライン)

[4] 河村直己, 本多史憲, 石松直樹, 雀部矩正, 広瀬雄介, 高山昂己, 青木 大

「高エネルギー分解能X線吸収分光法によるウラン化合物の高压下ウラン価数状態の研究」

日本物理学会 第76回年次大会 (2021.3.12-15, オンライン)

[5] 本多史憲, 小泉堯嗣, 河村直己, 小林慎太郎, 河口沙織, 石松直樹, 佐藤芳樹, 本間佳哉, 青木 大

「スピン三重項超伝導体UTe<sub>2</sub>の圧力誘起構造相転移」

日本物理学会 第76回年次大会 (2021.3.12-15, オンライン)

[6] 手塚泰久, 高橋瑞樹, 浅利真人, 加藤梨紗, 野澤俊介, 中島伸夫, 岩住俊明

「共鳴X線ラマン散乱による遷移金属酸化物の非占有電子構造の研究」

日本物理学会 第76回年次大会 (2021.3.12-15, オンライン)

[7] 中島伸夫, 熊谷学人, 安井伸太郎

「X線吸収分光法によるチタン酸ストロンチウム薄膜の歪み誘起強誘電性の研究」

2020年度量子ビームサイエンスフェスタ/第38回PFシンポジウム (2021.3.9-11, オンライン)

[8] 加藤梨紗, 高橋瑞樹, 浅利真人, 野澤俊介, 中島伸夫, 岩住俊明, 手塚泰久

「共鳴 X 線ラマン散乱による遷移金属酸化物の非占有電子構造の研究」

2020年度量子ビームサイエンスフェスタ/第38回PFシンポジウム (2021.3.9-11, オンライン)

[9] 石松直樹

「NPDを用いたX線吸収分光による高压物性研究の現状」

第7回愛媛大学先進超高压科学研究拠点(PRIUS)シンポジウム (2021.3.2, オンライン)

[10] 廣森慧太, 小澤健一, 相浦義弘, 間瀬一彦, 中島伸夫

「アナターゼ TiO<sub>2</sub> 単結晶表面におけるテラス領域とエッジ近傍での価電子バンド構造

と光触媒活性の相関」

第34回日本放射光学会年会・放射光科学合同シンポジウム (2021.1.8-10, オンライン)

- [11] 小澤健一, 相浦義弘, 廣森慧太, 中島伸夫, 間瀬一彦  
「顕微光電子分光測定による TiO<sub>2</sub>結晶表面の物性評価」  
第34回日本放射光学会年会・放射光科学合同シンポジウム (2021.1.8-10, オンライン)
- [12] 高橋瑞樹, 浅利真人, 加藤梨沙, 野澤俊介, 中島伸夫, 岩住俊明, 手塚泰久  
「共鳴X線ラマン散乱による Ti酸化物の電子構造の研究」  
第34回日本放射光学会年会・放射光科学合同シンポジウム (2021.1.8-10, オンライン)
- [13] 加藤盛也, 中島伸夫, 安井伸太郎, 足立純一, 仁谷弘明, 武市泰男, 大沢仁志, 加藤和男, Andris Anspoks  
「時間分解XAFSによる強誘電体BaTiO<sub>3</sub>の交流電場応答」  
第23回XAFS討論会 (2020.9.9-11, オンライン)
- [14] ◎○石松直樹, 岩崎 駿, 甲佐美宇, 加藤盛也, 中島伸夫, 河村直己, 水牧仁一朗, 野村龍一, 柿澤 翔, 角谷 均, 入船徹男, 北村尚斗  
「EXAFSと逆モンテカルロ法によるFe-Niインバー合金の合金構造とその圧力変化の精密解析」  
第23回XAFS討論会 (2020.9.9-11, オンライン)
- [15] 廣森慧太, 中島伸夫, 小澤健一  
「アナターゼ型二酸化チタン単結晶表面の価電子バンド構造と光触媒活性の相関：テラス領域とエッジ領域の比較」  
日本物理学会 秋季大会 (2020.9.8-11, オンライン)
- [16] 石本賢太郎, 金森 奨, 石松直樹, 河村直己, 榎 浩司, 中村優美子, 中野智志  
「X線磁気円二色性でみるSmCo<sub>5</sub>の水素雰囲気高圧下の磁気構造と水素の効果」  
日本物理学会 秋季大会 (2020.9.8-11, オンライン)
- [17] 本多史憲, 河村直己, 下笠諒平, 三村功次郎, 石松直樹, 仲村 愛, 辺土正人, 仲間隆男, 大貫惇睦  
「スピン三重項超伝導体UTe<sub>2</sub>の圧力誘起構造相転移」  
日本物理学会 秋季大会 (2020.9.8-11, オンライン)
- [18] 手塚泰久, 上出晴輝, 任皓 駿, 渡辺孝夫, 中島伸夫, 八方直久, 木村耕治, 林 好一, 細川伸也  
「蛍光X線ホログラフィーによるAサイト秩序型ペロブスカイトCaCu<sub>3</sub>Ti<sub>4</sub>O<sub>12</sub>の局所構造研究III」日本物理学会 秋季大会 (2020.9.8-11, オンライン)

#### 学生の学会発表実績

(国際会議)

- |                            |     |
|----------------------------|-----|
| ○博士課程前期の学生が共同発表者の発表件数      | 0 件 |
| ○博士課程後期の学生が共同発表者の発表件数      | 0 件 |
| ○博士課程前期・後期の学生が共に共同発表者の発表件数 | 0 件 |

(国内学会)

- 博士課程前期の学生が共同発表者の発表件数 8 件
- 博士課程後期の学生が共同発表者の発表件数 3 件
- 博士課程前期・後期の学生が共に共同発表者の発表件数 2 件

社会活動・学外委員

○学協会委員

- [1] 中島伸夫：第 15 回 RCBJSF（日本・ロシア・バルト 3 国・国家共同体誘電体会議）  
プログラム委員長
- [2] 中島伸夫：日本放射光学会 編集委員
- [3] 中島伸夫, 石松直樹：第 23 回日本 XAFS 討論会 実行委員
- [4] 中島伸夫：日本学術振興会 特別研究員等審査委員
- [5] 石松直樹：SPring-8 ユーザー共同体 高圧物質科学研究会 代表

○外部評価委員等

- [1] 石松直樹：(財)高輝度光科学研究センター, 外来研究員
- [2] 中島伸夫：SPring-8 利用研究課題審査委員会・審査員
- [3] 石松直樹：SPring-8 利用研究課題審査委員会・審査員

高大連携事業への参加状況

該当無し

国際交流

- [1] 中島伸夫：ラトビア大学物性物理学研究所の研究員と週1～2回の頻度でのオンラインミーティングを研究室学生も参加して継続的に実施している（現在も継続中）。
- [2] 石松直樹：欧州放射光施設 (ESRF) の A. Rosa 博士をクロスアポイントメント特任助教として招聘。招聘は令和3年度から令和4年度の予定。

各種研究員と外国人留学生の受入状況

○外国人留学生

- [1] 大学院理学研究科博士課程後期, 2017年10月入学生, 1名（中国）

研究助成金の受入状況

- [1] 中島伸夫：科学研究費補助金基盤研究(B)（平成30年度-令和2年度）（代表, 16,400千円）  
課題名：「X線分光による酸素の異方的電子状態が誘起する酸化物薄膜の新規強誘電性の解明」
- [2] 石松直樹：広島大学 科研費ステップアップ支援制度（令和2年度）（代表, 1,000千円）  
課題名：「高圧化XAS測定の新技術開発と遷移金属合金の構造決定法の確立」
- [3] 石松直樹：科学研究費補助金基盤研究(B)（令和2年度-5年度）（分担, 500千円）  
課題名：「圧力磁場誘起らせん秩序の観測によるキラリティ自発形成機構の研究」

## ○光物性グループ

### 研究活動の概要

機能性材料のもつ電氣的，磁氣的，熱的な性質はそのバンド構造に支配されていると言っても過言ではない。そのため，材料固有のバンド構造を理解することは，基礎的，応用的な観点からとても重要である。角度分解光電子分光（Angle-resolved photoelectron spectroscopy = ARPES）は，固体の占有バンド構造を直接観測する有用な実験手法と捉えられる。例えば，エネルギーギャップの存在は，金属か半導体（絶縁体）であるかどうかを決め，バンド分散の傾きや曲率が電子の速度や有効質量を決める。また高温超伝導体については電子クーパー対における「のり」の役割を担う相互作用の起源に迫るべく，これまでARPESは重要な役割を果たしてきた。光物性研究室では，放射光やレーザーを用いて，磁性体，超伝導体，トポロジカル絶縁体・半金属，熱電変換材料などの機能性物質の詳細な電子構造や結晶構造を実験的に観測し電氣的，磁氣的，熱的性質の起源を解明することを目的として研究を行っている。

### (1) 巨大異常ネルンスト効果を示すホイスラー合金 $\text{Co}_2\text{MnGa}$ の電子構造の解明

近年，磁性体に熱流を印加した際に生じる異常ネルンスト効果が環境発電の観点から大きな注目を集めている。異常ネルンスト効果は，磁性体に熱流を流す際に，温度勾配と磁化に直交する方向に電圧を生じる現象である。類似した熱電効果としてゼーベック効果がよく知られているが，大面積かつ柔軟性を持つモジュールの作成などの観点で異常ネルンスト効果は高い優位性を示す。また，構成材料に有毒元素を含まない点も特筆すべき点である。しかしながら，異常ネルンスト効果による熱電能は一般に $1.0 \mu\text{V/K}$ 以下と極めて低いため， $10\text{-}20 \mu\text{V/K}$ クラスの熱電能が要求される実用環境発電や高感度熱流センサーに応用するためには熱電能の大幅な向上が求められている。近年発見されたワイル磁性体は鉄などの典型的な磁性体よりも一桁程度大きな熱電能を実現できることがわかってきた。このような熱電能の増強には，フェルミ準位近傍の電子構造が生み出す「仮想磁場」の存在が重要な役割を果たすと考えられている。しかし，実験手法が限られることとその困難さから，電子構造に関する実験的研究はこれまでほとんど行われてこなかった。

本研究では，巨大異常ネルンスト効果が報告されているホイスラー合金 $\text{Co}_2\text{MnGa}$ に着目し，広島大学放射光科学研究センター（HiSOR）のシンクロトロン放射光を利用したスピン・角度分解光電子分光実験を行い，熱電能と電子構造の対応関係を明らかにした。一般に，角度分解光電子分光実験には超高真空中で平坦かつ清浄表面をもつ試料が必要となる。しかし，ホイスラー合金のバルク単結晶はその3次元的な結晶構造から，真空中で平坦な表面を得ることが困難であり，これまでほとんど角度分解光電子分光実験が行われてこなかった。そこで本研究では，物質・材料研究機構（NIMS）の桜庭裕弥グループリーダーと協力し，原子レベルで平坦な表面および大きな残留磁化を持つ高品質ホイスラー合金薄膜を作成した。薄膜試料の表面汚染を防ぐため，試料はポータブル真空輸送チャンバーによってNIMSから放射光科学研究センターHiSORに大気に晒すことなく輸送し，スピン・角度分解光電子分光を行った。その結果， $\text{Co}_2\text{MnGa}$ 薄膜中にスピン偏極したワイル粒子が存在することを世界で初めて明らかにした。また，組成比をわずかに変化させた薄膜試料を複数作成し，電子構造と熱電能の対応関係を調べたところ，ワイル粒子によって構成されるバンド分散がフェルミ準位に近づくにつれて熱電能が系統的に上昇することがわかった。今回観測した $\text{Co}_2\text{MnGa}$ 薄膜の熱電能

は最大で $6.2 \mu\text{V/K}$ に達し、過去に報告されていた $\text{Co}_2\text{MnGa}$ 薄膜の約2倍以上となっており、バルク単結晶試料の最高値にも匹敵する。これらの実験結果は第一原理計算によって再現され、ワイル粒子から構成されるバンド分散が巨大仮想磁場の源となり、熱電能を増強していることを突き止めた。

本研究の成果は、Springer Nature のオープンアクセスジャーナル「Communications Materials」に、ロンドン時間の2020年11月24日10時（日本時間：2020年11月24日19時）に掲載された（原著論文[3]）。広島大学よりプレス発表（<https://www.hiroshima-u.ac.jp/adse/news/61671>）を行った。また当該研究成果が科学新聞にも掲載された（2020.12.18, 4面）。本研究は、日本学術振興会（JSPS）科学研究費補助金基盤研究A「非共型な結晶対称性を持つ強相関物質の電子状態観測とトポロジーの解明（課題番号：18H03683, 研究代表者：木村昭夫）」、同基盤研究S「実用デバイスに向けたハーフメタルホイスラー合金のスピン依存伝導機構の解明（課題番号：17H06152, 研究代表者：宝野和博）」、同基盤研究 S「トポロジカル相でのバルク・エッジ対応の多様性と普遍性:固体物理を越えて分野横断へ（課題番号：17H06138, 研究代表者：初貝安弘）」などの支援を受けて行われた。

## (2) 多機能性合金のハーフメタル電子状態の直接観測

超スマート社会 Society5.0 の実現のためには、爆発的に増加するデータの処理や IoT 機器の増加、あるいは人工知能によって消費される電力を桁違いに低減する技術が必要となる。現在では電子の電荷を利用して情報処理を行うエレクトロニクスデバイスが主流になっているが、電荷の情報は放っておくと消えてしまうため、常に外部電源が必要になる。そのような中、電子のスピンを利用して情報を記録・伝達する次世代のスピンエレクトロニクスデバイスが注目されている。電子のスピンを利用することで、外部電源が不要な省電力メモリやさらなる高密度・高性能化が期待される。電子のスピンを制御するためには、例えば上向きスピンを持った電子は通し、下向きスピンを持った電子は通さないといった、スピン選択的な電気伝導性を示す材料が必要となる。 $\text{Co}_2\text{MnGe}$  に代表されるホイスラー合金は、1990年代から理論的にハーフメタルな電子構造を持つことが予言されており、 $\text{Co}_2\text{MnGe}$  を用いたスピンエレクトロニクスデバイスの開発も行われてきた。しかし、未だ実用化には至っておらず、そもそもの電気伝導性の起源である電子のバンド構造の直接観測が求められてきた。電子のバンド構造を観測する強力な手法として、角度分解光電子分光（ARPES）が知られているが、高い規則度と原子レベルで平坦な清浄表面を必要とする。ホイスラー合金のように3次元的な結晶構造を持ち、元素置換の起こりやすい合金系でのバンド構造の観測は困難で、古くから研究されているにも関わらずそのハーフメタル性の起源となるバンド構造を実験的に確かめた報告は皆無であった。

本研究では高品質な単結晶試料を超高真空中で破断し、非常に絞られた放射光を用いて 10 マイクロメートル程度の大きさの平坦表面を狙って測定するという大胆な手法により、今まで明らかになっていなかった  $\text{Co}_2\text{MnGe}$  ホイスラー合金の3次元的なバンド構造を初めて観測した。さらに、観測されたバンド構造は理論計算結果とよく対応し、 $\text{Co}_2\text{MnGe}$  がハーフメタルなバンド構造をもつことが実験的に明らかになった。

これまで、ARPES 測定に用いられてきた光のスポットサイズは0.1~1 ミリメートル程度で、平坦性の悪い3次元材料や合金系のバンド構造を運動量に分解して観測することは困難だと考えられていた。しかし、10 マイクロメートル程度の絞られた光を用いることで、これまで観測困難だったホイスラー合金のバンド構造の観測が可能となり、さらなる ARPES 研究の進展が期待される。また、求める物性が実現する材料を探索する際に、考えられる全ての元素の



組み合わせ、組成比で試料を作成すると膨大なコストと時間がかかる。そこで、近年の計算機の処理能力の向上に伴い、高度な理論計算によって大量の元素の組み合わせから求める物性が得られる候補物質を探索する研究が進められている。Co<sub>2</sub>MnGe ホイスラー合金のバンド構造を実際に観測し、理論計算結果とよい一致を示したことは、このようなシミュレーションによる物質探索の手がかりとなることが期待される。

本研究の成果は、米国の科学雑誌「Physical Review Letters」に、アメリカ東部時間の2020年11月19日午前10時（日本時間：2020年11月20日午前0時）に掲載された（原著論文[4]）。また、広島大学よりプレス発表（<https://www.hiroshima-u.ac.jp/news/61483>）を行った。また当該研究成果が日刊工業新聞・電子版にも掲載された（2020.12.10）。本研究は、日本学術振興会（JSPS）科学研究費補助金基盤研究A「非共型な結晶対称性を持つ強相関物質の電子状態観測とトポロジーの解明（課題番号：18H03683，研究代表者：木村昭夫）」，同基盤研究S「実用デバイスに向けたハーフメタルホイスラー合金のスピン依存伝導機構の解明（課題番号：17H06152，研究代表者：宝野和博）」，同基盤研究 S「トポロジカル相でのバルク・エッジ対応の多様性と普遍性:固体物理を越えて分野横断へ（課題番号：17H06138，研究代表者：初貝安弘）」などの支援を受けて行われた。軟X線角度分解光電子分光実験は高輝度光科学研究センター（JASRI）の採択課題（2019A1548）のもと SPring-8 BL25SU にて行われた。

### (3) 相変化材料におけるディラック電子状態の直接観測

相変化材料は、同じ固体中で結晶相とアモルファス相の間で瞬時に電気抵抗率を数桁変化させることが可能な材料である。近年、相変化材料はコンピュータなどに使われる不揮発性メモリ（電源を切っても記憶が保持されるメモリ）などへの応用の観点から大きな注目を集めている。2010年以降、GeSb<sub>2</sub>Te<sub>4</sub>やGe<sub>2</sub>Sb<sub>2</sub>Te<sub>5</sub>などの化合物が、トポロジカル絶縁体と同様の特殊な電子構造を持つという理論予測がなされ、相変化材料の新たな側面にも注目が集まってきた。一方、このような数桁もの電気抵抗率の変化のメカニズムや、トポロジカルな側面の実験的検証については全く手付かずの状況であった。これらを明らかにするためには、フェルミレベル（固体中で電子が占有された最大のエネルギー）付近の詳細な電子構造への実験的なアプローチが必要となる。

そこで本研究チームは、相変化材料の一つである GeSb<sub>2</sub>Te<sub>4</sub> の結晶相について、広島大学の放射光科学研究センターのシンクロトロン放射光やレーザー光を用いた角度分解光電子分光の高精度な実験を行なったところ、グラフェンによく似た直線的なエネルギーバンドを捉えた。この実験結果から、質量ゼロのディラック型のエネルギーバンド（通称ディラックコーン）が GeSb<sub>2</sub>Te<sub>4</sub> の結晶相の電気伝導を担っていることが世界で初めて明らかになった。さらに東京大学物性研究所の時間・角度分解光電子分光を用いて実験を行った結果、同化合物がトポロジカル絶縁体と同様の特殊な電子状態を持つことが初めて明らかとなった。

世界中で注目されているグラフェンにも、応用上大きな弱点が存在する。それはグラフェンには、通常の半導体のようなバンドギャップが存在しないため、電子の伝導性を外部から制御して信号のオン・オフ比を大きくすることが難しいことで、このことが電子・光学デバイスへの応用に大きな課題になっていた。相変化材料は外部制御により大きなオン・オフ比が実現できるため、GeSb<sub>2</sub>Te<sub>4</sub>はグラフェンの弱点を克服できるポスト・グラフェン材料として超高速電子デバイス等への応用が期待される。また本研究から、GeSb<sub>2</sub>Te<sub>4</sub>の結晶相がトポロジカル絶縁体と同様の電子構造を持つことが明らかになった。このことからまず、トポロジカル絶縁体を利用した未解明の全く新しい量子現象を観測する舞台となることが期待される。またトポロ

ジカル絶縁体の最大の特徴は「スピン流」である。キャリア制御をうまく行うことで、このスピン流を利用した次世代のスピン트로ニクスデバイスとしての利用も大いに期待される。

本研究の成果は、米国の科学雑誌「ACS Nano」に2020年7月7日（日本時間）に掲載された（原著論文[6]）。また、広島大学よりプレス発表（<https://www.hiroshima-u.ac.jp/news/58981>）を行った。本研究は、日本学術振興会（JSPS）科学研究費補助金基盤研究A「非共型な結晶対称性を持つ強相関物質の電子状態観測とトポロジーの解明（課題番号：18H03683，研究代表者：木村昭夫）」，同基盤研究S「実用デバイスに向けたハーフメタルホイスラー合金のスピン依存伝導機構の解明（課題番号：17H06152，研究代表者：宝野和博）」，同基盤研究S「トポロジカル相でのバルク・エッジ対応の多様性と普遍性：固体物理を越えて分野横断へ（課題番号：17H06138，研究代表者：初貝安弘）」などの支援を受けて行われた。

(4) ホイスラー合金 $\text{Co}_2\text{MnGe (Ga)}$ 薄膜のGe (Ga)  $L_{2,3}$ 端における磁気円二色性スペクトル解析  
フルホイスラー合金は、 $\text{X}_2\text{YZ}$ の組成を持つ典型的規則合金である。その中でも $\text{X}=\text{Co}$ としているCo基ホイスラー合金の多くは、フェルミレベル( $E_F$ )近傍にて一方のスピンの状態密度にバンドギャップが存在し、スピン偏極度100%のハーフメタルになることが予測されている。この特異な電子構造を利用し、高スピン偏極材料としてトンネル磁気抵抗(TMR)素子や巨大磁気抵抗(GMR)素子など、スピン트로ニクスデバイスへの応用が期待されている。特に $\text{Co}_2\text{MnGe}$ は理想的なハーフメタルの状態密度(DOS)を持っていることがすでに第一原理計算より示されており[I. Galanakis *et al.*, Phys. Rev. B **66**,174429 (2002)]，実験的には硬X線光電子分光により電子状態が明らかにされている[S. Ouardi *et al.*, Phys. Rev. B **84**, 155122 (2011)]。さらにX線磁気円二色性(XMCD)実験により、非磁性元素も磁元素に誘起され、磁気モーメントをもつことが分かってきた[K. Miyamoto *et al.*, J. Phys. Condens. Matter **16**, S5797 (2004)][K. Nagai *et al.*, Phys. Rev. B **97**, 035143 (2018)]。一方、そのスペクトル形状は複雑であり、その物理的な解釈についての考察は未だ行われていない。まずは、 $\text{Co}_2\text{MnGe (Ga)}$ フルホイスラー合金薄膜において観測したGe (Ga)  $L_{2,3}$ 吸収端におけるXMCDについて、第一原理計算によるGe (Ga) 4d軌道の非占有部分状態密度(PDOS)と比較した。しかし、水素様原子モデルによる解析ではほとんど寄与しないと考えられていたGe (Ga)の4s軌道が大きく寄与することが分かった。そこで今度はブロッホ関数を考慮して、フェルミの黄金律に基づいたXAS/XMCDスペクトルの計算を行ったところ実験結果をより再現した。本研究は、非磁性サイトのXAS/XMCDスペクトルが、非占有状態のスピン分極PDOSを明らかにするだけでなく、機能性材料設計へのフィードバックを行うための実験ツールになりうることを示唆する。

本研究の成果は、米国の科学雑誌「Physical Review B」に掲載された（2020年8月26日）（原著論文[5]）。本研究はJSPS 科研費17H06152の助成を受けて行われた。XAS/XMCD分光実験はSPRING-8 BL23SUにて文部科学省委託事業ナノテクノロジープラットフォームの支援を受けて実施された（2018B3842）。

(5) 反強磁性トポロジカル絶縁体の発見 -室温での無散逸伝導実現に向けて

本研究グループは、ロシア・サンクトペテルブルグ大学やスペイン・ドノスティア国際物理センターなどと共同で反強磁性トポロジカル絶縁体を世界で初めて発見した。トポロジカル絶縁体とは、物質内部（バルク）が絶縁体で表面が金属になる物質である。ただし、絶縁体の上に金属をコーティングしたものとは異なり、その表面で有効質量がゼロでスピン分極した線形分散が交差するディラック電子バンドを形成するのが特徴である。トポロジカル絶

縁体か普通の絶縁体かの違いは、そのバンド構造の違いにより決定され、スピン軌道相互作用によって引き起こされる「バンド反転」がトポロジカル絶縁体になるための必要条件となる。例えばよく知られる化合物半導体のGaAsは価電子帯頂上と伝導帯の底がそれぞれp軌道とs軌道から構成されるが、スピン軌道相互作用がより大きくなると、それらが反転しトポロジカル絶縁体となりうる（例えばHgTeなど）。トポロジカル絶縁体に今度は磁性を持たせると、その表面状態にエネルギーギャップが開き、量子異常ホール効果（QAHE）が起こる。QAHEとは、よく知られる量子ホール効果（QHE）と同じくホール伝導度が量子化する現象であるが、これが外部磁場をかけなくとも起こるという現象を指す。2013年に (Bi,Sb)<sub>2</sub>Te<sub>3</sub>にCrやVをドーブした希薄磁性トポロジカル絶縁体が量子異常ホール効果を示すことが見出され、大きな注目を浴びた。QHEやQAHEはともに系のバンド構造に起因したトポロジカルな現象であり、特徴的なこととしてその側面に一方向に走るエッジ電流（カイラルエッジ電流）が流れる。このカイラルエッジ電流は不純物等により散乱を受けず進み続ける無散逸なものであるため、これをデバイス化すれば消費電力を大幅に下げることが可能になると期待される。特にQAHEは外部磁場が不要な点で実用化には有利である。ただし、現状ではQAHEが起こる温度は最高でも2Kという極低温に留まっているため、室温で実現するためにはなんらかのブレークスルーが必要であり、少なくとも磁性元素が希薄でまばらに分布している物質ではなかなか実現が難しいと思われる。そもそも、希薄磁性トポロジカル絶縁体では、磁性原子の間の距離が長いため、安定した強磁性状態を保つのが難しく、強磁性転移温度が低くなってしまふ。磁性ドーブ型ではなく、化学量論組成の磁性トポロジカル絶縁体の実現できればQAHEが現れる温度も上昇すると期待される。

このような中、本研究ではまず、層状の反強磁性体MnBi<sub>2</sub>Te<sub>4</sub>が磁性トポロジカル絶縁体になりうることを第一原理計算より示した。また表面ディラック電子バンドはバルクバンドに開いたエネルギーギャップ中に存在しているが、通常のとポロジカル絶縁体と異なり、表面バンドに88 meVのエネルギーギャップが開いていることも示された。実際にこの反強磁性体がトポロジカル絶縁体であるかどうかを検証するためにはこの表面ディラック電子バンドとエネルギーギャップの有無を実験的に検証する必要がある。そこで本研究では、実際に物質合成を行い、広島大学放射光科学研究センターにて放射光やレーザーを励起光源とした角度分解光電子分光（ARPES）を行った。その結果、エネルギーギャップの開いた表面ディラック電子バンドを直接的に観測しMnBi<sub>2</sub>Te<sub>4</sub>が反強磁性トポロジカル絶縁体であることを世界で初めて明らかにした。

本研究の成果は、Springer Nature のオープンアクセスジャーナル「npj Quantum Materials」と「Scientific Reports」とにそれぞれ2020年8月3日と2020年8月6日に掲載された（原著論文[10, 11]）。

#### (6) ホイスラー合金Co<sub>2</sub>Cr(Ga,Si)におけるリエントラント・マルテンサイト変態機構の研究

Co基ホイスラー合金はハーフメタル材料の有力候補として知られているが、近年Co<sub>2</sub>CrGaとCo<sub>2</sub>CrSiの混晶系において形状記憶効果が現れることが報告された[X. Xu et al., Appl. Phys. Lett. **103**, 164104 (2013)]。形状記憶効果はマルテンサイト変態と密接に関連しており、高温における母相が冷却によってマルテンサイト相へと相転移することに起因している。しかし、Co<sub>2</sub>Cr(Ga,Si)合金では、マルテンサイト相をさらに冷却することによって再び母相が現れる、リエントラント挙動を示すことが明らかになっている。このような冷却誘起マルテンサイト逆変態を示す物質は非常に稀であり、金属では純鉄以外に類を見ない。

本研究では、光物性研究室，東北大学電気通信研究所，東北大学大学院工学研究科，物質・材料研究機構，日本原子力研究開発機構の共同研究として， $\text{Co}_2\text{Cr}(\text{Ga},\text{Si})$ 合金に発現するリエントラント・マルテンサイト変態機構を電子状態の観点から明らかにすることを目的に，硬X線光電子分光，軟X線磁気円二色性分光および第一原理計算を行った。実験はSPring-8 BL15XU, BL23SUにおいて行い300-20Kの範囲で温度依存性を測定した。

硬X線光電子分光により得られた価電子帯光電子分光スペクトルには，冷却を行うことで，フェルミ準位近傍の電子状態に顕著な変化が現れ，リエントラント・マルテンサイト変態を反映した電子状態が観測された。また，20Kでは300Kに比べてスピン磁気モーメントが大幅に増加することが軟X線磁気円二色性分光より明らかになった。これらの電子状態の変化は第一原理計算からも再現された。更に，母相のフェルミ準位近傍ではCo 3dおよびCr 3d軌道が高い状態密度を有していることが第一原理計算より明らかになり，これらが構造不安定性を誘起しマルテンサイト相を安定化させていると考えられる。

#### (7) 超高分解能角度分解光電子顕微分光装置 ( $\mu$ -ARPES) による高温超伝導体の不均一なエネルギーギャップの観測

角度分解光電子分光は，波数空間における電子構造を観測するのに最適な測定手段だが，実空間を分解できないのが弱点であった。本研究では，紫外線レーザーを直径数  $\mu\text{m}$  のスポットに集光することで，超高分解能角度分解光電子顕微分光装置 ( $\mu$ -ARPES) の開発を進めた。平成28年度は，鉄系超伝導物質 FeSe について， $\mu$ -ARPESにより試料不均一性を排除した局所バンド分散の観測を行い，電子液晶転移に伴うバンドのシフトを決定した。そして，鉄系の多秩序が絡む相図において，電子の軌道成分が大きな役割を果たしていることを示した。一方，高温超伝導の発現機構は，未だに統一した見解は得られておらず，秩序変数である超伝導ギャップの研究が発現機構の解明の鍵を握っている。走査型トンネル分光/顕微鏡を用いた研究では，銅酸化物高温超伝導体 $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_{8+\delta}$  (Bi2212)の超伝導ギャップは，実空間でナノスケールの不均一性があることが報告されている [K. McElroy *et al.*, Phys. Rev. B **94**, 197005 (2005)]。一方で，銅酸化物高温超伝導体の特徴として，波数方向に異方的な  $d$  波超伝導ギャップを形成することが挙げられる。しかしながら，実空間不均一性が超伝導ギャップの振る舞いに与える影響はよくわかっていない。そこで本研究では，ギャップの波数依存性と空間依存性を同時に調べることを目的として，微小集光したレーザー ( $h\nu = 6 \text{ eV}$ ) を用いた高分解能のマイクロ角度分解光電子分光 (ARPES) を使用して，不足ドーピング Bi2212 ( $T_c = 65 \text{ K}$ ) の電子状態の実空間依存性を調べた。その結果，超伝導ギャップと擬ギャップの大きさの位置依存性が観測された。

#### (8) 新奇超伝導物質の電子構造の研究

銅酸化物系や鉄砒素系で発現する高温超伝導は，従来理論では説明のつかない現象として，興味を集めている。本研究では，紫外線領域の集光レーザーや放射光を励起光とする高分解能角度分解光電子分光を用いて，新奇で多様な超伝導発現機構の解明に挑戦している。ルテチウム置換した層状リン化カルコゲナイド超伝導体 $\text{Zr}_{1-y}\text{Lu}_y\text{PX}$  ( $X = \text{S}, \text{Se}$ )の硬X線光電子分光実験を行い，超伝導を担う電子構造を世界で初めて直接的に観測した。Pの内殻準位が分裂していることを発見し，Pの主ピークがLu置換によって一気に0.8 eVほど移動することをつきとめた。これは，二次元平面を構成しているPの価数が  $-1$  から0に変化したことを示しており，元素間の電子のやりとりの様子が判明した。他の元素の内殻準位についてもピーク位置の移

動を報告し、移動量の元素依存性から、リジット・バンド描像による説明が難しく、Lu置換が価電子帯のバンド構造を質的に変化させていることを実証した。さらに、Luの置換量を増やすことで、フェルミ端のスペクトル強度が急激に増大することを示し、フェルミ準位における電子状態密度の増加がTc向上に寄与していることを指摘した。これにより、層状リン化カルコゲナイド超伝導体のLu置換による電子構造の変化について多くの知見をもたらし、Tc向上のしくみにつながる実験的証拠が提示された。

#### (9) ルテニウム酸化物超伝導体 $\text{Sr}_2\text{RuO}_4$ における多体効果の検証

ルテニウム酸化物 $\text{Sr}_2\text{RuO}_4$ は、異方的超伝導 ( $T_c \sim 1.5 \text{ K}$ ) が発現するのみならず、代表的な2次元強相関物質として知られている。電子状態の観点から超伝導機構を解明するには、超伝導発現に関わる電子・ボゾン相互作用と、強相関系の特徴である強い電子相関を分離し、定量評価することが理想的である。しかし、角度分解光電子分光 (ARPES) で直接観測されたRu  $4d_{yz}$ ,  $4d_{xy}$ 軌道由来の電子バンドに働く相互作用の起源に関して解釈が分かれている。通常、電子相関とスピン軌道相互作用を取り入れた理論計算では、フェルミ準位近傍におけるバンドの繰り込みが過小評価され、ARPESやドハース・ファンアルフェン効果の測定結果を説明できない。従来は、この差分を満たす要因として、フェルミ準位近傍での複数のボゾンモードとの結合が主張されてきた[H. Iwasawa *et al.*, *Phys. Rev. Lett.* **105**, 226406 (2010)]。一方、近年の広波数領域のARPES測定から、増強したスピン軌道相互作用の導入により電子相関のみで繰り込みを再現できるとの主張もなされている[A. Tamai *et al.*, *Phys. Rev. X*, **9**, 021048 (2019)]。

そこで本研究では、広波数領域での電子・ボゾン相互作用を含めた多体効果の再検証を目的として、広島大学放射光科学研究センター (BL-1) において、高分解能ARPES実験を行った。広波数領域で観測したARPESスペクトルに対して、スペクトル形状解析からバンド分散を決定し、自己エネルギーの実部を導出した。その結果、波数に依らず、複数の構造が観測された。

#### (10) 高分解能ARPESを用いた銅酸化物高温超伝導体の多体相互作用の評価

銅酸化物が示す高温超伝導のメカニズムの解明に向けて、角度分解光電子分光 (ARPES) を用いた多体相互作用の評価が広く行われている。La系銅酸化物 $\text{La}_{2-x}\text{Sr}_x\text{CuO}_4$  (LSCO) は、結晶構造の3次元性が高いために良質なARPESスペクトルの取得が困難な系であったが、装置性能等の向上とともにスペクトルの質が改善し、より精度の高い多体相互作用の評価が可能となってきた。近年では、フェルミ準位近傍の電子の散乱確率が、エネルギー・波数に依存して、フェルミ液体的振る舞いから逸脱することが報告された[J. Chang *et al.*, *Nat. Commun.* **4**, 2559 (2013)]。一方、我々も高分解能ARPESにより、広エネルギー領域のバンド分散を検証し、反強磁性のスピン揺らぎのエネルギースケール (約0.3eV) で電子・電子相互作用由来と考えられるバンドの繰り込みが特徴付けられることを見出した。しかし、フェルミ準位近傍のバンドに働く相互作用を理解するためには、電子・電子相互作用だけでなく、電子・ボゾン相互作用を始めとした、その他の相互作用を含めた考察が必要である。

そこで本研究では、フェルミ準位近傍におけるLSCOの多体相互作用の働きを明らかにすることを目的として、最適ドーピングLSCO ( $x=0.15$ ) の高分解能ARPES測定を行った。実験は広島大学放射光科学センター及びスタンフォード放射光施設にて行った。電子・ボゾン相互作用を含まないとするバンド分散を二次関数により仮定し、実験で得られたバンド分散との差分を取ることで、電子・ボゾン相互作用を主に反映すると考えられる自己エネルギーの実部を

導出したところ、特徴的な構造が約30meV・70meVに存在することから電子とボゾンの結合が強く示唆させる結果が得られた。

#### 原著論文

- [1] 木村昭夫, 黒リンの電子たたき上げ現象の解明, (監修) 柚原淳司, ポストグラフェン材料の創製と用途開発最前線, 第1編2章6節, (株)エヌ・ティー・エス(2020).
- [2] © M. Ye, K. Kuroda, M. M. Otrokov, A. Ryabishchenkova, A. Ernst, E. V. Chulkov, M. Nakatake, M. Arita, T. Okuda, T. Matsushita, L. Tóth, H. Daimon, K. Shimada, Y. Ueda, A. Kimura, “Persistence of the topological surface states in Bi<sub>2</sub>Se<sub>3</sub> against Ag intercalation at room temperature,” *J. Phys. Chem. C* **125** (3), pp. 1784-1792 (2021).
- [3] © K. Sumida, Y. Sakuraba, K. Masuda, T. Kono, M. Kakoki, K. Goto, K. Miyamoto, Y. Miura, T. Okuda, and A. Kimura, “Observation of spin-polarized Weyl cones and gigantic anomalous Nernst effect in ferromagnetic Heusler films,” *Commun. Mater.* **1**, 89/ 1-9 (2020).
- [4] T. Kono, M. Kakoki, T. Yoshikawa, X. X. Wang, K. Goto, T. Muro, R. Y. Umetsu, and A. Kimura, “Visualizing half-metallic bulk band structure with multiple Weyl cones of the Heusler ferromagnet,” *Phys. Rev. Lett.* **125** (21), 216403/ 1-6 (2020).
- [5] © T. Yoshikawa, V. N. Antonov, T. Kono, M. Kakoki, K. Sumida, K. Miyamoto, Y. Takeda, Y. Saitoh, K. Goto, Y. Sakuraba, K. Hono, A. Ernst, and A. Kimura, “Unveiling spin-dependent unoccupied electronic states of Co<sub>2</sub>MnGe (Ga) film via Ge (Ga) L<sub>2,3</sub> absorption spectroscopy,” *Phys. Rev. B* **102** (6), 064428/ 1-7 (2020).
- [6] © M. Nurmamat, K. Okamoto, S. Zhu, T. V. Menshchikova, I. P. Rusinov, V. O. Korostelev, K. Miyamoto, T. Okuda, T. Miyashita, X. X. Wang, Y. Ishida, K. Sumida, E. F. Schwier, M. Ye, Z. S. Aliev, M. B. Babanly, I. R. Amiraslanov, E. V. Chulkov, K. A. Kokh, O. E. Tereshchenko, K. Shimada, S. Shin and A. Kimura, “Topologically Non-trivial Phase-change Compound GeSb<sub>2</sub>Te<sub>4</sub>,” *ACS Nano* **14** (7), pp. 9059-9065 (2020).
- [7] H. Ito, Y. Otaki, Y. Tomohiro, Y. Ishida, R. Akiyama, A. Kimura, S. Shin, S. Kuroda, “Observation of unoccupied states of SnTe(111) using pump-probe ARPES measurement,” *Phys. Rev. Research* **2** (4), 043120/ 1-9 (2020).
- [8] © T. Imai, J. Chen, K. Kato, K. Kuroda, T. Matsuda, A. Kimura, K. Miyamoto, S. V. Eremeev, and T. Okuda, “Experimental verification of temperature induced topological phase transition on TlBiS<sub>2</sub> and TlBiSe<sub>2</sub>,” *Phys. Rev. B* **102** (12), 125151/ 1-7 (2020).
- [9] © S. O. Filnov, I. I. Klimovskikh, D. A. Estyunin, A. V. Fedorov, V. Yu. Voroshnin, A. V. Koroleva, A. G. Rybkin, E. V. Shevchenko, Z. S. Aliev, M. B. Babanly, I. R. Amiraslanov, N. T. Mamedov, E. F. Schwier, K. Miyamoto, T. Okuda, S. Kumar, A. Kimura, V. M. Misheneva, A. M. Shikin, and E. V. Chulkov, “Probe-dependent Dirac-point gap in thallium-based topological insulator with gadolinium doping,” *Phys. Rev. B* **102** (8), 085149/ 1-7 (2020).
- [10] © A. M. Shikin, D. A. Estyunin, I. I. Klimovskikh, S. O. Filnov, E. F. Schwier, S. Kumar, K. Miyamoto, T. Okuda, A. Kimura, K. Kuroda, K. Yaji, S. Shin, Y. Takeda, Y. Saitoh, Z. S. Aliev, N. T. Mamedov, I. R. Amiraslanov, M. B. Babanly, M. M. Otrokov, S. V. Eremeev, and E. V. Chulkov, “Nature of the Dirac gap modulation and surface magnetic interaction in axion antiferromagnetic topological insulator MnBi<sub>2</sub>Te<sub>4</sub>,” *Sci. Rep.* **10**, 13226/ 1-13 (2020).
- [11] I. I. Klimovskikh, M. M. Otrokov, D. Estyunin, S. V. Eremeev, S. O. Filnov, A. Koroleva, E.

Shevchenko, V. Voroshnin, A. G. Rybkin, I. P. Rusinov, M. Blanco-Rey, M. Hoffmann, Z. S. Aliev, M. B. Babanly, I. R. Amiraslanov, N. A. Abdullayev, V. N. Zverev, A. Kimura, O. E. Tereshchenko, K. A. Kokh, L. Petaccia, G. Di Santo, A. Ernst, P. M. Echenique, N. T. Mamedov, A. M. Shikin, and E. V. Chulkov, “Tunable 3D/2D magnetism in the  $(\text{MnBi}_2\text{Te}_4)(\text{Bi}_2\text{Te}_3)_m$  topological insulators family,” npj Quantum Mater. **5**, 54 (2020).

- [12] ©Artem G. Rybkin, Anna A. Rybkina, Artem V. Tarasov, Dmitrii A. Pudikov, Ilya I. Klimovskikh, Oleg Yu. Vilkov, Anatoly E. Petukhov, Dmitry Yu. Usachov, Dmitrii A. Estyunin, Vladimir V. Voroshnin, Andrei Varykhalov, Giovanni Di Santo, Luca Petaccia, Eike F. Schwier, Kenya Shimada, Akio Kimura, and Alexander M. Shikin, “Epitaxial growth and physical properties of a promising 2D catalyst: graphene on nano-thin  $\text{Pt}_5\text{Gd}$  alloy,” Appl. Surf. Sci., vol.526, art.no.146687/pp.1-8 (1 October, 2020).
- [13] T. Miyashita, H. Iwasawa, T. Yoshikawa, S. Ozawa, H. Oda, T. Muro, H. Ogura, T. Sakami, F. Nakamura, and A. Ino “Emergence of low-energy electronic states in oxygen-controlled Mott insulator  $\text{Ca}_2\text{RuO}_{4+\delta}$ ,” Solid State Commun. **326**, 114180 (2021).

#### 国際会議

(招待講演)

- [1] A. Kimura, “Nodal link semimetals and their surface states probed by ARPES”, The 8th International Workshop on “Variety and universality of bulk-edge correspondence in topological phases: From solid state physics to transdisciplinary concepts” (2021.3.26,29,30, Online).
- [2] A. Kimura, “Incorporating Magnetism into Topological Quantum Materials for Innovative Functions”, 4th QST International Symposium -*Innovation from Quantum Materials Science*- (2020.11.4-6, Takasaki, Japan).
- [3] A. Kimura, “Current status and future prospects on ARPES study of bulk-edge correspondence”, The 7th International Workshop on “Variety and universality of bulk-edge correspondence in topological phases: From solid state physics to transdisciplinary concepts” (2020.10.20, Online).

(一般講演)

- [1] ©S. Ozawa, H. Iwasawa, H. Oda, T. Yoshikawa, A. Kimura, M. Hashimoto, D. Lu, T. Muro, Y. Yoshida, I. Hase, Y. Aiura, S. Kumar, K. Shimada, “Low-energy electron-boson coupling in  $\text{Sr}_2\text{RuO}_4$ ,” The 25<sup>th</sup> Hiroshima International Symposium on Synchrotron Radiation (2021.3.4-5, Online). **[Best Student Poster Award]**
- [2] ©H. Oda, H. Iwasawa, T. Miyashita, S. Ozawa, A. Kimura, R. Yano, S. Kashiwaya, T. Sasagawa, S. Kumar, E. F. Schwier, K. Shimada, “Optimization of self-energy in high-Tc cuprate superconductor  $\text{La}_{2-x}\text{Sr}_x\text{CuO}_4$ ,” The 25<sup>th</sup> Hiroshima International Symposium on Synchrotron Radiation (2021.3.4-5, Online).
- [3] ©T. Sugiyama, H. Iwasawa, S. Ozawa, H. Oda, T. Kono, T. Okuda, K. Miyamoto, S. Ishida, Y. Yoshida, H. Eisaki and A. Kimura, “Gap inhomogeneity in  $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_{8+\delta}$  revealed by laser micro-ARPES,” The 25<sup>th</sup> Hiroshima International Symposium on Synchrotron Radiation (2021.3.4-5, Online).
- [4] Yuto Fukushima, Tomoki Yoshikawa, Takeo Miyashita, Kaito Shiraishi, Masashi Arita, Keisuke Mitsumoto, Hiroshi Tanida and Akio Kimura, “Electronic Structure of Antiferromagnet  $\text{CeCoSi}$

Revealed by VUV-ARPES,” The 25<sup>th</sup> Hiroshima International Symposium on Synchrotron Radiation (2021.3.4-5, Online).

- [5] ©Kaito Shiraishi, Mario Novak, Tomoki Yoshikawa, Takashi Kono, Shiv Kumer, Koji Miyamoto, Taichi Okuda, Eike F. Schwier, Masashi Arita, Kenya Shimada, Sergey V. Eremeev and Akio Kimura, “ARPES study of antiferromagnetic  $\text{EuIn}_2\text{As}_2$ ,” The 25<sup>th</sup> Hiroshima International Symposium on Synchrotron Radiation (2021.3.4-5, Online).
- [6] ©Kiyotaka Ohwada, Takashi Kono, Shogo Ushio, Kazuki Goto, Koji Miyamoto, Taichi Okuda, Hiroyasu Nakayama, Yuya Sakuraba and Akio Kimura, “Spin-polarized band structures of Ga-rich  $\text{Fe}_3\text{Ga}$  film as a promising material for high thermoelectric performance,” The 25<sup>th</sup> Hiroshima International Symposium on Synchrotron Radiation (2021.3.4-5, Online).

#### 国内学会

(招待講演)

- [1] 木村昭夫「トポロジカル材料」, 筑波大学大学院講義「最先端ナノ物性・ナノ工学特論」  
(2020年11月20日, 筑波大学オンライン)

(一般講演)

- [2] ©角田一樹, 桜庭裕弥, 増田啓介, 河野 嵩, 鹿子木将明, 後藤一希, Weinan Zhou, 宮本幸治, 三浦良雄, 奥田太一, 木村昭夫, 「 $\text{Co}_2\text{MnGa}$ 薄膜におけるスピン偏極ワイル分散と巨大異常ネルンスト効果の観測」第34回日本放射光学会年会・放射光科学合同シンポジウム (2021年1月8日-20日, オンライン開催)
- [3] 河野 嵩, 鹿子木将明, 吉川智己, Xiaoxiao Wang, 後藤一希, 室隆桂之, 梅津理恵, 木村昭夫, 「軟X線ARPESによる $\text{Co}_2\text{MnGe}$ のハーフメタル 電子状態とワイル交差の直接観測」第34回日本放射光学会年会・放射光科学合同シンポジウム (2021年1月8日-20日, オンライン開催) **【学生発表賞受賞】**
- [4] ©角田一樹, 桜庭裕弥, 増田啓介, 河野 嵩, 鹿子木将明, 後藤一希, Weinan Zhou, 宮本幸治, 三浦良雄, 奥田太一, 木村昭夫, 「 $\text{Co}_2\text{MnGa}$ 薄膜におけるスピン偏極ワイル分散と巨大異常ネルンスト効果の観測」日本磁気学会第44回学術講演会 (2020年12月14日-17日, オンライン開催)
- [5] ©杉山貴哉, 岩澤英明, 小澤秀介, 尾田拓之慎, 河野 嵩, 木村昭夫, 宮本幸治, 奥田太一, 石田茂之, 吉田良行, 永崎 洋, 「高分解能 ARPES による  $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_{8+d}$  のギャップ不均一性」日本物理学会2020年秋季大会 (2020年9月8日-11日, オンライン開催)
- [6] ©小澤秀介, 岩澤英明, 尾田拓之慎, 杉山貴哉, 木村昭夫, Shiv Kumar, 島田賢也, 吉田良行, 長谷 泉, 相浦義弘, 「高分解能 ARPES によるルテニウム酸化物超伝導体  $\text{Sr}_2\text{RuO}_4$  における多体効果の検証」日本物理学会2020年秋季大会 (2020年9月8日-11日, オンライン開催)
- [7] ©尾田拓之慎, 岩澤英明, 小澤秀介, 矢野力三, 柏谷 聡, 笹川崇男, Shiv Kumar, E. F. Schwier, 島田賢也, 橋本 信, Donghui Lu, 木村昭夫, 「高分解能ARPESを用いた $\text{La}_{2-x}\text{Sr}_x\text{CuO}_4$ の多体相互作用の評価」日本物理学会2020年秋季大会 (2020年9月8日-11日, オンライン開催)



- [8] 河野 嵩, 鹿子木将明, 吉川智己, Xiaoxiao Wang, 後藤一希, 室隆桂之, 梅津理恵, 木村昭夫, 「軟X線ARPESによるホイスラー合金のハーフメタルなバンド構造と複数のワイル交差点の観測」日本物理学会2020年秋季大会 (2020年9月8日-11日, オンライン開催)
- [9] ◎白石海人, Mario Novak, 吉川智己, 河野 嵩, Shiv Kumar, 宮本幸治, 奥田太一, Eike F. Schwier, 島田賢也, Sergey V. Eremeev, 木村昭夫, 「反強磁性体EuIn<sub>2</sub>As<sub>2</sub>の角度分解光電子分光」日本物理学会2020年秋季大会 (2020年9月8日-11日, オンライン開催)
- [10] ◎吉川智己, Antonov Victor, 河野 嵩, 鹿子木将明, Wang Xiaoxiao, 角田一樹, 宮本幸治, 竹田幸治, 斎藤祐児, 後藤一希, 桜庭裕弥, 宝野和博, Ernst Arthur, 木村昭夫, 「ホイスラー合金Co<sub>2</sub>MnGe(Ga)薄膜のGe(Ga) L<sub>2,3</sub>端における磁気円二色性スペクトルII」日本物理学会2020年秋季大会 (2020年9月8日-11日, オンライン開催)

#### 学生の学会発表実績

##### (国際会議)

- 博士課程前期の学生が共同発表者の発表件数 4 件
- 博士課程後期の学生が共同発表者の発表件数 4 件
- 博士課程前期・後期の学生が共に共同発表者の発表件数 3 件

##### (国内学会)

- 博士課程前期の学生が共同発表者の発表件数 9 件
- 博士課程後期の学生が共同発表者の発表件数 4 件
- 博士課程前期・後期の学生が共に共同発表者の発表件数 4 件

#### セミナー・講演会開催実績

##### ○ 学会開催

- [1] 木村昭夫：SPring-8シンポジウム2020 (ハイブリッド開催) (2020年9月18日, 391名, SPring-8普及棟, 組織委員長)
- [2] 木村昭夫：第3回 BLs アップグレード検討ワークショップ (ハイブリッド開催) (2021年3月5日-6日, 318名, SPring-8普及棟, 組織委員長)
- [3] 木村昭夫：第4回 SPring-8秋の学校 (現地開催), (2020年12月20日-23日, 47名, SPring-8, 校長)

#### 社会活動・学外委員

##### ○ 学協会委員

- [1] 木村昭夫：SPring-8ユーザー共同体・会長 (任期2020.04-2022.03)
- [2] 木村昭夫：日本物理学会・領域5・代表 (任期2020.04-2021.03)
- [3] 木村昭夫：日本物理学会・代議委員
- [4] 木村昭夫：Journal of Electron Spectroscopy and Related Phenomena (Elsevier社), Editorial Board Member
- [5] 木村昭夫：日本放射光学会評議委員会・委員 (2020年4月-2020年9月)
- [6] 木村昭夫：日本表面科学会・国際事業委員会・委員

##### ○ 外部評価委員等

- [1] 木村昭夫：東京大学物性研究所 軌道放射物性研究施設運営委員会・委員

- [2] 木村昭夫：SPring-8選定委員会・委員
- [3] 木村昭夫：SPring-8 利用研究課題審査委員会・審査員
- [4] 木村昭夫：次世代放射光施設利用研究検討委員会・委員
- [5] 木村昭夫：広島大学放射光科学研究センター運営委員会・委員
- [6] 木村昭夫：広島大学放射光科学研究センター協議会・委員

○ 国際共同研究・国際会議開催実績

- [1] 木村昭夫：国際共同研究実施件数           10件

○ 研究助成金の受入状況

- [1] 木村昭夫：科学研究費補助金 基盤研究 (A) (2018-2022年度) (代表)「非共型な結晶対称性を持つ強相関物質の電子状態観測とトポロジーの解明」, 3,900千円 (2020年度直接経費)
- [2] 木村昭夫：科学研究費補助金 基盤研究 (S) (2017-2021年度) (分担)「トポロジカル相でのバルク・エッジ対応の多様性と普遍性: 固体物理を越えて分野横断へ」, 8,100千円 (2020年度直接経費)
- [3] 木村昭夫：科学研究費補助金 基盤研究 (S) (2017-2021年度) (分担)「実用デバイスに向けたハーフメタルホイスラー合金のスピン依存伝導機構の解明」, 1,500千円 (2020年度直接経費)
- [4] 木村昭夫：科学研究費補助金 基盤研究 (B) (2018-2022年度) (代表)「トポロジカル結晶絶縁体におけるトポロジカル状態の外場による変調とデバイス応用」, 200千円 (2020年度直接経費)

## ○分子光科学グループ

### 研究活動の概要

本研究グループでは、光と物質との相互作用を取り扱う物理学を基軸とした化学や生物学との融合科学の構築を目指して、放射光や自由電子レーザー、超短パルスレーザーなど様々な先端光源を用いた、ナノマテリアルやバイオ関連分子の機能や物性、反応機構の原子レベルでの解明とその応用に取り組んでいる。特に近年は、自己組織化有機単分子膜や機能性有機ナノ結晶、金属ナノ粒子、有機金属錯体、包接化合物などの分子系に着目した研究を進めている。

#### ☆自己組織化有機単分子膜を利用した分子物性研究 (和田)

分子間相互作用によって金属表面上に分子が規則正しく配向して吸着する自己組織化有機単分子膜 (SAM) は、末端官能基の特性を生かした機能性表面としての利用や、分子鎖の特性を生かした分子デバイスとしての利用など、工学、生物学、医学など様々な分野への応用が期待される有機超薄膜である。2020年度は、鎖種が異なる芳香鎖SAMの単分子電荷移動ダイナミクス研究やナノ活性材料のためのSAM被覆金ナノ粒子の合成・評価を実施した。

分子-基板界面の電荷移動過程の理解は有機エレクトロニクスにおいて不可欠である。基板上分子の電荷移動度の非接触な評価法として、内殻共鳴励起によるコアホール・クロック

(CHC) 法がある。内殻電子を共鳴励起すると共鳴オージェ電子が観測されるが、励起電子が内殻正孔の失活より速く金属基板に電荷移動するとノーマルオージェ電子が観測される。CHC法では、数フェムト秒の内殻寿命を基準として、共鳴オージェとノーマルオージェの比率から、分子から基板への電荷移動速度を評価することができる。一方、内殻励起によるイオン脱離反応では最表面に配向したSAMの末端官能基で選択的な脱離が顕著に観測されるが、この反応も表面官能基から基板への電荷移動が深く関与している。そこで本年度は、共役電子系を非局在化させるフッ素で置換した分子鎖をもつSAMについて、末端メチルエステル基からの分子内電荷移動速度を評価した。分子鎖に依存した脱離イオンの断片化の違いは、結合解離時の余剰エネルギーの分配を基にした動力学解析から評価することができた。一方オージェ電子分光では、電荷移動に伴う共鳴オージェ収量の減少を観測し、それぞれのSAMの電荷移動速度を見積もることができた。そして分子鎖導電性に応じた選択的イオン脱離反応の断片化ダイナミクスと電荷移動速度との相関性を評価することができた。軟X線放射光を用いた非接触かつ広いダイナミックレンジでの分子導電性評価法の確立に向けて更に研究を展開している。また、SAMの金属表面への分子固定化技術を基盤とした人工生体膜の作成、さらには膜タンパク質をnativeな状態で配向・集積させるための生態環境場の構築を目指して、SAM上にハイブリッド脂質分子膜を構築する研究も展開した。

金ナノ粒子はもっとも古くから研究されているナノ粒子であるが、ナノ粒子の大きさや形状・表面の化学的特性や凝集状態を変化させることで粒子の光学的・電子的特性を調整することができるとともに、触媒活性も発現することから基礎研究・材料開発の両面で注目される粒子である。特にその表面を官能基を有したSAMで修飾もしくは接合することによって、新たな機能を付加したナノ粒子やナノ構造体を構成することが期待できる。我々は液中パルスレーザーアブレーション法を採用することで、従来の化学的な合成法では不可能な直径10nm程度の被膜のないベアな金ナノ粒子の合成に成功した。有機修飾したナノ粒子やその巨大球状凝集体、ナノ粒子接合ワイヤーのコントロール合成を進めている。また分子導電性評価のプラットフォームとしても活用し、金属ナノ粒子系での分子伝導物性評価を進めている。

☆自由電子レーザーや超短パルス光学レーザーを利用した反応ダイナミクス研究 (和田)

X線自由電子レーザー (XFEL) はこれまでのX線を遙かに凌駕する全く新しいパルスX線発生源である。高輝度・高コヒーレント・超短パルスという特性を持つこの新しいX線を用いることで、有機ナノ結晶や非結晶化タンパク質のような、従来の手法では計測できなかった微小試料単体での三次元構造解析や構造変化の高速時分割測定が可能となってきた。我々は、日本のXFEL施設SACLAの性能を生かして、光励起反応中の機能性有機ナノ結晶の原子の動きを捉えるダイナミックイメージングを目指した研究を推進している。また、このような高強度X線集光パルスと物質との相互作用は未知の領域でもあり、引き起こされる反応素過程・反応ダイナミクスの解明もまたSACLAを用いて初めて可能となる新しい研究分野である。

2020年度は、SACLAの集光X線パルスと光学フェムト秒レーザーを同期併用することで、比較的大きなクリプトン希ガス原子クラスターへのXFELパルス照射およびキセノン原子クラスターへの極紫外FELパルス照射による、多光子吸収による原子集団のプラズマ状態生成・崩壊ダイナミクスを解明した。短時間中の多電子放出によってナノメートルサイズの微小なプラズマが生成し、その生成および崩壊の様子をフェムト秒からピコ秒の実時間で捉えることに成功し、その成果を公表した。本研究は日本国内およびドイツ、フランス、フィンランドなどのヨーロッパ各国および中国との国際共同研究で実施している。

また、SACLAを用いた構造と機能の相関解明を目指す研究として光応答機能性有機ナノ結晶の研究を進めている。そこで、実験室ベースの研究として光学フェムト秒パルスレーザーを用いた超高速過渡吸収分光システムを整備し、ジアセチレン有機ナノ結晶の紫外光照射による固相重合・相転移プロセスの解明を目指した過渡吸収計測実験を東北大学多元物質科学研究所との共同研究で実施し、段階的な多量体化の様子を捉えることに成功した。

#### ☆有機分子の内殻励起状態選択的解離の解離機構の解明（関谷）

内殻共鳴励起を利用すると、分子内の特定原子の内殻電子を結合性の異なる非占有電子軌道に選択的に励起することができる。内殻に正孔を持つ原子は核電荷が1つ増えた原子として振舞うことから、内殻励起状態での結合長や結合角の変化が起きる。内殻正孔はオージェ過程により短時間 ( $10^{-15} \sim 10^{-14}$ 秒) に崩壊するが、励起先の軌道が強い反結合性である場合にはオージェ過程より早く結合の切断が起きる場合が知られている。また内殻励起状態だけでなくオージェ崩壊後にも特異な解離過程が起きる。このような反応は、サイト選択的結合切断と呼ばれ、その探索と反応機構の解明が内殻励起反応の研究における最重要研究課題となっている。特にエステル基を含む分子について、酢酸メチルの気相中におけるイオン解離、長い直鎖を持つ16-メルカプトヘキサデカン酸メチル (MHDA) の自己組織化単分子膜におけるイオン脱離など各種分子系で特異な解離が報告されており、これらの分子について、X線内殻吸収 (XAS) スペクトルの計算を行うとともに、内殻励起状態におけるMD計算により内殻励起に伴う分子の結合長の変化を求めることで、初期励起状態と解離過程の関係について調べた。MHDAについては炭素鎖が7つのメチルエステルをモデルとして用いた。酢酸メチルの酸素端、MHDAの炭素端、酸素端についてのXASスペクトル計算により、実験で得られたスペクトルを再現した。酢酸メチルの気相中における酸素内殻励起では、メトキシ基とカルボニル基の酸素の内殻電子を同じ非占有軌道である $\pi^*$ 軌道に励起したとき、メトキシ基からの励起でのみ、選択的なイオンの解離が増大している。各共鳴励起からのさまざまな結合の結合長の変化を調べることで、メトキシ基からの励起のみ選択的イオン解離に対応した結合の伸長がみられ、同じ非占有軌道への励起での励起原子の違いによる解離性の違いを明らかにした。MHDAについては、炭素励起、酸素励起それぞれについて、実験で観測されている選択的な解離に繋がる結合伸長を確認した。計算結果をもとに解離過程について考察を行い、気相でのイオン解離と自己組織化単分子膜でのイオン脱離について、初期励起状態以降の環境の違いによるエネルギー緩和過程の違いが大きく影響を及ぼしていることを明らかにした。

#### ☆シクロデキストリン包接体の電子状態と包接構造の研究（吉田）

シクロデキストリン（以下CyD）は、グルコースが環状に連なった天然に存在する糖である。その分子構造は穴の開いた円錐台のような形をしており、結合したグルコースの数が6, 7, 8 個のものをそれぞれ $\alpha$ -、 $\beta$ -、 $\gamma$ -CyDと呼ぶ。グルコースのヒドロキシメチル基 (-CH<sub>2</sub>OH基) が空洞を塞ぐように配向するのに対し、その他のヒドロキシ基 (-OH基) は空洞の外側に配向する。そのため、外縁部が親水性、壁面部が疎水性という特徴があり、内部に疎水性物質を取り込むことができる。この現象を「包接」という。内部空洞内に包接されるゲスト物質はさまざまであり、疎水性の有機分子や金属イオンなどを取り込む。本年度は有機分子としてアスコルビン酸とニコチン酸、金属イオンとして亜鉛イオンについて、可視・紫外吸収分光、軟X線吸収分光、軟X線光電子分光などさまざまな実験を行い、シクロデキストリン包接体の電子状態と包接構造に関する研究を行った。

(1)アスコルビン酸, ニコチン酸およびそれらのシクロデキストリン包接体の電子状態の研究  
アスコルビン酸 (AA) は, “ビタミンC”として働くラクトン構造を持つ有機化合物である。熱やアルカリに対して不安定であるが, ヒトの必須栄養素であり, 骨や血管にあるコラーゲンの生成などに関わっている。ニコチン酸 (NA) は, “ビタミンB3”の一種でもあり, ピリジンカルボン酸に属する有機化合物である。脂質異常症の治療薬としても使用されている。これらの物質は人体に有用であるが, 熱によって容易に分解してしまうという欠点がある。この問題の解決方法の一つとして, シクロデキストリン (CyD) による包接作用が用いられている。AAやNAは $\beta$ -CyDに1:1の割合で包接され (AA@ $\beta$ -CyD, NA@ $\beta$ -CyD), 熱に対する安定性が向上することが知られているが, 他の $\alpha$ -CyDや $\gamma$ -CyDに対しては包接されるか否かが明らかになっていない。そこで, 本研究では $\alpha$ -CyDや $\gamma$ -CyDに対するAAとNAの包接の有無, 包接される場合にはその包接比および包接前後のAAやNAの電子状態の変化を明らかにするため研究を行った。

可視・紫外吸収スペクトルを, 各種CyDとAA (およびNA) の混合濃度比を系統的に変化させて吸光度の変化を観測した。Job's plotを行って解析することにより,  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ -CyDとAA, NAはいずれの組み合わせにおいても1:1の割合で包接されることが分かった。また, 包接前 (AA) と包接後 (AA@ $\beta$ -CyD) で吸収ピークの Red shift が観測され, CyDに包接された状態ではAAの脱プロトン化が促進されることが明らかになった。

## (2) 亜鉛包接シクロデキストリンの電子状態の研究

3d遷移金属である銅はCyDと相互作用する金属の中でも比較的多く研究されてきた物質であり, 強アルカリ条件下で包接体 (以下Cu@CyD) を形成することが知られている。一方, 亜鉛 (Zn) は同じ3d遷移金属であり, 防錆剤や電池など様々な場面で利用されている金属であるが, CyDとの相互作用に関しては明らかになっていない。そこでこれらを明らかにすることを目的として研究を行った。

銅の場合と同様に強アルカリ下での $\gamma$ -CyDとの包接実験を行った。 $\gamma$ -CyDを加えないと白色沈殿  $ZnSO_4 \cdot 3Zn(OH)_2 \cdot 4H_2O$  が生成するが, 加えることによって白色沈殿が生成しなくなり透明な溶液になった。濃度比 (Zn/ $\gamma$ -CyD) を1~5まで変化させても混合直後には沈殿物は生成せず, 少なくともZnが5原子までは $\gamma$ -CyDと何らかの相互作用をしていることが考えられる。一方, この混合溶液を1週間放置したところ, Zn/ $\gamma$ -CyD=1のもののみが透明溶液であったことから, 1:1の包接比でZnが包接されたことが明らかになった。この1:1包接化合物 (包接後) と $\gamma$ -CyD単体 (包接前) の酸素1s領域の軟X線吸収スペクトルの比較を行うことにより, 533eV付近に新たに生じたピークが,  $Zn(OH)_4$  型での包接構造に起因するものと推定された。

## 原著論文

- [1] K. Nagaya, T. Sakai, T. Nishiyama Hiraki, S. Yase, K. Matsunami, K. Asa, H. Fukuzawa, K. Motomura, Y. Kumagai, W.Q. Xu, S. Wada, H. Hayashita, N. Saito, M. Nagasono, T. Togashi, M. Yabashi, and K. Ueda, “Surface plasma resonance in Xe clusters studied by EUV pump-NIR probe experiments” *J. Phys. Commun.* **5**, 015014(1-7) (2021).
- [2] Y. Kumagai, Z. Jurek, W. Xu, V. Saxena, H. Fukuzawa, K. Motomura, D. Iablonskyi, K. Nagaya, S. Wada, Y. Ito, T. Takanashi, S. Yamada, Y. Sakakibara, T. Nishiyama, T. Umemoto, M. Patanen, J. Bozek, I. Dancus, M. Cernaianu, C. Miron, T. Bauer, M. Mucke, E. Kukkk, S. Owada, T. Togashi,

K. Tono, M. Yabashi, S.-K. Son, B. Ziaja, R. Santra, and K. Ueda, “Suppression of thermal nanoplasma emission in clusters strongly ionized by hard x-rays” *J. Phys. B* **54**, 044001(1-16) (2021).

[3] M. Hirato M. Onizawa, Y. Baba, Y. Haga, K. Fujii, S. Wada and A. Yokoya, “Electronic properties of DNA-related molecules containing a bromine atom” *Int. J. Radiat. Biol.* in press (2021).

[4] 福澤宏宣, 永谷清信, 和田真一, 河野裕彦, 上田 潔, “X 線で誘起される気相分子の超高速反応の観測” *放射光* **33**, 81-86 (2020 年).

#### 著書

該当無し

#### 総説

該当無し

#### 国際会議

(一般講演)

[1] K. Yamamoto and S. Wada, “Electronic relaxation process in fluorinated aromatic monolayers studied by core-excited ion desorption”, The 25th Hiroshima International Symposium on Synchrotron Radiation, (2021.3.4-5, Higashi-Hiroshima (online), Japan).

[2] M. Tabuse and S. Wada, “Soft X-ray polarization measurement and evaluation at HiSOR BL-13 using electron orbitally oriented samples”, The 25th Hiroshima International Symposium on Synchrotron Radiation, (2021.3.4-5, Higashi-Hiroshima (online), Japan).

[3] S. Tendo, Y. Okada, and S. Wada, “Inner shell excitation spectroscopy of gold nanoparticles coated with aromatic molecules”, The 25th Hiroshima International Symposium on Synchrotron Radiation, (2021.3.4-5, Higashi-Hiroshima (online), Japan).

[4] K. Baba and H. Yoshida, “Comparison of soft X-ray absorption spectra of transition metal sulfates”, The 25th Hiroshima International Symposium on Synchrotron Radiation, (2021.3.4-5, Higashi-Hiroshima (online), Japan).

#### 国内学会

(一般講演)

[1] ○ 井出郁央, 安倍 学, 飯沼昌隆, 池上弘樹, 池田陽一, 石黒亮輔, 石崎貢平, 石元 茂, 猪野 隆, 岩田高広, 上坂友洋, 大友季哉, 奥 隆之, 神田浩樹, 北口雅暁, 郡 英輝, 嶋 達志, 清水裕彦, 高橋大輔, 高橋義朗, 谷口貴紀, 藤田全基, 堀田大稀, 松下 琢, 三浦大輔, 宮地義之, 吉川大幹, 與曾井優, 和田真一, 和田信雄, 他 NOPTREX collaboration : 「中性子複合核共鳴吸収反応における時間反転対称性の破れの探索に向けた偏極La標的の開発」, 日本物理学会2020年秋季大会, (2020年9月14日-17日, オンライン) .

[2] ◎◎ 高口博志, 金安達夫, 彦坂泰正, 和田真一, 加藤政博, 藤本将輝, 鈴木喜一 : 「光電子円二色性のエネルギー依存性の測定」, UVSORシンポジウム2020, (2020年10月26日, オンライン) .

[3] ◎◎ 金安達夫, 彦坂泰正, 藤本将輝, 岩山洋士, 中村永研, 和田真一, 高口博志, 保坂将人, 加藤政博 : 「周波数・時間領域干渉法によるフェムト秒遅延時間の測定」, UVSORシ

ンポジウム2020, (2020年10月26日-27日, オンライン) .

- [4] ◎○ 金安達夫, 彦坂泰正, 藤本将輝, 岩山洋士, 中村永研, 和田真一, 高口博志, 保坂将人, 加藤政博:「周波数・時間領域干渉法によるフェムト秒遅延時間の測定」, 原子衝突学会第45回年会, (2020年12月8日-10日, オンライン) .
- [5] 山本華文, 彦坂泰正, 和田真一:「パルスHV型TOFを用いたHiSORでのサイト選択的イオン脱離の測定」, 第34回日本放射光学会年会・放射光科学合同シンポジウム, (2021年1月8日-10日, オンライン) .
- [6] 天道尚吾, 岡田悠希, 和田真一:「内殻励起分光法による芳香族分子被覆金ナノ粒子の研究」, 第34回日本放射光学会年会・放射光科学合同シンポジウム, (2021年1月8日-10日, オンライン) .
- [7] 田伏真隆, 和田真一:「電子軌道配向試料を利用したHiSOR BL-13での軟X線偏光度計測と評価」, 第34回日本放射光学会年会・放射光科学合同シンポジウム, (2021年1月8日-10日, オンライン) .
- [8] 永谷清信, 仁王頭明伸, 萩谷 透, 松田和博, 福澤宏宣, You Daehyun, 齋藤 周, 石村優大, 上田 潔, 和田真一, 大和田成起, 登野健介, 富樫 格, 矢橋牧名:「時分割電子分光によるレーザー誘起ナノプラズマの観測」, 第34回日本放射光学会年会・放射光科学合同シンポジウム, (2021年1月8日-10日, オンライン) .
- [9] 平戸未彩紀, 馬場祐治, 和田真一, 藤井健太郎, 横谷明德:「軟X線光電子分光法を用いた臭素化DNA関連分子の電子状態の研究」, 第34回日本放射光学会年会・放射光科学合同シンポジウム, (2021年1月8日-10日, オンライン) .
- [10] 和田真一, 垣内拓大, 田中宏和, 足立純一:「PFハイブリッドモード用パルスセレクターを用いた内殻励起イオン脱離計測」, 第34回日本放射光学会年会・放射光科学合同シンポジウム, (2021年1月8日-10日, オンライン) .
- [11] ◎ 和田真一, 太田寛之, 真野篤志, 加藤政博:「アンジュレータ放射光渦のダブルスリット回折カウンティング実験」, 日本物理学会第76回年次大会, (2021年3月12日-15日, オンライン) .
- [12] ○ 安倍 学, 飯沼昌隆, 池上弘樹, 池田陽一, 石黒亮輔, 石崎貢平, 石元 茂, 伊東佑起, 井出郁央, 猪野 隆, 岩田高広, 上坂友洋, 大友季哉, 奥 隆之, 神田浩樹, 北口雅暁, 郡英輝, 嶋 達志, 清水裕彦, 高橋大輔, 高橋義朗, 立石健一郎, 谷口貴紀, 広田克也, 藤田全基, 堀田大稀, 松下 琢, 三浦大輔, 宮地義之, 和田真一, 他 5人:「時間反転対称性の破れ探索実験のための偏極La核標的開発の現状」, 日本物理学会第76回年次大会, (2021年3月12日-15日, オンライン) .

#### 学生の学会発表実績

##### (国際会議)

- |                             |     |
|-----------------------------|-----|
| ○ 博士課程前期の学生が共同発表者の発表件数      | 3 件 |
| ○ 博士課程後期の学生が共同発表者の発表件数      | 1 件 |
| ○ 博士課程前期・後期の学生が共に共同発表者の発表件数 | 0 件 |

##### (国内学会)

- |                        |     |
|------------------------|-----|
| ○ 博士課程前期の学生が共同発表者の発表件数 | 2 件 |
| ○ 博士課程後期の学生が共同発表者の発表件数 | 1 件 |

- 博士課程前期・後期の学生が共に共同発表者の発表件数 0 件

#### セミナー・講演会開催実績

- [1] 和田真一, 吉田啓晃: 第 23 回 XAFS 討論会 実行委員, (2020 年 9 月 9 日-11 日, 東広島市 (オンライン), 参加人数 120 名)
- [2] 関谷徹司, 和田真一, 吉田啓晃: 第 34 回日本放射光学会年会・放射光科学合同シンポジウム 実行委員, (2021 年 1 月 8 日-10 日, 東広島市 (オンライン), 参加人数 587 名)

#### 社会活動・学外委員

- 学協会委員
- [1] 和田真一: 日本放射光学会 編集委員
- [2] 和田真一: 第 23 回 XAFS 討論会 学生奨励賞審査委員

#### 国際共同研究・国際会議開催実績

##### (国際共同研究)

- [1] 和田真一: SACLA 利用国際共同研究, 参加国 ドイツ, 中国, インド, フランス, フィンランド, ルーマニア, スウェーデン, ポーランド

#### 研究助成金の受入状況

- [1] 和田真一: 科学研究費補助金 基盤研究 (C) (代表) 1,430 千円
- [2] 和田真一: 科学研究費補助金 独立基盤形成支援 (代表) 3,450 千円
- [3] 和田真一: 自然科学研究機構 2020 年度新分野創成センター先端光科学研究プロジェクト (分担) 総額 2,400 千円 (分担配分なし)
- [4] 吉田啓晃: 科学研究費補助金 基盤研究 (C) (代表) 1,040 千円

## ○放射光物性・放射光物理グループ

### 研究活動の概要

#### (1) 重点研究の推進

放射光科学研究センター (本センター) は, 共同利用・共同研究拠点に認定されており, センター教員は下記の重点研究の中核を担っている。

- ・ 放射光を用いた高分解能角度分解光電子分光による固体の微細電子構造の研究
- ・ 放射光を用いたスピン角度分解光電子分光による量子スピン物性の研究
- ・ 軟 X 線磁気円二色性分光によるナノ構造体の磁性に関する研究
- ・ 真空紫外円二色性分光による生体物質の立体構造に関する研究
- ・ 高輝度放射光源の研究開発

#### (2) 2020 年度の特色ある研究成果

- ・ 細胞膜表面で薬物を放出することで膜内への薬物輸送を促進させるとされる aI 酸性糖タンパク質 (AGP) を対象にした構造研究を実施した。AGP は, 疎水性相互作用と静電的相



相互作用を介して生体膜と結合することが分かった。AGPの薬物結合サイトとの比較から、薬物放出には、薬物結合サイトを含む疎水性相互作用を持つヘリックス領域が強く影響することが分かった。

- ・ アキシオン電気力学の舞台として、反強磁性秩序のあるトポロジカル絶縁体が注目を集めている。本研究では有力な候補物質である  $\text{EuIn}_2\text{As}_2$  単結晶について磁気輸送測定、高分解能角度分解光電子分光測定を行い、反強磁性基底状態からの励起に短距離強磁性秩序が存在すること、トポロジカル表面準位が存在することを明らかにした。
- ・ テルルは、キラルな結晶構造と強いスピン軌道相互作用を伴う物質として、特異な電子スピン構造をもつことが理論計算分野で示唆されていた。キラル結晶構造に由来して発現する特殊な電子スピン構造を、放射光を利用した高効率スピン分解光電子分光装置を用いて、世界で初めて直接的な実験的に明らかにした。
- ・ バルク物質の  $\text{Mn}_4\text{Bi}_2\text{Te}_7$  はネール温度300 Kの反強磁性体であると同時にスピン偏極したトポロジカル表面状態およびその状態にギャップが存在することが知られている。本研究は、 $\text{Mn}_4\text{Bi}_2\text{Te}_7/\text{Bi}_2\text{Te}_3$  ヘテロ構造を作成し、スピン角度分解光電子分光により、その電子スピン構造を明らかにし、トポロジカル表面状態の有無およびギャップの温度依存性について詳細に調べ、ヘテロ構造中の  $\text{Mn}_4\text{Bi}_2\text{Te}_7$  が  $T < 20\text{K}$  で強磁性体秩序をもつことを明らかにした。
- ・ 42Kで価数相転移を起こす  $\text{YbInCu}_4$  のバンド分散を、角度分解光電子分光により初めて観測した。低温側で、伝導電子バンドが高結合エネルギー側にシフトするとともに、Yb 4f バンドと伝導電子バンドの混成ギャップが大きくなることを明らかにした。価数相転移の起源について貴重な情報を与える研究である。

### (3) 2020年度の共同研究の状況

- ・ 共同研究の国際公募を行い、78課題を採択した。
- ・ 受入人数107人（実人数）のうち、学内者62人（58%）、学外者45人（42%）である。共同研究機関は18機関で、内訳では、国立大学が12機関、公私立大学が2機関、公的研究機関および企業が4機関であった。
- ・ コロナ禍により、海外からの受け入れはないが、一部代行測定を行った。

### (4) 共同研究契約にもとづく学外研究機関との連携

- ・ 産業技術総合研究所  
共同研究契約を締結し、高分解能角度分解光電子分光に用いられる極低温ゴニオメータやコンピュータの開発などを行っている。本年度はBL-1において微小集光した放射光ビームを用いた空間マッピングを行うため、超高精度XYZトランスレーターを製作した。
- ・ 高エネルギー加速器研究機構（KEK）  
KEKとは、クロスポイントメントの活用によりKEKの加速器専門家を特任准教授として雇用し、将来計画のための高性能小型放射光源の設計・検討を進めた。また、KEKの加速器科学総合支援事業（大学等連携支援事業）に本学の提案した「量子限界ビームによる加速器科学教育・研究拠点の形成」が継続して採択され、高校・高専生および大学生を主たる対象とし、加速器科学の最新の状況をKEK及び本学の教員がわかりやすく解説する講

演会を開催するなど、本学における加速器科学教育及び人材育成、本学への若手人材誘導に貢献した。

(5) 研究設備高度化への取組

- 直線偏光アンジュレータビームライン (BL-1) では、直線偏光依存高分解能角度分解光電子分光装置を活用した共同利用・共同研究を展開している (H. Iwasawa, K. Shimada, E. F. Schwier *et al.*, Rotatable high-resolution ARPES system for tunable linear-polarization geometry, *J. Synchrotron Rad.* **24**, 836 (2017))。本年度は産総研との共同研究により 1  $\mu\text{m}$  以下の精度で試料位置を精密に合わせられる XYZ トランスレーターを製作した。これをビームラインに設置することにより放射光を用いた空間マッピングが可能となる。
- 高分解能角度分解光電子分光ビームライン (BL-9A) では、低エネルギー放射光 ( $\sim 10\text{ eV}$ ) を用いた超高分解能角度分解光電子分光により、強相関電子系、トポロジカル系の電子構造の研究を推進している。本年度はキャピラリーミラーを用いた集光システムの整備を進めた。
- 高分解能スピン角度分解光電子分光ビームライン (BL-9B) では、複数のドメインを持つ試料のドメインを選択した測定や、微小な試料の測定を可能とすることを目的に、放射光ビームの微小化を進めている。従来のビームサイズの1/10程度である100  $\mu\text{m}$  程度のビームサイズを実現できるように設計したキャピラリー型のミラーを導入した。
- 紫外線 (6 eV) レーザーを導入し、レーザースピンの ARPES 装置の開発を進めた。レーザーを用いた ARPES 測定は可能となり、スピン検出器の最終確認も完了した。また、数  $\mu\text{m}$  での制御および6 K 以下の極低温での測定を可能にした極精密6軸マニピュレーターを開発・導入を推進している。これにより、従来に比べさらに高分解能なスピン ARPES 測定や微小領域のスピン ARPES 測定が可能になった。
- マルチチャンネルスピン検出器の開発を行っている。電子軌道のレイトレースを行い電子レンズ、真空チャンバー、磁場による電子偏向装置の設計製作を行った。この開発によりスピン ARPES 測定において現状の1000倍以上の検出効率の向上が期待される。
- 真空紫外線円二色性実験ビームライン (BL-12) では、生体物質の立体構造に関する共同利用・共同研究を行っている。自動・手動の回転機構を備えたセルホルダーが運用され、直線二色性を持つ固体やゲル化試料の構造研究に応用した。垂直型の測定装置の整備を進め、標準試料のスペクトル測定を実施した。集光ミラーを用いた時間分解測定システムの整備を進め、代表的なタンパク質試料の構造変化の観測からこのシステムを評価した。
- 高輝度紫外線レーザーを活用し、将来計画に向け超高分解能角度分解光電子分光要素技術の開発研究を行っている。高精度 CCD カメラを設置して試料位置をモニタリングするシステム、光電子スペクトルの空間マッピングの自動計測システムを整備し (H. Iwasawa, E. F. Schwier, M. Arita *et al.*, Development of laser-based scanning  $\mu$ -ARPES system with ultimate energy and momentum resolutions, *Ultramicroscopy* **182**, 85-91 (2017))、国際共同研究に供している。
- 紫外線レーザー光を微小集光して空間分解能を高めた高分解能角度分解光電子分光装置

を用いて国際共同研究（代行測定を含む）を行った。

（6）第25回広島放射光国際シンポジウム

「真空紫外・軟X線放射光による物質科学」と題して、25回目となる国際シンポジウムを開催した。昨年度予定していた第24回はコロナ禍により中止となり、2年ぶりの開催となったが、今回も感染症蔓延を考慮し、完全オンラインでの開催となった。日本放射光学会からの協賛を受け、HiSORが重点的に推進している微細電子構造の研究、量子スピン物性の研究、ナノサイエンスの研究、生体物質立体構造の研究、高輝度放射光源のR&Dの5つの研究分野に関連して第一線で活躍する研究者を、海外から3名（インド・ドイツ・エジプト）国内から6名を招聘し、最新の研究動向についての講演が行われ、活発な研究討論が行われた。ポスターセッションでは、2020年度の共同利用・共同研究の成果を中心に27件（うち学生発表20件）の発表があった。Flash Poster Sessionとして、ポスター発表をする学生が1分程度の英語による口頭発表を実施した。広島大学、岡山大学、熊本大学、横浜国立大学の学生19人が参加し、英語による口頭発表に意欲的に取り組んだ。これによりポスターセッションでは活発な研究討論が行われた。学生による口頭・ポスター発表を招聘研究者を含む参加者全員（学生以外）が評価し、優れた発表3件に学生ポスター賞を授与した。本シンポジウムの参加者総数は71名（学内49名、学外22名（うち海外5名））であった。

（7）放射光科学院生実験の実施：大学院教育への貢献

岡山大学大学院自然科学研究科との部局間協定のもとで両大学の教員が協力し、放射光ビームラインを活用した「放射光科学院生実験」（本学理学研究科のカリキュラム）を実施した（受講生：広島大学3名、岡山大学10名）。

原著論文

- [1] © P. E. Evans, T. Komesu, L. Zhang, D.-F. Shao, A. J. Yost, S. Kumar, E. F. Schwier, K. Shimada, E. Tsymbal, X. Hong, P. A. Dowben: “Detection of decoupled surface and bulk states in epitaxial orthorhombic SrIrO<sub>3</sub> thin films”, *AIP Advances* **10**, 045027 (5p) (2020) .
- [2] © M. Nurmatam, K. Okamoto, S. Zhu, T. V. Menshchikova, I. P. Rusinov, V. O. Korostelev, K. Miyamoto, T. Okuda, T. Miyashita, X. Wang, Y. Ishida, K. Sumida, E. F. Schwier, M. Ye, Z. S. Aliev, M. B. Babanly, I. R. Amiraslanov, E. V. Chulkov, K. A. Kokh, O. E. Tereshchenko, K. Shimada, S. Shin, A. Kimura: “Topologically nontrivial phase-change compound GeSb<sub>2</sub>Te<sub>4</sub>”, *ACS Nano* **14**, 9059-9065 (2020) .
- [3] K. Fujimori, M. Kitaura, Y. Taira, M. Fujimoto, H. S. Zen, S. Watanabe, K. Kamada, Y. Okano, M. Katoh, M. Hosaka, J. Yamazaki, T. Hirade, Y. Kobayashi, A. Ohnishi: “Visualizing cation vacancies in Ce:Gd(3)Al(2)Ga(3)O(12)scintillators by gamma-ray-induced positron annihilation lifetime spectroscopy”, *Appl. Phys. Exp.* **13**, 085505 (2020) .
- [4] L. Guo, H. Yamaguchi, M. Yamamoto, F. Matsui, G. X. Wang, F. Z. Liu, P. Yang, E. R. Batista, N. A. Moody, Y. Takashima, M. Katoh: “Graphene as reusable substrate for bialkali photocathodes”, *Appl. Phys. Lett.* **116**, 251903 (5p) (2020) .
- [5] A. Singh, V. K. Gangwar, P. Shahi, D. Pal, R. Singh, S. Kumar, S. Singh, S. K. Gupta, S. Kumar, J. G. Cheng, S. Chatterjee: “Anomalous and topological Hall effect in Cu doped Sb<sub>2</sub>Te<sub>3</sub> topological insulator”, *Appl. Phys. Lett.* **117**, 092403 (5p) (2020) .
- [6] © D. A. Estyunin, I. I. Klimovskikh, A. M. Shikin, E. F. Schwier, M. M. Otrokov, A. Kimura, S.

- Kumar, S. O. Filnov, Z. S Aliev, M. B. Babanly, E. V Chulkov: “Signatures of temperature driven antiferromagnetic transition in the electronic structure of topological insulator  $\text{MnBi}_2\text{Te}_4$ ”, *APL Mater.* **8**, 21105 (7p) (2020) .
- [7] © A. G. Rybkin, A. A. Rybkina, A. V. Tarasov, D. A. Pudikov, I. I. Klimovskikh, O. Y. Vilkov, A. E. Petukhov, D. Y. Usachova, D. A. Estyunin, V. Y. Voroshnin, A. Varykhalov, G. D. Santo, L. Petaccia, E. F. Schwier, K. Shimada, A. Kimura, A. M. Shikin: “A new approach for synthesis of epitaxial nano-thin  $\text{Pt}_5\text{Gd}$  alloy via intercalation underneath a graphene”, *Appl. Surf. Sci.* **526**, 146687 (8p) (2020) .
- [8] T. Masuda, S. Baba, K. Matsuo, S. Ito, B. Mikami: “The high-resolution crystal structure of lobster hemocyanin shows its enzymatic capability as a phenoloxidase”, *Archives Biochem. Biophys.* **688**, 108370 (2020) .
- [9] M. A. E Sallam, D. M. S. A. Salem, G. M. H. Labib, T. N. M. A Youssef, K. Matsuo: “Studies on saccharide benzimidazoles: 2-(b-D-gulofuranosyl)benzimidazole and 2-(b-D-glucofuranosyl)benzimidazole C-nucleoside analogs; synthesis, anomeric configuration and antifouling potency”, *Carbohydr. Res.* **496**, 108073 (2020) .
- [10] M. Kumar, B. Prajapati, A. Singh, S. Kumar, A. Kumar, S. Mittal, A. Aditya: “Structural, optical and magneto-electric coupling analysis in 'Y' doped double perovskite  $\text{La}_2\text{NiMnO}_6$  nanoparticles”, *Chem. Phys.* **532**, 110688 (2020) .
- [11] © M. Zheng, E. F. Schwier, H. Iwasawa, K. Shimada: “High-resolution angle-resolved photoemission study of oxygen adsorbed  $\text{Fe/MgO}(001)$ ”, *Chin. Phys. B* **29**, 067901 (9p) (2020) .
- [12] K. Matsuo, M. Kumashiro, K. Gekko: “Characterization of the mechanism of interaction between alpha(1)-acid glycoprotein and lipid membranes by vacuum-ultraviolet circular-dichroism spectroscopy”, *Chirality* **32**, 594-606 (2020) .
- [13] © K. Sumida, Y. Sakuraba, K. Masuda, T. Kono, M. Kakoki, K. Goto, W. Zhou, K. Miyamoto, Y. Miura, T. Okuda, A. Kimura: “Spin-polarized Weyl cones and giant anomalous Nernst effect in ferromagnetic Heusler films”, *Commun. Mater.* **1**, 89 (2020) .
- [14] H. Iwasawa: “High-resolution angle-resolved photoemission spectroscopy and microscopy”, *Electron. Struct.* **2**, 043001 (2020) .
- [15] K. Ali, H. Ohgaki, H. Zen, T. Kii, T. Hayakawa, T. Shizuma, H. Toyokawa, Y. Taira, V. Iancu, G. Turturica, C. A. Ur, M. Fujimoto, M. Katoh: “Selective isotope CT imaging based on nuclear resonance fluorescence transmission method”, *IEEE Transact. Nucl. Sci.* **67**, 1976-1984 (2020) .
- [16] S. Kumar, M. Kumar, A. Kumar, S. Sharma, P. Shahi, S. Chatterjee, A. K. Ghosh: “Investigations on structural and optical properties of Al-modified  $\text{ZnO}$  nanoparticles”, *J. Mater. Sci. - Mater. Electronics* **31**, 7715-7723 (2020) .
- [17] K. Matsuo, K. Gekko: “Vacuum ultraviolet electronic circular dichroism study of D-glucose in aqueous solution”, *J. Phys. Chem. A* **124**, 642-651 (2020) .
- [18] I. Jakovac, M. Horvati, E. F. Schwier, A. Prokofiev, S. Paschen, H. Mitamura, T. Sakakibara, M. S. Grbic: “Pd-105 NMR and NQR study of the cubic heavy fermion system  $\text{Ce}_3\text{Pd}_{20}\text{Si}_6$ ”, *J. Phys.: Condens. Matter* **32**, 245601 (2020) .
- [19] ○ A. Singh, S. Kumar, M. Singh, P. Singh, R. Singh, V. K. Gangwar, A. Lakhani, S. Patil, E. F. Schwier, T. Matsumura, K. Shimada, A. K. Ghosh, S. Chatterjee: “Anomalous Hall effect in Cu doped  $\text{Bi}_2\text{Te}_3$  topological insulator”, *J. Phys.: Condens. Matter* **32**, 305602 (2020) .

- [20] © P. Singh, M. Alam, S. Kumar, K. Anand, V. K Gangwar, S. Ghosh, M. Sawada, K. Shimada, R. K. Singh, A. K. Ghosh, S. Chatterjee: “Roles of Re-entrant cluster glass state and spin–lattice coupling in magneto–dielectric behavior of giant dielectric double perovskite  $\text{La}_{1.8}\text{Pr}_{0.2}\text{CoFeO}_6$ ”, *J. Phys.: Condens. Matter* **32**, 445801 (9p) (2020) .
- [21] © P. E Evans, T. Komesu, E. F Schwier, S. Kumar, K. Shimada, P. A. Dowben: “The band shifts in  $\text{MoS}_2(0001)$  and  $\text{WSe}_2(0001)$  induced by palladium adsorption”, *J. Phys.: Condens. Matter* **32**, 465001 (7p) (2020) .
- [22] A. K. Kaveev, A. N. Terpitskiy, O. E. Tereshchenko, V. A. Golyashov, D. A. Estyunin, A. M. Shikin, E. F. Schwier: “Change of the topological surface states induced by ferromagnetic metals deposited on  $\text{BiSbTeSe}_2$ ”, *J. Phys.: Conf. Ser.* **1697**, 012095 (4p) (2020) .
- [23] S. Nakamura, K. Hyodo, Y. Matsumoto, Y. Haga, H. Sato, S. Ueda, K. Mimura, K. Saiki, K. Iso, M. Yamashita, S. Kittaka, T. Sakakibara, S. Ohara: “Heavy fermion state of  $\text{YbNi}_2\text{Si}_3$  without local inversion symmetry”, *J. Phys. Soc. Jpn.* **89**, 24705 (2020) .
- [24] S. Hosokawa, N. Happo, K. Hayashi, K. Kimura, T. Matsushita, J. R. Stello, M. Mizumaki, M. Suzuki, H. Sato, K. Hiraoka: “Valence-selective local atomic structures on an  $\text{YbInCu}_4$  valence transition material by x-ray fluorescence holography”, *J. Phys. Soc. Jpn.* **89**, 34603 (2020) .
- [25] ○ Y. Ohmagari, T. Onimaru, Y. Yamane, Y. Shimura, K. Umeo, T. Takabatake, H. Sato, N. Kikugawa, T. Terashima, H. T. Hirose, S. Uji: “Reentrant quantum phase transitions in a frustrated effective spin-1/2 zigzag chain of an Yb-based semiconductor  $\text{YbCuS}_2$ ”, *J. Phys. Soc. Jpn.* **89**, 093701 (5p) (2020) .
- [26] © Y. Akabane, T. Shimaiwa, Y. Goto, Y. Mizuguchi, T. Yokoya, M. Arita, S. Kumar, E. F. Schwier, K. Shimada, N. L. Saini, T. Mizokawa: “Momentum dependent band renormalization and surface aging effect on a zone center electron pocket in  $\text{NaSn}_2\text{As}_2$  revealed by angle-resolved photoemission spectroscopy”, *J. Phys. Soc. Jpn.* **89**, 114707 (7p) (2020) .
- [27] K. Morikawa, H. Shiono, H. Sato, S. Ideta, K. Tanaka, T. Zhuang, K. Matsumoto, K. Hiraoka, H. Anzai: “Temperature dependence of the Kondo resonance peak in photoemission spectra of rare earth compound  $\text{YbMgCu}_4$ ”, *JPS Conf. Proc.* **30**, 011119 (4p) (2020) .
- [28] K. Maeda, H. Sato, Y. Akedo, T. Kawabata, K. Abe, R. Shimokasa, A. Yasui, M. Mizumaki, N. Kawamura, E. Ikenaga, S. Tsutsui, K. Matsumoto, K. Hiraoka, K. Mimura: “ $\text{Yb L}_3$  resonant hard x-ray photoemission spectroscopy of valence transition compound  $\text{YbInCu}_4$ ”, *JPS Conf. Proc.* **30**, 011137 (6p) (2020) .
- [29] A. K. Kaveev, V. A. Golyashov, A. E. Klimov, E. F. Schwier, S. M. Sutorin, A. S. Tarasov, O. E. Tereshchenko: “Structure and magneto-electric properties of Co-based ferromagnetic films grown on the  $\text{Pb}_{0.71}\text{Sn}_{0.29}\text{Te}$ ”, *Mater. Chem. Phys.* **240**, 122134 (5p) (2020) .
- [30] Y. Naruo, S. Uechi, M. Sawada, A. Funatsu, F. Shimojo, S. Ida, M. Hara: “Ferromagnetic metal conversion directly from two-dimensional nickel hydroxide”, *Nanotechnology* **31**, 435602 (2020) .
- [31] © N. Mitsuishi, Y. Sugita, M. S. Bahramy, M. Kamitani, T. Sonobe, M. Sakano, T. Shimojima, H. Takahashi, H. Sakai, K. Horiba, H. Kumigashira, K. Taguchi, K. Miyamoto, T. Okuda, S. Ishiwata, Y. Motome, K. Ishizaka: “Switching of band inversion and topological surface states by charge density wave”, *Nature Commun.* **11**, 2466 (9p) (2020) .
- [32] K. Kuroda, Y. Arai, N. Rezaei, S. Kunisada, S. Sakuragi, M. Alaei, Y. Kinoshita, C. Bareille, R. Noguchi, M. Nakayama, S. Akebi, M. Sakano, K. Kawaguchi, M. Arita, S. Ideta, K. Tanaka, H.

- Kitazawa, K. Okazaki, M. Tokunaga, Y. Haga, S. Shin, H. S. Suzuki, R. Arita, T. Kondo: “Devil's staircase transition of the electronic structures in CeSb”, *Nature Commun.* **11**, 2888 (2020) .
- [33] © T. Hirahara, M. M. Otrokov, T. T. Sasaki, K. Sumida, Y. Tomohiro, S. Kusaka, Y. Okuyama, S. Ichinokura, M. Kobayashi, Y. Takeda, K. Amemiya, T. Shirasawa, S. Ideta, K. Miyamoto, K. Tanaka, S. Kuroda, T. Okuda, K. Hono, S. V. Eremeev E. V. Chulkov: “Fabrication of a novel magnetic topological heterostructure and temperature evolution of its massive Dirac cone”, *Nature Commun.* **11**, 4821 (2020) .
- [34] T. Kaneyasu, Y. Hikosaka, M. Fujimoto, H. Iwayama, M. Katoh: “Polarization control in a crossed undulator without a monochromator”, *New J. Phys.* **22**, 83062 (2020) .
- [35] Y. Taira, M. Fujimoto, S. E. Ri, M. Hosaka, M. Katoh: “Measurement of the phase structure of elliptically polarized undulator radiation”, *New J. Phys.* **22**, 93061 (13p) (2020) .
- [36] C. W. Nicholson, E. F. Schwier, K. Shimada, H. Berger, M. Hoesch, C. Berthod, and C. Monney: “Role of a higher-dimensional interaction in stabilizing charge density waves in quasi-one-dimensional NbSe<sub>3</sub> revealed by angle-resolved photoemission spectroscopy”, *Phys. Rev. B* **101**, 45412 (11p) (2020) .
- [37] © K. Taguchi, K. Sumida, Y. Okuda, K. Miyamoto, A. Kimura, T. Oguchi, T. Okuda: “Spectroscopic evidence of quasi-one-dimensional metallic Rashba spin-split states on the Si(111)5x2-Au surface”, *Phys. Rev. B* **101**, 45430 (8p) (2020) .
- [38] © D. Geng, K. Yu, S. Yue, J. Cao, W. Li, D. Ma, C. Cui, M. Arita, S. Kumar, E. F. Schwier, K. Shimada, P. Cheng, L. Chen, K. Wu, Y. Yao, B. Feng: “Experimental evidence of monolayer AlB<sub>2</sub> with symmetry-protected Dirac cones”, *Phys. Rev. B* **101**, 161407R (5p) (2020) .
- [39] © D. Ootsuki, K. Sawada, H. Goto, D. Hirai, D. Shibata, M. Kawamoto, A. Yasui, E. Ikenaga, M. Arita, H. Namatame, M. Taniguchi, T. Toriyama, T. Konishi, Y. Ohta, N. L. Saini, T. Yoshida, T. Mizokawa, H. Takagi: “Observation of metal to nonmagnetic insulator transition in polycrystalline RuP by photoemission spectroscopy”, *Phys. Rev. B* **101**, 165113 (6p) (2020) .
- [40] © Y. Zhang, K. Deng, X. Zhang, M. Wang, Y. Wang, C. Liu, J. W. Mei, S. Kumar, E. F. Schwier, K. Shimada, C. Y. Chen, B. Shen: “In-plane antiferromagnetic moments and magnetic polaron in the axion topological insulator candidate EuIn<sub>2</sub>As<sub>2</sub>”, *Phys. Rev. B* **101**, 205126 (7p) (2020) .
- [41] H. Anzai, K. Morikawa, H. Shiono, H. Sato, S.-i. Ideta, K. Tanaka, T. Zhuang, K. T. Matsumoto, K. Hiraoka: “Temperature dependence of the Kondo resonance in the photoemission spectra of the heavy-fermion compounds YbXCu<sub>4</sub> (X = Mg, Cd, and Sn)”, *Phys. Rev. B* **101**, 235160 (7p) (2020) .
- [42] © T. Yoshikawa, V. N. Antonov, T. Kono, M. Kakoki, K. Sumida, K. Miyamoto, Y. Takeda, Y. Saitoh, K. Goto, Y. Sakuraba, K. Hono, A. Ernst, A. Kimura: “Unveiling spin-dependent unoccupied electronic states of Co<sub>2</sub>MnGe (Ga) film via Ge (Ga) L-2(3) absorption spectroscopy”, *Phys. Rev. B* **102**, 064428 (2020) .
- [43] © S. O. Filnov, I. I. Klimovskikh, D. A. Estyunin, A. V. Fedorov, V. Y. Voroshnin, A. V. Koroleva, A. G. Rybkin, E. V. Shevchenko, Z. S. Aliev, M. B. Babanly, I. R. Amiraslanov, N. T. Mamedov, E. F. Schwier, K. Miyamoto, T. Okuda, S. Kumar, A. Kimura, V. M. Misheneva, A. M. Shikin, E. V. Chulkov: “Probe-dependent Dirac-point gap in the gadolinium-doped thallium-based topological insulator TlBi<sub>0.9</sub>Gd<sub>0.1</sub>Se<sub>2</sub>”, *Phys. Rev. B* **102**, 85149 (7p) (2020) .
- [44] © T. Imai, J. Chen, K. Kato, K. Kuroda, T. Matsuda, A. Kimura, K. Miyamoto, S. V. Eremeev, T. Okuda: “Experimental verification of a temperature-induced topological phase transition in TlBiS<sub>2</sub>

- and TlBiSe<sub>2</sub>”, *Phys. Rev. B* **102**, 125151 (7p) (2020) .
- [45] © S. Yue, Y. Qian, M. Yang, D. Geng, C. Yi, S. Kumar, K. Shimada, P. Cheng, L. Chen, Z. Wang, H. Weng, Y. Shi, K. Wu, B. Feng: “Topological electronic structure in the antiferromagnet HoSbTe”, *Phys. Rev. B* **102**, 155109 (6p) (2020) .
- [46] S. Yue, H. Zhou, D. Geng, Z. Sun, M. Arita, K. Shimada, P. Cheng, L. Chen, S. Meng, K. Wu, B. Feng: “Experimental observation of Dirac cones in artificial graphene lattices”, *Phys. Rev. B* **102**, 201401R (5p) (2020) .
- [47] © D. Yan, D. Geng, Q. Gao, Z. Cui, C. Yi, Y. Feng, C. Song, H. Luo, M. Yang, M. Arita, S. Kumar, E. F. Schwier, K. Shimada, L. Zhao, K. Wu, H. Weng, L. Chen, X. J. Zhou, Z. Wang, Y. Shi, B. Feng: “Superconductivity and Fermi-surface nesting in the candidate Dirac semimetal NbC”, *Phys. Rev. B* **102**, 205117 (7p) (2020) .
- [48] © H. Yamaoka, E. F. Schwier, Y. Yamamoto, M. Nakatake, M. Sawada, H. Sakurai, N. Tsujii, M. Arita, H. Iwasawa, M. Taguchi, K. Shimada, J. Mizuki: “Electronic and crystal structures of (Na<sub>1-x</sub>Ca<sub>x</sub>)Cr<sub>2</sub>O<sub>4</sub> with anomalous colossal magnetoresistance”, *Phys. Rev. B* **102**, 235150 (11p) (2020) .
- [49] © X.-Ming Ma, Z. Chen, E. F. Schwier, Y. Zhang, Y.-J. Hao, S. Kumar, R. Lu, J. Shao, Y. Jin, M. Zeng, X.-R. Liu, Z. Hao, Ke Zhang, W. Mansuer, C. Song, Y. Wang, B. Zhao, C. Liu, Ke Deng, J. Mei, K. Shimada, Y. Zhao, X. Zhou, B. Shen, W. Huang, C. Liu, Hu Xu, C. Chen: “Hybridization-induced gapped and gapless states on the surface of magnetic topological insulators”, *Phys. Rev. B* **102**, 245136 (11p) (2020) .
- [50] H. Anzai, S. Ishihara, K. Mimura, H. Sato, M. Arita, T. Zhuang, K. Hiraoka: “Abrupt change in hybridization gap at the valence transition of YbInCu<sub>4</sub>”, *Phys. Rev. Research* **2**, 33408 (6p) (2020) .
- [51] © X. Wu, J. Li, X.-M. Ma, Y. Zhang, Y. Liu, C.-S. Zhou, J. Shao, Q. Wang, Y.-J. Hao, Y. Feng, E. F. Schwier, S. Kumar, H. Sun, P. Liu, K. Shimada, K. Miyamoto, T. Okuda, K. Wang, M. Xie, C. Chen, Q. Liu, C. Liu, Y. Zhao: “Distinct topological surface states on the two terminations of MnBi<sub>4</sub>Te<sub>7</sub>”, *Phys. Rev. X* **10**, 31013 (10p) (2020) .
- [52] © M. Sakano, M. Hirayama, T. Takahashi, S. Akebi, M. Nakayama, K. Kuroda, K. Taguchi, T. Yoshikawa, K. Miyamoto, T. Okuda, K. Ono, H. Kumigashira, T. Ideue, Y. Iwasa, N. Mitsuishi, K. Ishizaka, S. Shin, T. Miyake, S. Murakami, T. Sasagawa, T. Kondo: “Radial spin texture in elemental tellurium with chiral crystal structure”, *Phys. Rev. Lett.* **124**, 136404 (5p) (2020) .
- [53] © D. Y. Usachov, I. A. Nechaev, G. Poelchen, M. Güttler, E. E. Krasovskii, S. Schulz, A. Generalov, K. Kliemt, A. Kraiker, C. Krellner, K. Kummer, S. Danzenbächer, C. Laubschat, A. P. Weber, J. Sánchez-Barriga, E. V. Chulkov, A. F. Santander-Syro, T. Imai, K. Miyamoto, T. Okuda, D. V. Vyalikh: “Cubic Rashba effect in the surface spin structure of rare-earth ternary materials”, *Phys. Rev. Lett.* **124**, 237202 (6p) (2020) .
- [54] K. R. Koswattage, Y. Izumi, K. Nakagawa: “Optical absorption cross-section of DNA bases-thymine and guanine-in the energy region from 3.1 to 250 eV (5-400 nm)”, *Quantum Beam Sci.* **4**, 30 (2020) .
- [55] H. Sato, T. Nagasaki, K. Suekuni, H. I. Tanaka, A. Rousuli, S. Nakamura, N. Kawamura, X.-G. Zheng, T. Fujii, T. Takabatake: “Cu 2p-1s x-ray emission spectroscopy of mineral tetrahedrite Cu<sub>12</sub>Sb<sub>4</sub>S<sub>13</sub>”, *Rad. Phys. Chem.* **175**, 108148 (2020) .
- [56] S. Ito, M. Arita, J. Haruyama, B. Feng, W.-C. Chen, H. Namatame, M. Taniguchi, C.-M. Cheng, G. Bian, S.-J. Tang, T.-C. Chiang, O. Sugino, F. Komori, I. Matsuda: “Surface-state Coulomb

repulsion accelerates a metal-insulator transition in topological semimetal nanofilms”, *Sci. Adv.* **6**, eaaz5015 (7p) (2020) .

- [57] D. Ootsuki, K. Kodera, D. Shimonaka, M. Arita, H. Namatame, M. Taniguchi, M. Minohara, K. Horiba, H. Kumigashira, E. Ikenaga, A. Yasui, Y. Uchimoto, S. Toyoda, M. Morita, K. Fukuda, T. Yoshida: “Thickness-induced metal to insulator transition in Ru nanosheets probed by photoemission spectroscopy: Effects of disorder and Coulomb interaction”, *Sci. Rep.* **10**, 1541 (7p) (2020) .
- [58] © A. M. Shikin, D. A. Estyunin, I. I. Klimovskikh, S. O. Filnov, E. F. Schwier, S. Kumar, K. Miyamoto, T. Okuda, A. Kimura, K. Kuroda, K. Yaji, S. Shin, Y. Takeda, Y. Saitoh, Z. S. Aliev, N. T. Mamedov, I. R. Amiraslanov, M. B. Babanly, M. M. Otrokov, S. V. Eremeev, E. V. Chulkov: “Nature of the Dirac gap modulation and surface magnetic interaction in axion antiferromagnetic topological insulator MnBi<sub>2</sub>Te<sub>4</sub>”, *Sci. Rep.* **10**, 13226 (13p) (2020) .

#### 国際会議

(一般講演)

- [1] M. Kumashiro, K. Matsuo: “Effect of lipid spontaneous curvature and membrane fluidity on magainin 2-induced pore formation characterized by synchrotron radiation circular dichroism Spectroscopy”, Molecular Chirality Asia, (Tokyo, Japan, 2020.10.31-11.2)
- [2] Y. Izumi: “An application of vacuum ultraviolet circular dichroism spectroscopy to radiation biology: secondary structural analyses of histone proteins”, The 25th Hiroshima International Symposium on Synchrotron Radiation, (Higashi-Hiroshima, Japan, 2021.3.4-5)
- [3] © R. Lu, S. Kumar, Y. Wang, M. Zeng, Y.-J. Hao, X.-M. Ma, Z. Hao, K. Zhang, W. Mansuer, C. Liu, K. Deng, K. Shimada, E. F. Schwier, C. Liu, Q. Liu, C. Chen: “Half-magnetic topological insulator with magnetization induced Dirac gap at a selected surface”, The 25th Hiroshima International Symposium on Synchrotron Radiation, (Higashi-Hiroshima, Japan, 2021.3.4-5)
- [4] © K. Zhang, S. Kumar, E. F. Schwier, K. Miyamoto, T. Okuda, K. Shimada: “Observation of spin-momentum-layer locking in a centrosymmetric crystal”, The 25th Hiroshima International Symposium on Synchrotron Radiation, (Higashi-Hiroshima, Japan, 2021. 3.4-5)
- [5] © S. Ozawa, H. Iwasawa, H. Oda, T. Yoshikawa, A. Kimura, M. Hashimoto, D. Lu, T. Muro, Y. Yoshida, I. Hase, Y. Aiura, S. Kumar, K. Shimada: “Low-energy electron-boson coupling in Sr<sub>2</sub>RuO<sub>4</sub>”, The 25th Hiroshima International Symposium on Synchrotron Radiation, (Higashi-Hiroshima, Japan, 2021.3.4-5)
- [6] © H. Oda, H. Iwasawa, T. Miyashita, S. Ozawa, A. Kimura, R. Yano, S. Kashiwaya, T. Sasagawa, S. Kumar, E. F. Schwier, K. Shimada: “Optimization of self-energy in high-T<sub>c</sub> cuprate superconductor La<sub>2-x</sub>Sr<sub>x</sub>CuO<sub>4</sub>”, The 25th Hiroshima International Symposium on Synchrotron Radiation, (Higashi-Hiroshima, Japan, 2021.3.4-5)
- [7] © T. Sugiyama, H. Iwasawa, S. Ozawa, H. Oda, T. Kono, T. Okuda, K. Miyamoto, S. Ishida, Y. Yoshida, S. Eisaki, A. Kimura: “Gap inhomogeneity in Bi<sub>2</sub>Sr<sub>2</sub>CaCu<sub>2</sub>O<sub>8+d</sub> revealed by laser microARPES”, The 25th Hiroshima International Symposium on Synchrotron Radiation, (Higashi-Hiroshima, Japan, 2021.3.4-5)
- [8] S. Hosokawa, J. R. Stellan, H. Sato, J. Jiang, H. Kato: “Electronic structures and chemical natures of inhomogeneous Gd-TM (TM = Co, Ni, and Cu) metallic glasses”, The 25th Hiroshima



- International Symposium on Synchrotron Radiation, (Higashi-Hiroshima, Japan, 2021.3.4-5)
- [9] © M. Arita, E. F. Eike, H. Sato, K. Shimada, T. Kanomata: “ARPES study of the mechanically polished FeSi [001] surface”, The 25th Hiroshima International Symposium on Synchrotron Radiation, (Higashi-Hiroshima, Japan, 2021.3.4-5)
- [10] Y. Fukushima, T. Yoshikawa, T. Miyashita, K. Shiraishi, M. Arita, K. Mitsumoto, H. Tanida, A. Kimura: “Electronic structures of antiferromagnet CeCoSi revealed by VUV-ARPES”, The 25th Hiroshima International Symposium on Synchrotron Radiation, (Higashi-Hiroshima, Japan, 2021.3.4-5)
- [11] © K. Shiraishi, M. Novak, T. Yoshikawa, T. Kono, S. Kumar, K. Miyamoto, T. Okuda, E. F. Schwier, M. Arita, K. Shimada, S. V. Ereemeev, A. Kimura: “ARPES study of antiferromagnetic EuIn<sub>2</sub>As<sub>2</sub>”, The 25th Hiroshima International Symposium on Synchrotron Radiation, (Higashi-Hiroshima, Japan, 2021.3.4-5)
- [12] © K. Ohwada, T. Kono, S. Ushio, K. Goto, K. Miyamoto, T. Okuda, H. Nakayama, Y. Sakuraba, A. Kimura: “Spin-polarized band structures of Ga-rich Fe<sub>3</sub>Ga film as a promising material for high thermoelectric performance”, The 25th Hiroshima International Symposium on Synchrotron Radiation, (Higashi-Hiroshima, Japan, 2021.3.4-5)
- [13] M. Kumashiro, K. Matsuo: “Circular dichroism study of magainin 2-membrane interaction: evidence for  $\beta$ -strand formation upon membrane association”, The 25th Hiroshima International Symposium on Synchrotron Radiation, (Higashi-Hiroshima, Japan, 2021.3.4-5)
- [14] R. Tsuji, M. Kumashiro, K. Matsuo: “Study of membrane-bound conformation and pore formation of magainin2 using vacuum-ultraviolet circular dichroism spectroscopy”, The 25th Hiroshima International Symposium on Synchrotron Radiation, (Higashi-Hiroshima, Japan, 2021.3.4-5)
- [15] © T. Sakamoto, J. Takahashi, Y. Izumi, K. Matsuo, M. Fujimoto, M. Katoh, Y. Kebukawa, K. Kobayashi: “Optical activity measurement of amino acid films by circular dichroism spectroscopy”, The 25th Hiroshima International Symposium on Synchrotron Radiation, (Higashi-Hiroshima, Japan, 2021.3.4-5)
- [16] © X. Hou, M. Sawada, S. Kumar, K. Shimada: “Splitting of Dirac band on Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/Graphene/Ni(111)”, The 25th Hiroshima International Symposium on Synchrotron Radiation, (Higashi-Hiroshima, Japan, 2021.3.4-5)
- [17] T. Mayumi, W. Nishizawa, M. Sawada: “Antiferromagnetic interlayer coupling of Co/h-BN/Fe ultrathin multilayers studied by soft X-ray magnetic circular dichroism”, The 25th Hiroshima International Symposium on Synchrotron Radiation, (Higashi-Hiroshima, Japan, 2021.3.4-5)
- [18] W. Nishizawa, T. Mayumi, M. Sawada: “Growth mode and interface structure of Co ultrathin films evaporated on h-BN/Ni(111)”, The 25th Hiroshima International Symposium on Synchrotron Radiation, (Higashi-Hiroshima, Japan, 2021.3.4-5)
- [19] © Y. Miyai, K. Ishiba, S. Kumar, T. Kurosawa, M. Oda, K. Shimada: “High-resolution ARPES of heavily overdoped Bi2201: evaluation of coupling parameters”, The 25th Hiroshima International Symposium on Synchrotron Radiation, (Higashi-Hiroshima, Japan, 2021.3.4-5)
- [20] © A. Kumar, S. Kumar, G. Govindhan, A. Kumar, A. B. Govindan, K. Shimada: “Topological surface state in Sb, Te, and Se based single crystals”, The 25th Hiroshima International Symposium on Synchrotron Radiation, (Higashi-Hiroshima, Japan, 2021.3.4-5)

国内学会

(招待講演)

- [1] 加藤政博:「放射光の時空間構造の制御とその応用の可能性」第34回日本放射光学会年会・放射光科学合同シンポジウム (オンライン開催, 2021年1月8日-10日)
- [2] 松尾光一:「真空紫外円二色性分光法を用いた生体分子の構造研究」日本分光学会関西支部支部 紫外フロンティア分光部会合同講演会 (オンライン開催, 2021年3月2日)
- [3] 島田賢也:「大学に設置された小型放射光源 HiSOR の役割と将来展望」ELPH Symposium 2021「2020年度電子光物理学研究拠点共同利用成果報告会」 (オンライン開催, 2021年3月5日)

(一般講演)

- [1] S. Suenaga, M. Kumashiro, K. Matsuo: 「Effect of membrane thickness on magainin 2-induced pore formation characterized by vacuum-ultraviolet circular-dichroism and linear-dichroism spectroscopy」第20回日本蛋白質科学会年会 (2020年7月6日-9日, 中止, 研究公表実績として認定)
- [2] R. Imaura, M. Kumashiro, Y. Kawata, K. Matsuo: 「Study on membrane-interaction site of alpha-synuclein using vacuum-ultraviolet circular-dichroism spectroscopy and molecular dynamics simulation」第20回日本蛋白質科学会年会 (2020年7月6日-9日, 中止, 研究公表実績として認定)
- [3] K. Matsuo, M. Kumashiro, K. Gekko: 「Interaction mechanism between alpha1-acid glycoprotein and membrane characterized by vacuum-ultraviolet circular-dichroism spectroscopy」第20回日本蛋白質科学会年会 (2020年7月6日-9日, 中止, 研究公表実績として認定)
- [4] ◎ 白石海人, Mario Novak, 吉川智己, 河野 嵩, Shiv Kumar, 宮本幸治, 奥田太一, Eike F. Schwier, 島田賢也, Sergey V. Ereemeev, 木村昭夫: 「反強磁性体  $\text{EuIn}_2\text{As}_2$  の角度分解光電子分光」日本物理学会2020年秋季大会 (オンライン開催, 2020年9月8日-11日)
- [5] ◎ 尾田拓之慎, 岩澤英明, 小澤秀介, 矢野力三, 柏谷 聡, 笹川崇男, Shiv Kumar, E. F. Schwier, 島田賢也, 橋本 信, Donghui Lu, 木村昭夫: 「高分解能 ARPES を用いた  $\text{La}_{2-x}\text{Sr}_x\text{CuO}_4$  の多体相互作用の評価」日本物理学会2020年秋季大会 (オンライン開催, 2020年9月8日-11日)
- [6] ◎ 小澤秀介, 岩澤英明, 尾田拓之慎, 杉山貴哉, 木村昭夫, Shiv Kumar, 島田賢也, 吉田良行, 長谷 泉, 相浦義弘: 「高分解能 ARPES によるルテニウム酸化物超伝導体  $\text{Sr}_2\text{RuO}_4$  における多体効果の検証」日本物理学会2020年秋季大会 (オンライン開催, 2020年9月8日-11日)
- [7] ◎ 石坂仁志, 田北仁志, 宮下剛夫, Wumiti Mansuer, Eike F. Schwier, 島田賢也, 岩澤英明, 上田茂典, 石田茂之, 川島健司, 吉田良行, 伊豫 彰, 永崎 洋, 鬼頭 聖, 井野明洋: 「A15型超伝導体  $\text{Nb}_3\text{Sn}$  および  $\text{Nb}_3\text{Al}$  の高分解能光電子分光と電子フォノン相互作用」日本物理学会2020年秋季大会 (オンライン開催, 2020年9月8日-11日)
- [8] ◎ 氷上颯馬, 森網尚輝, 溝川貴司, 石田茂之, 永崎 洋, 伊豫 彰, 今井基晴, 阿部英樹, 有田将司, Shiv Kumar, Eike F. Schwier, 島田賢也, N. L. Saini: 「 $\text{CaKFe}_4\text{As}_4$  の特異なフェルミ面構造」日本物理学会2020年秋季大会 (オンライン開催, 2020年9月8日-11日)

- [9] ◎ 赤羽祐香, 後藤陽介, 水口佳一, 横谷尚睦, Shiv Kumar, Eike F. Schwier, 島田賢也, N. L. Saini, 溝川貴司: 「 $\text{NaSn}_2\text{As}_2$ におけるバンド構造の温度依存性」日本物理学会2020年秋季大会 (オンライン開催, 2020年9月8日-11日)
- [10] ◎ 島岩泰暉, 密岡拓心, 溝川貴司, 大村瑠美, 千葉優馬, 東中隆二, 松田達磨, 青木勇二, 島田賢也, Shiv Kumar, Eike F. Schwier, A. Barinov, V. Kandyba, A. Giampietri, N. L. Saini: 「角度分解光電子分光によるカイラル結晶  $\text{IrGe}_4$ の電子状態」日本物理学会2020年秋季大会 (オンライン開催, 2020年9月8日-11日)
- [11] ◎ 三石夏樹, 千葉正義, 坂野昌人, 堀場弘司, 組頭広志, 宮本幸治, 奥田太一, 笹川崇男, 石坂香子: 「擬一次元電荷密度波化合物  $\text{NbTe}_4$ の電子状態 II」日本物理学会2020年秋季大会 (オンライン開催, 2020年9月8日-11日)
- [12] ◎ 杉山貴哉, 岩澤英明, 小澤秀介, 尾田拓之慎, 河野 嵩, 木村昭夫, 宮本幸治, 奥田太一, 石田茂之, 吉田良行, 永崎 洋: 「高分解能 ARPES による  $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_{8+d}$ のギャップ不均一性」日本物理学会2020年秋季大会 (オンライン開催, 2020年9月8日-11日)
- [13] ◎ 三石夏樹, 杉田悠介, 秋葉智起, 高橋佑輝, 吉田 訓, Saika Bruno Kenichi, 坂野昌人, 湯川 龍, 堀場弘司, 組頭広志, 宮本幸治, 奥田太一, 高橋英史, 石渡晋太郎, 求 幸年, 石坂香子: 「二重ジグザグ鎖-七量体形状の格子歪みをもつ電荷密度波物質  $\text{TaTe}_2$ の電子状態」日本物理学会2020年秋季大会 (オンライン開催, 2020年9月8日-11日)
- [14] 早川岳人, 川瀬啓悟, 静間俊行, 羽島良一, ジェームズコーガ, 全 炳俊, 紀井俊輝, 大垣英明, 藤本将輝, 加藤政博: 「レーザーコンプトン散乱 $\gamma$ 線によるデルブリュック散乱の計測 II」日本物理学会2020年秋季大会 (オンライン開催, 2020年9月8日-11日)
- [15] 井角 元, 水牧仁一朗, 雀部矩正, 保井 晃, 明渡 悠, 河端 拓, 下笠諒平, 柴垣善則, 河村直己, 池永英司, 筒井智嗣, 佐藤 仁, 広瀬雄介, 摂待力生, 魚住孝幸, 三村功次郎: 「共鳴硬 X 線光電子分光による  $\text{CeRh}_3$ の電子状態の研究」日本物理学会2020年秋季大会 (オンライン開催, 2020年9月8日-11日)
- [16] 井上賢太, 田村浩太郎, 井角 元, 柴垣善則, 保井 晃, 雀部矩正, 水牧仁一郎, 河村直己, 池永英司, 筒井智嗣, 佐藤 仁, 光田暁弘, 和田裕文, 魚住孝幸, 三村功次郎: 「共鳴硬 X 線光電子分光による  $\text{EuNi}_2(\text{P}_{1-x}\text{Ge}_x)_2$ の電子状態の研究」日本物理学会2020年秋季大会 (オンライン開催, 2020年9月8日-11日)
- [17] ○ 大曲雄大, 鬼丸孝博, 山根 悠, 志村恭通, 梅尾和則, 高畠敏郎, 松本拓真, 前田和大, 佐藤 仁, 廣瀬陽代, 菊川直樹, 寺嶋太一, 宇治進也: 「Yb ジグザグ鎖をもつ  $\text{YbCuS}_2$ の磁場誘起相」日本物理学会2020年秋季大会 (オンライン開催, 2020年9月8日-11日)
- [18] ◎ 氷上颯馬, 森綱尚輝, 溝川貴司, 石田茂之, 永崎 洋, 伊豫 彰, 今井基晴, 阿部英樹, 有田将司, Shiv Kumar, Eike F. Schwier, 島田賢也, N. L. Saini: 「 $\text{CaKFe}_4\text{As}_4$ の特異なフェルミ面構造」日本物理学会2020年秋季大会 (オンライン開催, 2020年9月8日-11日)
- [19] ◎ 吉川智己, Antonov Victor, 河野 嵩, 鹿子木将明, Wang Xiaoxiao, 角田一樹, 宮本幸治, 竹田幸治, 斎藤祐児, 後藤一希, 桜庭裕弥, 宝野和博, Ernst Arthur, 木村昭夫: 「ホイスラー合金  $\text{Co}_2\text{MnGe}(\text{Ga})$ 薄膜の  $\text{Ge}(\text{Ga})$   $L_{2,3}$ 端における磁気円二色性スペクトル II」日本物理学会2020年秋季大会 (オンライン開催, 2020年9月8日-11日)
- [20] ◎ 岩尾剛志, 島田美帆, 加藤政博: 「仮想現実 (VR) を用いた放射光施設の教育・見学用コンテンツの製作」第34回日本放射光学会年会・放射光科学合同シンポジウム (オンライン開催, 2021年1月8日-10日)

- [21] ◎ 平松 快, 島田美帆, 加藤政博: 「超電導偏向磁石を用いた小型放射光リングの設計の試み」第34回日本放射光学会年会・放射光科学合同シンポジウム (オンライン開催, 2021年1月8日-10日)
- [22] 金安達夫, 彦坂泰正, 藤本将輝, 岩山洋士, 加藤政博: 「Xe 4d 内殻電子の軟 X 線波束干渉制御」第34回日本放射光学会年会・放射光科学合同シンポジウム (オンライン開催, 2021年1月8日-10日)
- [23] ◎ 松尾光一, 魚見彩乃, 清水 健, 泉 雄大, 月向邦彦: 「真空紫外円二色性法を用いたグルコースの構造と水和に関する研究」第34回日本放射光学会年会・放射光科学合同シンポジウム (オンライン開催, 2021年1月8日-10日)
- [24] 熊代宗弘, 辻 怜河, 松尾光一: 「放射光円二色性分光によるマガイニン2の膜孔形成過程における脂質自発曲率と膜流動性の寄与の研究」第34回日本放射光学会年会・放射光科学合同シンポジウム (オンライン開催, 2021年1月8日-10日)
- [25] ◎ 泉 雄大, 松尾光一, 横谷明德: 「温熱処理した細胞から抽出したヒストンの円二色性測定」第34回日本放射光学会年会・放射光科学合同シンポジウム (オンライン開催, 2021年1月8日-10日)
- [26] ◎ 吉川智己, Victor Antonov, 河野 嵩, 鹿子木将明, 角田一樹, 宮本幸治, 竹田幸治, 斎藤祐児, 後藤一希, 桜庭裕弥, 宝野和博, Arthur Ernst, 木村昭夫: 「フルホイスラー合金  $\text{Co}_2\text{MnZ}$  ( $\text{Z}=\text{Ga}, \text{Ge}$ ) 薄膜の非磁性元素サイトにおける磁気円二色性スペクトル」第34回日本放射光学会年会・放射光科学合同シンポジウム (オンライン開催, 2021年1月8日-10日)
- [27] ◎ 角田一樹, 桜庭裕弥, 増田啓介, 河野 嵩, 鹿子木将明, 後藤一希, Weinan Zhou, 宮本幸治, 三浦良雄, 奥田太一, 木村昭夫: 「強磁性  $\text{Co}_2\text{MnGa}$  薄膜におけるスピン偏極ワイル分散と巨大異常ネルンスト効果の観測」第34回日本放射光学会年会・放射光科学合同シンポジウム (オンライン開催, 2021年1月8日-10日)
- [28] ◎ 角田一樹, 桜庭裕弥, 増田啓介, 河野 嵩, 鹿子木将明, 後藤一希, Weinan Zhou, 宮本幸治, 三浦良雄, 奥田太一, 木村昭夫: 「 $\text{Co}_2\text{MnGa}$  薄膜におけるスピン偏極ワイル分散と巨大異常ネルンスト効果」日本物理学会第76回年次大会 (オンライン開催, 2021年3月12日-15日)
- [29] ○小杉 直, 郭 磊, 高嶋圭史, 真野篤志, 保坂将人, 加藤政博, 栗木雅夫: 「Cs-K-Sb ヘテロ接合による GaAs フォトカソードの NEA 活性化」日本物理学会第76回年次大会 (オンライン開催, 2021年3月12日-15日)
- [30] 真野篤志, 木村信之介, 高嶋圭史, 保坂将人, 加藤政博: 「マイケルソン干渉を用いたアンジュレータ光のコヒーレンス長測定」日本物理学会第76回年次大会 (オンライン開催, 2021年3月12日-15日)
- [31] サレヒエルハム, 保坂将人, 真野篤志, 高嶋圭史, 加藤政博: 「アンジュレータ放射波束の時間構造」日本物理学会第76回年次大会 (オンライン開催, 2021年3月12日-15日)
- [32] 和田真一, 太田寛之, 真野篤志, 加藤政博: 「アンジュレータ放射光渦のダブルスリット回折カウンティング実験」日本物理学会第76回年次大会 (オンライン開催, 2021年3月12日-15日)
- [33] 山崎大雅, 岩満一功, 熊添博之, 澤田正博, 原 正大, 赤井一郎: 「金属ニッケル薄膜の X 線磁気円二色性スペクトルにおけるベイズ分光 II」日本物理学会第76回年次大会 (オンライン開催, 2021年3月12日-15日)

- [34] 秋元優紀, 黒田健太, 越智正之, 川口海周, 櫻木俊輔, 新井陽介, 万 宇軒, 黒川輝風, 田中宏明, 有田将司, 出田真一郎, 田中清尚, 辛 埴, 平井大悟郎, 廣井善二, 山田高広, 近藤 猛: 「角度分解光電子分光で観察した希薄キャリア超伝導体におけるフラットバンド構造」日本物理学会第76回年次大会 (オンライン開催, 2021年3月12日-15日)

#### 学生の学会発表実績

##### (国際会議)

- 博士課程前期の学生が共同発表者の発表件数 3 件
- 博士課程後期の学生が共同発表者の発表件数 5 件
- 博士課程前期・後期の学生が共に共同発表者の発表件数 0 件

##### (国内学会)

- 博士課程前期の学生が共同発表者の発表件数 1 件
- 博士課程後期の学生が共同発表者の発表件数 3 件
- 博士課程前期・後期の学生が共に共同発表者の発表件数 1 件

#### セミナー・講演会開催実績

##### (国際シンポジウム・ワークショップ主催)

- [1] The 25th Hiroshima International Symposium on Synchrotron Radiation (2021年3月4日-5日 参加者総数60名)

#### 各種研究員と外国人留学生の受入状況

- 外国人客員研究員受入 0 件
- 外国人留学生受入 (研究指導) 4 件

#### 社会活動・学外委員

##### (高大連携 見学・研修受入)

- [1] 広島大学附属高等学校 (リモート施設見学), 43名 (2020年7月28日)
- [2] 広島大学附属福山中学校, 48名 (2020年10月16日)
- [3] 島根県邑南町立羽須美中学校 (リモート施設見学), 10名 (2021年2月5日)

##### (海外機関の見学・研修受入)

- [1] ザグレブ大学, 2名 (2020年4月3日)
- [2] ルンド大学, 2名 (2020年8月26日)
- [3] ルンド大学, 2名 (2020年8月27日)
- [4] ルンド大学, 2名 (2020年9月1日)

##### (一般の見学・研修受入)

- [1] 技能工研究所フィールイメージ株式会社, 5名 (2020年7月29日)
- [2] 山口大学, 2名 (2020年8月11日)
- [3] 山口大学, 2名 (2020年8月25日)

- [4] 九州シンクロトロン光研究センター, 2名 (2020年9月15日)
- [5] 令和2年度理学部・大学院理学研究科公開(ホームカミングデー), 36名 (2020年11月7日)
- [6] 広島大・KEK-day (リモート施設見学), 134名 (2020年12月19日)

(学内の見学・研修受入)

- [1] 先進理工系科学研究科, 2名 (2020年4月17日)
- [2] 先進理工系科学研究科, 2名 (2020年4月21日)
- [3] 理学系支援室, 3名 (2020年5月26日)
- [4] 先進理工系科学研究科, 2名 (2020年6月11日)
- [5] 先進理工系科学研究科, 3名 (2020年6月16日)
- [6] 先進理工系科学研究科, 3名 (2020年6月23日)
- [7] 先進理工系科学研究科, 3名 (2020年6月24日)
- [8] 先進理工系科学研究科, 2名 (2020年6月24日)
- [9] 先進理工系科学研究科, 2名 (2020年6月24日)
- [10] 教育室教育部入試グループ, 5名 (2020年6月30日)
- [11] 教育室教育部入試グループ, 3名 (2020年7月2日)
- [12] 理学融合教育研究センター, 7名 (2020年7月2日)
- [13] 先進理工系科学研究科, 2名 (2020年7月16日)
- [14] 先進理工系科学研究科, 29名 (2020年7月29日)
- [15] 先進理工系科学研究科, 11名 (2020年8月4日)
- [16] 先進理工系科学研究科, 10名 (2020年8月8日)
- [17] 先進理工系科学研究科, 2名 (2020年9月2日)
- [18] 先進理工系科学研究科, 11名 (2020年9月11日)
- [19] 理学系支援室, 3名 (2020年9月29日)
- [20] 先進理工系科学研究科, 13名 (2020年10月20日)
- [21] 理学融合教育研究センター, 6名 (2020年10月20日)
- [22] 先進理工系科学研究科, 11名 (2020年11月10日)
- [23] 先進理工系科学研究科, 11名 (2021年1月8日)
- [24] 先進理工系科学研究科, 7名 (2021年1月22日)
- [25] 先進理工系科学研究科, 11名 (2021年3月5日)
- [26] 先進理工系科学研究科, 8名 (2021年3月18日)

(学協会委員)

- [1] 生天目博文：第34回日本放射光学会年会・放射光科学合同シンポジウム実行委員長
- [2] 島田賢也, 奥田太一, 加藤政博, 佐藤 仁, 松尾光一, 澤田正博, 宮本幸治, 泉 雄大, 岩澤英明：第34回日本放射光学会年会・放射光科学合同シンポジウム実行委員
- [3] 島田賢也, 生天目博文, 島田美帆, 泉 雄大：第34回日本放射光学会年会・放射光科学合同シンポジウムプログラム委員
- [4] 島田賢也：日本放射光学会評議員
- [5] 奥田太一：日本表面科学会関西支部幹事
- [6] 奥田太一：日本放射光学会プログラム委員
- [7] 加藤政博：日本加速器学会評議員
- [8] 加藤政博：日本放射光学会評議員

- [9] 松尾光一 : Member of editorial board in “Biomedical Spectroscopy and Imaging - IOS Press”
- [10] 佐藤 仁 : 第23回 XAFS 討論会プログラム委員長 (2020年9月9日-11日)
- [11] 佐藤 仁 : 日本物理学会 Jr.セッション委員
- [12] 佐藤 仁 : 広島県物理教育研究推進会事務局,庶務幹事
- [13] 佐藤 仁 : リフレッシュ理科教室実行委員会委員

(外部評価委員等)

- [1] 島田賢也 : SPring-8専用施設審査委員会委員
- [2] 奥田太一 : SPring-8 / SACLA 成果審査委員会査読者
- [3] 奥田太一 : 高エネルギー加速器研究機構物質構造研究所放射光利用実験審査委員・分科会委員長
- [4] 奥田太一 : 日本学術振興会 科学研究費委員会専門委員
- [5] 奥田太一 : 分子科学研究所・UVSOR 運営委員会委員
- [6] 奥田太一 : VSX 利用者懇談会幹事
- [7] 加藤政博 : 高エネルギー加速器研究機構加速器・共通基盤研究施設運営会議委員
- [8] 加藤政博 : あいちシンクロトロン光センター運営委員会委員
- [9] 佐藤 仁 : 原子力機構 (JAEA) 施設利用協議会光科学専門部会/量研 (QST) 施設共用課題審査委員会 専門委員

(産学官連携実績)

- [1] 島田賢也 : (独) 産業技術総合研究所 共同研究
- [2] 奥田太一 : (株) 日立製作所 共同研究
- [3] 奥田太一 : VG シェンタ (株) 共同研究
- [4] 宮本幸治 : 自然科学研究機構 分子科学研究所 協力研究
- [5] 松尾光一 : (株) ミルボン 共同研究

国際共同研究・国際会議開催実績

(学術国際交流協定)

- [1] 中国・中国科学院物理研究所超伝導国家重点実験室
- [2] ロシア・ロシア科学アカデミーヨッフエ物理技術研究所
- [3] ドイツ・ミュンスター大学物理学部
- [4] ロシア・サンクトペテルブルク大学

(国際共同研究)

- [1] 「Revealing the electronic structure of n-doped axion insulator  $\text{EuIn}_2\text{As}_2$ 」, Ke Deng (中国・南方科技大学)
- [2] 「High-resolution ARPES study on magnetic topological insulators  $\text{Mn}(\text{Bi}_{1-x}\text{Sbx})_4\text{Te}_7$ 」, Chang Liu (中国・南方科技大学)
- [3] 「High-resolution ARPES study on magnetic topological insulators  $\text{Mn}(\text{Bi}_{1-x}\text{Sbx})_2\text{Te}_4$ 」, Chang Liu (中国・南方科技大学)
- [4] 「Spin-orbit-induced splitting of the Tamm surface state of  $\text{Re}(0001)$ 」, Markus Donath (ドイツ・

ミュンスター大学)

- [5] 「Probing a new type of spin-splitting effect in antiferromagnets」, Chang Liu (中国・南方科技大学)
- [6] 「Band Structure Investigation of iron superconductor Ba<sub>0.6</sub>K<sub>0.4</sub>Fe<sub>2</sub>As<sub>2</sub>」, Xingjiang Zhou (中国・中国科学院)
- [7] 「Spin-ARPES study of topological band structures in Ca<sub>2</sub>Pd<sub>3</sub>Sb<sub>4</sub>」, Wu Shilong (中国・中国科学院)

研究助成金等の受入状況

- [1] 奥田太一：基盤研究 (A) (研究代表者)「オペランド (外場印加) スピン角度分解光電子分光によるトポロジカル相転移の研究」総額45,890千円 2020年度 22,620千円
- [2] 加藤政博：基盤研究 (A) (研究代表者)「放射光の位相構造制御法の開発」総額42,640千円 2020年度 14,430千円
- [3] 宮本幸治：基盤研究 (B) (研究代表者)「スピン角度分解光電子分光で探るレーザー光による光誘起スピン電流の電子スピン制御」総額18,330千円 2020年度1,300千円
- [4] 泉 雄大：基盤研究 (C) (研究代表者)「放射光円二色性分光を用いた DNA 損傷修復過程におけるクロマチン構造変化過程の解明」総額4,030千円 2020年度1,170千円
- [5] 松尾光一：基盤研究 (C) (研究代表者)「真空紫外円二色性と直線二色性法による膜結合蛋白質の精密構造解析」総額4,420千円 2020年度1,430千円
- [6] 佐藤 仁：基盤研究 (C) (研究代表者)「カイラル金属磁性とフェルミ面のスピン分裂」総額3,640千円 2020年度 1,170千円
- [7] 奥田太一：VG (株)「VLEED 型スピン検出器の性能向上のための研究」研究費 3,245千円
- [8] 奥田太一：(株) 日立製作所「磁区観察用超低速電子線回折型スピン検出器の開発」研究費474千円
- [9] 松尾光一：(株) ミルボン「毛髪個体切片の円二色性スペクトル測定技術の確立」研究費 500千円

その他特記すべき事項

(受賞)

- [1] 有田将司：第8回日本放射光学会功労報賞
- [2] 有田将司：令和2年度広島大学長表彰



## 2 物理学科

2017年度より、学科名称を「物理科学科」から「物理学科」へ変更した。

### 2-1 学科の理念と目標

宇宙と物質に関する基本的な疑問を解明するための基礎的な知識と手法，論理的な思考など物理学に関する教育を行う。物理学科では，教育の理念を次のように定めている。

- 基本原理と普遍的法則の解明に向けた教育研究の推進
- 物理科学の新たな知の創造とその発展・継承
- 人類社会の進歩に貢献する人材の育成

学科の目標は，学士課程で修得すべき事項と学部修了時までには修得すべき事項とに分けて設定されている。

#### (1) 学士課程

学生の学習到達度や理解度に則した段階的な教育目標。

基礎知識から専門知識の習得を経て，応用・実践能力を培う。

#### (2) 学部修了時

学生の進路に応じて修得すべき目標。

物理学的素養や問題解決能力を養い，物理学的素養を応用する能力と研究活動を行うのに必要な物理科学の基礎知識と手法開発能力を培う。

### 2-2 学科の組織

物理学科の学部教育を担当する教員は，先進理工系科学研究科物理学プログラムの全教員(21名)，先進理工系科学研究科量子物質科学プログラムの理学系教員(17名)，および放射光科学研究センター(8名)，宇宙科学センター(4名)，自然科学研究開発支援センター(1名)の教授，准教授，助教から構成される。学部教育を担当する教員数は現状で十分と考えられる。このように異なる研究科の2プログラムと3センターが学部教育を担当しており，それぞれの中期計画・中期目標に沿った教員人事選考が行われているが，教員の公募・採用と配置では学部教育に関する共通の基盤にたった配慮がなされる様に「教員の理学部(物理学科)併任に関する申合せ」を作成し，人事選考の過程で物理学科教授懇談会の場で候補者の紹介が行われることが慣例となっている。

◎物理学科教員リスト(令和2年4月時点)

#### ・物理学プログラム

##### 教授

小嶋康史，志垣賢太，深澤泰司，黒岩芳弘，森吉千佳子，木村昭夫

##### 准教授

両角卓也，石川健一，岡部信広，山口頼人，高橋弘充，中島伸夫，  
和田真一，関谷徹司

##### 助教

清水勇介，本間謙輔，三好隆博，Kim Sangwook，石松直樹，

Munisai Nuermaiti, 吉田啓晃

・放射光科学研究センター（併任）

教授

生天目博文，島田賢也，奥田太一，加藤政博

准教授

佐藤 仁，澤田正博，松尾光一，宮本幸治

・宇宙科学センター（併任）

教授

川端弘治

准教授

植村 誠，水野恒史

助教

稲見華恵

・量子物質科学プログラム

教授

嶋原 浩，松村 武，鬼丸孝博，鈴木孝至，岡本宏己，栗木雅夫

准教授

田中 新，樋口克彦，八木隆多，石井 勲，高橋 徹，檜垣浩之

助教

比嘉野乃花，志村恭通，飯沼昌隆，伊藤清一，LIPTAK ZACHARY JOHN

・自然科学研究開発支援センター

准教授

梅尾和則

## 2-3 学科の学士課程教育

物理教育では、数学による解析的能力を養い、それを物理法則や基礎方程式に応用することが求められる。さらに広く物理学の概念を学び、基本的法則を通して物理現象を検証し理解する必要がある。したがって、学生には講義と演習と実験、結果の報告と発表を通じて、かなりの量の体系的かつ論理的な思考の展開が要求される。このような課程をスムーズに通過させ、入学時の期待と学習に対する熱意を持続させる学士課程教育が必要となる。また、70%以上の学生が大学院博士課程前期（修士）に進学する現状をみると、学部での基礎教育から大学院での専門教育への接続、教育職免許などの資格取得意欲の持続など、到達目標型教育プログラムの推進と併せて教員の取り組みに検討すべき点が多い。

物理学科では物理学の修得に必須となる科目をコア科目と位置づけ、学科としてその科目の内容（モデルシラバス）を定めることにより、年度や担当教員の違いによるばらつきを少なくする実施体制をとっている。また、演習科目や実験科目を中心にティーチングアシスタント（TA）を配置することにより、きめ細かな指導の下で習熟度を高める効果が上がっている。選択必修の専門科目については、授業アンケートの結果や大学院での専門教育への接続を考慮したカリ

キュラムの軽微な変更を含む見直しを行っている。

学士教育の担当教員数は現状で十分と考えられるが、負担が集中する傾向も見られる。准教授がチューターを担当するケースが増えており、教授と准教授の役割分担は必ずしも明確ではない。また、非常勤の削減を補うTAの雇用が増加している。TAによる授業補助や学生へのケアなど教育効果は確かに上がっているが、TA学生自身の教育と評価などは未検討の課題である。

なお、ミッションの再定義とRU/SGU支援事業の採択を受けて、主専攻プログラム（物理学）のカリキュラムの改訂を行った。

理学部のアドミッション・ポリシー、カリキュラム・ポリシー、ディプロマ・ポリシーに則り、物理学科・物理学プログラムのポリシーを以下のような設定し教育を行っている。

## 1. アドミッションポリシー

本学科が編成している物理学プログラムのディプロマ・ポリシー及びカリキュラム・ポリシーを踏まえ、入学前に以下のような多様な能力を身につけてきた学生を求めています。

- (1) 知識・技能については、物理学の基礎を学ぶために必要な、高等学校段階の物理学、数学についての高い学力を持つ人
- (2) 思考力・判断力・表現力等の能力については、実験や計算などの課題に取り組むのに必要な、自らの知識・能力・技能を駆使して、論理的に考える能力を持つ人
- (3) 主体性をもって多様な人々と協働して学ぶ態度については、幅広い分野で活躍するために必要な、コミュニケーション能力、特に英語について高い能力を持つ人

なお、第1年次の入学前に学習しておくことが期待される内容は、以下のとおりです。

- ① 物理学の基礎を学ぶために必要な、高等学校段階の物理学について、理解を深めること
- ② 物理学の基礎を学ぶために必要な、高等学校段階の数学について、理解を深めること
- ③ 物理学を学ぶために必要な、外国語を習得しておくこと
- ④ 物理学を学ぶために必要な、日本語の必要な読解力・表現力・コミュニケーション能力を身につけておくこと

また、入学後には、階層化された科目群による物理学の知識・能力・技能の修得、理学一般に通用する基礎学力の習得に意欲的に取り組み、大学院におけるより専門的な教育・研究に必要な能力を身につけることのできる学生、またそれらの知識や経験を活かして、将来、国公立研究機関の研究者や企業の技術職として社会で活躍することを目指す学生を求めています。

## 2. カリキュラム・ポリシー

本プログラムでは、積み上げの学問である物理学の知識・能力・技能を習得するため、教養コア科目、基盤科目、専門基礎科目、専門科目に階層化されています。また、専門基礎科目までは物理学に閉じることなく理学一般に通用する基礎学力を習得できる編成となっています。専門基礎科目では講義科目に対応する演習科目を設け、物理学の理解と活用力を育成しています。

### 3. ディプロマ・ポリシー

本プログラムでは、以下の4項目に示す物理における基礎的、専門的な知識・能力・技能を有し、大学院におけるより専門的な教育・研究に必要な能力を身につけ、大学や国公立研究機関の研究者、あるいは企業の技術職や専門職等で活躍することのできる人材の育成のため、教育課程の定める基準となる単位数を修得した学生に「学士（理学）」の学位を授与します。

- ・ 物理学における基礎的、専門的な知識・能力・技能。
- ・ 実験や観測などの客観的事実やモデル計算の結果に対して、物理学の知識・能力・技能を駆使して自ら論理的に考えることができる能力。
- ・ 物理学に限らず、広い視野と倫理観を持って、科学研究、教育、実業の幅広い分野で活躍することができる素養。
- ・ 国際的な感覚を持ち、科学的な内容に関する報告や議論、プレゼンテーションなどを英語で行うことができる能力。

学科授業担当

2020年度前期授業担当		
1年次		
火	教養ゼミ	深澤, 生天目, 小畠, 木村, 岡本, 鈴木
水	力学A	八木
	物理数学A	中島
金	物理学演習	水野, 本間, 栗木
	教養ゼミ	深澤, 生天目, 小畠, 木村, 岡本, 鈴木
2年次		
火	物理数学C	石川
	電磁気学I	栗木
水	熱力学	松村
木	解析力学	黒岩
	電磁気学演習	関谷, 中島, 加藤
3年次		
火	物理学実験I	和田 他
水	応用電磁力学	岡本
	量子力学演習	佐藤, 松村, 宮本
木	統計力学I	嶋原
	固体の構造と物性	森吉
金	量子力学II	樋口
	相対性理論	小畠
	物理学実験I	和田 他
4年次		
木	固体物理学II	鬼丸
金	相対論的量子力学	両角

2020年度後期授業担当		
1年次		
水	物理学序論	檜垣
	力学B	檜垣
金	力学演習	志垣, 奥田, 山口
	物理数学B	樋口
2年次		
月	先端物理学	志垣 他
火	物理学数値計算法	三好
	物理学英語	深澤, 稲見, LIPTAK
	先端物理学	志垣 他
水	電磁気学II	鬼丸
	電磁・量力演習	島田, 松尾, 生天目
木	物理数学D	岡部
	量子力学I	石川
金	物理学特別講義	飯沼
	物理学実験法	梅尾
3年次		
火	分子物理学	関谷
	物理学実験II	和田 他
水	統計力学II	嶋原
	原子核素粒子物理学	志垣
	宇宙天体物理学	深澤
木	統計力学演習	澤田, 田中, 八木
	固体物理学I	木村
	連続体力学	鈴木
金	量子力学III	田中
	物理学実験II	和田 他

学士課程教育の理念を達成するためには、教育および教育環境に関する支援が重要と考えられる。教育に関する支援では、履修指導が最も重要である。新入生および在学生に対するガイダンスや学生アンケート、成績交付時の個別面談などは恒例となっている。各年度に4名の教員がチューターとして16～17名の学生を担当するので、きめ細かい支援が実行されている。教育環境に関する支援では、施設・設備の充実とホームページの整備による履修と成績に関する情報開示が挙げられる。

学生の授業アンケート調査の結果、教育内容と量に関する評価は概ね良好であった。学生は、授業内容に関する理解と達成感が得られたとして、授業に満足していることが分かる。

特に演習やゼミナール形式の少人数授業の評価が高いが、予習・復習に対する取り組みの自己評価が低い。これらの評価の間に整合性を欠くことが憂慮される。これは成績分布に見られる二極化が、更に無極化する傾向と関連して深刻な問題である。一方、3年次の物理学実験に対する良好な評価が得られているようで、卒業研究着手のための配属研究室の選択にも、その実験の経験が大いに影響している。担当教員の取り組みが重要であることを強く示唆している。

学生に基本的な学習習慣を身につけさせるために、成績評価を厳格にする傾向が見受けられる。これは教員の見識ある取り組みと言えるが、授業に対する教員の熱意と工夫が不可欠であり、成績不振者に対するケアも重要となる。成績分布の二極化が憂慮される中で、これも高校での教育や多様な入試制度などと無縁ではない。学生の意識を変えるための教員側の工夫が求められるが、学生の資質と強く関係して、その方法の模索が続いている。

履修指導を最も必要とする学生は成績不振者である。チューターの役割が重要であるが、多様な学生に対応しながら、深刻な状態にある学生をケアするチューターの負担が増加している。このような現状から、現行のチューター制度は限界に来ていると考えられ、特に心身に不調を抱える学生には保健管理センターとの連携による支援が不可欠と考えられる。一方、成績不振の基準を定めて、成績不振学生に退学勧告を出す厳格な指導も必要と考えられる。

教育環境に関する学生の要望を汲み上げる仕組みとして「物理学科ミニ懇談会」を開催している。近年、学生の出席者数が減少傾向にあったので、平成26年より学年別に開催して出席者の増加を図っている。支援体制に対する学生の評価は概ね良好と判断される。

### 2-3-3 学士課程教育の成果とその検証

学士課程教育の成果は卒業研究に集約され、その内容は卒業論文と卒業論文発表会で検証される。卒業研究は、3年間での早期卒業を目指す学生を除き、4年次を行うことを原則としており、100単位以上の卒業要件単位と物理学実験I、IIの修得を卒業研究着手の要件としている。

学士課程教育の総仕上げともいえるべき卒業研究のための研究室配属は、学生への履修支援の観点から極めて重要である。物理科学科では、3年次後期の配属ガイダンスから卒業研究着手に至る過程に「研究室配属に関するルール」が定められている。各研究グループに配属する学生数は当該グループの教員数に応じて均等に成るように配慮されている。

学生は物理学科目を担当する研究グループに配属され、当該グループの教授あるいは准教授が指導教員となって前期・後期の通年で卒業研究を行う。卒業研究テーマは、いくつかのテーマからの選択あるいは学生の希望によって決定されるのが一般的である。卒業研究と同時に、各研究グループで前期に開講される物理学セミナーを受講し、卒業研究に関連した専門知識の修得も行う。

## 2020年度入学生

	定員	志願者	入学者
AOI型	10	15	6
前期日程	36	90	40
後期日程	20	121	17
計	66	226	63

## チューター

入学年度	チューター			
2020	檜垣	深澤	鈴木	黒岩
2019	志垣	石川	中島	岡本
2018	鬼丸	八木	田中	両角
2017	嶋原	関谷	高橋	木村
2016	小嶋	栗木	樋口	松村
2015	黒岩	山本	檜垣	深澤

## 2-3-4 卒業論文発表実績

卒業研究の成果は、卒業論文としてまとめられると共に、卒業研究発表会において口頭での概要発表（2分間）とポスター発表（1時間30分）を併用して報告される。教育交流委員が世話人となって、要旨集の作成、プログラム編成、座長の指名、会場設営などを取り仕切る。2020年度の発表会では卒業生を3グループに分割し、3セッションで実施した。この卒業論文と発表に対する主査1名と副査1名による評価に基づき、学科教員会において卒業研究の単位を認定する。また卒業論文発表に関する優秀賞（4～7名）を全教員の投票によって選考している。受賞者は学科別卒業証書授与式で表彰され、受賞者の氏名は学科ホームページと次年度以降の卒業論文要旨集に記録される。過去5年間の卒業論文発表実績を下表に示す。

年度	発表者数	優秀賞受賞	卒業学生数	大学院進学
2020	74	5	71	47
2019	57	5	58	43
2018	64	5	65	46
2017	63	7	64	48
2016	74	6	73	53
2015	71	5	68	37

2020年度の卒業論文発表会は、2021年2月12日（金）に3つのグループで時間帯を分け、ショートオーラル、ポスター発表ともにオンラインにて開催した。

以下に、卒業論文発表題目を掲載する。



## 2020年度 理学部・物理学科 卒業論文発表会

2021年2月12日 (金)

場所：オンライン ショートオーラル

オンライン ポスター発表

	氏名	論文題目	指導教員	主査	副査
1	羽柴 諒	ワイル半金属Eu <sub>2</sub> Ir <sub>2</sub> O <sub>7</sub> のエネルギーバンド構造および光学応答	樋口	樋口	木村
2	木戸大魁	Pr希薄系La <sub>1-x</sub> Pr <sub>x</sub> V <sub>2</sub> Al <sub>20</sub> ( $x \leq 0.5$ )における磁場に鈍感な比熱異常	鬼丸	鬼丸	中島
3	吉田葉月	常温衝撃によるチタン酸ジルコン酸鉛セラミックス合成の検証	黒岩	黒岩	田中
4	加藤和貴	PbBi <sub>4</sub> Te <sub>4</sub> S <sub>3</sub> のトポロジカル表面状態の光電子分光による選択的励起	奥田	奥田	森吉
5	太田寛之	アンジュレータ放射光渦を用いた単一光子状態におけるヤングの干渉実験	和田	和田	黒岩
6	坂本貴則	グリーン関数を用いた超伝導理論	嶋原	嶋原	生天目
7	江島 廉	ALICE 実験 Run 3 における多重クーロン散乱を考慮した前方ミュオン粒子の飛跡再構成	志垣	志垣	栗木
8	上村一揮	密度汎関数理論を用いた層状RuO <sub>2</sub> のエネルギーバンド計算	樋口	樋口	奥田
9	中川海斗	実光子弾性散乱検出器におけるγ線と電子の識別に関するシミュレーション研究	高橋 (徹)	高橋 (徹)	深澤
10	田端紘大	共同冷却によるクーロン結晶生成のための準備実験	岡本	伊藤	川端
11	神尾 彬	光電子分光によるYbCu <sub>5-x</sub> Al <sub>x</sub> の電子状態の研究	佐藤	佐藤	八木
12	山根聡一郎	トポロジカル超伝導におけるエッジ状態	田中	田中	澤田
13	鞆 宏隆	質量関数を使った宇宙論パラメータσ <sub>8</sub> の測定と質量バイアスの影響	岡部	岡部	両角
14	藤本竜平	カイラル超場における非くりこみ定理	石川	両角	小嶌
15	竹内勝哉	IXPE衛星によるブラックホール連星偏光観測の感度評価	深澤	水野	小嶌
16	繁樹鳳康	鉛を含むペロブスカイト型複合酸化物の反強誘電相転移	黒岩	黒岩	島田
17	大塚春菜	NFWプロファイル周りのサテライト銀河の軌道	岡部	岡部	稲見
18	松村涼平	精密結晶構造解析支援アプリケーションの開発	森吉	森吉	樋口
19	平松 快	超伝導偏向電磁石を用いた小型放射光リングの設計	加藤	加藤	田中
20	橋本 聡	マイクロ流路時間分解セルの評価と真空紫外円二色性によるタンパク質構造変化の観測	松尾	松尾	中島
21	小野響子	膨張宇宙モデルの決定に機械学習を適応する試み	小嶌	小嶌	石川
22	山本汐音	超伝導の基礎理論	嶋原	嶋原	八木
23	石橋迪也	軽い暗黒物質探索へ向けた極少数レーザー光子	志垣	本間	飯沼

		状態の計測			
24	大和田清貴	放射光角度分解光電子分光を用いた高効率熱電変換物質のバンド構造の研究	木村	木村	石井
25	小林士朗	小澤の測定誤差の実験的評価による任意の射影測定での物理量の値についての研究	高橋(徹)	飯沼	岡本
26	保木井貴大	放射光回折実験によるビスマス系鉛フリー圧電セラミックスの精密構造解析	黒岩	黒岩	鬼丸
27	井澤幸邑	レプトンセクターにおけるユニタリー三角形の作図	両角	清水	本間
28	熱田真大	SuperKEKBにおけるスピン偏極電子ビームの実装についての検討	栗木	栗木	志垣
29	井上建吾	希土類化合物ErNiAlにおける弾性ソフト化と磁気秩序の弾性応答	石井	石井	奥田
30	宮崎聖人	データから物理法則を発見する人工知能：AI-Feynmanの成果と課題，及び行動科学への応用	石川	石川	木坂
31	鈴木健人	NdIr <sub>2</sub> Zn <sub>20</sub> における弾性ソフト化と磁気秩序の磁場応答	鈴木	鈴木	木村
32	張 韓	LHC エネルギー原子核衝突における硬散乱起源前方仮想光子の収量見積	志垣	志垣	檜垣
33	高津溪一郎	比熱測定によるCeSの磁気相転移の研究	松村	松村	和田
34	久保優介	逆モンテカルロ法を用いた圧力誘起インバー合金Fe <sub>55</sub> Ni <sub>45</sub> の局所構造解析	中島	石松	鬼丸
35	水谷宗一郎	希土類セレン化物RAgSe <sub>2</sub> (R = Dy, Ho, Er, Yb)のジグザグ鎖における磁気フラストレーション	鬼丸	鬼丸	加藤
36	木村生成	機械学習・画像認識技術による二次元イジングモデルの相転移点の検出	田中	田中	吉田
37	松田英之	ALICE 実験前方 $\mu$ 粒子飛跡検出器導入後の $J/\psi$ 中間子不変質量分解能の評価	山口	山口	伊藤
38	中村謙吾	超音波分光法によるHoNiAlの弾性ソフト化と直方晶結晶場効果の研究	鈴木	鈴木	森吉
39	濱野幹矢	相互作用のあるボース粒子系におけるボース・アインシュタイン凝縮に関する研究	樋口	樋口	石松
40	坂野碩保	X線吸収分光法によるBa(Ti <sub>1-x</sub> Sn <sub>x</sub> )O <sub>3</sub> セラミックスの温度-置換量相図に基づく電子状態の研究	中島	中島	島田
41	吉長日向子	ペニングトラップ中におけるネオンプラズマの密度分布制御	檜垣	檜垣	山口
42	崎山彰久	亜鉛包接シクロデキストリンの電子状態の研究	関谷	吉田	梅尾
43	神森龍一	X線発光分光によるCeCu <sub>6-x</sub> Au <sub>x</sub> の電子状態の研究	佐藤	佐藤	松村
44	岡田悠希	液中レーザーアブレーション法による均一な金ナノ粒子の合成とその分子修飾への取り組み	和田	和田	鈴木
45	藏富航輝	実光子弾性散乱の観測のためのシンチレーション検出器の時間特性の測定実験	高橋(徹)	高橋(徹)	川端

46	大洞翔太郎	Sb, Cs, KおよびO <sub>2</sub> によるGaAsフォトカソードの長寿命化	栗木	栗木	高橋(弘)
47	廣海朋子	X線粉末回折パターンのリートベルト解析適合判定法の考案	森吉	森吉	鈴木
48	金田彩希	ショートガンマ線バーストの長時間放射の特性	小畠	木坂	深澤
49	西澤 航	h-BN/Ni(111)単層膜上におけるCo超薄膜の成長過程と界面構造の研究	澤田	澤田	石井
50	崔 拓真	アスコルビン酸,ニコチン酸およびそれらのシクロデキストリン包接体の電子状態の研究	関谷	吉田	松尾
51	星岡駿志	母銀河に埋もれたII型超新星SN2018hfgの測光学的研究	深澤	川端	栗木
52	渡部 裕	シリコンラインセンサ読出高速化にむけたFPGAによる制御システムの開発	山口	山口	水野
53	岩尾剛志	仮想現実(VR)を用いた放射光施設等の教育・見学用コンテンツの開発	加藤	加藤	樋口
54	青木秀樹	リニアコライダーのための超扁平ビーム生成におけるx-zエミッタンス交換の特性評価	栗木	栗木	高橋
55	重國壮太郎	鉛直 1 次元温度モデルにおける磁気静水圧平衡磁場に対する圧力および重力の効果	志垣	三好	LIPTAK
56	秦 なずな	グラフェン周期ひずみによる有効磁場の効果	八木	八木	生天目
57	佐久間翔梧	20 GPaまでの超高压下電気抵抗測定に向けたガスケット形状の最適化	梅尾	梅尾	関谷
58	末岡耕平	AMEGO衛星計画によるMeVガンマ線偏光観測のシミュレータを用いた検討	深澤	深澤	岡本
59	福島優斗	真空紫外線角度分解光電子分光を用いた反強磁性体CeCoSiの電子状態の研究	木村	木村	松村
60	牛尾奨吾	Effect of on-site Coulomb interaction on the electronic band structure of the Heusler alloy Co <sub>2</sub> FeSi studied by ARPES	木村	木村	嶋原
61	渡邊寛大	重い電子系金属YbCu <sub>4</sub> Niを用いた極低温磁気冷凍	鬼丸	志村	和田
62	森 祐一朗	YbCuGeの結晶場効果による格子定数の温度変化	松村	松村	黒岩
63	遠藤優理	高分解能X線吸収分光法による抵抗スイッチング材料の電子状態測定	中島	中島	比嘉
64	赤木圭太郎	摂動展開による量子多体系の研究	嶋原	嶋原	宮本
65	辻 怜河	放射光円二色性分光によるマガイニン2の生体膜結合構造と膜孔形成機能に関する研究	松尾	松尾	嶋原
66	福満 翔	超長基線電波干渉計データを用いたスパースモデリングによるブレーザージェットの研究	深澤	深澤	高橋
67	湯浅直輝	Nd <sub>1-x</sub> Y <sub>x</sub> Co <sub>2</sub> Zn <sub>20</sub> における特異な弾性ソフト化のY置換効果	鈴木	鈴木	佐藤

68	山口拓真	衛星軌道上における環境放射線検出器CUBESデータ圧縮機能の実装	深澤	高橋 (弘)	三好
69	石破溪太郎	高分解能角度分解光電子分光を用いたBi系銅酸化物高温超伝導体の一粒子励起スペクトルの解析	島田	島田	志村
70	井上雄介	ランジュバン方程式を用いたブラウン運動の定式化	嶋原	嶋原	関谷
71	岸田 卓	Ce系化合物の圧力下量子臨界点の探索に向けた交流比熱測定系の構築	松村	松村	加藤
72	室尾健人	イオンマシンガン:単一イオンの超高精度射出に関するシミュレーション研究	岡本	岡本	植村
73	宮尾 光	電弱バリオジェネシスにおけるスファレロン過程の役割について	両角	両角	岡部
74	古賀柚希	情報理論的な自動意思決定システムによる突発天体现象の研究	深澤	植村	志垣

### 物理学科就職情報

進 学：広島大学大学院博士課程前期 32名，九州大学4名，東京大学 2名，大阪大学 2名，  
名古屋大学2名，東京工業大学2名，京都大学1名，北海道大学1名，東北大学1名  
企 業：(株) パナソニック 1名，中国電力(株) 1名，北海道電力(株) 1名，  
NTTビジネスソリューションズ(株) 1名，東芝三菱電機産業システム(株) 1名，  
(株) 多久製作所 1名，(株) シティ・コム 1名，(株) 佐賀電算センター 1名，  
富士ソフト(株) 1名，(株) システムリサーチ 1名，中電プラント(株) 1名，  
損害保険ジャパン日本興亜(株) 1名，テンフィールドズファクトリー(株) 1名，  
(株) 日放電子 1名，日本空港コンサルタンツ 1名，  
アイベックスエアラインズ(株) 1名，テックファーム(株) 1名，Mmd研究所  
1名

### 学生の表彰

広島大学 理学部長表彰者：2名

