

## Ⅱ 物理科学専攻・物理学科



# 1 物理科学専攻

## 1-1 専攻の理念と目標

物理科学専攻では、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 専攻の組織と運営

物理科学専攻は、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。本年度から教育資格制度が研究科で導入された。物理科学専攻では、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）とした。助教の教育資格の変更は、物理科学専攻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（2019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）

石川健一（准教授）

宇宙物理学（理論）

小寫康史（教授）

岡部信広（助教）

クォーク物理学

志垣賢太（教授）

本間謙輔（助教）

三好隆博（助教）

<理学研究科LAN担当>

山口頼人（特任助教）

高エネルギー宇宙

深澤泰司（教授）

高橋弘充（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）  
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） 岩澤英明（特任准教授）

### 分子光科学

関谷徹司（准教授） 和田真一（助教）  
吉田啓晃（助教）

## 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） Schwier Eike Fabian（助教）  
島田賢也（教授） 澤田正博（准教授） 泉 雄大（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）

### 専攻事務

重富宏美 須藤和子 前田 緑

## 1-2-1 教員の異動

ここ数年、定年退職や転出が毎年あり、テニユア教員のみを数えても、2018年度末に3名が退職、1名が転出、2019年度末に1名が退職した。しかし、それに応じた人事措置がすべて認められない状態が続いており、教育及び研究活動に徐々に影響が出ているため、さらなる人事計画を進めたい。

2019年7月1日	採用	Nuermairaiti Munisai（光物性 助教）
2020年2月1日	採用	内田悠介（高エネルギー宇宙 特任助教）
	退職	岩澤英明（光物性 特任准教授）
	採用	Kim Sangwook（構造物性 助教）
2020年3月31日	退職	Schwier, Eike Fabian（放射光物性 助教）

## 1-3 専攻の大学院教育

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

2019年度【前期】物理科学専攻 授業時間割表				
曜日	時限	科目	教員	教室
月	1.2	分子光科学セミナー	関谷, 吉田(啓), 和田	研究室
	3.4	電子物性セミナー	中島, 石松	研究室
	5.6	社会実践理学融合特論	木村, 小原, 安東	E002
	7.8	放射光物性セミナー	生天目, 島田, 佐藤, 奥田, 澤田, 松尾, 宮本, 泉, Schwier	研究室
		クォーク物理学	志垣,	B101
	9.10			
火	1.2	宇宙物理学	小畷	B501
	3.4	高エネルギー宇宙学セミナー	深澤, 水野, 高橋	研究室
		電子物性	中島	B101
		クォーク物理学セミナー	志垣, 本間, 三好	研究室
	5.6			
	7.8			
	9.10	構造物性セミナー	黒岩, 森吉	研究室
水	1.2			
	3.4			
	5.6	光物性	木村	E210
	7.8			
	9.10	先端物理科学概論	島田, 稲垣, 岡部, 稲見, 志垣, 木村, 松尾, 宮本	E104
木	1.2	素粒子論セミナー	両角, 石川, 稲垣	研究室
	3.4	光物性セミナー	木村	研究室
		光赤外線宇宙観測	川端, 植村	C104
	5.6	放射光科学特論I	生天目, 島田, 佐藤, 奥田, 澤田, 松尾, 石松	放射光科学研究センター H201
		X線ガンマ線宇宙観測	深澤, 水野	C104
	7.8	量子場の理論 I	大川	E208
		可視赤外線天文学セミナー	川端, 植村, 稲見	研究室
9.10				
金	1.2			
	3.4	非線形力学	入江	C104
	5.6			
	7.8	宇宙物理学セミナー	小畷, 岡部	研究室
	9.10	放射光物理学セミナー	加藤	研究室
備考	放射光科学院生実験(黒岩, 松尾, 泉, 和田, 島田, 中島, 澤田, 佐藤。前期集中), 物理科学エクスターンシップ(森吉。集中形式),			

	重力波の電磁波対応天体（特別講義，前期集中）， 先端研究プレゼンテーション演習（森吉，奥田，両角，和田，三好。博士課程後期，前期集中）
--	--

2019年度【後期】物理科学専攻 授業時間割表				
曜日	時限	科目	教員	教室
月	1.2	分子光科学セミナー	関谷，吉田（啓），和田	研究室
	3.4	電子物性セミナー	中島，石松	研究室
	5.6	理学融合基礎概論 B	木村，小原，外	E002
	7.8	放射光物性セミナー	生天目，島田，佐藤，奥田， 澤田，松尾，宮本，泉，Schwier	研究室
	9.10			
火	1.2	素粒子物理学	稲垣	B101
	3.4	高エネルギー宇宙学セミナー	深澤，水野，高橋	研究室
	5.6			
	7.8			
	9.10	構造物性セミナー	黒岩，森吉	研究室
水	1.2	格子量子色力学	石川	A004
	3.4	クォーク物理学セミナー	志垣，本間，三好	研究室
		表面物理学	関谷	B101
	5.6			
	7.8			
	9.10			
木	1.2	素粒子論セミナー	両角，石川，稲垣	研究室
	3.4	放射光物性	生天目	放射光科学研究センター H201
	5.6			
	7.8	構造物性	黒岩	B101
		可視赤外線天文学セミナー	川端，植村，稲見	研究室
	9.10	光物性セミナー	木村	研究室
金	1.2	量子場の理論II	両角	A017
	3.4			
	5.6	放射光物理学	加藤	放射光科学研究センター H201
	7.8	放射光物理学セミナー	加藤	研究室
		宇宙物理学セミナー	小嶋，岡部	研究室
	9.10			
備考	放射光科学特論II（外部講師，生天目。後期集中），			

	物理科学エクスターンシップ（森吉。集中形式），暗黒物質の素粒子現象論（特別講義，後期集中），恒星進化と超新星の天体物理学（特別講義，後期集中）
--	---

### 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，32名（内部生29名，他大学から3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，7名（内部生6名，他大学から1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	117 件
○ 博士課程後期の学生が共同発表者の発表件数	71 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	41 件

### 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	116 件
○ 博士課程後期の学生が共同発表者の発表件数	100 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	50 件

### 外国人留学生の受入状況

○ 博士課程前期在籍者	2 名
○ 博士課程後期在籍者	17 名

### 1-3-5 修士論文発表実績

2019年度（30名）

	氏名	論文題目	指導教員	主査	副査
1	羽倉康喜	放射光粉末回折による非鉛強誘電体 (Bi <sub>1/2</sub> Na <sub>1/2</sub> )TiO <sub>3</sub> のクエンチ効果の研究	森吉	森吉	関谷
2	宮鼻叶太	1変数の複素作用モデルにおける Lefschetz Thimbles 上でのハイブリッドモンテカルロ法の 問題点とその解決策	石川	石川	本間
3	上田和茂	ディラック場の真空の量子もつれに関する研究	小畷	小畷	両角
4	大橋由佳	h-BN単原子層と接合したCo超薄膜における磁気 状態の膜厚依存性	澤田	澤田	中島
5	岩崎 駿	X線吸収分光の局所構造解析による Fe <sub>65</sub> Ni <sub>35</sub> 合 金の Invar 効果の研究	石松	石松	宮本
6	星野達也	磁気流体力学ケルビン・ヘルムホルツ不安定性 に対する カイラル磁気効果の基礎的研究	志垣	志垣	岡部
7	野田翔太	非調和熱振動解析による ペロブスカイト型酸 化物の構造相転移の研究	黒岩	黒岩	奥田



8	平出尚義	活動銀河核 3C279 の多波長スペクトル解析によるジェットパラメータの時間変動	深澤	深澤	志垣
9	次田周平	反強誘電体 $\text{Pb}(\text{Yb}_{1/2}\text{Nb}_{1/2})\text{O}_3$ の相転移と構造ゆらぎ	黒岩	黒岩	生天目
10	高木健吾	古典新星 V445 Puppis の長期観測に基づく親星と星周構造に関する研究	川端	川端	石川
11	前田和大	放射光を用いた価数相転移物質 $\text{YbInCu}_4$ の電子状態の研究	佐藤	佐藤	関谷
12	平原祐輔	sub-eV質量域未知場の探索領域拡大に向けた光パラメトリック増幅によるフェムト秒誘導光源の開発	本間	本間	高橋
13	岩尾祐希	ブラックホール連星の広帯域 X 線解析による降着円盤放射の研究	高橋	高橋	小嶋
14	徳永裕也	マヨラナニュートリノのレプトン数の時間発展について	両角	両角	志垣
15	北山悠斗	角度分解光電子分光を用いた $\text{LaAgSb}_2$ のバンド構造の研究	木村	木村	和田
16	越智 望	21cm 線から見る暗黒時代の新物理について	小嶋	小嶋	川端
17	今井健人	光電子分光による $\text{TlBiS}_2$ 及び $\text{TlBiSe}_2$ の温度誘起トポロジカル相転移の研究	奥田	奥田	石松
18	岩下憲之	Pythonを用いた3次元銀河分布のフーリエ解析	小嶋	小嶋	深澤
19	鹿子木将明	放射光光電子分光を用いたCo基ホイスラー合金のスピンの偏極電子構造の解明	木村	木村	生天目
20	野津庄平	干渉計を用いた放射光時間構造の研究	加藤	加藤	水野
21	尾崎堯弥	3つの同色レーザーを用いた誘導共鳴散乱によるアクシオンの粒子の初期探索	本間	本間	加藤
22	末永翔磨	真空紫外円二色性と直線二色性によるマガイニン2の生体膜相互作用研究	松尾	松尾	黒岩
23	甲佐美宇	X線吸収分光による $\text{Fe}_{72}\text{Pt}_{28}$ と $\text{Fe}_{65}\text{Ni}_{35}$ Invar合金の元素選択的な局所構造の比較	石松	石松	島田
24	吉川和樹	ALICE実験前方 $\mu$ 粒子飛跡検出器導入後の $\rho$ 中間子質量状態変化測定に向けた背景分布評価	志垣	志垣	川端
25	安藤玖瑠実	電子スペクトル測定によるシクロデキストリン包接された $\alpha$ -リポ酸の構造研究	関谷	関谷	佐藤
26	中村仁彦	軟X線および可視吸収分光による銅包接シクロデキストリンの電子状態の研究	関谷	関谷	澤田
27	木村優斗	機械学習による重力波の検出可能性	小嶋	小嶋	植村
28	大佐古拓海	Detectability of dimuon polarization due to ultra-intense magnetic field in non-central Pb-Pb collisions at the LHC-ALICE experiment	志垣	志垣	深澤
29	加藤盛也	交流電場と同期した時間分解X線吸収分光法による $\text{BaTiO}_3$ の誘電応答	中島	中島	松尾

30 YUN                    Observational study of transitional Type Ia supernova    川端    川端    小嵜  
JEUNG                    2018gv from its early phase

### 1-3-6 博士学位

2019年度（課程博士9名）

- [1] 大兼英朗                    2019年4月22日授与（甲）  
Construction of a renormalization group improved effective potential in a two real scalar system  
(二つの実スカラー系における繰り込み群で改善された有効ポテンシャルの構築)  
主査：両角卓也  
副査：小嵜康史，深澤泰司，稲垣知宏
- [2] 國府田由紀                    2019年4月22日授与（乙）  
Characterization of the automobile emission catalyst with nano structure using synchrotron radiation for high performance  
(放射光を用いたナノ構造を有する自動車用触媒の高性能化に関する研究)  
主査：生天目博文  
副査：黒岩芳弘，奥田太一，八木伸也
- [3] 上野峻一郎                    2019年6月24日授与（甲）  
Study of tensor renormalization group algorithm toward application to field theory  
(場の理論への応用へ向けたテンソルくりこみ群アルゴリズムの研究)  
主査：石川健一  
副査：稲垣知宏，小嵜康史，深澤泰司
- [4] APRIADI SALIM ADAM                    2019年7月22日授与（甲）  
Particle Number Asymmetry Generation in the Universe  
(宇宙の粒子数非対称性の生成)  
主査：両角卓也  
副査：小嵜康史，深澤泰司，稲垣知宏
- [5] Wang Xiaoxiao                    2019年3月3日授与（甲）  
Orbital and Spin Dependent Electronic Structures of Non-symmorphic Dirac Nodal Line Semimetals  
(非共型ディラック線ノード半金属の軌道およびスピンの依存した電子構造)  
主査：木村昭夫  
副査：黒岩芳弘，島田賢也，樋口克彦
- [6] 由宇朗大                    2020年3月3日授与（甲）  
Study of Three Generation Seesaw Model with Dirac Mass Matrix of Four-zero Texture and CP Violation in Neutrino Sector  
(Dirac 質量行列における 4-0 テクスチャーを用いた 3 世代シーソー模型とニュートリノセクターにおける CP 対称性の破れ)  
主査：両角卓也  
副査：稲垣知宏，小嵜康史，深澤泰司

- [7] 坂本弘樹 2020年3月23日授与（甲）  
Inflationary models improved by quantum corrections  
（量子補正によって改良されたインフレーションのモデル）  
主査：稲垣知宏  
副査：小嶋康史，志垣賢太，石川健一
- [8] 高木堅太 2020年3月23日授与（甲）  
Phenomenology for the Lepton Flavor Mixin  
（レプトン世代混合の現象論）  
主査：両角卓也  
副査：稲垣知宏，小嶋康史，志垣賢太
- [9] 高橋隼也 2020年3月23日授与（甲）  
Analysis of Model with Vector-like Quark through Standard Model Effective Field Theory  
（標準模型有効理論による Vector-like クォークモデルの解析）  
主査：両角卓也  
副査：稲垣知宏，小嶋康史，志垣賢太

#### 1-3-7 TAの実績

2019年度は，博士課程前期の学生を22名（通年：5名，前期：7名，後期：10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，2019年度10月入学で3名（中国1名，インド1名，アメリカ1名）を受け入れた。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れるとともに，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。

物理科学専攻（博士課程前期）

授 業 科 目		博士課程前期		
		単位数	履修方法	
必修	物理科学特別研究		8	全ての必修科目十単位、及び選択必修から一科目（一又は二単位）を含む三〇単位以上
	基礎	先端物理科学概論	2	
必修 選択	大学院共通授業科目（基礎）（注1）		1又は2	
選 専 門 扱		量子場の理論Ⅰ	2	
		宇宙物理学	2	
		電子物性	2	
		構造物性	2	
		量子場の理論Ⅱ	2	
		格子量子色力学	2	
		素粒子物理学	2	
		非線形力学	2	
		クォーク物理学	2	
		X線ガンマ線宇宙観測	2	
		磁性物理学	2	
		表面物理学	2	
		光物性	2	
		分子分光学・光化学	2	
		放射光物理学	2	
		放射光物性	2	
		光赤外線宇宙観測	2	
		放射光科学院生実験	2	
		放射光科学特論Ⅰ	1	
		放射光科学特論Ⅱ	2	
	物理科学エクスターンシップ	2		
		1～8（年間）		

セ ミ ナ ー	素粒子論セミナー	8
	宇宙物理学セミナー	8
	クォーク物理学セミナー	8
	高エネルギー宇宙学セミナー	8
	可視赤外線天文学セミナー	8
	構造物性セミナー	8
	電子物性セミナー	8
	光物性セミナー	8
	分子光科学セミナー	8
	放射光物理学セミナー	8
放射光物性セミナー	8	
物理科学特別講義（集中講義）		

(注1) 選択必修から、1科目（1又は2単位）を超えて履修した場合は、(注2)により特別に認められた場合を除き、修了要件の単位には加えられない。

(注2) 必修、選択必修（1科目）及び選択以外の次に示す科目を履修した場合は、物理科学専攻の承認を得て6単位まで、修了要件に加えることができる。

- ・ 選択必修から、1科目を超えて履修した科目
- ・ 理学研究科の他専攻の授業科目
- ・ 共同セミナー
- ・ 理学研究科以外の他研究科等の授業科目

物理科学専攻（博士課程後期）

授 業 科 目		博士課程後期		
		単位数	履修方法	
必修	物理科学特別研究	12	全ての必修科目十三単位を含む十四単位以上 ただし、選択科目は博士課程前期において履修 していない科目を履修すること	
	基礎	先端研究プレゼンテーション演習		1
選	基礎	先端物理科学概論		2
	専門	博士課程前期の専門科目と同一の 科目を提供する（前項の物理科学 専攻（博士課程前期）専門科目の欄を 参照）		
択	物理科学特別講義（集中講義）			

就職情報

博士課程前期

進 学：博士課程後期進学 5,  
 企 業：(株) エヌ・ティ・ティ・ドコモ (株) 2, (株) アドバンテック 1,  
 サンディスク (株) 1, 東日本電信電話 (株) 1,  
 (株) 富士テクニカルリサーチ 1, 三菱電機 (株) 1,  
 ルネサスエレクトロニクス (株) 1, 日本製鉄 1,  
 (株) アルプス技研 1, 扶桑電通 (株) 1,  
 大同特殊鋼 (株) 1, (株) ISIDアドバンスストアウトソーシング 1,  
 京セラ (株) 1, (株) キーエンス 1,  
 レーザーテック (株) 1,  
 富士通 (株) 1, (株) NTTデータSMS 1,  
 一般財団法人リモート・センシング技術センター 1

その他企業：4

そ の 他：兵庫県教育委員会 1,

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：3名

広島大学 大学院理学研究科長表彰者：1名

## 1-4 専攻の研究活動

### 1-4-1 物理学専攻の教員が主導する研究拠点の活動

物理学専攻の教員が主導する研究拠点は2つある。

- (1) 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)
- (2) 広島大学インキュベーション研究拠点 創発的物性物理研究拠点 (ECMP : Center for Emergent Condensed Matter Physics in Hiroshima University)

以下、各拠点が開催した国際会議やセミナーを紹介する。詳しい活動内容はそれぞれの拠点の報告書を参照されたい。

#### 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)

#### 2019年度の活動

##### Core-U 緊急セミナー「研究解説：ブラックホール直接撮像」

日時：2019年4月18日（木）17:00-18:00

場所：広島大学 理学研究科 E002 教室

講師：笹田真人氏（広島大学），岡部信広氏（広島大学）

##### 第42回（2019年度第1回）極限宇宙研究拠点セミナー

日時：2019年4月24日（水）12:50-14:20

場所：広島大学 理学研究科 E203教室

講師：Norbert Novitzky 氏（筑波大学）

題目：ALICE Forward Calorimeter (FoCal) upgrade

##### 第43回（2019年度第2回）極限宇宙研究拠点セミナー

日時：2019年5月10日（金）15:00-16:30

場所：広島大学理学研究科E203教室

講師：二間瀬敏史氏（京都産業大学）

題目：Possible constraints on neutrino mass and dark energy parameter from the lensing dispersion of the magnitude-redshift relation of Type Ia supernovae

##### 第44回（2019年度第3回）極限宇宙研究拠点セミナー

日時：2019年6月12日（水）15:00-16:30

場所：広島大学 理学研究科 E203教室

講師：山口頼人氏（広島大学）

題目：極限QCD物質クォーク・グルオン・プラズマの温度測定

##### 第45回（2019年度第4回）極限宇宙研究拠点セミナー

日時：2019年6月17日（月）14:30-16:00

場所：広島大学 理学研究科 E203教室

講師：Henric Krawczynski 氏（セントルイス・ワシントン大学）

題目：First Results from the X-Calibur Hard X-Ray Polarimetry Experiment

第46回 (2019年度第5回) 極限宇宙研究拠点セミナー

日時：2019年7月18日 (木) 15:00-16:30

場所：広島大学理学研究科E002教室

講師：山本 恵氏 (日本学術振興会特別研究員 広島大学/チューリッヒ)

題目：Hints of New Physics in flavor sector

第47回 (2019年度第6回) 極限宇宙研究拠点セミナー

日時：2019年7月31日 (月) 13:30-15:00

場所：広島大学理学研究科E002教室

講師：井岡邦仁氏 (京都大学)

題目：Electromagnetic counterparts to Gravitational waves and Gamma-ray Burst jets

第48回 (2019年度第7回) 極限宇宙研究拠点セミナー

日時：2019年8月19日 (月) 15:00-16:30

場所：広島大学理学研究科C212教室

講師：青山尚平氏 Dr. Shouhei Aoyama (中央研究院 天文及天文物理研究所)

題目：ダストのサイズ分布を考慮したダスト形成シミュレーション

第49回 (2019年度第8回) 極限宇宙研究拠点セミナー

日時：2019年8月26日 (月) 14:35-16:05

場所：広島大学理学研究科C212教室

講師：Dr. Taishi Katsuragawa (Hua-Zhong Normal University)

題目：Chameleon Hunters in Early Universe

第50回 (2019年度第9回) 極限宇宙研究拠点セミナー

日時：2019年9月10日 (火) 10:30-12:00

場所：広島大学理学研究科E203大会議室

講師：日高義将氏 (理化学研究所)

題目：自発的対称性の破れと南部ゴールドストーンモード：相対論系から開放系まで

第51回 (2019年度第10回) 極限宇宙研究拠点セミナー

日時：2019年11月28日 (木) 14:35-16:05

場所：広島大学理学研究科C212教室

講師：青木真由美氏 (金沢大学)

題目：Gravitational waves from phase transition in a hidden QCD like sector

第52回 (2019年度第11回) 極限宇宙研究拠点セミナー

日時：2019年11月28日 (木) 16:30-18:00

場所：広島大学理学研究科C212教室

講師：前田啓一氏 (京都大学)

題目：超新星から迫る大質量星の終末進化

第53回 (2019年度第12回) 極限宇宙研究拠点セミナー

日時：2019年12月10日 (火) 13:30-15:00

場所：広島大学理学研究科C212教室



講師：Nhut Truong 氏(ELTE)

題目：X-ray signatures of black hole feedback-based quenching

第54回（2019年度第13回）極限宇宙研究拠点セミナー

日時：2019年12月24日（火）16:10-17:00

場所：広島大学理学研究科C212教室

講師：坂野正明氏（ワイズバベル社）

題目：論文英語ことはじめ一分かる。伝える。訴える。

第55回（2019年度第14回）極限宇宙研究拠点セミナー

日時：2020年1月17日（金）11:00-12:20

場所：広島大学理学研究科C212教室

講師：Ryan Lau 氏(ISAS/JAXA IYTF)

題目：Nature of the Dust in Stellar Winds from Nearly Dead Massive Stars, To Be Resolved with the James Webb Space Telescope

第56回（2019年度第15回）極限宇宙研究拠点セミナー

日時：2020年1月22日（水）13:00-14:00

場所：広島大学理学研究科E211教室

講師：Francois Mernier 氏 (Hunbary, ELTE)

題目：from supernova to galaxies and beyond

広島大学インキュベーション研究拠点 創発的物性物理研究拠点

(ECMP: Center for Emergent Condensed Matter Physics in Hiroshima University)

2019年度の活動

International Workshop on New Trends in Topological Insulators 2019 & Variety and Universality of Bulk-edge Correspondence in Topological Phases

日時：2019年7月14日（日）-19日（金）

場所：JMSアステールプラザ広島

概要：本国際会議では、トポロジカル絶縁体や超伝導体、さらには磁性トポロジカル絶縁体や多層膜の研究において国内66名、海外35名の計101名（うち招待講演者27名）の第一線で活躍する研究者が集い、最新の成果発表と意見交換が行われた。広島大学創発的物性物理研究拠点は本国際会議の共催団体として参入し、拠点長が組織委員長を務め、拠点メンバーの一部が実行委員としても活躍した。

第35回（2019年度第1回）広島大学創発的物性物理研究拠点セミナー（第536回物性セミナー合同）

日時：2019年5月17日（金）16:30-

場所：広島大学理学研究科C212会議室

講師：片山郁文氏（横浜国立大学工学院）

題目：ディラック電子系におけるテラヘルツ非線型応答

第36回（2019年度第2回）広島大学創発的物性物理研究拠点セミナー（第539回物性セミナー合同）

日時：2019年8月29日（木）15:20-

場所：広島大学先端物質科学研究科405N

講師：中村正明氏（愛媛大学大学院理学研究科）

題目：朝永・Luttinger液体のトポロジカル相転移における偏極演算子の挙動

第37回（2019年度第3回）広島大学創発的物性物理研究拠点セミナー（第542回物性セミナー）

日時：2019年9月18日（金）15:30-

場所：広島大学先端物質科学研究科401N

講師：佐藤一彦氏（埼玉大学理工学研究科）

題目： $\beta'$ 型BEDT-TTF系有機磁性体の $\mu$ SR

### 1-4-2 RAの実績

物理科学専攻の研究活動を支えるRAとして、2019年度は15名の日本人学生及び9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
由宇朗大	D3	素粒子論	両角卓也
高木堅太	D3	素粒子論	両角卓也
高橋隼也	D3	素粒子論	両角卓也
坂本弘樹	D3	素粒子論	石川健一
信廣晃秀	D3	クォーク物理学	志垣賢太
山川皓生	D3	クォーク物理学	志垣賢太
中平夕貴	D3	構造物性	森吉千佳子
佐久間大樹	D2	宇宙物理学	小畠康史
安部友啓	D2	構造物性	黒岩芳弘
宮下剛夫	D2	光物性	木村昭夫
河村優太	D1	素粒子論	両角卓也
松尾大和	D1	素粒子論	両角卓也
下地寛武	D1	素粒子論	石川健一
今里郁弥	D1	高エネルギー宇宙	深澤泰司
石坂仁志	D1	光物性	木村昭夫
南 岳	D3	宇宙物理学	小畠康史
FAN DONGXIAO	D3	電子物性	中島伸夫
WU LIN	D2	構造物性	黒岩芳弘
ZHANG KE	D2	放射光物性・物理	島田賢也
BENOIT NICHOLAS JAMES	D1	素粒子論	両角卓也
楊 冲	D1	高エネルギー宇宙	深澤泰司
YUN JEUNG	D1	高エネルギー宇宙	川端弘治
HOU XUEYAO	D1	放射光物性・物理	澤田正博

KUMAR AMIT	D1	放射光物性・物理	島田賢也
------------	----	----------	------

### 1-4-3 研究グループの研究活動

物理科学専攻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) 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（石川）

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・川合模型）を考えた。江口・川合模型には 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・川合模型が同じ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・川合模型を提案した。

R01年度は前年度に引き続きtwisted江口・川合模型の摂動論的研究を高次摂動まで計算する研究を行った。数値確率過程摂動論というモンテカルロ法に基づく摂動計算法をtwisted江口・川合模型に適用しラージNゲージ理論のウィルソンループを計算している。前年度におこなった8次までの数値確率過程摂動論による計算結果はJHEP誌に掲載された（原著論文[1]）。本年度はさらに高次項を目指して相互作用の63次まで計算した。この計算では多項式計算の加速のため高速フーリエ変換を利用した効率化を行った。初期的結果について国際会議Lattice2019にて発表した（国際学会一般講演[1]）

(ii) 格子QCDに関するその他の計算（石川）

1) 格子QCDによる物理点でのハドロン質量計算の研究（石川）

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。これまでの研究に引き続いて2019年度にはこれらの大きな物理体積のもとで次のような研究を行った。

前年度までに核子形状因子の有限体積効果を調べてきた。それと同時に基本的なハドロン質量や崩壊定数の有限体積項を調べた。ベクトル中間子とバリオンの有限体積効果について物理体積 $(5.5\text{fm})^4$ と $(10.9\text{fm})^4$ の2つの体積でこれらの質量への有限体積効果を調べた。フレーバー8重項のバリオンについての有限体積項は $(10.9\text{fm})^4$ にて0.5%以下と見積もられた。ベクトル中間子については不安定粒子であり、格子上でも固有状態としては存在せず、統計誤差の範囲内で有限体積効果は見られなかった。フレーバー10重項のバリオンについてもベクトル中間子と同様の傾向が見られた。原著論文[2]

また、大きな体積でのK中間子の崩壊形状因子 $K_{13}$ や核子アイソベクトル結合定数の計算なども共同研究を行っている（国際学会一般講演[2,3],国内学会一般講演[2,3]）。

## 2) 次世代計算機に向けた格子 QCD シミュレーションプログラムの開発（石川）

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2022年度から供用が始まる予定となっている。また国内の主な計算機設備の更新も次々と始まっている。

H30年度に引き続きスーパーコンピュータ「富岳」むけのクォークソルバーの最適化や新しいアルゴリズムの開発・探求を行っている。国内学会一般講演[1] 国内学会招待講演 [1]

## (II) 素粒子と宇宙の現象論（両角）

### 1) 3世代右巻きニュートリノを含むシーソー模型の研究と4ゼロテクスチャーモデルの隠れた関係; (両角, 清水)

シーソー模型はレプトジェネシスを通じて宇宙の物質反物質非対称性を説明し一方で小さなニュートリノ質量を説明するという点で興味深い。一方3世代右巻きニュートリノを含むシーソー模型においては、CP対称性の破れの独立な位相が6個あることなどから、低エネルギーにおけるニュートリノに関しての観測事実に基づいてシーソー模型を再構築することは難しい。特にニュートリノ振動で観測されているCP位相やニュートリノレス2重ベータ崩壊に現れるマヨラナ位相と（レプトジェネシスを通じての）物質反物質非対称性に関するCP対称性の破れの関係の議論が単純に行かない理由はその辺に事情がある。

研究では人為的にシーソー模型のパラメーターの数を減らすことで、現在のニュートリノ混合実験等で測られた混合角や質量2乗差と矛盾しないだけでなく、3つのCP位相の間に非自明な関係や相関が現れるような場合を発見した。このことはディラック質量行列と呼ばれる行列に4つのゼロの要素（4ゼロテクスチャー）を仮定することで可能になった。この場合ニュートリノのマヨラナ質量行列は観測可能量の数とほぼ同数の7個のパラメーターを含み観測量から模型のパラメーターを決めることが可能である。このような4ゼロテクスチャーは126個の異なるパターンがありこれらを系統的に分類して調べる方法を開発しこれを用いて解析をした。原著論文[3]

### 2) 統一した見方でのレプトン数の破れの研究（両角, 清水）

ニュートリノに関係したレプトン数の破れは主に2つの観点で研究されてきた。ひとつはニュートリノ振動と呼ばれる全レプトン数は保存されるが各レプトンフレーバー数は時間ともに変化する現象、いま一つはニュートリノレス2重ベータ崩壊のように全レプトン数が変

化する現象である。この研究ではレプトンファミリー数の時間変化という現象に着目し上記のレプトン数の非保存現象を統一的な観点から研究した。宇宙の物質反物質非対称性の中で最もよくわかっていないのはニュートリノが担うレプトン数である。宇宙には初期宇宙の残存物質として温度が低い背景ニュートリノが漂っていると予測されている。背景ニュートリノに蓄積されているレプトン数（正確にはレプトンファミリー数）の性質を研究するのが目的である。ニュートリノのレプトン数はニュートリノのエネルギーやニュートリノの質量のタイプ（ディラック粒子か マヨラナ粒子か）によって異なる性質を持つと考えられる。これを踏まえてニュートリノの担うレプトンファミリー数の時間発展をニュートリノ質量がマヨラナ粒子の場合に研究した。マヨラナ粒子は粒子と反粒子が同一の粒子なのでレプトン数を定義するのは困難に見えるが荷電レプトンの種類と数を観測する実験でカウントされるニュートリノのレプトン数はカイラリティの決まった状態に対するものなのでこの問題は克服できる。レプトンファミリー数に対応するハイゼンベルク演算子を構成し、始状態として(反)電子ニュートリノ、(反)ミューオンニュートリノ、(反)タウニュートリノをとることでレプトンファミリー数の期待値の時間発展を導いた。以上の研究結果を2つの国際会議と1つの国内研究会、海外の大学でセミナー発表をした。

国際学会招待講演[4,5] 国内学会一般講演[26]

### 3) カイラルラグランジアンを用いた固有パリティの破れの現象の研究 (両角)

中間子のフォトンを含む崩壊の中で固有パリティを破る崩壊（ベクトル中間子 ( $V$ ) の擬スカラー ( $P$ ) および  $\gamma$  への崩壊など）は実験と理論予想が十分な精度であっていない。特に中性  $\rho$  中間子と荷電  $\rho$  中間子の崩壊は大きなアイソスピンの破れを示している。このようなベクトル中間子を含む固有パリティの破れの伴う崩壊過程を記述するためにベクトル中間子を含むカイラルラグランジアンに固有パリティの破れの相互作用を導入し、ベクトル中間子の崩壊  $V \rightarrow P \gamma$  崩壊に対する擬スカラー中間子の one-loop 補正の研究を始めた。国内学会一般講演[24,28]

### 4) B 中間子稀崩壊の研究

Belle II 実験での高精度探索が期待されている B 中間子稀崩壊  $B \rightarrow K^* l^+ l^-$  を標準模型を超える理論と形状因子両面から研究した。標準模型を超える理論としてはクォークシーソーモデルと呼ばれる素粒子の質量階層性に動機付けられたモデル、形状因子については光円錐和則と呼ばれる方法を研究した。実験にこれらの計算コードを提供できるよう準備を進めている。

### 5) 経路積分法による重い粒子を積分する方法の開発

### 6) 宇宙の粒子数生成を説明するモデルの開発

## (III) 清水勇介

素粒子標準模型は電磁気力・弱い力・強い力の3つをゲージ対称性を用いて系統的に説明するモデルである。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、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。

#### 原著論文

- [1] Antonio González-Arroyo, Issaku Kanamori, Ken-Ichi Ishikawa, Kanata Miyahana, Masanori Okawa, Ryoichiro Ueno, “Numerical stochastic perturbation theory applied to the twisted Eguchi-Kawai model”, J. High Energ. Phys. (2019) 2019: 127, doi:10.1007/JHEP06(2019)127.
- [2] K.-I. Ishikawa, N. Ishizuka, Y. Kuramashi, Y. Nakamura, Y. Namekawa, E. Shintani, Y. Taniguchi, N. Ukita, T. Yamazaki, and T. Yoshié (PACS Collaboration), “Finite size effect on vector meson and baryon sectors in 2+1 flavor QCD at the physical point”, Phys. Rev. D 100, 094502, doi:10.1103/PhysRevD.100.094502.
- [3] Takuya Morozumi, Yusuke Shimizu, Hiroyuki Umeeda, Akihiro Yuu “Hidden relations in three generation seesaw model with Dirac mass matrix of four-zero texture”, Physics Letters B 799, 2019 ,135046 pp14—pp14, DOI. 10.1016/j.physletb.2019.135046
- [4] Tomohiro Inagaki, Yamato Matsuo and Hiromu Shimoji, “Four-Fermion Interaction Model on  $M^{D-1} \times S^1$ ”, Symmetry 11 (2019) 4, 451, DOI:10.3390/sym11040451(Accepted: 27 March 2019, Published: 1 April 2019)
- [5] Tatsuo Kobayashi, Yusuke Shimizu, Kenta Takagi, Morimitsu Tanimoto, Takuya H. Tatsuishi, and Hikaru Uchida, “CP violation in modular invariant flavor models”, Phys. Rev. D 101, 055046. DOI:10.1103/PhysRevD.101.055046
- [6] Tatsuo Kobayashi, Yusuke Shimizu, Kenta Takagi, Morimitsu Tanimoto, and Takuya H. Tatsuishi, “A4 lepton flavor model and modulus stabilization from S4 modular symmetry”, Phys. Rev. D 100, 115045. DOI: 10.1103/PhysRevD.100.115045; Erratum Phys. Rev. D 101, 039904 (2020).
- [7] Tatsuo Kobayashi, Yusuke Shimizu, Kenta Takagi, Morimitsu Tanimoto, and Takuya H. Tatsuishi, “New A4 lepton flavor model from S4 modular symmetry,” Journal of High Energy Physics volume 2020, Article number: 97 (2020), DOI: 10.1007/JHEP02(2020)097
- [8] Tatsuo Kobayashi, Yusuke Shimizu, Kenta Takagi, Morimitsu Tanimoto, Takuya H. Tatsuishi, “Modular S3 invariant flavor model in SU (5) grand unified theory”, Progress of Theoretical and Experimental Physics, Volume 2020, Issue 5, May 2020, 053B05. DOI: 10.1093/ptep/ptaa055
- [9] Yusuke Shimizu, Kenta Takagi, Shunya Takahashi, and Morimitsu Tanimoto, “Sign of CP violating phase in quarks and leptons”, Journal of High Energy Physics volume 2019, Article number: 74 (2019). DOI: 10.1007/JHEP04(2019)074

- [10] Tatsuo Kobayashi, Yusuke Shimizu, Kenta Takagi, Morimitsu, Tanimoto, Takuya H. Tatsuishi, Hikaru Uchida, “Finite modular subgroups for fermion mass matrices and baryon/lepton number violation”, Physics Letters B Volume 794, 10 July 2019, Pages 114-121. DOI: 10.1016/j.physletb.2019.05.034
- [11] J.Fuentes-Martín, G.Isidori, J.Pagès, Kei Yamamoto, “With or without U(2)? Probing non-standard flavor and helicity structures in semileptonic B decays” Phys. Lett. B 800 (2020), 135080

国際会議

(招待講演)

- [1] 山本 恵, “Theory of Kaon physics”, J-PARC Symposium 2019, つくば, 2019年9月23--26日 [2019年9月25日発表]
- [2] 山本 恵, “B-physics anomaly and U(2) flavor symmetry”, Flavour Changing and Conserving Processes 2019, Capri, Italy, 2019年8月29--31日 [2019年8月20日発表]
- [3] 山本 恵, “New Physics implications of the direct CP violation in Kaon decays”, WIN2019 (The 27th International Workshop on Weak Interactions and Neutrinos), Bari, Italy, 2019年6月3--8日 [2019年6月4日発表]
- [4] Takuya Morozumi, Yuta Kawamura, Apriadi Salim Adam, Yusuke Shimizu, Yuya Tokunaga, Naoya Toyota, “Lepton Number Violation in a Unified Framework”, Pacific 2019, Particle Astrophysics and Cosmology Including Fundamental Interaction, The Gump Research Station, Moorea, French Polynesia, 2019年9月1日--6日 [2019年9月3日発表]
- [5] Takuya Morozumi, Yuta Kawamura, Apriadi Salim Adam, Yusuke Shimizu, Yuya Tokunaga, Naoya Toyota, “Lepton Number Violation in a Unified Framework”, Higgs and Flavour Today (GUIFEST), IFIC, Valencia, Spain, 2019年10月15日 [2019年10月15日ビデオ発表]

(一般講演)

- [1] Antonio González-Arroyo, Issaku Kanamori, Ken-Ichi Ishikawa\*, Kanata Miyahana, Masanori Okawa, Ryoichiro Ueno, “Towards higher order numerical stochastic perturbation computation applied to the twisted Eguchi-Kawai model”, the 37th Annual International Symposium on Lattice Field Theory (Lattice 2019), Wuhan, China, 2019年6月16--22日 [2019年6月19日発表]
- [2] Natsuki Tsukamoto\*, Yasumichi Aoki, Ken-Ichi Ishikawa, Yoshinobu Kuramashi, Eigo Shintani, Shoichi Sasaki, Takeshi Yamazaki, “Nucleon isovector couplings from 2+1 flavor lattice QCD at the physical point”, the 37th International Symposium on Lattice Field Theory (Lattice 2019), Wuhan, China, 2019年6月16--22日 [2019年6月20日発表]
- [3] Junpei Kakazu\*, Ken-ichi Ishikawa, Naruhito Ishizuka, Yoshinobu Kuramashi, Yoshifumi Nakamura, Yusuke Namekawa, Yusuke Taniguchi, Naoya Ukita, Takeshi Yamazaki, Tomoteru Yoshié, “K13 form factors in Nf=2+1 QCD at physical point on large volume”, the 37th International Symposium on Lattice Field Theory (Lattice 2019), Wuhan, China, 2019年6月16--22日 [2019年6月18日発表]
- [4] T. Inagaki and H. Sakamoto, “Inflationary Parameters for the General F(R) Gravity”, 2nd International Conference on Symmetry, スペイン(ベナスケ), 2019年9月1--7日 [2019年9月3日発表]

- [5] T. Inagaki, and H. Sakamoto, “Explicit Formulation of Inflationary Parameters in F(R) gravity”, The 29th Workshop on General Relativity and Gravitation in Japan, 神戸, 2019年11月25--29日[2019年11月27日,28日発表]
- [6] 稲垣知宏, 坂本弘樹, 松尾大和\* “Power law model of modified gravity” JGRG29, 神戸大学, 2019年11月25--26日, ポスター発表
- [7] Masahiko Taniguchi\*, Tomohiro Inagaki, “Scalar mode propagation in modified Gauss-Bonnet gravity”, The 29th Workshop on General Relativity and Gravitation in Japan (JGRG29), Kobe university, 2019年11月25--29日 [25-26 poster presentation].

#### 国内学会

(招待講演)

- [1] 清水勇介, 「ニュートリノ振動とフレーバー物理」 第一回ニュートリノ若手研究会「ニュートリノ振動とフレーバー物理」 名古屋大学, 開催期間: 2019年6月11日[2019年6月11日発表]
- [2] 山本 恵, “Hints of new physics in flavor sector”, The 5th Core-U seminar of Hiroshima University, 広島 2019年7月18日
- [3] 石川健一, 「格子量子色力学(格子 QCD)における大規模並列計算と計算アルゴリズム」, STE シミュレーション研究会 - 計算プラズマ物理の新潮流 -, 広島大学東千田キャンパス, 2019年9月24日--26日[2019年9月24日発表]

(一般講演)

- [1] 石川健一, 金森逸作\*, 松古栄夫, 「共通コード Bridge++を用いたドメインウォールフェルミオン向けのマルチグリッドソルバーの実装」日本物理学会秋季大会, 山形大学(小白川キャンパス), 2019年9月17--20日[2019年9月18日発表]
- [2] 賀数淳平\*, 石川健一, 石塚成人, 藏増嘉伸, 中村宜文, 滑川裕介, 谷口裕介, 浮田尚哉, 山崎 剛, 吉江友照 for PACS Collaboration, 「物理点での  $N_f = 2+1$  格子 QCD による K13 形状因子の計算」日本物理学会秋季大会, 山形大学(小白川キャンパス), 2019年9月17--20日[2019年9月18日発表]
- [3] 塚本夏基, 青木保道, 石川健一, 藏増嘉伸, 佐々木勝一\*, 新谷栄悟, 山崎 剛, for PACS Collaboration 「物理点  $2+1$  フレーバー格子 QCD による核子のアイソベクター結合の計算」日本物理学会秋季大会, 山形大学(小白川キャンパス), 2019年9月17--20日[2019年9月18日発表]
- [4] 下地寛武\* 「4 体フェルミ相互作用モデルにおけるカイラル対称性に対する化学ポテンシャルの寄与」, 基研研究会「熱場の量子論とその応用」, 京都大学基礎物理学研究所, 2019年9月2--4日[2019年9月2日発表]
- [5] 稲垣知宏, 下地寛武, 松尾大和\* 「非一様なカイラル凝縮を持つ 4 対フェルミ相互作用モデルの  $zeta$  関数正則化による解析」 熱場の量子論とその応用, 京都大学基礎物理学研究所 湯川記念館パナソニック国際交流ホール, 2019年9月2日, ポスター発表
- [6] 下地寛武\* 「4 体フェルミ相互作用モデルにおける有限サイズと化学ポテンシャルの効果」瀬戸内サマーインスティテュート(SSI2019), 広島県廿日市市宮島町, 2019年9月11--13[2019年9月11日発表]



- [7] 稲垣知宏, 下地寛武, 松尾大和\* 「Zeta 関数正則化による非一様なカイラル対称性の破れの解析」 瀬戸内サマーインスティテュート(SSI2019), 広島県廿日市市宮島町, 2019年9月11--13[2019年9月11日発表]
- [8] 杉山祐紀\* 「Randall-Sundrum Brane-World in Modified Gravity」 瀬戸内サマーインスティテュート(SSI2019), 広島県廿日市市宮島町, 2019年9月11--13日[2019年9月12日発表]
- [9] 谷口真彦\*, 稲垣知宏 「修正重力理論の重力波」 瀬戸内サマーインスティテュート(SSI2019), 広島県廿日市市宮島町, 2019年9月11--13日[2019年9月12日発表]
- [10] 徳永裕也\* 「マヨラナニュートリノのレプトン数の時間発展について」 瀬戸内サマーインスティテュート(SSI2019), 広島県廿日市市宮島町, 2019年9月11--13日[2019年9月11日発表]
- [11] 両角卓也 「Lepton Number Violation in a Unified Framework」 瀬戸内サマーインスティテュート(SSI2019), 広島県廿日市市宮島町, 2019年9月11--13日[2019年9月11日発表]
- [12] 由宇朗大\* 「Hidden Relations in three Generation Seesaw Model with four-zero Texture」 瀬戸内サマーインスティテュート (SSI2019) , 広島県廿日市市宮島町, 2019年9月11--13日[2019年9月11日発表]
- [13] 高橋隼也\* 「 $b \rightarrow sl^+l$  in the model with Vector-like Quark」 瀬戸内サマーインスティテュート (SSI2019) , 広島県廿日市市宮島町, 2019年9月11--13日[2019年9月11日発表]
- [14] 高木堅太\* 「Modular  $S_3$  flavor model in SU(5) GUT」 瀬戸内サマーインスティテュート (SSI2019) , 広島県廿日市市宮島町, 2019年9月11--13日[2019年9月12日発表]
- [15] 河村優太\* 「古典的な SU(2)Higgs 模型と Sphaleron 解」 瀬戸内サマーインスティテュート (SSI2019) , 広島県廿日市市宮島町, 2019年9月11--13日[2019年9月12日発表]
- [16] 宮鼻叶太\* 瀬戸内サマーインスティテュート (SSI2019) , 広島県廿日市市宮島町, 2019年9月11--13日[2019年9月12日発表]
- [17] 稲垣知宏, 坂本弘樹 「F(R)重力理論におけるインフレーションの解析」, 瀬戸内サマーインスティテュート (SSI2019) , 広島県廿日市市宮島町, 2019年9月11--13日[2019年9月13日発表]
- [18] 稲垣知宏, 下地寛武, 松尾大和\* 「Zeta 関数正則化を用いた kink 解を持つ NJL モデルの解析」 日本物理学会 2019年 秋季大会 山形大学, 2019年9月17--20日[2019年9月18日発表]
- [19] 小林達夫, 清水勇介, 高木堅太\*, 谷本盛光, 立石卓也 「Modular  $S_3$  flavor model in SU(5) GUT」 日本物理学会 2019年 秋季大会 山形大学小白川キャンパス, 2019年9月17--20日[2019年9月18日発表]
- [20] 稲垣知宏, 松尾大和, 下地寛武\* 「コンパクト化された空間と化学ポテンシャルを伴う 4体フェルミ相互作用モデル」 日本物理学会 2019年 秋季大会 山形大学小白川キャンパス, 2019年9月17--20日[2019年9月19日発表]
- [21] 谷口真彦\*, 稲垣知宏 「F(G)修正重力理論における重力波」 日本物理学会 2019年 秋季大会, 山形大学, 2019年9月17--20日[2019年9月20日発表]
- [22] 高橋隼也\*, 両角卓也, 清水勇介 「Vector-like クォーク模型に対する  $b \rightarrow sl^+l$  遷移からの制限」 日本物理学会 2019年 秋季大会, 山形大学小白川キャンパス 2019年9月17--20日, [2019年9月17日発表]

- [23] 両角卓也, 清水勇介, 梅枝宏之, 由宇朗大\* 「Hidden Relations for Majorana Mass Matrix in three Generation Seesaw Model with Dirac Mass Matrix of four-zero Texture」 日本物理学会 2019 年秋季大会山形大学小白川キャンパス, 2019 年 9 月 17--20 日[2019 年 9 月 17 日発表]
- [24] 両角卓也, 木村大自, 田川容樹「1 ループ補正を含むベクトル中間子の固有パリティを破る崩壊過程の研究」 日本物理学会 2019 年秋季大会山形大学小白川キャンパス, 2019 年 9 月 17--20 日[2019 年 9 月 17 日発表]
- [25] 稲垣知宏, 坂本弘樹 “共変形式を用いた F(R)重力理論におけるインフレーション理論の解析”, 日本物理学会 2019 年秋季大会山形大学小白川キャンパス, 2019 年 9 月 17--20 日 [2019 年 9 月 19 日発表]
- [26] Takuya Morozumi, Yuta Kawamura, Apriadi Salim Adam, Yusuke Shimizu, Yuya Tokunaga, Naoya Toyota, 「Lepton Number Violation in a Unified Framework」, Flavor Physics Workshop 2019, かんぼの宿 富田林, 2019 年 11 月 19 日--11 月 22 日[2019 年 11 月 20 日発表]
- [27] 小林達夫, 清水勇介, 高木堅太\*, 谷本盛光, 「Modular Stabilization in Flavor Symmetric Model」, 日本物理学会第 75 回年次大会 2020 年 3 月 16--19 日名古屋大学[2020 年 3 月 17 日発表]
- [28] 木村大自, 両角卓也, 田川容樹「SU(3) の破れの効果とパリティの破れを含むベクトル中間子のカイラルラグランジアン」 日本物理学会第 75 回年次大会 2020 年 3 月 16--19 日名古屋大学(2020 年) [2020 年 3 月 16 日発表]
- [29] 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 4 体フェルミ相互作用モデルにおける有限密度の寄与」日本物理学会第 75 回年次大会 名古屋大学(2020 年) 2020 年 3 月 16--19 日[2020 年 3 月 16 日発表]
- [30] 高橋隼也\*, 両角卓也, 清水勇介 「Vector-like クォークモデルにおける sd, bs, セクターの FCNC や CP の破れの相関関係」 日本物理学会 2020 年第 75 回年次大会, 名古屋大学, 2020 年 3 月 16--19 日, [2020 年 3 月 17 日発表]
- [31] 河村優太\*, 両角卓也, アプリアディ・サリム・アダム 「Two Higgs モデルの低エネルギー有効作用と現象論」 日本物理学会 2020 年春季大会, 名古屋大学, 2020 年 3 月 16--19 日, [2020 年 3 月 16 日発表]
- [32] 河村優太, 松尾大和, 両角卓也, Apriadi Salim Adam, 清水勇介\*, 徳永裕也, 豊田直哉 「マヨラナニュートリノによるレプトン数の破れの時間発展」 日本物理学会 2019 年春季大会, 名古屋大学, 2020 年 3 月 16--19 日, [2020 年 3 月 17 日発表]
- [33] 稲垣知宏, 下地寛武, 松尾大和 「磁場中における非一様なカイラル凝縮の解析」 日本物理学会 2020 年春季大会, 名古屋大学, 2020 年 3 月 16--19 日[2020 年 3 月 16 日発表]

#### 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 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 2 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 5 件
- 博士課程後期の学生が共同発表者の発表件数 20 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

各種研究員と外国人留学生の受入状況

研究員	1名	清水勇介
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4回勉強会, 2019年8月26日(月) 13:30-夕方まで, 理化学研究所 計算科学研究センター (神戸)

第5回勉強会, 2019年11月7日(木) 10:30-18:00, 早稲田大学 (西早稲田キャンパス) 55号館 N棟第二会議室

第6回勉強会, 2020年1月31日(金) 10:30-17:30, 京都大学基礎物理学研究所 研究棟206号室

- [2] 両角卓也

(2019年度第5回) 極限宇宙研究拠点(CORE-U)セミナー

日時: 2019年7月18日

場所: 広島大学 理学研究科

講師: 山本 恵

○ 国際共同研究・国際会議開催実績

- [1] 国際共同研究 両角卓也

Time Variation of Particle Number: Tomsk State Pedagogical University,

共同研究者 Takata Hiroyuki

社会活動・学外委員

○ 学協会委員

- [1] 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

- [2] 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

- [3] 両角卓也 : 素粒子論委員会委員長 (2019 年度)

○ 講習会・セミナー講師

- [1] 両角卓也 「Lepton Number Violation in a Unified Framework」 インド工科大学ボンベイ校物  
理学科 2019 年 12 月 13 日

- [2] 高橋隼也「Vector like クォーク模型における B 中間子系の物理」岡山理科大学,2019年5月29日

#### 研究助成金の受入状況

- [1] 石川健一：科学技術試験研究委託事業・「ポスト「京」で重点的に取り組むべき社会的・科学的課題に関するアプリケーション開発・研究開発」（2014年度～2019年度・受託機関：筑波大学計算科学研究センター,分担機関：広島大学,2019年度分担：1,000千円）
- [2] 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,2019年度 1,100千円）
- [3] 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,2019年度 100千円）
- [4] 清水勇介: 風樹会(2019年度 700千円)
- [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,2019年度 1000千円）

### ○宇宙物理学グループ

#### 研究活動の概要（小嶋康史）

##### (I) マグネター（超強磁場をもつ中性子星）

中性子星の中でマグネターは特異な存在であり、この数年間、その理論的な研究をしている。永年的な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) を考慮に入れなければならない、その流れの反作用として磁場の進化にも影響を与える。粘性のある可塑性な流れを取り入れた、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。

##### (II) ブラックホール近傍の電磁氣的過程

2019年に4月にはM87のブラックホール近傍の電波観測の撮像が公開された。中心付近からジェットの発生に今後の進展に役立つものと思われる。この数年間、ブラックホール付近での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 Electromagnetic fields)の詳細を検討中である。

##### (III) 重力波

2019年に日本の重力波望遠鏡（KAGRA）が試験を繰り返しながら稼働するようになった。地上のKAGRAや衛星のDECIGOの重力波関連の論文が出版された。また、データ解析での一つの可能性として、機械学習を用いたモデル分析を引き続き検討している。

##### (IV) カイラルMHDの不安定性モード解析

微視的に左巻きと右巻きカイラリティの数密度の不均衡が生じる状況下では、磁場に沿っ

た電流が生じることが知られている。これは、通常のMHDにはない電流であり、磁場が指数関数的に増加する不安定性を伴うことが知られている。重イオン衝突実験での検証や宇宙初期での磁場生成、超新星爆発、中性子内部での磁場が絡む現象において重要視され、大規模な数値実験も行われている。マクロな世界を記述する電磁流体力学（MHD）方程式系に磁場に沿った電流を取り入れた場合にどのようなことが起きるかを検討した。圧力と密度が一定の媒質中に、ある方向の様な磁場があり、そこに線形摂動が加わった場合、不安定な波の成長率を計算した。また、カイラル磁気効果が無い場合に存在する3種類の波のうち、どのモードが不安定になるかを詳細に議論した。その結果を公表論文として発表した。

#### 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、目で見ることができる通常の物質（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、光学測光観測がX線やSZ観測とは異なり、銀河団衝突による影響を受けずに様々な力学状態やステージにある銀河団を探す手法を提案・確立する論文を執筆した。銀河団の質量分布に関するコンセンレーションパラメータが銀河団衝突によって低くなることを発見した。Planck衛星のSZE観測量やROSATのX線観測量による銀河団ガスのブーストを評価した。画像スタッキングにより、衝突銀河団のガスのX線分布の中心部は衝突軸に伸びているが、外縁部ではその約60度回転した方向に伸びていることを発見した。またSZE観測でも同様の傾向が見られた。これは銀河団衝突で圧縮されたガスが外側に飛び出ている様子を捉えている。銀河団の多波長研究や重力レンズに関する論文を8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。

#### 原著論文

- [1] [Y. Kojima](#) and Y. Miura, “The growth of chiral magnetic instability in a large-scale magnetic field”, *Prog. of Theor. and Exp. Phys.* (2019), 4, id.043E01.
- [2] S. Kawamura et al ([Y. Kojima](#) 64番目/145人), “Space gravitational-wave antennas DECIGO and B-DECIGO”, *Intern Journal of Mod. Phys.* (2019) D28, id. 1845001.
- [3] Y. Akiyama et al, Kagra Collaboration ([Y. Kojima](#) 65番目/173人), “Vibration isolation system with a compact damping system for power recycling mirrors of KAGRA” *Class. and Quant. Grav.* (2019) 36, id. 095015.
- [4] T. Akutsu et al, Kagra Collaboration ([Y. Kojima](#) 73番目/204人), “First cryogenic test operation of underground km-scale gravitational-wave observatory KAGRA”, *Class. and Quant. Grav.* (2019) 36, id. 165008.
- [5] T. Akutsu et al, Kagra Collaboration ([Y. Kojima](#) 75番目/151人), “The status of KAGRA underground cryogenic gravitational wave telescope”, *J. of Phys.: Conference Series* (2020), 1342, id. 012014.
- [6] T. Akutsu et al, Kagra Collaboration ([Y. Kojima](#) 76番目/206人), “An arm length stabilization

system for KAGRA and future gravitational-wave detectors” *Class. and Quant. Grav.* (2020) 37, id 035004.

- [7] M. Sereno, K. Umetsu, S. Ettori, D. Eckert, F. Gastaldello, P. Giles, M. Lieu, B. Maughan, N. Okabe, M. Birkinshaw, and 6 others, “XXL Survey groups and clusters in the Hyper Suprime-Cam Survey. Scaling relations between X-ray properties and weak lensing mass”, *MNRAS*, 492, 4528-4545 (2020)
- [8] K. Umetsu et al. (N. Okabe is the 12th of 25 others), “Weak-lensing Analysis of X-Ray-selected XXL Galaxy Groups and Clusters with Subaru HSC Data”, *ApJ*, 890, 148 (2020)
- [9] N. Ota, I. Mitsuishi, Y. Babazaki, H. Akamatsu, Y. Ichinohe, S. Ueda, N. Okabe, M. Oguri, R. Fujimoto, T. Hamana, and 6 others, “X-ray properties of high-richness CAMIRA clusters in the Hyper Suprime-Cam Subaru Strategic Program field”, *PASJ*, 72, 1 (2020)
- [10] K. Tanaka et al. (N. Okabe is the 15th of 21 others), “X-ray study of the double source plane gravitational lens system Eye of Horus observed with XMM-Newton”, *MNRAS*, 491, 3411-3418 (2020)
- [11] H. Aihara et al. (N. Okabe is the 41th of 64 others), “Second data release of the Hyper Suprime-Cam Subaru Strategic Program”, *PASJ*, 71, 114 (2019)
- [12] K. Sebesta, L. Williams, J. Liesenborgs, E. Medezinski, N. Okabe, “Free-form GRALE reconstruction of Abell 2744: robustness of uncertainties against changes in lensing data”, *MNRAS*, 488, 3251-3261 (2019)
- [13] N. Okabe, M. Oguri, H. Akamatsu, A. Hamabata, A. Nishizawa, E. Medezinski, Y. Koyama, M. Hayashi, T. Okabe, S. Ueda, and 2 others, “Halo concentration, galaxy red fraction, and gas properties of optically defined merging clusters”, *PASJ*, 71, 79 (2019)
- [14] A. Farahi et al. (N. Okabe is the 12th of 12 others), “Detection of anti-correlation of hot and cold baryons in galaxy clusters”, *Nature Communications*, 10, 2504 (2019)
- [15] Miyatake et al. (N. Okabe is the 40th of 59 others), “Weak-lensing Mass Calibration of ACTPol Sunyaev-Zel'dovich Clusters with the Hyper Suprime-Cam Survey”, *ApJ*, 875, 63 (2019)

著書, 総説  
該当無し

著作

- [1] N. Okabe “Clusters of Galaxies: Physics and Cosmology” (Space Sciences Series of ISSI), 共著, English, 978-9402417333

国際会議

(依頼講演)

- [1] N. Okabe “Overview of HSC Weak-lensing Studies”, First HSC-eROSITA-DE joint collaboration meeting, 2019年5月13-16日, MPE Germany (国際コラボレーションミーティング, 参加者約150名)
- [2] N. Okabe “Status of the HSC-XXL collaboration” Joint XXL-HSC meeting, 2019年7月1-5日, Ovromnaz, Switzerland (国際コラボレーションミーティング, 参加者約30名)

- [3] N. Okabe “Updates of cluster science in the HSC survey” Joint XXL-HSC meeting, 2019年7月1-5日, Ovronnaz, Switzerland (国際コラボレーションミーティング, 参加者約30名)
- [4] N. Okabe “MUSTANG2-XXL joint analysis for HSC clusters” Joint XXL-HSC meeting, 2019年7月1-5日, Ovronnaz, Switzerland (国際コラボレーションミーティング, 参加者約30名)
- [5] N. Okabe “Joint MUSTANG-2 and XXL analysis for three CAMIRA clusters”, HSC-X collaboration meeting, 2019年9月18日, 名古屋大学 (国際コラボレーションミーティング, 参加者約30名)
- [6] N. Okabe “Cluster Sciences”, 研究会「Euclid 衛星とすばる望遠鏡とのシナジー」東京大学本郷キャンパス, 2020年2月22日 (参加者約20名)

(一般講演)

- [1] Y. Kojima : “Twisted magnetosphere in the exterior of a magnetar : GR at work in force-free magnetosphere”, Texas Sympo 30 in Portsmouth 2019年12月15-20日 (参加者500名)
- [2] Y. Kimura and Y. Kojima : “Detection of GW-burst signal with machine learning”, 新学術領域研究「重力波物理学・天文学：創世記」シンポジウム, 2020年2月10-12日, 甲南大学 (参加者50名)

#### 国内学会

(一般講演)

- [1] 小嶋康史, 鈴木一毅 : 「中性子星 (マグネター) のクラスト部分の数千年間の磁場進化」日本天文学会秋季年会 (2019年9月11-13日, 熊本大学)

#### 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 3 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

#### 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] 小島康史：高大連携公開講座,「重力波」2019年7月26日 広島大学東広島キャンパス
- [2] 岡部信広：「緊急解説：ブラックホール直接撮像」,2019年04月18日,広島大学,講演会
- [3] 岡部信広：「ノーベル賞解説セミナー,精密宇宙論と広島大学」,広島大学附属理学融合教育研究センター主催,2019年12月11日,広島大学東広島キャンパス,講演会
- [4] 岡部信広：「ノーベル賞解説セミナー,精密宇宙論と広島大学」,広島大学附属理学融合教育研究センター主催,2019年12月15日,広島大学東千田,講演会

○SSHセミナー,講演会開催実績,講習会

- [1] 岡部信広：「Extensive Program,ダークマターとダークエネルギーがつくる宇宙」,広島女学院中学高等学校,2019年10月23日,出前授業,高校生

国際共同研究・国際会議開催実績

- [1] 小島康史：The 29th Workshop on General Relativity and Gravitation in Japan (JGRG29) 2019年11月25-29日,神戸大学(参加者200人)SOC
- [2] 岡部信広：“HSC-X meeting”世話人,2019年9月18日,名古屋大学(参加者:約30名)
- [3] N. Okabe：“- DARK MATTER(A) - COSMOLOGY AND DARK MATTER WITHIN GALAXIES AND CLUSTERS”,2019年9月2-6日,Matera-Basilicata, Italy,(SOC,参加者約100名)

○各種研究員と外国人留学生の受入状況

- [1] 小島康史：南岳(大学院D3) (山本一博転出による受け入れ変更)
- [2] 小島康史：Ar Rohim(大学院D2) (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] 小島康史：科学研究費補助金,基盤研究(C)(令和元-4年度,代表,令和元年度1,300千円)「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] 岡部信広：2019年度国際共同研究加速基金(国際共同研究強化(B))代表2019年度～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」2019年度700千円

○その他特記すべき事項

該当無し

○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。2019年はLHC加速器が第2期長期停止に入り,2021年からの第3期運転に向けて検出器の大幅な高度化を推進した。併せて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36編を公表した。特に従来は基準測定と来てきた陽子+陽子や陽子+原子核などの“小さい”衝突系にも解放クォーク相生成の兆候を複数観測し、同相生成の機構や条件の解明に向けた新たな謎として注目を集めている。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。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、光子散乱を探针として挑んでいる。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、ALICE実験の主要な検出器高度化計画として2021年稼働を予定する前方ミュー粒子飛跡検出器MFTの開発建設をフランスなどの研究機関およびCERN研究所と連携して推進し、同検出器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。2019年度は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、実検出器制御に向けた実装準備を整えた。さらに、CERN研究所における検出器実機の立上試験において制御系を実装した。引続き、国際協力の下にLHC加速器に設置する実機への制御系実装を進め、確実な実機稼働を図る。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検討も進めている。2020年1月には、ALICE実験前代表者や前物理検討委員長ら4名を欧州から広島大学へ招聘し、国内の共同研究者らを集めて拡大ALICE実験日本グループ研究会を開催した。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などとして、継続的に研究を展開している。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年度の初期運転に向けた準備を進めた。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。教育面では、大学院博士後期学生2名、同前期学生5名（奈良女子大学1名を含む）、学部卒業研究生2名を直接指導し、修士（理学）3名（奈良女子大学1名を含む）、学士（理学）2名を輩出した。

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軽い未知素粒子を、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。ELIのルーマニアサイト（ELI-NP）の共同研究者らと共に、現地での真空容器群の導入を終え、レーザービームのコミッシュニングを開始した。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予備段階の探索を複数実施した。真空内四光波混合とは、軽い場の共鳴を介する $\omega_1+\omega_2 \rightarrow$  共鳴 $\rightarrow\omega_3+\omega_4$ という光子・光子散乱過程に相当する。これまで真空下で $\omega_1=\omega_2$ を満たす単一レーザー場集光による準平行光子・光子衝突系（QPS）において、 $\omega_4$ の混合集光により散乱の信号光を $\omega_3$ へと誘導する探索を実施してきた。QPSは1eV未満のsub-eV質量域全体に感度を有するが、正面衝突系（HCS）と比較すると、ルミノシティ因子が減少するため、より低質量

域の暗黒場探索には、より高強度のレーザーを必要とする。一方、HCSでは比較的low強度のレーザーを用いても、質量幅は狭くなるが、結合に関してQPSと同程度以上の感度を見込める。QPSにおけるsub-eV質量域の暗黒場探索結果の一部は、2019年度内にarXiv:2004.10637に公表した(2020年度現時点でPTEPに掲載決定)。さらなる感度向上を目指し、QPSで用いる誘導用レーザー場を時間圧縮する技術も確立した。HCSにおけるeV質量域の暗黒場探索では、3つの同色ビームを衝突させる系を大気下で実装し、微弱擬似信号を時差と直線偏光状態により分離・検知する光学系を実証し、初のHCSにおける探索を始動した。これらの関連し合う成果は複数の国際会議、国内会議にて報告した。以上の研究課題を通じ、本専攻大学院博士後期学生1名(信廣)、同前期学生2名(平原、尾崎、桐田)らの研究を指導した。さらに、質量がsub- $\mu$ eVにあり得る暗黒エネルギー源を念頭に、GHz帯域のマイクロ波を用いた真空内四光波混合探索の実現性を検証すべく、科研費挑戦的研究(萌芽)を新規に獲得した。この科研費に基づきGHz帯域ビームを集光するための光学系の設計と試作をした。並行して超伝導体を用いる単一マイクロ波光子センサーについて、理研および産総研の研究者らとの会合を通じて情報を収集した。これらの過程を通じて、大学院博士前期学生1名(柴田)および学部卒業研究生1名(長谷川)らを研究指導した。

三好隆博助教は、プラズマ流体モデルに対する先進的な数値解法の開発と宇宙プラズマ物理の理論・シミュレーション研究を幅広く推進する。名大ISEEの草野教授、井上特任助教ら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新たな磁気流体力学緩和法を開発する。特に高精度数値計算コードの実装、および各種テスト計算を行い、学術論文として公表した。また、千葉大の松本特任准教授、松元教授をはじめ、国内機関の研究者と共同開発してきた高精度磁気流体力学コードの統合ソフトウェアCANS+ (<http://www.astro.phys.s.chiba-u.ac.jp/cans/doc/>)が完成し、オープンソースソフトウェアとして公開すると共に、学術論文としてその成果を公表した。合わせて、JAMSTECの簗島研究員、横浜国立大の北村准教授と共同で、非圧縮流れから極超音速流れにまで全速度領域において頑丈である革新的な磁気流体力学数値解法を研究開発した。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た。これらの研究成果については、現在、学術論文投稿の準備を進めている。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た。特にカイラル磁気流体力学に関する基礎的研究を開始し、本研究室の大学院生(星野達也)がその初期的結果を研究会で報告すると共に、修士論文としてまとめた。

山口頼人特任助教は、ALICE実験の主要検出器増強計画の一つである前方ミュオン粒子飛跡検出器(MFT)の制御システム開発を進めた。このMFTを既存ミュオン粒子検出器群のハドロン吸収体の前に新たに設置し、これまで不可能であったミュオン粒子生成点測定を実現する。これにより、これまで測定困難であった広い横運動量領域でのベクトル中間子や重クォークoniumを高精度に測定できる。2022年に開始されるLHC加速器Run 3からのMFT新規運用に向け、CERN研究所内におけるMFT実機製作とデータ読み出しも含めた試運転が2019年6月から開始され、現地での長期滞在(6-8月、10-12月)を通してMFTの電源供給システムの構築とその制御システムの実装を行った。2020年内のMFT全体の制御システム完成を達成するため、

週例ミーティングを主催し、開発を進めている。また、広島大学においてもCERN研究所内と同等の試験ができるようにテストベンチを構築し、制御システムの基礎開発と試験ができる環境を整備した。

#### 原著論文

- [1] S.Acharya, K.Shigaki, *et al.*, “Evidence of rescattering effect in Pb-Pb collisions at the LHC through production of  $K^*(892)^0$  and  $\phi(1020)$  mesons”, 10.1016/j.physletb.2020.135225, Phys. Lett. **B802**, 135225, 2020.
- [2] S.Acharya, K.Shigaki, *et al.*, “Measurements of inclusive jet spectra in pp and central Pb-Pb collisions at  $\sqrt{s_{NN}} = 5.02$  TeV”, 10.1103/PhysRevC.101.034911, Phys.Rev.C **101**, 034911, 2020.
- [3] S.Acharya, K.Shigaki, *et al.*, “Scattering studies with low-energy kaon-proton femtoscopy in proton-proton collisions at the LHC”, 10.1103/PhysRevLett.124.092301, Phys.Rev.Lett. **124**, 092301, 2020.
- [4] S.Acharya, K.Shigaki, *et al.*, “Measurement of electrons from heavy-flavour hadron decays as a function of multiplicity in p-Pb collisions at  $\sqrt{s_{NN}} = 5.02$  TeV”, 10.1007/JHEP02(2020)077, JHEP **2002**, 077, 2020.
- [5] S.Acharya, K.Shigaki, *et al.*, “Studies of  $J/\psi$  production at forward rapidity in Pb-Pb collisions at  $\sqrt{s_{NN}} = 5.02$  TeV”, 10.1007/JHEP02(2020)041, JHEP **2002**, 041, 2020.
- [6] S.Acharya, K.Shigaki, *et al.*, “Multiplicity dependence of (multi-)strange hadron production in proton-proton collisions at  $\sqrt{s} = 13$  TeV”, 10.1140/epjc/s10052-020-7673-8, Eur. Phys. J. C **80**, no.2, 167, 2020.
- [7] S.Acharya, K.Shigaki, *et al.*, “ ${}^3_{\Lambda}H$  and  ${}^3_{\Lambda}\bar{H}$  lifetime measurement in Pb-Pb collisions at  $\sqrt{s_{NN}} = 5.02$  TeV via two-body decay”, 10.1016/j.physletb.2019.134905, Phys. Lett. B **797**, 134905, 2019.
- [8] S.Acharya, K.Shigaki, *et al.*, “Measurement of  $Y(1S)$  elliptic flow at forward rapidity in Pb-Pb collisions at  $\sqrt{s_{NN}} = 5.02$  TeV”, 10.1103/PhysRevLett.123.192301, Phys. Rev. Lett. **123**, 192301, 2019.
- [9] S.Acharya, K.Shigaki, *et al.*, “Measurement of prompt  $D^0, D^+, D^{*+}$ , and  $D_s^+$  production in p-Pb collisions at  $\sqrt{s_{NN}} = 5.02$  TeV”, 10.1007/JHEP12(2019)092, JHEP **1912**, 092, 2019.
- [10] S.Acharya, K.Shigaki, *et al.*, “Multiplicity dependence of light (anti-)nuclei production in p-Pb collisions at  $\sqrt{s_{NN}} = 5.02$  TeV”, 10.1016/j.physletb.2019.135043, Phys. Lett. **B800**, 135043, 2020.
- [11] S.Acharya, K.Shigaki, *et al.*, “Measurement of the inclusive isolated photon production cross section in pp collisions at  $\sqrt{s} = 7$  TeV”, 10.1140/epjc/s10052-019-7389-9, Eur. Phys. J. C **79**, no.11, 896, 2019.
- [12] S.Acharya, K.Shigaki, *et al.*, “Inclusive  $J/\psi$  production at mid-rapidity in pp collisions at  $\sqrt{s} = 5.02$  TeV”, 10.1007/JHEP10(2019)084, JHEP **1910**, 084, 2019.
- [13] S.Acharya, K.Shigaki, *et al.*, “Study of the  $\Lambda - \Lambda$  interaction with femtoscopy correlations in pp and p-Pb collisions at the LHC”, 10.1016/j.physletb.2019.134822, Phys. Lett. B **797**, 134822, 2019.
- [14] S.Acharya, K.Shigaki, *et al.*, “Charged-particle production as a function of multiplicity and transverse sphericity in pp collisions at  $\sqrt{s} = 5.02$  and 13 TeV”, 10.1140/epjc/s10052-019-7350-y, Eur. Phys. J. C **79**, no.10, 857, 2019.
- [15] S.Acharya, K.Shigaki, *et al.*, “Production of muons from heavy-flavour hadron decays in pp collisions at  $\sqrt{s} = 5.02$  TeV”, 10.1007/JHEP09(2019)008, JHEP **1909**, 008, 2019.
- [16] S.Acharya, K.Shigaki, *et al.*, “Measurement of charged jet cross section in pp collisions at  $\sqrt{s} = 5.02$  TeV”, 10.1103/PhysRevD.100.092004, Phys.Rev. D **100**, 092004, 2019.
- [17] S.Acharya, K.Shigaki, *et al.*, “Exploration of jet substructure using iterative declustering in pp and Pb-Pb collisions at LHC energies”, 10.1016/j.physletb.2020.135227, Phys. Lett. **B802**, 135227, 2020.
- [18] S.Acharya, K.Shigaki, *et al.*, “Measurement of the production of charm jets tagged with  $D^0$

- mesons in pp collisions at  $\sqrt{s} = 7 \text{ TeV}$ ", 10.1007/JHEP08(2019)133, JHEP **1908**, 133, 2019.
- [19] S.Acharya, K.Shigaki, *et al.*, "Measurement of jet radial profiles in Pb-Pb collisions at  $\sqrt{s_{NN}} = 2.76 \text{ TeV}$ ", 10.1016/j.physletb.2019.07.020, Phys. Lett. B**796**, 204, 2019.
- [20] S.Acharya, K.Shigaki, *et al.*, "First Observation of an Attractive Interaction between a Proton and a Cascade Baryon", 10.1103/PhysRevLett.123.112002, Phys. Rev. Lett. **123**, 112002, 2019.
- [21] S.Acharya, K.Shigaki, *et al.*, "Coherent  $J/\psi$  photoproduction at forward rapidity in ultra-peripheral Pb-Pb collisions at  $\sqrt{s_{NN}} = 5.02 \text{ TeV}$ ", 10.1016/j.physletb.2019.134926, Phys. Lett. B**798**, 134926, 2019.
- [22] S.Acharya, K.Shigaki, *et al.*, "One-dimensional charged kaon femtoscopy in p-Pb collisions at  $\sqrt{s_{NN}} = 5.02 \text{ TeV}$ ", 10.1103/PhysRevC.100.024002, Phys. Rev. C**100**, 024002, 2019.
- [23] S.Acharya, K.Shigaki, *et al.*, "Measurement of strange baryon-antibaryon interactions with femtoscopic correlations", 10.1016/j.physletb.2020.135223, Phys. Lett. B**802**, 135223, 2020.
- [24] S.Acharya, K.Shigaki, *et al.*, "Investigations of Anisotropic Flow Using Multiparticle Azimuthal Correlations in pp, p-Pb, Xe-Xe, and Pb-Pb Collisions at the LHC", 10.1103/PhysRevLett.123.142301, Phys. Rev. Lett. **123**, 142301, 2019.
- [25] S.Acharya, K.Shigaki, *et al.*, "Multiplicity dependence of (anti-)deuteron production in pp collisions at  $\sqrt{s} = 7 \text{ TeV}$ ", 10.1016/j.physletb.2019.05.028, Phys. Lett. B**794**, 50, 2019.
- [26] S.Acharya, K.Shigaki, *et al.*, "Calibration of the photon spectrometer PHOS of the ALICE experiment", 10.1088/1748-0221/14/05/P05025, JINST **14**, no.05, P05025, 2019.
- [27] S.Acharya, K.Shigaki, *et al.*, "Measurement of  $D^0, D^+, D^{*+}$ , and  $D_s^+$  production in pp collisions at  $\sqrt{s} = 5.02 \text{ TeV}$  with ALICE", 10.1140/epjc/s10052-019-6873-6, Eur. Phys. J. C**79**, no.5, 388, 2019.
- [28] S.Acharya, K.Shigaki, *et al.*, "Event-shape and multiplicity dependence of freeze-out radii in pp collisions at  $\sqrt{s} = 7 \text{ TeV}$ ", 10.1007/JHEP09(2019)108, JHEP **1909**, 108, 2019.
- [29] S.Acharya, K.Shigaki, *et al.*, "Real-time data processing in the ALICE High Level Trigger at the LHC", 10.1016/j.cpc.2019.04.011, Comput. Phys. Commun. **242**, 25, 2019.
- [30] S.Acharya, K.Shigaki, *et al.*, "Charged-particle pseudorapidity density at mid-rapidity in p-Pb collisions at  $\sqrt{s_{NN}} = 8.16 \text{ TeV}$ ", 10.1140/epjc/s10052-019-6801-9, Eur. Phys. J. C**79**, no.4, 307, 2019.
- [31] S.Acharya, K.Shigaki, *et al.*, " $\Lambda_c^+$  production in Pb-Pb collisions at  $\sqrt{s_{NN}} = 5.02 \text{ TeV}$ ", 10.1016/j.physletb.2019.04.046, Phys. Lett. B**793**, 212, 2019.
- [32] S.Acharya, K.Shigaki, *et al.*, "Energy dependence of exclusive  $J/\psi$  photoproduction off protons in ultra-peripheral p-Pb collisions at  $\sqrt{s_{NN}} = 5.02 \text{ TeV}$ ", 10.1140/epjc/s10052-019-6816-2, Eur. Phys. J. C**79**, no.5, 402, 2019.
- [33] S.Acharya, K.Shigaki, *et al.*, "Analysis of the apparent nuclear modification in peripheral Pb-Pb collisions at 5.02 TeV", 10.1016/j.physletb.2019.04.047, Phys. Lett. B**793**, 420, 2019.
- [34] S.Acharya, K.Shigaki, *et al.*, "Production of the  $\rho(770)^0$  meson in pp and Pb-Pb collisions at  $\sqrt{s_{NN}} = 2.76 \text{ TeV}$ ", 10.1103/PhysRevC.99.064901, Phys. Rev. C**99**, 064901, 2019.
- [35] S.Acharya, K.Shigaki, *et al.*, "Two particle differential transverse momentum and number density correlations in p-Pb and Pb-Pb at the LHC", 10.1103/PhysRevC.100.044903, Phys. Rev. C**100**, 044903, 2019.
- [36] J.Adam, K.Shigaki, *et al.*, "Erratum to: Insight into particle production mechanisms via angular correlations of identified particles in pp collisions at  $\sqrt{s} = 7\text{TeV}$ ", 10.1140/epjc/s10052-019-7398-8, Eur. Phys. J. C**79**, no.12, 998, 2019.
- [37] © U. A. Acharya, K. Homma, K. Shigaki, Y. Yamaguchi, *et al.*, " $J/\psi$  and  $\phi$  ( $2S$ ) production at forward rapidity in p plus p collisions at  $\sqrt{s} = 510 \text{ GeV}$ ", *Phys. Rev. D* **101**, 052006, 2020.
- [38] © C. Aidala, K. Homma, K. Shigaki, Y. Yamaguchi, *et al.*, "Nuclear-modification factor of charged hadrons at forward and backward rapidity in p + Al and p + Au collisions at  $\sqrt{s_{NN}} = 200 \text{ GeV}$ ", *Phys. Rev. C* **101**, 034910, 2020.
- [39] © C. Aidala, K. Homma, K. Shigaki, Y. Yamaguchi, *et al.*, "Nuclear Dependence of the Transverse

- Single-Spin Asymmetry in the Production of Charged Hadrons at Forward Rapidity in Polarized p+p, p+Al, and p+Au Collisions at  $\sqrt{s_{NN}}=200$  GeV”, *Phys. Rev. Lett.* **123**, 122001, 2019.
- [40] © C. Aidala, K. Homma, K. Shigaki, Y. Yamaguchi, et al., “Measurement of charm and bottom production from semileptonic hadron decays in p+p collisions at  $\sqrt{s}=200$  GeV”, *Phys. Rev. D* **99**, 092003, 2019.
- [41] © C. Aidala, K. Homma, K. Shigaki, Y. Yamaguchi, et al., “Nonperturbative-transverse-momentum broadening in dihadron angular correlations in  $\sqrt{s_{NN}}=200$ GeV proton-nucleus collision”, *Phys. Rev. C* **99**, 044912, 2019.
- [42] © C. Adare, K. Homma, K. Shigaki, Y. Yamaguchi, et al., “Beam Energy and Centrality Dependence of Direct-Photon Emission from Ultrarelativistic Heavy-Ion Collisions”, *Phys. Rev. Lett.* **123**, 022301, 2019.
- [43] © C. Aidala, K. Homma, K. Shigaki, Y. Yamaguchi, et al., “Measurements of  $\mu\mu$  pairs from open heavy flavor and Drell-Yan in p+p collisions at  $\sqrt{s}=200$  GeV”, *Phys. Rev. D* **99**, 072003, 2019.
- [44] © C. Adare, K. Homma, K. Shigaki, Y. Yamaguchi, et al., “Measurement of two-particle correlations with respect to second- and third-order event planes in Au + Au collisions at  $\sqrt{s_{NN}}=200$ GeV”, *Phys. Rev. C* **99**, 054903, 2019.
- [45] T. Miyoshi, K. Kusano, and S. Inoue, “A magnetohydrodynamic relaxation method for non-force-free magnetic field in magnetohydrostatic equilibrium”, *Astrophys. J. Suppl.*, **247**, 6, 2020.
- [46] Y. Matsumoto, Y. Asahina, Y. Kudoh, T. Kawashima, J. Matsumoto, H. R. Takahashi, T. Minoshima, S. Zenitani, T. Miyoshi, R. Matsumoto, “Magnetohydrodynamic simulation code CANS+: Assessments and applications”, *Publ. Astron. Soc. Jpn.*, **71**, 83, 2019.

#### 国際会議

(招待講演)

- [1] K. Shigaki, “Experimental Approaches to Bridging Dynamics of Quark and Hadron Hierarchies”, International symposium on Clustering as a Window on the Hierarchical Structure of Quantum Systems (Beppu, Japan, 2020.1.23-24)
- [2] K. Homma, “Perspective to search for dark components in the Universe with coherent photon collisions”, 3rd Johns Hopkins Workshop, Kavli IPMU (Tokyo, Japan 2019.6.5)
- [3] K. Homma, “Stimulated Radar Collider Toward a Laboratory Search for a Dark Energy Candidate”, 28th ANNUAL INTERNATIONAL LASER PHYSICS WORKSHOP (Gyeongju, Korea 2019.7.11)
- [4] K. Homma, “Probing Quantum Vacuum at E4: Search for dark components in the sub-eV - 10 eV mass range”, 1st ELI-NP User Workshop (Bucharest, Romania 2019.10.08)
- [5] K. Homma, “Perspective of searching for axion-like particles in the mass range  $10^{-7}$  -  $10^3$  eV with stimulated photon-photon collider”, Zimanyi School 2019, Wigner Research Center for Physics (Budapest, Hungary 2019.12.02)

(依頼講演)

- [1] K. Homma, “Laboratory searches for pseudo Nambu-Goldstone bosons with stimulated photon-photon colliders”, Cosmic Acceleration, 17-19 February 2020 Kavli IPMU (Kashiwa, Japan 2020.2.19)

(一般講演)

- [1] K. Shigaki, “ALICE Forward Upgrade for High Precision High Statistics Single- and Di-Muon Measurements at the LHC”, 2019 Joint Workshop of TYL/FJPPL and FKPPL (Jeju, South Korea,

2019.5.8-10)

- [2] Y. Yamaguchi, “Activities of Hiroshima+Nara group in the MFT project”, Expanded ALICE Japan Meeting/Workshop (Hiroshima University, Japan, 2020.1.26-28)

#### 国内学会

(招待講演)

- [1] 志垣賢太: 「Dynamics to bridge quark and hadron hierarchies」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2回研究会(東京工業大学, 2019年5月31日-6月1日)
- [2] 志垣賢太: 「高エネルギー原子核偏心衝突における宇宙最高強度磁場生成の直接探索」名古屋大学クォーク・ハドロン理論研究室セミナー(名古屋大学, 2019年6月18日)
- [3] 志垣賢太: 「Dilepton measurements and chiral symmetry restoration at LHC and elsewhere」第36回拡大 Heavy Ion Café 研究会(上智大学, 2019年6月22-23日)
- [4] 志垣賢太: 「クォーク階層とハドロン階層を繋ぐ動的機構」日本物理学会シンポジウム“量子クラスターで読み解く物質の階層構造”(現地開催中止, 2020年3月16-19日)
- [5] 山口頼人: 「ALICE 実験高度化における MAPS 飛跡検出器開発と実装」, 新学術領域「クォーク階層」「量子ビーム応用」合同検出器ワークショップ(東北大学, 2019年9月20-21日)
- [6] 山口頼人: 「QGP 温度測定の現状と今後の展望」, 新学術領域「量子クラスターで読み解く物質の階層構造」スクール(理化学研究所, 2020年3月2-4日)

(依頼講演)

- [1] 志垣賢太: 「高エネルギー原子核衝突実験 物理, 歴史, 手法, 展望」, チュートリアル研究会2019“高エネルギー重イオン衝突の物理: 基礎・最先端・課題・展望”(理化学研究所, 2019年8月19-21日)
- [2] 山口頼人: 「極限 QCD 物質クォーク・グルオン・プラズマの温度測定」, 極限宇宙研究拠点(Core-U)セミナー(広島大学, 2019年6月12日)
- [3] 山口頼人: 「光子」, チュートリアル研究会2019“高エネルギー重イオン衝突の物理: 基礎・最先端・課題・展望”(理化学研究所, 2019年8月19-21日)

(一般講演)

- [1] 三好隆博: 「二流体プラズマ方程式に対する高次精度無発散重み付き差分スキーム」, 日本地球惑星科学連合2019年大会(幕張メッセ, 2019年5月26-30日)
- [2] 三好隆博: 「相対論的流体力学方程式に対する高次精度衝撃波捕獲法の開発」, プラズマシミュレータシンポジウム2019(核融合科学研究所, 2019年9月19-20日)
- [3] 三好隆博: 「高エネルギー重イオン衝突におけるプラズマ物理的課題」, STE シミュレーション研究会(広島大学, 2019年9月24-26日)
- [4] 簗島 敬, 北村圭一, 三好隆博: 「磁気流体力学方程式に対する多状態 AUSM 型スキーム」, STE シミュレーション研究会(広島大学, 2019年9月24日-26日)
- [5] 星野達也, 三好隆博, 松本 仁, 松本洋介: 「カイラル磁気流体力学におけるケルビン・ヘルムホルツ不安定性」STE シミュレーション研究会(広島大学, 2019年9月24-26日)
- [6] 簗島 敬, 北村圭一, 三好隆博: 「磁気流体力学方程式に対する多状態 AUSM 系スキーム」, 第146回地球電磁気・地球惑星圏学会(熊本大学, 2019年10月23-27日)

- [7] 山口頼人：「ALICE 実験 Run3 に向けた前方ミュオン飛跡検出器開発の現状」，日本物理学会第 75 回年次大会（現地開催中止，2020 年 3 月 16-19 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 5 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 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 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 4 件

セミナー・講演会開催実績

- [1] 志垣賢太：チュートリアル研究会 「高エネルギー重イオン衝突の物理：基礎・最先端・課題・展望」（理化学研究所，2019年8月19-21日）組織委員
- [2] 志垣賢太：第29回 Heavy Ion Pub 研究会（広島大学，2019年10月25日）世話人
- [3] 志垣賢太：第30回 Heavy Ion Pub および第37回 Heavy Ion Cafe 合同研究会（名古屋大学，2019年12月22日）世話人
- [4] 三好隆博：STE シミュレーション研究会「ー計算プラズマ物理の新潮流ー」（広島大学，2019年9月24-26日）世話人

社会活動・学外委員

（学協会委員）

- [1] 志垣賢太：高温高密度QCD物質オープンフォーラム 世話人
- [2] 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
- [3] 志垣賢太：理化学研究所 客員研究員
- [4] 志垣賢太：長崎総合科学大学 客員研究員
- [5] 志垣賢太：日本学術振興会 特別研究員等審査会専門委員
- [6] 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
- [7] 志垣賢太：日本学術振興会 科学研究費助成事業「特別推進研究」の新規研究課題の選定に係る審査意見書作成者
- [8] 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
- [9] 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] 三好隆博：宇宙磁気流体・プラズマシミュレーションサマーセミナー講師「差分法の基礎」，「MHD 近似リーマン解法」，および「実習」担当（千葉大学，2019 年 8 月 26-30 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, 本間謙輔, 山口頼人 : 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)

- [1] 志垣賢太 : 国際会議 “International Symposium on Clustering as a Window on the Hierarchical Structure of Quantum Systems” (別府, 日本, 2020年1月23-24日) 組織委員
- [2] 志垣賢太 : Expanded ALICE Japan Meeting/Workshop (広島大学, 日本, 2020年1月26-28日) 組織委員長
- [3] 山口頼人 : Expanded ALICE Japan Meeting/Workshop (広島大学, 日本, 2020年1月26-28日) 組織委員

## 高大連携事業への参加状況

- [1] 志垣賢太 : 広島市立広島中等教育学校, 訪問授業「宇宙の始まり, 物質の謎, 重さの起源」(2019年7月12日)
- [2] 本間謙輔 : 広島県立広高等学校, 訪問授業「宇宙の暗黒成分を探る」(2019年10月17日)

## 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(2019年度, 22,500千円)「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 : 日仏素粒子物理学研究所, 2018年度実施課題(2019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
- [3] 本間謙輔 : 科学研究費補助金, 挑戦的研究(萌芽)(2019年度, 3,900千円)「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
- [4] 本間謙輔 : 科学研究費補助金, 基盤研究(B)(2019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
- [5] 本間謙輔 : 科学研究費補助金, 新学術領域研究(公募)(2019年度, 5,200千円)「高強度レーザー場による誘導共鳴散乱を介したeV近傍質量域の暗黒場探索」代表
- [6] 本間謙輔 : 京都大学化学研究所課題提案型共同研究(2019年度, 1300千円)「真空内四光波混合の探索」代表
- [7] 三好隆博 : 科学研究費補助金, 基盤研究(S)(2019年度, 250千円)「クォーク物性を解き明かすALICE実験フォトン物理の新展開」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

令和元年度は、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、修士論文4編（Yun, 岩尾, 高木, 平出）、卒業論文6編（今澤, 葛葉, 濱田, 森, 森脇, 山口）を発表した。また、Hi<sup>+</sup>サイエンティスト養成プログラムの自由研究の学生を2名、シカゴ大学からのサマージョブ学生を2名受け入れた。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。内田が2月より着任した。また、昨年度に続いて、Norbert Wernerがハンガリーよりクロスアポイントで3か月だけ滞在して研究教育活動に参加した。

### [フェルミ衛星によるガンマ線観測]

フェルミ衛星は、打ち上げから12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、フェルミ衛星第4カタログについてリストのチェックなどを行い、カタログ出版に貢献した。

ジェット天体である電波銀河について、フェルミ衛星第4天体カタログが発表され、その中に50を超える電波銀河が含まれていたことから、それらのX線の観測データを集めて系統的な懸鼓タを開始し、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ている。また、電波銀河の中で最もガンマ線で明るいNGC1275についてSwift衛星の可視光紫外線観測装置UVOTのデータおよび硬X線観測装置BATのデータを解析し、ガンマ線や軟X線と同様に最近ほど明るくなってきていることがわかり、論文を投稿した。また、ブレーザー天体の多波長スペクトルをMCMC法を用いて定量的にモデル化するためのモデル計算を行うことで、3C279のフェルミ衛星データも含めた多波長モニターデータの系統的解析を進め、時間変動に伴う物理量の変化を導出した。これは平出修論としてまとめられた。

まもなく観測が開始される大型TeVガンマ線望遠鏡CTAで観測が期待される電波銀河のTeVガンマ線フレアはブラックホール近傍の情報を含む。そこで、電波銀河IC310とNGC1275について、過去のTeVフレアに同期したフェルミ衛星のGeVガンマ線のデータを解析し、TeVフレアを起こす時期ではGeVガンマ線も明るくなっていることがわかった。これは今澤卒論としてまとめられた。

Fermi衛星はその広い視野を生かし、ガンマ線観測を通して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。その際に他波長のデータと比較することが必要であり、従来は水素原子の21cm線の全天サーベイおよびCO分子からの2.6mmのマッピング観測が用いられてきたが、これら伝統的な電波観測では星間ガスを取りこぼしている（通称「dark gas」と呼ばれる）ことが分かってきた。ガンマ線はこのdark gasのよいプローブとなることから、星間ガスの分布を正確・精密に測定するため、ガンマ線とPlanck衛星によるダスト放射の比較を名古屋大学のグループと共同ですすめている。R1年度はChamaeleon分子雲および近傍原子雲の解析を推し進め共に原著論文として出版した。連してこの研究を通して近傍宇宙線スペクトルも精度よく推定することが可能であり、直接観測と合わせた解析を、シカゴ大学学生のサマージョブのテーマとして進め、2020年3月の物理学会で報告した。

## [すざく衛星, Swift衛星, XMM-Newton衛星の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。

Swift衛星105ヶ月カタログで検出されたブレーザー天体を用いたX線光度関数の導出を行い、ブレーザーの進化の情報を引き出す作業についてパラメータの最適化を進め、論文化を進めた。

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LMC X-3とIGR J00362+6122のデータ解析を進めた。LMC X-3については、X線放射は標準降着円盤モデルでは再現できず、ブラックホールの近傍で降着円盤の構造が特殊な状態になっていることが推察された。これは岩尾修論としてまとめられた。IGR J00362+6122については、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。

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、また、電波と同期した時間変動も示したことから、ジェット放射が近赤外線で少し見えていることが示唆されたが、偏光度が低いことから別の熱的放射が支配的であると推測された。

## [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。広島大学からは水野と高橋が準備チームのサブグループリーダーを務めており、科学運用計画の議論やソフトウェア開発・検証活動・データプロセス整備の取りまとめを行い、搭載機器(X線カロリメータおよびCCD検出器)の較正要求・試験のレビューを主導した。また、深澤がサイエンス検討検討において突発天体のとりまとめを行っている。本年度は、広島大学では特に超新星、ガンマ線バースト、超新星残骸、活動銀河核、銀河団、中性子星X線連星について観測提案を立案した。

2021年に打ち上げを目指す軟X線偏光観測衛星IXPEに広島大学からは水野がScience Collaboratorとして参加している。修士学生がScience participantsとして参加し、広がった超新星残骸のシミュレーションを進め偏光解析の手法を検討し、2020年3月予定だった国際会議Astropol2020(COVID-19のため延期)の講演資料をIXPEチームに報告した。また、ブラックホール連星のシミュレーションを進め、葛葉卒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12月に南極において科学観測を実施した成果は、投稿論文にまとめられた。質量降着型パルサーGX 301-2の観測を通し、望遠鏡で集光することにより従来よりも高感度を実現できることを実証できた。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一部に予備品が使われていたため、フライト品を広島大学で製作し、取り付けが完了した。取り付け後に2回行う位置調整のうちの1回を、SPring-8の硬X線ビームを利用して実施した。

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。

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て到来時間差を利用して精度よく決めるプロジェクトCAMELOTをNorbert Wernerが中心となって進めており、隔週でオンライン会議をハンガリーと行うとともに、2月にハンガリーでF2F会議を行った。本年度は、2020年度にプロトタイプ衛星搭載の2つの機会を得たため、その設計、製造を進めた。また、昨年引き続き、若狭湾エネルギーセンターにおいて軌道上で想定される吸収線量の陽子線をMPPCに照射し、放射線耐性を調べた。その結果、照射してからしばらく時間がたつとともに性能が少し回復する傾向を定量化できた。

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り、10月のチーム会議にて日本の貢献について議論を行った。また、MeVガンマ線観測リサーチグループをJAXA宇宙科学研究所のもとに深澤が代表として立ち上げた。

#### [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が行われ、それ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トドクである。2017年8月以降、ほぼすべての観測が主として東広島キャンパス内からリモートで実施されるようになっており、東広島天文台に車で通っていた頃と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禍に対しても極めて有効に働き、ほぼ途切れない観測が実施できている。観測データの使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、可視光と近赤外線の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といったユニークな機能を持つ観測装置が常時装着され、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。2019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。9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。2019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、活動銀河核や超新星、重力波源天体が挙げられる。

活動銀河核に関しては、2016年より継続してきた、フェルミ望遠鏡を用いた多波長エネルギー

ギースペクトルをもってしても物理モデルが一意に決まらない問題に対して、マルコフ連鎖モンテカルロ法を用いてモデルを推定する方法の研究が2020年3月に原著論文として受理された。また、ブレーザーの時間変動の特徴を抽出する研究、及び、その偏光の時間変動をグラフィカルに検索する技術に関する慶應大学との共同研究を継続して行った。

超新星に関しては、IIP型超新星SN 2017czdについて、爆発初期に典型的なIIP型の性質を示したにも関わらず、通常は爆発100日後程度に見られる急減光が、爆発後わずか20日程度で見られるなど、過去の超新星にはない兆候を示した。この特異な光度変化から、単独星の恒星進化では説明できないほど水素外層の量が少ないと推定され、連星の相互作用によって外層が剥ぎ取られた可能性を議論した。Ia型超新星SN 2018gvについて、極大光度がやや暗めであったにもかかわらず、これまでの研究で見られたような、暗い超新星は速く減光するという法則に従っておらず、ゆっくりとした減光を示す遷移的な超新星であることを見出した(Yun修論)。加えて、超新星スペクトルモデル計算ソフトSYN++を用いて、過去の超新星での未同定吸収線を特定する研究を行った(濱田卒論)。この研究では過去のSN 2012awに関する研究で未同定とされていた吸収線が、窒素や高励起のニッケルで説明されることを議論した。

かなた望遠鏡ではこれ以外にも、前主系列星や各種変光星、ブラックホール連星、ガンマ線バースト等の多波長・多モード観測が行われているが、その中に20年ほど前に爆発を起こしたヘリウム新星V445 Pupの、爆発後の長期観測から、星周物質の分布やその中に含まれるダストの性質を考察した研究が含まれる(高木修論)。

LIGO/Virgoによる重力波アラートに対応した候補天体の搜索と追跡観測に関する研究については、日本の搜索チームJ-GEM(代表:吉田道利国立天文台ハワイ観測所長,広島大学宇宙科学センター客員教授)の拠点のひとつとして活動を行なった。LIGO/Virgoによる重力波観測ラン(O3)が2019年4月から2020年3月まで実施され、検出された重力波イベントに応じて、可視光・近赤外線帯域での電磁波フォローアップ観測を実施した。J-GEM全体では23個の重力波アラートに対してフォローアップ観測を行ない、10個以上の重力波アラートに対して重力波検出後1日以内からの可視光フォローアップ観測を実施することに成功している。この観測において、広島大学が中心となって重力波源を含む可能性の高い銀河のリストや観測実施状況についての情報をJ-GEM内で共有するためのシステムを構築・運用した。かなた望遠鏡においては、自動観測および即時データ解析システムを整備・運用することで、迅速な観測結果の報告を行なった。また、この自動解析システムの測光性能の評価を行なった(森卒論)。

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14件64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、埼玉大学の学生2名を当センターにて2019年9月に1週間ほど広島大学で受け入れて、かなた望遠鏡を用いた観測やデータリダクションの指導を行った。

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、浜松ホトニクス間でInGaAs検出器の共同開発を数年来進めてきた。今年度、これまでの試作品の実験に基づいてノイズやダークの低減の工夫を施した1.3K×1.3kピクセルモデルの最終版の製作が行われ、2020年3月に1ヶが納品された。評価はこ

れからである。

#### [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きた。2019年11月にはチベット・阿里観測所に広島大学から笹田、川端の2名が赴き、望遠鏡の観測システムの構築やドームその他のメンテナンス、較正用データの取得を行なった。また停電が発生した場合、電力復帰後リモートでシステムをスタートアップするために必要なUPSや遠隔電源管理装置を導入した。これにより、現地の電力が安定している時は、広島にいながら阿里観測所にある望遠鏡を立ち上げて操作し、データを取得することが出来るようになった。

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。2019年4月にEHTによってメシエ87（M87）銀河の中心にある超巨大ブラックホールのシャドウ（影）の撮影の成功が報告された。これにより光を発しない天体（ブラックホール）がM87銀河の中心に存在することを直接証明した。さらにはシャドウの直径から一般相対性理論に基づいてブラックホールの質量が推定され、太陽質量の65億倍であることもわかった。これらの結果は世界中のメディアで大きく報道され、社会現象となった。また、当研究で用いられたスパースモデリングによる画像復元ソフトウェア（SMILI）を用いたVery Long Baseline Arrayのデータ解析を行い、超巨大ブラックホールの周辺環境についても調べた。

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の光学系の公差解析を行った。SMIと望遠鏡間のアライメントによる誤差測定が予定通りに進み、ISASを通じてESA側への報告も行われた。SMI内部での個々のサブ定盤と望遠鏡間の公差解析も併せて行った。また、SPICAでの使用を想定して開発が進められている新型の中間赤外線フィルターの実験・評価を行った。極低温を経験した赤外線フィルターが破壊されずに期待した性能を維持することを確認することができた（森脇卒論）。

2021年打ち上げ予定の過去最大の宇宙望遠鏡である米欧主導のジェームズ・ウェッブ宇宙望遠鏡（JWST）に関して、JWSTを用いた観測計画の立案の援助を目的として、ハンズオンのワークショップを3月10日に主催し、日本国内の天文学者への科学面・技術面での支援を行った。望遠鏡打ち上げ機関であるESAと米国宇宙望遠鏡科学研究所（STScI）等の研究者を招聘し、オーストラリアからの参加者もあった国際ワークショップであった。本来は対面開催の予定であったが、COVID-19の影響によりオンライン開催となった。また、メンバーとして参加している研究チームが確保済みとなっているJWST観測時間で、打ち上げ後に得られる赤外線銀河のデータを迅速に解析するためのソフトウェアの開発などの準備を進めた。

アタカマ大型ミリ波サブミリ波干渉計（ALMA）に関し、Co-PIとして参画した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。また、メンバーとして参加している他の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った。

原著論文

- [1] “Study of the Cosmic Rays and Interstellar Medium in Local H I Clouds Using Fermi-LAT Gamma-Ray Observations”, Mizuno, T., Abdollahi, S., Koyama, T. (5th), and 5 coauthors, *The Astrophysical Journal*, 890, 120 (2020)
- [2] ©“Fermi and Swift Observations of GRB 190114C: Tracing the Evolution of High-energy Emission from Prompt to Afterglow”, Ajello, M., Fukazawa, Y. (38th), Mizuno, T. (76th), Poon, H., (94th), and 149 coauthors, *The Astrophysical Journal*, 890, 9 (2020)
- [3] ©“Bright Gamma-Ray Flares Observed in GRB 131108A”, Ajello, M., Fukazawa, Y. (35th), Mizuno, T. (66th), Poon, H. (95th), and 107 coauthors, *The Astrophysical Journal Letters*, 886, 33 (2019)
- [4] “A convolutional neural network approach for reconstructing polarization information of photoelectric X-ray polarimeters”, Kitaguchi, T., Mizuno, T. (8th), and 7 coauthors, *NIMA* 942, 162389 (2019)
- [5] “Fermi-LAT  $\gamma$ -Ray Study of the Interstellar Medium and Cosmic Rays in the Chamaeleon Molecular Cloud Complex: A Look at the Dark Gas as Optically Thick H I”, Hayashi, K., Mizuno, T., and 7 coauthors, *The Astrophysical Journal*, 884, 130 (2019)
- [6] ©“A Search for Cosmic-Ray Proton Anisotropy with the Fermi Large Area Telescope”, Ajello, M., Fukazawa, Y. (35th), Mizuno, T. (65th), and 96 coauthors, *The Astrophysical Journal*, 883, 33 (2019)
- [7] “Monte Carlo studies for the optimisation of the Cherenkov Telescope Array layout”, Acharyya, A., Mizuno, T. (268th), and 468 coauthors, *Astroparticle Physics*, 111, 35 (2019)
- [8] ©“Estimation of the detected background by the future gamma ray transient mission CAMELOT”, Ripa, J., Werner, N. (3rd), Mizuno, T. (7th), Fukazawa, Y. (11th), Takahashi, H. (12th), and 16 coauthors, *Astronomische Nachrichten*, 340, 666 (2019)
- [9] ©“A Decade of Gamma-Ray Bursts Observed by Fermi-LAT: The Second GRB Catalog”, Ajello, M., Fukazawa, Y. (39th), Mizuno, T. (72th), Poon, H. (91th), and 119 coauthors, *The Astrophysical Journal*, 878, 52 (2019)
- [10] ©“MAGIC and Fermi-LAT gamma-ray results on unassociated HAWC sources”, Ahnen, M. L., Fukazawa, Y. (286th), Mizuno, T. (315th), and 350 coauthors, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 485, 356 (2019)
- [11] ©“Event-selection technique for the multi-layer Si -CdTe Compton camera onboard Hitomi”, Ohno, M., Fukazawa, Y., Mizuno, T., and 27 coauthors, *NIMA*, 924, 327 (2019)
- [12] ©“Performance study of a large CsI(Tl) scintillator with an MPPC readout for nanosatellites used to localize gamma-ray bursts”, Torigoe, K., Fukazawa, Y. (2nd), Mizuno, T. (4th), Takahashi, H. (8th), Werner, N. (12th), and 14 coauthors, *NIMA*, 924, 316 (2019)
- [13] “The ALMA Discovery of the Rotating Disk and Fast Outflow of Cold Molecular Gas in NGC 1275”, Nagai, H., Fukazawa, Y. (6th), and 13 coauthors, *The Astrophysical Journal*, 883, 193 (2019)
- [14] “Spectral properties of gamma-ray bursts observed by the Suzaku wide-band all-sky monitor”, Ohmori, N., Fukazawa, Y. (9th), and 18 coauthors, *Publications of the Astronomical Society of Japan*, 71, 76 (2019)
- [15] “XCLUMPY: X-Ray Spectral Model from Clumpy Torus and Its Application to the Circinus Galaxy”, Tanimoto, A., Fukazawa, Y. (5th), and 4 coauthors, *The Astrophysical Journal*, 877, 95 (2019)
- [16] “Observations of a GX 301-2 Apastron Flare with the X-Calibur Hard X-Ray Polarimeter Supported by NICER, the Swift XRT and BAT, and Fermi GBM”, Abarr, Q., Takahashi, H. (22th), and 29 coauthors,

The Astrophysical Journal, 891, 70 (2020)

- [17] “Correlations between supermassive black holes, hot atmospheres, and the total masses of early-type galaxies”, Lakhchaura, K., Werner, N. (3rd), and 1 coauthors, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 488L, 134 (2019)
- [18] “Powerful AGN jets and unbalanced cooling in the hot atmosphere of IC 4296”, Grossova, R., Werner, N. (2nd), and 14 coauthors, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 488, 1917 (2019)
- [19] “Optical communications downlink from a low-earth orbiting 15U CubeSat”, Rose, T. S., Werner, N. (4th), and 11 coauthors, Optics Express, 27, 24382 (2019)
- [20] “Transient detection capabilities of small satellite gamma-ray detectors”, Bagoly, Z., Werner, N. (8th) and 6 coauthors, Astronomische Nachrichten, 340, 681 (2019)
- [21] “Magnetic fields and extraordinarily bright radio emission in the X-ray faint galaxy group MRC 0116 + 111”, Mernier, F., Werner, N. (2nd), and 5 coauthors, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 486, 5430 (2019)
- [22] “X-ray spectra of the Fe-L complex”, Gu, L., Werner, N. (7th), and 8 coauthors, Astronomy & Astrophysics, 627, A51 (2019)
- [23] “Suppressed effective viscosity in the bulk intergalactic plasma”, Zhuravleva, I., Werner, N. (6th) and 4 coauthors, Nature Astronomy, 3, 832 (2019)
- [24] “Mass-metallicity relation from cosmological hydrodynamical simulations and X-ray observations of galaxy groups and clusters, Truong”, N., Werner, N. (5th), and 8 coauthors, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 484, 2896 (2019)
- [25] “Cooling in the X-ray halo of the rotating, massive early-type galaxy NGC 7049”, Jurov, A., Werner, N., and 10 coauthors, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 484, 2886 (2019)
- [26] “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, in press. (2020)
- [27] “Evidence for planetary hypothesis for PTF0 8-8695 b with five-year optical/infrared monitoring observations”, Tanimoto, Y., Nakaoka, T.(7th), Kawabata, K. S.(19th), and 16 colleagues, Publications of the Astronomical Society of Japan, in press. (2020)
- [28] “Near-infrared monitoring of the accretion outburst in the massive young stellar object S255-NIRS3”, Uchiyama, M., Nakaoka, T.(4th), Kawabata, K. S.(9th), and 10 colleagues, Publications of the Astronomical Society of Japan, 72, 4 (2020)
- [29] “An optical search for transients lasting a few seconds, Richmond”, M. W., Kawabata, K. S. (15th), and 38 colleagues, Publications of the Astronomical Society of Japan, 72, 3 (2020)
- [30] “Multiband optical flux density and polarization microvariability study of optically bright blazars”, Pasierb, M., Nakaoka, T.(23th), and 21 colleagues, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 492, 1295 (2020)
- [31] “A type Ia supernova at the heart of superluminous transient SN 2006gy”, Jerkstrand, A., Maeda, K., & Kawabata, K.S., Science, 367, 415 (2020)
- [32] “The ALMA Spectroscopic Survey in the HUDF: Constraining Cumulative CO Emission at  $1 < z < 4$  with Power Spectrum Analysis of ASPECS LP Data from 84 to 115 GHz”, Uzgil, B.D., Inami, H.(11th), and 14 colleagues, The Astrophysical Journal, 887, 37 (2019)
- [33] “New criteria for the selection of galaxy close pairs from cosmological simulations: evolution of the

- major and minor merger fraction in MUSE deep fields”, Ventou, E., Inami, H.(6th), and 9 colleagues, *Astronomy & Astrophysics*, 631, 87 (2019)
- [34] “Superhump period of SDSS J214354.59+124457.8: First Z Cam star with superhumps in the standstill”, Altan, M., Uemura, M.(6th), and 18 colleagues, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 489, 1451 (2019)
- [35] “On the observational behaviour of the highly polarized Type II supernova SN 2017hcc”, Kumar, B., Kawabata, K. S.(6th), Yamanaka, M.(7th), Otsubo, I.(8th), Nakaoka, T.(10th), Kawabata, M.(11th), Akitaya, H.(13th), and 6 colleagues, *C44*, 488, 3089 (2019)
- [36] ©“SN 2018hna: 1987A-like Supernova with a Signature of Shock Breakout”, Singh, A., Akitaya, H.(15th), Nakaoka, T.(16th), Kawabata, M.(17th), Kawabata, K. S.(18th), Sasada, M.(19th), and 18 colleagues, *The Astrophysical Journal*, 882, L15 (2019)
- [37] “The ALMA Spectroscopic Survey in the HUDF: Nature and Physical Properties of Gas-mass Selected Galaxies Using MUSE Spectroscopy”, Boogaard, L., Inami, H.(17th), and 32 colleagues, *The Astrophysical Journal*, 882, 140 (2019)
- [38] “The ALMA Spectroscopic Survey in the HUDF: CO Luminosity Functions and the Molecular Gas Content of Galaxies through Cosmic History”, Decarli, R., Inami, H.(23th) and 35 colleagues, *The Astrophysical Journal*, 882, 138 (2019)
- [39] “The ALMA Spectroscopic Survey in the Hubble Ultra Deep Field: Evolution of the Molecular Gas in CO-selected Galaxies”, Aravena, M., Inami, H.(22th), and 32 colleagues, *The Astrophysical Journal*, 882, 136 (2019)
- [40] “Molecular gas and dust properties of galaxies from the Great Observatories All-sky LIRG Survey”, Herrero-Illana, R., Inami, H.(19th), and 24 colleagues, *Astronomy & Astrophysics*, 628, 71 (2019)
- [41] “Spectropolarimetry of the superwind filaments of the starburst galaxy M 82 II: Kinematics of the dust surrounding the nuclear starburst”, Yoshida, M., Kawabata, K. S.(2th), and 3 colleagues, *Publications of the Astronomical Society of Japan*, 71, 87 (2019)
- [42] “The Event Horizon General Relativistic Magnetohydrodynamic Code Comparison Project”, Porth, O., Sasada, M.(182th), and 216 colleagues, *The Astrophysical Journal Supplement Series*, 243, 26, (2019)
- [43] “Three-Dimensional Optimal Spectral Extraction (TDOSE) from integral field spectroscopy”, Schmidt, K.B., Inami, H.(10th), and 9 colleagues, *Astronomy & Astrophysics*, 628, 91 (2019)
- [44] “The JCMT BISTRO Survey: The Magnetic Field of the Barnard 1 Star-forming Region”, Coude, S., Kawabata, K. S.(60th), and 121 colleagues, *The Astrophysical Journal*, 877, 88 (2019)
- [45] “JCMT BISTRO Survey: Magnetic Fields within the Hub-filament Structure in IC 5146”, Wang, J.-W., Kawabata, K. S.(67th), and 131 colleagues, *The Astrophysical Journal*, 876, 42 (2019)
- [46] “The JCMT BISTRO Survey: The Magnetic Field in the Starless Core  $\rho$  Ophiuchus C”, Liu, J., Kawabata, K. S.(77th), and 129 colleagues, *The Astrophysical Journal*, 877, L43 (2019)
- [47] “SCOPE: SCUBA-2 Continuum Observations of Pre-protostellar Evolution - survey description and compact source catalogue”, Eden, D. J., Kawabata, K. S.(110th), and 161 colleagues, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 485, 2895 (2019)
- [48] “First M87 Event Horizon Telescope Results. VI. The Shadow and Mass of the Central Black Hole”, Event Horizon Telescope Collaboration, Akiyama, K., Sasada, M.(167th) and 212 colleagues, *The Astrophysical Journal*, 875, L6, (2019)
- [49] “First M87 Event Horizon Telescope Results. V. Physical Origin of the Asymmetric Ring”, Event



- Horizon Telescope Collaboration, Akiyama, K., Sasada, M.(167th) and 219 colleagues, The Astrophysical Journal, 875, L5 (2019)
- [50] “First M87 Event Horizon Telescope Results. IV. Imaging the Central Supermassive Black Hole”, Event Horizon Telescope Collaboration, Akiyama, K., Sasada, M.(168th) and 213 colleagues, The Astrophysical Journal, 875, L4 (2019)
- [51] “First M87 Event Horizon Telescope Results. III. Data Processing and Calibration”, Event Horizon Telescope Collaboration, Akiyama, K., Sasada, M.(168th) and 215 colleagues, The Astrophysical Journal, 875, L3 (2019)
- [52] “First M87 Event Horizon Telescope Results. II. Array and Instrumentation”, Event Horizon Telescope Collaboration, Akiyama, K., Sasada, M.(168th) and 339 colleagues, The Astrophysical Journal, 875, L2 (2019)
- [53] “First M87 Event Horizon Telescope Results. I. The Shadow of the Supermassive Black Hole”, Event Horizon Telescope Collaboration, Akiyama, K., Sasada, M.(169th), and 346 colleagues, The Astrophysical Journal, 875, L1 (2019)
- [54] “Comparison of polarization at two lunar eclipse events”, Takahashi, J., Akitaya, H.(4th), Takaki, K.(5th), Kawabata, K. S.(6th), and 4 colleagues, Publications of the Astronomical Society of Japan, 71, 47 (2019)
- [55] “Cosmology from cosmic shear power spectra with Subaru Hyper Suprime-Cam first-year data”, Hikage, C., Miyama, S.(23th) and 35 colleagues, Publications of the Astronomical Society of Japan, 71, 43 (2019)
- [56] “The MUSE Atlas of Disks (MAD): resolving star formation rates and gas metallicities on <100 pc scales”, Erroz-Ferrer, S., Inami, H.(12th) and 14 colleagues, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 484, 5009 (2019)
- [57] ©“SN 2017czd: A Rapidly Evolving Supernova from a Weak Explosion of a Type IIb Supernova Progenitor”, Nakaoka, T., Kawabata, K. S.(5th), Uemura, M.(13th), and 10 colleagues, The Astrophysical Journal, 875, 76 (2019)
- [58] “Multi-epoch Direct Imaging and Time-variable Scattered Light Morphology of the HD 163296 Protoplanetary Disk”, Rich, E. A., Miyama, S.(39th) and 58 colleagues, The Astrophysical Journal, 875, 38 (2019)
- [59] ©“Fermi Large Area Telescope Fourth Source Catalog,” Abdollahi, S., Fukazawa, Y.(58th), Mizuno, T. (112th), Poon, H. (154th), and 165 coauthors, ApJS 247, 33 (2020)
- [60] “The main sequence of star-forming galaxies - II. A non-evolving slope at the high-mass end”, Popesso, P., Morselli, L., Concas, A., Schreiber, C., Rodighiero, G., Cresci, G., Belli, S., Ilbert, O., Erfanianfar, G., Mancini, C., Inami, H., Dickinson, M., Pannella, M., & Elbaz, D., MNRAS, 490, 5285 (2019)
- [61] “The Atacama Large Millimeter/submillimeter Array Spectroscopic Survey in the Hubble Ultra Deep Field: CO Emission Lines and 3 mm Continuum Sources”, Gonzalez-Lopez, J., Inami, H. (20th) and 12 coauthors, Astrophysical Journal, 882, 139 (2019)
- [62] “First M87 Event Horizon Telescope Results. I. The Shadow of the Supermassive Black Hole”, Mahito Sasada (168th), and 347 coauthors, The Astrophysical Journal Letters, 875, L1 (2019)
- [63] “First M87 Event Horizon Telescope Results. II. Array and Instrumentation”, Event Horizon Telescope Collaboration, Mahito Sasada (167th) and 339 coauthors, The Astrophysical Journal

Letters, 875, L2 (2019)

- [64] “First M87 Event Horizon Telescope Results. III. Data Processing and Calibration”, Event Horizon Telescope Collaboration, Mahito Sasada (167th), and 215 coauthors, The Astrophysical Journal Letters, 875, L3 (2019)
- [65] “First M87 Event Horizon Telescope Results. IV. Imaging the Central Supermassive Black Hole”, Event Horizon Telescope Collaboration, Mahito Sasada (167th), and 213 coauthors, The Astrophysical Journal Letters, 875, L4 (2019)
- [66] “First M87 Event Horizon Telescope Results. V. Physical Origin of the Asymmetric Ring”, Event Horizon Telescope Collaboration, Mahito Sasada (166th), and 220 coauthors, The Astrophysical Journal Letters, 875, L5 (2019)
- [67] “First M87 Event Horizon Telescope Results. VI. Shadow and Mass of the Central Black Hole”, Event Horizon Telescope Collaboration, Mahito Sasada (166th), and 212 coauthors, The Astrophysical Journal Letters, 875, L6 (2019)
- [68] “The Event Horizon General Relativistic Magnetohydrodynamic Code Comparison Project”, Porth, Oliver, Mahito Sasada (182nd), and 217 coauthors, The Astrophysical Journal Supplement Series, 243, 26, (2019)

総説

該当無し

国際会議

(招待講演)

- [1] Mizuno, T., “Multiwavelength Imaging-Spectro-Polarimetry for Transient Objects,” CTA workshop (The extreme Universe viewed in very-high-energy gamma-rays 2019), ICRR, Chiba, Japan, 2019.11.15, 50名
- [2] Hanae Inami & ASPECS team, “The ALMA Spectroscopic Survey in the Hubble Ultra Deep Field”, East-Asian ALMA Science Workshop 2019, Taipei, Taiwan, 2020.2.19-21
- [3] Mahito Sasada “Optical and multi-wavelength photo-polarimetric study for blazars with Kanata telescope”, Understanding the multiwavelength blazar variability, Stanford University, US, 2019.8.28-30, 50 persons
- [4] Kawabata, K. S., “Time domain astronomy with ‘Kanata’ and ‘HinOTORI’ telescopes”, AMON Workshop 2019, Chiba, Japan, 2019.5.21-22, 60 persons

(一般講演)

- [1] Y. Fukazawa, “X-ray studies of 4FGL radio galaxies”, Fermi-LAT collaboration meeting, 2019.9.10-13, University of California Santa Cruz, Santa Cruz, USA, 80 people
- [2] Y. Fukazawa “Japanese Compton Camera”, AMEGO F2F meeting, 2019.10.21-22, George Washington University, Washington D.C., USA, 60 people
- [3] Mizuno, T., “Detailed Study of MBM 53-55 Clouds and Pegasus Loop,” Fermi-LAT collaboration meeting, Univ. Of California, Santa Cruz, USA, 2019.9.11, 80名
- [4] Mizuno, T., “Study of the CRs and ISM in Local HI Clouds using Fermi-LAT Gamma-ray Observations,” TeVPA 2019, Sydney, Australia, 2019.12.5, 200名

- [5] Nagomi Uchida, “Radiation Hardness Tests of Si-PMs with a Proton Beam for Future Satellite Missions”, SiPM workshop: from fundamental research to industrial applications, University of Bari, Italy, 2019.10.2-4, 90名
- [6] Fumiya Imazato, “Origin of optical to X-ray emission explored from variability analysis of radio galaxy NGC 1275”, Extragalactic Radio Sky: Legacy of the Third Cambridge Catalogue, Torino, Italy, 2019.9.16-20, 100名
- [7] Naoyoshi Hirade, “Annealing of proton radiation damage in SiPM at room temperature”, 12th International Hiroshima Symposium on the Development and Application of Semiconductor Tracking Detectors (HSTD12), Hiroshima, 2019.12.15-18, 180名
- [8] Poon Helen, “Introduction to X-ray Polarimetry Projects at Hiroshima University”, university seminar, Tsinghua University (Beijing, China), 2019.10.15, 20 people
- [9] Poon Helen, “Introduction to the Gravitational Waves Projects at Hiroshima University”, university seminar, Wuhan University (Wuhan, China), 2019.10.18, 30 people
- [10] Poon Helen, “Introduction to the Gravitational Waves Projects at Hiroshima University”, university seminar, Huazhong University of Science and Technology (Wuhan, China), 2019.10.18, 40 people
- [11] Poon Helen, “Introduction to the Gravitational Waves Projects at Hiroshima University”, university seminar, Harbin University of Science and Technology (Shenzhen, China), 2019.12.26, 20 people
- [12] Hanae Inami & GOALS Team, “Using infrared spectra to reveal dusty galaxies in the local and distant universe”, Exploring the Infrared Universe: The Promise of SPICA, Crete, Greece, 2019.5.20-23
- [13] Hanae Inami, Fabian Walter, Roberto Decarli, Axel Weiss, Manuel Aravena, Chris Carilli, & ASPECS+MUSE team, “Stacking analysis of CO emission based on optical spectroscopic redshifts from MUSE”, ALMA2019: science results and cross-facility synergies, Sardegna, Italy, 2019.10.14-18
- [14] Hanae Inami, Fabian Walter, Roberto Decarli, Axel Weiss, Leindert Boogaard, Rychard Bouwens, Manuel Aravena, Chris Carilli, & ASPECS+MUSE team, “Gas Masses of  $z \sim 1-5$  Galaxies from Stacking”, Revolutionary Spectroscopy of Today as a Springboard to Webb, Leiden, the Netherlands, 2019.10.28-11.1
- [15] Hanae Inami, “Tips on how to write a successful proposal”, Japan JWST Cycle 1 Proposal Workshop, Remote, 2020.2.10
- [16] Hanae Inami, “Joint Hands-on B: APT”, Japan JWST Cycle 1 Proposal Workshop, Remote, 2020.2.10
- [17] Uemura, M., “Neural network estimation of the pointing error of ASTE using wind data”, ALMA/45m/ASTE Users Meeting 2019, Mitaka, 2019.12.18-19
- [18] Mahito Sasada, J-GEM Collaboration, “J-GEM Optical and NIR Follow-Up for Gravitational-Wave Source in Third Observing Run”, Gravitational Wave Physics and Astronomy Workshop, 2019.10.14-17, The Research Center for the Early Universe (RESCEU), The University of Tokyo, Japan, 100 persons
- [19] Mahito Sasada, J-GEM Collaboration “J-GEM Strategy and Performance in the Third Observing Run”, Gravitational wave physics and astronomy: Genesis Area workshop 2019 Early Summer, 2019.6.29, Osaka City University, Japan, 30 persons
- [20] Mahito Sasada, J-GEM Collaboration, “J-GEM Optical and NIR Follow-Up in Gravitational-Wave

Third Observing Run”, Gravitational Wave Physics and Astronomy: Genesis, The Third Annual Area Symposium, 2020.2.10-12, Konan university, Kobe, Japan

- [21] Mahito Sasada, J-GEM Collaboration, “J-GEM Optical and NIR Follow-Up in Gravitational-Wave Third Observing Run”, SUBARU TELESCOPE 20TH ANNIVERSARY – Optical & Infrared Astronomy for the Next Decade –, 2019.11.17-22, Waikoloa Beach Marriott Resort & Spa, The Big Island of Hawaii, USA
- [22] Hiromitsu Takahashi “Si-PM Performance Comparison for Readout of XsI/BGO Scintillators”, SiPM workshop: from fundamental research to industrial applications, University of Bari, Italy, 2019.10.2-4, 90名
- [23] Hiromitsu Takahashi “Hard X-ray polarimetric observations of Cygnus X-1 by PoGO+”, The Future of X-ray Timing, Rode Hoed, Amsterdam, Netherlands, 2019.10.21-25, 100名
- [24] Hiromitsu Takahashi “Radiation damage of Si-PM (MPPC) and coincidence method to reduce dark counts”, IEEE 2019 NSS/MIC conference, UK, 2019.10.26-11.2

#### 国内会議

(招待講演, 依頼講演)

- [1] 深澤泰司: 「宇宙における高温プラズマのX線観測」, 研究会「STEシミュレーション研究会」, 2019年9月25-27日, 広島大学東千田キャンパス, 30名
- [2] 深澤泰司: 「AMEGO計画」, 研究会「第2回MeVガンマ線天文学研究会」, 2019年9月26-27日, 東京大学本郷キャンパス, 70名
- [3] 高橋弘充: 「PoGO+とXL-Calibur気球実験による硬X線偏光観測」, 研究会「第2回MeVガンマ線天文学研究会」, 2019年9月26-27日, 東京大学本郷キャンパス, 70名
- [4] 深澤泰司: 「ガンマ線によるAGN観測の今後の展望」, 研究会「AGN核周領域とその関連研究」, 2019年10月4-5日, 山口大学, 30名
- [5] 植村 誠: 「宇宙物理学におけるデータ可視化と可視化研究への期待」, 日本学術会議公開シンポジウム「科学的知見の創出に資する可視化 (2):新しい可視化パラダイム」, 2019年7月13日, 約100名
- [6] 高橋弘充: 「高宇連の計画」, 2019年度第1回CRC将来計画タウンミーティング, 2019年12月20-21日, グランキューブ大阪, 50名

(一般講演)

- [1] 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」, 春の物理学学会 (2020年3月16-19日, 名古屋大学東山キャンパス (中止, スライドのみ))
- [2] 川端弘治: 「OISTER で実現したこと, いま目指すべき道」, 春の天文学会 (2020年3月16-19日, 筑波大学筑波キャンパス (中止, スライドのみ))
- [3] 植村 誠: 「ニューラルネットワークによる風データを用いた ASTE の指向誤差の推定」, 春の天文学会 (2020年3月16-19日, 筑波大学筑波キャンパス (中止, スライドのみ))
- [4] 高橋弘充: 「硬X線偏光観測実験 XL-Calibur 気球の 2021 年フライトへ向けた準備状況」, 春の天文学会 (2020年3月16-19日, 筑波大学筑波キャンパス (中止, スライドのみ))
- [5] 笹田真人: 「重力波観測ラン O3 における J-GEM による電磁波対応天体探査」, 春の天文学会 (2020年3月16-19日, 筑波大学筑波キャンパス (中止, スライドのみ))
- [6] 中岡竜也: 「せいめい・かなたによる近傍銀河に現れたCa-rich transient SN 2019ehkの観測」,

春の天文学会（2020年3月16-19日，筑波大学筑波キャンパス（中止，スライドのみ）

- [7] 内田和海：「大質量X線連星: IGR J00370+6122の中性子星X線スペクトルおよび周期解析方法の研究」, 春の天文学会（2020年3月16-19日，筑波大学筑波キャンパス（中止，スライドのみ）
- [9] 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 X 線偏光解析手法の研究」, 春の天文学会（2020年3月16-19日，筑波大学筑波キャンパス（中止，スライドのみ）
- [10] 水野恒史：「フェルミ衛星による太陽系近傍原子雲の宇宙線・星間ガスの研究（3）」, 秋の物理学会（2019年9月17-20日，山形大学（小白川キャンパス）
- [11] 高橋弘充：「硬X線集光偏光計XL-Calibur気球実験の2021年フライトへ向けた準備状況」, 秋の物理学会（2019年9月17-20日，山形大学（小白川キャンパス）
- [12] 内田和海：「将来衛星ミッションを見据えた，光検出器MPPCの陽子線耐性実験」, 秋の物理学会（2019年9月17-20日，山形大学（小白川キャンパス）
- [13] 深澤泰司：「全天 MeV ガンマ観測衛星計画 AMEGO の現状と日本の関わり」, 秋の天文学会（2019年9月11-13日，熊本大学（黒髪キャンパス）
- [14] 植村 誠：「マルコフ連鎖モンテカルロ法によるブレーザーMrk 421のSEDモデルパラメータ推定」, 秋の天文学会（2019年9月11-13日，熊本大学（黒髪キャンパス）
- [15] 高橋弘充：「硬X線偏光観測実験 X(L)-Calibur 気球の 2018 年の観測結果と 2021 年フライトへ向けた準備状況」, 秋の天文学会（2019年9月11-13日，熊本大学（黒髪キャンパス）
- [16] 高橋弘充：「GRB位置決定超小型衛星CAMELOTを見据えた光検出素子MPPCの基礎特性評価」, 秋の天文学会（2019年9月11-13日，熊本大学（黒髪キャンパス）
- [17] 笹田真人：「EHT による M87\*の観測成果 VI：ブラックホールパラメータの推定」, 秋の天文学会（2019年9月11-13日，熊本大学（黒髪キャンパス）
- [18] 笹田真人：「重力波観測ラン O3 における J-GEM の重力波フォローアップ」, 秋の天文学会（2019年9月11-13日，熊本大学（黒髪キャンパス）
- [10] 内田和海：「大質量 X 線連星: IGR J00370+6122 の主星である中性子星のスピン周期変動」, 秋の天文学会（2019年9月11-13日，熊本大学（黒髪キャンパス）
- [20] 平出尚義：「GRB位置決定超小型衛星CAMELOTを見据えた光検出素子MPPCの陽子線耐性の性能評価」, 秋の天文学会（2019年9月11-13日，熊本大学（黒髪キャンパス）
- [21] 岩尾祐希：「ブラックホール連星LMC X-3の降着円盤放射の研究2」, 秋の天文学会（2019年9月11-13日，熊本大学（黒髪キャンパス）
- [22] 高木健吾：「ヘリウム新星 V445 Puppis の歌詞近赤外観測から推察される星周構造と時間発展」, 秋の天文学会（2019年9月11-13日，熊本大学（黒髪キャンパス）
- [23] 大間々知輝：「確率過程モデルを用いたジェット天体の多波長光度曲線解析」, 秋の天文学会（2019年9月11-13日，熊本大学（黒髪キャンパス）
- [24] 山本龍哉：「シミュレーションを用いたIXPE衛星によるX線偏光解析手法の研究」, 秋の天文学会（2019年9月11-13日，熊本大学（黒髪キャンパス）
- [25] 眞武寛人：「ガンマ線を発する電波銀河の X 線統計解析」, 秋の天文学会（2019年9月11-13日，熊本大学（黒髪キャンパス）
- [26] 深澤泰司：「ブレーザーのX線光度関数と宇宙ガンマ線背景バックグラウンドへの寄与」, 超巨大ブラックホール研究推進連絡会第6回ワークショップ，2019年5月29-30日，京都大学，80名
- [27] 平出尚義：「3C279のSEDのMCMCフィットによるパラメータ変化」, 研究会「AGN核周領域とその関連研究」, 2019年10月4-5日，山口大学，30名

- [29] 眞武寛人：「ガンマ線電波銀河のX線の時間変動の系統的解析」, 研究会「AGN核周領域とその関連研究」, 2019年10月4-5日, 山口大学, 30名
- [29] 今澤 遼：「TeVガンマ線によるBH質量見積り」, 研究会「AGN核周領域とその関連研究」, 2019年10月4-5日, 山口大学, 30名
- [30] 内田和海：「光度が $10^{35}$  erg/sと暗い大質量X線連星における中性子星のスピンアップ」, サマースクール「コンパクト天体基礎講座」, 福山市生涯学習プラザ, 70名
- [31] 岩尾祐希：「ブラックホール連星LMC X-3のX線スペクトル形状の変化」, サマースクール「コンパクト天体基礎講座」, 福山市生涯学習プラザ, 70名
- [32] 大間々知輝：「ジェット天体の多波長間タイムラグへのデータ科学的アプローチ」, サマースクール「コンパクト天体基礎講座」, 福山市生涯学習プラザ, 70名
- [33] 平出尚義：「MCMC法を用いたFSRQ型活動銀河核ジェットのSED解析」, サマースクール「コンパクト天体基礎講座」, 福山市生涯学習プラザ, 70名
- [34] 今里郁弥：「ブラックホールX線連星GRS 1915+105の近赤外線測光偏光モニター観測」, サマースクール「コンパクト天体基礎講座」, 福山市生涯学習プラザ, 70名
- [35] 眞武寛人：「ガンマ線を発する電波銀河のX線統計解析」, サマースクール「コンパクト天体基礎講座」, 福山市生涯学習プラザ, 70名
- [36] 秋田谷 洋：「かなた望遠鏡における装置運用・開発」, 2019年度せいめいユーザーズミーティング (第29回光赤外ユーザーズミーティング), 2019年8月7-8日, 京都大学理学研究科セミナーハウス
- [37] 秋田谷 洋：「可視偏光サーベイプロジェクトSGMAP」, 2019年度光学赤外線天文連絡会シンポジウム, 2019年9月24-26日, 国立天文台三鷹キャンパス
- [38] 秋田谷 洋：「可視光偏光サーベイ計画 SGMAP プロジェクト」, 天の川銀河研究会2020, 2020年2月13-15日, 鹿児島大学郡元キャンパス
- [39] 稲見華恵：「広視野可視光面分光装置VLT/MUSEによる深宇宙探査の成果とそれを見据えた次への一步」, 我が国の(近)赤外線広視野観測サイエンスの戦略と展望, 2019年7月1-2日, 国立天文台
- [40] 稲見華恵, 高橋 葵, 大西崇介：「WP-04: Optical Tolerance Analyses」, SPICA/SMI全体会議, 2019年9月06日, 宇宙科学研究所
- [41] 稲見華恵：SPICA近傍銀河サイエンス検討班, 「近傍銀河円盤内における星間ガスの状態」, SPICAサイエンス検討会中間発表会, 2019年11月8-9日, 宇宙科学研究所
- [42] 稲見華恵：「Beyond the Visible: • Our Universe in the Infrared」, 第11回K-CONNEX研究会, 2020年1月24日, 京都大学
- [43] 植村 誠：「活動銀河核ジェットの時間変動とデータ科学的手法」, 天文学におけるデータ科学的方法2019, 2019年5月27-29日, 統計数理研究所
- [44] 大間々知輝：「オルンシュタイン・ウーレンベック過程を用いたジェット天体の多波長間タイムラグおよびタイムストレッチの推定」, 天文学におけるデータ科学的方法2019, 2019年5月27-29日, 統計数理研究所
- [45] 笹田真人：「チベット設置50cm望遠鏡 (HinOTORIプロジェクト) の進捗」, 2019年度せいめいユーザーズミーティング (第29回光赤外ユーザーズミーティング), 2019年8月7-8日, 京都大学理学研究科セミナーハウス
- [46] 笹田真人：「J-GEMによる重力波観測ランO3の電磁波対応天体探査」, 第10回光赤外線天文学大学間連携ワークショップ, 2019年12月2-3日, 倉敷市芸文館

- [47] 川端弘治：「広島大学宇宙科学センターの活動報告」，2019年度せいめいユーザーズミーティング（第29回光赤外ユーザーズミーティング），2019年8月7-8日，京都大学理学研究科セミナーハウス
- [48] 川端弘治：「広島大学の事例」，データアーカイブワークショップ，2020年1月29-30日，国立天文台三鷹キャンパス
- [49] 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」，大気球シンポジウム，2019年11月7-8日，宇宙航空研究開発機構 宇宙科学研究所
- [50] 高橋弘充：「硬X線集光偏光計X(L)-Calibur気球実験の2018年フライトと将来計画」，第20回宇宙科学シンポジウム，2020年1月8-9日，宇宙航空研究開発機構 宇宙科学研究所
- [51] 高橋弘充：「硬X線集光偏光計XL-Calibur気球実験」，第19回高宇連研究会，2020年3月2-3日，Zoomオンライン，90名
- [52] 中岡竜也：「せいめい・かなたによる近傍銀河に現れたCa-rich transient SN 2019ehkの観測」，2019年度せいめいユーザーズミーティング（第29回光赤外ユーザーズミーティング），2019年8月7-8日，京都大学理学研究科セミナーハウス
- [53] 中岡竜也：「広島大学の活動報告」，第10回光赤外線天文学大学間連携ワークショップ，2019年12月2-3日，倉敷市芸文館
- [54] 中岡竜也：「せいめい・かなたによるCa-rich transient SN 2019ehkの早期測光分光観測」，第10回光赤外線天文学大学間連携ワークショップ，2019年12月2-3日，倉敷市芸文館

#### 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      | 20件 |
| ○博士課程後期の学生が共同発表者の発表件数      | 7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  |

（国内会議）

- |                            |     |
|----------------------------|-----|
| ○博士課程前期の学生が共同発表者の発表件数      | 45件 |
| ○博士課程後期の学生が共同発表者の発表件数      | 16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 | 9件  |

#### セミナー・講演会開催実績

- [1] 川端弘治，植村 誠，稲見華恵，笹田真人，秋田谷 洋，中岡竜也，楊 冲，今澤 遼：学生観測実習，2019年8月26-28日，広島大学宇宙科学センター附属東広島天文台，9名参加，主催および講師
- [2] 川端弘治，植村 誠，稲見華恵，笹田真人，秋田谷 洋，中岡竜也：かなた望遠鏡特別観望会，2019年8月30-31日，11月15-16日，広島大学宇宙科学センター附属東広島天文台，570名参加，主催および講師
- [3] 稲見華恵，川端弘治，植村 誠，大間々知輝，山本龍哉：インターナショナル東広島天文台ツアー，2019年05月10日，約50名

#### 高大連携事業への参加状況

- [1] 深澤泰司：高校生のための広島大学公開講座「重力波天文学入門」，2019年7月26日，広島大学，約50名参加，主催

- [2] 川端弘治, 植村 誠, 稲見華恵, 中岡竜也, 今里郁弥, 濱田大晴: かなた天文教室 (高校生対象の観測実習), 2019年11月23-24日, 広島大学宇宙科学センター附属東広島天文台, 6名参加, 主催および講師
- [3] 高橋弘充, 大間々知輝, 眞武寛人, 木村浩輝: 東広島市 科学の芽育成講座, 2020年1月17日, 東広島市立安芸津中学校, 60名, 講師

#### 国内研究会開催

- [1] 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」, 2019年12月26日, 東京工業大学田町ビル, 60名, 主催
- [2] 高橋弘充, 深澤泰司, 他: 第19回高宇連研究会, on zoom, 2020年3月2-3日, 70名, 会議組織委員

#### 国際会議, 国際研究会開催

- [1] 海野義信, 深澤泰司, 水野恒史, 高橋弘充, S. Hou, X. Lou, H. F-W. Sadrozinski: 12th International Hiroshima Symposium on the Development and Application of Semiconductor Tracking Detectors (HSTD12), 2019.12.15-18, 広島国際会議場, 180名
- [2] T. Sakamoto, N. Kawai, Sugita, S., Y. Fukazawa (SOC) 他20名: G, 200名 gamma-ray Bursts in the Gravitational wave Era, 2019.10.28-11.1, 横浜赤レンガ倉庫, 200名
- [3] 稲見華恵: Japan JWST Cycle 1 Proposal Workshop, 2020.3.10, COVID-19によりリモート開催, 約50名, 主催および講師・講演

#### 講演会・セミナー講師

- [1] 植村 誠: 「重力波対応天体: コンパクト連星」, 高校生のための広島大学公開講座「重力波天文学入門」, 2019年7月26日, 広島大学, 約50名参加
- [3] 川端弘治: 「重力波対応天体: 超新星」, 高校生のための広島大学公開講座「重力波天文学入門」, 2019年7月26日, 広島大学, 約50名参加
- [3] 笹田真人: 「重力波対応天体の探査: 可視光」, 高校生のための広島大学公開講座「重力波天文学入門」, 2019年7月26日, 広島大学, 約50名参加
- [4] 深澤泰司: 「重力波対応天体の探査: ガンマ線」, 高校生のための広島大学公開講座「重力波天文学入門」, 2019年7月26日, 広島大学, 約50名参加
- [5] 深澤泰司: [最新装置による宇宙観測], 広島大学オープンキャンパス, 2019年8月21日, 広島大学, 約100名参加
- [6] 川端弘治: 「広島大学東天文台より ～うごめく宇宙について～, 星の死, 超新星爆発」広島女学院高等学校 EPセミナー, 2019年9月18日, 広島女学院高等学校, 40名
- [7] 稲見華恵: 「壮大な銀河系の姿とその進化」広島女学院高等学校 EPセミナー, 2019年9月18日, 広島女学院高等学校, 40名
- [8] 水野恒史: 「X線ガンマ線で見える宇宙」広島女学院高等学校 EPセミナー, 2019年9月25日, 広島女学院高等学校, 40名
- [9] 笹田真人: 「今まで写すことのできなかつたブラックホールの撮影に世界で初めて成功!!」広島女学院高等学校 EPセミナー, 2019年11月13日, 広島女学院高等学校, 40名
- [10] 川端弘治: 「いよいよ本格化, 「時間変化」で迫る極限的宇宙の姿」, くちなし会講演会, 2019年7月12日, 福山ニューキャッスルホテル, 約30名参加



- [11] 川端弘治：「宇宙を見通す「目」の体験コーナー」，宇宙の学び，2019年8月3日，福屋八丁堀店9階屋上，約150名参加
- [12] 川端弘治：「恒星，星の誕生，終わり，星雲，星団」，マツダ財団 科学わくわくプロジェクト ジュニア科学塾セミナー，2019年8月8日，広島大学東千田キャンパス，17名参加
- [13] 植村 誠：「宇宙の構造，ブラックホール」，マツダ財団 科学わくわくプロジェクト ジュニア科学塾セミナー，2019年8月9日，広島大学東千田キャンパス，17名参加
- [14] 稲見華恵：「銀河と宇宙進化，光のスペクトルの観測，赤外線観測」，マツダ財団 科学わくわくプロジェクト ジュニア科学塾セミナー，2019年8月9日，広島大学東千田キャンパス，17名参加
- [15] 笹田真人：「宇宙研究の最前線」ブラックホールの影を暴き出す」，マツダ財団 科学わくわくプロジェクト ジュニア科学塾セミナー，2019年8月10日，広島大学東千田キャンパス，17名参加
- [16] 川端弘治：「重力波天文学・ニュートリノ天文学の幕開けと東広島天文台」，NPO法人東亜天文学会 広島年会特別公演，2019年9月14日，広島市こども文化科学館，70名参加
- [17] 川端弘治：「広島大学東広島天文台 重力波源天体の観測」，マツダ財団 科学わくわくプロジェクト ジュニア科学塾セミナー，2019年12月13日，広島大学東広島天文台，20名参加
- [18] Hanae Inami：「Beyond the Visible」，Science Cafe，2020年01月15日，広島大学，HU Science Communication Fellow主催
- [19] 笹田真人：「イベント・ホライズン・望遠鏡で探る巨大ブラックホールの影」日本分光学会中国四国支部年次講演会，2020年1月11日，広島大学，60名
- [20] 笹田真人：「イベント・ホライズン・望遠鏡で探る巨大ブラックホールの影」宇宙工学講座 閉講式 特別講演，2019年12月14日，岐阜大学，100名
- [21] 笹田真人：「宇宙の謎に迫る～ついに捉えたブラックホールの影～」中央生涯学習センター（くらら）主催 採れたて宇宙と東広島天文台，2019年12月5日，中央生涯学習センター（くらら），20名
- [22] 笹田真人：「イベント・ホライズン・望遠鏡によるブラックホールシャドウの撮像」広島ロータリークラブ 卓話，2019年12月3日，リーガロイヤルホテル広島，100名
- [23] 笹田真人：「ブラックホールの影を暴く」広島女学院 特別講座，2019年11月13日，広島女学院高等学校，40名
- [24] 笹田真人：「宇宙研究の最前線」～ブラックホールの影を描き出す～」広島大学・千田塾 第12回交流会，2019年11月12日，ANAクラウンプラザホテル広島，100名
- [25] 笹田真人：「宇宙の謎に迫る～ついに捉えたブラックホールの影～」東広島市生涯学習フェスティバル，2019年11月10日，東広島芸術文化ホールくらら及び西条駅前にぎわい広場，20名
- [26] 笹田真人：「宇宙研究の最前線」～ブラックホールの影を暴き出す～」大垣東高校高等学校 特別講座，2019年10月24日，岐阜県立大垣東高等学校，80名
- [27] 笹田真人：「イベント・ホライズン・望遠鏡によるブラックホールシャドウの撮像」令和元年度島根県高圧ガス保安大会，2019年10月23日，「サンラポーむらくも」松江市殿町369番地，150名
- [28] 笹田真人：「Imaging of Black Hole Shadow with Event Horizon Telescope」，Summer camp on ILC accelerator, physics and detectors 2019，2019年9月5-6日，かんぼの宿 潮来，50名

- [29] 笹田真人:「イベント・ホライズン・テレスコープによるブラックホールシャドウの撮像」SS研HPCフォーラム2019, 2019年8月20日, 富士通デジタル・トランスフォーメーション・センター (東京都港区浜松町2-4-1), 100名
- [30] 笹田真人:「宇宙研究の最前線」～ブラックホールの影を暴き出す～」科学わくわくプロジェクト「ジュニア科学塾」, 2019年8月10日, 広島大学 東千田キャンパス, 20名
- [31] 笹田真人:「重力波対応天体の探査: 可視光」高校生対象公開講座「重力波天文学入門」, 2019年7月26日, 広島大学 東広島キャンパス, 50名
- [32] 笹田真人:「ブラックホールシャドウの撮像」サイエンスパブ「西条 酒蔵×宇宙」, 2019年7月20日, 広島県東広島市西条 泉ホール, 40名
- [33] 笹田真人:「ブラックホールのちょっとわくわくするはなし」子ども宇宙アカデミー「スペシャル講演会」, 2019年5月19日, 広島県民文化センター, 60名
- [34] 笹田真人:「Event Horizon Telescopeによるブラックホールシャドウの撮像」ブラックホール緊急解説セミナー, 2019年4月18日, 広島大学 東広島キャンパス, 150名
- [35] 高橋弘充:「ブラックホールを観る」放送大学公開講演会, 2019年8月10日, 放送大学, 100名
- [36] 稲見華恵: 3分間コンペティション2019 広島大学 司会

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 すばる科学諮問委員会 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: 国立天文台TMT科学諮問委員会 委員
- [15] 植村 誠: TMT International Science Development Teams 委員
- [16] 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
- [17] 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
- [18] 稲見華恵: ESA SPICA Science Study Team (SST) / Science Working Group “Galaxy Evolution Working Group” 委員
- [19] 稲見華恵: TMT International Science Development Teams 委員

- [20] 稲見華恵：光学赤外線天文連絡会運営委員会 委員
- [21] 高橋弘充：高エネルギー宇宙物理連絡会運営委員会 委員
- [22] 高橋弘充：日本物理学会代議員
- [23] 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
- [24] 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

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 TMT推進小委員会 TMT戦略基礎開発研究経費審査委員

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3名（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の国内研究期間，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，XRISM（主にアメリカ，オランダ，イギリスの100名），ISAS/JAXA，約20の国内研究期間，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，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，Prof. Mark Piece（スウェーデン，スウェーデン王立工科大学），早稲田大，東大など，硬X線偏光気球実験PoGOLite+
- [5] 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”
- [6] 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
- [7] 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），東大宇宙線研など各20の国内研究期間，次世代TeVガンマ線望遠鏡の開発
- [8] 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
- [9] 高橋弘充，水野恒史，深澤泰司，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
- [10] 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
- [11] 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
- [12] 高橋弘充，Dr. 岡島 崇（アメリカ，NASA），京大，理研など，X線CubeSat開発

- [13] 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
- [14] 植村 誠, Ioannis Liodakis, アメリカ・Stanford University, ブレーザーの偏光観測
- [15] 植村 誠, Pankaj Kushwaha, ブラジル・University of Sao Paulo, ブレーザー OJ 287 の国際連携観測
- [16] 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
- [17] 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
- [18] 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
- [19] 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
- [20] 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
- [21] 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
- [22] 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
- [23] 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
- [24] 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
- [25] 笹田真人, Event Horizon Telescope Collaboration, “(Harverd University, MIT, NAOJ 他)”, 巨大ブラックホールの影の観測
- [26] 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

#### 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，平成29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」（平成12-28年度）研究代表者，平成29年度直接経費4,000千円
- [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，平成29年度直接経費4,500千円
- [4] 深澤泰司：ISAS/JAXA MeVガンマ線観測衛星検討リサーチグループ活動費500千円

- [5] 水野恒史：科学研究費補助金基盤研究(B) 平成29-32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，平成31年度直接経費1,600千円
- [5] 水野恒史：科学研究費補助金基盤研究(A) 平成31-35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，平成31年度直接経費465千円
- [6] 水野恒史：二国間交流事業 平成31-32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，平成31年度直接経費総額2,337.5千円
- [7] 高橋弘充：東北大学金属材料研究所共同研究 平成31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，平成31年度直接経費 248千円
- [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31-33年度，平成31年度直接経費 10,000千円
- [9] 高橋弘充：科学研究費補助金基盤研究(B) 平成31-33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，平成31年度直接経費4,800千円
- [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，平成31年度直接経費1,870千円
- [11] 高橋弘充：科学研究費補助金基盤研究(S) 平成31-35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，平成31年度直接経費10,600千円
- [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，平成31年度直接経費17,300千円
- [13] 川端弘治：科学研究費補助金基盤研究(A) 平成27-31年度「可視近赤外線同時偏光観測によるガンマ線バーストの研究」研究分担者，平成31年度直接経費800千円
- [14] 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29-33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，平成31年度直接経費6,000千円
- [15] 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29-33年度 平成31年度配分額 5,500千円
- [16] 川端弘治：日本学術振興会 二国間交流事業共同研究 平成30-31年度「近傍超新星の質の高い可視近赤外観測データに基づいた爆発物理の理論的研究」平成31年度配分額 1,000千円
- [17] 川端弘治：国立天文台 平成31年度 研究集会助成 Astronomical Polarimetry 2020 配分額 750千円
- [18] 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
- [19] 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1年度直接経費 1,430千円
- [20] 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
- [21] 稲見華恵：2019年度広島大学ネットワーク形成支援助成，「Japan JWST Cycle 1 Proposal

Workshop 開催」, 研究代表者, 15万円 (辞退)

- [22] 笹田真人: 科学研究費助成事業 若手研究, 2019~2021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」令和元年度直接経費 1,500千円, 研究代表者
- [23] 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」令和元年度直接経費 300千円, 研究分担者
- [24] 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」令和元年度直接経費300千円, 研究分担者

その他, 報道, 特記事項

- [1] 笹田真人: ちゅーピー子供新聞 (新聞), ブラックホールの撮影について, 2020年1月
- [2] 笹田真人: ウェンディ広島 (雑誌), Wendy広島 12月号 217号, 2019年12月1日
- [3] 笹田真人: 岐阜新聞 (新聞), 大垣東高校講演, 2019年10月30日
- [4] 笹田真人: ウェンディ広島 (雑誌), Wendy広島 7月号 212号 7/1
- [5] 笹田真人: HIROSHIMA UNIVERSITY UPDATE (雑誌), Astronomers Capture First Image of a Black Hole 7/1
- [6] 笹田真人: 広島FM放送 (ラジオ) 大窪シゲキの9ジラジ 6/17 20:00-22:00
- [7] 笹田真人: 岐阜新聞 (新聞) ブラックホール撮影「岐阜の星」貢献 国際チームで大仕事 6/1
- [8] 笹田真人: プレスネット FM東広島 (新聞) 広島大学の若手研究者に聞く 5/30
- [9] 笹田真人: 中国新聞 (新聞) ブラックホール緊急解説セミナー 4/19
- [10] 笹田真人: 広島ホームテレビ (TV) 5UP 4/17 18:17-18:22
- [11] 笹田真人: 広テレ (TV) テレビ派 4/12 18:34-18:37, 2019
- [12] 笹田真人: 中国新聞 (新聞) ブラックホール撮影に成功した国際チームに参加 広島大宇宙科学センターの笹田真人特任助教インタビュー 4/12
- [13] 笹田真人: 中国放送 (TV) RCCニュース6 4/11 18:51-18:54

## 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、電気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により、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。このパートナーユーザー課題の中で我々の研究グループは、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。その中で、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が注目され、黒岩教授が日中強誘電体応用会議、応用物理学会秋季および春季講演会で招待講演を行った。また、2人の大学院生が国際会議でベストポスター賞を受賞した。さらに、産業界からも注目され、日本セラミックス協会のセラミックコーティング研究体講演会で黒岩教授が2度依頼講演を行った。一方、薄膜ではない通常のバルク結晶であるリラクサー強誘電体のプロトタイプ構造における構造ゆらぎの研究は国際誌で公表されたと同時に大学院生の修士論文の一部としても発表された。その成果により、大学院生は、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、 $\text{BaTiO}_3$ や $\text{BiFeO}_3$ 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、成果をいくつかの論文にまとめた。構造研究は、Kim助教が先導して行った。島根大学との共同研究では、層状複水酸化物の構造解析や溶液中での反応に関する時分割構造解析が森吉教授を中心に行われ論文にまとめられた。強誘電体以外では、北海道大学や首都大学東京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の成果を論文にまとめた。また、もう一つの山梨大学の研究グループとの超伝導体などの関する研究についても成果を論文で公表した。国際共同研究として、中国の蘇州大学と行ってきた光ルミネッ

センス材料についての研究は多くの成果をあげており、その内のいくつかを論文で公表することができた。さらに、企業1社と共同研究を行っており、研究成果論文で公表した。

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、コミショニ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。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た。時間分解X線構造解析の成果に対して、黒岩教授が東北大学金属材料研究所のワークショップで招待講演を行った。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。一方、鉛系および非鉛系強誘電体の構造研究について、BL02B1での電場印加下单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。

2018年度より広島大学と量子科学技術研究開発機構量子ビーム科学部門との間で、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、100 nmサイズのナノ粒子の外形や内部のストライプ状のドメイン構造を非破壊で3次元的に可視化することに成功し、研究成果を論文として発表した。

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いる。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。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と理学研究科物理科学専攻物性科学講座・放射光科学講座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。広島大学からは9名の学生が英語で登壇講演した。このワークショップでは日本と韓国の大学生が主体となって学術交流を行い、親交を深める場として非常にうまく機能している。森吉教授は、いくつかの国際会議にオーガナイザーやプログラム委員として参加し、また、日本学術会議の連携会員としても活躍した。

#### 原著論文

- [1] © M. Saiduzzaman, T. Takei, S. Yanagida, N. Kumada, H. Das, H. Kyokane, S. Wakazaki, M. Azuma, C. Moriyoshi and Y. Kuroiwa, “Hydrothermal Synthesis of Pyrochlore-Type Pentavalent Bismuthates  $\text{Ca}_2\text{Bi}_2\text{O}_7$  and  $\text{Sr}_2\text{Bi}_2\text{O}_7$ ”, *Inorg. Chem.* **58** (2019) 1759-1763.
- [2] © Y. Goto, A. Miura, C. Moriyoshi, Y. Kuroiwa and Y. Mizuguchi, “Effect of Bi Substitution on Thermoelectric Properties of  $\text{SbSe}_2$ -based Layered Compounds  $\text{NdO}_{0.8}\text{F}_{0.2}\text{Sb}_{1-x}\text{Bi}_x\text{Se}_2$ ”, *J. Phys. Soc. Jpn.* **88** (2019) 024705/1-5.
- [3] © T. Wakamatsu, G. Kawamura, T. Abe, S. Kawaguchi, C. Moriyoshi, Y. Kuroiwa, M. Itoh, I. Terasaki and H. Taniguchi, “Structural Phase Transitions and Possibility of the Relaxor-like State in Improper Ferroelectric Strontium-Substituted Calcium Sulfoaluminates”, *J. Phys. Soc. Jpn.* **88** (2019) 034718/1-6.
- [4] © R. Sogabe, Y. Goto, T. Abe, C. Moriyoshi, Y. Kuroiwa, A. Miura, K. Tadanaga and Y. Mizuguchi, “Improvement of Superconducting Properties by High Mixing Entropy at Blocking Layers in  $\text{BiS}_2$ -based Superconductor  $\text{REO}_{0.5}\text{F}_{0.5}\text{BiS}_2$ ”, *Solid. State Commun.* **295** (2019) 43-49.
- [5] © K. Sudo, Y. Goto, R. Sogabe, K. Hoshi, A. Miura, C. Moriyoshi, Y. Kuroiwa and Y. Mizuguchi, “Doping-induced Polymorph and Carrier Polarity Changes in Thermoelectric  $\text{Ag}(\text{Bi,Sb})\text{Se}_2$  Solid Solution”, *Inorg. Chem.* **58** (2019) 7628-7633.
- [6] © J.-K. Chen, J.-P. Ma, S.-Q. Guo, Y.-M. Chen, Q. Zhao, B.-B. Zhang, Z.-Y. Li, Y. Zhou, J.-S. Hou, Y. Kuroiwa, C. Moriyoshi, O. M. Bakr, J.-Y. Zhang and H.-T. Sun, “High-Efficiency Violet-Emitting All-Inorganic Perovskite Nanocrystals Enabled by Alkaline-Earth Metal Passivation”, *Chem. Mater.* **31** (2019) 3974-3983.
- [7] © J.-P. Ma, J. Yin, Y.-M. Chen, Q. Zhao, Y. Zhou, H. Li, Y. Kuroiwa, C. Moriyoshi, Z.-Y. Li, O. M. Bakr, O. F. Mohammed and H.-T. Sun, “Defect-Triggered Phase Transition in Cesium Lead Halide Perovskite Nanocrystals”, *ACS Mater. Lett.* **1** (2019) 185-191.
- [8] © H. Yuwen, Y. Goto, R. Jha, A. Miura, C. Moriyoshi, Y. Kuroiwa, T. D. Matsuda, Y. Aoki and Y. Mizuguchi, “Enhanced Superconductivity by Na Doping in  $\text{SnAs}$ -based Layered Compound  $\text{Na}_{1+x}\text{Sn}_{2-x}\text{As}_2$ ”, *Jpn. J. Appl. Phys.* **58** (2019) 083001.
- [9] © H. Ito, A. Miura, Y. Goto, Y. Mizuguchi, C. Moriyoshi, Y. Kuroiwa, M. Azuma, J.-J. Liu, X.-D. Wen, S. Nishioka, K. Maeda, Y. Masubuchi, N.-C. Rosero-Navarro and K. Tadanaga, “An Electronic Structure Governed by the Displacement of the Indium Site in  $\text{In-S}_6$  Octahedra:

- $LnOInS_2$  ( $Ln = La, Ce, \text{ and } Pr$ )”, *Dalton Trans.* **48** (2019) 12272-12278.
- [10] © H. Li, X.-F. Jia, Q. Zhao, J.-P. Ma, J.-D. Liu, B.-J. Ye, Y. Kuroiwa, C. Moriyoshi, Z.-Y. Li, Q. Liu, J.-Y. Zhang and H.-T. Sun, “Defective  $[Bi_2O_2]^{2+}$  Layers Exhibiting Ultrabroad Near-Infrared Luminescence”, *Chem. Eur. J.* **25** (2019) 12842-12848.
- [11] © Md. Saiduzzaman, H. Yoshida, T. Takei, S. Yanagida, N. Kumada, M. Nagao, H. Yamane, M. Azuma, M. H. K. Rubel, C. Moriyoshi and Y. Kuroiwa, “Hydrothermal Synthesis and Crystal Structure of a  $(Ba_{0.54}K_{0.46})_4Bi_4O_{12}$  Double-Perovskite Superconductor with Onset of the Transition  $T_C \sim 30\text{ K}$ ”, *Inorg. Chem.* **58** (2019) 11997-12001.
- [12] © R. Matsumoto, Y. Goto, S. Yamamoto, K. Sudo, H. Usui, A. Miura, C. Moriyoshi, Y. Kuroiwa, S. Adachi, T. Irifune, H. Takeya, H. Tanaka, K. Kuroki, Y. Mizuguchi and Y. Takano, “Pressure-induced Superconductivity in the Layered Pnictogen Diselenide  $NdO_{0.8}F_{0.2}Sb_{1-x}Bi_xSe_2$  ( $x = 0.3$  and  $0.7$ )”, *Phys. Rev. B* **100** (2019) 094528/1-10.
- [13] © S. Okada, E. Node, K. Takagi, Y. Fujikawa, Y. Enokido, C. Moriyoshi and Y. Kuroiwa, “Synthesis of  $Sm_2Fe_{17}N_3$  Powder Having a New Level of High Coercivity by Preventing Decrease of Coercivity in Washing Step of Reduction-diffusion Process”, *J. Alloys Compd.* **804** (2019) 237-242.
- [14] K. Ohwada, K. Sugawara, T. Abe, T. Ueno, A. Machida, T. Watanuki, S. Ueno, I. Fujii, S. Wada and Y. Kuroiwa, “Development of an Apparatus for Bragg Coherent X-ray Diffraction Imaging, and its Application to the Three Dimensional Imaging of  $BaTiO_3$  Nano-crystals”, *Jpn. J. Appl. Phys.* **58** (2019) SLLA05/1-5.
- [15] © S. Noda, Y. Yokoi, Y. Nakahira, T. Abe, I. Fujii, T. Wada, C. Moriyoshi and Y. Kuroiwa, “Structural Fluctuation of  $Pb(Mg_{1/3}Nb_{2/3})O_3$  in the Cubic Phase”, *Jpn. J. Appl. Phys.* **58** (2019) SLLA06/1-5. 【C. Moriyoshi and Y. Kuroiwa: corresponding authors】
- [16] H. Nam, S. Kim, G. P. Khanal, I. Fujii, S. Ueno and S. Wada, “Thermal annealing induced recovery of damaged surface layer for enhanced ferroelectricity in Bi-based ceramics”, *Jpn. J. Appl. Phys.* **58** (2019) SLLD04/1-5.
- [17] P. Sapkota, S. Ueno, I. Fujii, G. P. Khanal, S. Kim and S. Wada, “Influence of grain size effect and Ba/Ti ratios on dielectric, ferroelectric, and piezoelectric properties of  $BaTiO_3$  ceramics”, *Jpn. J. Appl. Phys.* **58** (2019) SLLC05/1-8.
- [18] © T. Wakamatsu, G. Kawamura, T. Abe, Y. Nakahira, S. Kawaguchi, C. Moriyoshi, Y. Kuroiwa, I. Terasaki and H. Taniguchi, “Antiferroelectric to Antiferroelectric-Relaxor Phase Transition in Calcium Strontium Sulfoaluminate”, *Inorg. Chem.* **58** (2019) 15410–15416.
- [19] © Md. Saiduzzaman, S. Wani, T. Takei, S. Yanagida, N. Kumada, I. Fujii, S. Wada, C. Moriyoshi and Y. Kuroiwa, “Synthesis and Crystal Structure of a New Bismuth Tin Titanate with the Pyrochlore-type Structure”, *J. Ceram. Soc. Jpn.* **127** (2019) 952-957.
- [20] H. Nam, I. Fujii, S. Kim, T. Aizawa, S. Ueno and S. Wada, “Effect of A-site off-stoichiometry on ferroelectric and piezoelectric properties of  $BaTiO_3$ - $Bi(Mg_{1/2}Ti_{1/2})O_3$ - $BiFeO_3$  ceramics”, *J. Ceram. Soc. Jpn.* **127** (2019) 369-373.
- [21] S. Kim, G. P. Khanal, H. Nam, I. Fujii, S. Ueno and S. Wada, “Effects of AC- and DC-bias field poling on piezoelectric properties of Bi-based ceramics”, *J. Ceram. Soc. Jpn.* **127** (2019) 353-356.
- [22] G. P. Khanal, I. Fujii, S. Kim, S. Ueno, T. S. Suzuki and S. Wada, “Optimization of preparation conditions of highly textured piezoelectric  $(Bi_{0.5}K_{0.5})TiO_3$  ceramics”, *J. Ceram. Soc. Jpn.* **127**

(2019) 362-368.

- [23] R. Sasai, H. Sato, M. Sugata, T. Fujimura, S. Ishihara, K. Deguchi, S. Ohki, M. Tansho, T. Shimizu, N. Oita, M. Numoto, Y. Fujii, S. Kawaguchi, Y. Matsuoka, K. Hagura, T. Abe and C. Moriyoshi, “Why Do Carbonate Anions Have Extremely High Stability in the Interlayer Space of Layered Double Hydroxides? Case Study of Layered Double Hydroxide Consisting of Mg and Al (Mg/Al = 2)”, *Inorg. Chem.* **58** (2019) 10928-10935. 【C. Moriyoshi: one of corresponding authors】
- [24] R. Sasai, T. Fujimura, N. Onda, Y. Nakayashiki, H. Sumiyoshi, K. Hagura, T. Abe, C. Moriyoshi and S. Kawaguchi, “Development of a Novel Time-Resolved Synchrotron-Radiation X-ray Diffraction Measurement System for In Situ Observation of Crystal Structure in Aqueous Solution During Chemical Reaction: Application to the Anion-Exchange Reaction of a Layered Double Hydroxide from Chloride to Nitrate”, *Bull. Chem. Soc. Jpn.* **92** (2019) 1986-1992.

#### 著書など

(編集雑誌)

- [1] N. Fujimura and Y. Kuroiwa [Guest Editor-in-Chief and Guest Editor-in-Charge], A. Ando, M. Iwata, K. Kakimoto, I. Kanno, K. Kato, S. Kojima, H. Nagata and M. Shimizu; *Ferroelectric Materials and Their Applications, Jpn. J. Appl. Phys. Vol. 58, No. SL (2019) Special Issue*: (総論文数 43編), The Japan Society of Applied Physics, IOP Publishing (2019年11月発行)

#### 総説

該当無し

#### 国際会議

(招待講演)

- [1] Y. Kuroiwa; “Synchrotron Radiation Structural study of Ferroelectric Thick Films Fabricated by Aerosol Deposition Method”, The 11th China and Japan Symposium on Ferroelectric Materials and Their Applications (CJFMA11), (2019.9.22-25, Grand Metropark Hotel Nanjing, Nanjing, China).

(一般講演)

- [1] © S. Wada, R. Kayanuma, Y. Isobe, S. Ueno, I. Fujii, E. Magome, C. Moriyoshi and Y. Kuroiwa; “Preparation of BaTiO<sub>3</sub>-KNbO<sub>3</sub> System Nano-structured Ceramics by Solvothermal Solidification Method and Their Ferroelectric Properties”, 2019 International Workshop on Acoustic Transduction Materials and Devices (IWATMD2019), (2019.5.7-9, The Pennsylvania State University, PA, USA).
- [2] © S. Kim, I. Fujii, S. Ueno, C. Moriyoshi, Y. Kuroiwa and S. Wada; “Role of Bi ion off-centering in Bi-based lead-free piezoelectric ceramics”, 2019 IEEE International Symposium on Applications of Ferroelectrics (ISAF), International Conference on ElectroCeramics (ICE), European Meeting on Ferroelectricity (EMF), International Workshop on PiezoMEMS (IWPM) and Piezoresponse Force Microscopy Workshop (PFM) Joint Conference (F<sup>2</sup>cπ<sup>2</sup>2019), (2019.7.14-19, SwissTech Convention Center, Lausanne, Switzerland).
- [3] H. Nam, I. Fujii, S. Kim, S. Ueno and S. Wada; “Development of Bi-Based Ceramics by Various

- Ceramic Processing for Enhanced Piezoelectric Properties”, 2019 IEEE International Symposium on Applications of Ferroelectrics (ISAF), International Conference on ElectroCeramics (ICE), European Meeting on Ferroelectricity (EMF), International Workshop on PiezoMEMS (IWPM) and Piezoresponse Force Microscopy Workshop (PFM) Joint Conference (F<sup>2</sup>cπ<sup>2</sup>2019), (2019.7.14-19, SwissTech Convention Center, Lausanne, Switzerland).
- [4] P. Sapkota, I. Fujii, S. Kim, S. Ueno and S. Wada; “Preparation and Electrical Properties of Mn-Nb Co-doped Barium Titanate Ceramics for DC-Bias Free Dielectrics”, 2019 IEEE International Symposium on Applications of Ferroelectrics (ISAF), International Conference on ElectroCeramics (ICE), European Meeting on Ferroelectricity (EMF), International Workshop on PiezoMEMS (IWPM) and Piezoresponse Force Microscopy Workshop (PFM) Joint Conference (F<sup>2</sup>cπ<sup>2</sup>2019), (2019.7.14-19, SwissTech Convention Center, Lausanne, Switzerland).
- [5] © L. Wu, T. Abe, C. Moriyoshi, Y. Kuroiwa, M. Suzuki, R. Aoyagi and J. Akedo; “Structural Characteristics of PbTiO<sub>3</sub> Aerosol Deposition Films Evaluated by Synchrotron Radiation X-ray Diffraction”, The 11th China and Japan Symposium on Ferroelectric Materials and Their Applications (CJFMA11), (2019.9.22-25, Grand Metropark Hotel Nanjing, Nanjing, China). **【Best Poster Award】**
- [6] © Q. Zhao, T. Abe, C. Moriyoshi, A. Taguchi, H. Moriwake, H.-T. Sun and Y. Kuroiwa; “Charge Order of Bi Ions and Chemical Bonding in Double Perovskite BaBiO<sub>3</sub> visualized by Synchrotron Radiation X-ray Diffraction”, The 11th China and Japan Symposium on Ferroelectric Materials and Their Applications (CJFMA11), (2019.9.22-25, Grand Metropark Hotel Nanjing, Nanjing, China).
- [7] © S. Wada, R. Kayanuma, Y. Isobe, K. Matsumoto, S. Ueno, I. Fujii, C. Moriyoshi and Y. Kuroiwa; “Interface Engineering in Perovskite-based Nanocomplex Ceramics for High Dielectric & Piezoelectric Performances”, Advanced Ceramics and Applications VIII (ACA VIII), (2019.9.23-25, Serbian Academy of Sciences and Arts, Belgrade, Serbia).
- [8] © Y. Nakahira, G. Kawamura, T. Wakamatsu, C. Moriyoshi, Y. Kuroiwa, I. Terasaki and H. Taniguchi; “Structural Phase Transition of Ca<sub>8</sub>[AlO<sub>2</sub>]<sub>12</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>2</sub> Ferroelectric”, The 13th Pacific Rim Conference of Ceramic Societies (PACRIM13), (2019.10.27-11.1, Okinawa Convention Center, Okinawa).
- [9] © T. Abe, L. Wu, C. Moriyoshi, Y. Kuroiwa, M. Suzuki, R. Aoyagi and J. Akedo; “Structural Characteristics of Ferroelectric PbTiO<sub>3</sub> AD Films by Synchrotron Radiation X-ray Diffraction”, The 13th Pacific Rim Conference of Ceramic Societies (PACRIM13), (2019.10.27-11.1, Okinawa Convention Center, Okinawa).
- [10] © H. Ito, A. Miura, N. C. Rosero-Navarro, Y. Mizuguchi, Y. Goto, Y. Kuroiwa, C. Moriyoshi and K. Tadanaga; “Molten Salt Synthesis of Chalcogenide Spinel MgIn<sub>2</sub>S<sub>4-2x</sub>Se<sub>2x</sub> (x = 0 and 0.5)”, The 13th Pacific Rim Conference of Ceramic Societies (PACRIM13), (2019.10.27-11.1, Okinawa Convention Center, Okinawa).
- [11] R. Sasai, H. Sato, E. Nii, M. Sugata, Y. Nakayashiki, T. Fujimura, N. Oita, Y. Fujii, S. Kawaguchi, Y. Matsuoka, H. Hoashi and C. Moriyoshi; “Nitrate Selectivity of Layered Double Hydroxide Consisting of Ni and Al”, The 13th Pacific Rim Conference of Ceramic Societies (PACRIM13), (2019.10.27-11.1, Okinawa Convention Center, Okinawa).
- [12] H. Sumiyoshi, T. Fujimura, C. Moriyoshi and R. Sasai; “Crystal Nucleation and Growth of Mg-

- Al Layered Double Hydroxide (Mg/Al = 2) under Hydrothermal Conditions”, The 13th Pacific Rim Conference of Ceramic Societies (PACRIM13), (2019.10.27-11.1, Okinawa Convention Center, Okinawa).
- [13] © S. Wada, R. Kayanuma, Y. Isobe, S. Ueno, I. Fujii, T. Sunada, E. Magome, C. Moriyoshi and Y. Kuroiwa; “Preparation of BaTiO<sub>3</sub>-KNbO<sub>3</sub> System Nano-structured Ceramics by Solvothermal Solidification Method and Their Ferroelectric Properties”, 19th US-Japan Seminar on Dielectric and Piezoelectric Ceramics, (2019.11.3-6, National Institute of Advanced Industrial Science and technology (AIST), Ibaraki).
- [14] S. Kim, I. Fujii, S. Ueno, S. Wada; “Proposal of Material Design Direction Using Material Softening by Ion’s Off-centering for High performance Piezoelectric ceramics”, The 5<sup>th</sup> International Conference on Advanced Electromaterials, (2019.11.5-8, Ramada Plaza Jeju Hodel, Jeju, Korea).
- [15] H. Nam, I. Fujii, S. Kim, S. Ueno, S. Wada; “Development of BaTiO<sub>3</sub>-Bi(Mg<sub>1/2</sub>Ti<sub>1/2</sub>)O<sub>3</sub>-BiFeO<sub>3</sub> Ceramics by Various Ceramic Processing for Enhanced Ferroelectric and Piezoelectric Properties”, The 5<sup>th</sup> International Conference on Advanced Electromaterials, (2019.11.5-8, Ramada Plaza Jeju Hodel, Jeju, Korea).
- [16] H. Mallik, S. Kim, I. Fujii, S. Ueno, S. Wada; “Fabrication of 111-oriented Barium Titanate Ceramics by a High-Magnetic-Field-Assisted Electrophoretic Deposition Method”, The 5<sup>th</sup> International Conference on Advanced Electromaterials, (2019.11.5-8, Ramada Plaza Jeju Hodel, Jeju, Korea).
- [17] R. Yamauchi, T. Abea, S. Uenob and Y. Kuroiwa; “Size Effect on Ferroelectric Phase Transitions in BaTiO<sub>3</sub> Polyhedra”, 2019 Korea-Japan Student Workshop (Pusan National University - Hiroshima University), (2019.11.7-9, Pusan National University, Busan, Korea).
- [18] H. Kaneshima, T. Abe and C. Moriyoshi; “‘AI’ × ‘Crystal Structure Determination’ – Making AI Which Predicts X-ray Diffraction Pattern of ABO<sub>3</sub> –”, 2019 Korea-Japan Student Workshop (Pusan National University - Hiroshima University), (2019.11.7-9, Pusan National University, Busan, Korea).
- [19] © T. Abe, L. Wu, C. Moriyoshi, Y. Kuroiwa, M. Suzuki, R. Aoyagi and J. Akedo; “Structural Characteristics of Ferroelectric Lead Titanate Aerosol Deposition Films Evaluated by Synchrotron Radiation X-ray Diffraction”, 16th Conference of the Asian Crystallographic Association (AsCA 2019), (2019.12.17-20, UTown, National University of Singapore, Singapore). **【Best Poster Award】**

#### 国内学会

(招待講演)

- [1] 黒岩芳弘 : 「酸化物強誘電体の化学結合とエアロゾルデポジションの特徴」, 2019年第80回応用物理学会秋季学術講演会, (2019年9月18 - 21日, 北海道大学 (札幌キャンパス), 札幌)
- [2] 黒岩芳弘 : 「放射光で観たペロブスカイト型強誘電体の機能発現に関する構造科学」, 東北大学金属材料研究所共同利用・共同研究ワークショップ 強誘電体関連物質の機能発現に関する構造科学の新展開, (2019年12月16 - 17日, 東北大学 (片平キャンパス), 仙台) **【チュートリアル講演】**

- [3] 黒岩芳弘：「放射光で観たエアロゾル薄膜成長」，第67回応用物理学会春季学術講演会，（2020年3月12 - 15日，上智大学（四谷キャンパス），東京都千代田区）

（依頼講演）

- [1] 黒岩芳弘：「放射光X線回折実験による構造の静的・動的構造計測手法の紹介」，セラミックコーティング研究体研究会 接合界面現象の解明II，（2019年9月4 - 5日，長良川観光ホテル石金，岐阜）
- [2] 黒岩芳弘：「放射光による多結晶膜の階層構造評価のための計測手法の提案」，セラミックコーティング研究体研究会 高信頼性・高機能デバイスの実現に向けた先進コーティングと先端評価技術，（2020年3月1 - 2日，有馬温泉瑞宝園，神戸）
- [3] B. Iversen, J. Overgaard, Y. Kuroiwa and E. Nishibori：「Activities at BL02B1 in PU project 0078」，SPring-8シンポジウム2019，（2019年8月30 - 31日，岡山大学 創立五十周年記念館，岡山）
- [4] 森吉千佳子，久保田佳基，西堀英治：「粉末・多粒子X線回折によるその場計測基盤の構築」，SPring-8シンポジウム2019，（2019年8月30 - 31日，岡山大学 創立五十周年記念館，岡山）

（一般講演）

- [20] © S. Kim, I. Fujii, S. Ueno, C. Moriyoshi, Y. Kuroiwa, S. Wada：「Material Softening Behaviors with Bi Ion Off-Centering in Bi-Based Ceramics」，第35回強誘電体応用会議(FMA-34)，（2019年5月29 - 6月1日，コープイン京都，京都）
- [21] © 馬込栄輔，砂田裕哉，黒岩芳弘，森吉千佳子，磯部大和，上野慎太郎，和田智志：「KNbO<sub>3</sub>-BaTiO<sub>3</sub>複合セラミックスにおける接合界面付近の結晶構造の特徴」，第35回強誘電体応用会議(FMA-34)，（2019年5月29 - 6月1日，コープイン京都，京都）
- [22] 大和田謙二，菅原健人，安部友啓，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 BaTiO<sub>3</sub> ナノ結晶の 3 次元イメージング」，第35回強誘電体応用会議(FMA-34)，（2019年5月29 - 6月1日，コープイン京都，京都）
- [23] © 野田翔太，横井優人，森吉千佳子，黒岩芳弘，藤井一郎，和田隆博：「Pb(Mg<sub>1/3</sub>Nb<sub>2/3</sub>)O<sub>3</sub>の立方晶相の構造ゆらぎ」，第35回強誘電体応用会議(FMA-34)，（2019年5月29 - 6月1日，コープイン京都，京都）
- [24] © 東谷篤志，山崎篤志，森吉千佳子，黒岩芳弘，播木 敦，藤原秀紀，関山 明，今田 真，玉作賢治，矢橋牧名，石川哲也，高瀬浩一：「マンガン系複合アニオン化合物で見られる異常混合低価数状態と電子状態の関係」，日本物理学会 2019 年秋季大会，（2019年9月10 - 13日，岐阜大学（柳戸キャンパス），岐阜）
- [25] © S. Kim, I. Fujii, S. Ueno, S. Wada, C. Moriyoshi, Y. Kuroiwa：「Material Design using A-site ion Off-centering for Electrical Properties Enhancement in Bi-based Ceramics」，第39回電子材料研究討論会，（2019年11月28 - 29日，ウインク愛知，名古屋）
- [26] H. Mallik, S. Kim, I. Fujii, S. Ueno, S. Wada：「Fabrication of <111>-Oriented BaTiO<sub>3</sub> Ceramics by Electrophoretic Deposition Method Using Hexagonal-Tetragonal Co-existing BaTiO<sub>3</sub> Powder」，第39回電子材料研究討論会，（2019年11月28 - 29日，ウインク愛知，名古屋）
- [27] H. Nam, I. Fujii, S. Kim, S. Ueno, S. Wada：「Compositional dependence of piezoelectric and ferroelectric in Bi-based ceramics」，第39回電子材料研究討論会，（2019年11月28 - 29日，ウインク愛知，名古屋）

- [28] ◎ 青柳 忍, 大沢仁志, 杉本邦久, 中平夕貴, 森吉千佳子, 黒岩芳弘, 武田博明, 鶴見敬章:「交流電場下時分割 X 線回折による共振している圧電結晶の過渡構造解析」, 日本結晶学会 2018 年度年会, (2018 年 11 月 10 - 11 日, 東京工業大学大岡山キャンパス, 東京都目黒区)
- [29] ◎ S. Kim, I. Fujii, S. Ueno, C. Moriyoshi, Y. Kuroiwa and S. Wada : 「Origin of Material Softening in Bi-based Lead-free Piezoelectric Ceramics」, 第 38 回エレクトロセラミックス研究討論会, (2018 年 11 月 15 - 16 日, ユニオンビル, 川崎,)
- [30] ◎ S. Kim, I. Fujii, S. Ueno, C. Moriyoshi, Y. Kuroiwa, S. Wada : 「A correlation between material softening and Bi ion off-centering in Bi-based lead-free piezoelectric ceramics」, 第 67 回応用物理学会春季学術講演会, (2020 年 3 月 12 - 15 日, 上智大学 (四谷キャンパス, 東京都千代田区)
- [31] 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 BaTiO<sub>3</sub> ナノ結晶の 3 次元イメージング」, 日本物理学会第 75 回年次大会, (2020 年 3 月 16 - 19 日, 名古屋大学 (東山キャンパス)
- [32] ◎ 山内礼士, 安部友啓, 森吉千佳子, 黒岩芳弘, 和田智志, 藤井一郎, 上野慎太郎:「BaTiO<sub>3</sub> 多面体微粒子の結晶構造と相転移」, 日本セラミックス協会 2020 年年会, (2020 年 3 月 18 - 20 日, 明治大学 (駿河台キャンパス), 東京都千代田区)
- [33] ◎ 漆原大典, 松村知輝, 中島健太, 浅香 透, 福田巧一郎, 安部友啓, 森吉千佳子, 黒岩芳弘:「混合原子価化酸化合物 GdBaFe<sub>2</sub>O<sub>5</sub> の逐次構造相転移」, 日本セラミックス協会 2020 年年会, (2020 年 3 月 18 - 20 日, 明治大学 (駿河台キャンパス), 東京都千代田区)

#### 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 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 2 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

#### 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: 日本誘電体学会 理事 副会長

- [2] 黒岩芳弘, 森吉千佳子 : 強誘電体応用会議 運営委員会 委員
- [3] 黒岩芳弘 : 強誘電体応用会議 論文委員会 委員
- [4] 黒岩芳弘 : Jpn. J. Appl. Phys. Editorial Board Member, Editor-in-Charge, 編集委員
- [5] 黒岩芳弘 : Jpn. J. Appl. Phys. Vol. 58, No. SL(2019) Special Issue: Ferroelectric Materials and Their Applications, Guest Editor-in-Chief and Guest Editor-in-Charge, 編集委員
- [6] 黒岩芳弘 : Asian Ferroelectric Association (AFA), Executive Board Member
- [7] 黒岩芳弘 : Journal of Advanced Dielectrics (JAD), Editorial Board Member
- [8] 黒岩芳弘 : 日本セラミックス協会 セラミックコーティング研究体 世話人
- [9] 森吉千佳子 : 日本学会会議 連携会員
- [10] 森吉千佳子 : 日本結晶学会 評議員
- [11] 森吉千佳子 : 日本結晶学会 男女共同参画推進委員
- [12] 森吉千佳子 : 日本放射光学会 会誌編集委員
- [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

○ 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
- [4] 森吉千佳子 : SPring-8/SACLA 成果審査委員会

○ 客員教授, 研究員等

- [1] 黒岩芳弘, 森吉千佳子 : (財) 高輝度光科学研究センター 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

- [1] 黒岩芳弘（組織委員長）：2019 Korean - Japanese Student Workshop（Pusan National University - Hiroshima University），（2019年11月7-9日，参加人数：40名，Mechanical Engineering Building, Pusan National University, Busan, Korea）
- [2] 森吉千佳子（Organizer of Symposium 22, “Layered Double Hydroxides: Science and Design of Binding Field with Charged Layeres”）：The 13 Pacific Rim Conference of Ceramic Societies（2019年10月27日 - 11月1日，参加人数：50名，Okinawa Convention Center, Japan）
- [3] 森吉千佳子（International Programme Committee Member）：16th Conference of the Asian Crystallographic Association（2019年12月17-20日，参加人数：500名，National University of Singapore, Singapore）

高大連携事業への参加状況

○ 中高生の科学研究実践活動推進プログラム（研究指導力向上型）

広島県立祇園北高等学校理数科2年生対象プログラム「クリスタルコンペ」  
（ポストサイエンス・パートナーシップ・プログラム（SPP）  
「最先端の物質科学体験講座」～クリスタルコンペ～

- [1] 黒岩芳弘：結晶育成指導（祇園北高校，2019年9月30日）
- [2] 黒岩芳弘：クリスタルコンペ主催（広島大学，2019年12月19日）

○ その他の模擬授業

該当無し

○ 中・高校生に対する TA

- [1] 兼島 輝，山内礼士：広島大学附属三原中学校，模擬実験 TA（HiSOR，広島大学，2019年7月12日）
- [2] 辻 彩菜：広島県立広島井之口高等学校，模擬実験 TA（HiSOR，広島大学，2019年7月17日）
- [3] 辻 彩菜，兼島 輝，山内礼士：オープンキャンパス，模擬実験 TA（HiSOR，広島大学，2019年8月20-21日）
- [4] 山内礼士：鳥取東高等学校，模擬実験 TA（HiSOR，広島大学，2019年7月17日）
- [5] 辻 彩菜，牟田美慧：広島県立祇園北高校ポスト SPP，結晶育成指導，（広島県立祇園北高校，2019年9月30日）
- [6] 辻 彩菜，牟田美慧：広島県立祇園北高校ポスト SPP，クリスタルコンペ，（広島県立祇園北高校，2019年12月19日）

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) (2019年度, 2,080千円) 「交流電場下での強誘電体の時分割構造解析による誘電緩和現象の動力学可視化」
- [2] 黒岩芳弘 (分担) : 科学研究費補助金基盤研究 (B) (一般) (2019年度, 1,040千円) 「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) : (2019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 (代表) : 関西光科学研究所寄付金 (2019年度, 300千円)
- [5] 黒岩芳弘, 森吉千佳子 : 企業共同研究費 (2018年度, 3,000千円)
- [6] 森吉千佳子 (分担) : 科学研究費補助金基盤研究 (B) (一般) (2018年度, 300千円) 「動的挙動から見た層状複水酸化物の陰イオン交換反応の機構解明」
- [7] 森吉千佳子 (代表) : SPring-8 パートナーユーザー課題 (2019-20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) (2019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

- [1] Lin Wu (D2) : The 11th China and Japan Symposium on Ferroelectric Materials and Their Applications (CJFMA11) Best Poster Award 受賞, 2019年9月24日
- [2] 安部友啓 (D2) : 16th Conference of the Asian Crystallographic Association (AsCA 2019) Best Poster Award 受賞, 2019年12月20日

### ○ 学内表彰・受賞

- [1] 中平夕貴 (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, 2019年12月23日
- [2] 野田翔太 (M2) : 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, 2019年12月23日
- [3] 兼島 輝 (B4) : 広島大学理学部物理学科卒業論文発表優秀賞受賞, 2020年3月23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、様々な外場(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

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。高圧力印加に因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、更に空間・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10nm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」でも何か異なる指摘されてきた。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調べている。

今年度は、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・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期待を得た。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的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、Fe<sub>65</sub>Ni<sub>35</sub>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。Fe<sub>65</sub>Ni<sub>35</sub>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。

#### クラスレート化合物のゲスト原子の振動状態の圧力変化

EXAFSによる圧力下での精密局所構造解析として、籠状物質I-型クラスレート化合物のゲスト原子の振動状態の圧力変化、同物質の圧力誘起のアモルファス転移の構造解析も進めた。籠状物質では、籠の中に内包される希土類元素やアルカリ土類金属のゲスト原子がラットリングと呼ばれる大振幅非調和振動をする。このラットリングはゲスト原子と籠との弱い相互作用によって生じるが、ゲスト原子の原子サイズや籠のサイズによって相互作用が異なることから、結果として熱伝導率やアモルファス転移の転移圧力がその影響を受けている。我々のEXAFS解析の結果、圧力で籠のサイズが小さくなるとゲスト原子の占有位置が籠のオフセンターからオンセンターに変化し、ラットリングの挙動が異なることが見出された。このようなEXAFSによる高圧下での精密な構造解析実験はアンビルのノイズのためにこれまで困難であったが、特殊なナノ多結晶ダイヤモンドをアンビルに用いることで近年可能となった。ナノ多結晶ダイヤモンドの利用を中心に、さらなる測定技術開発を実験と並行して進めている。

#### 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GdFe<sub>2</sub>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bauer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GdFe<sub>2</sub>よりもフェリ磁性への転移温度が低いGdCo<sub>2</sub>に着目して、水素による磁気状態の変化を高圧下で調べるところ、GdCo<sub>2</sub>の場合も2段階の磁気転移が見出された。詳細にみると、XMCDの圧力変化にはGdFe<sub>2</sub>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SmCo<sub>5</sub>に着目し、高圧下で水素化した場合のXMCDを測定している。

## 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 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. 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] ○ Pressure-Induced Collapse of the Guest Eu Off-Centering in Type-I Clathrate  $\text{Eu}_8\text{Ga}_{16}\text{Ge}_{30}$ ;  
N. Ishimatsu, K. Yokoyama, T. Onimaru, T. Takabatake, K. Suekuni, N. Kawamura, S. Tsutsui, M. Mizumaki, T. Ina, T. Watanuki, V. Cuartero, O. Mathon, S. Pascarelli, E. Nishibori, and T. Irifune  
J. Phys. Soc. Jpn. 88, 114601 (2019) [9 Pages]
- [2] Conical support for double-stage diamond anvil apparatus;  
T. Sakai, T. Yagi, R. Takeda, T. Hamatani, Y. Nakamoto, H. Kadobayashi, H. Mimori, S. I. Kawaguchi, N. Hirao, K. Kuramochi, N. Ishimatsu, T. Kunimoto, H. Ohfujii, Y. Ohishi, T. Irifune and K. Shimizu  
High Pressure Res. 40, 12-21 (2020) [10 Pages] doi:10.1080/08957959.2019.1691190
- [3] Element-selective elastic properties of  $\text{Fe}_{65}\text{Ni}_{35}$  Invar alloy and  $\text{Fe}_{72}\text{Pt}_{28}$  alloy studied by extended X-ray absorption fine structure;  
M. Kousa, S. Iwasaki, N. Ishimatsu, N. Kawamura, R. Nomura, S. Kakizawa, M. Mizumaki, H.

Sumiya, T. Irifune

High Pressure Res. 40, 130-139 (2020) [10 Pages] doi:10.1080/08957959.2019.1702175

- [4] An application of NPD to double-stage diamond anvil cells: XAS spectra of rhenium metal under high pressures above 300 GPa;

K. Kuramochi, N. Ishimatsu, T. Sakai, N. Kawamura, T. Irifune

High Pressure Res. 40, 119-129 (2020) [11 Pages] doi:10.1080/08957959.2019.1702174

著書

該当無し

国際会議

(招待講演)

- [1] Nobuo Nakajima, Seiya Kato, and Fan Dongxiao; 「Electric field response of the electronic states of BTO studied by time resolved X Ray absorption spectroscopy utilizing SDD time stamps」; The 11th China and Japan Symposium on Ferroelectric Materials and Their Applications (CJFMA11) (2019.9.22-25, Nanjing, China)

(一般講演)

- [1] Fan Dongxiao and Nobuo Nakajima; 「Photoluminescence mechanism of self activated titanates with non centrosymmetric  $\text{TiO}_5$  polyhedra」; The 11th China and Japan Symposium on Ferroelectric Materials and Their Applications (CJFMA11) (2019.9.22-25, Nanjing, China)
- [2] Miu Kousa, Shun Iwasaki, and Naoki Ishimatsu; 「Element Selective Compressibility of  $\text{Fe}_{65}\text{Ni}_{35}$  Invar Alloy and  $\text{Fe}_{72}\text{Pt}_{28}$  Alloy Studied by EXAFS」; The 2019 Korea-Japan Student Workshop (2019.11.7-8, Pusan National Univ., Busan, Korea)
- [3] Keitaro Kuramochi and Naoki Ishimatsu; 「First Challenge of XAFS under multi-Mbar pressure measured by a double stage diamond anvil cell」; The 2019 Korea-Japan Student Workshop (2019.11.7-8, Pusan National Univ., Busan, Korea)

国内学会

(招待講演)

- [1] 石松直樹; 「SPring-8での高圧水素化物の磁性研究」第50回SPring-8先端利用技術ワークショップ「室温超伝導への道筋とSPring-8での水素化物研究」(2019.12.24, SPring-8 上坪記念講堂 佐用郡)

(一般講演)

- [1] 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 $\text{SmCo}_5$ における水素雰囲気圧力下の磁気構造」日本物理学会 第75回年次大会 (2020.3.16-19, 名古屋大学東山キャンパス)
- [2]◎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, 入舩徹男, 北村尚斗 「高圧下EXAFSによるFe-Niインバー合金とFe-Pt合金の元素選択的な局所構造解析」日本物理学会 第75回年次大会 (2020.3.16-19, 名古屋大学東山キャンパス)

- [3] 中島伸夫, 水野志歩, 清水莊雄「X線分光法による酸化ハフニウム薄膜の電子状態の研究」日本物理学会 第75回年次大会 (2020.3.16-19, 名古屋大学東山キャンパス)
- [4] 加藤盛也, 中島伸夫, 安井伸太郎, 足立純一, 仁谷浩明, 武市泰男「時間分解XAFSを用いた交流電場下におけるBaTiO<sub>3</sub>の誘電応答」日本物理学会 第75回年次大会 (2020.3.16-19, 名古屋大学東山キャンパス)
- [5] 熊谷学人, 中島伸夫, 藤井康裕, 安井伸太郎「チタン酸ストロンチウム薄膜の格子歪みによる強誘電性の研究」日本物理学会 第75回年次大会 (2020.3.16-19, 名古屋大学東山キャンパス)
- [6] 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でのエッジとテラスの光触媒活性の比較」日本物理学会 第75回年次大会 (2020.3.16-19, 名古屋大学東山キャンパス)
- [7] 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II」日本物理学会 第75回年次大会 (2020.3.16-19, 名古屋大学東山キャンパス)
- [8] 手塚泰久, 上出晴輝, 高橋瑞樹, 野澤俊介, 中島伸夫, 岩住俊明「共鳴X線ラマン散乱によるSrTiO<sub>3</sub>の電子構造の温度依存性」第33回日本放射光学会年会・放射光科学合同シンポジウム (2020.1.10-12, ウィンクあいち (愛知県産業労働センター), 名古屋市)
- [9] 金森 奨, 石本賢太郎, 石松直樹, 河村直己, 榊 浩司, 中村優美子, 中野智志; 「X線磁気円二色性でみるラーベス相GdCo<sub>2</sub>の磁気構造の水素の効果」「水素化物に関わる次世代学術・応用展開研究会」第6回研究会 (2019.11.14-15, 広島大学 学士会館, 東広島市)
- [10] 石本賢太郎, 金森 奨, 石松直樹, 河村直己, 榊 浩司, 中村優美子, 中野智志「永久磁石材料SmCo<sub>5</sub>における水素雰囲気圧力下の磁気構造」「水素化物に関わる次世代学術・応用展開研究会」第6回研究会 (2019.11.14-15, 広島大学 学士会館, 東広島市)
- [11] 石松直樹, 倉持慶太郎, 境 毅, 河村直己, 入船徹男「2段式ダイヤモンドアンビルセルを用いたmulti-Mbar 領域での5d 遷移金属のXAFS 測定」第60回高圧討論会 (2019.10.23-25, かでる2・7 北海道立道民活動センター, 札幌市)
- [12] N. Ishimatsu, S. Kanamori, K. Ishimoto, K. Sakaki, Y. Nakamura, S. Nakano, N. Kawamura, V. Cuartero, R. Torchio, O. Mathon, S. Pascarelli 「Hydrogen-induced magnetism in 4f-3d intermetallic compounds studied by XMCD」PF研究会「X線分光理論の新展開：構造・電子状態解析から磁性研究まで」(2019.10.3-4, KEKつくばキャンパス 研究本館 小林ホール, つくば市)
- [13] 加藤盛也, 中島伸夫, 足立純一, 仁谷浩明, 武市泰男, 安井伸太郎「SDDタイムスタンプを利用した時間分解X線吸収分光法によるチタン酸バリウム薄膜の電子状態の電場応答」第80回応用物理学会秋季学術講演会 (2019.9.18-21, 北海道大学, 札幌市)
- [14] 中島伸夫, Fan Dongxiao「X線吸収分光による自己付活型チタン酸蛍光体の発光機構の研究」2019 年 強的秩序とその操作に関する第9回研究会 -夏の学校- (2019.9.21-22, ホテル深翠苑, 名古屋市)
- [15] 熊谷学人, 中島伸夫, 安井伸太郎「チタン酸ストロンチウム薄膜の講師歪みによる強誘電性の研究」2019 年 強的秩序とその操作に関する第9回研究会 -夏の学校- (2019.9.21-22, ホテル深翠苑, 名古屋市)
- [16] 加藤盛也, 中島伸夫, 廣森慧太, 石本賢太郎, 安井伸太郎, 足立純一, 仁谷浩明, 武市泰男「交流電場と同期した時間分解X線吸収分光法によるBaTiO<sub>3</sub>薄膜の誘電応答」日本物理学会 2019年秋季大会 (2019.9.10-13, 岐阜大学, 岐阜市)



- [17] 水牧仁一朗, 雀部矩正, 石松直樹, 河村直己, 西久保匠, 東 正樹「Pbペロブスカイト化合物PbTO<sub>3</sub>(T=Ti, Ni)のPbイオンの価数評価」日本物理学会 2019年秋季大会 (2019.9.10-13, 岐阜大学, 岐阜市)
- [18] 河村直己, 広瀬雄介, 本多史憲, 下笠諒平, 石松直樹, 水牧仁一朗, 河口沙織, 平尾直久, 三村功次郎「UPd<sub>2</sub>Cd<sub>20</sub>におけるウラン価数とウラン原子間距離の圧力効果」日本物理学会 2019年秋季大会 (2019.9.10-13, 岐阜大学, 岐阜市)
- [19] 手塚泰久, 上出晴輝, 高橋瑞樹, 野澤俊介, 中島伸夫, 岩住俊明「共鳴X線ラマン散乱によるTi酸化物電子構造の温度依存性と方位角依存性」日本物理学会 2019年秋季大会 (2019.9.10-13, 岐阜大学, 岐阜市)
- [20] 加藤盛也, 中島伸夫, 安井伸太郎, 足立純一, 仁谷浩明, 武市泰男「時間分解X線吸収分光法による交流電場下でのBaTiO<sub>3</sub>の誘電応答」第22回XAFS討論会 (2019.9.2-4, 京都大学, 吉田キャンパス, 京都市)
- [21] 倉持慶太郎, 石松直樹, 境 毅, 河村直己, 入船徹男「EXAFSによるFe<sub>65</sub>Ni<sub>35</sub>インバー合金におけるDebye-Waller因子の温度変化の比較」第22回XAFS討論会 (2019.9.2-4, 京都大学, 吉田キャンパス, 京都市)
- [22] 岩崎 駿, 甲佐美宇, 石松直樹, 河村直己, 水牧仁一朗, 野村龍一, 柿澤 翔, 入船徹男, 角谷 均「EXAFSによるFe-Niインバー合金の元素選択的な圧縮曲線の比較」第22回XAFS討論会 (2019.9.2-4, 京都大学, 吉田キャンパス, 京都市)

#### 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	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	1 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	16 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] 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: 日本物理学会 領域10運営委員
- [4] 中島伸夫, 石松直樹: 第23回日本XAFS討論会 実行委員
- [5] 石松直樹: 日本高圧力学会 会計幹事
- [6] 中島伸夫: 放送大学 非常勤講師

○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

- [1] 石松直樹：広島県立祇園北高等学校 模擬授業（2019年11月13日）
- [2] 中島伸夫，石松直樹：広島県立祇園北高等学校 クリスタルコンペ審査員（2019年12月19日）

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1名を1週間招聘し，大型放射光施設（SPring-8）にてペロブスカイトチタン酸化物のX線吸収スペクトルに関する共同研究を行った。（2019年12月）
- [2] 中島伸夫：令和元年10月に，ラトビア大学物性物理学研究所に修士課程の学生1名を40日間海外派遣させ，逆モンテカルロ計算に基づく共同研究を開始した。

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：科学研究費補助金新学術領域研究（平成27年度-31年度）（分担，500千円）  
課題名：「核-マントル物質の精密高圧実験技術の開発」
- [3] 石松直樹：科学研究費補助金基盤研究(C)（平成29年度-31年度）（代表，900千円）  
課題名：「原子間の結合に着目したX線吸収分光法による鉄合金の熱膨張抑制機構の解明」

特記事項

- [1] 修士課程の学生が，村田学術振興財団の海外派遣援助に採択され，満額50万円の援助を受けた。これを受けて，国際交流の項で説明した40日間の海外派遣と共同研究を実現した。

## ○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) 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-

当研究グループは，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  $(\text{Bi,Sb})_2\text{Te}_3$  にCrやVをドーピング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。磁性ドーピングではなく，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 $\text{MnBi}_2\text{Te}_4$ 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、通常のト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。

今回の成果は英国科学誌Nature (2019年12月18日) に掲載された。広島大学よりプレス発表 (<https://www.hiroshima-u.ac.jp/news/55379>) を行った。また当該研究成果が日本経済産業新聞にも掲載された (2020.1.21, 6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「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)」の支援を受けて行われた。

## (2) 非共型ディラック線ノード半金属の軌道およびスピンの依存した電子構造の研究

本研究では、ZrSiSやHfSiSに代表されるディラック線ノード半金属に着目している。これらはP4/nmmの空間群に属し、バンド構造計算からノンシンモルフィック (非共型) な空間群に守られたバンド交差、いわゆるディラックコーンと呼ばれる直線的なバンド分散構造を形成することが予言されている。それらのディラックコーンは異方的で特定の方向に線ノードを有するのが特徴である。この特異な線ノードディラックコーンは通常のディラックコーン半金属で見られる点ノードと異なり、よりあらわに伝導現象をはじめとした巨視的な量子現象が現れることが期待され興味深い。先行研究ではZrSiSやHfSiSについて表面バルクバンドの観測にとどまり、スピン構造やバンドの軌道対称性については未解明であった。そこで本研究ではこれらの物質の巨視的な量子現象に関わるバルクや表面のスピンや軌道に依存した電子構造の解明に取り組んだ。

まず、周期性の途切れた表面に現れる特異な電子状態を調べるために、広島大学放射光科学研究センター (ビームラインBL-9B) にてスピン角度分解光電子分光を行なった。その結果、表面状態にスピンによる分裂構造があることを明らかにした。そのフェルミ面に沿ってスピン方向を調べたところ、スピが一方向に向いた、標準的なラシュバ型のスピントクスチャーとは大きく異なっていることを初めて明らかにした。このような特異なスピントクスチャーの形成起源を調べるためには、そのフェルミ面を構成している電子軌道を特定する必要がある。そこで、同センターBL-1にて直線偏光依存角度分解光電子分光を行い、表面準位に由来するフェルミ面を構成する電子軌道対称性を同定した。これらのスピントクスチャーや軌道対称性は理論計算でも再現された。さらにモデル計算からこの表面状態がラシュバ型とドレッセルハウス型の両方が競合した結果現れたものであることを結論した。実験で明らかになった同一方向を向くスピントクスチャーは、標準的なラシュバ効果で形成される標準的なスピントクスチャーに比べて電子の後方散乱を大幅に抑制するため、スピンのコヒーレンス時間を伸ばすことができる。本研究では、このようなスピントクスチャーを電場などの外場をかけることなく形成する方法を示したとも言える。

本研究成果は米国物理学会の学術雑誌、Phys. Rev. Bに掲載された。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「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)」および同基盤研究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)」の支援を受けて行われた。

### (3) トポロジカル絶縁体における表面光起電力効果とキャリアダイナミクス

トポロジカル絶縁体は、結晶内部が絶縁体で、その表面には質量ゼロの金属的なディラック表面状態が存在する。またその表面電子は強いスピン軌道相互作用によりスピンと運動量が垂直に固定されるスピントロニクスチャーをフェルミ面で形成するため、非磁性不純物に対して後方散乱が大幅に抑制される。このような特徴から、トポロジカル絶縁体の表面や界面を用いた高移動度スピン輸送デバイスへの応用が期待されている。最近、トポロジカル絶縁体に光を入射することで生じる表面光起電力(SPV)効果を利用し、スピン偏極した光電流を取り出す提案がなされた。このSPV効果は、表面とバルクのキャリア密度の違いによって生じるバンドベンディングが光の照射によって変化することで起こる。この効果を利用することで、トポロジカル絶縁体表面にスピン偏極した光電流が流れる。しかしながら、バルクキャリアのチューニングに制限があるため、一方向のSPV効果しか報告されていない。二方向のSPVシフトを実現することは、スピン偏極電流の湧き出しと吸い込みを実現することと同義である。これは、スピントロニクスデバイスの開発において重要なスピン偏極電流の生成、操作及び検出のうち、生成部分の研究であり大変重要である。また、トポロジカル絶縁体表面を用いたスピントロニクスデバイスを開発する上で、励起された表面ディラック電子の振る舞いを理解することも重要である。

そこで、光物性研究室を主体とした東京大学物性研究所極限コヒーレント光科学研究センターとノヴォシビルスク半導体研究所(ロシア)との国際共同研究チームは、時間角度分解光電子分光(TARPES)を用いてバルク絶縁性の高いトポロジカル絶縁体 $\text{Bi}_2\text{Te}_3$ のn形とp試料を対象としてSPV効果のバルクキャリア依存性、及び励起された表面ディラック電子の振る舞いを研究することを目的として実験を行った。その結果、二方向のSPVシフトを世界で初めて確認した。また、SPVシフトによって発生する電圧を増大させる手法や励起された電子の振る舞いにn形とp形で違い関する知見を得た。これら結果は、トポロジカル絶縁体をスピントロニクスに応用する際の有益な情報を与えると期待される。

本研究成果は米国物理学会の学術雑誌Phys. Rev. Bに掲載された。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「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)」の支援を受けて行われた。

### (4) 磁性トポロジカル絶縁体 $(\text{Sb}_{1-x}\text{V}_x)_2\text{Te}_3$ のキャリア誘起強磁性および超高速キャリアダイナミクス

近年、 $\text{Sb}_2\text{Te}_3$ をベースとしたトポロジカル絶縁体薄膜に少量のCrあるいはVを添加した磁性トポロジカル絶縁体において量子異常ホール効果(QAHE)が観測された[C. Z. Chang et al., Science **340**, 167 (2013)][C. Z. Chang et al., Nat. Mater. **14**, 473 (2015)][M. Mogi et al., Appl. Phys. Lett. **107**, 182401 (2015)]。特に、Vを添加した系は、Cr添加の系に比べて高いキュリー温度・

大きな保磁力を示す硬磁性材料であることから、超低消費電力デバイス開発に向けた有力候補物質として大きな注目を集めている。一方、QAHEの観測温度が30 mK-2 Kと極低温に限られており、応用上高いキュリー温度を有し、大きな表面ギャップを持つ系の開発が必要となる。そのためには、現存の系における磁性発現機構を電子状態の立場から理解することが必要となる。

そこで本研究では、光物性研究室を主体として、日本原子力研究開発機構、東京大学物性研究所極限コヒーレント光科学研究センター、フィリップス大学マールブルグ（ドイツ）、ノヴォシビルスク半導体研究所（ロシア）との国際共同研究として $(\text{Sb}_{1-x}\text{V}_x)_2\text{Te}_3$ の磁性発現機構の多角的な理解に向けて軟X線磁気円二色性(XMCD)分光および時間角度分解光電子分光を行った。実験はSPring-8 BL23SU, 東京大学物性研究所LASOR, およびフィリップス大学マールブルグ（ドイツ）にて行った。

まず、磁性イオンと母体の局所的な電子構造を明らかにするために $\text{Sb}_{1.97}\text{V}_{0.03}\text{Te}_3$ について10K, 2Tの条件でXMCD分光を行った。極微量なV添加にも関わらず、 $\text{V } L_{2,3}$ 吸収端には明確なXMCDシグナルが観測された。更に、 $\text{V } 3d$ だけでなく、SbやTe  $5p$ 電子にも磁気モーメントが誘起されており、非磁性元素が強磁性発現に重要な役割を果たしていることが明らかになった。次に、フェムト秒・時間角度分解光電子分光による非占有電子状態の直接観測および超高速キャリアダイナミクスの追跡を行った。 $\text{Sb}_{1.97}\text{V}_{0.03}\text{Te}_3$ と $\text{Sb}_2\text{Te}_3$ ではディラック点の位置やバンド分散の形状に顕著な変化は見られなかったが、Vを添加した系では、ポンプ光によって励起された電子の持続時間が極めて短くなることが明らかとなった。この結果は、V添加によって形成された $\text{V } 3d$ 不純物バンドが散乱を増加させた結果だと考えられる。

本研究成果は米国物理学会の学術雑誌、Phys. Rev. Bおよび独物理学会の学術雑誌、New J. Phys.に掲載された。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「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）」の支援を受けて行われた。また内殻吸収分光実験は日本原子力研究開発機構の施設供用の採択課題(2017A-E2), および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(A-18-AE-0042)の支援を受けてSPring-8 BL-23SUにて実施された。

#### (5) 放射光光電子分光を用いた Co 基ホイスラー合金のスピンの偏極電子構造の解明

強磁性層で絶縁層を挟んだ構造のトンネル磁気抵抗効果(TMR)素子は、強磁性層の状態密度のスピンの偏極率がTMR比に大きく寄与し、スピンの偏極率が100%となるハーフメタル強磁性体が理想的な材料であると考えられている。理論的にハーフメタル強磁性体であることが予想されているCo基ホイスラー合金で、温度の上昇によるTMR比の減少が問題となっており、強磁性層と絶縁層との界面の電子状態が原因だと考えられている。

本研究では、 $\text{Co}_2\text{MnGe}$ ホイスラー合金の元素成分に分離した状態密度を観測するためにCo及びMn  $2p$ 内殻吸収端領域での共鳴光電子分光を行った。Mn  $2p$ 内殻吸収端領域での測定によって、内殻共鳴によるMn  $3d$ 成分の増大が観測された。非共鳴スペクトルと共鳴スペクトルの差分を取ることで、 $\text{Co}_2\text{MnGe}$ のMn部分状態密度を抽出することができ、Mn  $3d$ 成分のフェルミ準位への寄与が明らかになった。また、軌道対称性に分離した第一原理計算結果との比較により、フェルミ準位へのMn  $3d t_{2g}$ 軌道の寄与が示唆された。これらの結果は、TMR素子の界面の設計の指針となるものである。一方 Co  $2p$  内殻吸収端領域での測定では、内殻

共鳴による価電子帯の増大よりも、Co 3d軌道へ励起された電子の遍歴性に起因する通常オー  
ジェ電子が観測された。このMn 3d 軌道とCo 3d軌道の局在性の違いは、軌道成分に分解した  
第一原理計算によるバンド分散の形状の違いからも理解できる。

本研究成果は米国物理学会の学術雑誌、Phys. Rev. Bに掲載された。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の依存伝導機構の解明(課題番号:  
17H06152, 研究代表者:宝野和博)」などの支援を受けて行われた。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(2018B1019)のもと SPring-8 BL25SU にて行われ  
た。また内殻吸収分光実験は日本原子力研究開発機構の施設供用の採択課題(2018B-E24), 高  
輝度光科学研究センター(JASRI)の採択課題(2018B3842), および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(A-18-AE-0042)の支援を受けてSPring-8 BL-23SUにて実施さ  
れた。

#### (6) 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

Co基ホイスラー合金において、完全にスピン偏極した電気伝導性が得られるハーフメタ  
ル性や、新しい物性の発現が期待されるバルクのトポロジカルなバンド構造が議論されてお  
り[S. Ishida *et al.*, J. Phys. Soc. Jpn. **64**, 2152 (1995)][G. Chang *et al.*, Phys. Rev. Lett. **119**, 156401  
(2017)][I. Belopolski *et al.*, Science **365**, 1278 (2019)], バルクのバンド構造の直接観測が求めら  
れている。ハーフメタル性が予測されているCo<sub>2</sub>MnSiについてバンド構造を観測する実験が  
行われたが[C. Lidig *et al.*, Phys. Rev. B **99**, 174432 (2019)], 試料表面に由来するバンド構造によ  
って、バルクのバンド構造が隠されてしまっていた。そこで本研究では、同じくハーフメタ  
ル性が注目されているCo<sub>2</sub>MnGeホイスラー合金のバルクのバンド構造を観測するために、単  
結晶バルク試料に対して、比較的バルク敏感な軟X線角度分解光電子分光を行った。ホイスラ  
ー合金は劈開性が悪いことで知られているが、10マイクロメートル程度まで絞られた放射光  
を用いることで、平坦な単一ドメインからの光電子を明確に観測することができた。

ARPES実験により得られた等エネルギー面と密度汎関数理論(DFT)を用いた第一原理計算  
結果を比較すると、実験結果の( $k_x, k_y$ )=( $\pm 1.5, 0$ ), ( $0, \pm 1.5$ ) Å<sup>-1</sup>に現れる4つの円形の構造が、ブリ  
ルアンゾーンのΓ点に予測されている少数スピンホールバンドであることが分かる。この構造  
はフェルミ準位には現れておらず、Co<sub>2</sub>MnGeがハーフメタリックなバンド構造を持つことが  
実験的に明らかとなった。さらに、Γ-X方向のバンド分散を見ると、ホールバンドとフェルミ  
準位をよぎるバンドが観測されており、第一原理計算結果ともよい一致を示している。さら  
には、複数のワイル交差点が観測された。

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「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)」および同基盤研究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の依存伝導機構の解明(課題番  
号:17H06152, 研究代表者:宝野和博)」などの支援を受けて行われた。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。

(7) 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を用いたスピン依存非占有電子状態の研究

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、スピントロ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)], 実験的にはスピン及び角度積分硬X線光電子分光により価/占有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、非磁性元素に磁気モーメントが誘起される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、長年、定性的な考察に留まっている。まず、 $\text{Co}_2\text{MnGe (Ga)}$ 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。そこで第一原理(バンド)計算及び、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適切に再現した。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)」などの支援を受けて行われた。また実験は日本原子力研究開発機構の施設供用の採択課題(2018B-E24), 高輝度光科学研究センター(JASRI)の採択課題(2018B3842), および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(A-18-AE-0042)の支援を受けてSPring-8 BL-23SUにて実施された。

(8) ホイスラー合金  $\text{Co}_2\text{Cr(Ga,Si)}$  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 $\text{Co}_2\text{CrGa}$ と $\text{Co}_2\text{CrSi}$ 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、 $\text{Co}_2\text{Cr (Ga,Si)}$ 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、 $\text{Co}_2\text{Cr (Ga,Si)}$ 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。

#### (9) 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。本研究室では、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( $h \cdot \nu = 6 \text{ eV}$ )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、不足ドーパ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。

#### (10) 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。本研究グループでは、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 $T_c$ 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、 $T_c$ 向上のしくみにつながる実験的証拠が提示された。

#### (11) 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。

#### (12) 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 $0.3\text{eV}$ )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 $30\text{meV}$ ・ $70\text{meV}$ 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] © X. Wang, J. Chen, M. Zheng, T. V. Menshchikova, I. P. Rusinov, E. F. Schwier, F. Orbanic, S. Wu, K. Sumida, T. Yoshikawa, K. Miyamoto, M. Nurmamat, T. Okuda, K. Shimada, M. Novak, E. V. Chulkov, A. Kimura, “Disentangling orbital and spin textures of surface-derived states in non-

- symmorphic semimetal HfSiS,” Phys. Rev. B **100**, 205140/1-7 (2019).
- [2] © T. Yoshikawa, K. Sumida, Y. Ishida, J. Chen, M. Nurmamat, K. A. Kokh, O. E. Tereshchenko, S. Shin, A. Kimura, “Bidirectional surface photovoltage on a topological insulator,” Phys. Rev. B **100**, 165311/1-6 (2019).
- [3] © T. Kono, M. Kakoki, T. Yoshikawa, X. Wang, K. Sumida, K. Miyamoto, T. Muro, Y. Takeda, Y. Saitoh, K. Goto, Y. Sakuraba, K. Hono, A. Kimura, “Element-specific density of states of Co<sub>2</sub>MnGe revealed by resonant photoelectron spectroscopy,” Phys. Rev. B **100**, 165120/1-6 (2019).
- [4] © K. Sumida, M. Kakoki, J. Reimann, M. Nurmamat, S. Goto, Y. Takeda, Y. Saitoh, K. A. Kokh, O. E. Tereshchenko, J. Güdde, U Höfer, A. Kimura, “Magnetic-impurity-induced modifications to ultrafast carrier dynamics in the ferromagnetic topological insulators Sb<sub>2-x</sub>V<sub>x</sub>Te<sub>3</sub>,” New J. Phys. **21**, 093006/1-8 (2019).
- [5] © M. Ye, T. Xu, G. Li, S. Qiao, Y. Takeda, Y. Saitoh, S.-Y. Zhu, M. Nurmamat, K. Sumida, Y. Ishida, S. Shin, A. Kimura, “Negative Te spin polarization responsible for ferromagnetic order in the doped topological insulator V<sub>0.04</sub>(Sb<sub>1-x</sub>Bi<sub>x</sub>)<sub>1.96</sub>Te<sub>3</sub>,” Phys. Rev. B **99**, 144413/1-7 (2019).
- [6] © K. Ito, Y. Yasutomi, S. Zhu, M. Nurmamat, Y. Takeda, Y. Saitoh, K. Toko, R. Akiyama, A. Kimura, T. Suemasu, “Manipulation of saturation magnetization and perpendicular magnetic anisotropy in epitaxial Co<sub>x</sub>Mn<sub>4-x</sub>N films,” Phys. Rev. B **101**, 104401/1-8 (2020).
- [7] © 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, and E. V. Chulkov, “Signatures of temperature driven antiferromagnetic transition in the electronic structure of topological insulator MnBi<sub>2</sub>Te<sub>4</sub>,” APL Mater. **8**, 021105/1-7 (2020).
- [8] © K. Taguchi, K. Sumida, Y. Okuda, K. Miyamoto, A. Kimura, T. Oguchi, T. Okuda, “Spectroscopic evidence of quasi-one-dimensional metallic Rashba spin split bands on Si(111)5x2-Au surface,” Phys. Rev. B **101**, 045430/1-8 (2020).
- [9] © M. M. Otrokov, I. I. Klimovskikh, H. Bentmann, D. Estyunin, A. Zeugner, Z. S. Aliev, S. Gaß, A. U. B. Wolter, A. V. Koroleva, A. M. Shikin, M. Blanco-Rey, M. Hoffmann, I. P. Rusinov, A. Yu. Vyazovskaya, S. V. Ereemeev, Yu. M. Koroteev, V. M. Kuznetsov, F. Freyse, J. Sánchez-Barriga, I. R. Amiraslanov, M. B. Babanly, N. T. Mamedov, N. A. Abdullayev, V. N. Zverev, A. Alfonso, V. Kataev, B. Büchner, E. F. Schwier, S. Kumar, A. Kimura, L. Petaccia, G. Di Santo, R. C. Vidal, S. Schatz, K. Kißner, M. Ünzelmann, C. H. Min, Simon Moser, T. R. F. Peixoto, F. Reinert, A. Ernst, P. M. Echenique, A. Isaeva, and E. V. Chulkov, “Prediction and observation of an antiferromagnetic topological insulator,” Nature **576**, 416-422 (2019).
- [10] M. Novak, S. N. Zhang, F. Orbanic, N. Biliškov, G. Eguchi, A. Kimura, X. X. Wang, T. Osada, K. Uchida, M. Sato, O. V. Yazyev, Q. S. Wu, I. Kokanović, “Highly anisotropic interlayer magnetoresistance in ZrSiS nodal-line Dirac semimetal,” Phys. Rev. B **100**, 085137/1-7 (2019).
- [11] 木村昭夫: トポロジカル絶縁体の光駆動ディラック電流の観測-光周波数スピントロニクスに向けて- (解説), 応用物理 第 88 巻 7 号, pp.445-451 (2019).
- [12] H. Iwasawa, P. Dudin, K. Inui, T. Masui, T. K. Kim, C. Cacho, and M. Hoesch, “Buried double CuO chains in YBa<sub>2</sub>Cu<sub>4</sub>O<sub>8</sub> uncovered by nano-ARPES,” Phys. Rev. B **99**, 140510(R)/1-6 (2019).
- [13] M. D. Watson, P. Dudin, L. C. Rhodes, D. V. Evtushinsky, H. Iwasawa, S. Aswartham, S. Wurmehl, B. Büchner, M. Hoesch, and T. K. Kim, “Probing the reconstructed Fermi surface of antiferromagnetic BaFe<sub>2</sub>As<sub>2</sub> in one domain,” npj Quantum Mater. **4**, 36 (2019).

国際会議

(招待講演)

- [1] A. Kimura, “Incorporating Magnetism into Topological Materials,” International Workshop on “Variety and universality of bulk-edge correspondence in topological phases: From solid state physics to transdisciplinary concepts” [BE/BC2020F (Bulk-Edge/Boundary Correspondence)] (2020.2.28-29, Online).
- [2] A. Kimura, “Incorporating Magnetism into Topological Materials for Innovative Functions,” Materials Research Meeting (MRM2019) (2019.12.10-14, Yokohama Symposia, Yokohama, Japan).
- [3] A. Kimura, “Incorporating Magnetism into 2D Materials for Innovative Functions,” Workshop on Carrier Doping in two-dimensional layered materials: toward novel physical properties and electronic device applications (CA2D) (2019.11.4-5, Centro Congressi Federico II, Naples, Italy).
- [4] A. Kimura, “Incorporating magnetism into 2D materials for innovative functions” 32nd International Microprocesses and Nanotechnology Conference (MNC2019) (2019.10.30, International Conference Center Hiroshima, Hiroshima, Japan).
- [5] H. Iwasawa, “Angle-Resolved Photoelectron Spectroscopy,” MIRAI PhD School 2019: ELECTRONIC AND MAGNETIC PROPERTIES OF MATERIALS USING LARGE SCALE FACILITIES (2019.10.23, Hiroshima University, Japan).
- [6] H. Iwasawa, “Spatially-resolved Photoemission Spectroscopy of Surface Inhomogeneous Cuprate Systems,” 19th International Conference on Solid Films and Surfaces (ICSFS19) (2019.10.8, Aster Plaza, Hiroshima, Japan).
- [7] H. Iwasawa, “Spatially-resolved ARPES on High-Tc Cuprate Superconductors,” International Workshop on Strong Correlations and Angle-Resolved Photoemission Spectroscopy (CORPES 2019) (2019.7.18, Oxford, UK).
- [8] H. Iwasawa, “Termination dependent electronic structure of YBCO studied by micro-ARPES,” Superstripes 2019 (2019.6.24, Ischia, Italy).

(一般講演)

- [1] K. Goto, Y. Sakuraba, Y. Miura, I. Kurniawan, A. Yasui, L. S. R. Kumara, Z. Chen, H. Tajiri, A. Kimura, K. Hono, “The atomic ordering dependence of valence electronic structure in half-metallic  $\text{Co}_2\text{Fe}(\text{Ga}_{0.5}\text{Ge}_{0.5})$  Heusler alloy observed by hard X-ray photoemission spectroscopy,” Annual Conference on Magnetism and Magnetic Materials (MMM)(2019.11.4-8, Rio All-Suites Hotel and Casino, Las Vegas, USA).
- [2] ©M. Nurmamat, T. Yoshikawa, X. X. Wang, H. Takemoto, S. Ereemeev, J. H. Chen, M. Kakoki, T. Kono, T. Muro, K. Zhang, S. Kumar, E. Schwier, K. Miyamoto, T. Okuda, K. Shimada, A. Kimura, “Direct evidence of the type-II bulk Dirac cone in transition metal dichalcogenides,” The 19th International Conference on Solid Films and Surfaces (ICSFS19) (2019.10.6-11, ASTER PLAZA, Hiroshima, Japan).
- [3] K. Goto, Y. Sakuraba, Y. Miura, I. Kurniawan, A. Yasui, L. S. R. Kumara, Z. Chen, H. Tajiri, A. Kimura and K. Hono, “The atomic ordering dependence of valence electronic structure in half-metallic  $\text{Co}_2\text{Fe}(\text{Ga}_{0.5}\text{Ge}_{0.5})$  Heusler alloy observed by hard X-ray photoemission spectroscopy,”

The 19th International Conference on Solid Films and Surfaces (ICSFS19) (2019.10.6-11, ASTER PLAZA, Hiroshima, Japan).

- [4] ©X. X. Wang, J. H. Chen, M. T. Zheng, M. Novak, F. Orbanic, E. F. Schwier, S. L. Wu, K. Sumida, T. Yoshikawa, K. Miyamoto, M. Nurmamat, T. Okuda, K. Shimada, and A. Kimura, “Spin-orbit coupling effect on bulk and surface states of the Dirac nodal line semimetal  $\text{Hf}_{1-x}\text{Zr}_x\text{SiS}$ ,” The 19th International Conference on Solid Films and Surfaces (ICSFS19) (Poster, 2019.10.6-11, ASTER PLAZA, Hiroshima, Japan).
- [5] ©T. Kono, M. Kakoki, T. Yoshikawa, X. Wang, K. Sumida, K. Miyamoto, T. Muro, Y. Takeda, Y. Saitoh, K. Goto, Y. Sakuraba, K. Hono, A. Kimura, “Element-specific density of states of  $\text{Co}_2\text{MnGe}$  revealed by resonant photoelectron spectroscopy,” The 19th International Conference on Solid Films and Surfaces (ICSFS19) (Poster, 2019.10.6-11, ASTER PLAZA, Hiroshima, Japan). \*Best Student Poster Award
- [6] ©T. Yoshikawa, T. Kono, M. Kakoki, K. Sumida, K. Miyamoto, Y. Takeda, Y. Saitoh, K. Goto, Y. Sakuraba, K. Hono, A. Kimura, “Unveiling spin-dependent unoccupied electronic states of  $\text{Co}_2\text{MnGe}$  (Ga) film via Ge (Ga)  $L_{2,3}$  absorption spectroscopy,” The 19th International Conference on Solid Films and Surfaces (ICSFS19) (Poster, 2019.10.6-11, ASTER PLAZA, Hiroshima, Japan).
- [7] ©Teruo Matsuda, Koji Miyamoto, Akio Kimura, Taichi Okuda, “Development of multi-channel spin-detector at HiSOR,” International Young Researchers Workshop on Synchrotron Radiation Science 2019 (Poster, 2019.9.3-4, Hiroshima University, Hiroshima, Japan).
- [8] ©S. Ishizaka, H. Takita, T. Kubo, T. Miyashita, W. Mansuer, K. Shimada, H. Namatame, S. Ueda, H. Kito, S. Ishida, K. Oka, Y. Gotoh, H. Fujihisa, Y. Yoshida, A. Iyo, H. Ogino, H. Eisaki, K. Kawashima, Y. Yanagi, A. Ino “Hard X-ray photoemission spectroscopy layered phosphide chalcogenide superconductors,  $(\text{Zr}_{1-y}\text{Lu}_y)\text{PX}$  ( $X = \text{S}, \text{Se}$ ),” International Young Researchers Workshop on Synchrotron Radiation Science 2019 (Poster, 2019.9.3-4, Hiroshima University, Hiroshima, Japan).
- [9] ©Xiaoxiao Wang, Jiahua Chen, Mingtian Zheng, Tatiana Menshchikova, Igor Rusinov, Eike F. Schwier, Filip Orbanic, Shilong Wu, Kazuki Sumida, Tomoki Yoshikawa, Koji Miyamoto, Munisa Nurmamat, Taichi Okuda, Kenya Shimada, Mario Novak, Evgueni V. Chulkov, Akio Kimura, “Disentangling Orbital and Spin Textures of the Surface-derived States in Non-symmorphic Semimetal  $\text{HfSiS}$ ,” International Young Researchers Workshop on Synchrotron Radiation Science 2019 (Poster, 2019.9.3-4, Hiroshima University, Hiroshima, Japan).
- [10] ©Hironoshin Oda, Hideaki Iwasawa, Syusuke Ozawa, Rikizo Yano, Satoshi Kashiwaya, Takao Sasagawa, Eike Fabian Schwier, Kenya Shimada, Akio Kimura, “Self-energy analysis on optimally-doped LSCO using high-resolution ARPES,” International Young Researchers Workshop on Synchrotron Radiation Science 2019 (Poster, 2019.9.3-4, Hiroshima University, Hiroshima, Japan).
- [11] T. Yoshikawa, Y. Ishida, K. Sumida, J. Chen, K. A. Kokh, O. E. Tereshchenko, S. Shin, A. Kimura, “A bi-directional surface photovoltaic shift on the topological insulators,” International Young Researchers Workshop on Synchrotron Radiation Science 2019 (Poster, 2019.9.3-4, Hiroshima University, Hiroshima, Japan).
- [12] ©S. Ozawa, H. Iwasawa, M. Ochi, H. Oda, T. Yoshikawa, A. Kimura, T. Muro, Y. Yoshida, I. Hase, Y. Aiura, “Band renormalization effects on bulk electronic states in  $\text{Sr}_2\text{RuO}_4$ ” International Young

Researchers Workshop on Synchrotron Radiation Science 2019 (Poster, 2019.9.3-4, Hiroshima University, Hiroshima, Japan).

- [13] ©Munisa Nurmamat, K. Okamoto, S. Y. Zhu, T. V. Menshchikova, I. P. Rusinov, Y. Ishida, K. Miyamoto, T. Okuda, T. Miyashita, X. X. Wang, K. Sumida, E. F. Schwier, M. Ye, Z. S. Aliev, M. B. Babanlyg, I. R. Amiraslanov, E. V. Chulkov, K. A. Kokh, O. E. Tereshchenko, S. Shin, Akio Kimura “Topologically non-trivial phase change compound  $\text{GeSb}_2\text{Te}_4$ ,” International Young Researchers Workshop on Synchrotron Radiation Science 2019 (Poster, 2019.9.3-4, Hiroshima University, Hiroshima, Japan).
- [14] ©Mao Ye, Tao Xu, Gang Li, Shan Qiao, Yukiharu Takeda, Yuji Saitoh, Siyuan Zhu, Munisa Nurmamat, Kazuki Sumida, Yukiaki Ishida, Shik Shin, Akio Kimura, “Exchange interaction in ferromagnetic topological insulator V-doped  $(\text{Sb,Bi})_2\text{Te}_3$ ,” New Trends in Topological Insulators 2019 and Variety and universality of bulk-edge correspondence 2019 (NTTI 2019 and BEC 2019) (Oral, 2019.7.14-19, ASTER PLAZA, Hiroshima, Japan).
- [15] ©Dmitry A. Estyunin, I. I. Klimovskikh, A. M. Shikin, E. F. Schwier, A. Kimura, M. M. Otrokov, E. V. Chulkov, “Observation of the magnetic and topological phase transition by ARPES in antiferromagnetic topological insulator  $\text{MnBi}_2\text{Te}_4$ ,” New Trends in Topological Insulators 2019 and Variety and universality of bulk-edge correspondence 2019 (NTTI 2019 and BEC 2019) (Oral, 2019.7.14-19, ASTER PLAZA, Hiroshima, Japan).
- [16] ©Munisa Nurmamat, K. Okamoto, S. Y. Zhu, T. V. Menshchikova, I. P. Rusinov, Y. Ishida, K. Miyamoto, T. Okuda, T. Miyashita, X. X. Wang, K. Sumida, E. F. Schwier, M. Ye, Z. S. Aliev, M. B. Babanlyg, I. R. Amiraslanov, E. V. Chulkov, K. A. Kokh, O. E. Tereshchenko, S. Shin, Akio Kimura, “Topologically non-trivial phase-change compound  $\text{GeSb}_2\text{Te}_4$ ” New Trends in Topological Insulators 2019 and Variety and universality of bulk-edge correspondence 2019 (NTTI 2019 and BEC 2019) (Oral, 2019.7.14-19, ASTER PLAZA, Hiroshima, Japan).
- [17] Gaku Eguchi, M. Taupin, C. Jiahua, K. Kuroda, A. Kimura, S. Paschen, “Light-sensitive surface transport in a bulk topological insulator,” New Trends in Topological Insulators 2019 and Variety and universality of bulk-edge correspondence 2019 (NTTI 2019 and BEC 2019) (Oral, 2019.7.14-19, ASTER PLAZA, Hiroshima, Japan).
- [18] Hiroshi Ito, Yuta Tomohiro, Takeru Shimano, Yukiaki Ishida, Ryota Akiyama, Akio Kimura, Shik Shin, Shinji Kuroda, “Surface Photovoltaic effect on the (111) surface of a topological crystalline insulator  $(\text{Pb,Sn})\text{Te}$ ,” New Trends in Topological Insulators 2019 and Variety and universality of bulk-edge correspondence 2019 (NTTI 2019 and BEC 2019) (Poster, 2019.7.14-19, ASTER PLAZA, Hiroshima, Japan).
- [19] ©Tomoki Yoshikawa, Yuto Kitayama, Xiaoxiao Wang, Hideaki Iwasawa, Masaaki Kakoki, Takashi Kono, Hironoshin Oda, Shusuke Ozawa, Shiv Kumar, Eike Schwier, Kenya Shimada, Takayuki Muro, Hiroshi Tanida, Akio Kimura, “Synchrotron radiation ARPES study of Dirac electron systems including rare earth elements,” New Trends in Topological Insulators 2019 and Variety and universality of bulk-edge correspondence 2019 (NTTI 2019 and BEC 2019) (Poster, 2019.7.14-19, ASTER PLAZA, Hiroshima, Japan).
- [20] ©Xiaoxiao Wang, Jiahua Chen, Mingtian Zheng, Tatiana V. Menshchikova, Igor P. Rusinov, Eike F. Schwier, Filip Orbanić, Shilong Wu, Kazuki Sumida, Tomoki Yoshikawa, Koji Miyamoto, Munisa Nurmamat, Taichi Okuda, Kenya Shimada, Mario Novak, Evgueni Chulkov, Akio Kimura,

“Disentangling Orbital and Spin Textures in surface-derived states in non-symorphic crystal HfSiS,”  
New Trends in Topological Insulators 2019 and Variety and universality of bulk-edge  
correspondence 2019 (NTTI 2019 and BEC 2019) (Poster, 2019.7.14-19, ASTER PLAZA,  
Hiroshima, Japan).

- [21] Takeru Shimano, Yuta Tomohiro, Ryo Ishikawa, Ryouta Akiyama, Yukiharu Takeda, Yuji Saitoh,  
Akio Kimura, Shinji Kuroda, “Magnetic Properties of IV-VI diluted magnetic semiconductor  
(Sn,Mn)Te thin films grown by MBE,” New Trends in Topological Insulators 2019 and Variety and  
universality of bulk-edge correspondence 2019 (NTTI 2019 and BEC 2019) (Poster, 2019.7.14-19,  
ASTER PLAZA, Hiroshima, Japan).

## 国内学会

(招待講演)

- [1] 岩澤英明, 「ナノ ARPES の研究動向」次世代放射光 ナノ光電子分光ワークショップ(2019  
年 10 月 2 日, 東京大学・本郷キャンパス)
- [2] 岩澤英明, Diamond Light Source I05 におけるマイクロ/ナノ ARPES, 最先端光電子分光で  
拓く量子物質科学研究に関するワークショップ(第 24 回 HiSOR 研究会)(2019 年 9 月  
6 日, 広島大学)
- [3] 岩澤英明, ナノ ARPES による局所電子状態の観測, 第 11 回放射光学会若手研究会, 「放  
射光を用いたナノ分光技術とスピントロニクスとの協奏 ～リサーチネットワークの形  
成に向けて～」(2019 年 8 月 23 日, 東北大学).
- [4] 岩澤英明, 第 3 世代放射光を用いた最先端光電子分光, LASOR セミナー(2019 年 8 月  
21 日, 東京大学・物性研究所)

(一般講演)

- [5] ©Kazuki Sumida, Yuya Sakuraba, Keisuke Masuda, Takashi Kono, Masaaki Kakoki, Kazuki Goto,  
Koji Miyamoto, Yoshio Miura, Taichi Okuda, Akio Kimura, “Observation of Weyl Cones in  
Ferromagnetic Heusler Alloy Films  $\text{Co}_2\text{MnGa}$  by Spin- and Angle- Resolved Photoemission  
Spectroscopy,” 第 67 回応用物理学会春季学術講演会(2020 年 3 月 12-15 日, 上智大学・  
四谷キャンパス, 東京都千代田区)
- [6] 岩澤英明, Pavel Dudin, 乾 京介, 増井孝彦, Timur K. Kim, Cephise Cacho, Moritz Hoesch  
「銅酸化物高温超伝導体  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$  の nano-ARPES」日本物理学会第 75 回年次大会(2020  
年 3 月 16-19 日, 名古屋大学・東山キャンパス, 名古屋市)
- [7] 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 によるホイスラー型  $\text{Co}_2\text{MnGe}$  のハーフメタリックなバンド構造の観  
測」日本物理学会第 75 回年次大会(2020 年 3 月 16-19 日, 名古屋大学・東山キャンパス,  
名古屋市)
- [8] ©尾田拓之慎, 岩澤英明, 小澤秀介, 矢野力三, 柏谷 聡, 笹川崇男, E. F. Schwiery, 島田賢  
也, 木村昭夫「銅酸化物高温超伝導体  $\text{La}_{2-x}\text{Sr}_x\text{CuO}_4$  の高分解能 ARPES」日本物理学会第  
75 回年次大会(2020 年 3 月 16-19 日, 名古屋大学・東山キャンパス, 名古屋市)
- [9] ©石坂仁志, 田北仁志, 久保拓也, 宮下剛夫, Wumiti Mansuer, 木村昭夫, 島田賢也, 上田  
茂典, 鬼頭 聖, 石田茂之, 岡 邦彦, 後藤義人, 藤久裕司, 吉田良行, 伊豫 彰, 荻野 拓,  
永崎 洋, 川島健司, 柳 陽介, 井野明洋「Si 置換した層状リン化カルコゲナイド超伝導体

- Zr(P<sub>1-x</sub>, Si<sub>x</sub>)Se の硬 X 線光電子分光」日本物理学会第 75 回年次大会 (2020 年 3 月 16-19 日, 名古屋大学・東山キャンパス, 名古屋市)
- [10] ◎白石海人, Mario Novak, 吉川智己, 河野 嵩, Shiv Kumar, Eike F. Schvier, 島田賢也, Sergey V. Eremeev, 木村昭夫「Eu 系アキシオン絶縁体候補物質の ARPES」日本物理学会第 75 回年次大会 (2020 年 3 月 16-19 日, 名古屋大学・東山キャンパス, 名古屋市)
- [11] ◎今井健人, 加藤和貴, 松田旭央, Jiahua Chen, 宮本幸治, 木村昭夫, 奥田太一「TlBiSe<sub>2</sub> および TlBiSe<sub>2</sub> における温度誘起トポロジカル相転移の光電子分光による研究」第 33 回日本放射光学会年会・放射光科学合同シンポジウム (2020 年 1 月 10-12 日, ウィンクあいち, 名古屋市)
- [12] Kazuki Goto, Yuya Sakuraba, Yoshio Miura, Ivan Kurniawan, Akira Yasui, Kumara Rosantha, Chen Zixi, Tajiri Hiroo, Akio Kimura, Kazuhiro Hono, “The atomic ordering dependence of valence electronic structure in half-metallic Co<sub>2</sub>Fe(Ga<sub>0.5</sub>Ge<sub>0.5</sub>) Heusler alloy observed by hard X-ray photoemission spectroscopy,” 第 80 回応用物理学会秋季学術講演会 (2019 年 9 月 18-21 日, 北海道大学・札幌キャンパス, 札幌市)
- [13] ◎吉川智己, 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, 木村昭夫「フルホイスラー合金 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」第 80 回応用物理学会秋季学術講演会 (2019 年 9 月 18-21 日, 北海道大学・札幌キャンパス, 札幌市)
- [14] ◎鹿子木将明, 角田一樹, 河野 嵩, 後藤一希, 宮本幸治, 奥田太一, 桜庭裕弥, 宝野和博, 木村昭夫「Co<sub>2</sub>MnSi 合金薄膜のバンド分解したスピン分極率の観測」第 80 回応用物理学会秋季学術講演会 (2019 年 9 月 18-21 日, 北海道大学・札幌キャンパス, 札幌市)
- [15] ◎河野 嵩, 鹿子木将明, 吉川智己, Wang Xiaoxiao, 角田一樹, 宮本幸治, 室隆桂之, 竹田幸治, 斎藤祐児, 後藤一希, 桜庭裕弥, 宝野和博, 木村昭夫「共鳴光電子分光による Co<sub>2</sub>MnGe の部分状態密度の観測」第 80 回応用物理学会秋季学術講演会 (2019 年 9 月 18-21 日, 北海道大学・札幌キャンパス, 札幌市)
- [16] ◎Nuramat Munisa, Wang Xiaoxiao, Takemoto Hiroko, Yoshikawa Tomoki, Chen Jiahua, Kakoki Masaaki, Kono Takashi, Zhang Ke, Kumar Shiv, Schvier Eike, Shimada Kenya, Miyamoto Koji, Okuda Taichi, Kimura Akio, “Direct evidence of the bulk Dirac cone in the transition metal dichalcogenides,” 日本物理学会 2019 年秋季大会 (2019 年 9 月 10-13 日, 岐阜大学・柳戸キャンパス, 岐阜市)
- [17] ◎吉川智己, 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, 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」日本物理学会 2019 年秋季大会 (2019 年 9 月 10-13 日, 岐阜大学・柳戸キャンパス, 岐阜市)
- [18] ◎鹿子木将明, 角田一樹, 河野 嵩, 後藤一希, 宮本幸治, 奥田太一, 桜庭裕弥, 宝野和博, 木村昭夫「Co<sub>2</sub>MnSi 合金薄膜のバンド分解したスピン偏極率の観測」日本物理学会 2019 年秋季大会 (2019 年 9 月 10-13 日, 岐阜大学・柳戸キャンパス, 岐阜市)
- [19] ◎Xiaoxiao Wang, Jiahua Chen, Mingtian Zheng, Tatiana Menshchikova, Igor Rusinov, Eike Schvier, Filip Orbanic, Shilong Wu, Kazuki Sumida, Tomoki Yoshikawa, Koji Miyamoto, Munisa Nuramat, Taichi Okuda, Kenya Shimada, Mario Novak, Evgueni Chulkov, Akio Kimura, “Disentangling Orbital and Spin Textures in Dirac Nodal-Line Semimetal HfSiS,” 日本物理学会 2019 年秋季大会 (2019 年 9 月 10-13 日, 岐阜大学・柳戸キャンパス, 岐阜市)



- [20] ◎河野 嵩, 鹿子木将明, 吉川智己, Xiaoxiao Wang, 角田一樹, 宮本幸治, 室隆桂之, 竹田幸治, 斎藤祐児, 後藤一希, 桜庭裕弥, 宝野和博, 木村昭夫「共鳴光電子分光によるホイスラー型  $\text{Co}_2\text{MnGe}$  薄膜の部分状態密度の観測」日本物理学会 2019 年秋季大会 (2019 年 9 月 10-13 日, 岐阜大学・柳戸キャンパス, 岐阜市)
- [21] ◎竹本紘子, Nurmatat Munisa, Wang Xiaoxiao, 吉川智己, Chen Jiahua, 鹿子木将明, 河野嵩, Zhang Ke, Kumar Shiv, Schwier Eike, 島田賢也, 宮本幸治, 奥田太一, 木村昭夫「遷移金属ダイカルコゲナイドにおけるバルクディラックコーンの直接観測」日本物理学会 2019 年秋季大会 (2019 年 9 月 10-13 日, 岐阜大学・柳戸キャンパス, 岐阜市)
- [22] ◎吉川智己, 北山悠斗, Wang Xiaoxiao, 岩澤英明, 鹿子木将明, 河野 嵩, 尾田拓之慎, 小澤秀介, Shiv Kumar, Eike Schwier, 島田賢也, 室隆桂之, 谷田博司, 木村昭夫「希土類元素を含むディラック電子系の放射光 ARPES」日本物理学会 2019 年秋季大会 (2019 年 9 月 10-13 日, 岐阜大学・柳戸キャンパス, 岐阜市)
- [23] ◎尾田拓之慎, 岩澤英明, 小澤秀介, 矢野力三, 柏谷 聡, 笹川崇男, E. F. Schwier, 島田賢也, 木村昭夫「高分解能 ARPES を用いた銅酸化物高温超伝導体  $\text{La}_{2-x}\text{Sr}_x\text{CuO}_4$  の自己エネルギー解析」日本物理学会 2019 年秋季大会 (2019 年 9 月 10-13 日, 岐阜大学・柳戸キャンパス, 岐阜市)
- [24] ◎小澤秀介, 岩澤英明, 尾田拓之慎, 吉川智己, 木村昭夫, 室隆桂之, 吉田良行, 長谷 泉, 相浦義弘「 $\text{Sr}_2\text{RuO}_4$  のバルク電子状態における繰り込み効果」日本物理学会 2019 年秋季大会 (2019 年 9 月 10-13 日, 岐阜大学・柳戸キャンパス, 岐阜市)
- [25] ◎今井健人, 加藤和貴, Jiahua Chen, 宮本幸治, 木村昭夫, 奥田太一「 $\text{TlBi}(\text{S}_{1-x}\text{Se}_x)_2$  の温度誘起トポロジカル相転移の光電子分光による研究」日本物理学会 2019 年秋季大会 (2019 年 9 月 10-13 日, 岐阜大学・柳戸キャンパス, 岐阜市)
- [26] ◎石坂仁志, 田北仁志, 久保拓也, 宮下剛夫, Wumiti Mansuer, 島田賢也, 生天目博文, 上田茂典, 鬼頭 聖, 石田茂之, 岡 邦彦, 後藤義人, 藤久裕司, 吉田良行, 伊豫 彰, 荻野拓, 永崎 洋, 川島健司, 柳 陽介, 井野明洋「Hard X-ray photoemission spectroscopy layered phosphide chalcogenide superconductors,  $(\text{Zr}_{1-y}\text{Lu}_y)\text{PX}$  ( $X = \text{S}, \text{Se}$ )」最先端光電子分光で拓く量子物質科学研究に関するワークショップ (2019 年 9 月 5-6 日, 広島大学・東広島キャンパス)
- [27] ◎小澤秀介, 岩澤英明, 越智正之, 尾田拓之慎, 吉川智己, 木村昭夫, 室隆桂之, 吉田良行, 長谷 泉, 相浦義弘「軟 X 線角度分解光電子分光による  $\text{Sr}_2\text{RuO}_4$  の電子状態の研究」最先端光電子分光で拓く量子物質科学研究に関するワークショップ (2019 年 9 月 5-6 日, 広島大学・東広島キャンパス)
- [28] ◎尾田拓之慎, 岩澤英明, 小澤秀介, 矢野力三, 柏谷 聡, 笹川崇男, E. F. Schwier, 島田賢也, 木村昭夫「高分解能 ARPES を用いた銅酸化物高温超伝導体  $\text{La}_{2-x}\text{Sr}_x\text{CuO}_4$  の自己エネルギー解析」最先端光電子分光で拓く量子物質科学研究に関するワークショップ (2019 年 9 月 5-6 日, 広島大学・東広島キャンパス)
- [29] ◎吉川智己, 角田一樹, 石田行章, 陳 家華, M. Nurmatat, K. A. Kokh, O. E. Tereshchenko, 辛 埴, 木村昭夫「トポロジカル絶縁体  $\text{Bi}_2\text{Te}_3$  における両極性表面光起電力シフト」最先端光電子分光で拓く量子物質科学研究に関するワークショップ (2019 年 9 月 5-6 日, 広島大学・東広島キャンパス)
- [30] ◎Xiaoxiao Wang, Jiahua Chen, Mingtian Zheng, Tatiana Menshchikova, Igor Rusinov, Eike F. Schwier, Filip Orbanic, Shilong Wu, Kazuki Sumida, Tomoki Yoshikawa, Koji Miyamoto, Munisa

Nuramat, Taichi Okuda, Kenya Shimada, Mario Novak, Evgueni V. Chulkov, Akio Kimura  
「Disentangling Orbital and Spin Textures of the Surface-derived States in Non-symmorphic Semimetal HfSiS」最先端光電子分光で拓く量子物質科学研究に関するワークショップ  
(2019年9月5-6日, 広島大学・東広島キャンパス)

- [31] ©Munisa Nuramat, K. Okamoto, S. Y. Zhu, T. V. Menshchikova, I. P. Rusinov, Y. Ishida, K. Miyamoto, T. Okuda, T. Miyashita, X. X. Wang, K. Sumida, E. F. Schwier, M. Ye, Z. S. Aliev, M. B. Babanlyg, I. R. Amiraslanov, E. V. Chulkov, K. A. Kokh, O. E. Tereshchenko, S. Shin, Akio Kimura 「Topologically non-trivial phase change compound GeSb<sub>2</sub>Te<sub>4</sub>」最先端光電子分光で拓く量子物質科学研究に関するワークショップ (2019年9月5-6日, 広島大学・東広島キャンパス)
- [32] ©松田旭央, 宮本幸治, 木村昭夫, 奥田太一 「マルチチャンネルスピン検出器の開発」最先端光電子分光で拓く量子物質科学研究に関するワークショップ (2019年9月5-6日, 広島大学・東広島キャンパス)
- [33] ©岩澤英明, 北田仁志, 後藤一希, Wumiti Mansuer, 宮下剛夫, E. F. Schwier, 井野明洋, 島田賢也, 相浦義弘 「顕微 ARPES 測定手法の精密化・効率化」最先端光電子分光で拓く量子物質科学研究に関するワークショップ (2019年9月5-6日, 広島大学・東広島キャンパス)

#### 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      | 10 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  |

##### (国内学会)

- |                             |      |
|-----------------------------|------|
| ○ 博士課程前期の学生が共同発表者の発表件数      | 21 件 |
| ○ 博士課程後期の学生が共同発表者の発表件数      | 22 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 | 17 件 |

#### セミナー・講演会開催実績

##### ○ 学会開催

- [1] 木村昭夫 : New Trends in Topological Insulators 2019 and Variety and Universality of Bulk-edge Correspondence 2019 (NTTI 2019 and BEC 2019) (2019年7月14-19日, 96名, 広島アステールプラザ, 組織委員長)
- [2] 木村昭夫 : The 19th International Conference on Solid Films and Surfaces (ICSFS19) (2019年10月6-11日, 74名, 広島アステールプラザ, 組織委員長)
- [3] 岩澤英明 : International Young Researchers Workshop on Synchrotron Radiation Science 2019 (放射光科学若手国際ワークショップ) (2019年9月3-4日, 63名, 広島大学理学部, 実行委員長)
- [4] 岩澤英明 : 最先端光電子分光で拓く量子物質科学研究に関するワークショップ (第24回 HiSOR 研究会) (2019年9月6日, 29名, 広島大学理学部, 実行委員長)

社会活動・学外委員

○ 学協会委員

- [1] 木村昭夫: Journal of Electron Spectroscopy and Related Phenomena (Elsevier 社), Editorial Board Member
- [2] 木村昭夫: 日本放射光学会評議委員会・委員 (2018 年 10 月-2020 年 9 月)
- [3] 木村昭夫: 日本物理学会・領域 5・副代表 (任期 2019.04-2020.03)
- [4] 木村昭夫: 日本物理学会・代議委員
- [5] 木村昭夫: 日本表面科学会・国際事業委員会・委員
- [6] 木村昭夫: VUV・SX 高輝度光源利用者懇談会・幹事
- [7] 木村昭夫: SPring-8 ユーザー共同体 広報・渉外幹事
- [8] 岩澤英明: Scientific Reports (Nature research 社), Editorial Board Member

○ 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: 磁性・スピントロニクス材料科学ビームライン検討グループ・代表
- [6] 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
- [7] 木村昭夫: 広島大学放射光科学研究センター協議会・委員
- [8] 岩澤英明: ナノ光電子分光ビームライン・アドバイザー

○ 国際共同研究・国際会議開催実績

(国際共同研究)

- [1] 木村昭夫: 化学量論組成に基づいた磁性トポロジカル絶縁体の電子状態に関する国際共同研究・スペイン
- [2] 木村昭夫: トポロジカル絶縁体・超伝導体の電子輸送現象に関する国際共同研究・オーストリア
- [3] 木村昭夫: 磁性ワイル半金属に関する国際共同研究・クロアチア
- [4] 木村昭夫: 角度分解光電子分光を用いた磁性トポロジカル絶縁体超構造に関する国際共同研究・ロシア
- [5] 木村昭夫: ポンププローブ ARPES を用いた国際共同研究・ドイツ
- [6] 木村昭夫: ドープ型磁性トポロジカル絶縁体のキャリアダイナミクスに関する国際共同研究・中国
- [7] 木村昭夫: 磁性形状記憶合金の電子構造の研究・スペイン
- [8] 木村昭夫: ホイスラー合金のスピン依存電子状態に関する国際共同研究・オーストリア
- [9] 木村昭夫: 第一原理計算を用いたディラック物質の電子構造に関する国際共同研究・ロシア
- [10] 木村昭夫: 巨大磁気抵抗効果材料の電子構造に関する国際共同研究・韓国

(国際会議開催実績)

- [1] 木村昭夫 : International Workshop on New Trends in Topological Insulators 2019 (NTTI2019)・広島市・2019年7月14-19日
- [2] 木村昭夫 : 19th International Conference on Solid Films and Surfaces (ICSFS19)・広島市・2019年10月6-11日
- [3] 岩澤英明 : International Young Researchers Workshop on Synchrotron Radiation Science 2019・広島大学(東広島市)・2019年9月3-4日

○ 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」, 4,400千円(2019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(2019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」, 2,500千円(2019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」, 500千円(2019年度直接経費)
- [5] 木村昭夫 : 広島大学創発的物性物理研究拠点(2016-2019年度)(代表), 1,630千円(2019年度)
- [6] 木村昭夫 : 公益財団法人中国電力技術研究財団 国際会議等開催助成(2019年度)(代表), 100千円(2019年度直接経費)
- [7] 岩澤英明 : 科学研究費補助金 基盤研究(C)(2019-2021年度)(代表)「光電子顕微分光による銅酸化物高温超伝導のアンダーエフ束縛状態の観測」, 1,600千円(2019年度直接経費)
- [8] 岩澤英明 : 村田学術振興財団 研究者海外派遣援助(2019年度)(代表)「Uncovering electron dynamics in the one-dimensional CuO chains of Y-based high-Tc cuprates by spatially resolved ARPES」, 440千円(2019年度直接経費)
- [9] 岩澤英明 : 広島大学 ネットワーク形成支援助成(2019年度)(代表)「支援事業: 放射光科学若手国際ワークショップ」, 150千円(2019年度直接経費)
- [10] 岩澤英明 : 東広島市 東広島市学術振興等補助(2019年度)(代表)「支援事業: 放射光科学若手国際ワークショップ」, 150千円(2019年度直接経費)
- [11] 岩澤英明 : 東広島市 東広島市学術振興等補助(2019年度)(代表)「支援事業: 最先端光電子分光で拓く量子物質科学研究に関するワークショップ」, 150千円(2019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、光と分子の相互作用を解明する分子光科学領域の構築を目指して、広島大学HiSORやSPring-8の高輝度放射光、自由電子レーザー、フェムト秒パルスレーザーなど様々な光源を用いてナノ材料やバイオ関連分子の電子状態を調べ、機能や物性、反応機構の解明に取り組んでいる。特に近年、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物性研究（和田，関谷）

表面分子系の中でも特に、分子間相互作用により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）に着目した研究を実施している。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ている。2019年度は、鎖長が異なる芳香鎖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জে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জে電子が観測される。CHC法では、共鳴オーজেとノーマルオーजेの比率から、数フェムト秒の内殻寿命を基準として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、異なる分子鎖を持つメチルエステル修飾SAMについて、分子内電荷移動速度を評価した。分子鎖長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জে電子分光では、電荷移動に伴う共鳴オーजे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を確認することができた。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。本研究での脱離イオン計測を広島大学のHiSORでも実施するため、引き続きパルス電場式飛行時間型イオン質量分析装置の開発も進めている。併せてビームラインBL13の直線偏光度の計測・決定も実施した。

金ナノ粒子はもともと古くから研究されているナノ粒子であり、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。特にその表面を官能基を有したSAMで修飾することによって、新たな機能を付加したナノ粒子やナノ構造体を容易に構成することができる。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程度のベアな金ナノ粒子の合成に成功した。有機被覆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。

#### ☆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る。我々は、日本のXFEL施設SACLAの性能を生かした、光励起反応中の機能性有機ナノ結晶や光応答タンパク質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。

2019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、以下の成果を公表した。本研究はアメリカや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。

- (1) 多原子分子をターゲットに、X線吸収中心から電荷が分子内緩和する様子を実時間計測することに成功した。本研究で得られた成果は2019年5月にプレスリリースし、メディアに掲載された。
- (2) 希ガス原子クラスターへのXFELパルス照射によって、ナノメートルサイズの微小プラズマを生成させ、その生成および崩壊の様子を実時間で捉えることに成功した。また小角X線散乱計測によってナノスケールの単粒子の構造解明に成功した。

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た。ピコ秒オーダーの反応初期過程と、その後のマイクロ秒オーダーでの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。これまでに内殻励起で状態選択的解離の報告がされている酢酸メチルやメタノールについて理論計算からアプローチし、酸素内殻励起での吸収スペクトルと励起後の分子動力学的計算を行った。実験で報告されている各分子での内殻吸収スペクトルを再現するとともに、励起先の分子軌道の性質を調べた。また、内殻共鳴励起状態や内殻イオン化状態について、分子動力学により分子のポテンシャル中での各原子の座標位置の変化より原子間結合長の時間発展についても調べた。これらの結果より、各分子での特徴的なイオンの選択的な解離のおこる内殻共鳴励起について、励起状態の性質と解離の関係を明らかにした。

#### ☆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リポ酸, 金属イオンとして銅イオンについて, 軟X線吸収分光, 可視吸収分光, 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の研究を行った。

#### (1) 電子スペクトル測定によるシクロデキストリン包接された $\alpha$ -リポ酸の構造研究

$\alpha$ -リポ酸 (ALA) は, 環状のS-S結合, 不斉炭素, カルボキシル基をもつ有機化合物である。天然にはR体のみが存在し, 人体に有用であるが, 熱や光によって容易に分解してしまう。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) が用いられている。 $\gamma$ -CyDに包接されたALA (ALA@ $\gamma$ -CyD) は熱や光などに対する安定性が向上することが知られているが, 包接時の詳しい構造はよく分かっておらず, 包接に大きく関与していると思われる硫黄原子に着目して研究を行った。

HiSORのBL-7でALAとALA@ $\gamma$ -CyDのS2p領域の軟X線光電子分光を行った。得られたS2p内殻光電子スペクトルのピークフィッティングを行った結果, ALAは2成分, ALA@ $\gamma$ -CyDは3成分で実験データを再現することができた。ALA@ $\gamma$ -CyDに新たに現れた成分は包接によるものと考えられる。また各ピークの面積比の違いも考慮し,  $\gamma$ -CyDに包接されたALAの構造について検討を行った。

#### (2) 軟X線吸収分光による銅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。これまではX線回折やNMRを用いた構造解析が中心であり, 電子状態に着目した研究例は非常に少ない。そこで軟X線および可視吸収分光法を用いて, CyDとCu@CyDの電子状態に関する詳細な知見を得ることを目的として研究を行った。 $\alpha$ -,  $\beta$ -,  $\gamma$ -CyDを用いてCu@CyDを作成して軟X線吸収分光を行い, O1sとCu2p内殻軌道からの電子遷移について調べた。

$\alpha$ -CyDとCu@ $\alpha$ -CyDのO1s領域の軟X線吸収スペクトルをHiSORのBL6で測定し比較した。包接による変化の情報を抽出するため差分スペクトルを算出し, ピークフィッティングを行った結果532.0 eVおよび533.9 eV付近に包接によって新たに生じたと考えられる成分を見出した。前者はCyD内部のCuとOの結合に起因する軌道への内殻電子遷移によるものだと考えられ, 後者はCu同士を結びつけるBridge上のOHの結合に起因する軌道への内殻電子遷移によるものだと考えられる。これらのピークは $\beta$ -CDおよび $\gamma$ -CDに包接された場合にも観測され, エネルギーや強度比についての考察を行った。

また, Cu@CyDの可視吸収スペクトルも $\alpha$ -,  $\beta$ -,  $\gamma$ -CyDについてそれぞれ測定を行い, d-d遷移ピーク波長のシフトについて, d軌道分裂幅の変化の観点から考察を行った。

#### 原著論文

- [1] H. Fukuzawa, T. Takanashi, E. Kukk, K. Motomura, S. Wada, K. Nagaya, Y. Ito, T. Nishiyama, C. Nicolas, Y. Kumagai, D. Iablonskyi, S. Mondal, T. Tachibana, D. You, S. Yamada, Y. Sakakibara, K. Asa, Y. Sato, T. Sakai, K. Matsunami, T. Umemoto, K. Kariyazono, S. Kajimoto, H. Sotome, P. Johnsson, M.S. Schöffler, G. Kastirke, K. Kooser, X.-J. Liu, T. Asavei, L. Neagu, S. Molodtsov, K.

- Ochiai, M. Kanno, K. Yamazaki, S. Owada, K. Ogawa, T. Katayama, T. Togashi, K. Tono, M. Yabashi, A. Ghosh, K. Gokhberg, L.S. Cederbaum, A.I. Kuleff, H. Fukumura, N. Kishimoto, A. Rudenko, C. Miron, H. Kono, and K. Ueda, “Real-time observation of X-ray-induced intramolecular and interatomic electronic decay in CH<sub>2</sub>I<sub>2</sub>” *Nat. Commun.* **10**, 2186(1-8) (2019).
- [2] R. Obaid, K. Schnorr, T.J.A. Wolf, T. Takanashi, N.G. Kling, K. Kooser, K. Nagaya, S. Wada, L. Fang, S. Augustin, D. You, E.E.B. Campbell, H. Fukuzawa, C.P. Schulz, K. Ueda, P. Lablanquie, T. Pfeifer, E. Kukk, and N. Berrah, “Photo-ionization and fragmentation of Sc<sub>3</sub>N@C80 following excitation above the Sc K-edge” *J. Chem. Phys.* **151**, 104308(1-8) (2019).
- [3] A. Niozu, N. Yokono, T. Nishiyama, H. Fukuzawa, T. Sakurazawa, K. Matsuda, T. Takanashi, D. You, Y. Li, T. Ono, T. Gaumnitz, M. Schöffler, S. Grundmann, S. Wada, P. Carpeggiani, W. Xu, X.-J. Liu, S. Owada, K. Tono, T. Togashi, M. Yabashi, N.V. Kryzhevoi, K. Gokhberg, A.I. Kuleff, L.S. Cederbaum, K. Ueda, and K. Nagaya, “Electron spectroscopic study of nanoplasma formation triggered by intense soft x-ray pulses” *J. Chem. Phys.* **151**, 184305(1-6) (2019).
- [4] T. Nishiyama, C. Bostedt, K.R. Ferguson, C. Hutchison, K. Nagaya, H. Fukuzawa, K. Motomura, S. Wada, T. Sakai, K. Matsunami, K. Matsuda, T. Tachibana, Y. Ito, W. Xu, S. Mondal, T. Umemoto, C. Miron, C. Nicolas, T. Kameshima, Y. Joti, K. Tono, T. Hatsui, M. Yabashi, and K. Ueda, “Multispectroscopic study of single Xe clusters using XFEL pulses” *Appl. Sci.* **9**, 4932(1-10) (2019).
- [5] T. Nishiyama, A. Niozu, C. Bostedt, K.R. Ferguson, Y. Sato, C. Hutchison, K. Nagaya, H. Fukuzawa, K. Motomura, S. Wada, T. Sakai, K. Matsunami, K. Matsuda, T. Tachibana, Y. Ito, W. Xu, S. Mondal, T. Umemoto, C. Nicolas, C. Miron, T. Kameshima, Y. Joti, K. Tono, T. Hatsui, M. Yabashi, and K. Ueda, “Refinement for single-nanoparticle structure determination from low-quality single-shot coherent diffraction data” *IUCrJ* **7**, 10-17 (2020).
- [6] 熊谷嘉晃, 福澤宏宣, 永谷清信, 和田真一, 上田 潔, “X線自由電子レーザーが誘起するナノプラズマ誕生の瞬間” *放射光* **33**, 10-18 (2020年).
- [7] D. You, H. Fukuzawa, Y. Luo, S. Saito, M. Berholts, T. Gaumnitz, M. Huttula, P. Johnsson, N. Kishimoto, H. Myllynen, A. Nemer, A. Niozu, M. Patanen, E. Pelimanni, T. Takanashi, S. Wada, N. Yokono, S. Owada, K. Tono, M. Yabashi, K. Nagaya, E. Kukk, and K. Ueda, “Multi-particle momentum correlations extracted using covariance methods on multiple-ionization of diiodomethane molecules by soft-X-ray free-electron laser pulses” *Phys. Chem. Chem. Phys.* **22**, 2648-2659 (2020).
- [8] Y. Kumagai, Z. Jurek, W. Xu, H. Fukuzawa, K. Motomura, D. Iablonskyi, K. Nagaya, S. Wada, S. Mondal, T. Tachibana, Y. Ito, T. Sakai, K. Matsunami, T. Nishiyama, T. Umemoto, C. Nicolas, C. Miron, T. Togashi, K. Ogawa, S. Owada, K. Tono, M. Yabashi, S.-K. Son, B. Ziaja, R. Santra, and K. Ueda, “Real-time observation of disintegration processes within argon clusters ionized by a hard-x-ray pulse of moderate fluence” *Phys. Rev. A* **101**, 023412(1-8) (2020).

著書

該当無し

総説

該当無し



## 国際会議

(依頼講演)

- [1] S. Wada, “Charge and nuclear dynamics of atoms and molecules induced by XFEL pulses”, International Young Researchers Workshop on Synchrotron Radiation Science 2019, (2019.9.3-4, Higashi-Hiroshima, Japan).

(一般講演)

- [1] K. Yamamoto, Y. Hikosaka, S. Wada, “Ion desorption measurement using pulsed HV-type TOF mass spectrometer at HiSOR”, 35th Symposium on Chemical Kinetics and Dynamics, (2019.6.5-7, Higashi-Hiroshima, Japan).
- [2] Y. Nakamura, R. Nobue, and H. Yoshida, “Study on electronic states of inclusion compounds with cyclodextrin and copper ion”, 35th Symposium on Chemical Kinetics and Dynamics (2019.6.5-7, Higashi-Hiroshima, Japan).
- [3] S. Wada, R. Koga, Y. Iyobe, and M. Ogawa, “Evaluation of molecular conductivity of organic monolayers utilizing core-excitation dynamics”, The 40th International Conference on Vacuum Ultraviolet and X-ray Physics (VUVX19), (2019.7.1-5, San Francisco, USA).
- [4] M. Hirato, M. Onizawa, K. Fujii, Y. Baba, Y. Haga, S. Wada, and A. Yokoya, “Electronic properties of DNA related molecules incorporating a bromine atom”, The 9th International Symposium on Physical, Molecular, Cellular, and Medical Aspects of Auger Processes, (2019.8.23-24, Oxford, UK).
- [5] ○N. Akimaru, T. Sekitani, O. Takahashi, and A. Hiraya, “Theoretical calculations for dissociation processes of core-excited  $\text{CH}_3\text{COOCH}_3$ ”, 2019 Korean - Japanese Student Workshop, (2019.11.7-9, Busan, Korea).

## 国内学会

(招待講演)

- [1] 和田真一：「原子・分子におけるXFEL誘起反応ダイナミクス」，第26回FELとHigh-Power Radiation研究会，(2019年12月17-18日，東広島市)。

(一般講演)

- [1] 安藤玖瑠実，中村仁彦，馬場公範，吉田啓晃：「シクロデキストリン包接による電子状態の変化」，第36回シクロデキストリンシンポジウム，(2019年9月12-13日，神戸市)。
- [2] 吉田啓晃，中村仁彦，安藤玖瑠実，馬場公範：「シクロデキストリンおよびその包接化合物の電子状態の研究」，第62回放射線化学討論会，(2019年9月23-25日，敦賀市)。
- [3] 新部正人，堀川裕加，徳島 高，吉田啓晃：「自立薄膜を隔壁としたHeパスによる大気圧下軟X線吸収分光装置の開発」，第55回X線分析討論会 (2019年10月30-31日，福島市)。
- [4] 彦坂泰正，和田真一：「有機薄膜に対する光電子・オージェ電子同時計測」，UVSORシンポジウム2019，(2019年11月16日，岡崎市)。
- [5] 彦坂泰正，和田真一：「有機薄膜に対する光電子・オージェ電子同時計測」，第33回日本放射光学会年会・放射光科学合同シンポジウム，(2020年1月10-12日，名古屋市)。
- [6] 和田真一，伊豫部佳樹，古賀亮介，小川 舞：「内殻励起ダイナミクス計測から探る導電性芳香鎖の高速電荷移動評価」，第33回日本放射光学会年会・放射光科学合同シンポジウム，(2020年1月10-12日，名古屋市)。

- [7] 平戸未彩紀, 馬場祐治, 和田真一, 藤井健太郎, 本田充紀, 横谷明德:「軟X線分光法を用いたハロゲン化DNA関連分子の電子状態の研究」, 第33回日本放射光学会年会・放射光科学合同シンポジウム, (2020年1月10-12日, 名古屋市) .
- [8] 中村仁彦, 安藤玖瑠実, 馬場公範, 吉田啓晃:「銅イオンを包接させたシクロデキストリンの軟X線吸収分光」, 第33回日本放射光学会年会・放射光科学合同シンポジウム, (2020年1月10-12日, 名古屋市) .
- [9] 新部正人, 堀川裕加, 徳島 高, 吉田啓晃:「自立膜を隔壁としたHeパスによる大気圧下軟X線吸収分光装置の開発」, 第33回日本放射光学会年会・放射光科学合同シンポジウム, (2020年1月10-12日, 名古屋市) .

#### 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 |

##### (国内学会)

- |                             |     |
|-----------------------------|-----|
| ○ 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      | 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] 和田真一: 第 33 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, (2020年1月10-12日, 名古屋市) .

#### 社会活動・学外委員

##### ○ 学協会委員

- [1] 吉田啓晃: 青少年のための科学の祭典第 24 回広島大会 推進委員
- [2] 和田真一: 日本放射光学会 編集委員
- [3] 和田真一: 第 33 回日本放射光学会年会・放射光科学合同シンポジウム 学生発表賞審査員

##### ○ 講習会・セミナー講師

- [1] 吉田啓晃: 青少年のための科学の祭典第 25 回広島大会 指導講師 (2019年10月26-27日, 広島市こども文化科学館, 広島市) .

#### 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 アメリカ, フィンランド, フランス, ドイツ, スイス, ルーマニア, ポーランド, オーストリア, イギリス, エストニア, 中国

(国際会議開催)

- [1] 和田真一, 吉田啓晃 : 35th Symposium on Chemical Kinetics and Dynamics, 実行委員, (2019.6.5-7, Higashi-Hiroshima, 参加人数80名).
- [2] 和田真一 : 2019 Korea - Japan Student Workshop (Pusan National University - Hiroshima University), 組織委員・日本側コンタクトパーソン, (2019.11.7-9, Busan, Korea, 参加人数50名).

研究助成金の受入状況

- [1] 吉田啓晃 : 科学研究費補助金 基盤研究 (C) (一般) 1,800千円
- [2] 和田真一 : 科学研究費補助金基盤研究 (B) (分担) 14千円
- [3] 和田真一 : 2018年度 物質・デバイス領域共同研究課題 物質創製開発研究領域 (代表) 130千円

その他特記すべき事項

- [1] 和田真一 : プレスリリース「X線照射で始まる超高速反応の観測に成功 -レントゲンによるX線の発見から120年で初」(東北大学, 京都大学, 広島大学, 理化学研究所, 高輝度光科学研究センター) 2019年5月17日 (以下のメディアに掲載 大学ジャーナルオンライン <https://univ-journal.jp/26088/>)

## ○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) 2019年度の特徴ある研究成果

- ・ 放射光の波としての形（時間構造）をアト秒の精度で精密に制御することで原子のエネルギー状態や軌道の形状などを制御できることを世界に先駆けて実証した。レーザー分野では光の波形をアト秒の精度で精密に制御することで物質の量子状態を制御する研究が進められてきたが、レーザーよりもはるかに波長の短い X 線領域に強みを持つ放射光で同様なことができることを示した。特に時間的に不揃いな自然放射である放射光でもその固有の時間構造が利用できることを示したという点で、従来の光科学の常識を覆す成果である。
- ・ 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  $\alpha_1$  酸性糖タンパク質(AGP)を対象にした構造研究から、AGP と生体膜との相互作用機構を解明し、薬物輸送の仕組みについて検討した。膜結合状態の AGP の円二色性解析の結果、AGP は膜結合状態でヘリックスを複数本形成し、また、その内 2 本が膜結合領域であることが分かった。食塩などの生体内環境を模した状態での構造解析から、AGP と生体膜との 2 つの結合域は、それぞれ疎水性相互作用と静電的相互作用で安定化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の構造変化が強く影響することが分かった。タンパク質などの生体分子は、様々な生命現象の発現に関与しており、その発現機構の理解には、生体分子の生体内での“働き”（機能）を反映する生体分子の立体構造情報が重要となる。本研究では、放射光を用いた CD 分光法を用いて、細胞内への薬物輸送に関わるとされる膜結合タンパク質“AGP”を対象に、生体膜との相互作用による AGP のコンフォメーション変化を直接捉え、生体膜内への薬物輸送機構を分子レベルで解き明かした。薬物放出に関わるタンパク質部位を分子レベルで明らかにした本研究は、膜タンパク質を含む生体膜と相互作用したタンパク質の構造と機能研究に新領域を拓くと考えられる。
- ・ 放射光源の高度化に向けた計測技術の R&D のため、紫外線レーザーを用いて世界最高水準のエネルギー・角度分解能と空間分解能を備えた角度分解光電子顕微分光装置を開発した。今年度より本装置を用いた国際共同研究を広く展開し、反強磁性トポロジカル絶縁体  $\text{MnBi}_2\text{Te}_4$  の表面準位にギャップないことを初めて明らかにした (Phys. Rev. X **9**, 041038 (2019), 米国物理学会のウェブページの Physics Synopsis で紹介された)。
- ・ 価数相転移を示す物質として有名な  $\text{YbInCu}_4$  に対し、スパッタ・アニールにより清浄表

面の作成に成功し、価数相転移とともに、局在スピンと伝導電子の混成が促進されることを、角度分解光電子分光で初めて観測した。また、硬 X 線領域における共鳴光電子スペクトルの取得に始めて成功し、価数相転移とともに、局在スピンと伝導電子の間の相互作用が小さくなることを明らかにした。これまで、予測されていたながら実験的に観測されていなかった、価数相転移にもなう局在スピンと伝導電子の混成の変化、および、相互作用の変化を初めて観測したという点で、価数相転移現象の理解に貢献した。硬 X 線領域における共鳴光電子分光は最近開発がすすんでいる新しい手法で、この手法を適用することで、局在スピンと伝導電子の間の相互作用が抽出できることを示したという点で意義がある。

### (3) 2019年度の共同研究の状況

- 共同研究の国際公募を行い、130 課題を採択した。
- 受入人数 238 人 (実人数) のうち、学内者 79 人 (33%)、学外者 159 人 (67%) である。このうち海外研究機関からは 64 人 (27%) を受け入れている。共同研究機関は 51 機関で、内訳では、国立大学が 14 機関、公私立大学が 7 機関、公的研究機関および企業が 10 機関、外国が 20 機関であった。

### (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、1/10000 mmの超高精度で試料を移動させることができる、極低温超高精度多軸マニピュレータを開発した。レーザー励起の角度分解光電子分光装置に組み込み、空間分解能を高めたマッピングを効率的に行えるソフトウェアを整備した。令和元度は共同利用・共同研究に供し、不均一な表面を持つ反強磁性トポロジカル絶縁体や微小な針状カルコゲナイドなどの電子構造の研究などを進めた。
- 物質・材料研究機構  
真空紫外線とは相補的な情報が得られる硬X線域の高分解能光電子分光を推進するため、物質・材料研究機構と共同研究契約を締結し、大型放射光実験施設SPring-8において硬X線高分解能光電子分光実験ステーションを共同開発した。内殻準位の精密解析が可能であり、強相関物質の価数転移の研究などで本拠点の放射光実験と相補的な情報を得ることができる。2019年度もこの実験ステーションは共同利用に供され、強相関物質、半導体、機能性材料などの研究に貢献をした。
- 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「次世代人材育成のための加速器科学教育・研究拠点の形成」が継続して採択され、この枠組みの中で KEK の専門家を招聘し、学生も参加する形で、最新の放射光源技術に関するセミナーを開催するなど、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))。本年度は微小集光光学系を導入し、最適化を進めた。その結果、ビームスポットは従来の 1/10 以下に微小化でき、強度も 60eV 以下で約 35% 向上した。

- ・ 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 (~10 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。極低温実験を効率的に実施するために液体 He フロー型の全軸モーター駆動のゴニオメータを整備した。これにより方位角を容易に微調整できるようになり、アジマス角、チルト角のいずれを用いてもフェルミ面マッピングができるようになった。
- ・ 紫外線 (6 eV) レーザーを導入し、レーザースピン 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  $\mu\text{m}$  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揮発・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。測定システムのハイスループット化を目指して、放射光サイズを微小化 ( $\phi=20 \mu\text{m}$ ) できる集光ミラーを用いて、16 種類の試料が一度のマウントで測定できる機構を構築した。また、回転機構を備えたセルホルダーの開発し、直線二色性を持つ固体やゲル化試料の構造研究を可能にした。
- ・ 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。

#### (6) 国際ワークショップなどの開催

International Young Researchers Workshop on Synchrotron Radiation Science 2019 (2019年9月3-4日) を開催し、高輝度光源を利用した先端研究や計測装置・技術開発、計測・マテリアルズインフォマティクスなどの多彩なセッションにより、各分野の先端研究・手法・課題・近未来像を共有することで、異分野の若手研究者間で知識交換や共同研究をスタートできる土壌を作った (参加者60名、うち海外12名)。

2020年3月10-11日に第24回広島放射光国際シンポジウム (招待講演者8名、うち海外5名) の開催を予定していたが、新型コロナウイルス感染症の拡大の影響で中止した。

(7) 放射光科学院生実験の実施：大学院教育への貢献

2019年度も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9名、岡山大学2名)。

原著論文

- [1] H. Anzai, S. Ishihara, H. Shiono, K. Mimura, T. Iwazumi, H. Sato, T. Zhuang, K. Matsumoto, K. Hiraoka: “Yb L<sub>III</sub>-edge and Cu K-edge x-ray absorption spectroscopy in YbCdCu<sub>4</sub> and YbInCu<sub>4</sub>”, *AIP Conf. Proc.* **2054**, 040006 (4p) (2019) .
- [2] © H. Shiono, S. Ishihara, K. Mimura, H. Sato, E. F. Schwier, K. Shimada, M. Taniguchi, S. Ideta, K. Tanaka, T. Zhuang, K. T. Matsumoto, K. Hiraoka, H. Anzai: “Temperature dependence of the Kondo resonance peak in photoemission spectra of YbCdCu<sub>4</sub>”, *AIP Conf. Proc.* **2054**, 040013 (4p) (2019) .
- [3] © E. F. Schwier, H. Takita, W. Mansur, A. Ino, M. Hoesch, M. D. Watson, A. A. Haghighirad, K. Shimada: “Applications for ultimate spatial resolution in LASER based  $\mu$ -ARPES: A FeSe case study”, *AIP Conf. Proc.* **2054**, 040017 (6p) (2019) .
- [4] O. J. Clark, F. Mazzola, I. Marković, J. Riley, J. Feng, B.-J. Yang, K. Sumida, T. Okuda, J. Fujii, I. Vobornik, T. Kim, K. Okawa, T. Sasagawa, M. S Bahramy, P. DC King: “A general route to form topologically-protected surface”, *Electronic Structure* **1**, 014002 (13p) (2019) .
- [5] P. K. Das, D. Di Sante, F. Cilento, C. Bigi, D. Kopic, D. Soranzio, A. Sterzi, J. A. Krieger, I. Vobornik, J. Fujii, T. Okuda, V. N. Strocov, M. B. H Breese, F. Parmigiani, G. Rossi, S. Picozzi, R. Thomale, G. Sangiovanni, R. Cava, G. Panaccione: “Electronic properties of candidate type-II Weyl semimetal WTe<sub>2</sub>. A review perspective”, *Electronic Structure* **1**, 014003 (18p) (2019) .
- [6] V. E. Bursian, A. K. Kaveev, A. M. Korovin, B. B. Krichevtsov, L. V. Lutsev, S. M. Suturin, M. Sawada, N. S. Sokolo: “Bulk-like dynamic magnetic properties of nickel ferrite epitaxial thin films grown on SrTiO<sub>3</sub>(001) substrates”, *IEEE Magnetics Letters* **10**, 6104505 (2019) .
- [7] ○ P. K. Gupta, S. Ghosh, S. Kumar, A. Pal, P. Singh, M. Alam, A. Singh, S. Roy, R. Singh, B. P. Singh, N. N. Kumar, E. F. Schwier, M. Sawada, T. Matsumura, K. Shimada, H. J. Lin, Y. Y. Chin, A. K. Ghosh, S. Chatterjee: “Room temperature exchange bias in antiferromagnetic composite BiFeO<sub>3</sub>-TbMnO<sub>3</sub>”, *J. Appl. Phys.* **126**, 243903 (2019) .
- [8] M. Matsusaki, A. Okuda, K. Matsuo, K. Gekko, T. Masuda, Y. Naruo, A. Hirose, K. Kono, Y. Tsuchi, R. Urade: “Regulation of plant ER oxidoreductin 1 (ERO1) activity for efficient oxidative protein folding”, *J. Bio. Chem.* **294**, 18820-18835 (2019) .
- [9] © T. Kawasaki, Y. Izumi, G. Ohori, H. Kitahara, T. Furuya, K. Yamamoto, K. Matsuo, M. Tani, K. Tsukiyama: “Study on irradiation effect of mid-infrared free electron laser on hen egg-white lysozyme by using terahertz-time domain spectroscopy and synchrotron-radiation vacuum-ultraviolet circular-dichroism spectroscopy”, *J. Infrared, Millimeter, Terahertz Waves* **40**, 998–1009 (2019) .
- [10] © A. Pal, S. Ghosh, S. Kumar, E. F. Schwier, M. Sawada, K. Shimada, M. Gupta, D. M. Phase, A. K. Ghosh, S. Chatterjee: “Electronic structure by X-ray absorption spectroscopy and observation of field induced unusually slow spin relaxation from magnetic properties in pyrochlore Eu<sub>2-x</sub>Fe<sub>x</sub>Ti<sub>2</sub>O<sub>7</sub>”, *J. Magn. Magn. Mater.* **476**, 7-17 (2019) .

- [11] © D. Ootsuki, H. Ishii, K. Kudo, M. Nohara, M. Arita, H. Namatame, M. Taniguchi, N. L. Saini, T. Mizokawa: “Interplay between spin-orbit interaction and stripe-type charge-orbital order of IrTe<sub>2</sub>”, *J. Phys. Chem. Solids* **128**, 270-274 (2019) .
- [12] © A. Pal, S. Ghosh, A. G. Joshi, S. Kumar, S. Patil, P. K. Gupta, P. Singh, V. K. Gangwar, P. Prakash, R. K. Singh, E. F. Schwier, M. Sawada, K. Shimada, A. K. Ghosh, A. Das, S. Chatterjee: “Investigation of multi-mode spin-phonon coupling and local B-site disorder in Pr<sub>2</sub>CoFeO<sub>6</sub> by Raman spectroscopy and correlation with its electronic structure by XPS and XAS studies”, *J. Phys.: Condens. Matter* **31**, 275802 (10p) (2019) .
- [13] © S. Matsuba, K. Shimada, M. Katoh, K. Kawase, K. Harada: “Design study of an electron storage ring for the future plan of Hiroshima Synchrotron Radiation Center”, *J. Phys.: Conf. Ser.* **1350**, 012015 (5p) (2019) .
- [14] © M. M. Otrokov, I. I. Klimovskikh, H. Bentmann, D. Estyunin, A. Zeugner, Z. S. Aliev, S. Gaß, A. U. B. Wolter, A. V. Koroleva, A. M. Shikin, M. Blanco-Rey, M. Hoffmann, I. P. Rusinov, A. Yu. Vyazovskaya, S. V. Ereemeev, Yu. M. Koroteev, V. M. Kuznetsov, F. Freyse, J. Sánchez-Barriga, I. R. Amiraslanov, M. B. Babanly, N. T. Mamedov, N. A. Abdullayev, V. N. Zverev, A. Alfonsov, V. Kataev, B. Büchner, E. F. Schwier, S. Kumar, A. Kimura, L. Petaccia, G. Di Santo, R. C. Vida, S. Schatz, K. Kißner, M. Ünzelmann, C. H. Min, S. Moser, T. R. F. Peixoto, F. Reinert, A. Ernst, P. M. Echenique, A. Isaeva, E. V. Chulkov: “Prediction and observation of an antiferromagnetic topological insulator”, *Nature* **576**, 416-422 (2019) .
- [15] P. K. Das, D. Di Sante, I. Vobornik, J. Fujii, T. Okuda, E. Bruyer, A. Gyenis, B. E. Feldman, J. Tao, R. Ciancio, G. Rossi, M. N. Ali, S. Picozzi, A. Yadzani, G. Panaccione, R. J. Cava: “Layer-dependent quantum cooperation of electron and hole states in the anomalous semimetal WTe<sub>2</sub> (vol 7, 11355, 2016)”, *Nature Commun.* **10**, 648 (2019) .
- [16] © Y. Ohtsubo, Y. Yamashita, K. Hagiwara, S. Ideta, K. Tanaka, R. Yukawa, K. Horiba, H. Kumigashira, K. Miyamoto, T. Okuda, W. Hirano, F. Iga, S. Kimura: “Non-trivial surface states of samarium hexaboride at the (111) surface”, *Nature Commun.* **10**, 2298 (2019) .
- [17] © Y. Feng, Q. Jiang, B. Feng, M. Yang, T. Xu, W. Liu, X. Yang, M. Arita, E. F. Schwier, K. Shimada, H. O. Jeschke, R. Thomale, Y. Shi, X. Wu, S. Xiao, S. Qiao, S. He: “Rashba-like spin splitting along three momentum directions in trigonal layered PtBi<sub>2</sub>”, *Nature Commun.* **10**, 4765 (2019) .
- [18] Y. Hikosaka, T. Kaneyasu, M. Fujimoto, H. Iwayama, M. Katoh: “Coherent control in the extreme ultraviolet and attosecond regime by synchrotron radiation”, *Nature Commun.* **10**, 4988 (2019) .
- [19] I. Markovic, C. A. Hooley, O. J. Clark, F. Mazzola, M. D. Watson, J. M. Riley, K. Volckaert, K. Underwood, M. S. Dyer, P. A. E. Murgatroyd, K. J. Murphy, P. Le Fevre, F. Bertran, J. Fujii, I. Vobornik, S. Wu, T. Okuda, J. Alaria, P. D. C. King: “Weyl-like points from band inversions of spin-polarised surface states in NbGeSb”, *Nature Commun.* **10**, 5485 (2019) .
- [20] P. Zhang, Z. Wang, X. Wu, K. Yaji, Y. Ishida, Y. Kohama, G. Dai, Y. Sun, C. Bareille, K. Kuroda, T. Kondo, K. Okazaki, K. Kindo, X. Wang, C. Jin, J. Hu, R. Thomale, K. Sumida, S. Wu, K. Miyamoto, T. Okuda, H. Ding, G. D. Gu, T. Tamegai, T. Kawakami, M. Sato, S. Shin: “Multiple topological states in iron-based superconductors”, *Nature Phys.* **15**, 41-47 (2019) .
- [21] J.-H. Jou, Y.-T. Lin, Y.-T. Su, W.-C. Song, S. Kumar, D. K. Dubey, J.-J. Shyue, H.-Y. Chang, Y.-W. You, T.-W. Liang: “Plausible degradation mechanisms in organic light-emitting diodes”,



*Organic Electronics* **67**, 222-231 (2019) .

- [22] © S. Xiao, D. C. Peets, W. Liu, S. Zhang, Y. Feng, W.-H. Jiao, G.-H. Cao, E. F. Schvier, K. Shimada, C. Li, X. Zhou, S. He: “Electronic structure and H-T phase diagram of  $\text{Eu}(\text{Fe}_{1-x}\text{Rh}_x)_2\text{As}_2$ ”, *Phys. Rev. B* **100**, 054510 (9p) (2019) .
- [23] © T. Kono, M. Kakoki, T. Yoshikawa, X. Wang, K. Sumida, K. Miyamoto, T. Muro, Y. Takeda, Y. Saitoh, K. Goto, Y. Sakuraba, K. Hono, A. Kimura: “Element-specific density of states of  $\text{Co}_2\text{MnGe}$  revealed by resonant photoelectron spectroscopy”, *Phys. Rev. B* **100**, 165120 (2019) .
- [24] © X. Wang, J. Chen, M. Zheng, T. V. Menshchikova, I. P. Rusinov, E. F. Schvier, F. Orbanić, S. Wu, K. Sumida, T. Yoshikawa, K. Miyamoto, M. Nurmamat, T. Okuda, K. Shimada, M. Novak, E. V. Chulkov, A. Kimura: “Disentangling orbital and spin textures of surface-derived states in non-symmorphic semimetal  $\text{HfSiS}$ ”, *Phys. Rev. B* **100**, 205140 (7p) (2019) .
- [25] H. Anzai, S. Ishihara, H. Shiono, K. Morikawa, T. Iwazumi, H. Sato, T. Zhuang, K. T. Matsumoto, K. Hiraoka: “Mixed-valence state of the rare-earth compounds  $\text{YbXCu}_4$  ( $X = \text{Mg, Cd, In, and Sn}$ ): Magnetic susceptibility, x-ray diffraction, and x-ray absorption spectroscopy investigations”, *Phys. Rev. B* **100**, 245124 (2019) .
- [26] © Y.-J. Hao, P. Liu, Y. Feng, X.-M. Ma, E. F. Schvier, M. Arita, S. Kumar, C. Hu, R. Lu, M. Zeng, Y. Wang, Z. Hao, H.-Y. Sun, K. Zhang, J. Mei, N. Ni, L. Wu, K. Shimada, C. Chen, Q. Liu, C. Liu: “Gapless surface Dirac cone in antiferromagnetic topological insulator  $\text{MnBi}_2\text{Te}_4$ ”, *Phys. Rev. X* **9**, 041038 (10p) (2019) .
- [27] M. Hoesch, L. Gannon, K. Shimada, B. J. Parrett, M. D. Watson, T. K. Kim, X. D. Zhu, C. Petrovic: “Disorder quenching of the charge density wave in  $\text{ZrTe}_3$ ”, *Phys. Rev. Lett.* **122**, 17601 (2019) .
- [28] © B. Feng, H. Zhou, Y. Feng, H. Liu, S. He, I. Matsuda, L. Chen, E. F. Schvier, K. Shimada, S. Meng, K. Wu: “Superstructure-induced splitting of Dirac cones in silicene”, *Phys. Rev. Lett.* **122**, 196801 (6p) (2019) .
- [29] © B. Feng, R.-W. Zhang, Y. Feng, B. Fu, S. Wu, K. Miyamoto, S. He, L. Chen, K. Wu, K. Shimada, T. Okuda, Y. Yao: “Discovery of Weyl nodal lines in a single-layer ferromagnet”, *Phys. Rev. Lett.* **123**, 116401 (6p) (2019) .
- [30] © K. Fukutani, R. Stania, J. Jung, E. F. Schvier, K. Shimada, C. I. Kwon, J. S. Kim, H. W. Yeom: “Electrical tuning of the excitonic insulator ground state of  $\text{Ta}_2\text{NiSe}_5$ ”, *Phys. Rev. Lett.* **123**, 206401 (5p) (2019) .
- [31] © Y. Hu, X. Chen, S.-T. Peng, C. Lane, M. Matzelle, Z.-L. Sun, M. Hashimoto, D.-H. Lu, E. F. Schvier, M. Arita, T. Wu, R. S. Markiewicz, K. Shimada, X.-H. Chen, Z.-X. Shen, A. Bansil, S. D. Wilson, J.-F. He: “Spectroscopic evidence for electron-boson coupling in electron-doped  $\text{Sr}_2\text{IrO}_4$ ”, *Phys. Rev. Lett.* **123**, 216402 (2019) .
- [32] T. Kaneyasu, Y. Hikosaka, M. Fujimoto, H. Iwayama, M. Katoh: “Controlling the orbital alignment in atoms using cross-circularly polarized extreme ultraviolet wave packets”, *Phys. Rev. Lett.* **123**, 233401 (5p) (2019) .
- [33] H. Kawaguchi, M. Katoh: “Orbital angular momentum of Liénard–Wiechert fields”, *Prog. Theo. Exp. Phys.* **2019**, 083A02 (18p) (2019) .
- [34] Y. Izumi: “Structural alterations of histone proteins in DNA-damaged cells revealed by synchrotron radiation circular dichroism spectroscopy: a new piece of the DNA-damage-response puzzle”, *Quantum Beam Science* **3**, 23 (2019) .

- [35] © K. Nishikubo, Y. Izumi, Y. Matsumoto, K. Fujii, K. Matsuo, A. Yokoya: “Structural analysis of DNA repair protein XRCC4 applying circular dichroism in an aqueous solution”, *Radiation Protection Dosimetry* **183**, 36-39 (2019) .
- [36] © K. Deng, M. Z. Yan, C. P. Yu, J. H. Li, X. Zhou, K. N. Zhang, Y. X. Zhao, K. Miyamoto, T. Okuda, W. H. Duan, Y. Wu, X. Y. Zhong, S. Y. Zhou: “Crossover from 2D metal to 3D Dirac semimetal in metallic PtTe<sub>2</sub> films with local Rashba effect”, *Sci. Bull.* **64**, 1044-1048 (2019) .
- [37] © H. Iwasawa, H. Takita, K. Goto, W. Mansuer, T. Miyashita, E. F. Schwier, A. Ino, K. Shimada, Y. Aiura: “Accurate and efficient data acquisition methods for high-resolution angle-resolved photoemission microscopy”, *Sci. Rep.* **8**, 17431 (2019) .
- [38] © A. M. Shikin, D. A. Estyunin, Y. I. Surnin, A. V. Koroleva, E. V. Shevchenko, K. A. Kokh, O. E. Tereshchenko, S. Kumar, E. F. Schwier, K. Shimada, T. Yoshikawa, Y. Saitoh, Y. Takeda, A. Kimura: “Dirac gap opening and Dirac-fermion-mediated magnetic coupling in antiferromagnetic Gd-doped topological insulators and their manipulation by synchrotron radiation”, *Sci. Rep.* **9**, 4813 (2019) .

#### 国際会議

(招待講演)

- [1] K. Matsuo: “Characterizations of biomolecule structures in aqueous solution using synchrotron-radiation circular-dichroism spectroscopy”, Materials Science Workshop, (Linköping, Sweden, 2019.5.21-23)
- [2] T. Okuda: “Hidden spin-polarized states at the interface of layered materials investigated by spin- and angle-resolved photoemission”, The 17th International Conference on the Formation of Semiconductor Interfaces (ICFSI17) , (Shanghai, China, 2019.6.24-28)
- [3] K. Matsuo: “Synchrotron-radiation circular-dichroism spectroscopy as a tool to monitor protein structure in a lipid environment”, International Young Researchers Workshop on Synchrotron Radiation Science 2019, (Higashi-Hiroshima, Japan, 2019.9.3-4)
- [4] T. Okuda: “Hidden local spin-polarized electronic states investigated by spin- and angle-resolved photoelectron spectroscopy”, American Vacuum Society 66th International Symposium and Exhibition (AVS66) , (Columbus, Ohio, 2019.10.20-25)
- [5] T. Okuda: “Spin-resolved ARPES: high-efficiency detector and results at HiSOR”, Russian-German Workshop 2019, Inauguration of the Undulator Beamline of the Russian-German Laboratory at BESSY II, Accompanied by a workshop on Spin-resolved Photoemission and Electronic Structure of Quantum and Energy Materials, (Berlin, Germany, 2019.10.28-29)
- [6] M. Katoh: “Spatial structure of radiation from relativistic electrons”, 38th JSST Annual International Conference on Simulation Technology (JSST2019) , (San Diego, USA, Miyazaki, Japan, 2019.11.5-7)
- [7] Y. Izumi: “Structural changes of histone protein in DNA-damaged cells revealed by synchrotron radiation circular dichroism spectroscopy”, 2019 Korean-Japanese Student Workshop Pusan National University & Hiroshima University, (Busan, Korea, 2019.11.7-9)
- [8] K. Matsuo: “Synchrotron-radiation circular-dichroism spectroscopy for monitoring biomolecule structures in various environments”, MIRAI: Moving Together Towards a Sustainable Future, (Stockholm, Sweden, 2019.11.12-14)

(一般講演)

- [1] T. Okuda: “High-efficient spin-resolved photoelectron spectroscopy end-station at Hiroshima Synchrotron Radiation Center”, The 80th Okazaki Conference (Chirality-induced spin selectivity and its related phenomena) , (Okazaki, Japan, 2019. 5.15-18)
- [2] S. Matsuba, K. Kawase, A. Miyamoto, S. Sasaki, T. Konomi, N. Yamamoto, M. Hosaka, M. Fujimoto, M. Katoh: “Experimental demonstration of vector beam generation with tandem helical undulator”, 10th International Particle Accelerator Conference, (Melbourne, Australia, 2019.5.19-25)
- [3] © H. Sato, A. Rousuli, Y. Matsumoto, S. Ohara, T. Ueda, T. Nagasaki, K. Mimura, H. Anzai, K. Ichiki, S. Ueda, K. Shimada, H. Namatame: “Hard x-ray photoemission spectroscopy of Kondo lattices  $\text{YbNi}_2\text{X}_2$  ( $\text{X}=\text{Si}, \text{Ge}$ )”, 8th International Conference on Hard X-ray Photoelectron Spectroscopy (HAXPES 2019) , (Paris, France, 2019.6.2-7)
- [4] K. Mimura, T. Kawabata, Y. Akedo, K. Abe, T. Matsumoto, R. Shimokasa, A. Yasui, M. Mizumaki, N. Kawamura, E. Ikenaga, S. Tsutsui, H. Sato, T. Uozumi, T. D. Matsuda, Y. Ōnuki: “Yb 4f-5d Coulomb repulsion of  $\text{YbCu}_2\text{Si}_2$  derived from resonant HAXPES (HAXPES 2019) , (Paris, France, 2019.6.2-7)
- [5] K. Matsuo, K. Gekko: “Interaction mechanism between  $\alpha_1$ -acid glycoprotein and membrane characterized by synchrotron-radiation circular-dichroism spectroscopy”, International Conference on Chiroptical Spectroscopy, (Pisa, Italy, 2019.6.23-27)
- [6] ©K. Shimada, K. Goto, H. Namatame, E. F. Schwier: “Electronic structure around the X-point of Ni studied by ARPES and DFT+(U, J,  $\mu$ )”, International workshop on strong correlations and angle-resolved photoemission spectroscopy (CORPES19) , (Oxford, UK, 2019.7.15-19)
- [7] M. Katoh: “Optical vortex emitted from free electrons in nature”, Light in Nature VII: SPIE Optics + Photonics, (San Diego, USA, 2019.8.11-15)
- [8] © T. Matsuda, K. Miyamoto, A. Kimura, T. Okuda: “Optical vortex emitted from free electrons in nature”, Light in Nature VII: SPIE Optics + Photonics, (San Diego, USA, 2019.8.11-15)
- [9] 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: “Yb  $L_3$  resonant hard x-ray photoemission spectroscopy of valence transition compound  $\text{YbInCu}_4$ ”, International Conference on Strongly Correlated Electron Systems 2019 (SCES2019) , (Okayama, Japan, 2019.9.23-28)
- [10] ©H. Sato, A. Rousuli, Y. Matsumoto, S. Ohara, T. Ueda, T. Nagasaki, K. Mimura, H. Anzai, K. Ichiki, S. Ueda, K. Shimada, H. Namatame: “Electronic structure of  $\text{YbNi}_2\text{X}_2$  ( $\text{X}=\text{Si}, \text{Ge}$ ) studied by hard x-ray photoemission spectroscopy”, International Conference on Strongly Correlated Electron Systems 2019 (SCES2019) , (Okayama, Japan, 2019.9.23-28)
- [11] K. Mimura, T. Kawabata, Y. Akedo, K. Abe, T. Matsumoto, R. Shimokasa, A. Yasui, M. Mizumaki, N. Kawamura, E. Ikenaga, S. Tsutsui, H. Sato, T. Uozumi, T. D. Matsuda, Y. Ōnuki: “Yb 4f-5d Coulomb repulsion of  $\text{YbCu}_2\text{Si}_2$  derived from resonant hard x-ray photoemission spectroscopy”, International Conference on Strongly Correlated Electron Systems 2019 (SCES2019) , (Okayama, Japan, 2019.9.23-28)
- [12] G. Isumi, M. Mizumaki, N. Sasabe, A. Yasui, Y. Akedo, T. Kawabata, R. Shimokasa, Y. Shibagaki, N. Kawamura, E. Ikenaga, S. Tsutsui, H. Sato, T. Uozumi, T. D. Matsuda, Y. Ōnuki, K. Mimura:

“Relation of Ce 4f-5d Coulomb repulsion to quantum critical phenomena in Ce122 studied by resonant hard x-ray photoemission spectroscopy”, International Conference on Strongly Correlated Electron Systems 2019 (SCES2019) , (Okayama, Japan, 2019.9.23-28)

- [13] 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 YbMgCu<sub>4</sub>”, International Conference on Strongly Correlated Electron Systems 2019 (SCES2019) , (Okayama, Japan, 2019.9.23-28)
- [14] T. Mayumi, Y. Ohashi, M. Sawada: “Development of a soft X-ray reflectometer in a low vacuum environment for magnetic films”, 19th International Conference on Solid Films and Surfaces (ICSFS19) , (Hiroshima, Japan, 2019.10.6-11)
- [15] X. Hou, W. Mi, M. Sawada: “Biaxial strain and electric effects at BaTiO<sub>3</sub>/Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> heterointerface”, 19th International Conference on Solid Films and Surfaces (ICSFS19) , (Hiroshima, Japan, 2019.10.6-11)
- [16] Y. Ohashi, T. Mayumi, M. Sawada: “Magnetic moments and its adsorbate-induced modification of h-BN/Co/Ni(111)”, The 19th International Conference on Solid Films and Surfaces (ICSFS19) , (Hiroshima, Japan, 2019.10.6-11)
- [17] © T. Shimizu, Y. Izumi, K. Matsuo: “Effects of mono-saccharides on structural stabilization of apo-myoglobin studied by synchrotron-radiation circular-dichroism spectroscopy”, 2019 Korean-Japanese Student Workshop Pusan National University & Hiroshima University, (Busan, Korea, 2019.11.7-9)
- [18] © Y. Izumi, K. Matsuo: “Secondary structure analysis of histone H2A-H2B proteins extracted from heated cells using circular dichroism spectroscopy”, 3rd QST International Symposium “Quantum Life Science”, (Nara, Japan, 2019.12.4-5)

## 国内学会

(招待講演)

- [1] 泉 雄大 : 「次世代放射光がつなぐ分子カイラリティとバイオロジー: 軟 X 線自然円二色性測定」量子生命科学セミナー (量子科学技術研究開発機構, 2019 年 9 月 3 日)
- [2] 奥田 太一 : 「スピン分解光電子分光の動向」次世代放射光ナノ光電子分光ワークショップ 2019 (東京大学, 2019 年 10 月 2 日)

(一般講演)

- [1] © 泉 雄大, 松尾 光一 : 「放射光円二色性分光による K4/K9 メチル化ヒストン H3 の構造解析」第 13 回日本エピジェネティクス研究会年会 (神奈川県民ホール, 2019 年 5 月 28-29 日)
- [2] © 泉 雄大, 松尾 光一 : 「Schwarzschild 型対物レンズを用いた真空紫外円二色性測定試料容量の低減」Symposium on Molecular Chirality 2019 (金沢, 2019 年 6 月 14-15 日)
- [3] F. Kato, K. Matsuo, M. Inouye : 「Characterization of staphylococcus aureus toxin-antitoxin system targeting DNA gyrase」広島大学歯学総会 (広島, 2019 年 6 月 15 日)

- [4] ◎ 熊代宗弘, 泉 雄大, 松尾光一:「真空紫外円二色性分光によるミエリン塩基性タンパク質のホスファチジルイノシトール生体膜相互作用研究」第 19 回日本蛋白質科学会年会 (神戸国際会議場, 2019 年 6 月 24-26 日)
- [5] ◎ 安富 諒, 古田桃子, 小林 翔, 鈴木和之, 泉 雄大, 松尾光一, 伊藤 廉:「放射光真空紫外円二色性を用いた毛髪蛋白質の構造変化の検討」第 19 回日本蛋白質科学会年会 (神戸国際会議場, 2019 年 6 月 24-26 日)
- [6] 増田太郎, 馬場清喜, 松尾光一, 三上文三:「立体構造から読み解くタイプ 3 銅タンパク質の機能分化について」第 19 回日本蛋白質科学会年会 (神戸国際会議場, 2019 年 6 月 24-26 日)
- [7] 平 義隆, 藤本将輝, 李 志遠, 保坂将人, 加藤政博:「楕円偏光アンジュレータ放射の位相構造」第 16 回日本加速器学会年会 (京都大学, 2019 年 7 月 31 日-8 月 3 日)
- [8] 松永幸大, 高嶋圭史, 保坂将人, 真野篤志, 郭 磊, 藤本将輝, 加藤政博:「UVSOR-IIIにおける短波長コヒーレント光渦発生の研究」第 16 回日本加速器学会年会 (京都大学, 2019 年 7 月 31 日-8 月 3 日)
- [9] 郭 磊, 加藤政博, 高嶋圭史, 保坂将人, 真野篤志:「CsK<sub>2</sub>Sb と Cs<sub>3</sub>Sb フォトカソード性能の pn 型半導体基板依存性」第 16 回日本加速器学会年会 (京都大学, 2019 年 7 月 31 日-8 月 3 日)
- [10] 堀 遥輝, 真野篤志, 保坂将人, 石田孝司, 郭 磊, 高嶋圭史, 加藤政博:「永久磁石を用いた偏向磁石の精密磁場測定と温度補償システムの開発」第 16 回日本加速器学会年会 (京都大学, 2019 年 7 月 31 日-8 月 3 日)
- [11] 中尾海斗, 保坂将人, 木村圭吾, 石田孝司, 真野篤志, 郭 磊, 高嶋圭史, 加藤政博, 大熊春夫:「あいち SR 電子蓄積リングにおける共鳴線の観測」第 16 回日本加速器学会年会 (京都大学, 2019 年 7 月 31 日-8 月 3 日)
- [12] ◎ 後藤公德, 松葉俊哉, 加藤政博, 島田賢也:「広島大学放射光科学研究センター光源加速器の現状」第 16 回日本加速器学会年会 (京都大学, 2019 年 7 月 31 日-8 月 3 日)
- [13] 藤本将輝, 山崎潤一郎, 林 憲志, 手島史綱, 水口あき, 加藤政博:「UVSOR の現状 2019」第 16 回日本加速器学会年会 (京都大学, 2019 年 7 月 31 日-8 月 3 日)
- [14] ◎ 福谷圭祐, Roland Stania, Jiwon Jung, Eike F. Schwier, 島田賢也, Chang Il Kwon, Jung Sung Kim, Han Woong Yeom:「励起子絶縁体 Ta<sub>2</sub>NiSe<sub>5</sub> の電場制御」日本物理学会 2019 年秋季大会 (岐阜大学, 2019 年 9 月 10-13 日)
- [15] ◎ 竹本紘子, Nurmamat Munisa, Wang Xiaoxiao, 吉川智己, Chen Jiahua, 鹿子木将明, 河野 嵩, Zhang Ke, Kumar Shiv, Eike F. Schwier, 島田賢也, 宮本幸治, 奥田太一, 木村昭夫:「遷移金属ダイカルコゲナイドにおけるバルクディラックコーンの直接観測」日本物理学会 2019 年秋季大会 (岐阜大学, 2019 年 9 月 10-13 日)
- [16] ◎ 吉川智己, 北山悠斗, Wang Xiaoxiao, 岩澤英明, 鹿子木将明, 河野 嵩, 尾田拓之慎, 小澤秀介, Shiv Kumar, Eike F. Schwier, 島田賢也, 室隆桂之, 谷田博司, 木村昭夫:「希土類元素を含むディラック電子系の放射光 ARPES」日本物理学会 2019 年秋季大会 (岐阜大学, 2019 年 9 月 10-13 日)
- [17] ◎ 守田智洋, 岡本陽平, 松澤 悠, 溝川貴司, Eike F. Schwier, 島田賢也, Naurang Saini, 梶谷 丈, 東中隆二, 松田達磨, 青木勇二:「Pr(O,F)BiS<sub>2</sub> の Pr 原子価とフェルミ面」日本物理学会 2019 年秋季大会 (岐阜大学, 2019 年 9 月 10-13 日)

- [18] ◎ 尾田拓之慎, 岩澤英明, 小澤秀介, 矢野力三, 柏谷 聡, 笹川崇男, Eike F. Schvier, 島田賢也, 木村昭夫:「高分解能 ARPES を用いた銅酸化物高温超伝導体  $\text{La}(2-x)\text{Sr}_x\text{CuO}_4$  の自己エネルギー解析」日本物理学会 2019 年秋季大会 (岐阜大学, 2019 年 9 月 10-13 日)
- [19] ◎ 山岡人志, 佐藤 仁, 引地将仁, 山中俊介, 道岡千城, 辻井直人, 石井啓文, 平岡 望, 島田賢也, 吉村一良:「 $\text{Yb}_4\text{TGe}_8$  (T=Cr, Mn, Fe, Ni)系の X 線発光分光, 光電子分光, X 線回折による電子状態と結晶構造の測定」日本物理学会 2019 年秋季大会 (岐阜大学, 2019 年 9 月 10-13 日)
- [20] ◎ 伊藤 俊, 有田将司, 春山 潤, Baojie Feng, Wei-Chuan Chen, 生天目博文, 谷口雅樹, Cheng-Maw Cheng, Guang Bian, Shu-Jung Tang, Tai-Chang Chiang, 杉野 修, 小森文夫, 松田 巖:「ビスマス超薄膜における半金属-半導体転移の微視的機構の解明」日本物理学会 2019 年秋季大会 (岐阜大学, 2019 年 9 月 10-13 日)
- [21] ◎ 鹿子木将明, 角田一樹, 河野 嵩, 後藤一希, 宮本幸治, 奥田太一, 桜庭裕弥, 宝野和博, 木村昭夫:「 $\text{Co}_2\text{MnSi}$  合金薄膜のバンド分解したスピン偏極率の観測」日本物理学会 2019 年秋季大会 (岐阜大学, 2019 年 9 月 10-13 日)
- [22] ◎ 今井健人, 加藤和貴, Jiahua Chen, 宮本幸治, 木村昭夫, 奥田太一:「 $\text{TlBi}(\text{S}_{1-x}\text{Se}_x)_2$  の温度誘起トポロジカル相転移の光電子分光による研究」日本物理学会 2019 年秋季大会 (岐阜大学, 2019 年 9 月 10-13 日)
- [23] 金安達夫, 彦坂泰正, 藤本将輝, 岩山洋士, 加藤政博:「極紫外フェムト秒放射波束対を用いたヘリウム原子のコヒーレント制御」日本物理学会 2019 年秋季大会 (岐阜大学, 2019 年 9 月 10-13 日)
- [24] 佐藤 仁, 松本拓真, 前田和大, 田口幸広, 文山知之, 石橋広記, 河村直己:「 $\text{Cu } 2p\text{-}1s$  X 線発光分光による  $\text{CuIr}_2\text{S}_4$  の金属絶縁体転移の研究」日本物理学会 2019 年秋季大会 (岐阜大学, 2019 年 9 月 10-13 日)
- [25] 松本拓真, 前田和大, 佐藤 仁, 末國晃一郎, 橋國克明, 高畠敏郎, 河村直己:「 $\text{Cu } 2p\text{-}1s$  X 線発光分光による  $\text{Cu}_{12}\text{As}_4\text{S}_{13}$  の金属半導体転移の研究」日本物理学会 2019 年秋季大会 (岐阜大学, 2019 年 9 月 10-13 日)
- [26] 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, 魚住孝幸, 松田達磨, 大貫惇睦, 三村功次郎:「共鳴硬 X 線光電子分光による  $\text{Ce}122$  の電子状態の研究」日本物理学会 2019 年秋季大会 (岐阜大学, 2019 年 9 月 10-13 日)
- [27] ◎ 吉川智己, 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, 木村昭夫:「ホイスラー合金  $\text{Co}_2\text{MnGe}(\text{Ga})$  薄膜の  $\text{Ge}(\text{Ga})$  L2,3 端における磁気円二色性スペクトル」日本物理学会 2019 年秋季大会 (岐阜大学, 2019 年 9 月 10-13 日)
- [28] ◎ 河野 嵩, 鹿子木将明, 吉川智己, Xiaoxiao Wang, 角田一樹, 宮本幸治, 室隆桂之, 竹田幸治, 斎藤祐児, 後藤一希, 桜庭裕弥, 宝野和博, 木村昭夫:「共鳴光電子分光によるホイスラー型  $\text{Co}_2\text{MnGe}$  薄膜の部分状態密度の観測」日本物理学会 2019 年秋季大会 (岐阜大学, 2019 年 9 月 10-13 日)
- [29] 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, 有田将司, A. Barinov, V. Kandyba, A. Giampietri, N. L. Saini:「カイラル結晶構造を持つ  $\text{IrGe}_4$  の光電子分光」日本物理学会 2019 年秋季大会 (岐阜大学, 2019 年 9 月 10-13 日)

- [30] 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, N. L. Saini : 「CaKFe<sub>4</sub>As<sub>4</sub> のマルチバンド電子状態と格子不安定性」日本物理学会 2019 年秋季大会 (岐阜大学, 2019 年 9 月 10-13 日)
- [31] Koichi Matsuo, Hirotsugu Hiramatsu, Robert W. Woody : 「Structural characterization of  $\beta$ 2-microglobulin core fragments in amyloid fibrils using circular dichroism theory and molecular dynamics」第 57 回日本生物物理学会 (シーガイア・コンベンションセンター, 宮崎, 2019 年 9 月 24-26 日)
- [32] 松尾光一 : 「放射光円二色性による糖類の構造ダイナミクスと水和に関する研究」第 25 回 HiSOR 研究会「小型放射光リングによる多彩な量子ビームの発生と応用」(広島大学, 2019 年 10 月 16-17 日)
- [33] 泉 雄大 : 「エピジェネティクス研究への放射光・量子ビームの応用」第 25 回 HiSOR 研究会「小型放射光リングによる多彩な量子ビームの発生と応用」(広島大学, 2019 年 10 月 16-17 日)
- [34] 島田賢也 : 「高分解能 ARPES の定量解析による自己エネルギーの導出とモデル化について」基研研究会「電子相関が生み出す超伝導現象の未解決問題と新しい潮流」(京都大学, 2019 年 10 月 28-30 日)
- [35] 島田賢也 : 「HiSOR 施設の現状と将来展望」UVSOR シンポジウム 2019 (分子科学研究所, 2019 年 11 月 17 日)
- [36] 野津庄平 : 「二光子相関による放射光パルス長の計測」2019 年度ビーム物理研究会・若手の会 (大阪大学, 2019 年 11 月 25-27 日)
- [37] 平田 翔 : 「パルス八極磁石による小型放射光リングへのビーム入射の可能性」2019 年度ビーム物理研究会・若手の会 (大阪大学, 2019 年 11 月 25-27 日)
- [38] 國宗ひな : 「レーザーコンプトン散乱によるマイクロフォーカスガンマ線源の可能性」2019 年度ビーム物理研究会・若手の会 (大阪大学, 2019 年 11 月 25-27 日)
- [39] 島田賢也 : 「Necessity for the DMFT ? Detailed comparison between LDA(+U) and ARPES」第 3 回動的平均場近似計算に関する情報交流会(ホテルアソシア静岡, 2019 年 12 月 2-3 日)
- [40] 佐藤 仁 : 「X 線発光分光・光電子分光でみる強相関電子系の電子状態」第 49 回 SPring-8 先端利用技術ワークショップ「高感度型 X 線発光分光・非弾性 X 線散乱計測が拓く元素選択的電子状態研究の展望」(名古屋大学, 2020 年 1 月 9 日)
- [41] © 石坂仁志, 田北仁志, 久保拓也, 宮下剛夫, Wumiti Mansuer, 島田賢也, 生天目博文, 上田茂典, 鬼頭 聖, 石田茂之, 岡 邦彦, 後藤義人, 藤久裕司, 吉田良行, 伊豫 彰, 荻野 拓, 永崎 洋, 川島健司, 柳 陽介, 井野明洋 : 「硬 X 線光電子分光による層状リン化カルコゲナイド超伝導体の電子状態の研究」第 33 回日本放射光学会年会・放射光科学合同シンポジウム (ウインクあいち, 2020 年 1 月 10-12 日)
- [42] 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, 魚住孝幸, 松田達磨, 大貫惇睦, 三村功次郎 : 「共鳴硬 X 線光電子分光による Ce122 の電子状態の研究」第 33 回日本放射光学会年会・放射光科学合同シンポジウム (ウインクあいち, 2020 年 1 月 10-12 日)
- [43] © 田中慎一郎, 有田将司, 島田賢也 : 「エピタキシャルグラフェンにおける電子散乱による波動関数の位相回転」第 33 回日本放射光学会年会・放射光科学合同シンポジウム (ウインクあいち, 2020 年 1 月 10-12 日)

- [44] 眞弓達矢, 大橋由佳, 澤田正博:「低真空環境下における軟 X 線反射率測定装置の開発」第 33 回日本放射光学会年会・放射光科学合同シンポジウム (ウインクあいち, 2020 年 1 月 10-12 日)
- [45] ◎ 有田将司, Eike F. Schwier, 佐藤 仁, 島田賢也, 鹿又 武:「FeSi の角度分解光電子分光」第 33 回日本放射光学会年会・放射光科学合同シンポジウム (ウインクあいち, 2020 年 1 月 10-12 日)
- [46] ◎ 千島雅大, 中田惟奈, 織田浩輔, 中島忠宏, 三島康生, 浅井祥太, 市林侑弥, 山岸弘奈, 光原 圭, 滝沢 優, 宮本幸治, 奥田太一, 今田 真:「単結晶 Bi における円偏光スピ角度分解光電子分光および軟 X 線内殻吸収」第 33 回日本放射光学会年会・放射光科学合同シンポジウム (ウインクあいち, 2020 年 1 月 10-12 日)
- [47] 郭 磊, 高嶋圭史, 保坂将人, 真野篤志, 山口尚登, 山本将博, 松井文彦, 加藤政博:「フォトカソード用のグラフェン基板の加熱洗浄効果の評価」第 33 回日本放射光学会年会・放射光科学合同シンポジウム (ウインクあいち, 2020 年 1 月 10-12 日)
- [48] 佐藤 仁, 松本拓真, 前田和大, 田口幸広, 文山知之, 石橋広記, 河村直己:「X 線発光分光による  $\text{CuIr}_2\text{S}_4$  の金属絶縁体転移の研究」第 33 回日本放射光学会年会・放射光科学合同シンポジウム (ウインクあいち, 2020 年 1 月 10-12 日)
- [49] 松本拓真, 前田和大, 佐藤 仁, 末國晃一郎, 橋國克明, 高島敏郎, 河村直己:「X 線発光分光による  $\text{Cu}_{12}\text{As}_4\text{S}_{13}$  の金属半導体転移の研究」第 33 回日本放射光学会年会・放射光科学合同シンポジウム (ウインクあいち, 2020 年 1 月 10-12 日)
- [50] ◎ 西久保開, 長谷川真保, 泉 雄大, 藤井健太郎, 松尾光一, 松本義久, 横谷明德:「VUV-CD で見えてきたリン酸化による XRCC4 会合体の構造変化解析」第 33 回日本放射光学会年会・放射光科学合同シンポジウム (ウインクあいち, 2020 年 1 月 10-12 日)
- [51] ◎ 今井健人, 加藤和貴, 松田旭央, Jiahua Chen, 宮本幸治, 木村昭夫, 奥田太一:「 $\text{TlBiS}_2$  および  $\text{TlBiSe}_2$  における温度誘起トポロジカル相転移の光電子分光による研究」第 33 回日本放射光学会年会・放射光科学合同シンポジウム (ウインクあいち, 2020 年 1 月 10-12 日)
- [52] 國宗ひな, 岡野泰彬, 加藤政博:「レーザーコンプトン散乱によるマイクロフォーカスガンマ線源の可能性」第 33 回日本放射光学会年会・放射光科学合同シンポジウム (ウインクあいち, 2020 年 1 月 10-12 日)
- [53] 藤森公佑, 北浦 守, 平 義隆, 藤本將輝, 全 炳俊, 岡野泰彬, 加藤政博, 保坂将人, 山崎潤一郎, 鎌田 圭, 大西彰正:「LCS ガンマ線を用いた陽電子消滅寿命測定によるシンチレータ結晶中カチオン空孔の可視化」第 33 回日本放射光学会年会・放射光科学合同シンポジウム (ウインクあいち, 2020 年 1 月 10-12 日)
- [54] 平田 翔, 石田孝司, 島田美帆, 加藤政博:「パルス八極磁石による小型放射光リングへのビーム入射の可能性」第 33 回日本放射光学会年会・放射光科学合同シンポジウム (ウインクあいち, 2020 年野津庄平, 松葉俊哉, 川瀬啓悟, 加藤政博:「二光子相関による放射光パルス長の計測」第 33 回日本放射光学会年会・放射光科学合同シンポジウム (ウインクあいち, 2020 年 1 月 10-12 日)
- [55] 河端 拓, 明渡 悠, 阿部晃大, 松本孝之, 下笠諒平, 保井 晃, 水牧仁一朗, 河村直己, 池永英司, 筒井智嗣, 佐藤 仁, 魚住孝幸, 松田達磨, 大貫惇睦, 三村功次郎:「共鳴硬 X 線光電子分光計測のための解析マクロの開発」第 33 回日本放射光学会年会・放射光科学合同シンポジウム (ウインクあいち, 2020 年 1 月 10-12 日)



- [56] 末永翔磨, 熊代宗弘, 松尾光一:「放射光真空紫外円二色性によるマガイニン2の生体膜相互作用に関する研究」第33回日本放射光学会年会・放射光科学合同シンポジウム(ウインクあいち, 2020年1月10-12日)
- [57] ◎ 熊代宗弘, 泉 雄大, 松尾光一:「放射光真空紫外円二色性によるミエリン塩基性タンパク質の生体膜相互作用研究」第33回日本放射光学会年会・放射光科学合同シンポジウム(ウインクあいち, 2020年1月10-12日)
- [58] ◎ 泉 雄大, 松尾光一:「放射光円二色性分光によるK4メチル化ヒストンH3の構造解析」第33回日本放射光学会年会・放射光科学合同シンポジウム(ウインクあいち, 2020年1月10-12日)
- [59] ◎ 清水 健, 熊代宗弘, Frank Wien, 泉 雄大, 松尾光一:「真空紫外円二色性分光法を用いた単糖類の分子特性とアポミオグロビンの構造安定化についての研究」第33回日本放射光学会年会・放射光科学合同シンポジウム(ウインクあいち, 2020年1月10-12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      | 4 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      | 11 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 | 5 件  |

#### セミナー・講演会開催実績

##### (HiSORセミナーの主催)

- [1] 福本恵紀(高エネルギー加速器研究機構);“フェムト秒時間分解光電子顕微鏡による半導体表面のキャリアダイナミクス”, 2019年8月26日
- [2] 寺尾憲(大阪大学);“多糖およびその誘導体の溶液中における分子形態と機能性”, 2019年10月8日
- [3] Sutiman B. Sumitro (Brawijaya University);“Herbal medicine, radical scavenger and metal detoxification: bioinorganic, complexity and nano science perspectives”, 2019年10月16日
- [4] Bernd Kaestner (Metrology Light Source);“シンクロトロン IR ナノ分光法 - 新しい検出および測定スキーム/Synchrotron IR nanospectroscopy - novel detection and measurement schemes”, 2019年11月19日
- [5] 奥村久士(分子科学研究所);“アルツハイマー病を引き起こすタンパク質凝集体の分子動力学シミュレーション”, 2019年11月21日
- [6] Zachary J. Liptak (University of Hawaii);“Belle II commissioning, first results, and future prospects”, 2019年12月2日
- [7] Yogendra Kumar (Chinese Academy of Sciences);“Introduction to ferromagnetic spinel system and HP-HT synthesis”, 2020年1月24日

- [8] 島田美帆, 本田洋介 (高エネルギー加速器研究機構); “先端放射光源研究の現状と展望”, 2020年1月31日
- [9] 金安達夫 (九州シンクロトロン光研究センター); “シンクロトロン放射によるヘリウム原子のアト秒コヒーレント制御”, 2020年3月24日

(国際シンポジウム・ワークショップ主催)

- [1] International Young Researchers Workshop on Synchrotron Radiation Science 2019, (2019年9月3-4日 参加者総数 60名)
- [2] Electronic and Magnetic Properties of Materials Using Large Scale Facilities, (2019年10月20-26日 参加者総数 28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] 広島大学附属三原中学校, 24名 (2019年7月12日)
- [2] 広島県立広島井口高等学校, 28名 (2019年7月17日)
- [3] オープンキャンパス, 156名 (2019年8月20日)
- [4] オープンキャンパス, 19名 (2019年8月21日)
- [5] 磯松中学校, 38名 (2019年8月21日)
- [6] 鳥取県立鳥取東高等学校, 24名 (2019年9月10日)
- [7] 島根県立浜田高等学校, 23名 (2019年9月18日)
- [8] 竹原市賀茂川中学校, 34名 (2019年9月27日)
- [9] 広島大学附属福山中学校, 25名 (2019年10月18日)
- [10] 広島県立広島国泰寺高等学校, 60名 (2019年10月23日)
- [11] 高水高等学校附属中学校, 21名 (2019年11月6日)
- [12] 広島県立祇園北高等学校, 41名 (2019年12月19日)

(海外機関の見学・研修受入)

- [1] 駐日欧州連合代表部, 3名 (2019年4月17日)
- [2] グラスゴー大学, 4名 (2019年5月17日)
- [3] ロシア学生サマースクール, 12名 (2019年8月2日)
- [4] さくらサイエンスプロジェクト, 19名 (2019年8月8日)
- [5] エジプト政府派遣ショートステイプログラム, 25名 (2019年9月10日)
- [6] オーストラリア・クィーンズランド州 STEM 研修, 18名 (2019年12月6日)
- [7] 国立中山大学 (台湾), 9名 (2019年12月16日)

(一般の見学・研修受入)

- [1] 広島県環境保険協会, 3名 (2019年5月8日)
- [2] 横浜国立大学, 2名 (2019年5月17日)
- [3] 文部科学省, 4名 (2019年5月31日)

- [4] サンディスク株式会社, 1名 (2019年6月26日)
- [5] 浜松ホトニクス株式会社, 2名 (2019年7月4日)
- [6] 日本原子力研究開発機構, 2名 (2019年7月12日)
- [7] グローバルサイエンスキャンパス, 30名 (2019年8月8日)
- [8] 東京大学, 富山大学, 3名 (2019年8月22日)
- [9] 放射光科学若手国際ワークショップ参加者, 9名 (2019年9月4日)
- [10] 第24回 HiSOR 研究会参加者, 6名 (2019年9月6日)
- [11] 宇宙航空研究開発機構, 3名 (2019年10月11日)
- [12] 広島大学附属中学校職場体験学習, 15名 (2019年11月1日)
- [13] 令和1年度理学部・大学院理学研究科公開(ホームカミングデー), 70名 (2019年11月3日)
- [14] スカンジノバ・システムズ(株), 3名 (2019年12月4日)
- [15] 三菱電機, 3名 (2019年12月6日)
- [16] 第26回 FEL と High-Power Radiation 研究会, 8名 (2019年12月18日)
- [17] 高エネルギー加速器研究機構, 6名 (2019年12月24日)
- [18] 文部科学省高等教育局, 2名 (2020年1月21日)
- [19] アサヒクオリティードイノベーションズ株式会社プロセス開発研究所, 1名 (2020年2月7日)

(学内の見学・研修受入)

- [1] 工学研究科, 3名 (2019年4月11日)
- [2] 工学研究科, 2名 (2019年4月16日)
- [3] 広島大学新採用教員基礎研修, 19名 (2019年5月7日)
- [4] 中学教員免許用の実験授業(物理学実験A), 20名 (2019年5月16日)
- [5] 理学融合教育研究センター, 21名 (2019年5月23日)
- [6] 理学研究科, 21名 (2019年6月4日)
- [7] 理学研究科, 31名 (2019年6月7日)
- [8] 先端物質科学研究科, 13名 (2019年6月25日)
- [9] 理学研究科, 12名 (2019年6月28日)
- [10] 工学研究科, 2名 (2019年7月19日)
- [11] 理学融合教育研究センター, 21名 (2019年8月1日)
- [12] 理学研究科, 21名 (2019年11月8日)
- [13] 理学研究科, 4名 (2019年11月14日)
- [14] デジタルものづくり教育研究センター, 1名 (2019年11月27日)
- [15] 理学研究科, 7名 (2019年12月17日)
- [16] 工学研究院, 40名 (2019年12月20日)
- [17] 理学研究科, 13名 (2020年1月10日)
- [18] 理学研究科, 1名 (2020年2月12日)
- [19] 先端物質科学研究科, 3名 (2020年2月14日)
- [20] 先端物質科学研究科, 3名 (2020年3月3日)

(学協会委員)

- [1] 島田賢也 : Scientific committee member of “International workshop on strong correlations and angle-resolved photoemission spectroscopy (CORPES19)”
- [2] 奥田太一 : 日本表面科学会関西支部幹事
- [3] 奥田太一 : 日本放射光学会プログラム委員
- [4] 加藤政博 : 日本加速器学会評議員
- [5] 加藤政博 : 日本放射光学会評議員
- [6] 松尾光一 : Member of editorial board in “Biomedical Spectroscopy and Imaging - IOS Press”
- [7] 松尾光一 : Members of the PCDDDB (Protein Circular Dichroism Data Bank) International Technical Advisory Board
- [8] 松尾光一 : Molecular Chirality 2019 実行委員 (2019年6月14-15日)
- [9] 佐藤 仁 : 日本物理学会 Jr.セッション委員
- [10] 佐藤 仁 : 広島県物理教育研究推進会事務局, 庶務幹事
- [11] 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 : 国立大学共同利用・共同研究拠点協議会幹事
- [2] 島田賢也 : SPring-8 専用施設審査委員会委員
- [3] 奥田太一 : SPring-8 / SACLA 成果審査委員会査読者
- [4] 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
- [5] 奥田太一 : 日本学術振興会 科学研究費委員会専門委員
- [6] 奥田太一 : 分子化学研究所・UVSOR 運営委員会委員
- [7] 奥田太一 : VSX 利用者懇談会幹事
- [8] 生天目博文 : SPring-8 課題審査委員
- [9] 生天目博文 : 東北放射光施設 SLi-T-J エンドステーション・デザインコンペ外部委員
- [10] 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
- [11] 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
- [12] 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] 島田賢也 : (独) 物質・材料研究機構 共同研究
- [3] 島田賢也 : (株) マツダ 広島大学 共同研究
- [4] 奥田太一 : (株) 日立製作所 共同研究
- [5] 奥田太一 : VG シェンタ (株) 共同研究
- [6] 生天目博文 : (株) マツダ 広島大学 共同研究
- [7] 宮本幸治, 川瀬啓悟, 松葉俊哉 : 自然科学研究機構 分子科学研究所 協力研究

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] 「A study on mechanism of hydrogen sulfide and phosphate removal with oyster shells by XAFS analysis」, Kyunghoi Kim (韓国・釜慶大学校)
- [2] 「Electronic structure of elementary excitation in quantum spin liquid」, Chaoyu Chen (中国・南方科技大学)
- [3] 「High-resolution ARPES measurements of honeycomb borophene」, Baojie Feng (中国・中国科学院物理研究所)
- [4] 「ARPES study of silicene」, Ya Feng (中国・中国科学院寧波工業技術研究所)
- [5] 「ARPES study of a Dirac semimetal candidate」, Ya Feng (中国・中国科学院寧波工業技術研究所)
- [6] 「Ex-situ/in-situ soft x-ray absorption investigation towards passivation behavior of Ti」, Ying Jin (中国・北京科技大学国家材料服役安全科学センター)
- [7] 「ARPES study of a new type-II Dirac semimetal candidate  $\text{NiTe}_2$ 」, Shaolong He (中国・中国科学院寧波工業技術研究所)
- [8] 「ARPES study on Zintl phase  $\text{Ba}_3\text{Cd}_2\text{As}_4$  - A proposed topological crystalline insulator protected by C2 rotational symmetry」, Chang Liu (中国・南方科技大学)
- [9] 「Spin-resolved ARPES measurements on the single-spin Weyl bands in kagome ferromagnet  $\text{Co}_3\text{Sn}_2\text{S}_2$ 」, Chang Liu (中国・南方科技大学)
- [10] 「ARPES studies of the polarization-dependent features of the electronic structure of ultrathin ferromagnetic films grown on the PST and BSTS topological insulators for spintronic applications」, Andrey Kamilevich Kaveev (ロシア・ロシア科学アカデミーヨッフエ物理技術研究所)
- [11] 「A feasibility study of the atomic hydrogen cleaning of the carbon contamination on optical elements 2」, Takashi Tokushima (スウェーデン・ルンド大学 MAX IV 研究所)
- [12] 「Details of electronic structure of antiferromagnetic magnetically-ordered topological insulators of different stoichiometry and their modification with temperature in the region of the Neel temperature」, Alexander Shikin (ロシア・サンクトペテルブルク大学)
- [13] 「Comparative ARPES analysis of electronic structure modification of the Cr- and Gd-doped topological insulators under synchrotron and laser photoexcitation」, Alexander Shikin (ロシア・サンクトペテルブルク大学)
- [14] 「ARPES study of the emerging topological states on the (111) surface of the MBE grown In-doped  $\text{Pb}_x\text{Sn}_{1-x}\text{Te}$  thin films with compositions outside topological crystalline insulator region.」, Vladimir Andreevich Golyashov (ロシア・ロシア科学アカデミーRzhanov 半導体物理学研究所)
- [15] 「Revealing “side surface states” and bulk states of the topological Dirac line-node semimetals  $\text{ZrSiS}/\text{HfSiS}$ 」, Mario Novak (クロアチア・ザグレブ大学)
- [16] 「ARPES measurements of bulk and single-layer ruthenium chloride」, Baojie Feng (中国・中国科学院物理研究所)

- [17] 「High resolution laser-ARPES study on magnetic topological insulators  $\text{MnBi}_2\text{Te}_4$  and  $\text{MnBi}_4\text{Te}_7$ 」, Chang Liu (中国・南方科技大学)
- [18] 「Angle resolved photoemission study of Cr-doped  $\text{Bi}_2\text{Se}_3$  to search for the quantum anomalous Hall state.」, Turgut Yilmaz (アメリカ・ブルックヘブン国立研究所)
- [19] 「“Spatial resolved Laser-ARPES study on magnetic topological insulators  $\text{Mn}_2\text{Bi}_2\text{Te}_5$ , doped  $\text{MnBi}_2\text{Te}_4$  and  $\text{EuIn}_2\text{As}_2$ ”」, Chaoyu Chen (中国・南方科技大学)
- [20] 「Electronic structure and spin texture determination of magnetic Weyl semimetals」, Chaoyu Chen (中国・南方科技大学)
- [21] 「Investigation of band structures of tin oxide」, Baojie Feng (中国・中国科学院物理研究所)
- [22] 「ARPES study of type-II nodal loop in trigonal layered  $\text{PtBi}_2$ 」, Shaolong He (中国・中国科学院寧波工業技術研究所)
- [23] 「Ultrathin ferromagnetic films on spin-orbit-influenced metals: Interplay between exchange and spin-orbit interaction」, Markus Donath (ドイツ・ヴェストファーレン・ヴィルヘルム大学)
- [24] 「ARPES study of silicon nano-ribbons」, Ya Feng (中国・中国科学院寧波工業技術研究所)
- [25] 「The electronic structure investigation on Pd doped  $\text{SrIrO}_3$  thin film」, Takashi Komesu (アメリカ・ネブラスカ大学リンカーン校)
- [26] 「ARPES study of non-uniform charge transfer and circular dichroism in vanadium intercalated  $\text{NbS}_2$ 」, Mario Novak (クロアチア・ザグレブ大学)
- [27] 「ARPES investigation of new type of topological crystalline insulator  $\text{Ba}_3\text{Cd}_2\text{As}_4$ 」, Tian Qian (中国・中国科学院物理研究所)
- [28] 「Interface electronic structure of  $\text{Bi}_2\text{Se}_3/\text{VSe}_2$  heterostructure」, Turgut Yilmaz (アメリカ・ブルックヘブン国立研究所)
- [29] 「Detecting the surface states of the topological Dirac line-node semimetals  $\text{HfSiS}$  on the (100) surface」, Mario Novak (クロアチア・ザグレブ大学)
- [30] 「High resolution ARPES study on magnetic topological insulators  $\text{Mn}(\text{Bi}_{1-x}\text{Sb}_x)_2\text{Te}_4$ 」, Chang Liu (中国・南方科技大学)
- [31] 「Instabilities and their competition in doped or intercalated  $\text{VSe}_2$ 」, Arghya Taraphder (インド・インド工科大学カラグプル校)
- [32] 「Probing the bulk and surface signatures of the time-reversal breaking in the electronic structure of the magnetically doped topological insulator  $\text{V}:(\text{Bi},\text{Sb})_2\text{Te}_3$  with high resolution UV-ARPES」, Friedrich Reinert (ドイツ・ヴュルツブルク大学)
- [33] 「High resolution ARPES study on magnetic topological insulators  $\text{Mn}(\text{Bi}_{1-x}\text{Sb}_x)_2\text{Te}_4$ 」, Chang Liu (中国・南方科技大学)

#### 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)「微小マルチドメインを持つ新奇ラッシュバ・トポロジカル物質のスピン電子状態の直接観測」総額 42,250 千円 2019 年度 4,940 千円
- [2] 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 2019 年度 1,430 千円
- [3] 泉 雄大：若手研究 (B) (研究代表者)「放射光円二色性分光によるヒストンの DNA 損傷誘起「異常構造」形成過程の解明」総額 4,290 千円 2019 年度 780 千円

- [4] 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 2019 年度 1,690 千円
- [5] 島田賢也：マツダ（株）「放射光による自動車用材料の分析」研究費：1,002 千円
- [6] 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：540 千円

その他特記すべき事項  
（受賞）

- [1] 後藤公德：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，理学研究科物理学専攻の全教員（18名），先端物質科学研究科量子物質科学専攻の理学系教員（16名），および放射光科学研究センター（7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専攻と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。

◎物理科学科教員リスト（平成31年4月時点）

・物理科学専攻

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，中島伸夫，関谷徹司

助教

岡部信広，本間謙輔，三好隆博，高橋弘充，石松直樹，  
和田真一，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，稲見華恵

・先端物質科学研究科

教授

嶋原 浩，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，松村 武，八木隆多，高橋 徹，檜垣浩之

助教

比嘉野乃花，志村恭通，石井 勲，飯沼昌隆，伊藤清一

・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。この様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う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

2019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	川端, 水野, 本間
	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, 岡部
3年次		
火	物理学実験I	木村 (昭) 他
水	応用電磁力学	岡本
	量子力学演習	石川, 佐藤 (仁), 松村
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	木村 (昭) 他
4年次		
木	固体物理学II	鬼丸
金	相対論的量子力学	両角

2019年度後期授業担当		
1年次		
水	力学B	檜垣
	物理学序論	檜垣
金	力学演習	志垣, 八木, 奥田
	物理数学B	樋口
2年次		
月	先端物理学	鬼丸 他
火	物理学特別講義	飯沼
	電磁気学II	鬼丸
	物理学数値計算法	三好
	物理学英語	深澤 (泰), Werner, 稲見
	先端物理学	鬼丸 他
水	物理学特別講義	飯沼
	電磁・量力演習	島田 (賢), 松尾, 生天目
木	物理数学D	宮本
	量子力学I	大川
金	物理学実験法	梅尾
3年次		
火	物理学特別講義	飯沼
	分子物理学	関谷
	物理学実験II	木村 (昭) 他
水	物理学特別講義	飯沼
	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 (泰)
木	統計力学演習	澤田, 田中 (新), 森吉
	固体物理学I	生天目
	連続体力学	鈴木 (孝)
金	量子力学III	田中 (新)
	物理学実験II	木村 (昭) 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年次の物理科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。この様な現状から、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。

### 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年次に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科学実験A、B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。

学生は物理科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科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。

## 2019年度入学生

	定員	志願者	入学者
AOI型	10	20	6
前期日程	36	82	40
後期日程	20	119	22
計	66	221	68

## チューター

入学年度	チューター			
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	小寫	栗木	樋口	松村
2015	黒岩	山本	檜垣	深澤
2014	岡本	石川	中島	鈴木

## 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。2019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
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
2014	60	6	61	40

2019年度の卒業論文発表会は、2020年2月17日（月）に3つのグループで時間帯を分け、シヨートオーラルを理学部E002講義室にて、ポスター発表をE203大会議室にて開催した。

以下に、卒業論文発表題目を掲載する。

2019年度 理学部・物理科学科 卒業論文発表会  
 2020年2月17日（月） 場所：理学部 E002講義室 ショートオーラル  
 理学部 E203大会議室 ポスター発表

氏名	論文題目	指導教員	主査	副査
1 森島春恵	層状ペロフスカイト(CnH2n+1NH3)2MeCl4の結晶育成とn=2,Me=Mnの結晶における比熱測定	鈴木	鈴木	鬼丸
2 白石海人	角度分解光電子分光によるアクシオン絶縁体候補物質EuIn2As2の表面およびバルク電子状態の観測	木村	木村	樋口
3 杉山貴哉	高分解能角度分解顕微光電子分光による銅酸化物高温超伝導体のギャップの不均一性に関する研究	木村	木村	田中
4 徳本涼香	ALICE実験新規前方飛跡検出器の $\pi$ /K中間子崩壊 $\mu$ 粒子除去性能評価	志垣	志垣	岡本
5 金野 舜	電子ビーム駆動式ILC陽電子源におけるキャプチャーライナックの空洞の設計と陽電子捕獲率の評価	栗木	栗木	小嶌
6 和田侑樹	超音波分光法によるTmFe4CoAl7の逐次相転移と磁場中相図の解明	鈴木	鈴木	奥田
7 伊藤嵩大	赤外超短パルスレーザーのサファイア結晶照射による可視コンティニウム光の生成	関谷	和田	黒岩
8 魚見彩乃	真空紫外円二色性法を用いた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	鈴木
9 小澤春紀	TmTeの圧力下絶縁体金属転移近傍における非線形伝導現象の探索	松村	松村	宮本
10 今浦稜太	真空紫外円二色性分光法による $\alpha$ シヌクレイン蛋白質の生体膜相互作用研究	松尾	松尾	石井
11 森下亮司	比熱測定によるCeB6の磁気および四極子相転移の研究	松村	松村	和田
12 廣森慧太	アナターゼ型二酸化チタン単結晶表面でのエッジとテラスの光触媒活性の比較	中島	中島	松村
13 田伏真隆	電子軌道配向試料を利用したHiSOR BL-13の軟X線偏光度計測	関谷	和田	島田
14 前田康輝	スピンゆらぎを考慮に入れた遍歴電子磁性	嶋原	樋口	松尾
15 高原一朗	光子-光子衝突型加速器における実光子弾性散乱の背景事象排除の研究	高橋	高橋	志垣
16 陣内 駿	機械学習(CNN)を用いた見かけの天体構造の分類	小嶌	小嶌	伊藤
17 蔵田湧紀	Er3Ru4Al12における磁気秩序の弾性応答と磁気相図	鈴木	鈴木	比嘉
18 山内礼士	チタン酸バリウム多面体微粒子の結晶構造と強誘電相転移	黒岩	黒岩	木村

19	向井文哉	多層グラフェンにおけるモアレ超格子の電子構造	八木	八木	生天目
20	米田貴大	F(R)修正重力理論におけるインフレーション宇宙論	両角	両角	高橋
21	市川智聡	コヒーレント共鳴条件に基づくチューンダイアグラムの構築	岡本	岡本	本間
22	國宗ひな	レーザーコンプトン散乱によるマイクロフォーカスガンマ線源の研究	加藤	加藤	八木
23	辻 彩菜	充填トリジマイト型酸化物BaAl <sub>2</sub> O <sub>4</sub> の分極構造に及ぼすBa/Sr微量置換効果	森吉	森吉	鈴木
24	石本賢太郎	永久磁石材料SmCo <sub>5</sub> の水素化による磁気構造の圧力変化	中島	石松	奥田
25	秋野大知	XXL銀河団の質量とバリオン質量の相関関係	小嶌	岡部	稲見
26	五藤誠人	短バンチビーム実験用線形ポルトラップのイオン閉じ込め特性	岡本	伊藤	三好
27	沖 和賢	超伝導の微視的理論 -基礎理論とGor'kovの方法-	嶋原	嶋原	森吉
28	馬場裕太郎	面直スピン検出器のターゲット候補 Graphene/Co(0001)/W(110)の性能評価と電子構造の観測	宮本	宮本	鬼丸
29	今澤 遼	電波銀河からのGeV/TeVガンマ線の時間変動の研究	深澤	深澤	檜垣
30	濱田大晴	超新星のスペクトル解析に基づいた未同定吸収線と大気構造に関する研究	深澤	川端	栗木
31	馬場公範	硫酸-遷移金属(Fe,Co,Ni,Cu,Zn)錯体の軟X線吸収スペクトルの比較	関谷	吉田	黒岩
32	平 哲也	機械学習を用いた見かけの天体構造のクラスタリング	小嶌	小嶌	深澤
33	藤原 健	量子計算の基礎 -ショアの素因数分解アルゴリズム-	石川	石川	川端
34	平田 翔	パルス八極電磁石による小型放射光リングへのビーム入射の研究	加藤	加藤	嶋原
35	瀧川莉穂	立方晶PrIr <sub>2</sub> Zn <sub>20</sub> の非静水圧効果による反強四極子秩序と超伝導転移の同時消失	梅尾	梅尾	加藤
36	池田 昂	線形ポルトラップによる空間電荷駆動非線形共鳴の実験的研究	岡本	岡本	水野
37	堀 文哉	Pr希薄系La <sub>0.9</sub> Pr <sub>0.1</sub> V <sub>2</sub> Al <sub>20</sub> の非磁性基底二重項と非フェルミ液体的挙動	鬼丸	鬼丸	吉田
38	田中 佑	YbCu <sub>5-x</sub> Al <sub>x</sub> のX線発光分光	佐藤	佐藤	関谷
39	橋本惟吹	ボゾンの弦の量子力学	両角	両角	栗木
40	水野志歩	酸化ハフニウム薄膜における電子状態の膜厚依存性	中島	中島	澤田



41	森 文樹	かなた望遠鏡による偏光撮像データの自動解析システムの性能評価	深澤	川端	岡部
42	福島隆司朗	トポロジカル絶縁体とMajoranaエッジの基礎理論	嶋原	嶋原	中島
43	佐田和陽	新しい偏光の測定の強さ可変測定実現に向けた基礎研究	高橋	飯沼	志垣
44	大石遼平	ハニカム近藤格子系CePt6Al3の重い電子状態	鬼丸	鬼丸	木村
45	木村健斗	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数値計算	志垣	志垣	植村
46	葛葉朋彦	IXPE衛星によるブラックホール連星からのX線偏光解析手法の研究	深澤	水野	石川
47	長谷川拓郎	GHz帯マイクロ波による未知場探索に向けた集光光学系の開発	志垣	本間	小嶋
48	森脇裕貴	SPICA宇宙望遠鏡赤外線光学フィルターの耐熱サイクル実験	深澤	稲見	高橋
49	西原壱政	YbCo2Zn20の重い電子状態に対するNi置換効果	鬼丸	志村	佐藤
50	宮井雄大	高分解能角度分解光電子分光による Nb(110)の電子構造の研究	島田	島田	志村
51	山口 光	シミュレーションデータを用いた将来ガンマ線バースト衛星での高赤方偏移候補検出	深澤	川端	飯沼
52	兼島 輝	AIを活用した結晶構造解析法の構築に向けて	森吉	森吉	加藤
53	武井玄德	ウィルソンループを用いたクーロンポテンシャルの導出	石川	石川	岡本
54	町田一葉	軸走査自由度とユーザビリティを両立する軟X線反射率計測ソフトウェアの開発	澤田	澤田	嶋原
55	上田祥央	キラル磁性体YbNi3Al9の非磁性Lu希釈下での電気伝導, 比熱, および磁気特性	松村	松村	森吉
56	酒井直人	2次元イジングモデルのオンサーガー解	嶋原	田中	石松
57	河野早紀	大強度ハドロンビームの共鳴不安定性とコヒーレントチューンシフトの評価	岡本	岡本	深澤

### 物理科学科就職情報

進 学：広島大学大学院博士課程前期 35，東京工業大学3，京都大学 2，筑波大学 1，  
名古屋大学1，県立広島大学1

企 業：(株) VSN 1，パーソルR&D 1，NECソリューションイノベータ (株) 1，  
(株) 福岡銀行 1，オハヨー乳業 (株) 1，中国電力 (株) 1，  
サーラビジネスソリューションズ 1，西日本電信電話 (株) 1，  
日本生命保険相互会社 1，西川ゴム工業 (株) 1，西日本旅客鉄道 (株) 1，  
(株) ジャストシステム 1

その他：広島市教育委員会 1

### 学生の表彰

広島大学 理学部長表彰者：2名