

## Ⅱ 物理学専攻・物理学科



# 1 物理学専攻

## 1-1 専攻の理念と目標

物理学専攻では、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。

教職員（平成27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）

大川正典（教授）      両角卓也（准教授）      石川健一（准教授）

#### 宇宙物理学（理論）

小畷康史（教授）      山本一博（准教授）      岡部信広（助教）

#### クォーク物理学

杉立 徹（教授）      志垣賢太（准教授）      本間謙輔（助教）  
三好隆博（助教） <理学研究科LAN担当>

#### 高エネルギー宇宙

深澤泰司（教授）      高橋弘充（助教）      大野雅功（助教）      北口貴雄（特任助教）

#### 可視赤外線天文学

吉田道利\*（教授）      川端弘治\*（准教授）      水野恒史\*（准教授）      植村 誠\*（准教授）

\*：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（准教授）      馬込栄輔（助教）

#### 電子物性

圓山 裕（教授）      中島伸夫（准教授）      石松直樹（助教）

#### 光物性

木村昭夫（准教授）      Nuermairaiti Munisai（助教）

#### 分子光科学

平谷篤也（教授）      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）	松尾光一（助教）	岩澤英明（助教）
島田賢也（教授）	奥田太一（准教授）	Schwier Eike Fabian（助教）	
谷口雅樹（特任教授）	澤田正博（准教授）	井野 明洋（特任准教授）	
		Galif Kutluk（特任准教授）	

### 放射光物理

佐々木茂美（教授）

## 専攻事務

黒川真理子 須藤和子 前田みどり

## 教員の異動

欠員ポストが生じると、将来計画等を議論した後に採用分野を決定することとしている。また新採用は全て公募による。なお、新採用の助教は全て任期がつく。平成24年8月に公布された改正労働契約法の一部改正によって任期（7年、再任無し）としている。平成28年度から始まる第3期中期目標・中期計画期間に向けて、教員の異動（退職と新規採用）と人件費ポイントのシミュレーションを行い、人事計画の方向性を議論した。その結果、全学的なポイント制により、欠員補充に関する人事計画がうまくいかない可能性がでてきた。短期雇用している年棒制助教の任期を延長することで教育とグループの研究活動に支障が出ないようにした。一方、平成24年度より導入しているポイントによる特任助教について、研究教育活動を充実させることとしている。また、テニュア・トラック制導入による教員採用についても積極的な議論を行った。

## 1-3 専攻の大学院教育

### 大学院教育の目標とアドミッション・ポリシー

進路に応じた教育目標を定めている。

#### 1. 修士の学位を取って高度職業人を目指す学生

(基礎) 1年次：学部の物理基礎教育の上に、専門分野に通ずる高度な基礎学力の修得。

研究テーマに沿った専門の学習。英語の専門書、論文が読みこなせる。

(専門) 2年次：修士論文用研究テーマに沿った専門分野の学習を通じて、研究の遂行、結果のまとめ及び発表の過程で、物理科学の専門的知識の修得と活用法、物理的研究手法とその活用法、正確な表現法を学ぶ。

#### 2. 博士の学位取得により研究者及び高度専門職業人を目指す学生

(基礎) セミナーで専門的な書籍、論文を読み最先端の物理科学を修得すると共に、指導教官や研究仲間と議論・討論を通じてより深い理解を得る。その過程で研究テーマを発見し、そのテーマにアプローチする能力を養う。

(専門・応用) 博士論文用研究を深く追求する過程で、緻密な実験観察の手法や論理展開法を訓練し、深い洞察による問題解決法の発見や、それを正確にかつ定量的にまとめ、英文で論文を発表する手法を修得することにより自立した研究者及び高度専門職業人への道を学ぶ。

大学院授業担当

平成27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	平谷, 関谷, 吉田(啓), 和田	研究室
	3.4	電子物性セミナー	圓山, 中島, 石松	研究室
	5.6	社会実践理学融合特論	圓山, 小原	E002
	7.8	放射光物性セミナー	生天目, 島田, 佐藤, 奥田, 澤田, 仲武, 岩澤	研究室
		クォーク物理学	志垣, 杉立	B101
	9.10	宇宙物理学セミナー	小鳶, 山本	研究室
火	1.2	相対論的宇宙論	山本	A017
	3.4	高エネルギー宇宙学セミナー	深澤, 水野, 高橋, 大野	研究室
		クォーク物理学セミナー	杉立, 志垣, 本間, 三好	研究室
	5.6	量子場の理論 I	大川	B101
	7.8	電子物性	中島	C104
9.10	構造物性セミナー	黒岩, 森吉, 馬込	研究室	
水	1.2			
	3.4	分子分光学・光化学	平谷	B101
	5.6	素粒子論セミナー	大川, 両角, 石川, 稲垣	研究室
	7.8			
	9.10	先端物理科学概論	島田, 山本, 深沢, 志垣, 中島, 木村, 森吉	—
木	1.2			
	3.4	光物性セミナー	谷口, 木村, 井野	研究室
		光赤外線宇宙観測	吉田(道), 川端, 植村	C104
	5.6	放射光科学特論 I	生天目, 佐々木, 島田, 佐藤, 奥田, 澤田, 松尾	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	可視赤外線天文学セミナー	吉田(道), 川端, 植村	研究室
9.10	光物性	木村, 谷口	B101	
金	1.2	宇宙物理学	小鳶	A004
	3.4	非線形力学	入江	C104
	5.6			
	7.8			
	9.10	放射光物理学セミナー	佐々木, 宮本	研究室
光物性		木村, 谷口	B101	
備考		科学コミュニケーション概論(特別講義, 前期集中) 巨大ブラックホール進化概論(特別講義, 前期集中) ニュートリノの物理(特別講義, 前期集中) 放射光科学院生実験(前期集中)		

平成27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	平谷, 関谷, 吉田(啓), 和田	研究室
	3.4	電子物性セミナー	圓山, 中島, 石松	研究室
	5.6	理学融合基礎概論B	圓山, 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, 仲武, 岩澤	研究室
	9.10	宇宙物理学セミナー	小嵐, 山本	研究室
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, 大野	研究室
		磁性物理学	圓山	C104
	5.6	素粒子論セミナー	大川, 両角, 石川, 稲垣	研究室
	7.8	表面物理学	関谷	B101
9.10	構造物性セミナー	黒岩, 森吉, 馬込	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	杉立, 志垣, 本間, 三好	研究室
	5.6			
	7.8	量子場の理論Ⅱ	両角	A017
	9.10			
木	1.2			
	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	吉田(道), 川端, 植村	研究室
9.10	光物性セミナー	谷口, 木村, 井野	研究室	
金	1.2			
	3.4			
	5.6	放射光物理学	佐々木	B101
	7.8	放射光物理学セミナー	佐々木, 宮本	研究室
	9.10			
備考	放射光科学特論Ⅱ(後期集中)			

#### 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る。また社会人や留学生も積極的に受け入れる。

## 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、29名（内部生28名，他大学から1名）が入学している。

博士課程後期の入学定員13名に対しては、5名（内部生3名，他大学から2名）が進学している。

## 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	46 件
○博士課程後期の学生が共同発表者の発表件数	54 件
○博士課程前期・後期の学生が共に共同発表者の発表件数	19 件

## 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	78 件
○博士課程後期の学生が共同発表者の発表件数	48 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	40 件

## 外国人留学生の受入状況

○博士課程前期在籍者	1 名
○博士課程後期在籍者	8 名

## 修士論文発表実績

平成27年度（27名）

1	小島 耀平	高分解能角度分解光電子分光による Ce 単結晶薄膜の電子構造の研究
2	松浦 佳代	光子-光子散乱検証に向けた重心系エネルギーMeV 領域の卓上衝突光学系の研究
3	大橋 佑馬	可視偏光分光解析によるマイクロレーザーSS 433 の光学的特性の研究
4	梅本 嵩之	フェムト秒レーザー過渡吸収分光システムの構築と有機ナノ結晶の固相重合ダイナミクス研究への応用
5	中村 文香	SU(3)ゲージ理論のランニングカップリングの研究
6	牟田口 舞	巨大質量のブラックホールによる星の潮汐崩壊現象
7	藤井 香奈子	X線吸収分光法による Pd-TM 合金の水素吸蔵特性の研究
8	枝廣 育実	ASTRO-H 衛星搭載 軟ガンマ線検出器コンプトンカメラを用いた偏光ビーム試験
9	平川 拓実	Exploring inflationary scenarios with large scale suppression（大スケールの揺らぎの抑制を含んだインフレーションシナリオの探究）
10	天場 千覚	一軸応力下の SrTiO <sub>3</sub> における電子状態の等方的変化
11	寺岡 夢希	ワイベル不安定性の理論と銀河団外縁部ガスへの応用
12	川田 惟允	Knot-APPLE アンジュレータの磁気回路設計と性能評価
13	中川 智希	回転する軸対称定常なブラックホールの磁気圏の研究

- |    |        |  |
|----|--------|--|
| 14 | 榊上 晃広  | 宇宙背景輻射のゆらぎと素粒子模型   |
| 15 | 佐野 瑛彦  | チタン酸バリウムのパルス電場下における時間分解 X 線吸収分光測定  |
| 16 | 白川 裕章  | 宇宙ガンマ線観測用新型 Si-Pad 検出器の基礎特性測定および性能評価   |
| 17 | 高田 紘司  | 前主系列星 AA Tau の可視近赤外偏光観測による星周構造の研究  |
| 18 | 神田 優花  | 活動銀河核と X 線連星の偏光観測によるブラックホールジェットの観測的研究  |
| 19 | 大本 優   | チタン酸バリウムの電場誘起構造歪みの時分割計測  |
| 20 | 清田 哲史  | 重力チェレンコフ放射による修正された重力波の分散関係に対する制限   |
| 21 | 上田 庸資  | 高エネルギー原子核衝突における仮想光子偏極の異なる観測座標系を用いた検出手法の評価  |
| 22 | 川端 美穂  | 特異な Ia 型超新星 SN 2014dt の長期可視近赤外線観測に基づいた研究   |
| 23 | 角田 一樹  | トポロジカル絶縁体および強磁性形状記憶合金のスピン偏極電子状態と非平衡キャリアダイナミクス                                    |
| 24 | 上野 峻一郎 | 格子場の方法を用いた SU(3)ゲージ理論における $\Lambda$ パラメータ比に関する研究                                 |
| 25 | 大兼 英朗  | 電弱真空の安定性に基づくシーソー模型のパラメータに対する制限   |
| 26 | 田北 仁志  | 鉄系超伝導物質 $\text{Ba}(\text{Fe}_{1-x}\text{Co}_x)_2\text{As}_2$ における特異な電子構造と軌道成分の解明 |
| 27 | 中岡 竜也  | 極初期からの多バンド観測に基づいた IIP 型超新星 SN 2014cx の研究   |

## 博士学位

平成27年度（課程博士 5 名：論文博士 0 名）

1. 朱 思源 平成 27 年 8 月 25 日授与（甲）  
Electronic structure and carrier dynamics of ferromagnetic shape memory alloys and topological insulators（強磁性形状記憶合金とトポロジカル絶縁体の電子構造とキャリアダイナミクス）
2. 格和 純 平成28年 2 月 18 日授与（甲）  
Stochastic Gyroresonant Acceleration for Hard Electron Spectra of Blazars: Effect of Damping of Cascading Turbulence（統計的ジャイロ共鳴加速機構によるブレーザー領域の硬い電子スペクトルの解釈における乱れ場減衰の影響）
3. 照喜名 歩 平成28年 2 月 18 日授与（甲）  
Testing modified gravity models with multi-wavelength observations of galaxy clusters（銀河団の多波長観測を用いた修正重力理論の検証）
4. 長谷部 孝 平成28年 2 月 22 日授与（甲）  
Search for sub-eV scalar and pseudoscalar fields via four-wave mixing with tabletop lasers（テーブルトップレーザーを用いた四光波混合による sub-eV スカラー・擬スカラー場の探索）
5. 川上 修平 平成28年 2 月 23 日授与（甲）  
Presence of the Electric Dipole Moment in Quantum Paraelectric  $\text{SrTiO}_3$  Probed using Resonant X-ray Emission Spectroscopy（共鳴 X 線発光分光測定で捉えた量子常誘電体  $\text{SrTiO}_3$  に誘起される電気双極子モーメント）

## TAの実績

平成27年度は、博士課程前期の学生を22名（通年：3名，前期：10名，後期：9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。

### 大学院課程のカリキュラム改訂

ミッションの再定義とRU/S GU支援事業の指定を受けて、研究力の強化と教育の国際化に対応するべく、平成26年度にカリキュラム改訂WG（座長：島田賢也教授）の答申に基づき新カリキュラムを策定した。新カリキュラムは、大学院定員の充足率の向上、留学生数増加に対応した大学院教育の国際化、グローバルに活躍できる理系人材のための大学院教育の改善・充実に対応したものとなっている。新カリキュラムへの移行は、平成27年度から2～3年を掛けて学年進行で行うことを計画している。平成27年度は、次頁以下に示すように、新たに博士課程後期のカリキュラムを導入し新カリキュラムへの移行を計画的に進めている。

### 大学院教育の国際化

一方、博士課程後期の定員充足は喫緊の課題である。平成25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、平成27年度10月入学で3名（中国2名、イラン1名）を受け入れた。また、博士課程前期の留学生も中国から1名受け入れた。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、Dr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。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	
選択必修	大学院基礎科目 (広島大学大学院共通授業科目に関する細則 (別表)の基礎区分)(注1)	1 又は 2	
選 門	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	
	相対論的宇宙論	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	1	
	放射光科学院生実験	2	
	放射光科学特論Ⅰ	2	
放射光科学特論Ⅱ	1~8		
物理科学エクスターンシップ	(年間)		
択 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
選択	基礎	先端物理学概論		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（前項の物理学専攻（博士課程前期）専門科目の欄を参照）		
	物理学特別講義（集中講義）			

### 就職情報

#### 博士課程前期

進 学：博士課程後期進学 8

企 業：マツダ(株) 2, パナソニック(株) 1, NECソリューションイノベータ(株) 1,  
カシオ計算機(株) 1, テキサス大学 1, 大日本印刷(株) 1, 大和証券(株) 1

その他企業：12

そ の 他：国立天文台 1, 教員 (PD) 1, 未定 2

#### 1-4 専攻の研究活動

物理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
- 学界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

なお，これらの活動を支えるRAとして，平成27年度は9名の博士課程後期の大学院生を採用した。

## 宇宙・素粒子科学講座

### ○素粒子物理グループ

#### 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 (大川, 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 (大川)

素粒子の標準モデルは、その基礎をSU(N) 非可換ゲージ理論においている。一般にSU(N)非可換ゲージ理論は非常に複雑な構造を持っているが、4次元格子上で定義された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。実際、江口・川合は格子点が1点しかない時空縮約理論を考えた。現在この理論は江口・川合モデル (EK-model) と呼ばれている。EK-model にはZ(N) 対称性があり、この対称性が破れていなければ、4次元格子上でのSU(N) ゲージ理論とEK-model は Nを無限に持っていった極限で同等である。しかしこの対称性は弱結合相および中間結合相で自発的に破れてしまい、2つの理論は等しくない。この困難を解決するために、Gonzalez-Arroyoと大川は、EK-model にツイストされた境界条件を課したtwisted EK-model(TEK-model)を提案した。TEK-modelでラージN極限での弦定数を計算した結果は、通常SU(N)ゲージ理論で有限のNの弦定数を計算し、N無限大に外挿した値と完全に一致しており、TEK-modelが正しくラージNゲージ理論を記述していることがわかっている。平成27年度の主な成果は以下の通りである。

1) 近年、アジョイント表現に属するフェルミオンを伴った SU(N) ゲージ場理論が大きな関心を受けている。その理由のひとつに、AdS/CFT 対応がある。これによると、4次元超対称ゲージ理論と、Anti de Sitter 時空を背景にもつ5次元超弦理論が対応している。特にゲージ理論でラージN極限をとると、対応する弦理論は古典的な超重力理論となる。アジョイント・フェルミオンを持つラージ Nゲージ理論も時空を縮約したモデルを考えることができる。2フレーバーのアジョイント・フェルミオンを含む理論は、クォーク質量が0で赤外固定点を持つコンフォーマル理論だと考えられている。赤外固定点の性質は、質量異常次元 $\gamma_*$ によって支配されており、本年度はフェルミオン行列の固有値分布(eigenvalue density)から $\gamma_*$ を決定する研究を行ない $\gamma_* = 0.269(2)(50)$ が得られた原著論文[1]。ただし最初の誤差は統計誤差、2番目の誤差は系統誤差である。

2) ハドロン質量の計算は、格子上の場の理論に課せられた最も基本および重要な課題であるが、今まで時空縮約モデルを用いたハドロン相関関数の計算例はなかった。その理由として

- ・ハドロン相関関数は4次元時空に広がりを持つ物理量であり、時空が縮約された理論で如何に相関関数を計算するかの指針がない。
- ・twisted境界条件は、アジョイント表現のゲージ場やフェルミオン場に対しては定義されているが、基本表現に属する場には直接的には定義されていない。

が考えられる。申請者とGonzalez-Arroyoは過去数年間この問題に取り組み、27年度、基本表現に属する中間子の相関関数の計算法を確立し論文を発表した原著論文[2]。基本表現のフェルミオンは、dynamicalな効果をlarge N極限で持たないので、ゲージ場の時空縮約理論であるTEK-modelでの計算に近似はない。原著論文[2]および7月に神戸で行われた格子上の場の理論国際会議 (lattice2015) で、ゲージ群N=289での、パイ中間子およびロー中間子の相関関数に関する結果を発表し、計算された $m_\pi^2$ と $m_p$ が $1/\kappa$ に対してlinearな関係にあり、計算が正しく行われていることを示した国際会議一般講演[1]。

3) 通常、TEK model の数値シミュレーションはHeat-Bath法によって行われているが、over-relaxation法を用いることにより、auto-correlation length を約2分の1に出来ることを示した原著論文[3]。

(ii) 格子カイラル対称性を持つフェルミオンの計算手法の改良 (石川)

格子カイラル対称性をもつフェルミオン作用として、オーバーラップフェルミオン (OVF) が知られている。カイラル対称性は低エネルギーQCDの物理では重要であり、標準模型の解析には必要不可欠なものであるため、近年では、格子QCDを用いた標準模型の解析や低エネルギー現象の理解にOVFが用いられてきている。しかしながら、OVFの計算コストはWilson型に比べ数10倍の計算コストがかかるため大きな格子での計算が進んでいない。そこで近似的格子カイラル対称性をもつドメインウォール型 (DWF) 作用についての計算が OVF よりもコストが低いため世界的に進められている。

石川と大学院生は H26 年度から DWF 作用の非摂動的繰り込み手法の開発に向けて、シュレーディンガー汎関数 (SF) 法による繰り込み手法を考察し、摂動の 1 ループの範囲での定式化を試みた。格子場の理論ではどのような有限格子間隔正則化を行っても、連続極限は同じ値になるべしという普遍性の考え方がある。H26 年度の研究では、5次元方向の大きさが十分大きい場合の格子カイラル対称性を保つ場合は、連続極限の普遍性が確認できていたが、5次元方向の大きさが有限の場合である格子カイラル対称性をあらわに破った場合の連続極限の普遍性が明らかでなかった。

H27 年度は連続極限の普遍性を明らかにする研究を行った。5次元方向の大きさが有限の場合は格子カイラル対称性をあらわに破るため、クォークの質量にたいして加法的な繰り込みが生じる。われわれの計算でも、5次元方向の大きさが有限の場合は MDWF 作用に入れているパラメータである裸のクォーク質量に対して、実際のスペクトルに現れるクォーク質量がずれていることを確認した。このずれを考慮した格子間隔ゼロへの連続極限を考えることで普遍性を具体的に確認することができた。国際会議一般公演 [2, 3, 4, 18] 国内学会一般公演 [1]

(iii) 格子QCDの手法を用いた共形場の理論の探索 (石川)

結合定数のエネルギー依存性がない“赤外固定点”にある理論は共形場の理論として知られている。このような共形場の理論の候補として、非アーベル的ゲージ理論における“赤外固定点”での理論が重要となっている。非アーベル的ゲージ理論において物質場が十分複数個存在する場合、この赤外固定点が現れると考えられている。近年この“赤外固定点”の存在範囲を格子ゲージ理論を用いて示すことが世界的に行われてきている。しかしながら格子上でのこの存在範囲の計算には次のような困難がある。共形場の理論では長さスケールというものがないのであるが、格子上では有限格子間隔、有限体積、有限質量、の導入により長さスケールが入るため、必然的に共形対称性をあらわに破ってしまっている。このようなあらわな破れがあるところでの共形場の理論の在り様はまだよくわかっていない。石川は他研究機関研究者と共同研究を行いこの問題に取り組んでいる。H26年度までに、このようなあらわな破れがある場合の繰り込み群の流れの振る舞いの予測に基づき、格子理論空間が、a) 閉じ込め領域、b) 非閉じ込め領域、c) 共形領域、の3つの領域に分かれていると推測し、これまでに、このようなそれぞれの領域で、2点相関関数を数値計算しこの推測と矛盾がないことを示してきた。H27年度はさらに2点相関関数の振る舞いを精密に計測し赤外固定点の存在を特定する研究を行った。この赤外固定点に対応する裸の結合定数を物質場の数 $N_f=7,8,12,16$ について特定し、パラメータ $N_f$ について赤外固定点の存在範囲を示した。原著論文 [4]

(iv) K中間子の二つのパイ中間子への崩壊の遷移振幅の計算 (石川)

K中間子が二つのパイ中間子へと崩壊する現象 ( $K \rightarrow \pi\pi$ 崩壊) を格子QCDを用いて第一原理的に計算することは、アイソスピンの変化  $\Delta I=1/2$  の崩壊が  $\Delta I=3/2$  の崩壊よりも大きいことへの理論的な説明を与えるとともに、CPの破れのパラメータ ( $\epsilon' / \epsilon$ ) の検証にも非常に重要である。昨

年度は国際会議でこの研究について発表していた。H27年度はその研究をまとめ査読付き論文として発表した。最終評価は以下の様な値となった。 $K \rightarrow \pi\pi$ 崩壊の  $\Delta I=1/2$ と  $\Delta I=3/2$ の遷移振幅を格子サイズ $32^3 \times 64$ 、パイ中間子質量 $m_\pi=275.7(1.5)\text{MeV}$ 、K中間子質量  $m_K=579.7(1.3)\text{MeV}$ 、格子間隔  $a=0.091\text{fm}$  で計算した結果振幅の値は、 $\text{Re}A_0 = 60(36) \times 10^{-8}$ 、 $\text{Im}A_0 = -67(56) \times 10^{-12}$ 、 $\text{Re}A_2 = 2.426(38) \times 10^{-8}$ 、 $\text{Im}A_2 = -1.192(14) \times 10^{-12}$ となった。誤差は大きいものの  $\Delta I=1/2$ の崩壊の遷移振幅が大きくなることを確認した。原著論文 [5]

(v) 格子QCDの手法を用いた軽い原子核の再現 (石川)

2010年代に入り核子である陽子や中性子などのハドロンの質量や性質は格子QCDを用いて精度良く評価できるようになってきた。一方、原子核は陽子・中性子の少数多体系であり学問的にはこれまで原子核理論で扱われてきた領域である。現在世界的にもこれらの原子核のうち軽い原子核の性質をQCDの言葉、すなわち素粒子であるクォーク・グルーオンの自由度で理解しようという取り組みがすでに始まっている。原子核理論自身は有効理論でありいくつかの現象論パラメータを含んでいるが、これらのパラメータは第一原理的にはQCDで評価可能なものである。格子QCDの方法を用いて原子核理論における核構造や魔法数の起源をQCDから理解することが将来的に期待されている。

本研究では軽い原子核として核子2体系 ( ${}^3S_1, {}^1S_0$ ) や、ヘリウム原子核 ( $\text{He}_3, \text{He}_4$ ) の質量を格子QCDを用いてクォーク・グルーオンから計算した。格子サイズ $48^3$ と $64^3$ の二つの空間サイズを用い、パイ中間子質量 $m_\pi=300\text{MeV}$ 相当のクォーク質量で計算を行なった。上記4つの状態に対していずれも束縛状態が得られた。 $\text{He}_4$ の束縛エネルギーは  $\text{He}_3$ より大きくこれは現実世界と矛盾していないが、2核子束縛状態は現実世界では束縛していない ${}^1S_0$ 状態も束縛する結果となった。クォーク質量や空間体積、有限格子間隔などから来る系統誤差を今後は詳細に詰めていく必要がある。原著論文[6]

(vi) 格子QCDに関するその他の計算 (石川・大川)

1) 京計算機を用いた大規模計算 (石川)

国内では京計算機を利用した格子QCD計算の取り組みが2012年から始まっている。石川はこの共同研究に参加している。具体的には大体積の格子QCD計算を行なうことで、(v)にある軽い原子核の再現や、核子間の核力の理解を行う取り組みに参加している。これまでに  $96^4$ の格子サイズの計算を行なってきた。H27年度までに基本的なハドロ単体の質量スペクトルと、クォーク質量や崩壊定数などの計算を終えてきているところである。これらの取り組みについて場の理論国際会議で発表を行っている。これらの基礎データをもとにして、ハドロ多体系の物理の計算が行われる予定である。国際会議一般公演[5, 6]

2) ツイストされた境界条件下でのグラディエントフロー法による繰り込みの研究 (石川・大川)

近年格子QCDにおいて新しい繰り込み手法であるグラディエントフロー法 (GF法) がLuscherによって提案された。この方法ではゲージ場に対して仮想時間 (フロー時間) を導入し、熱伝導方程式様の微分方程式に基づいてゲージ場を時間発展させる。このようにフローさせたゲージ場で定義された場の強さから走る結合定数を定義することができる。この場合走る結合定数のエネルギースケールはフロー時間の長さが対応する。この方法では時空間体積を無限大の大きさにする必要があり、計算コストが問題となる。この問題を解決するべくFodorらにより有限体積とフロー時間の比を固定するという繰り込み条件を設定する手法が提案された。この手法では有限体積により生ずるゲージ場のゼロモードにより、本手法の非摂動的走る結合定数と摂動的結合定数の折り合いが悪いことが知られている。この点を解決するため、Ramosにより、ゲージ場の境界条件

を変更し、このゼロモード問題が生じない手法が2つ提案された。そのうちの一つであるツイストされた境界条件での有限体積GF法を Twisted-Gradient Flow 法(TGF法)と呼ぶ。

TGF法による走る結合定数の非摂動的評価は Ramos により純SU(2)ゲージ理論に対して行われているが、QCDに近い純SU(3)ゲージ理論に対しては評価されていない。そこで我々は、H27年度から純SU(3)ゲージ理論に対するTGF法による走る結合定数の非摂動的評価を開始した。ゲージ理論に特徴的な走る結合定数と基礎パラメータである $\Lambda$ パラメータについて予備的結果を得た。これらの成果は国内の物理学会にて発表されている。国内学会一般公演[2, 3] 国際会議一般公演[15, 16]

#### (II) 3世代右巻きニュートリノを含むシーソー模型のCP対称性の破れとレプトジェネシス。(両角)

ニュートリノ振動のCP対称性の破れと宇宙の物質、反物質非対称性の起源がレプトジェネシスのシナリオでは密接に関係する場合があることが示唆されてきた。この関係は特に重い右巻きニュートリノ2種類ある最小シーソー模型に関して詳しく調べられている。SO(10)統一模型の代表では右巻きニュートリノも3世代あると考えられている。このことから右巻きニュートリノを3種類含むシーソー模型のCPの破れがニュートリノ振動実験を用いたCP非保存現象にどのように現れるのかに関心が持たれてきた。3種類のシーソー模型は6つの独立なCPの破れの位相を含むため、低エネルギーでのCPの破れとレプトジェネシスのCPの破れの関係は非常に複雑である。この関係を明らかにするために、3つの軽いニュートリノのスペクトルに1個の質量がゼロの左巻きニュートリノが含まれる条件を研究し、この条件が満たされるとき、軽いニュートリノの質量行列の対角化を最小シーソー模型の場合と類似した方法で行うことができることを示した。この場合、レプトンの混合行列も簡単に求めることができることを示した。(国内研究会発表[4])

#### (III) 非平衡の場の理論を用いた宇宙の物質、反物質非対称性の生成機構の研究(両角)

レプトジェネシスなどに代表される宇宙のバリオン数の生成の理論に基づいて、実際の宇宙の粒子数を計算するには、素粒子の模型を立てるだけではなく、その模型に基づいて膨張宇宙の下で、粒子数がどのような素過程で生成され、その後、どのような時間発展をするか調べることが必要になる。粒子数期待値の時間発展を計算するために、我々は密度行列を用いた非平衡の場の量子論を採用した。この定式化は、経路積分法に基づいており、初期状態を統計的な密度行列を用いて指定できる点や、スカラー場の期待値を扱える点などすぐれた特徴がある、我々は粒子数生成のサハロフの3条件を考慮して、CP対称性や粒子数を破る相互作用を導入した模型を研究した。この模型は1組の実スカラー場と複素スカラー場を含んでいる。この模型を用いて粒子数が相互作用によってどのように時間変化するかを研究した。(研究発表, 国際会議[7], [13], [15], 国内研究会[5][6][15])

#### (IV) 固有パリティを破るハドロン崩壊過程の研究(両角)

ハドロンの固有パリティを破る崩壊を研究するために、レゾナンスカイラル有効模型の枠組みを開発し、この有効理論に固有パリティを破る有効相互作用を導入した。有効相互作用の係数を固有パリティを破るような崩壊過程の崩壊巾をフィットすることによって決めた。更に、ダリツ崩壊などの3体崩壊の形状因子を計算するための準備的な研究も始めた。

(研究発表, 国際会議[8][9][11] 国内研究会[7-8], [10-14])

(V) 電弱標準模型とそれを超える理論の真空の安定性と宇宙の寿命 (両角)

最近の研究で標準模型の電弱真空 (ヒッグスポテンシャルの極小値) は, 準安定な真空であり, 本当に安定な真空は, 電弱スケールの大きさである100 GeVオーダーよりもっと大きなところにあることが明らかになってきた。準安定な真空は有限の寿命を持つことになるので, 我々の存在を説明するには, 準安定な真空の寿命が, 宇宙年齢より長いことが, 必要になる。我々は, 標準模型を超えるシーソー模型の枠組みで真空の安定性がどのようになるかについての研究を開始し, 寿命が宇宙年齢より長くなることを要求することで, シーソー模型のモデルパラメーターに制限をかけることができるかを研究し, その研究経過を発表した。(研究発表, 国際会議[14])

原著論文

- [1] M.Garcia Perez, A.Gonzalez-Arroyo, L.Keegan and M.Okawa; “Mass anomalous dimension of adjoint QCD at large N from twisted volume reduction”, *JHEP* 1508(2015)034.
- [2] A.Gonzalez-Arroyo and M.Okawa; “Large N meson masses from a matrix model”, *Phys. Lett.* B755(2016)132.
- [3] M.Garcia Perez, A.Gonzalez-Arroyo, L.Keegan, M.Okawa and A.Ramos; “A comparison of updating algorithms for large N reduced models”, *JHEP* 1506(2015)193.
- [4] K.-I. Ishikawa, Y. Iwasaki, Yu Nakayama, T. Yoshié, “IR fixed points in SU(3) gauge theories”, *Physics Letters* B748(2015)289.
- [5] N. Ishizuka, K.-I. Ishikawa, A. Ukawa, and T. Yoshié, “Calculation of  $K \rightarrow \pi\pi$  decay amplitudes with improved Wilson fermion action in lattice QCD”, *Phys. Rev. D*92, 074503 (2015).
- [6] Takeshi Yamazaki, Ken-ichi Ishikawa, Yoshinobu Kuramashi, and Akira Ukawa, “Study of quark mass dependence of binding energy for light nuclei in 2+1 flavor lattice QCD”, *Phys. Rev. D*92, 014501 (2015).
- [7] T. Inagaki, S. D. Odintsov and H. Sakamoto, "Gauged Nambu-Jona-Lasinio inflation", *Astr. Space Sci.* 360 (2015) 2, 67.

国際会議

(一般講演)

- [1] A.Gonzalez-Arroyo and M.Okawa; “Large N meson propagators from twisted space-time reduced model”, *PoS LATTICE2015* (2015) 291.
- [2] Yuko Murakami and Ken-ichi Ishikawa, “The one-loop analysis of the beta-function in the Schroedinger Functional for Moebius Domain Wall Fermions”, *PoS(LATTICE 2015)*308.
- [3] Y.Murakami and K.-I. Ishikawa, “The one-loop investigation of the beta-function in the Schroedinger Functional scheme for Moebius Domain Wall fermions”, *XQCD2015*, Wuhan, China, September, 2015.
- [4] Y. Murakami and K.-I. Ishikawa, “The perturbation analysis of the Moebius Domain Wall Fermion with the Schroedinger functional scheme”, *Quarks to Universe in Computational Science*, Nara, Japan, November, 2015.
- [5] Ken-ichi Ishikawa, N. Ishizuka, Y. Kuramashi, Y. Nakamura, Y. Namekawa, Y. Taniguchi, N. Ukita, T. Yamazaki, T. Yoshié, “2+1 flavor QCD simulation on a  $96^4$  lattice”, *PoS(LATTICE 2015)*271.
- [6] Ken-ichi Ishikawa, N. Ishizuka, Y. Kuramashi, Y. Nakamura, Y. Namekawa, Y. Taniguchi, N. Ukita, T. Yamazaki, T. Yoshié (PACS collaboration), “Mass and Axial current renormalization in the Schrödinger functional scheme for the RG-improved gauge and the stout smeared  $O(a)$ -improved

- Wilson quark actions”, PoS(LATTICE 2015)271.
- [7] Takuya Morozumi, Apriadi Salim Adam, and K. Nagao and H. Takata, “Particle Anti-particle number asymmetry and time evolution; production through interactions of scalars”, Nov.17 (2015), Particle Cosmology and beyond 2015 (Kanazawa)
- [8] Takuya Morozumi, Daiji Kimura, Hiroyuki Umeeda, “Hadronic tau lepton decay and intrinsic parity violation”, Oct.27(2015),KEK Flavor Factory workshop (KEK-FF2015)/3rd Belle II Theory Interface Platform (Tokyo)
- [9] Takuya Morozumi, Daiji Kimura , Hiroyuki Umeeda, Study of anomalous tau lepton decay using chiral Lagrangian with vector mesons, Flavor Physics & CP Violation, 名古屋市, 2015 年 5 月, Proceedings of Science.POS(FPCP)090 (2015) 2015 ,
- [10] H. Umeeda, T. Morozumi, H. Okane, “Prospect of Time Reversal-like Asymmetry in Bd Decay”, Interplay between LHC and Flavor Physics, 名古屋市, 2016 年 3 月
- [11] H Umeeda, T. Morozumi, D. Kimura, “ Phenomenology of Intrinsic Parity Violation in Resonance Chiral Lagrangian ”, 1st CORE-U International Conference, 東広島市, 2016 年 3 月
- [12] H. Umeeda, T. Morozumi, H. Okane, “Precise discussion on T-asymmetry with B-meson decays”, Flavor Physics & CP Violation, 名古屋市, 2015年 5 月, Proceedings of Science.POS (FPCP)082 (2015) 2015
- [13] Apriadi Salim Adam, T. Morozumi and K. Nagao and H. Takata, Creation and time evolution of particle number asymmetry in an expanding universe with interactions, 1st CORE-U International Conference: Intense Fields and Extreme Universe, Hiroshima University, 2016 年 3 月
- [14] Hideaki Okane, and T. Morozumi, The effect of right-handed neutrinos on the lifetime of electroweak vacuum, 1st CORE-U International Conference: Intense Fields and Extreme Universe, Hiroshima University, 2016 年 3 月
- [15] Apriadi Salim Adam, T. Morozumi and K. Nagao and H. Takata, Creation and time evolution of particle number asymmetry in an expanding universe with interactions, Interplay between LHC and Flavor Physics "Symposium 2016. March 14-15, 2016 at Nagoya University.
- ©[16] Ken-Ichi Ishikawa, Issaku Kanamori, Yuko Murakami, Ayaka Nakamura, Masanori Okawa and Ryoichiro Ueno, “Determination of the ratio between the  $\Lambda$ -parameter associated with the Schrödinger functional and the twisted gradient flow in the pure SU(3) gauge theory”, Quarks to Universe in Computational Science (QUCS 2015), Nara Kasugano InternationalForum IRAKA, Japan, November 4 –8, 2015.
- ©[17] Ken-Ichi Ishikawa, Issaku Kanamori, Yuko Murakami, Ayaka Nakamura, Masanori Okawa and Ryoichiro Ueno, “Determination of  $\Lambda$ -parameter ratio between the Twisted Gradient Flow scheme and the Schrödingerfunctional scheme in the SU(3) gauge theory”, 1st CORE-U International Conference: Intense Fields and Extreme Universe, Higashi-Hiroshima Campus of Hiroshima University, Japan, March 7–8, 2016.
- [18] Yuko Murakami and Ken-Ichi Ishikawa,”Perturbative analysis of the Schroedinger functional scheme with the Moebius Domain Wall Fermion”, 1st CORE-U International Conference: Intense Fields and Extreme Universe, Higashi-Hiroshima Campus of Hiroshima University, Japan, March 7–8, 2016.
- [19] H. Sakamoto, “CMB fluctuation in gauged Nambu-Jona-Lasinio model”, KEK-PH 2016.
- [20] H. Sakamoto, “CMB fluctuation in gauged Nambu-Jona-Lasinio model”, 1<sup>st</sup> CORE-U International Conference.

国内学会

(招待講演)

なし

(一般講演)

- [1] 村上祐子, 石川健一: 「Moebius Domainwall Fermion の Schroedinger 汎関数1ループベータ関数の解析」, 日本物理学会2015年秋季大会 (9月27日, 大阪市大, 大阪市)
- ◎[2] 石川健一, 金森逸作, 村上祐子, 中村文香, 大川正典, 上野峻一郎: 「SU(3)純ゲージ理論におけるSF法とTGF法の $\Lambda$ パラメータ比に関する研究」, 日本物理学会 第71回年次大会 (3月22日, 東北学院大, 仙台市)
- ◎[3] 石川健一, 金森逸作, 村上祐子, 中村文香, 大川正典, 上野峻一郎: 「Twisted Gradient Flow法を用いたSU(3)純ゲージ理論の $\overline{MS}$   $\Lambda$ パラメータと弦定数比の計算」, 日本物理学会 第71回年次大会 (3月22日, 東北学院大, 仙台市)
- [4] 両角卓也, 由宇朗大, Three generation seesaw model with a massless neutrino, 2016年2月16日, 第29回ニュートリノ研究会, 東京大学宇宙線研究所
- [5] 両角卓也, Apriadi Salim Adam, 長尾桂子, 高田浩行, Particle Number Asymmetry induced with CP violating interaction in expanding universe, , 2016年3月25日, 松江素粒子物理学研究会, 島根大学
- [6] 両角卓也, Apriadi Salim Adam, 長尾桂子, 高田浩行, Particle Anti-particle number asymmetry and time evolution ; production through interactions of scalars, 2015年9月, Setouchi Summer Institute, 香川県坂出市
- (大学院生が発表者のもの)
- [7] 梅枝宏之, 両角卓也, 木村大自, 「ハドロン, タウ崩壊のレゾナンスカイラルラグランジアンを用いた解析」, 松江素粒子物理学研究会, 松江市, 2016年3月
- [8] 梅枝宏之, 両角卓也, 木村大自, 「Tau and Hadron decay with intrinsic parity violation in Resonance Chiral Lagrangian」, 日本物理学会第71回年次大会, 19pAL-10, 仙台市, 2016年3月
- [9] 梅枝宏之, 両角卓也, 大兼英朗, 「Time reversal-like asymmetry with B meson decays」, Bファクトリー物理勉強会, 柏市, 2015年12月
- [10] 梅枝宏之, 両角卓也, 木村大自, 「 $\tau \rightarrow \nu\tau\eta\pi^0\pi^-$  とベクトル中間子を含むカイラルラグランジアンへの制限」, Flavor Physics Workshop, 沼津市, 2015年10月
- [11] 梅枝宏之, 木村大自, 両角卓也, 「ベクトル中間子を含むカイラルラグランジアンに基づく固有パリティを破るハドロン崩壊過程の解析」, 物理学会 2015年秋季大会, 28aSD-10, 大阪市, 2015年9月
- [12] 木村大自, 梅枝宏之, 両角卓也, 「ベクトル中間子を含むカイラルラグランジアンに基づく $\tau \rightarrow \eta\pi\pi\nu$ 崩壊の研究」, 物理学会 2015年秋季大会, 28aSD-11, 大阪市, 2015年9月
- [13] 梅枝宏之, 両角卓也, 木村大自, 「ベクトル中間子を含むカイラルラグランジアンにおける固有パリティを破るパラメーターの決定」, 瀬戸内サマーインスティテュート 2015, 坂出市, 2015年9月
- [14] 梅枝宏之, 両角卓也, 木村大自, 「ハドロン崩壊やタウレプトンの崩壊に基づく, ベクトル中間子を含むカイラルラグランジアンにおける固有パリティや SU(3) を破る相互作用の研究」, 素粒子物理学の進展 2015, 京都市, 2015年9月
- [15] Apriadi Salim Adam, T. Morozumi and K. Nagao and H. Takata, Creation and time evolution of particle number asymmetry in an expanding universe with interactions, 研究会 熱場の量子論

京都大学基礎物理学研究所 2015年9月1日

- [16] 稲垣知宏, S. D. Odintsov, 坂本弘樹, “ゲージ相互作用する南部・ヨナラシーニョ模型でのインフレーション”, 日本物理学会第71回年次大会, 東北学院大学, 2016年3月
- [17] 坂本弘樹, “複合スカラー場によるインフレーション”, 瀬戸内サマーインスティテュート2015, 香川県坂出市, 2015年9月
- [18] 坂本弘樹, “複合スカラーインフレーション”, 原子核三者若手 夏の学校2015, 2015年8月
- [19] 坂本弘樹, “Gauged Nambu-Jona-Lasinio inflation”, 基研研究会 素粒子物理学の進展2015, 京都大学 基礎物理学研究所, 2015年9月

#### 学生の学会発表実績

(国際会議)

- |                            |      |
|----------------------------|------|
| ○博士課程前期の学生が共同発表者の発表件数      | 3 件  |
| ○博士課程後期の学生が共同発表者の発表件数      | 10 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      | 5 件  |
| ○博士課程後期の学生が共同発表者の発表件数      | 11 件 |
| ○博士課程前期・後期の学生が共に共同発表者の発表件数 | 3 件  |

各種研究員と外国人留学生の受入状況 (両角)

外国人留学生 (博士後期過程) 1名 Apriadi Salim Adam

#### セミナー・講演会開催実績

CORE-Uで主催した素粒子関連のセミナーを記載, 企画, 提案者のうち素粒子論研究室メンバーを括弧内に記載

- [1] 2015年ノーベル物理学賞受賞記念 特別セミナー (一般向)  
日時: 2015年10月9日 (金) 14:30-16:00  
場所: 広島大学 東広島キャンパス 学士会館 2F レセプションホール  
講演者: 小林 隆 氏 (高エネルギー加速器研究機構 教授)  
タイトル: J-PARCニュートリノ実験の最新結果と将来の展望  
参加人数60名  
(両角, 石川, 大川)
- [2] 第6回 (2015年度第1回) 広島大学極限宇宙研究拠点(CORE-U) セミナー  
日時: 2015年4月2日 (木) 14:30-16:00  
場所: 広島大学大学院理学研究科 E002  
題名: Dark Matter Models with Local Dark Gauge Symmetries  
講師: Professor Pyungwon Ko (Korea Institute of Advanced Study)  
参加人数30名  
(両角)
- [3] 第9回 (2015年度第4回) 広島大学極限宇宙研究拠点(CORE-U) セミナー

日時：2015年5月20日（水）12:50-14:20

場所：広島大学大学院理学研究科 E002

題名：Study for the measurement of  $\phi_3$  using  $B_0 \rightarrow DK^*0$  followed by  $D \rightarrow KS_0\pi^+\pi^-$  with model-independent Dalitz analysis

講師：根岸 健太郎 博士（広島大学先端物質科学研究科）

参加人数30名

（両角）

[4] 第14回(2015年度第9回)広島大学極限宇宙研究拠点(CORE-U)セミナー

日時：2016年3月9日(水) 13:30-15:00

場所：広島大学大学院理学研究科 E002

講師：Professor. Bernd A. Kniehl (Hamburg University)

タイトル：Heavy-quarkonium theory in the LHC era

日時：2016年3月9日(水) 13:30-15:00

参加人数30名

（両角）

#### 国際共同研究・国際会議開催実績

- [1] 国際会議 1st CORE-U International Conference: Intense Fields and Extreme Universe, Hiroshima University, 2016年3月7日-8日, 広島大学大学院理学研究科E203 大会議室, 60名, LOC（両角）
- [2] 第33回格子上の場の理論国際会議 The 33rd International Symposium on Lattice Field Theory, 2015年7月14日-7月18日, 神戸国際会議場, 376名, 組織委員会委員（LOC）,（石川）

#### 社会活動・学外委員

##### ○ 学協会委員

- [1] 大川正典：高エネルギー加速器研究機構大型シミュレーション研究推進委員会委員
- [2] 大川正典：筑波大学計算科学研究センター運営協議会委員

##### ○ 外部評価委員等

該当無し

##### ○ 高大連携事業への参加状況

該当無し

##### ○ 研究助成金の受入状況

- [1] 大川正典：科学研究費補助金基盤研究(C), 「アジョイント表現のフェルミオンを持つSU(N)ゲージ理論のラーゼン極限での研究」(平成26~28年度, 代表, 1,200千円)
- [2] 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」(平成26年度~平成31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)

## ○宇宙物理学グループ

### 研究活動の概要（小嶋康史）

#### （１）ブラックホール磁気圏

ブラックホールから噴出するジェットへのエネルギーを供給する機構として、ブラックホールの回転エネルギーを電磁気的に取り出す過程（Blandford-Znajek過程）が長年にわたり議論されてきた。これまで、ある種の特別な境界の下で議論されてきたが、ブラックホールから外向きにエネルギーが出るか否かはモデルの境界条件が決定する。磁力線に沿ってある種の保存量があり、ブラックホールの地平面近傍の振る舞いは遠方での条件が影響しているからである。理想MHD条件を課さずに、電荷が正と負の二成分の流体の運動を考慮する微視的モデルによりブラックホール時空で定常な電磁場構造を探った。球対称で動径方向の磁場中では中性の流れのままであるが、そこにブラックホールの回転が影響を与える。ブラックホールの自転は小さいとし、方程式の角度部分は球関数で展開し、動径方向にはWK B近似を用いて関係するモードのみを取り出した。その結果、ブラックホールの自転により生じた回転方向の運動が正負の電荷の流体で反対方向にローレンツ力を受け、子午面内に電荷と電流を生じる。それからつくられる電場と磁場から外向きの電磁エネルギーの流れを生じることがわかった。ブラックホールの地平面で生じるものでないことを示した。結果を論文にまとめ、出版された。同時に、成果は国内学会等で公表した。

#### （２）中性子星（マグネター）の磁場進化と振動の数値的解法

マグネター（超強磁場をもつ中性子星）は巨大なフレアを起こす。過去の巨大フレアではX線やガンマ線の光度に振動数が数十から百Hzの準周期的振動（QPO）成分がみられ、中性子星の殻におけるシア運動に伴うものという説がある。マグネター内部で起きる振動を初期値からの時間発展の数値計算を検討中である。また、マグネター（超強磁場をもつ中性子星）内部の強磁場の時間変化を決めるホール効果を考慮した、非線形移流が支配的な拡散方程式の数値解法を試みている。ある限界の値以上にひずみが生じると、バースト的な構造変化があると考えている。その発現頻度と規模に関して「べき則」を与える可能性を考案した。今後、シミュレーションの取り入れることと観測を検討している。また、マグネターは巨大なフレアを起こすエネルギー源の場所の再検討を行った。

#### （３）その他

神岡に建設中の大型低温の重力波観測所（KAGRA）や現在計画中の重力波観測衛星（DECIGO）などで観測されるものや期待されるものなど多方面の検討に理論部門からの研究前年度から引き続き研究を行った。また、初期観測に参加した。

### 研究活動の概要（山本一博）

前年度に引き続き、銀河分布の多重極パワースペクトル解析と重力モデルの検証、宇宙論的非線形密度揺らぎの進化、インフレーションモデルの検証、及びアンルー効果の検証に関するテーマを中心に研究を行った。研究の第一の動機は、宇宙の加速膨張の解明を目的とした理論モデルの進展を背景として、重要となっている宇宙論スケールでの重力理論の検証を進めるという点にある。インフレーションモデルの検証、また重力理論における非線形現象が、どのように宇宙モデルの検証に影響するかという問題も一般相対論の課題として興味深い課題である。第二の動機として、量子場の真空の性質を理解することは、宇宙の加速膨張の問題にヒントを与える可能性があり、また同時に量子力学の基礎的原理の検証としても重要だからである。具体的な研究成果を以下に報告する。

### (1) サテライト銀河の落下運動による銀河多重極スペクトルへの影響

大規模な銀河探査プロジェクトの進展に伴って、銀河分布の精密な理論模型の構築と物理的情報をどのように正確に取り出せるかが課題となっている。特に、非線形効果が重要となる小スケールの銀河分布の理解は残された課題が多い。これまでの研究から、大規模サーベイで得られる赤方偏移銀河分布では、ダークマターハローと銀河の対応、銀河の運動が強く影響していることがわかってきた。特にサテライト銀河とよばれる一部の銀河の運動が小スケールの多重極スペクトルに強く反映されことを明らかにしている。これまでの理論模型では、サテライト銀河はランダム運動のみしていると仮定していたが、銀河の合体に伴う落下運動の影響を考慮して、銀河分布の多重極スペクトルへどのような影響があるかを定量的に明らかにした。今後は二体相関だけでなく、三体相関であるバイスペクトルに対する精密理論模型の構築と、それによって得られる非線形効果の物理情報を明らかにする。

### (2) 重力チェレンコフ放射による重力波の分散関係と重力理論の制限

修正重力理論に対する多角的な視点から重力波に着目した研究を進めている。今年の2月には、aLIGOグループが連星ブラックホールからの重力波の直接検出を報告し、今後は重力に固有の自由度である重力波の検証が精密に進むと考えられる。重力波は重力模型を特徴づけるものであり、重力波によって修正重力理論を検証できる場合が多くある。重力チェレンコフ放射という現象に着目して、重力波の分散関係に対してえられる制限について研究を行った。その結果、重力チェレンコフ放射は、修正重力理論や量子重力理論において予言される分散関係の高次修正項に対して非常に強い制限を与えることを明らかにした。重力波の直接観測から得られる重力子の質量に対する制限と相補的に組み合わせることで、一般に重力波の強い制限となる。成果は、**Physical Review D**に掲載された。現在は重力子に質量項を与える双重力理論模型への応用、研究を進めている。

### (3) 一般相対性理論における宇宙論的密度揺らぎの進化

一般相対性理論におけるアインシュタイン方程式は非線形方程式であり、一般的な状況下での解析的一般解は得られていない。膨張宇宙における重力の引き起こす非線形効果は、現在でも活発に研究が行われているテーマである。この研究テーマについて、膨張宇宙における非線形効果の影響を厳密な方程式を数値的に解く方法を用いて調べた。この問題は、圧力のある物質が宇宙を支配する場合、解析解が存在しないため、研究がなされていなかった。そこで、球対称性を課したル・メートル解を数値的に求め、その解の振る舞いをニュートンの座標への変換を数値的に実行し非線形効果の影響を調べた。分かったことは、線形理論では現れない非等方圧力が非線形効果によって出現することを示し、それが現れる条件を明らかにした。非等方圧力は、修正重力理論を検証する上で指標となるものであるが、それが一般相対性理論の枠組みでも非線形効果によって発生するという興味深い知見が得られた。成果は分野の有力雑誌である **Journal of Cosmology and Astroparticle Physics**に掲載された。今後の応用研究として、インフレーション宇宙の問題へ応用と解析を進める計画である。

### (4) アンルー効果の検証に関する理論的研究

曲がった時空上の場の量子論に関連する効果として、アンルー効果が知られている。アンルー効果は、加速度運動する観測者がミンコフスキー真空を熱的励起状態として観測するという理論予言で、真空の量子揺らぎと時空構造の関わり検証する面白い問題である。アンルー効果の検証については、高強度レーザー装置の開発応用に関連して議論がなされ、実験物理学とも関わる重要課題であるが、これまでに検証はなされておらず、また本当に検証が可能かどうか理論的にも不明な点が残されている。このような状況を背景として、本研究では、量子場と相互作用する加

速度運動する粒子模型を採用し、粒子から放射されるアンルー効果のシグナルとはどのようなものか明らかにする研究を進めている。今年度は、現実的な電磁場の量子揺らぎと相互作用する一様加速度運動する荷電粒子の模型を解析して、以下の成果を得た。電磁場の量子揺らぎ相互作用による粒子の加速軌道のまわりのランダム運動がエネルギー等分配則という熱的性質を示し、アンルー効果の影響下にあることを示した。さらにこの運動にともなう電磁場のエネルギー運動量テンソルを計算し、その性質を明らかにした。古典放射ラーモアより $a/m$ 倍だけ小さな影響が残ることが分かった。ここで、 $a$ と $m$ は、加速度の大きさと粒子の質量である。この結果は、スカラー場と粒子の模型の場合と同様であった。さらに、この結果は場の理論的枠組みに基づいて得られたラーモア放射の量子効果と整合するものであった。これらの結果を総合すると、アンルー放射と呼ばれる現象は、量子力学的な非局所的相関と深く関わっていることが示唆され、量子力学原理の検証としても面白い対象となることがわかった。今後は、その検証の具体的方法の検討と、理論予言の明解な物理的理解を深めることが重要である。それには、量子情報理論の技術を用いた解析が有効と考えている。

#### (5) プランク衛星による宇宙背景放射の観測とインフレーション模型の制限

宇宙の始まりに起こったと考えられているインフレーションは宇宙の加速膨張現象であり、そのインフレーションの多様な模型の検証が必要である。宇宙マイクロ波背景放射の揺らぎは、インフレーション模型の理論予言と直接結びつくので、検証において重要である。プランク衛星による宇宙背景放射の揺らぎの観測結果に基づいてインフレーション模型の制限を次の二つ観点から行った。第一に、大角度スケールの温度揺らぎは、標準模型の理論予言に比べて小さいことが指摘されており、大角度スケールのアノマリーとよばれている。このアノマリーが偽真空崩壊を伴うインフレーション模型によって、より整合的に説明できることを示した。しかし、同時にパラメーターの微調整が必要であることもわかった。第二に、宇宙背景放射から測定された初期曲率揺らぎのスペクトル指数の制限を用いて、インフレーションに伴う再加熱機構に制限を与える研究を進めている。

#### 研究活動の概要 (岡部信広)

銀河団の弱い重力レンズ解析を中心とする多波長観測の研究を行った。銀河団は宇宙で最大の天体であり、暗黒物質がその質量の大半を占める。目で見ることができる通常の物質はバリオンと呼ばれ、X線衛星や光学望遠鏡を通して観測されるが、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。以下は研究のハイライトである。

#### (1) 超近傍銀河団の弱い重力レンズ解析と銀河団中心の巨大楕円銀河の星運動学のジョイント解析

赤方偏移が $z=0.05$ 程度にあるHydra A銀河団に対する弱い重力レンズ解析を行った。弱い重力レンズ解析では銀河団中心から30キロパーセク程度外側のレンズ信号を捉えることができる。一方、銀河団の中心には巨大な楕円銀河があり、そのごく中心部では星質量が卓越している。30キロパーセクの以内の質量分布を反映する星の動力学的情報と重力レンズ信号を組み合わせることによって、銀河団の半径3キロパーセクからビリアル半径の質量プロファイルの測定に成功した。特に、2つの異なる情報を用いることによって、銀河団の暗黒物質質量と星質量を分解することができ、銀河団の中心部の質量プロファイルの精密測定が可能になった。

#### (2) 巨大な電波レリックスを持つ銀河団の弱い重力レンズ解析と加速モデルを用いた乱流磁場の制限

巨大な電波レリクは、高エネルギー電子のシンクロトロン放射で銀河団外縁部に見られる。これは高エネルギー電子と磁場の存在を意味している。このような巨大な電波レリクは銀河団衝突によって引き起こされる。弱い重力レンズ効果を使った質量構造のマルチコンポーネント解析を行い、2つの大きなサブ構造の質量を同時に測定した。さらに、X線、電波、重力レンズの情報から推測される銀河団衝突の物理パラメータに一致が見られた。また、銀河団中心部に電波源が見られないことから、フェルミの2次加速を仮定し、銀河団磁場の乱流の上限値の制限を行った。

### (3) 静水圧平衡質量と弱い重力レンズ質量の比較

赤方偏移0.15から0.3にある巨大な銀河団50個を均一的にサンプリングし、X線から測定される質量と弱い重力レンズ質量の比較を行った。その結果銀河団の半分程度の大きさで両者に有意な差が見られなかった。このことから、銀河団の半径の小さいところでは静水圧平衡の仮定が十分に成り立っていると考えられる。

### (4) 新しい解析方法の開発

弱い重力レンズ解析において、新しい解析方法の開発とそのデータの応用を行った。複数のサンプルに対するレンズ信号を合成する解析方法をスタッキング解析と呼ぶ。半径方向とレンズ信号の方向で、銀河団の半径や質量で規格化すると、スタッキングプロファイルの精度が良いことが分かった。また、別の論文ではX線との情報を組み合わせて、3次元構造をディプロジェクションする方法を実データに応用し、視線方向の構造に敏感な重力レンズ信号と敏感でないX線情報から、銀河団ハローの楕円率の制限を行った。

### (5) 銀河団サブ構造の多波長解析

銀河団の中には様々な質量を持つサブ構造があることが知られている。X線と重力レンズ信号の相補的データを組み合わせてサブ構造の研究を行った。本研究によってレンズ信号で捉えられた質量サブ構造に存在するX線サブハローのガス質量が期待される値より十分小さく、サブハローが銀河団内を動き回る過程において動圧等でガス質量を失ったと考えられることが分かった。

## 原著論文

- [1] Y. Kojima, “Outgoing electromagnetic power induced from pair plasma falling into a rotating black hole” *Monthly Notice of the Royal Astronomical Society* 454, p.3902
- [2] Tatsuhiro Kanamaru, Chiaki Hikage, Gert Hütsi, Ayumu Terukina, Kazuhiro Yamamoto, “What can we learn from higher multipole power spectra of galaxy distribution in redshift space?”, *Physical Review D* **92**, 023523 (July 2015).
- [3] Yuichiro Takushima, Ayumu Terukina, Kazuhiro Yamamoto, “Third order solutions of cosmological density perturbations in Horndeski’s most general scalar-tensor theory with the Vainshtein mechanism”, *Physical Review D* **92**, 104033 (November 2015).
- © [4] Ayumu Terukina, Kazuhiro Yamamoto, Nobuhiro Okabe, Kyoko Matsushita and Toru Sasaki, “Testing a generalized cubic Galileon gravity model with the Coma Cluster”, *Journal of Cosmology and Astroparticle Physics*, 10(2015)064 (October 2015).
- [5] Naritaka Oshita, Kazuhiro Yamamoto, Sen Zhang, “Quantum radiation from a particle in an accelerated motion coupled to vacuum fluctuations”, *Physical Review D* **92**, 045027 (August 2015).
- [6] Satoshi Kiyota, Kazuhiro Yamamoto, “Constraint on modified dispersion relations for gravitational waves from gravitational Cherenkov radiation”, *Physical Review D* **92**, 104036 (November 2015).
- [7] Chiaki Hikage, Kazuhiro Yamamoto, “Fingers-of-God effect of infalling satellite galaxies”, *Monthly Notice of Royal Astronomical Society Letters* **455** L77 (November 2015)
- [8] Kazuhiro Yamamoto, Valerio Marra, Viatcheslav Mukhanov, Misao Sasaki, “Perturbed Newtonian description of the Lemaitre model with non-negligible pressure”, *Journal of Cosmology and*

*Astroparticle Physics*, 03(2016)030 (March 2016)

- ◎ [9] N. Okabe, K. Umetsu, T. Tamura, Y. Fujita, M. Takizawa, K. Matsushita, Y. Fukazawa, T. Futamase, M. Kawaharada, S. Miyazaki, Y. Mochizuki, K. Nakazawa, T. Ohashi, N. Ota, T. Sasaki, K. Sato & S. I. Tam, “Central Mass Profiles of the Nearby Cool-core Galaxy Clusters Hydra A and A478”, *Monthly Notice of the Royal Astronomical Society* **456** (2016) 4475.
- [10] N. Okabe, H. Akamatsu, J. Kakuwa, Y. Fujita, Y. -Y. Zhang, M. Tanaka, and K. Umetsu, “Radio Relics Tracing the Projected Mass Distribution in CIZA J2242.8+5301” *Publications of the Astronomical Society of Japan* **67** (2015) 114.
- [11] G. P. Smith, P. Mazzotta, N. Okabe, F. Ziparo, S. L. Mulroy, A. Babul, A. Finoguenov, I. G. McCarthy, M. Lieu, Y. Bahe, H. Bourdin, A. E. Evrard, T. Futamase, C. P. Haines, M. Jauzac, D. P. Marrone, R. Martino, P. E. May, J. E. Taylor, K. Umetsu “LoCuSS: Testing hydrostatic equilibrium in galaxy clusters” *Monthly Notice of the Royal Astronomical Society* **456** (2016) L74.
- [12] E. Medezinski, K. Umetsu, N. Okabe, M. Nonino, S. Molnar, R. Massey, R. Dupke, J. Merten, “Frontier Fields: Subaru Weak-Lensing Analysis of the Merging Galaxy Cluster A2744” *The Astrophysical Journal* **817** (2016) 24
- [13] H. Niikura, M. Takada, N. Okabe, R. Martino, R. Takahashi, “Detection of universality of dark matter profile from Subaru weak lensing measurements of 50 massive clusters” *Publications of the Astronomical Society of Japan* **67**(2015) 103
- [14] T. Sasaki, K. Matsushita, K. Sato and N. Okabe “Suzaku observations of subhalos in the Coma cluster” *The Astrophysical Journal* **806**(2015) 123.
- [15] K. Umetsu, M. Sereno, E. Medezinski, M. Nonino, T. Mroczkowski, J. M. Diego, S. Ettori, N. Okabe, T. Broadhurst, D. Lemze, “Three-dimensional Multi-probe Analysis of A1689” *The Astrophysical Journal* **806**(2015) 207.
- [16] C. P. Haines, M. J. Pereira, G. P. Smith, E. Egami, A. Babul, A. Finoguenov, F. Ziparo, S. L. McGee, T. D. Rawle, N. Okabe, and S. M. Moran “LoCuSS: The slow quenching of star formation in cluster galaxies and the need for pre-processing” *The Astrophysical Journal* **806** (2015) 101.

#### 総説

- ◎ [1] 岡部信広, 梅津敬一, 田村隆幸, 藤田 裕, 滝沢元和, ZHANG Yu-Ying, 松下恭子, 浜名 崇, 深沢泰司, 二間瀬敏史, 川原田円, 宮崎 聡, 望月ゆきこ, 中澤知洋, 大橋隆哉, 太田直美, 佐々木亨, 佐藤浩介, TAM Sutieng : “Universal Profiles of the Intracluster Medium from Suzaku X-Ray and Subaru Weak Lensing Observations” 国立天文台年次報告, 研究ハイライト 第27冊 2014年度

#### 国際会議

(招待講演)

無し

(依頼講演)

- [1] Y. Kojima: “Exploring magnetic fields of neutron star”, Comprehensive Studies of Neutron Stars 研究会 平成27年11月24 -25日, 理化学研究所, 参加者50名
- [2] Y. Kojima: “Exploring black hole engine”, CTA Japan meeting 平成28年 1月13 -14日, 東京大学 柏キャンパス, 参加者50名

- [3] Y. Kojima: “Strong magnetic fields in neutron stars”, Intense fields and the extreme universe 平成28年3月7-8日 広島大学, 参加者50名
- [4] Naritaka Oshita (発表者), Kazuhiro Yamamoto, Sen Zhang: “Unruh radiation produced by a uniformly accelerating charged particle in thermal random motions”, Second LeCosPA International Symposium under the Auspices AAPPs-DAGG, Everything About Gravity, 平成27年12月14日

(一般講演)

- [1] Y. Kojima: “Origin of outgoing electromagnetic power by a black hole rotation”, The 25th workshop on general relativity and gravitation in Japan 平成27年12月9日
- [2] Naritaka Oshita, Kazuhiro Yamamoto, Sen Zhang: “Unruh radiation produced by a uniformly accelerating charged particle coupled to vacuum fluctuations”, (poster presentation), The 25th workshop on general relativity and gravitation in Japan 平成27年12月9日
- [3] Yoshiki Ueno, Kazuhiro Yamamoto: “Constraints on  $\alpha$ -attractor inflation and reheating”, (poster presentation), CORE-U International conference Intense Field and Extreme Universe 平成28年3月7日
- [4] Takumi Hirakawa, Kazuhiro Yamamoto: “Exploring inflationary scenarios with large scale suppression”, (poster presentation) CORE-U International conference Intense Field and Extreme Universe 平成28年3月7日

国内学会

(招待講演)

無し

(一般講演)

- [1] 小嶋康史: 「ブラックホールの回転による外向きの電磁エネルギー流の生成」日本天文学会秋季年会 (平成27年9月9-11日, 甲南大学)
- [2] 小嶋康史: 「微小回転のブラックホールから外向きの電磁エネルギー流の生成」日本天文学会春季年会 (平成28年3月14日-17日, 首都大学東京)
- [3] 大下翔誉, 山本一博, 張 森: 「Radiation from a particle in an accelerated motion coupled to vacuum fluctuations」日本物理学会2015秋期大会, 平成27年9月27日
- [4] 清田哲史, 山本一博: 「重力チェレンコフ放射による修正された重力波の分散関係に対する制限」日本物理学会2016春期大会, 平成28年3月20日
- [5] 山本一博, Valerio Marra, Viatcheslav Mukhanov, 佐々木節: 「Perturbed Newtonian description of the Lemaitre model with non-negligible pressure」日本物理学会2016春期大会, 平成28年3月21日
- [6] 小嶋康史: 「回転ブラックホールへ正負ペアの降着による外向きの電磁エネルギー流の生成」高エネルギー宇宙物理学研究会 2015 (平成27年11月27日, 西伊豆)
- [7] 小嶋康史: 「中性子星の磁場の変化」研究会[中性子星の観測と理論] (平成27年12月22日, 京都大学)

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 | 2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 1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] 小嶋康史：一般相対論誕生 100 年記念市民講演会 開催実行委員長 2015 年 11 月 7 日  
一般約 100 人 広島大学理学部 E002

##### ○講習会・セミナー講師

- [1] 山本一博：大人の科学談話室「アインシュタインと宇宙の始まり」，広島市こども文化科学館，平成 27 年 12 月 12 日，一般 (50 名)
- [2] 山本一博：基礎物理学研究所セミナー「Constraints on modified dispersion relations for gravitational waves from gravitational Cherenkov radiation」，平成 28 年 1 月 27 日，研究者 (30 名)
- [3] 岡部信広：高校生のための広島大学公開講座，”宇宙に存在する物質の起源” 「星以外の天体の元素組成比の観測」 (2015 年 7 月 24 日 広島大学)
- [4] 岡部信広：「一般相対性理論誕生 100 年記念市民講演会」 「アインシュタインと重力レンズとすばる望遠鏡」 (2015 年 11 月 7 日 広島大学)
- [5] 岡部信広：重力波初検出セミナー「重力波初検出について」(2016 年 2 月 22 日 広島大学)

##### ○SSHセミナー，高等学校による大学訪問

- [1] 山本一博：「宇宙最古の電磁波」広島大学オープンキャンパス，平成 27 年 8 月 18 日，講師，一般高校生 (150 名)

##### ○国際共同研究・国際会議開催実績

- [1] 小嶋康史：JGRG25組織委員SOC (参加者：約150名) (2015年12月7-11日，京都大学)
- ◎[2] 小嶋康史，山本一博：Core-U international conference Intense fields and the extreme universe 組織委員世話人 (参加者：約50名) (2016年3月7-8日，広島大学)

##### ○各種研究員と外国人留学生の受入状況

山本一博：南 岳 (大学院M1)

##### ○研究助成金の受入状況

- [1] 小嶋康史：科学研究費基盤研究(C) (平成26-29年度，代表，平成27年度 600千円) 「大域的磁場の性質から探る中性子星の構造と進化」
- [2] 山本一博：科学研究費補助金新学術領域研究 (平成27-31年度，分担者，平成27年度 500

千円)「究極理論からの加速宇宙の解明」

- [3] 岡部信広：科学研究費補助金若手研究(B) (平成26-28年度, 代表, 平成27年度 800千円)  
「弱い重力レンズ効果による銀河団サブハローの質量関数と統計的性質の解明」

## ○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研究所国際共同研究ALICE実験に私たちが建設導入した高分解能フォトン検出器PHOSを主要測定器とし, LHC加速器原子核衝突が創る超高温領域クォーク物質の強相関物性と完全流体性を解明する。前年度に拡張型読出技術を新規導入したPHOS検出器は本学院生3名の特筆すべき活躍により順調に立ち上がり, 本年6月から衝突エネルギーを倍増したLHC加速器第2期13TeV陽子+陽子衝突実験のデータ収集に突入した。直ちに収集データの整合性確認及び品質検査を始めると同時に性能向上に向けた機器調整を進めた。杉立徹教授はこれらの技術情報を携え同年8月, 日本研究チーム5名を率いてロシア研究機関・高エネルギー物理学研究所(プロトヴィノ)を訪問し, ロシアチームと進捗状況を相互確認するとともに今後の研究戦略を議論した。日露チームが先導するカロリメータ検出器を使った物理データ解析は順調に進展し, 同年9月末に神戸市で開催した国際会議クォークマター2015で本学院生が4件の研究発表を行った。同物理解析を加速的に展開するため, 同会議に連結して10月5日からロシアチームに加えて仏国・米国・スウェーデン・中国の関連研究者も集めて“ALICE Calo Meeting in Osaka”(大阪大学中之島センター)を主催し, 広く活発な意見交換を行い, 研究戦略の徹底を図った。11月から4週間, 衝突エネルギーを核子対当たり5TeV/Aに倍増して初めての鉛+鉛原子核衝突実験を遂行した。衝突実験開始当初からPHOS検出器は順調にデータ収集を継続した。データ統計量の増加とともに検出器校正の精度も向上し, 明確な中性パイ及びイータ中間子生成を確認するとともに, 横運動量の関数としてこれらの生成量の導出に成功している。公表データ導出に向けて本学院生が中心となり詳細な解析を続けている。これらの成果を含めてALICE国際共同実験共著として本年度, 学術論文36編を公表した。

志垣賢太准教授はALICE実験における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・ロシア・中国・韓国・インド・ペルー・タイの研究機関と連携して推進している。本年度は, 5月にフランスからMFT検出器副責任者を, 10月には国際会議クォークマター2015に連結して“ALICE MFT Meeting at Hiroshima University”を主催しMFT検出器責任者らを含むフランスおよび日本国内の共同研究者を, 広島大学へ各々招聘して, 共同研究推進に関する戦略議論と意見交換を行った。また, MFT検出器制御系責任者の立場から責任範囲を拡大し, 1月に制御供給作業部会座長に就任した。本年度は特に, 検出器制御系の開発と半導体検出素子の性能試験に重点を置き, 双方に関して日本唯一となる開発試験環境を広島大学に構築整備した他, 複数の本学大学院生をCERN研究所に派遣してALICE実験中枢部との技術連携を強化した。併せて物理性能評価の面から, イタリアECT\*研究所で主催した国際会議「RHICとLHCでの超相対論的重イオン衝突における光子・レプトン対の新展望」において研究発表を行い, 2月には本学大学院生とともにフランス・リヨン大学を訪問して進捗状況を相互確認し研究戦略を議論した。並行して推進する米国BNL研究所RHIC加速器PHENIX実験においては, 15年目のデータ収集とともに, 17編の査読共著論文を公表した。従来から主眼であった低質量領域の物理解析に加え, 新規導入した衝突点近傍半導体検出器を用いた重クォーク挙動の解明に向けて解析対象範囲を発展展開し, 国際会議クォークマター2015において本学大学院生が研究発表

を行った。これらの研究業績に基づき、理化学研究所に客員研究員として、東北大学に非常勤講師として、各々招かれた。

本間謙輔助教は宇宙暗黒物質源となり得る光に弱く結合するsub-eVの未知素粒子の探索を実施した。昨年度中の世界初の探索手法による結果の出版に続き、さらなるレーザーの高強度化に向けて原子起因の背景事象を定量化するための実験準備を推進した。実際に京都大学化学研究所(化研)内で構築した真空容器内のレーザー集光系において、生成用光波と崩壊誘導用光波のレーザーを同軸上で混合し、真空内四光波混合光の探索を実施した。その際、化研内のレーザーシステムで得られる生成用レーザー光強度を2段階に用いて探索を試みた。比較的弱い初段階のレーザー強度による探索では、真空内四光波混合光が統計的に有意に見出されなかった結果を得た。この結果から、未知場と光子との結合に対する上限値を、場の質量の関数として見積り、論文として公表した。初段階の探索システムにより、残余原子起因の背景光の圧力依存性の定量化にも成功した。その結果、2段階目の最高強度レーザーによる探索には、真空系の根本的なアップグレードが必須であることが判明した。これらの経験を通じて、背景光の抑制方法の確立とその実践のために必要とされる次期研究課題を具体化した。この研究を共に推進させた本学大学院生は2016年2月、レーザー学会第36回年次大会で発表した「四光波混合を用いた暗黒物質候補粒子の探索結果」に対して論文発表奨励賞を受賞し、更に同年3月、博士(理学)の学位を取得した。欧州連合は総額おおよそ1000億円を投資する超高強度レーザー光施設(Extreme Light Infrastructure, ELI)プロジェクトを2009年に認可した。このプロジェクトは高強度レーザー技術を基本インフラとした基礎・応用科学を欧州全体で発展させることを目的としている。その約3分の1の予算措置を受け、原子核物理を含む基礎科学に重点を置いたELI-NPサイトをルーマニアのホリヤフルベイ国立物理学・原子核工学研究所(IFIN-HH)に置くことが2012年に承認された。本間謙輔助教は、2009年よりミュンヘン大学(Munich-Center for Advanced Photonics, MAP project)へ客員教授として招かれ、先導的な立場で特にELIで実施可能となる真空の量子構造を光で探求する研究提案を、現地の研究者らと議論を重ね論文化し、2011年3月にELI-NPに対して実験提案を行った。この実績に基づき、本間助教はELI-NPのための実験提案とそのための技術提案書(Technical Design Report, TDR)の提出を依頼された。このため本間助教は2013年6月、2014年4月/9月、2015年2月に欧州にて開催されたTDR執筆のためのワークショップへ招聘され、上記新粒子探索のアップグレードを含む、宇宙進化と関連深い実験テーマを掲げたTDRを、HPLS-TDR3(RA5)議長として2015年4月に欧州連合の外部評価委員会に提出した。TDRは2015年5月に評価委員会から高評回答が与えられ、提案に対して2つの実験用エリアが正式に割り当てられた。その後、本間助教はRA5実験のためのキックオフミーティングをTDR議長として2015年9月にELI-NP内で主催した。次いで予備実験の事前調査として2016年1月、本間助教は関連する国内複数の研究所にRA5実験専任研究員を含むELI-NP研究者ら4名を招待し、提案内容に沿った今後の国際共同研究の進め方について打合せをした。この実験提案に対して現時点で、2018年までの期間中ELI-NPのサイト内にて約4億円(人員雇用費は除く)の初期実験経費が採択されており、今後、本間助教は提案内容に沿って実験準備を推進する。

三好隆博助教は、プラズマ物理学における重要な基礎的研究として、高精度流体シミュレーションによる磁気リコネクション研究を推進した。特に本年度は、高磁気レイノルズ数プラズマ電流層において、小スケールのPetschek型衝撃波が多数自発的に生起することを発見し、磁気リコネクションの高速化に関する新たなシナリオを提唱した。また、プラズマ流体力学方程式系に対するガウス則保証型の高次精度衝撃波捕獲法に関する研究開発を新たに開始した。

原著論文

- ◎ [1] J.Adam, K.Shigaki, T.Sugitate, *et al.*, “Pseudorapidity and transverse-momentum distributions of charged particles in proton-proton collisions at  $\sqrt{s} = 13$  TeV”, *Phys. Lett.* **B753**, 319-329, 2016.
- ◎ [2] J.Adam, K.Shigaki, T.Sugitate, *et al.*, “Measurement of electrons from heavy-flavour hadron decays in p-Pb collisions at  $\sqrt{s_{NN}} = 5.02$  TeV”, *Phys. Lett.* **B754**, 81-93, 2016.
- ◎ [3] J.Adam, K.Shigaki, T.Sugitate, *et al.*, “Azimuthal anisotropy of charged jet production in  $\sqrt{s_{NN}} = 5.02$  TeV Pb-Pb collisions”, *Phys. Lett.* **B753**, 511-525, 2016.
- ◎ [4] J.Adam, K.Shigaki, T.Sugitate, *et al.*, “Direct photon production in Pb-Pb collisions at  $\sqrt{s_{NN}} = 2.76$  TeV”, *Phys. Lett.* **B754**, 235-248, 2016.
- ◎ [5] J.Adam, K.Shigaki, T.Sugitate, *et al.*, “Centrality evolution of the charged-particle pseudorapidity density over a broad pseudorapidity range in Pb-Pb collisions at  $\sqrt{s_{NN}} = 5.02$  TeV”, *Phys. Lett.* **B754**, 373-385, 2016.
- ◎ [6] J.Adam, K.Shigaki, T.Sugitate, *et al.*, “Measurement of  $D_s^+$  production and nuclear modification factor in Pb-Pb collisions at  $\sqrt{s_{NN}} = 5.02$  TeV”, *JHEP* **1603**, 082, 2016.
- ◎ [7] J.Adam, K.Shigaki, T.Sugitate, *et al.*, “Multiplicity and transverse momentum evolution of charge-dependent correlations in pp, p-Pb, and Pb-Pb collisions at the LHC”, *Euro. Phys. J.* **C76**, 86, 2016.
- ◎ [8] J.Adam, K.Shigaki, T.Sugitate, *et al.*, “Transverse momentum dependence of D-meson production in Pb-Pb collisions at  $\sqrt{s_{NN}} = 5.02$  TeV”, *JHEP* **1603**, 081, 2016.
- ◎ [9] J.Adam, K.Shigaki, T.Sugitate, *et al.*, “Coherent  $\psi(2S)$  photo-production in ultra-peripheral Pb-Pb collisions at  $\sqrt{s_{NN}} = 2.76$  TeV”, *Phys. Lett.* **B751**, 358-370, 2015.
- ◎ [10] J.Adam, K.Shigaki, T.Sugitate, *et al.*, “Precision measurement of the mass difference between light nuclei and anti-nuclei”, *Nature Phys.* **11**, 811-814, 2015.
- ◎ [11] J.Adam, K.Shigaki, T.Sugitate, *et al.*, “Study of cosmic ray events with high muon multiplicity using the ALICE detector at the CERN Large Hadron Collider”, *JCAP* **1601**, 032, 2016.
- ◎ [12] J.Adam, K.Shigaki, T.Sugitate, *et al.*, “Centrality dependence of pion freeze-out radii in Pb-Pb collisions at  $\sqrt{s_{NN}} = 2.76$  TeV”, *Phys. Rev. C* **93**, 024905, 2016.
- ◎ [13] J.Adam, K.Shigaki, T.Sugitate, *et al.*, “Event shape engineering for inclusive spectra and elliptic flow in Pb-Pb collisions at  $\sqrt{s_{NN}} = 2.76$  TeV”, *Phys. Rev. C* **93**, 034916, 2016.
- ◎ [14] J.Adam, K.Shigaki, T.Sugitate, *et al.*, “Elliptic flow of muons from heavy-flavour hadron decays at forward rapidity in Pb-Pb collisions at  $\sqrt{s_{NN}} = 2.76$  TeV”, *Phys. Lett.* **B753**, 41-56, 2016.
- ◎ [15] J.Adam, K.Shigaki, T.Sugitate, *et al.*, “Production of light nuclei and anti-nuclei in pp and Pb-Pb collisions at energies available at the CERN Large Hadron Collider”, *Phys. Rev. C* **93**, 024917, 2016.
- ◎ [16] J.Adam, K.Shigaki, T.Sugitate, *et al.*, “Centrality dependence of inclusive  $J/\psi$  production in p-Pb collisions at  $\sqrt{s_{NN}} = 5.02$  TeV”, *JHEP* **1511**, 127, 2015.
- ◎ [17] J.Adam, K.Shigaki, T.Sugitate, *et al.*, “ ${}^3_{\Lambda}H$  and  ${}^3_{\Lambda\bar{b}}H\bar{b}$  production in Pb-Pb collisions at  $\sqrt{s_{NN}} = 2.76$  TeV”, *Phys. Lett.* **B754**, 360-372, 2016.
- ◎ [18] J.Adam, K.Shigaki, T.Sugitate, *et al.*, “Forward-central two-particle correlations in p-Pb collisions at  $\sqrt{s_{NN}} = 5.02$  TeV”, *Phys. Lett.* **B753**, 126-139, 2016.
- ◎ [19] J.Adam, K.Shigaki, T.Sugitate, *et al.*, “One-dimensional pion, kaon, and proton femtoscopia in Pb-Pb collisions at  $\sqrt{s_{NN}} = 2.76$  TeV”, *Phys. Rev. C* **92**, 054908, 2015.
- ◎ [20] J.Adam, K.Shigaki, T.Sugitate, *et al.*, “Search for weakly decaying  $\Lambda\bar{b}n\bar{b}$  and  $\Lambda\Lambda$  exotic bound states in central Pb-Pb collisions at  $\sqrt{s_{NN}} = 2.76$  TeV”, *Phys. Lett.* **B752**, 267-277, 2016.
- ◎ [21] J.Adam, K.Shigaki, T.Sugitate, *et al.*, “Centrality dependence of the nuclear modification factor of charged pions, kaons, and protons in Pb-Pb collisions at  $\sqrt{s_{NN}} = 2.76$  TeV”, *Phys. Rev. C* **93**, 034913, 2016.
- ◎ [22] J.Adam, K.Shigaki, T.Sugitate, *et al.*, “Centrality dependence of high-pT D meson suppression in Pb-Pb collisions at  $\sqrt{s_{NN}} = 2.76$  TeV”, *JHEP* **1511**, 205, 2015.
- ◎ [23] J.Adam, K.Shigaki, T.Sugitate, *et al.*, “Measurement of jet quenching with semi-inclusive hadron-jet

- distributions in central Pb-Pb collisions at  $\sqrt{s_{NN}} = 2.76$  TeV”, *JHEP* **1509**, 170, 2015.
- © [24] J.Adam, [K.Shigaki](#), [T.Sugitate](#), *et al.*, “Measurement of charm and beauty production at central rapidity versus charged-particle multiplicity in proton-proton collisions at  $\sqrt{s} = 7$  TeV”, *JHEP* **1509**, 148, 2015.
  - © [25] J.Adam, [K.Shigaki](#), [T.Sugitate](#), *et al.*, “Inclusive, prompt and non-prompt  $J/\psi$  production at mid-rapidity in Pb-Pb collisions at  $\sqrt{s_{NN}} = 2.76$  TeV”, *JHEP* **1507**, 051, 2015.
  - © [26] J.Adam, [K.Shigaki](#), [T.Sugitate](#), *et al.*, “Measurement of pion, kaon and proton production in proton-proton collisions at  $\sqrt{s} = 7$  TeV”, *Euro. Phys. J.* **C75**, 226, 2015.
  - © [27] J.Adam, [K.Shigaki](#), [T.Sugitate](#), *et al.*, “Coherent  $\rho^0$  photoproduction in ultra-peripheral Pb-Pb collisions at  $\sqrt{s_{NN}} = 2.76$  TeV”, *JHEP* **1509**, 095, 2015.
  - © [28] J.Adam, [K.Shigaki](#), [T.Sugitate](#), *et al.*, “Rapidity and transverse-momentum dependence of the inclusive  $J/\psi$  nuclear modification factor in p-Pb collisions at  $\sqrt{s_{NN}} = 5.02$  TeV”, *JHEP* **1506**, 055, 2015.
  - © [29] J.Adam, [K.Shigaki](#), [T.Sugitate](#), *et al.*, “Measurement of dijet  $k_T$  in p-Pb collisions at  $\sqrt{s_{NN}} = 5.02$  TeV”, *Phys. Lett.* **B746**, 385-395, 2015.
  - © [30] J.Adam, [K.Shigaki](#), [T.Sugitate](#), *et al.*, “Measurement of charged jet production cross sections and nuclear modification in p-Pb collisions at  $\sqrt{s_{NN}} = 5.02$  TeV”, *Phys. Lett.* **B749**, 68-81, 2015.
  - © [31] J.Adam, [K.Shigaki](#), [T.Sugitate](#), *et al.*, “Measurement of jet suppression in central Pb-Pb collisions at  $\sqrt{s_{NN}} = 2.76$  TeV”, *Phys. Lett.* **B746**, 1-14, 2015.
  - © [32] J.Adam, [K.Shigaki](#), [T.Sugitate](#), *et al.*, “Forward-backward multiplicity correlations in pp collisions at  $\sqrt{s} = 0.9, 2.76$  and 7 TeV”, *JHEP* **1505**, 097, 2015.
  - © [33] J.Adam, [K.Shigaki](#), [T.Sugitate](#), *et al.*, “Centrality dependence of particle production in p-Pb collisions at  $\sqrt{s_{NN}} = 5.02$  TeV”, *Phys. Rev. C* **91**, 064905, 2015.
  - © [34] J.Adam, [K.Shigaki](#), [T.Sugitate](#), *et al.*, “Inclusive photon production at forward rapidities in proton-proton collisions at  $\sqrt{s} = 0.9, 2.76$  and 7 TeV”, *Euro. Phys. J.* **C75**, 146, 2015.
  - © [35] J.Adam, [K.Shigaki](#), [T.Sugitate](#), *et al.*, “Charged jet cross sections and properties in proton-proton collisions at  $\sqrt{s} = 7$  TeV”, *Phys. Rev. D* **91**, 112012, 2015.
  - © [36] J.Adam, [K.Shigaki](#), [T.Sugitate](#), *et al.*, “Elliptic flow of identified hadrons in Pb-Pb collisions at  $\sqrt{s_{NN}} = 2.76$  TeV”, *JHEP* **1506**, 190, 2015.
  - © [37] A.Adare, [K.Homma](#), [K.Shigaki](#), [T.Sugitate](#), *et al.*, “Inclusive cross section and double-helicity asymmetry for  $\pi^0$  production at midrapidity in p+p collisions at  $\sqrt{s} = 510$  GeV”, *Phys. Rev. D* **93**, 011501, 2016.
  - © [38] A.Adare, [K.Homma](#), [K.Shigaki](#), [T.Sugitate](#), *et al.*, “Scaling properties of fractional momentum loss of high-pT hadrons in nucleus-nucleus collisions at  $\sqrt{s_{NN}}$  from 62.4 GeV to 2.76 TeV”, *Phys. Rev. C* **93**, 024911, 2016.
  - © [39] A.Adare, [K.Homma](#), [K.Shigaki](#), [T.Sugitate](#), *et al.*, “Transverse energy production and charged-particle multiplicity at midrapidity in various systems from  $\sqrt{s_{NN}} = 7.7$  to 200 GeV”, *Phys. Rev. C* **93**, 024901, 2016.
  - © [40] A.Adare, [K.Homma](#), [K.Shigaki](#), [T.Sugitate](#), *et al.*, “ $\phi$  meson production in the forward/backward rapidity region in Cu+Au collisions at  $\sqrt{s_{NN}} = 200$  GeV”, *Phys. Rev. C* **93**, 024904, 2016.
  - © [41] A.Adare, [K.Homma](#), [K.Shigaki](#), [T.Sugitate](#), *et al.*, “Forward  $J/\psi$  production in U+U collisions at  $\sqrt{s_{NN}} = 193$  GeV”, *Phys. Rev. C* **93**, 034903, 2016.
  - © [42] A.Adare, [K.Homma](#), [K.Shigaki](#), [T.Sugitate](#), *et al.*, “Dielectron production in Au+Au collisions at  $\sqrt{s_{NN}} = 200$  GeV”, *Phys. Rev. C* **93**, 014904, 2016.
  - © [43] A.Adare, [K.Homma](#), [K.Shigaki](#), [T.Sugitate](#), *et al.*, “Single electron yields from semileptonic charm and bottom hadron decays in Au+Au collisions at  $\sqrt{s_{NN}} = 200$  GeV”, *Phys. Rev. C* **93**, 034904, 2016.
  - © [44] A.Adare, [K.Homma](#), [K.Shigaki](#), [T.Sugitate](#), *et al.*, “Centrality-dependent modification of jet-production rates in deuteron-gold collisions at  $\sqrt{s_{NN}} = 200$  GeV”, *Phys. Rev. Lett.* **116**, 122301, 2016.
  - © [45] A.Adare, [K.Homma](#), [K.Shigaki](#), [T.Sugitate](#), *et al.*, “Measurements of elliptic and triangular flow in high-multiplicity  $^3\text{He} + \text{Au}$  collisions at  $\sqrt{s_{NN}} = 200$  GeV”, *Phys. Rev. Lett.* **115**, 142301, 2015.

- ◎ [46] A.Adare, K.Homma, K.Shigaki, T.Sugitate, *et al.*, “ $\phi$  meson production in d+Au collisions at  $\sqrt{s_{NN}}=200$  GeV”, *Phys. Rev. C* **92**, 044909, 2015.
- ◎ [47] A.Adare, K.Homma, K.Shigaki, T.Sugitate, *et al.*, “Measurement of higher cumulants of net-charge multiplicity distributions in Au+Au collisions at  $\sqrt{s_{NN}}=7.7-200$  GeV”, *Phys. Rev. C* **93**, 011901, 2016.
- ◎ [48] A.Adare, K.Homma, K.Shigaki, T.Sugitate, *et al.*, “Measurement of parity-violating spin asymmetries in  $W^+$  production at midrapidity in longitudinally polarized p+p collisions”, *Phys. Rev. D* **93**, 051103, 2016.
- ◎ [49] A.Adare, K.Homma, K.Shigaki, T.Sugitate, *et al.*, “Systematic study of charged-pion and kaon femtoscopy in Au + Au collisions at  $\sqrt{s_{NN}}=200$  GeV”, *Phys. Rev. C* **92**, 034914, 2015.
- ◎ [50] A.Adare, K.Homma, K.Shigaki, T.Sugitate, *et al.*, “Systematic study of azimuthal anisotropy in Cu+Cu and Au+Au collisions at  $\sqrt{s_{NN}} = 62.4$  and 200 GeV”, *Phys. Rev. C* **92**, 034913, 2015.
- ◎ [51] A.Adare, K.Homma, K.Shigaki, T.Sugitate, *et al.*, “Centrality dependence of low-momentum direct-photon production in Au+ Au collisions at  $\sqrt{s_{NN}}=200$  GeV”, *Phys. Rev. C* **91**, 064904, 2015.
- ◎ [52] A.Adare, K.Homma, K.Shigaki, T.Sugitate, *et al.*, “Heavy-quark production and elliptic flow in Au+Au collisions at  $\sqrt{s_{NN}} = 62.4$  GeV”, *Phys. Rev. C* **91**, 044907, 2015.
- ◎ [53] A.Adare, K.Homma, K.Shigaki, T.Sugitate, *et al.*, “Measurement of long-range angular correlation and quadrupole anisotropy of pions and (anti)protons in central d+Au collisions at  $\sqrt{s_{NN}} = 200$  GeV”, *Phys. Rev. Lett.* **114**, 192301, 2015.
- [54] K. Homma, *et al.*, “Testing helicity dependent  $\gamma\gamma \rightarrow \gamma\gamma$  scattering in the region of MeV”, *Prog. Theor. Exp. Phys.* **2016**, 013C01.
- [55] T. Hasebe, K. Homma, *et al.*, “Search for sub-eV scalar and pseudoscalar resonances via four-wave mixing with a laser collider”, *Prog. Theor. Exp. Phys.* **2015**, 073C01.
- [56] K. Homma, *et al.*, “Gamma Polari-Calorimetry with SOI pixels for proposals at Extreme Light Infrastructure (ELI-NP)”, Proceedings of International Workshop on SOI Pixel Detector (SOIPIX2015), Tohoku University, Sendai, Japan, 3-6, June, 2015, C15-06-03, <http://arxiv.org/abs/1507.06179>.
- [57] T. Shibayama, K. Kusano, T. Miyoshi, Takashi Nakabou, and Grigory Vekstein, “Fast magnetic reconnection supported by sporadic small-scale Petschek-type shocks”, *Phys. Plasmas* **22**, 100706, 2015.

総説

なし

国際会議

(招待講演)

- [1] K. Homma, “Quantum Optics in the Vacuum toward Laboratory Search for Dark Fields in the Universe”, CLE2015, OPTICS & PHOTONICS International Congress 2015, (Yokohama, Japan, 2015.04.23)
- [2] K. Homma, *et al.*, “Gamma Polari-Calorimetry with SOI pixels for proposals at Extreme Light Infrastructure (ELI-NP)”, International Workshop on SOI Pixel Detector (SOIPIX2015), (Sendai, Japan, 2015.06.04)
- [3] T.Sugitate, “GRID status and future plan in Japan”, T. Sugitate, Asia Pacific Grid Workshop 2015, シュラナリ工科大学, (Krabi, Thailand, 2015.7.8-7.10)
- [4] K. Homma, *et al.*, “A Table-Top Collider with Extreme Light Technology to Test Elastic Photon-Photon Scattering”, 24th ANNUAL INTERNATIONAL LASER PHYSICS WORKSHOP, (Shanghai, China, 2015.08.23)
- [5] T.Sugitate, “Hiroshima Site Report, GRID Status and Plan in Japan”, Asia Tier Center Forum, KISTI, (Daejeon, Korea, 2015.9.22-9.24)
- [6] K. Homma, “Search for sub-eV dark fields at stimulated laser colliders”, Outlook on Wake Field

Acceleration: the Next Frontier -, (CERN, Geneva, Switzerland, 2015.10.15)

- [7] K. Shigaki for the ALICE Collaboration, "Dilepton Measurement at ALICE - especially the Muon Forward Tracker Upgrade", ECT\* Workshop, New Perspectives on Photons and Dileptons in Ultrarelativistic Heavy-Ion Collisions at RHIC and LHC, (Trento, Italy, 2015.11.30-12.11)

(依頼講演)

- [1] T. Sugitate, "ALICE Activities in Japan", Japan-Russia ALICE Meeting, Institutes of High Energy Physics, (Protvino, Russia, 2015.8.4-8.6)  
[2] K. Shigaki, "Status and Plans in Japan", ALICE MFT Meeting at Hiroshima University, (Hiroshima, Japan, 2015.10.5)  
[3] K. Shigaki, "Overview of MFT Activities in/at Japan/Hiroshima", 6th ALICE ITS upgrade, MFT and O2 Asian Workshop, (Seoul, South Korea, 2015.12.7-9)

(一般講演)

なし

国内学会

(招待講演)

- [1] 志垣賢太:「高エネルギー原子核衝突を用いた極限状態の実験的探究」東北大学大学院理学研究科セミナー (東北大学, 2015年7月3日)  
[2] 本間謙輔:「高強度レーザー場を用いた素粒子物理学の新展開」第36回レーザー学会シンポジウム (名城大学天白キャンパス, 2016年1月11日)

(依頼講演)

- [1] 本間謙輔:「真空内四光波混合による暗黒場探索の現状と展望」新学術領域研究会テラスケール2015 (東京工業大学岡山キャンパス, 2015年12月22日)

(一般講演)

- [1] 本間謙輔他:「ELI-NPにおけるMeV領域のヘリシティーに依存した光子光子衝突実験の実現性」日本物理学会第71回年次大会 (東北学院大学泉キャンパス, 2016年3月19日)  
[2] 三好隆博:「プラズマ流中での抵抗性磁気リコネクション」日本地球惑星科学連合2015年大会 (幕張メッセ, 2015年5月24日-28日)  
[3] 三好隆博:「MHD方程式に対する衝撃波捕獲差分法」プラズマシミュレータシンポジウム2015 (核融合科学研究所, 2015年9月3日-4日)  
[4] 三好隆博:「磁気流体力学方程式に対する高次精度衝撃波捕獲差分スキームの開発」日本天文学会2016年春季年会 (首都大学東京, 2016年3月14日-17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      | 1 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 | 0 件  |

(国内学会)

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

- 博士課程後期の学生が共同発表者の発表件数 4 件
- 博士課程前期・後期の学生が共に共同発表者の発表件数 2 件

#### セミナー・講演会開催実績

- [1] 志垣賢太：第 21 回 Heavy Ion Pub 研究会，世話人（奈良女子大学，2015 年 7 月 24 日）
- [2] 三好隆博：HEPnet-J ユーザ会 2015，世話人（広島大学，2015 年 11 月 24 日-25 日）

#### 社会活動・学外委員

##### ○ 学協会委員

- [1] 杉立 徹：高エネルギー加速器研究機構 客員教授
- [2] 志垣賢太：高温高密度QCD物質オープンフォーラム世話人
- [3] 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
- [4] 志垣賢太：日本学術振興会特別研究員等審査会専門委員（2015年7月まで）
- [5] 志垣賢太：日本学術振興会国際事業委員会書面審査員（2015年7月まで）
- [6] 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
- [7] 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幹事

##### ○講習会・セミナー講師

- [1] 志垣賢太：東北大学大学院理学研究科非常勤講師（集中講義）「高エネルギー原子核衝突実験物理学」（東北大学，2015年7月1-3日）
- [2] 志垣賢太：理化学研究所客員研究員
- [3] 本間謙輔：ELI-NP夏の学校（<http://www.eli-np.ro>）講師「Laser driven particle physics」（ルーマニアIFIN-HH研究所，2015年9月22日）
- [4] 三好隆博：熊本大学大学院理学特別講義B1（集中講義）非常勤講師「数値宇宙流体力学」（熊本大学，2015年7月15日-17日）
- [5] 三好隆博：熊本大学大学院自然科学研究科プロジェクトゼミナール講師「高解像度磁気流体シミュレーションによる磁気リコネクション研究」（熊本大学，2015年7月16日）
- [6] 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スクール講師「近似リーマン解法による磁気流体方程式の差分解法」（千葉大学，2015年8月4-8日）

#### 産学官連携実績

無し

#### 国際共同研究・国際会議開催実績

- [1] 杉立 徹，志垣賢太，本間謙輔：国際共同研究 PHENIX 実験実施（米国BNL研究所）
- [2] 杉立 徹，志垣賢太：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 IZESTプロジェクト実施（International Zetta-Exawatt Science and Technology）（フランス エコール・ポリテクニク&CEA）
- [4] 本間謙輔：国際共同研究 ELI-NPプロジェクト実施（Extreme Light Infrastructure Nuclear

Physics) (ルーマニア IFIN-HH研究所)

- [5] 杉立 徹, 志垣賢太: 国際会議 “Computing in High Energy Physics 2015” 組織委員 (沖縄科学技術大学院大学, 2015年4月13-17日)
- [6] 杉立 徹, 志垣賢太: 国際会議 “Quark Matter 2015” 学術事務局, 組織委員 (神戸市, 2015年9月27日-10月3日)
- [7] 杉立 徹: 国際会議 “ALICE Calo Meeting in Osaka” 主催 (大阪大学中之島センター2015年10月5日-10月7日)
- [8] 志垣賢太: 国際会議 “ALICE MFT Meeting at Hiroshima University” 主催 (広島大学, 2015年10月5日)
- [9] 志垣賢太: 国際会議 “New Perspectives on Photons and Dileptons in Ultrarelativistic Heavy-Ion Collisions at RHIC and LHC” 組織委員 (イタリア・トレント, 2015年11月30日-12月11日)
- [10] 志垣賢太: 国際会議 “Intense Fields and Extreme Universe” 組織委員 (広島大学, 2016年3月7-8日)

高大連携事業への参加状況

なし

研究助成金の受入状況

- [1] 杉立 徹: 科学研究費補助金基盤研究 (S) (2015年度, 31,100千円) 「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」 代表
- [2] 杉立 徹: 日本学術振興会2国間交流事業日露共同研究 (2015年度, 2,250千円) 「ALICE実験PHOSによる光子と中性中間子測定及び第3期実験に向けた検出器開発」 代表
- [3] 志垣賢太: 頭脳循環を加速する若手研究者戦略的海外派遣プログラム (2015年度, 26,140千円) 「人類未到エネルギー原子核衝突実験における国際研究連携網強化と研究者育成の発展展開」 主担当
- [4] 志垣賢太: 科学研究費補助金基盤研究 (B) (2015年度, 3,400千円) 「極致エネルギー原子核衝突による解放クォーク挙動解明の第二跳躍: 硬散乱事象選択測定」 代表
- [5] 志垣賢太: 科学研究費助成基金助成金挑戦的萌芽研究 (2015年度, 600千円) 「原子核偏芯衝突を用いた宇宙最高強度磁場の実験的検出と非線形量子電磁力学への挑戦」 代表
- [6] 本間謙輔: 科学研究費補助金新学術領域研究 (公募) (2015年度, 6,300千円) 「sub-eV弱結合中性ボゾン探索へ向けた原子起因四光波混合の定量化」 代表
- [7] 本間謙輔: 科学研究費補助金基盤研究 (B) (2015年度, 2,600千円) 「真空内四光波混合によるアクシオン探索」 代表
- [8] 本間謙輔: 科学研究費助成基金助成金挑戦的萌芽研究 (2015年度, 2,900千円) 「インスタント効果の顕在化」 代表
- [9] 本間謙輔: 京都大学化学研究所課題提案型共同研究 (2015年度 900千円) 「真空内四光波混合の探索」 代表
- [10] 三好隆博: 科学研究費補助金基盤研究 (C) (2015年度, 1,600千円) 「プラズマ流体方程式に対するガウス則保証型高次精度衝撃波捕獲法の開発」 代表

## ○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

平成27年度も現在稼働中の観測装置（フェルミガンマ線衛星、すざくX線衛星、かなた望遠鏡）による観測と将来観測装置の開発（次期X線衛星ASTRO-H、硬X線偏光観測気球実験PoGOLite、かなた望遠鏡次期検出器）の2つ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7編（枝廣、大橋、川端、神田、白川、高田、中岡）、卒業論文8編（安部、内田、戸田、田中K、田中N、廣地、森、宮岡）を発表した。さらにHiサイエンティスト養成プログラムの自由研究生2名を受け入れた。また、昨年度から立ち上がった極限宇宙研究拠点（Core-U）に関する活動も進めた。以下、学生の教育関連については、宇宙科学センター関連の業績も含めて説明する。

### [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8年目を迎えたが、特に故障もなく、無事に全天ガンマ線サーベイを続けている。本年度は、キャリブレーション進展が反映されたPASS-8データが公開され、特に低エネルギー側と高エネルギー側でデータの質が高まった。本グループも、かなた望遠鏡との多波長観測を進めるとともに、11月にワシントンで行なわれたフェルミ衛星シンポジウムに参加した。今年度は、ジェット天体であるブレーザーについてガンマ線と可視偏光との系統的な相関の研究を進め、ガンマ線で明るいフレアほど可視偏光度が高くなる傾向を有意に得た。また、電波銀河に着目したデータ解析も進め、3C111については電波フレア時のガンマ線フレアの相関を調べ、ガンマ線放射位置に制限を与える試みを行った。銀河系の宇宙線分布を探るために、銀河面に沿った広がったガンマ線の研究も進めた。宇宙線の相互作用の相手である星間ガスの分布をより正確・精密に測定するため、Planck衛星によるダスト由来の全天のマイクロ波マップとガンマ線マップの比較を、名古屋大学のグループと共同で開始し、複数のダスト密度の指標とガンマ線の比較を行った。とくに近傍の高銀緯分子雲であるMBM53,54,55領域について詳細に解析を進め、ダスト・ガスの性質がダストの温度に依存して変わることを見出し、その影響を取り込んでガスの柱密度（質量）および宇宙線のエネルギー密度を導出した。補正によりdark gasの質量は3-4倍変わり、星間ガス・宇宙線の定量において補正が本質的であることが分かった。ガンマ線連星HESS J0632+057について、Swiftの多数のデータからX線吸収に対する情報を得て、連星の様子に制限をつけ、連星の正体を探ることを目指している。ブラックホール連星V404 Cygが25年ぶりに大增光し、多波長観測が世界的になされた。我々も、かなた望遠鏡による可視偏光とともにフェルミ衛星でガンマ線の上限值を得て、放射メカニズムに制限を与えた。

### [すざく衛星によるX線観測]

AGNの中心ブラックホールを囲むトーラスによるX線反射成分のスペクトルをGeant4を用いてシミュレーションし、モデルとして論文発表した。AGNのX線鉄ライン変動は、こうしたトーラスの中心からの距離を探るうえで重要である。すざくのデータを用いて、いくつかのAGNから変動を捉え、トーラスの距離に制限をつけた。楕円銀河の高温ガスからのX線放射に鉄のLラインの共鳴線は、他のラインに比べて共鳴散乱されやすい。しかし、高温ガスで大きな速度差があるとドップラーにより散乱が弱められる。この効果を調べるために、XMM-Newtonのデータを用いて12個の楕円銀河の系統的解析を進め、散乱の様子が楕円銀河ごとに異なることがわかった。X線で

最も明るい天体ScoX-1は50keV付近で急激に弱くなるが、他衛星により、50keV以上に超過成分が報告された。これを確認するため、すざく衛星で観測した結果、この天体のある特徴的な時期のみ50keV以上に超過成分がある兆候が見つかった。AGNのジェットを正面から見ていると考えられる天体ブレーザーの宇宙論的進化をさぐるため、Swift衛星の硬X線サーベイで見つかったブレーザー天体を用いてX線光度関数の進化を導出する研究を開始した。過去の論文に比べて、新たに見つかった暗い天体を含めて、より精度良く求めることを目指す(戸田卒論)。銀河団の進化をさぐるために質量関数は重要である。すばる望遠鏡で重力レンズ測定がされる予定の約20の銀河団について、XMM-NewtonのX線データを用いて重力レンズ質量とX線観測諸量の関係を求める研究を開始した(宮岡卒論)。大きく広がったTeVガンマ線放射VER J2019+368の「すざく」によるX線フォローアップ観測を行い、既知のX線パルサー星雲以外にはX線で対応天体となりうる広がった放射がないことを示し、また欧州XMM-Newton衛星のアーカイブデータ解析とも合わせることで(田中N卒論)、X線パルサー風星雲の諸元(広がり、スペクトル)を精度よく決め電子の特質(スペクトル、粒子輸送プロセス)を精度よく制限した。

### [ASTRO-H搭載機器の開発]

ASTRO-Hプロジェクトは、打ち上げ直前の衛星総合試験が11月まで行なわれた。当グループが開発に大きく関わるHXI/SGD検出器は昨年度完成し、本年度は衛星に搭載された状態で、熱真空試験、振動衝撃試験などが行なわれた。熱真空試験では、上空で期待される温度環境を達成し、温度制御機構が正しく動作することを確認するとともに、検出器の性能も想定通りであることが確認された。振動衝撃試験も無事に終了した。また昨年度行なわれたキャリブレーションのデータ解析を進めるとともに、解析ソフトウェアの開発も進めた。また、コンプトンカメラを取り囲むBGOシンチレーターを用いたガンマ線バーストについて、位置決定のための研究を行なった(田中K卒論)。一方、SGD検出器は本格的な軟ガンマ線偏光観測も行なうため、SPring-8で11月に100%偏光ガンマ線ビームを搭載検出器と同等のコンプトンカメラに入射させ、偏光測定の性能試験を行なうとともに、シミュレーションプログラムとの詳細な比較を行い、想定されるどおりの性能が確認された(枝廣修論)。衛星は種子島に移動し、動作試験を数回行なった後、2月17日に無事打ち上げられ、「ひとみ」と名づけられた。HXIとSGDは3月中旬に立ち上げを行い、無事に動作が確認され、いくつかの天体の観測データが取得できた。ところが、3月26日、衛星の姿勢系のトラブルにより衛星通信が途絶えてしまい、3月末の時点で衛星復旧が全力で行なわれていた。

### [PoGOLite気球実験、将来X線ガンマ線観測に向けた基礎開発]

硬X線偏光気球実験PoGOLiteは、来年度再放球に向けて、光電子増倍管の交換のための性能評価、中性子とガンマ線を区別するためのアナログデジタル回路系の改良を進め、線源を用いた実証試験も進め、スウェーデンのチームにインプットした。また、2013年の放球で得られたCrabの硬X線偏光の結果を論文発表した。2017年度打ち上げ予定のスウェーデン超小型衛星CubeSatに載せる軌道上荷電粒子モニターのセンサー部のシンチレーターの選定、アナログ回路の設計を開始した(内田卒論)。本年度から、将来硬X線高感度サーベイプロジェクトFORCE(NGHXT)計画に参加を始めた。本年度は、衛星デザインの設計をメーカーとともに進めた。将来ガンマ線観測のために、新しく開発したシリコンパドセンサーの性能特性評価を行なった。浮遊容量が小さくなっていることが確認でき、X線スペクトルを取得し、ノイズ特性の改善されることが確認できた(白川修論)。同じく開発したシリコンドリフトセンサーの基礎特性実験を進め、試行錯誤を繰り返した結果、X線信号を取得できるようになり、今後、基礎実験を進めることとなった。硬X線偏光観測への応

用を念頭に、ピクセル型光検出器とプラスチックシンチレータを組み合わせたシステムの性能評価を行い、動作温度および読み出し速度を改善することで性能が向上し、5 keV程度までエネルギー敷居を下げることに成功した。また、硬X線観測衛星NuStarの解析やX線偏光観測衛星計画PRAXySにも参加している。

#### [かなた望遠鏡等を用いた可視赤外線観測]

東広島天文台では、晴れ間のある晩（月に20日程度）には、主として学生やポスドクのうち二人以上の組が東広島天文台に滞在し、かなた望遠鏡を用いて、活動銀河核や超新星、ガンマ線バースト、X線連星、前主系列星などの観測的研究を行っている。観測データの排出率としては、この9年余りに亘り、国内の他の同クラス望遠鏡と比較しても高いレベルを維持できている。望遠鏡は年間を通じて大きなトラブルはなかった。例年通り、梅雨の時期となる6月には望遠鏡の主鏡を国立天文台・岡山天体物理観測所に持ち込んで、鏡面（アルミ膜）の再蒸着作業を学生と教員との共同作業で遂行した。

活動銀河核の観測的研究については、Mrk 421におけるX線フレアと可視近赤外偏光との関連にはフレアごとに差異があることを見出した。また、ブレーザーの光度変化に対しトレンドフィルターとウェーブレット法という新しい手法を用いてフレア検出を行い、フレア毎の偏光成分の方位角と、高空間分解能電波観測で得られているジェットの方角とを比較し、両者は特に相関を持たないことを見出した（神田修論）。

前主系列星 AA Tau においては、継続的で高精度の可視近赤外線同時偏光測光観測を実施して、これまで空間分解できていない星周円盤の内縁付近の構造について、その回転中心軸が天球上の方位角を決定し、星周円盤の内縁付近の物質分布が非一様であることを見出した（高田修論）。

超新星に関しては、2014年に現れた超新星の後期に亘る継続的な観測とその解析に進展がみられた。近年見出された暗く特異なIa型（=Iax型）であるSN2014dtにおいては爆発後50日以降1年に亘る減光が非常に緩やかで、この時期の主たる熱源であるコバルト56の放射性崩壊の減衰とほぼ一致し、爆発中心付近に光学的に厚い物質、すなわち親星である白色矮星の燃え残りが存在する可能性が高いことを指摘した（川端修論）。また、典型的なIIP型超新星SN2014cxに対しては発見日から実施されたSwift衛星のUVOT観測を併用し、これまでで最も早い爆発後2日目の光球の温度と半径を推定することができ、その時間変化から親星の爆発直前の光球半径を推定することができた（中岡修論）。

重力波アラートに伴う可視域の天体同定観測においては、重力波の到来方向の確率密度に応じて、確率の高い領域にある近傍（100Mpc以内）の既知の銀河を行い、多数の変光星を見出すことができた。しかし、重力波アラートによるものかどうかは不明である。

これ以外にも、過去にすばる望遠鏡取得された偏光スペクトルデータを解析して、X線天体SS 433の偏光を定量的に解析した例や（大橋修論）や、すばる望遠鏡の広視野カメラHSCによる既撮影画像を用いた新星状天体の爆発前の光度測定に基づいた親星の素性の議論（廣地卒論）が行われた。さらに、データベースを利用した変光星タイプの自動判定アルゴリズムの試験（安部卒論）も行われた。

#### [次期主力可視近赤外検出器の開発およびチベット設置可視望遠鏡の評価]

可視赤外線同時カメラ可視赤外線同時カメラHONIRは、総合的な安定性の試験とそのための駆動系のアップグレードが行われ、特に、駆動に不安定性の見られた光学ターレットのモーターのアップグレードと原点検出機構の調整が行われ、さらに近赤外線検出器の高速読み出しを実現する

新しい読み出しシステムのノイズ性能の精査が行われた（森卒論）。また、HONIRを用いた観測データを再解析することで、東広島天文台における可視近赤外域のスカイ背景光強度を再評価し、各バンドでの限界等級をより高い精度で見積もることができた。また、重力波源の可視対応天体検索HinOTORIプロジェクトに関しては、50cm望遠鏡の観測データの解析の詰めが行われた後、一式を東広島天文台から搬出して、チベットへ発送した。

#### 原著論文

- ◎[1] "Search for Gamma-Ray Emission from the Coma Cluster with Six Years of Fermi-LAT Data", Ackermann, M., Fukazawa, Y. (42番目), Mizuno, T. (74番目), Ohsugi, T. (80番目), Takahashi, H. (102番目), 他107名, 2016, ApJ 819, 149
- ◎[2] "2FHL: The Second Catalog of Hard Fermi-LAT Sources", Ackermann, M., Fukazawa, Y. (53番目), Mizuno, T. (102番目), Ohsugi, T. (109番目), Takahashi, H. (140番目), 他150名 2016, ApJS 222, 5
- ◎[3] "Multiwavelength Evidence for Quasi-Periodic Modulation in the Gamma-ray Blazar PG 1553+113", Ackermann, M., Fukazawa, Y. (46番目), Mizuno, T. (86番目), Ohno, M. (92番目), Ohsugi, T. (93番目), Takahashi, H. (129番目), 他135名 2015, ApJL 813, 41
- ◎[4] "Searching for Dark Matter Annihilation from Milky Way Dwarf Spheroidal Galaxies with Six Years of Fermi-LAT Data", Ackermann, M., Fukazawa, Y. (49番目), Mizuno, T. (83番目), Ohsugi, T. (89番目), Takahashi, H. (115番目), 他122名 2015, PRL 115, 231301
- ◎[5] "Search For Extended Gamma-Ray Emission from the Virgo Galaxy Cluster with Fermi-LAT", Ackermann, M. Fukazawa, Y. (45番目), Mizuno, T. (80番目), Ohsugi, T. (86番目), Takahashi, H. (111番目), 他116名 2015, ApJ 812, 159
- ◎[6] "The Third Catalog of Active Galactic Nuclei Detected by the Fermi Large Area Telescope", Ackermann, M., Fukazawa, Y. (54番目), Mizuno, T. (95番目), Ohno, M. (102番目), Ohsugi, T. (103番目), Takahashi, H. (134番目), Tanaka, Y. (136番目), 他142名 2015, ApJ 810, 14
- ◎[7] "Rapid Variability of Blazar 3C 279 during Flaring States in 2013-2014 with Joint Fermi-LAT, NuSTAR and Multi-Wavelength Observations", Hayashida, M., Fukazawa, Y. (10番目), Kitaguchi, T. (26番目), Uemura, M. (43番目), Akitaya, H. (44番目), Kawabata, K. S. (45番目), Yoshida, M. (51番目), 他47名, 2015, ApJ 807, 79
- ◎[8] "Fermi Large Area Telescope Third Source Catalog," Acero, F., Fukazawa, Y. (59番目), Mizuno, T. (112番目), Ohno, M. (120番目), Ohsugi, T. (121番目), Takahashi, H. (154番目), Tanaka, Y. (155番目), 他165名 2015, ApJS 218, 23
- ◎[9] "Updated Search for Spectral Lines from Galactic Dark Matter Interactions with Pass 8 Data from the Fermi Large Area Telescope", Ackermann, M., Fukazawa, Y. (47番目), Mizuno, T. (79番目), Ohsugi, T. (85番目), Takahashi, H. (107番目), 他115名 2015, PRD 91, 122002
- [10] "Six Years of Fermi-LAT and Multi-Wavelength Monitoring of The Broad-Line Radio Galaxy 3C 120: Jet Dissipation at Sub-Parsec Scales from The Central Engine," Tanaka, Y., Fukazawa, Y. (6番目), 他8名 2015, ApJL 799, 18
- ◎[11] "An emergence of a new polarized emission region in blazar Mrk 421 associated with an X-ray flare", Itoh, R., Fukazawa, Y. (2番目), Tanaka, Y. (3番目), Kawabata, K. S. (4番目), Uemura, M. (7番目), Yoshida, M. (11番目). 他5名 2015, PASJ 67, 45
- ◎[12] "Optical I-band Linear Polarimetry of the Magnetar 4U 0142+61 with Subaru", Wang, Z., Tanaka,

- Y. (2番目), Kawabata, K. S. (4番目), Fukazawa, Y. (5番目), 他3名 2015, ApJ 814, 89
- ◎[13] "The first demonstration of the concept of "narrow-FOV Si/CdTe semiconductor Compton camera", Ichinohe, Y., Ohno, M. (7番目), Fukazawa, Y. (10番目), Takahashi, H. (15番目), 他13名 2016, NIM-A 806, 5
- ◎[14] "X-Ray Spectral Model of Reprocess by Smooth and Clumpy Molecular Tori in Active Galactic Nuclei with the Framework MONACO", Furui, S., Fukazawa, Y. Odaka, H., Kawaguchi, T., Ohno, M., Hayashi, K. 2016, ApJ 818, 164
- ◎[15] "Observation of polarized hard X-ray emission from the Crab by the PoGOLite Pathfinder", Chauvin, M., Takahashi, H. (12番目), Fukazawa, Y. (15番目), Mizuno, T. (18番目), 他18名 2016, MNRAS 456, L84
- ◎[16] "Central mass profiles of the nearby cool-core galaxy clusters Hydra A and A478", Okabe, N., Fukazawa, Y. (7番目), 他15名 2016, MNRAS 456, 4475
- ◎[17] "A Missing-link in the Supernova-GRB Connection: The Case of SN 2012ap", Chakraborti, S., Ohno, M. (26番目), Fukazawa, Y. (27番目), 他48名, 2015, ApJ 805, 187
- [18] "On-ground detection of an electron-positron annihilation line from thunderclouds", Umemoto, D., Kitaguchi, T. (7番目), 他11名 et al., Physical Review E, Volume 93, Issue 2, id.021201, (2016)
- [19] "NuSTAR Hard X-Ray Survey of the Galactic Center Region I: Hard X-Ray Morphology and Spectroscopy of the Diffuse Emission", Mori, K., Kitaguchi, T. (25番目), 他36名 et al., ApJ, 814, 94, (2015)
- [20] "Calibration of the NuSTAR High-energy Focusing X-ray Telescope", Madsen, K. K., Kitaguchi, T. (8番目), 他20名 et al., ApJS, 220, 8, (2015)
- [21] "<sup>44</sup>Ti gamma-ray emission lines from SN1987A reveal an asymmetric explosion", Boggs, S. E., Kitaguchi, T. (17番目), 他26名 et al., Science, 348, 6235, (2015)
- [22] "Locating the Most Energetic Electrons in Cassiopeia A", Grefenstette, B.W., Kitaguchi, T. (13番目), 他18名 et al., ApJ, 802, 15, (2015)
- [23] "Preflight performance studies of the PoGOLite hard X-ray polarimeter", M. Chauvin, H. Takahashi (8番目), 他(計9名), Astroparticle Physics, Volume 72, p. 1-10, 2016
- [24] "Eta Carinae's Thermal X-Ray Tail Measured with XMM-Newton and NuSTAR", K. Hamaguchi, H. Takahashi (4番目), 他(計15名), The Astrophysical Journal, Volume 817, Issue 1, article id. 23, 9 pp. (2016)
- [25] "The design and flight performance of the PoGOLite Pathfinder balloon-borne hard X-ray polarimeter", M. Chauvin, H. Takahashi (11番目), 他(計18名), Experimental Astronomy, Volume 41, Issue 1-2, pp. 17-41, 2016
- ◎[26] "Repetitive patterns in rapid optical variations in the nearby black-hole binary V404 Cygni", M. Kimura, H. Takahashi (54番目), M. Uemura (68番目) 他(計66名), Nature, Volume 529, Issue 7584, pp. 54-58 (2016)
- [27] "Suzaku Wide-band All-sky Monitor measurements of duration distributions of gamma-ray bursts", Ohmori Norisuke, Yamaoka Kazutaka, Ohno Masanori (3番目) 他25名, 2016, PASJ, Advanced Access. 11pp (2016)
- [28] "Sub-MeV band observation of a hard burst from AXP 1E 1547.0-5408 with the Suzaku Wide-band All-sky Monitor", Yasuda, T., Iwakiri, W., Tashiro, M. S., Terada, Y., Kouzu, T., Enoto, T., Nakagawa, Y. E., Bamba, A., Urata, Y., Yamaoka, K., Ohno, M., Shibata, S., Makishima, K. PASJ, 67, 41 (2015)

- ©[29] "Suzaku Observation of the Fermi Cygnus Cocoon: The Search for a Signature of Young Cosmic-Ray Electrons," Mizuno, T., Tanabe, T., Takahashi, H., Hayashi, K., Yamazaki, R., Grenier, I., and Tibaldo, T., ApJ 803, 74 (2015)
- [30] "Lower Bound on the Cosmic TeV Gamma-ray Background Radiation", Y. Inoue and Y. T. Tanaka, 2016, ApJ 818, 187
- [31] "Prospect for future MeV gamma-ray active galactic nuclei population studies", Y. Inoue, Y. T. Tanaka (2番目), 他6名, 2015, PASJ 67, 76
- [32] "Time-dependent Modeling of Gamma-Ray Flares in Blazar PKS1510--089", S. Saito, Y. T. Tanaka (3番目), 他4名, ApJ 809, 171, 2015.
- [33] "A Multi-wavelength Polarimetric Study of the Blazar CTA 102 during a Gamma-Ray Flare in 2012", Carolina, C., Itoh, R. (21番目), 他29名, ApJ, 813, 51, (2015)
- ©[34] "Discovery of a Highly Polarized Optical Microflare in Blazar S5 0716+714 during the 2014 WEBT Campaign", Bhatta, G., Akitaya, H. (5番目), Kawabata, K. S. (19番目), Yoshida, M. (43番目), 他41名, 2015, ApJ, 809, L27
- [35] "Type IIb Supernova 2013df Entering into an Interaction Phase: A Link between the Progenitor and the Mass Loss", Maeda, K., Kawabata, M. (11番目), 他24名, 2015, ApJ 807, 35
- ©[36] "Optical-Infrared and High-Energy Astronomy Collaboration at Hiroshima Astrophysical Science Center", Uemura, M., Yoshida, M., Kawabata, K. S., Mizuno, T., Tanaka, Y. T., Akitaya, H., Utsumi, Y., Fukazawa, Y. (10番目), Takahashi, H. (11番目), Ohno, M. (12番目). 他12名, 2015, Publications of The Korean Astronomical Society, 30, 679
- [37] "Optical and Near-infrared Polarimetry for a Highly Dormant Comet 209P/LINEAR", Kuroda, D.; Akitaya, H. (4番目), 他26名, 2015, ApJ 814, 156
- ©[38] "OISTER Optical and Near-Infrared Observations of Type Iax Supernova 2012Z" Yamanaka, M., Kawabata, K. S. (3番目), Akitaya, H. (6番目), Yoshida, M. (23番目), 他29名, 2015, ApJ 806, 191
- [39] "Probing the Nature of the TeV  $\gamma$ -Ray Binary HESS J0632+057 by Monitoring Be Disk Variability", Moritani, Y., Akitaya, H. (5番目), 他10名, 2015, ApJ 804, L32
- ©[40] "Discovery of a Highly Polarized Optical Microflare in Blazar S5 0716+714 during the 2014 WEBT Campaign", Bhatta, G., Akitaya, H. (5番目), Kawabata, K. S. (19番目), Yoshida, M. (43番目), 他48名 2015, ApJL 809, L2
- [41] "The Accreting Black Hole Swift J1753.5-0127 from Radio to Hard X-Ray", Tomsick, John A., Akitaya, H. 7番目), Uemura, Makoto (21番目), 他23名 2015, ApJ 808, 8
- [42] "Multi-wavelength Observations of the Black Widow Pulsar 2FGL J2339.6-0532 with OISTER and Suzaku", Yatsu, Yoichi, Akitaya, H. (27番目), Yoshida, Michitoshi (28番目), 他45名 2015, ApJ 802, 8
- [43] "Doppler tomography by total variation minimization", Uemura, Makoto (1番目), 他4名 2015, PASJ 67, 22
- ©[44] "Variable selection for modeling the absolute magnitude at maximum of Type Ia supernovae", Uemura, Makoto (1番目), Kawabata, K. S. (2番目), 他4名 2015, PASJ 67, 55
- [45] "Nebular phase observations of the Type-Ib supernova iPTF13bvn favour a binary progenitor", Kuncarayakti, H., Kawabata, K. S. (12番目), 他12名 2015, A&Ap. 579, A95
- [46] "Sodium Absorption Systems toward SN Ia 2014J Originate on Interstellar Scales", Maeda, K.,

- Kawabata, K. S. (3 番目), 他24名 2015, ApJ 816, 57
- [47] “Broad-band polarimetric investigation of the Type II-plateau supernova 2013ej”, Kumar, Brajesh, Kawabata, K. S. (4 番目), 他 4 名 2016, MNRAS 456, 3157
- [48] “Five New Exoplanets Orbiting Three Metal-rich, Massive Stars: Two-planet Systems Including Long-period Planets and an Eccentric Planet”, Harakawa, Hiroki, Yoshida, Michitoshi (8 番目), 他 16名 2015, ApJ 806, 5
- [49] “Weather Characteristics at Observatory Candidate Sites in West Tibet”, Sasaki, Toshiyuki, Utsumi, Yosuke (3 番目), Yoshida, Michitoshi (6 番目) 他15名 2015, Publications of The Korean Astronomical Society 30, 699
- [50] “Monitoring Observations of the Jupiter-Family Comet 17P/Holmes during its 2014 Perihelion Passage”, Kwon, Yuna Grace, Yoshida, Michitoshi (14番目), 他18名 2016, ApJ 818, 67
- [51] “A Pair of Giant Planets around the Evolved Intermediate-mass Star HD 47366: Multiple Circular Orbits or a Mutually Retrograde Configuration”, Sato, Bun'ei, Yoshida, Michitoshi (19番目), 他23名, 2015, ApJ, 819, 59
- [52] “Giant H $\alpha$  Nebula Surrounding the Starburst Merger NGC 6240”, Yoshida, Michitoshi (1 番目), 他 8 名 2016, ApJ 820, 48
- [53] “Concurrent Formation of Carbon and Silicate Dust in Nova V1280 Sco”, Sakon, Itsuki, Uemura, Makoto (12番目), 他15名 2016, ApJ 817, 145

総説

なし

国際会議

(招待講演)

- [1] H. Takahashi, “The Astro-H Mission”, “INTEGRAL 2015” conference, 2015/10/5-9, イタリア/ローマ, 参加人数 90名
- [2] Y. T. Tanaka, "Blazars Studied in X-rays with Suzaku, MAXI, and Future Astro-H", "Relativistic Jets: Creation, Dynamics, and Internal Physics", Krakow, Poland, 20-24, April, 2015.

(一般講演)

- [1] R. Itoh, "Blazar variability in gamma-ray and optical polarization with Fermi and Kanata telescope", 2015/11/09 - 2015/11/13, 6th Fermi Symposium, Washington D.C., USA, 参加人数200名
- [2] Y. Fukazawa, "The ASTRO-H mission", 2015/11/09 - 2015/11/13, 6th Fermi Symposium, Washington D.C., USA, 参加人数200名
- [3] H. Takahashi, “Fermi LAT observations of Eta Carinae during 2014 periastron”, 2015/11/09 - 2015/11/13, 6th Fermi Symposium, Washington D.C., USA, 参加人数200名
- [4] T. Kitaguchi, "Development of the GEM-TPC X-ray polarimeter with the Scalable Readout System", 2015/10/12-27, MPGD 2015 & RD51 Collaboration meeting, Trieste, Italy, 参加人数150名
- [5] H. Takahashi, “Development of Scintillator Readout System with MPPC for Portable Compact Gamma-ray Spectrometer”, 10th International Symposium on the Development and Application of Semiconductor Tracking Detectors, 2015/9/25-29, Xian, China, 参加人数 110名
- [6] M. Ohno, “Development and Verification of Signal Processing System of Avalanche Photo Diode for

- the Active Shields onboard ASTRO-H”, 10th International Symposium on the Development and Application of Semiconductor Tracking Detectors, 2015年9月25日-29日, Xian, China, 参加人数 110名
- [7] M. Ohno, “Development and Verification of the Response Function for the BGO Active Shields onboard ASTRO-H”, 2015/08/26-28, 11th Geant4 workshop, , Hiroshima Institute of Technology, 参加人数60名
- [8] Y. Tanaka, "Kanata optical/NIR polarimetry and LAT upper limits for V404 Cyg outburst in 2015 June", Y. Tanaka, "3C111", Fermi-LAT Collaboration meeting, August 31-September 4 2015, Torino, Italy
- [9] T. Kawano, "HESS J0632+057 with Pass8", Fermi-LAT Collaboration meeting, August 31-September 4 2015, Torino, Italy
- [10] H. Takahashi, "Eta Car with Pass8", Fermi-LAT Collaboration meeting, August 31-September 4 2015, Torino, Italy
- [11] R. Itoh, "Kanata & Fermi Blazar II", Fermi-LAT Collaboration meeting, August 31-September 4 2015, Torino, Italy
- [12] R. Itoh, "Optical polarization review", Fermi-LAT Collaboration meeting, March 14-17 2016, SLAC
- [13] R. Itoh, "NIR spectroscopic catalog of the Fermi blazar", Fermi-LAT Collaboration meeting, March 14-17 2016, SLAC
- [14] T. Mizuno, "MBM Clouds and Pegasus Loop", Fermi-LAT Collaboration meeting, March 14-17 2016, SLAC
- [15] M. Kawabata, "Long-term Optical/NIR Observation of Peculiar Type Ia Supernova SN 2014dt", 1st CORE-U International Conference: Intense Fields and Extreme Universe, 2016年3月7-8日, 広島大学, 50人
- [16] T. Nakaoka: "Extended UV-NIR observations of Type IIP supernova 2014cx from two days after the explosion", 1st CORE-U Conference: Intense Fields and Extreme Universe, 2016年3月7-8日, 広島大学, 50人
- [17] S. Abdollahi: "Design and performance of the Alborz-I particle detector array" 1st CORE-U International Conference: Intense Fields and Extreme Universe, 2016年3月7-8日, 広島大学, 50人
- [18] N. Tanaka, "Study of the extended TeV gamma-ray source VER J2019+368 by X-ray observations" 1st CORE-U International Conference: Intense Fields and Extreme Universe, 2016年3月7-8日, 広島大学, 50人
- [19] N. Uchida: "Development of a detector for CUBesat X-ray Background Explorer using Scintillators (CUBES) mounted on MIST satellite" 1st CORE-U International Conference: Intense Fields and Extreme Universe, 2016年3月7-8日, 広島大学, 50人
- [20] K. Takaki: "Remarkable Features Observed in Recent Type Ib Supernovae", Fifty-One Erg, 2015年6月1-5日, アメリカ, ノースカロライナ, 参加人数 約100人
- [21] K. Takaki: "Optical Polarimetry of GRB Afterglow", Gravitational Wave Physics and Astronomy Workshop 2015, 2015年6月17-20日, インテックス大阪, 参加人数 約150人

国内会議  
(招待講演)

- [1] 深沢泰司:「X線観測の今後」X線望遠鏡将来検討会, 名古屋大学, 2015年11月16日
- [2] 水野恒史:「人工衛星を用いた天体観測の現場」, 2015年12月4日, 日本航空宇宙学会西部支部講演会
- [3] 水野恒史:「宇宙ガンマ線を用いた宇宙線と星間ガスの研究」, 2015年7月27-7月30日, 2015年度天文・天体物理夏の学校
- [4] 田中康之:「ブラックホール連星 V404 Cyg の多波長観測: マイクロクエーサーにおけるジェットパラメータへの制限」, 2015年11月25-27日, 高エネルギー宇宙物理学研究会

(一般講演)

- [1] 伊藤亮介:“かなた望遠鏡によるブレーザー長期偏光変動観測”, 2015/08/17 - 2015/08/18, 岡山ユーザーズミーティング, 国立天文台三鷹キャンパス
- [2] 伊藤亮介:“中小口径望遠鏡と多波長連携観測による活動銀河核ジェットの時間変動観測”, 2015年12月11日, 国立天文台談話会, 国立天文台三鷹キャンパス
- [3] 北口貴雄:“Scalable Readout System を利用した GEM-TPC X線偏光計の開発および性能評価”, 2015年12月4-5日, MPGD12, 広島大学
- [4] 高橋弘充:“PoGOLite気球実験2016年フライト”, 2015年11月5-6日, 大気球シンポジウム, 宇宙科学研究所, 神奈川県, 50人
- [5] 高橋弘充:“硬X線偏光検出器PoGOLite気球実験2016年の再フライトへ向けて”, 2016年1月6-7日, 宇宙科学シンポジウム, 宇宙科学研究所, 神奈川県, 100人
- [6] 田中康之:“フェルミ衛星による Broad Line Radio Galaxy 3C 120 のモニター観測と多波長データによる MeV/GeV ガンマ線放射位置と放射機構の探査”, 降着円盤研究会, 2015年6月21-22日.
- [7] 吉田道利:「TAOによる重力波放射源の光学対応天体の追跡探査」, 春の天文学会, 2016年3月14-17日, 首都大学東京
- [8] 高橋弘充:「硬X線偏光検出器PoGOLite気球実験:2016年の再フライトに向けての準備状況」, 春の天文学会, 2016年3月14-17日, 首都大学東京
- [9] 田中康之:「ブラックホール連星V404 Cygにおけるジェット放射への制限: 可視近赤外線偏光観測と広帯域スペクトルモデリング」, 春の天文学会, 2016年3月14-17日, 首都大学東京
- [10] 河野貴文:「TeVガンマ線連星HESS J0632+057における吸収量の位相依存性」, 春の天文学会, 2016年3月14-17日, 首都大学東京
- [11] 枝廣育実:「ASTRO-H衛星搭載 軟ガンマ線検出器(SGD)コンプトンカメラの偏光ビーム試験」, 春の天文学会, 2016年3月14-17日, 首都大学東京
- [12] 川端美穂:「Iax型超新星SN 2014dtの可視近赤外における中期・後期観測」, 春の天文学会, 2016年3月14-17日, 首都大学東京
- [13] 中岡竜也:「東広島天文台HONIRにおける近赤外バックグラウンド放射の季節依存性」, 春の天文学会, 2016年3月14-17日, 首都大学東京
- [14] 吉田道利:「J-GEM: 天体重力波の電磁波追跡ネットワーク」, 春の物理学会, 2016年3月19日-22日, 東北学院大学
- [15] 水野恒史:「「すざく」による広がったTeVガンマ線放射VER J2019+308のX線観測(2)」, 春の物理学会, 2016年3月19-22日, 東北学院大学
- [16] 水野恒史:「「すざく」による広がったTeVガンマ線放射VER J2019+308のX線観測」, 秋の物理学会, 2015年9月25-28日, 大阪市立大学杉本キャンパス

- [17] 深沢泰司: 「電波銀河NGC1275とM87のX線とガンマ線の同期した変動」, 秋の天文学会, 2015年9月9-11日, 甲南大学
- [18] 植村 誠: 「バイクラスタリングの対話型可視化ツールを用いたIa型超新星の分類」, 秋の天文学会, 2015年9月9-11日, 甲南大学
- [19] 高橋弘充: 「ASTRO-H衛星搭載軟ガンマ線検出器の現状と解析ソフトウェアについて」, 秋の天文学会, 2015年9月9-11日, 甲南大学
- [20] 大野雅功: 「ASTRO-H衛星搭載硬X線軟ガンマ線検出器におけるBGOアクティブシールドの応答関数の構築」, 秋の天文学会, 2015年9月9-11日, 甲南大学
- [21] 田中康之: 「Fermi-LAT and multi-wavelength observation of new TeV-emitting blazar S4 0954+65 during bright optical flare in 2015 February · (12)」, 秋の天文学会, 2015年9月9-11日, 甲南大学
- [22] 伊藤亮介: 「ブレーザージェットの系統的な偏光変動探査」, 秋の天文学会, 2015年9月9-11日, 甲南大学
- [23] 河野貴文: 「TeVガンマ線連星HESS J0632+057におけるBe星とコンパクト天体の相互作用」, 秋の天文学会, 2015年9月9-11日, 甲南大学
- [24] 中岡竜也: 「IIP型超新星2014cxの早期紫外-近赤外域SEDの解析」, 秋の天文学会, 2015年9月9-11日, 甲南大学
- [25] 岡田千穂: 「「すぎく」衛星による低質量X線連星Sco X-1の硬X線放射の観測」, 秋の天文学会, 2015年9月9-11日, 甲南大学
- [26] 大橋礼恵: 「硬X線偏光検出器PoGOLiteの読み出し回路の改良」, 秋の天文学会, 2015年9月9-11日, 甲南大学
- [27] 志岐健成: 「広輝線電波銀河 3C 111 のガンマ線・電波観測によるガンマ線放射位置とガンマ線放射機構の推定」, 秋の天文学会, 2015年9月9-11日, 甲南大学
- [28] 寺前拓人: 「X線天文衛星「すぎく」「XMM-Newton」を用いた楕円銀河高温ガスで起こる鉄輝線共鳴散乱の影響の評価」, 秋の天文学会, 2015年9月9-11日, 甲南大学
- [29] 幅田 翔: 「軟ガンマ線検出器環境試験データにおけるフラグ等を用いた動作検証」, 秋の天文学会, 2015年9月9-11日, 甲南大学
- [30] 川端美穂: 「Iax型超新星SN 2014dtの中期・後期における可視近赤外観測」, 2015年度 岡山ユーザーズミーティング (第26回光赤外ユーザーズミーティング), 2015年8月17-18日, 国立天文台三鷹キャンパス, 60人
- [31] 中岡竜也: 「東広島天文台における近赤外観測効率の評価」, 2015年度 岡山ユーザーズミーティング (第26回光赤外ユーザーズミーティング), 2015年8月17-18日, 国立天文台三鷹キャンパス, 60人
- [32] 川端弘治: 「Iax型超新星SN 2014dtの中期・後期における可視近赤外観測」, 2015年度 岡山ユーザーズミーティング (第26回光赤外ユーザーズミーティング), 2015年8月17-18日, 国立天文台三鷹キャンパス, 60人
- [33] 川端美穂: 「日本の天文家が発見に貢献した超新星のフォローアップ観測」, 第一回新天体探索者会議, 2015年10月2-4日, なよろ市立天文台, 30人
- [34] 中岡竜也: 「日本人天文家が発見した超新星のかなた望遠鏡による型同定」, 第一回新天体探索者会議, 2015年10月2-4日, なよろ市立天文台, 30人
- [35] 川端弘治: 「日本の天文家が発見に貢献した超新星のフォローアップ観測」, 第一回新天体探索者会議, 2015年10月2-4日, なよろ市立天文台, 30人

- [36] 川端美穂：「Iax型超新星SN 2014dtの中期・後期における可視近赤外観測」，第6回 光赤外線天文学大学間連携ワークショップ，2015年11月11-12日，国立天文台三鷹キャンパス，60人
- [37] 中岡竜也：「IIP型超新星2014cxの早期紫外-近赤外線観測」，第6回 光赤外線天文学大学間連携ワークショップ，2015年11月11-12日，国立天文台三鷹キャンパス，60人
- [38] 川端弘治：「Iax型超新星SN 2014dtの中期・後期における可視近赤外観測」，第6回 光赤外線天文学大学間連携ワークショップ，2015年11月11-12日，国立天文台三鷹キャンパス，60人
- [39] 川端美穂：「特異なIa型超新星SN 2014dtの長期に亘る可視近赤外線観測」，第21回天体スペクトル研究会，2016年2月27-28日，甲南大学，50人
- [40] 中岡竜也：「日本人天文家が発見した超新星のかなた望遠鏡による型同定」，第21回天体スペクトル研究会，2016年2月27-28日，甲南大学，50人
- [41] 川端弘治：「特異なIa型超新星SN 2014dtの長期に亘る可視近赤外線観測」，第21回天体スペクトル研究会，2016年2月27-28日，甲南大学，50人
- [42] 中岡竜也：「爆発後数日で多バンドで観測が行われたIIP型超新星 SN 2014cxの測光分光観測」，天文・天体若手若手夏の学校2015，2015年7月27-30日・長野，50人
- [43] 中岡竜也：「MPPCによるシンチレータ読み出しの基礎実験」，X線ガンマ線偏光観測RG，2016年3月18日・中央大学，20人
- [44] 志岐健成：「北海道大学ピリカ望遠鏡・MSI検出器における可視偏光データ解析実習」，第6回光赤外線天文学大学間連携ワークショッププログラム 2015年11月11-12日 国立天文台・三鷹・大セミナー室 約100人

#### 学生の学会発表実績

##### (国際会議)

○博士課程前期の学生が共同発表者の発表件数	6件
○博士課程後期の学生が共同発表者の発表件数	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	25件
○博士課程後期の学生が共同発表者の発表件数	6件
○博士課程前期・後期の学生が共に共同発表者の発表件数	5件

#### セミナー・講演会開催実績

##### 高大連携事業への参加状況

- [1] 深沢泰司：高校生のための広島大学公開講座「宇宙に存在する物質の起源」，2015年7月24日，広島大学，約50名参加

##### 国際会議，国際研究会開催

- [1] 深沢泰司：“6th Fermi Symposium”，Pentagon City, Nov. 8-13, 2015, 250名，組織委員
- [2] 北口貴雄, 川端弘治, 深沢泰司：“Intense Fields and Extreme Universe”，Hiroshima University, Mar. 7-8, 2016, 35名，開催委員

## 国内研究会開催

- [1] 水野恒史: 高宇連研究会研究会「宇宙研究の現状と将来」, 2016年3月23-25日, 組織委員

## 社会活動, 学会委員

- [1] 深沢泰司: 高エネルギー宇宙連絡会将来検討委員  
[2] 深沢泰司: 宇宙線研究者会議将来検討委員  
[3] 深沢泰司: 日本天文学会早川基金審査員  
[4] 水野恒史: 2015年度 高エネルギー宇宙物理連絡会(高エネルギー宇宙連絡会) 運営委員および運営委員長  
[5] 水野恒史: 2015年4月-2015年7月 高宇連 分野横断型プロジェクト推進委員会 委員および共同代表  
[6] 水野恒史: 日本物理学会 宇宙線・宇宙物理領域委員

## 講演会・セミナー講師

- [1] 深沢泰司: 「宇宙に存在する物質の起源」, 高校生のための広島大学公開講座「宇宙に存在する物質の起源」, 2015年7月24日, 広島大学, 約50名参加,  
[2] 吉田道利: 「宇宙誕生時の元素合成」, 高校生のための広島大学公開講座「宇宙に存在する物質の起源」, 2015年7月24日, 広島大学, 約50名参加,  
[3] 水野恒史: 「恒星の中での元素合成」, 高校生のための広島大学公開講座「宇宙に存在する物質の起源」, 2015年7月24日, 広島大学, 約50名参加,  
[4] 川端弘治: 「超新星での元素合成」, 高校生のための広島大学公開講座「宇宙に存在する物質の起源」, 2015年7月24日, 広島大学, 約50名参加,  
[5] 植村 誠: 「星の元素組成比の観測」, 高校生のための広島大学公開講座「宇宙に存在する物質の起源」, 2015年7月24日, 広島大学, 約50名参加,  
[6] 高橋弘充: 「人工衛星や大気球の観測から探る相対論」, 一般相対論誕生100年記念 市民講演会, 2015年11月7日, 広島大学  
[7] 深沢泰司: 広島大学オープンキャンパス, 2015年8月18日, 広島大学, 約100名参加, 「最新装置による宇宙観測」  
[8] 深沢泰司: 広島大学附属中学・高等学校SSH事業フロンティアサイエンス講義「X線ガンマ線で探る活動的宇宙」 2015年11月13日  
[9] 深沢泰司: 広島市こども科学館: 大人の科学談話室講師「高エネルギー宇宙の謎に迫る! —国際X線天文衛星ASTRO-H—」 2015年11月14日  
[10] 北口貴雄: Cosmic X-ray studies of neutron stars with the Suzaku satellite and a future polarimetry observatory, 2016年3月25日, アイオワ大学, 約15名参加

## 外部評価委員

- [1] 深沢泰司: 日本学術振興会特別研究員審査委員  
[2] 深沢泰司: 日本学術振興会補助金審査員  
[3] 深沢泰司: 広島県高校生科学セミナー審査委員

○各種研究員と外国人留学生の受入状況

日本学術振興会特別研究員（PD：1名，DC1：2名）

留学生(D：1名)

#### 研究資金

- [1] 深沢泰司：科学研究費補助金基盤研究(A) 平成24-28年度「GeVガンマ線観測および多波長偏光による活動銀河核ジェットの構造の解明」研究代表者，平成27年度直接経費7,800千円
- [2] 深沢泰司：科学研究費補助金特別推進研究 平成24-28年度「高エネルギーガンマ線による極限宇宙の研究」研究分担者，平成27年度直接経費6,000千円
- [3] 高橋弘充：科学研究費補助金基盤研究(B)海外 平成25-27年度「スウェーデンでの気球実験による硬X線偏光観測と高感度な焦点面偏光計の開発」研究代表者，平成27年度直接経費3,800千円
- [4] 水野恒史：科学研究費補助金基盤研究(B) 平成25-27年度「X線ガンマ線偏光をプローブとした系内コンパクト天体における粒子加速の探査」研究代表者，平成27年度直接経費3,200千円
- [5] 大野雅功：科学研究費補助金若手研究(B) 平成25-27年度「高感度広帯域ガンマ線観測によるガンマ線バーストにおけるジェット構造の解明」研究代表者，平成27年度直接経費800千円
- [6] 深沢泰司：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12-25年度) 研究代表者，平成27年度直接経費8,600千円
- [7] 深沢泰司：宇宙航空研究開発機構宇宙科学研究所 飛翔体による宇宙科学観測支援経費「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22-25年度，平成27年度直接経費5,000千円
- [8] 高橋弘充：ISAS/JAXA基礎開発研究費「新規開発シンチレータの高感度な中性子検出器への応用」研究代表者，平成27年度直接経費4,000千円
- [9] 田中康之：平成27-28年度「GeVTeVガンマ線観測による宇宙可視近赤外線背景放射の精密推定と星形成史への制限」研究代表者，平成27年度直接経費1,800千円

#### 特筆すべき事項

- [1] 深沢泰司：報道：NHK，読売新聞，中国新聞「フェルミガンマ線衛星が重力波に同期したガンマ線を検出」
- [2] 深沢泰司：報道：中国新聞，読売新聞「X線観測衛星ASTRO-H打ち上げ」
- [3] 高橋弘充，深沢泰司，他（計11名）特許権，5894916，2016年3月4日，ホスウィッチ型熱中性子検出器
- [4] 植村 誠，深沢泰司，大杉 節，川端弘治，吉田道利：日本天文学会欧文研究報告論文賞

## 物性科学講座

### ○構造物性グループ

#### 研究活動の概要

我々のグループでは、SPring-8での放射光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経路などの物質機能、また電荷移動や熱振動などの相転移の起源に関わる物性情報を結晶構造の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テーマは、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から利用者指定型の重点研究課題（パワーユーザー課題）に指定され、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の研究成果および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。

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、森吉准教授を代表者として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）が開始された。この課題の採択により森吉准教授が年間の20%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、革新的な計測技術を開発すると同時に様々な物質、主としてペロブスカイト型酸化物強誘電体について共同研究を行った。島根大学との共同研究により、X線回折データから価電子だけの空間分布を可視化する手法を開発し、強誘電体ピスマスフェライト $\text{BiFeO}_3$ の価電子密度分布を最大エントロピー法(MEM)を用いて解析することに成功した。強誘電体結晶の自発分極は主にイオン分極と電子分極の和で表現される。この実験・解析技術は、どのイオンの電子分極が自発分極に大きく寄与するのかという直接証拠を明快に示す技術として注目された。 $\text{BiFeO}_3$ の場合、孤立電子対をもつBiイオンと酸素との共有結合（配位結合）が大きな電子分極を誘起し、その結果 $\text{BiFeO}_3$ は極めて大きな自発分極をもつということを明らかにした。この研究成果は学部4年生により卒業論文としてまとめられ、その発表は物理科学科卒業論文発表優秀賞として表彰された。このような誘電体の電子密度研究を先導してきた黒岩教授の研究業績は、東北学院大学・泉キャンパスで開催された日本物理学会第71回年次大会の日本物理学会設立70周年・創立140周年記念展示会において、領域10（誘電体、格子欠陥、X線・粒子線、フォノン）の関係する2000年代のハイライトに選ばれ紹介された「MEM解析によるペロブスカイト構造の電子密度分布の解明、黒岩芳弘」。一方、山梨大学とのセラミックス材料に関する共同研究では、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、 $\text{BaTiO}_3\text{-Bi}(\text{Mg}_{1/2}\text{Ti}_{1/2})\text{O}_3\text{-BiFeO}_3$ セラミックスが従来の $\text{Pb}(\text{Zr,Ti})\text{O}_3$  (PZT)セラミックス並みの圧電特性を示すことを見出した。特徴として、PZTのように非 $180^\circ$ ドメインの反転による非本質的な格子歪みにより外形が大きく変化するのではなく、結晶格子自体が電場印加方向に本質的に大きく歪むことにより外形が大きく変化することを電場印加下での結晶構造のその場観察により明らかにした。また、馬込助教が先導して、Core/Schell構造をもつ複合セラミックスの界面の構造解析を行い、ヘテロエピタキシャル界面において構造が連続的に変化する領域が優れた誘電特性を示す構造要因になっていることを明らかにした。強誘電体以外では、北海道大学、首都大学東京、山梨大学の研究グループとそれぞれ超伝導体の構造物性研究を従来から継続して行った。また、釜山大学と強磁性半導体に関する共同研究を行い、成果を論文にまとめた。また、戸田工業やTDKといった材料メーカーとの共同研究もSPring-8で行った。

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、コミッ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年度から森吉准教授がこの単結晶ビームラインのパワーユーザーに選任され、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ている。

BL02B1では平成26年度より、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。日本からは我々のグループが参加し、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。名古屋市立大学との共同研究では、水晶振動子の振動中の原子の運動を電場印加下で詳細に追跡することで、水晶振動子の振動機構を解明した。水晶の詳しい振動機構は長い間不明であったが、我々のグループで開発した時間分解X線構造解析システムを利用して、30MHzで振動している水晶振動子の原子の運動を50ピコ秒の時間分解能で一瞬の動きを構造解析することに成功した。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で、水晶振動子の安定した振動は、酸素原子がケイ素原子との共有結合に垂直な方向に弾性的に微小変位することで引き起こされ、この原子変位に伴う電気分極の発生が、力学的エネルギーを効率的に電氣的エネルギーに変換していることを実験的に可視化した。この研究成果はプレス発表された。一方、我々のグループでは、強誘電体チタン酸バリウムBaTiO<sub>3</sub>単結晶に交番する矩形の交流電場を分極方向に印加することで圧電振動を誘起させ、圧電振動している最中の結晶構造の時間変化をサブマイクロ秒の時間分解能でその場観察することに成功した。圧電振動中は静電場印加下では実現されない原子配列が出現すること、特に電場反転直後の結晶格子が大きく引き伸ばされた瞬間には、格子歪みの増大から予想される原子変位パターンとは異なる不安定な結晶構造をもつことを明らかにした。このことは、静電場印加時では、予想される原子変位パターンが実際に観測されることと対照的である。一方、急激に分極反転が起こっている最中の時間帯では、自発分極と逆向きの外部電場が結晶に印加されることにより、平均的に格子歪みは減少することも見出した。これらの成果に対して、黒岩教授と森吉准教授は様々な国際会議や国内学会・研究会で招待講演を行った。また、成果の一部はSPring-8の日本語版と英語版のパンフレットの中で優れた研究成果として掲載された。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、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にも積極的に関与している。H23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に関するコンテスト(クリスタルコンペ)を開催した。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、構造物性グループがchairとなり、釜山大学のSchool of Nanoscience and Technologyと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27年度は第7回として釜山大学で開催された。お互いの大学から各7名の学生が英語で登壇講演を行った。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うまく機能してきたと考えている。また、2016年に日露強誘電体会議を松江で開催するために黒岩教授を実行委員長、森吉准教授と馬込助教を実行委員として研究室メンバーが参加して準備を開始した。

#### 原著論文

- ◎[1] M. H. K. Rubel, T. Takei, N. Kumada, M. M. Ali, A. Miura, K. Tadanaga, K. Oka, M. Azuma, E. Magome, C. Moriyoshi and Y. Kuroiwa; “Hydrothermal Synthesis of a New Bi-based  $(\text{Ba}_{0.82}\text{K}_{0.18})(\text{Bi}_{0.53}\text{Pb}_{0.47})\text{O}_3$  Superconductor”, *J. Alloys and Compounds* **634** (2015) 208-214.
- ◎[2] J. H. Park, Y. J. Lee, J.-S. Bae, B.-S. Kim, Y. C. Cho, C. Moriyoshi, Y. Kuroiwa, S. Lee and S.-Y. Jeong; “Analysis of Oxygen Vacancy in Co-doped ZnO using the Electron Density Distribution obtained using MEM”, *Nanoscale Res. Lett.* **10** (2015) 186/1-7.
- ◎[3] R. Sasai, M. Takegawa, E. Nii, H. Hoashi, C. Moriyoshi and Y. Kuroiwa; “Mehanol Effect on Anion Exchange Properties of Layered Double Hydroxides Consisting of Magnesium and Aluminium (Magnesium/Aluminium = 2)”, *Clay Sci.* **19** (2015) 1-4.
- ◎[4] K. Yoshida, R. Okubo, H. Tanida, T. Matsumura, M. Sera, T. Nishioka, M. Matsumura, C. Moriyoshi, and Y. Kuroiwa; “Pr- and La-doping Effects on the Magnetic Anisotropy in the Antiferromagnetic Phase of Kondo Semiconductor  $\text{CeRu}_2\text{Al}_{10}$ ”, *Phys. Rev. B* **91** (2015) 235124/1-13.
- ◎[5] R. Iizuka, S. Ueno, K. Nakashima, I. Fujii, C. Moriyoshi, Y. Kuroiwa and S. Wada; “Large Electric-field-induced Strain in Pseudo-cubic  $\text{BaTiO}_3\text{-Bi}(\text{Mg}_{0.5}\text{Ti}_{0.5})\text{O}_3\text{-BiFeO}_3$  Ceramics”, *Transactions of the Materials Research Society of Japan* **40** (2015) 295-299.
- ◎[6] A. Miura, K. Tadanaga, E. Magome, C. Moriyoshi, Y. Kuroiwa, T. Takahiro and N. Kumada; “Octahedral and Trigonal-Prismatic Coordination Preferences in Nb-, Mo-, Ta-, and W-based  $\text{ABX}_2$  Layered Oxides, Oxynitrides, and Nitrides”, *J. Solid State Chem.* **229** (2015) 272-277.
- ◎[7] Y. Mishima, T. Hojo, T. Nishio, A. Kajiyama, C. Moriyoshi and Y. Kuroiwa; “Structural and Electrochemical Properties of 20-micron  $\text{Li}(\text{Co}_{1-x}\text{Li}_x)\text{O}_{2-\delta}$  ( $x > 0$ ) Agglomerates with Layered Structures: Identification of Tetravalent Cobalt”, *J. Phys. Chem. Solids* **87** (2015) 48-52.
- ◎[8] N. Kumada, A. Miura, T. Takei, S. Nishimoto, Y. Kameshima, M. Miyake, Y. Kuroiwa and C. Moriyoshi; “Hydrothermal Synthesis and Crystal Structure Analysis of Two New Cadmium Bismuthates,  $\text{CdBi}_2\text{O}_6$  and  $\text{Cd}_{0.37}\text{Bi}_{0.63}\text{O}_{1.79}$ ”, *J. Asian Ceram. Soc.* **3** (2015) 251-254.
- ◎[9] S. Aoyagi, H. Osawa, K. Sugimoto, M. Iwata, S. Takeda, C. Moriyoshi and Y. Kuroiwa; “Crystal Structure Analysis of  $\text{LiTaO}_3$  under Electric Field”, *Jpn. J. Appl. Phys.* **54** (2015) 10NB03/1-5.
- ◎[10] E. Magome, Y. Kuroiwa, C. Moriyoshi, Y. Hirose, S. Ueno, K. Nakashima and S. Wada; “Role of Structure Gradient Region on Dielectric Properties in  $\text{Ba}(\text{Zr,Ti})\text{O}_3\text{-KNbO}_3$  Nanocomposite Ceramics”, *Jpn. J. Appl. Phys.* **54** (2015) 10NB04/1-5.
- ◎[11] A. Masuno, A. Ishimoto, C. Moriyoshi, H. Kawaji, Y. Kuroiwa and H. Inoue; “Expansion of the Hexagonal Phase-forming Region of  $\text{Lu}_{1-x}\text{Sc}_x\text{FeO}_3$  by Containerless Processing”, *Inorg. Chem.* **54** (2015) 9432-9437.
- ◎[12] Y. Mizuguchi, A. Miura, J. Kajitani, T. Hiroi, O. Miura, K. Tadanaga, N. Kumada, E. Magome, C. Moriyoshi and Y. Kuroiwa; “In-plane Chemical Pressure Essential for Superconductivity in  $\text{BiCh}_2$ -based (Ch: S, Se) Layered Structure”, *Sci. Rep.* **5** (2015) 14968/1-8.
- ◎[13] A. Miura, Y. Mizuguchi, T. Sugawara, Y. Wang, T. Takei, N. Kumada, E. Magome, C. Moriyoshi, Y. Kuroiwa, O. Miura and K. Tadanaga; “Structural Difference in Superconductive and Non-superconductive Bi-S Planes within  $\text{Bi}_4\text{O}_4\text{Bi}_2\text{S}_4$  Blocks”,

*Inorg. Chem.* **54** (2015) 10462–10467.

- ◎ [14] S. Aoyagi, H. Osawa, K. Sugimoto, A. Fujiwara, S. Takeda, C. Moriyoshi and Y. Kuroiwa; “Atomic Motion of Resonantly Vibrating Quartz Crystal Visualized by Time-resolved X-ray Diffraction”, *Appl. Phys. Lett.* **107** (2015) 201905/1-5 【プレスリリース 2015年11月17日】.

#### 著書など

(編集雑誌)

- [1] Y. Kuroiwa [Chair of Guest Editors], A. Ando, Y. Cho, N. Fujimura, M. Iwata, K. Kakimoto, K. Kato, H. Nagata, M. Shimizu and T. Tsurumi; *Ferroelectric Materials and Their Applications*, *Jpn. J. Appl. Phys.* Vol. 54, No. 10S (2015) Special Issue: (総論文数 47編, 総頁252ページ) (2015年10月発)

(パンフレット)

- ◎ [1] C. Moriyoshi and Y. Kuroiwa; *SPring-8パンフレット 2015 英語版*, 高輝度光科学研究センター編集, 理化学研究所出版 (総頁18ページ) (pp.10を分担執筆, *SPring-8*での研究成果例, *Materials Science, Time-resolved structural X-ray diffraction* ”Capturing atomic movement of millionths of a second”).

#### 総説

- [1] 久保田佳基, 西堀英治, 黒岩芳弘 :  
「平成21年度指定パワーユーザー活動報告 (2)」, *SPring-8利用者情報* **20** (2015) 26-38.
- [2] 黒岩芳弘 :  
「日本物理学会2014年秋季大会企画公演報告, [世界結晶年企画]「結晶学と量子ビーム科学 —世界結晶年2014 過去から現在へ」「物性開拓に資する結晶学 —世界結晶年2014 現在から未来へ」, *日本物理学会誌* **70** (2015) 217.
- [3] 黒岩芳弘 :  
「*SPring-8* 利用研究課題審査委員会を終えて 分科会主査報告2 —散乱・回折分科会—」, *SPring-8利用者情報* **20** (2015) 158-160.
- [4] 黒岩芳弘 :  
「第10回日韓強誘電体会議」, *村田学術振興財団年報* **29** (2015) 339-340.

#### 国際会議

(招待講演)

- [1] C. Moriyoshi; “Electron Density Study of Ferroelectric Oxides by Synchrotron X-ray Diffraction”, 2nd International Symposium on Frontiers in Materials Science (FMS2015), (November 19-21, 2015, Waseda University).
- [2] C. Moriyoshi; “Phase Transition and Atom Substitution Effect in Ferroelectric Barium Titanates by Synchrotron X-ray Diffraction”, 25th Annual Meeting of Materials Research Society of Japan, International Session of Functional Oxide Materials (December 8-10, 2015, Yokohama Media & Communications Center Hall).

(一般講演)

- ◎ [1] S. Wada, R. Iizuka, S. Ueno, K. Nakashima, C. Moriyoshi and Y. Kuroiwa; “Piezoelectric Enhancement of New Bismuth-based Piezoelectric Materials with Pseudo-cubic Symmetry with and Its Origin Based on Nano/macro Complex-domain Configurations”, 2015 International Workshop on Acoustic Transduction Materials and Devices, (May 12-14, 2015, The Penn Stater Conference Center Hotel, PennState State College, PA, USA).
- ◎ [2] S. Wada, H. Kawashima, Y. Hirose, S. Ueno, K. Nakashima, E. Magome, C. Moriyoshi and Y.

- Kuroiwa; “Low Temperature Preparation of Barium Titanate-Based Nano-Complex Ceramics by Solvothermal Solidification Method and Their Dielectric and Piezoelectric Enhancement”, 2015 IEEE International Symposium on Applications of Ferroelectrics (ISAF), International Symposium on Integrated Functionalities (ISIF) and Piezoresponse Force Microscopy Workshop (PFM), (May 24-27, 2015, Matrix, Biopolis, Singapore).
- ◎[3] S. Wada, R. Iizuka, S. Ueno, K. Nakashima, C. Moriyoshi and Y. Kuroiwa; “Piezoelectric Enhancement of Bismuth-based Piezoelectric Materials with Pseudocubic Symmetry and Its Origin Based on Nano/Macro Complex-domain Configurations”, The 11th Pacific Rim Conference of Ceramic Societies, (August 30 - September 4, 2015, ICC Jeju, Jeju, Korea).
- ◎[4] S. Wada, H. Kawashima, S. Ueno, K. Nakashima, C. Moriyoshi and Y. Kuroiwa; “Dielectric and Piezoelectric Enhancement of Niobium Oxide-Coated Barium Titanate Nano-Complex Ceramics based on High-Density Strained Interfaces”, The 11th Pacific Rim Conference of Ceramic Societies, (August 30 - September 4, 2015, ICC Jeju, Jeju, Korea).
- ◎[5] A. Miura, M. Higuchi, K. Tadanaga, E. Magome, C. Moriyoshi, Y. Kuroiwa, T. Takei, N. Kumada; “Electronic Structure, Charge Density and Chemical Bonding of Ta<sub>5</sub>N<sub>6</sub>”, The 11th Pacific Rim Conference of Ceramic Societies, (August 30 - September 4, 2015, ICC Jeju, Jeju, Korea).
- ◎[6] S. Wada, R. Iizuka, S. Ueno, K. Nakashima, C. Moriyoshi and Y. Kuroiwa; “Piezoelectric Enhancement of New Bismuth-based Piezoelectric Materials with Pseudo-cubic Symmetry and Its Origin Based on Nano/Macro Complex-domain Configurations”, The Ninth International Conference on High-Performance Ceramics (CICC-9), (November 4-7, 2015, Grand Bravo Guilin, Guilin, China).
- ◎[7] Y. Nakahira, C. Moriyoshi and Y. Kuroiwa; “Ferroelectric Phase Transition in Stuffed-Tridymite-type Oxide BaAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub> by Synchrotron Radiation X-ray Diffraction”, 2015 Korean-Japanese Student Workshop (Hiroshima University - Pusan National University), (November 30 - December 2, 2015, Pusan national University, Busan, Korea).
- ◎[8] R. Iizuka, S. Ueno, K. Nakashima, I. Fujii, Y. Kuroiwa, C. Moriyoshi and S. Wada; “Development of Defect-less Bi-based Piezoelectric Materials with Nano/Macro Complex Domain Configuration for Piezoelectric Enhancement”, The International Chemical Congress of Pacific Basin Societies (Pacifichem 2015), (December 15-20, 2015, Honolulu, HI, USA).
- ◎[9] A. Miura, Y. Mizuguchi, T. Sugawara, T. Takei, N. Kumada, E. Magome, C. Moriyoshi, Y. Kuroiwa, K. Tadanaga; “Structure of BiS<sub>2</sub> Layer in Bi<sub>4</sub>O<sub>4</sub>S<sub>3</sub>”, The International Chemical Congress of Pacific Basin Societies (Pacifichem 2015), (December 15-20, 2015, Honolulu, HI, USA).

## 国内学会

(招待講演)

- [1] 黒岩芳弘: 「ペロブスカイト酸化物強誘電体の電場印加放射光構造物性」, 豊田理化学研究所特定課題研究「マルチプローブ融合利用による新奇強誘電体材料の物性解明」, (2015年7月31日, 東北大学多元物質科学研究所, 仙台市青葉区片平)
- [2] 黒岩芳弘: 「ペロブスカイト型強誘電体の放射光精密構造物性」, 第76回応用物理学会秋季学術講演会, (2015年9月13-16日, 名古屋国際会議場, 名古屋市)
- [3] 黒岩芳弘: 「電場印加下の強誘電体構造研究」, 日本結晶学会平成27年度年会シンポジウム「最新の時間分解測定技術と構造研究」, (2015年10月17-18日, 大阪府立大学中百舌鳥キャンパス, 堺市)
- [4] 森吉千佳子: 「チタン酸バリウム系強誘電体の相転移と元素置換効果に関する放射光構造研究」, 第25回日本MRS年次大会, (2015年12月8-10日, 横浜市開講記念会館, 横浜市)

- [5] 黒岩芳弘：「酸化物強誘電体の極性構造歪みに関する放射光精密構造物性研究」，第15回東北大学多元物質科学研究所研究発表会，（2015年12月22日，東北大学多元物質科学研究所片平さくらホール，仙台市青葉区片平）
- [6] 森吉千佳子：「放射光回折による強誘電体の構造とダイナミクスの研究」，第308回応用セラミックス研究所講演会，（2016年1月8日，東京工業大学応用セラミックス研究所，横浜市）

（依頼講演）

- [1] 森吉千佳子：「層状複水酸化物の結晶構造と陰イオン交換能との相関」，科学研究費補助金基盤研究(B)公開シンポジウム「層状複水酸化物の最新科学」，（2015年7月30日，慶應義塾大学三田キャンパス，港区三田）
- [2] 森吉千佳子：「チタン酸バリウム系強誘電体の相転移と結晶構造に関する元素置換効果」，名古屋市立大学セミナー，（2015年9月7日，名古屋市立大学，名古屋市）
- [3] B. B. Iversen, J. Overgaard, V. Hathwar, M. Sist, C. Lecomte, C. Wilson, Y. Kuroiwa, E. Nishibori：「Activities at BL02B1 in PU project 0078」，SPring-8シンポジウム2015，（2015年9月13-14日，九州大学伊都キャンパス，カーボンニュートラル・エネルギー国際研究所/I2CNER（アイスナー），福岡市西区元岡）
- [4] 森吉千佳子，西堀英治，久保田佳基：「粉末・多粒子X線回折による高速構造計測基盤の構築」，SPring-8シンポジウム2015，（2015年9月13-14日，九州大学伊都キャンパス，カーボンニュートラル・エネルギー国際研究所/I2CNER（アイスナー），福岡市西区元岡）
- [5] 黒岩芳弘，木村 滋，熊田伸弘，東 正樹，水口佳一：「構造物性研究会：最近の研究成果の紹介」，SPring-8シンポジウム2015，（2015年9月13-14日，九州大学伊都キャンパス，カーボンニュートラル・エネルギー国際研究所/I2CNER（アイスナー），福岡市西区元岡）
- [6] 森吉千佳子：「ニッケルとアルミニウムを含む層状複水酸化物の結晶構造の特徴」，層状複水酸化物研究会，（2015年12月11日，立命館大学びわこくさつキャンパス，草津市）

（一般講演）

- ◎[1] 川島秀人，上野慎太郎，中島光一，和田智志，馬込栄輔，森吉千佳子，黒岩芳弘：「常誘電体/強誘電体ヘテロ界面に由来するチタン酸バリウムナノ複合セラミックスの誘電特性向上とその応用」，第32回強誘電体応用会議(FMA-32)，（2015年5月20-23日，コープイン京都，京都市）
- ◎[2] 廣瀬吉進，上野慎太郎，中島光一，和田智志，馬込栄輔，森吉千佳子，黒岩芳弘：「ソルボサーマル固化法によるヘテロエピタキシャル界面を持つ種々のナノ複合セラミックの作製とその誘電特性」，第32回強誘電体応用会議(FMA-32)，（2015年5月20-23日，コープイン京都，京都市）
- ◎[3] 馬込栄輔，黒岩芳弘，森吉千佳子，廣瀬吉進，上野慎太郎，中島光一，和田智志：「Ba(Zr, Ti)O<sub>3</sub>-KNbO<sub>3</sub> 複合セラミックスの構造傾斜領域と誘電特性」，第32回強誘電体応用会議(FMA-32)，（2015年5月20-23日，コープイン京都，京都市）
- ◎[4] 青柳 忍，大沢仁志，杉本邦久，岩田 真，竹田翔一，森吉千佳子，黒岩芳弘：「LiTaO<sub>3</sub>の電場下結晶構造解析」，第32回強誘電体応用会議(FMA-32)，（2015年5月20-23日，コープイン京都，京都市）
- ◎[5] 笠谷祐史，出口 潔，鈴木祥一郎，安藤 陽，森吉千佳子，黒岩芳弘：「(Ba, Ca, Sn)TiO<sub>3</sub>の放

- 射光粉末X線回折」, 第32回強誘電体応用会議(FMA-32), (2015年5月20-23日, コープイン京都, 京都市)
- ◎[6] 笹井 亮, 新井栄作, 佐藤宏亮, 帆足宏一, 森吉千佳子, 老田直人, 藤井康裕, 菅田真子, 藤村卓也, 黒岩芳弘:「NiとAlからなる層状複水酸化物の陰イオン選択性の解明」, 第59回粘土科学討論会, (2015年9月2-5日, 山口大学, 山口市)
- ◎[7] 笠谷祐史, 出口 潔, 鈴木祥一郎, 安藤 陽, 馬込栄輔, 森吉千佳子, 黒岩芳弘:「Srを5%Sn置換した(Sr, Sn)TiO<sub>3</sub>の放射光粉末X線回折」, 日本物理学会2015年秋季大会, (2015年9月16-19日, 関西大学千里山キャンパス, 吹田市)
- ◎[8] 竹田翔一, 安田智史, 森吉千佳子, 黒岩芳弘, 本多淳史, 井上徳之, 檜貝信一, 安藤陽:「希土類・マグネシウム置換チタン酸バリウムの結晶構造」, 日本物理学会2015年秋季大会, (2015年9月16-19日, 関西大学千里山キャンパス, 吹田市)
- ◎[9] 大本 優, 竹田翔一, 森吉千佳子, 黒岩芳弘, 大沢仁志, 杉本邦久, 北中佑樹, 野口祐二, 宮山勝:「BaTiO<sub>3</sub>の分極反転に伴う構造変化の時分割測定」, 日本物理学会2015年秋季大会, (2015年9月16-19日, 関西大学千里山キャンパス, 吹田市)
- ◎[10] Z. Zhang, E. Magome, C. Moriyoshi, Y. Kuroiwa, Y. Hanato, S. Kawamoto and H. Tanaka:「Electrostatic Potential Study of LiTaO<sub>3</sub> Ferroelectric by Synchrotron Radiation X-ray Diffraction」, 日本物理学会2015年秋季大会, (2015年9月16-19日, 関西大学千里山キャンパス, 吹田市)
- ◎[11] 花戸雄太, 田中宏志, 水流大地, 森吉千佳子, 黒岩芳弘:  $d_{xy}$  軌道は観測できるか?, 日本物理学会2015年秋季大会, (2015年9月16-19日, 関西大学千里山キャンパス, 吹田市)
- [12] 石井悠衣, 塚崎裕文, 田中慧里, 河口彰吾, 森吉千佳子, 森 茂生:「充填トリジマイト型酸化物Ba<sub>1-x</sub>Sr<sub>x</sub>Al<sub>2</sub>O<sub>4</sub>の構造揺らぎと金属化の試み」, 日本物理学会2015年秋季大会, (2015年9月16-19日, 関西大学千里山キャンパス, 吹田市)
- ◎[13] 田尻恭之, 出口博之, 美藤正樹, 竹田翔一, 中平夕貴, 森吉千佳子, 黒岩芳弘, 香野淳:「希土類マンガン酸化物RMnO<sub>3</sub> (R = Gd, Eu, Tb)ナノ粒子の磁性と結晶構造」, 日本物理学会2015年秋季大会, (2015年9月16-19日, 関西大学千里山キャンパス, 吹田市)
- ◎[14] 中平夕貴, 竹田翔一, 森吉千佳子, 黒岩芳弘, 石井悠衣, 森 茂生:「充填トリジマイ型酸化物BaAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub>における酸素四面体ネットワークの構造ゆらぎと相転移」, 日本結晶学会平成27年度年会, (2015年10月17-18日, 大阪府立大学中百舌鳥キャンパス, 堺市)
- ◎[15] 榎戸 靖, 三輪将史, 岩佐拓郎, 石山 保, 藤川佳則, 森吉千佳子, 黒岩芳弘:「自動車向けDyフリーNdFeB焼結磁石」, マグネティックス研究会, (2015年12月1日, 日本電気計器検定所, 港区芝浦)
- ◎[16] 飯塚 涼, 上野慎太郎, 中島光一, 藤井一郎, 黒岩芳弘, 森吉千佳子, 和田智志:「クエンチ処理によるBaTiO<sub>3</sub>-Bi(Mg<sub>0.5</sub>Ti<sub>0.5</sub>)O<sub>3</sub>-BiFeO<sub>3</sub>セラミックスの圧電特性の向上」, 第25回日本MRS年次大会, (2015年12月8-10日, 横浜市開講記念会館, 横浜市)
- ◎[17] 深澤主樹, 上野慎太郎, 中島光一, 馬込栄輔, 森吉千佳子, 黒岩芳弘, 和田智志:「ソルボサーマル固化法によるアルカリニオブ系ナノ複合セラミックスの作製とその圧電特性」, 第25回日本MRS年次大会, (2015年12月8-10日, 横浜市開講記念会館, 横浜市)
- [18] 黒岩芳弘:「開会の挨拶」, SPring-8ユーザー共同体 (SPRUC) 構造物性研究会, (2016年1月9日, 東京大学フューチャーセンター, 柏市)
- ◎[19] 中平夕貴, 竹田翔一, 森吉千佳子, 黒岩芳弘, 石井悠衣, 森 茂生:「酸素四面体ネットワークをもつBaAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub>の構造ゆらぎ」, 第29回日本放射光学会年会, (2016年1月9-11日, 東京大学柏の葉キャンパス駅前サテライト他, 柏市)

- ◎[20]竹田翔一, 安田智史, 森吉千佳子, 黒岩芳弘, 本多淳史, 井上徳之, 檜貝信一, 安藤陽:「希土類・マグネシウム置換したチタン酸バリウムの精密構造解析」, 第29回日本放射光学会年会, (2016年1月9-11日, 東京大学柏の葉キャンパス駅前サテライト他, 柏市)
- [21]馬込栄輔, 隅谷和嗣, 岡島敏浩:「ガスジェット浮遊炉を用いた超高温下物質の構造計測」, 第29回日本放射光学会年会, (2016年1月9-11日, 東京大学柏の葉キャンパス駅前サテライト他, 柏市)
- ◎[22]坂本康直, 上野慎太郎, 中島光一, 和田智志, 馬込栄輔, 森吉千佳子, 黒岩芳弘:「ソルボサーマル固化法による絶縁体/導電体ナノ複合セラミックスの作製とその誘電特性」, 日本セラミックス協会2016年会, (2016年3月14-16日, 早稲田大学西早稲田キャンパス, 新宿区大久保)
- ◎[23]抜水一輝, 上野慎太郎, 中島光一, 熊田伸弘, 和田智志, 鈴木 達, 打越哲郎, 目義雄, 馬込栄輔, 森吉千佳子, 黒岩芳弘:「六方晶-正方晶2相共存粒子を用いた強磁場電気泳動法による(111)配向チタン酸バリウムセラミックスの作製」, 日本セラミックス協会2016年会, (2016年3月14-16日, 早稲田大学西早稲田キャンパス, 新宿区大久保)
- ◎[24]垣内博行, 上野慎太郎, 中島光一, 和田智志, 馬込栄輔, 森吉千佳子, 黒岩芳弘:「 $Al_2TiO_5$ を基板とした常誘電体/常誘電体複合セラミックスの作製とその誘電特性」, 日本セラミックス協会2016年会, (2016年3月14-16日, 早稲田大学西早稲田キャンパス, 新宿区大久保)
- ◎[25]飯塚 涼, Gopal Prasad Khanal, Sarah Najwa, 上野慎太郎, 中島光一, 和田智志, 藤井一郎, 馬込英輔, 森吉千佳子, 黒岩芳弘:「種々のドーパント添加によるBi系圧電セラミックスの欠陥制御とその圧電特性」, 日本セラミックス協会2016年会, (2016年3月14-16日, 早稲田大学西早稲田キャンパス, 新宿区大久保)
- ◎[26]森吉千佳子, 黒岩芳弘, 三村功次郎, 光田暁弘, 和田裕文:「EuPtPの二段価数転移に伴う結晶構造変化」, 日本物理学会第71回年次大会, (2016年3月19-22日, 東北学院大学泉キャンパス, 仙台市)
- ◎[27]青柳 忍, 青柳鮎美, 大沢仁志, 杉本邦久, 竹田翔一, 森吉千佳子, 黒岩芳弘, 岩田 真:「 $Pb(Zn_{1/3}Nb_{2/3})O_3-PbTiO_3$ の交流電場下時分割X線回折」, 日本物理学会第71回年次大会, (2016年3月19-22日, 東北学院大学泉キャンパス, 仙台市)
- ◎[28]水流大地, 馬込栄輔, 森吉千佳子, 黒岩芳弘, 花戸雄太, 田中宏志:「酸素八面体を構成する金属イオンの価電子密度解析」, 日本物理学会第71回年次大会, (2016年3月19-22日, 東北学院大学泉キャンパス, 仙台市)
- ◎[29]安部友啓, 森吉千佳子, 馬込栄輔, 黒岩芳弘, 花戸雄太, 田中宏志:「強誘電体 $BiFeO_3$ の精密電子密度解析」, 日本物理学会第71回年次大会, (2016年3月19-22日, 東北学院大学泉キャンパス, 仙台市)

#### 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 1 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 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 6 件

#### セミナー・講演会開催実績

##### ○学会等

- [1] 黒岩芳弘：第32回強誘電体応用会議（FMA-32），運営委員会委員，論文委員会委員，特別セッション選考委員会委員  
（コープイン京都，京都，2015年5月20-23日，参加者約200名）

##### ○セミナー・講習会等

- [1] 森吉千佳子（世話人）：第479回物性セミナー，講師：江本知正（元 日本テキサス・インスツルメンツ（株）技術戦略企画統括部長），「半導体の歴史と技術動向」  
（広島大学大学院理学研究科，2015年4月23日，参加者約20名）
- [2] 森吉千佳子（世話人）：第480回物性セミナー，講師：津田健治（東北大学 多元物質科学研究所），「収束電子回折による局所結晶構造・静電ポテンシャル分布解析法の開発と強誘電体への応用」  
（広島大学大学院理学研究科，2015年10月9日，参加者約20名）
- [3] 黒岩芳弘：SPring-8ユーザー協同体（SPRUC）構造物性研究会ユーザーミーティング，研究会代表および実行委員長（東京大学フューチャーセンター，柏市，2016年1月9日，参加者12名）

#### 社会活動・学外委員

##### ○学協会委員

- [1] 黒岩芳弘：強誘電体応用会議 運営委員会 委員
- [2] 黒岩芳弘：強誘電体応用会議 論文委員会 委員
- [3] 黒岩芳弘：強誘電体応用会議 特別セッション選考委員会 委員
- ◎[4] 黒岩芳弘，森吉千佳子：強誘電体応用会議 優秀発表賞審査委員会 委員
- [5] 黒岩芳弘：Jpn. J. Appl. Phys. Editorial Board, 編集委員
- [6] 黒岩芳弘：Jpn. J. Appl. Phys. Vol. 54, No. 10S (2015) Special Issue: Ferroelectric Materials and Their Applications, Chair of Guest Editors
- [7] 黒岩芳弘：SPring-8ユーザー協同体（SPRUC）構造物性研究会 代表
- [8] 黒岩芳弘：日本物理学会 会誌編集委員会 編集委員
- [9] 黒岩芳弘：日本物理学会 中国支部 支部幹事
- [10] 森吉千佳子：日本結晶学会 会誌編集委員会 編集委員
- [11] 森吉千佳子：広島県物理教育研究推進会事務局，会計幹事
- [12] 黒岩芳弘：国際会議RCBJSF-IWRF組織委員会 Organizing Committee委員，Steering Committee委員長
- ◎[13] 森吉千佳子，馬込栄輔：国際会議RCBJSF-IWRF組織委員会 Steering Committee委員

##### ○外部評価委員等

- [1] 黒岩芳弘：国立研究開発法人日本原子力研究開発機構施設利用協議会 専門委員
- [2] 黒岩芳弘：（公財）高輝度光科学研究センター人事選考外部審査委員会 委員

○客員教授，研究員等

- [1] 黒岩芳弘：東北大学，多元物質科学研究所 客員教授
- ◎[2] 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
- [3] 黒岩芳弘：BL02B1 単結晶構造解析ビームライン，パートナーユーザー
- [4] 森吉千佳子：BL02B2 粉末構造解析ビームライン，パートナーユーザー，代表
- [5] 馬込栄輔：佐賀県立九州シンクロトロン光研究センター，協力研究員

○講習会・セミナー講師

(集中講義)

- [1] 森吉千佳子：名古屋市立大学 システム自然科学研究科 理学情報専攻 (自然情報系)  
(博士前期1年次) ～自然情報学特論3-2～ 「結晶の物性と構造」 (2015年9月7-8日，名古屋市立大学，名古屋市)
- [2] 黒岩芳弘：山梨大学 工学部 応用化学科 特別講義第一A 「放射光を用いたX線構造解析の最前線」 (2015年11月23-25日，山梨大学，武田キャンパス，甲府市)

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利用者指定型重点研究課題 (パートナーユーザー課題)  
“Application of synchrotron radiation in materials crystallography” (平成26-27年)，  
参加国：デンマーク，フランス，イギリス，日本

○国際会議開催実績

- ◎[1] 黒岩芳弘 (組織委員長)，森吉千佳子 (組織委員)：2015 Korean - Japanese Student Workshop  
(Pusan National University - Hiroshima University)，(November 30 – December 2, 2015, Pusan National University, Busan, Korea, 参加者：広島大学15名，釜山大学30名)

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：模擬授業「物理学講座－夢の光，放射光で見る物質の構造と機能発現のメカニズム－」(祇園北高等学校，広島市，2015年10月16日)
- ◎[2] 黒岩芳弘，森吉千佳子，馬込栄輔：祇園北高校の広島大学訪問，結晶育成指導(広島大学，2015年10月26日)
- ◎[3] 黒岩芳弘，森吉千佳子：クリスタルコンペ主催(広島大学，2015年12月16日)
- [4] 森吉千佳子：模擬授業「結晶の構造と性質」(祇園北高校，2016年1月28日)

○その他の模擬授業

- [1] 森吉千佳子：模擬授業「～キレイなだけじゃない！～成り立ちと性質～」(広島県立海田高校，2015年6月19日)

○中・高校生に対するTA

- [1] 竹田翔一, 中平夕貴, 安部友啓: 近畿大学附属東広島中学校, 模擬実験TA (HiSOR, 広島大学, 2015年4月22日)
- [2] 竹田翔一, 張 志剛, 中平夕貴: オープンキャンパス, 模擬実験TA (HiSOR, 広島大学, 2015年8月18日)
- [3] 水流大地, 中平夕貴: 鳥取東高等学校SSH, 模擬実験TA (HiSOR, 広島大学, 2015年9月16日)
- [4] 森田 悠, 安部友啓, 砂田裕哉: 国泰寺高等学校, 模擬実験TA (HiSOR, 広島大学, 2015年10月14日)
- [5] 水流大地: 広島県立祇園北高校SPP, 模擬授業TA (広島県立祇園北高校, 2015年10月16日)
- [6] 森田 悠, 安部友啓, 砂田裕哉: 美鈴が丘高等学校, 模擬実験TA (HiSOR, 広島大学, 2015年10月16日)
- [7] 森田 悠: 岡山県立倉敷天城中学校2年生, 模擬実験TA (HiSOR, 広島大学, 2015年10月22日)
- [8] 竹田翔一, 水流大地, 中平夕貴: 広島県立祇園北高校ポストSPP, 結晶育成指導, (広島大学, 2015年10月26日)
- [9] 森田 悠, 安部友啓, 砂田裕哉, 張 志剛: JSTさくらサイエンスプログラム・フィリピンSSH, 模擬実験TA (HiSOR, 広島大学, 2015年10月26日)
- [10] 森田 悠, 安部友啓, 砂田裕哉, 中平夕貴: 岡山県立井原高等学校2年生, 模擬実験TA (HiSOR, 広島大学, 2015年10月29日)
- [11] 森田 悠, 砂田裕哉, 中平夕貴: 銀河学院中学校, 模擬実験TA (HiSOR, 広島大学, 2015年11月5日)
- [12] 竹田翔一, 安部友啓, 水流大地: 広島大学附属中学校, HiSOR研究現場体験TA (HiSOR, 広島大学, 2015年11月5日)
- [13] 森田 悠, 張 志剛: 理学部公開, 模擬実験TA (HiSOR, 広島大学, 2015年11月7日)
- [14] 竹田翔一, 水流大地, 森田 悠: 広島県立祇園北高校, クリスタルコンペ (広島大学, 2015年12月16日)
- [15] 中平夕貴: 広島県立祇園北高校SPP, 模擬授業TA (広島県立祇園北高校, 2016年1月28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, 2014年10月入学生, 1名 (中国)

研究助成金の受入状況

- [1] 森吉千佳子 (代表): SPring-8パートナーユーザー課題 (平成27-28年, BL02B2)  
課題名: 粉末・多粒子X線回折による高速構造計測基盤の構築  
(BL02B2粉末構造解析ビームラインでの年間20%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, 約2,000千円)
- [2] 黒岩芳弘 (分担): SPring-8パートナーユーザー課題 (平成26-27年, BL02B1)  
課題名: Application of synchrotron radiation in materials crystallography  
(BL02B1単結晶構造解析ビームラインでの年間15%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, 約2,000千円)

◎[3] 黒岩芳弘 (代表), 森吉千佳子 (分担): 科学研究費補助金基盤研究(B) (一般) (平成26-28年)

「電場による瞬間的な原子の動きと化学結合の変化を可視化する時分割構造計測技術の開発」

(平成27年度 直接経費: 3,700千円, 間接経費: 90千円, 合計: 3,790千円)

[4] 黒岩芳弘 (代表): 科学研究費補助金挑戦的萌芽研究 (平成26-27年)

「フェロアクティブイオンの電子状態を立脚点とする相転移論構築のための構造物性研究」

(平成27年度 直接経費: 800千円, 間接経費: 240千円, 合計: 1,040千円)

[5] 馬込栄輔 (代表): 科学研究費補助金若手研究(B) (平成25-27年)

「無容器法を用いた高 $T_C$ ・高 $P_S$ のBa-Ti-O系強誘電体合成技術の開発」

(平成27年度 直接経費: 500千円, 間接経費: 150千円, 合計: 650千円)

◎[6] 黒岩芳弘, 森吉千佳子: 企業共同研究費 (平成27年, 2,000千円)

[7] 森吉千佳子: 平成27年度広島大学女性研究者奨励賞 (平成27年, 500千円)

その他特記すべき事項

○国際交流の実績

◎[1] 黒岩芳弘 (組織委員長), 森吉千佳子 (組織委員):

釜山大学ー広島大学 日韓学生ワークショップ, (2015年11月30ー12月2日, 釜山大学, 韓国)

広島大学参加者15名 (教職員6名, 学生9名 (発表者7名))

釜山大学参加者30名 (教職員10名, 学生20名 (発表者7名))

○学術団体等からの受賞実績

[1] 安部友啓: 平成27年度 物理科学科 卒業論文発表優秀賞 (2016年3月23日, 広島大学)

[2] 黒岩芳弘: 日本物理学会設立70周年・創立140周年記念展示会 領域10 (誘電体, 格子欠陥, X線・粒子線, フォノン) 2000年代研究ハイライト「MEM解析によるペロブスカイト構造の電子密度分布の解明」

○電子物性グループ

研究活動の概要

放射光X線分光実験による物性研究の展開を目指している。特に、放射光の偏光とパルス性の特徴を活かした実験手法の開発を通して、磁性体と誘電体における物性発現の電子論的機構の探究を目標としている。元素選択的かつ電子殻選択的情報の取得に加えて、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)において、様々な外場(圧力, 磁場, 温度)を試料に印加した状態でX線回折(XRD), X線吸収分光(XAS)及びX線発光分光(XES)による結晶構造と電子状態の*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、高エネルギー加速器研究機構Photon-Factory(PF)では、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（応力、電場、温度、紫外線）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。広島大学放射光科学研究センター(HiSOR)では、3keV領域の放射光を用いたXAS測定によるPd合金の水素吸蔵過程に関する研究も行っている。

#### (1) 高圧下での物性研究

##### 純Feの構造相転移と磁気相転移

純Feの約15 GPaにおける相転移の過程と高圧相の結晶構造・磁気構造について、XRDとXASを相補的に利用した研究を行っている。これまで、Fe K-吸収端の広域X線吸収微細構造(EXAFS)の解析から、この相転移はマルテンサイト変態で、転移の初期にshear変形が起こった後にshuffle変位が段階的に進行することが見出された。剪断応力とshear変形との関係を調べる目的で、準静水圧の加圧条件下でbcc構造のFe単結晶を相転移させ、どのような方位を持つhcp構造が優先的に形成されるかを、X線回折スポットの分布から決定している。この実験から、shear変形をトリガーとした相転移機構モデルの検証を進めている。

また、Fe高圧相では磁場の有無に依存しないX線円二色性が観測されており、その圧力変化や入射X線に対する角度依存性を測定した。この特異なX線円二色性が出現する原因について、Fe高圧相の結晶構造や磁気構造の観点から議論を始めている。

#### (2) 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(CT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CT励起(～10 eV)に着目し、量子常誘電相における量子ゆらぎを電子論的に研究している点が、本研究グループの取り組みの独創的な点である。誘電体の研究では、構造歪みに対する現象論的考察がこれまでの議論の中心であった。この現状に、Operando-XES測定によって電子状態やそのエネルギーレベルといった新たな視点を加えることで、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>量子常誘電体

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SrTiO<sub>3</sub>に紫外線照射と直流電場を印加すると、誘電率が2桁も増大すると報告されている。この誘電特性の発現機構を微視的(電子論的)に解明するために、電場・温度・紫外線・応力などを印加した物質機能動作下(Operando状態)で、XES測定を行っている。特に、誘電特性に直接関係するTi-O間の電荷移動(CT)励起の外場依存性を系統的に調べている。

これまでに、量子常誘電相のSrTiO<sub>3</sub>内には、紫外線照射によって局所分極(電気双極子モーメント)が誘起され、それが電場によって強誘電的に秩序化することを電子状態変化から明らかにしてきた。この強誘電性の出現は、SrTiO<sub>3</sub>に異方的な応力を加えることでも出現することが期待されている。特に、エピタキシャル薄膜のヘテロ界面においては、バルク試料とは異なる誘電特性を示すと考えられる。これを確かめるべく、一軸応力下・曲げ応力下でエピタキシャル薄膜を用いたX線分光測定および誘電率測定を進めている。

### 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。最近、電場に対する格子の伸びを調べたX線回折の研究例が報告されている。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。この時、電子状態にも変化が起こることが期待される。そこで、XAS測定により電子状態変化を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。そこで、東工大のグループに100nm厚程度のエピタキシャル薄膜を作製していただいた。1s-4p遷移に対応する主ピークに、分極反転に同期した強度変化が観測された。この結果は、価電子帯を構成する3d軌道ではなく、非占有4p軌道がパルス電場に大きく影響を受けることを示している。多重散乱理論に基づいたシミュレーション結果から、瞬間的な分極反転にはBa 5dとTi 4pの混成状態の変化が役割を担っていることが結論された。

### (3) その他の研究

#### Pd基合金の水素化と電子状態

Pdが常圧で水素を大量に吸蔵する特異な性質を利用して、Pd-X (X=Ru, Rh, Agなど)合金の水素化過程をXASによって研究している。通常、X金属単体では常圧下で水素化しないが、Pd-X合金中ではX金属は水素化する。このXAS測定には、Pd-H間とX-H間の結合を元素選択的に観測できる特長がある。本研究では、合金試料の作製と板状試料の水素化、XRDによる水素含有量の分析、HiSORのBL-11でのXAS測定を実施している。X-H間に結合がある場合、XASに4d非占有状態密度の減少と反結合軌道の形成が電子状態の変化として検出される。水素との結合は、4d軌道が閉殻となっているX=Agでは見出されないが、X=RuとRhでは結合が明瞭に観測されている。Pd-X合金中の水素化過程を、従来の熱力学的な解釈に加えて、XASで見出された元素選択的な電子状態からの観点で議論を進めている。

#### TiO<sub>2</sub>ナノチューブの電子状態

TiO<sub>2</sub>は光触媒として様々な応用に供されている。本研究グループでは、Ti薄膜を陽極とした電気分解法によりTiO<sub>2</sub>ナノチューブを作製し、Ti K-吸収端XASおよびXESの測定を行っている。平成27年は、さらにX線回折や電子顕微鏡による結晶構造の観測とメチレンブルー水溶液を用いた可視吸光度測定から、結晶性と触媒活性の相関を明らかにしてきた。結晶性を向上させる要となる要因が、電気分解法により作製したas-grown試料が、その後の焼きなまし処理によって大幅に活性向上につながることで、特に450°C程度の温度で1時間程度焼きなますことが最適であることが分かった。この結果は査読付き欧文誌に投稿準備中である。また、この結果を受けて、可視光領域でも触媒活性が発現するような材料作製と新たな評価方法の検討に着手している。

#### 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。

- ・(日米欧)High pressure research 特集号編纂に向けた高圧下X線分光の研究
- ・ESRFでの新規実験テーマ提案に向けた共同研究
- ・新規スペクトル解析に基づくチタン酸ストロンチウムの局所分極

#### 原著論文

©[1] Mechanism of intrinsic dipole moment induction in quantum paraelectric SrTiO<sub>3</sub>;

- S.Kawakami, N.Nakajima, M.Nakatake, N.Kawamura, M.Mizumaki and H.Maruyama;  
*Jpn. J. Appl. Phys.* **54** (2015) 10NC03/1-5.
- [2] Differences in local structure around Co and Fe of the  $\text{BiCo}_{1-x}\text{Fe}_x\text{O}_3$  system determined by x-ray absorption fine structure; N.Ishimatsu, T.Watanabe, K.Oka, M.Azuma, M.Mizumaki, K.Nitta, T.Ina, and N.Kawamura; *Phys. Rev.* **B92** (2015) 054108/1-9.
- ◎ [3] X-ray absorption study of the local dipole moment in  $\text{SrTiO}_3$  under uniaxial pressure; C.Temba, S.Kawakami, N.Nakajima, N.Ishimatsu, and H.Maruyama;  
*Journal of the Korean Physical Society*, **66** (2015) 1386-1388.
- [4] Pressure-Induced Valence Crossover and Novel Metamagnetic Behavior near the Antiferromagnetic Quantum Phase Transition of  $\text{YbNi}_3\text{Ga}_9$ ; K.Matsubayashi, T.Hirayama, T.Yamashita, S.Ohara, N.Kawamura, M.Mizumaki, N.Ishimatsu, S.Watanabe, K.Kitagawa, and Y.Uwatoko;  
*Phys. Rev. Lett.* **114** (2015) 086401.

#### 著書

該当無し

#### 総説

- [1] 中島伸夫, 川上修平: 「X線発光分光法による酸化物誘電体の局所分極状態の研究」  
 固体物理 Vol. 50, No. 9 (2015) 481-488.
- ◎ [2] 石松直樹, 佐田祐介, 圓山 裕, 綿貫 徹, 河村直己, 水牧仁一朗, 入船徹男, 角谷 均:  
 「純鉄の $\alpha$ - $\epsilon$ 構造相転移の EXAFS による精密構造解析」  
 日本放射光学会誌「放射光」**28** (2015) 3.
- [3] 中島伸夫: 「共鳴X線発光分光法による典型強誘電体チタン酸バリウムの局所分極状態の研究」  
 日本放射光学会誌「放射光」**28** (2015) 12.

#### 国際会議

(招待講演)

- [1] N.Nakajima, S.Kawakami, and C.Lu;  
 「Local Origin of Ferroelectric Moment in Paraelectric  $\text{SrTiO}_3$ 」 (invited)  
 2015 Korea-Japan Student Workshop (2015.11.30-12.3 Pusan University, Busan, Korea).

(一般講演)

- ◎ [1] K.Fujii, N.Ishimatsu, S.Hayakawa, T.Shishidou, and H.Maruyama;  
 「XAS study of hydrogenation properties of Pd-TM alloys」;  
 The 20th Hiroshima International Symposium on Synchrotron Radiation  
 (2016.3.10-11, Hiroshima University, Faculty Club).
- ◎ [2] T.Naito, N.Ishimatsu, and H.Maruyama;  
 「Anomalous X-ray Circular Dichroism of epsilon-Fe high pressure phase」;  
 2015 Korea-Japan Student Workshop (2015.11.30-12.3, Pusan University, Busan, Korea).
- [3] K.Moriai and N.Nakajima;  
 「Synthesis and Photocatalytic Activity of  $\text{TiO}_2$  nanotubes」;  
 2015 Korea-Japan Student Workshop (2015.11.30-12.3, Pusan University, Busan, Korea).
- ◎ [4] C.Lu, N.Nakajima, S.Kawakami, C.Temba, S.Ono, and H.Maruyama;  
 「Observation of the flexoelectric origin of a  $\text{SrTiO}_3$  single crystal by resonant X-ray emission spectroscopy」; IXS 2015 (2015.11.22-26, NSRRC, Taiwan).
- ◎ [5] N.Nakajima, S.Kawakami, C.Lu, H.Maruyama, Y.Tezuka, and K.Okada;  
 「Covalent nature of the Ti-O bond in perovskite dielectrics revealed by x-ray absorption and emission spectroscopy」; IXS 2015 (2015.11.22-26, NSRRC, Taiwan).
- [6] Y.Tezuka, Y.Yokouchi, S.Nakamoto, H.Im, T.Watanabe, S.Nozaawa, N.Nakajima, and T.Iwazumi;  
 「Electronic structure study of Transition Metal Compounds using X-ray Raman Scattering by Core-Excitation」; IXS 2015 (2015.11.22-26, NSRRC, Taiwan).
- ◎ [7] N.Ishimatsu, Y.Sata, T.Naito, H.Maruyama, T.Watanuki, N.Kawamura, M.Mizumaki, T.Irifune, and H.Sumiya; 「 $\alpha$ - $\epsilon$  Transition Pathway of Iron Determined by X-ray Absorption Spectroscopy」;  
 the Joint AIRAPT-25th & EHPRG-53rd International Conference (2015.8.30-9.4, Madrid, Spain).

- ◎[8] C.Temba, S.Kawakami, C.Lu, N.Nakajima, N.Ishimatsu, and H.Maruyama;  
「Isotropic modification of the oxygen octahedron in SrTiO<sub>3</sub> under uniaxial pressure revealed by X-ray absorption spectroscopy」; XAFS16 (2015.8.23-28, Karlsruhe, Germany).
- [9] N.Nakajima, A.Sano, Y.Tezuka, Y.Niwa, J-I.Adachi;  
「Sub-microsecond response of a barium titanate single crystal to pulsed high-electric field probed by time-resolved x-ray absorption spectroscopy」; XAFS16 (2015.8.23-28, Karlsruhe, Germany).

国内学会

(依頼講演)

- [1] 石松直樹 : 「XMCDとXAFSでみるFeとCoの圧力誘起の構造相転移と磁気相転移」  
第1回SPring-8先端利用技術ワークショップ ～放射光の偏光特性を活用した磁気分光物性研究の最前線～ (2016年3月11日, グランパークプラザ, 東京都)

(一般講演)

- [1] 石松直樹 : 「純鉄の圧力誘起 $\alpha$ - $\epsilon$ 相転移のX線吸収分光法による構造解析」  
第171回日本鉄鋼協会, 春季講演大会 (2016年3月23-25日, 東京理科大学, 東京都)
- [2] 山中雄貴, 佐野瑛彦, 小野颯太, 中島伸夫 :  
「マルチフェロイック物質BiFeO<sub>3</sub>-BaTiO<sub>3</sub>混晶系の局所構造と電子状態」  
第33回PFシンポジウム (2016年3月15-16日, つくば国際会議場, つくば市)
- [3] 小野颯太, 佐野瑛彦, 中島伸夫, 足立純一, 丹羽尉博, 安井伸太郎 :  
「時間分解X線吸収分光によるチタン酸バリウム薄膜のパルス電場応答測定」  
第33回PFシンポジウム (2016年3月15-16日, つくば国際会議場, つくば市)
- [4] 横内悠斗, 三上雅矢, 任 皓駿, 渡辺孝夫, 野澤俊介, 中島伸夫, 岩住俊明, 手塚泰久 :  
「X線ラマン散乱による CaCu<sub>3</sub>Ti<sub>4</sub>O<sub>12</sub>の電子構造の研究IV」  
第33回PFシンポジウム (2016年3月15-16日, つくば国際会議場, つくば市)
- [5] 川上修平, 中島伸夫, 岡田耕三, 河村直己, 水牧仁一朗 :  
「量子常誘電体SrTiO<sub>3</sub>に誘起されるTi変位と局所分極」  
第28回日本放射光学会年会 (2016年1月9-11日, 東京大学柏の葉キャンパス, 柏市)
- ◎[6] 天場千覚, 川上修平, Lu Cong, 中島伸夫, 石松直樹, 圓山 裕 :  
「量子常誘電体SrTiO<sub>3</sub>の一軸加圧下 X 線吸収分光」  
第28回日本放射光学会年会 (2016年1月9-11日, 東京大学柏の葉キャンパス, 柏市)
- ◎[7] 藤井香奈子, 石松直樹, 早川慎二郎, 獅子堂達也, 河村直己, 圓山 裕 :  
「Pd-M (M=Ru, Rh, Ag, Os, Ir, Pt, Au)合金の水素化前後の電子状態」  
第28回日本放射光学会年会 (2016年1月9-11日, 東京大学柏の葉キャンパス, 柏市)
- [8] 横内悠斗, 三上雅矢, 手塚泰久, 任 皓駿, 渡辺孝夫, 野澤俊介, 中島伸夫, 岩住俊明 :  
「X線ラマン散乱によるCaCu<sub>3</sub>Ti<sub>4</sub>O<sub>12</sub>の電子構造の研究」  
第28回日本放射光学会年会 (2016年1月9-11日, 東京大学柏の葉キャンパス, 柏市)
- [9] 中島伸夫, 芦 聡, 小野颯太, 天場千覚, 川上修平 :  
「曲げ応力で誘起される常誘電体チタン酸ストロンチウム中の誘電分極」  
第1回強的秩序とその操作に関する研究会 (2016年1月4日, 東京工業大学キャンパス・イノベーションセンター, 東京都)
- [10] 小野颯太, 佐野瑛彦, 中島伸夫, 足立純一, 丹羽尉博, 安井伸太郎 :  
「時間分解X線吸収分光によるチタン酸バリウム薄膜のパルス電場応答測定」

- 第1回強制的秩序とその操作に関する研究会（2016年1月4日，東京工業大学キャンパス・イノベーションセンター，東京都）
- ◎[11] 内藤卓郎，石松直樹，圓山 裕，田中 新，河村直己，水牧仁一朗：  
「Fe  $\epsilon$ 相にみられる特異なX線円二色性」  
第56回高圧討論会（2015年11月10-12日，JMSアステールプラザ，広島市）
- ◎[12] 中村勇作，内藤卓郎，石松直樹，圓山 裕：  
「一軸加圧下XRD測定によるFeの $\alpha$ - $\epsilon$ 相転移機構の研究」  
第56回高圧討論会（2015年11月10-12日，JMSアステールプラザ，広島市）
- [13] 高橋 修，末永太河，福原幸一，石松直樹，河野雄次，日吉玲子：  
「エネルギー物質TATBの高圧IR測定」  
第56回高圧討論会（2015年11月10-12日，JMSアステールプラザ，広島市）
- [14] 松林和幸，岩谷 誠，北川健太郎，河村直己，水牧仁一朗，石松直樹，渡辺真仁，上床美也：  
「Yb系新物質YbCo<sub>2</sub>Ge<sub>4</sub>における圧力効果」  
第56回高圧討論会（2015年11月10-12日，JMSアステールプラザ，広島市）
- [15] 鈴木昭夫，石松直樹：  
「コヒーレント放射光を利用した新しい高圧力科学 III」  
第56回高圧討論会（2015年11月10-12日，JMSアステールプラザ，広島市）
- ◎[16] 藤井香奈子，石松直樹，早川慎二郎，獅子堂達也，圓山 裕：  
「X線吸収分光法により調べたPd-M (M=Ru, Rh, Ag)合金の水素化前後の電子状態II」  
第2回日本金属学会研究会，水素化物に関わる次世代学術・応用展開研究会  
（2015年10月22-23日，金沢大学，角間キャンパス，金沢市）
- [17] 川上修平，中島伸夫，岡田耕三，河村直己，水牧仁一朗：  
「量子常誘電体SrTiO<sub>3</sub>に誘起されるTi変位と局所分極」  
日本物理学会，2015年秋季大会（2015年9月16-19日，関西大学，千里山キャンパス，吹田市）
- [18] 森合海瑠，中島伸夫：  
「陽極酸化法による酸化チタンナノチューブの作製と光触媒活性」  
日本物理学会，2015年秋季大会（2015年9月16-19日，関西大学，千里山キャンパス，吹田市）
- [19] 佐野瑛彦，中島伸夫，足立純一，丹羽尉博，手塚泰久：  
「チタン酸バリウムのパルス電場下における時間分解X線吸収分光測定」  
日本物理学会，2015年秋季大会（2015年9月16-19日，関西大学，千里山キャンパス，吹田市）
- ◎[20] 天場千覚，川上修平，Cong Lu，中島伸夫，石松直樹，圓山 裕：  
「一軸応力下におけるSrTiO<sub>3</sub>のX線吸収分光II」  
日本物理学会，2015年秋季大会（2015年9月16-19日，関西大学，千里山キャンパス，吹田市）
- ◎[21] 藤井香奈子，石松直樹，早川慎二郎，圓山 裕：  
「X線吸収分光法により調べたPd-M (M=Ru, Rh, Ag)合金の水素化前後の電子状態」  
日本物理学会，2015年秋季大会（2015年9月16-19日，関西大学，千里山キャンパス，吹田市）
- ◎[22] 内藤卓郎，石松直樹，圓山 裕，田中 新，河村直己，水牧仁一朗：  
「 $\epsilon$ -Fe高圧相における特異なX線円二色性」  
日本物理学会，2015年秋季大会（2015年9月16-19日，関西大学，千里山キャンパス，吹田市）
- [23] 阪口友唯，池田修悟，河村直己，水牧仁一朗，石松直樹，鈴木慎太郎，久我健太郎，中辻 知，小林寿夫：「多重極限環境下における $\beta$ -YbAlB<sub>4</sub>のX線吸収分光 III」

- 日本物理学会, 2015年秋季大会 (2015年9月16-19日, 関西大学, 千里山キャンパス, 吹田市)
- [24] 水戸 毅, 江見直哉, 西山功兵, 谷口太一, 小山岳秀, 上田光一, 小原孝夫, 水牧仁一朗, 河村直己, 石松直樹, 北川健太郎, 小山内湧人, 林 健人, 伊賀文俊, N. Shitsevalova :  
「小さな半導体ギャップを持つSm系化合物における電子状態 SmB<sub>6</sub>の価数・磁性・ギャップ」  
日本物理学会, 2015年秋季大会 (2015年9月16-19日, 関西大学, 千里山キャンパス, 吹田市)
- [25] 手塚泰久, 横内悠斗, 中本星也, 任 皓駿, 渡辺孝男, 野澤俊介, 中島伸夫, 岩住俊明 :  
「X線ラマン散乱によるCaCu<sub>3</sub>Ti<sub>4</sub>O<sub>12</sub>の電子構造研究」  
日本物理学会, 2015年秋季大会 (2015年9月16-19日, 関西大学, 千里山キャンパス, 吹田市)
- [26] 石松直樹, 渡邊拓海, 岡 研吾, 東 正樹, 水牧仁一朗, 新田清文, 河村直己, 伊奈稔哲 :  
「Bi(Co<sub>1-x</sub>Fe<sub>x</sub>)O<sub>3</sub>のEXAFSによるCoとFe周りの局所構造解析」  
第18回XAFS討論会 (2015年7月29-31日, 物構研, つくば市)
- [27] 石松直樹 : 「Fe高圧相のX線吸収分光測定と次世代放射光光源への期待」  
PF研究会「次世代放射光光源を用いた構造物性研究への期待」  
(2015年7月27-28日, 物構研, つくば市)
- [28] 中島伸夫 : 「チタン酸化物の局所分極の研究と次世代光源への期待」  
PF研究会「次世代放射光光源を用いた構造物性研究への期待」  
(2015年7月27-28日, 物構研, つくば市)
- [29] 中島伸夫, 川上修平, 天場千覚 : 「ペロブスカイト型チタン酸化物の局所分極」  
第20回中国四国北九州誘電体セミナー (2015年6月19日, 島根大学, 松江市)
- [30] 蘆 聰, 中島伸夫 : 「AFS Spectroscopic Study On the Enhancement of Dielectric Characteristics in Si-added and Si-doped TbMnO<sub>3</sub>」  
第20回中国四国北九州誘電体セミナー (2015年6月19日, 島根大学, 松江市)
- [31] 森合海瑠, 中島伸夫 : 「陽極酸化法による酸化チタンナノチューブの作製と光触媒活性」  
第20回中国四国北九州誘電体セミナー (2015年6月19日, 島根大学, 松江市)
- ◎[32] 川上修平, 中島伸夫, 河村直己, 水牧仁一朗, 圓山 裕 :  
「共鳴X線発光分光法を用いた低温相SrTiO<sub>3</sub>の局所分極観測」  
第32回強誘電体応用会議 (2015年5月20-23日, コープイン京都, 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      | 5 件 |
| ○博士課程後期の学生が共同発表者の発表件数      | 2 件 |
| ○博士課程前期・後期の学生が共に共同発表者の発表件数 | 2 件 |

(国内学会)

- |                            |      |
|----------------------------|------|
| ○博士課程前期の学生が共同発表者の発表件数      | 13 件 |
| ○博士課程後期の学生が共同発表者の発表件数      | 4 件  |
| ○博士課程前期・後期の学生が共に共同発表者の発表件数 | 4 件  |

#### セミナー・講演会開催実績

#### 社会活動・学外委員

- 学協会委員

○講習会・セミナー講師

○外部評価委員等

- [1] 圓山 裕：広島県立国泰寺高等学校SSH運営指導委員会・委員長
- [2] 圓山 裕：JST グローバル・サイエンス・キャンパス事業  
H27年度全国受講生研究発表会，審査委員（9月19-20日，学士会館，東京都）.
- [3] 石松直樹：(財)高輝度光科学研究センター，外来研究員

産学官連携実績

該当無し

国際共同研究・国際会議開催実績

該当無し

高大連携事業への参加状況

- [1] 圓山 裕：GSC広島コンソーシアム，異分野融合シンポジウム  
(平成28年3月20-21日，広島ガーデンパレス，広島市，高校生約60名)
- [2] 圓山 裕：女子高校生「体験科学講座」(男女共同参画室)  
(平成28年3月19日，理学部，高校生29名)
- [3] 圓山 裕：GSC広島コンソーシアム，ステップ・ステージ分野別セミナー  
第5回分野別(物理)セミナー(平成28年2月28日，理学部，高校生3名)
- [4] 圓山 裕：広島県立国泰寺高等学校SSH事業報告会，運営指導委員会  
(平成28年2月13日，広島県立国泰寺高等学校)
- [5] 圓山 裕：広島県立祇園北高等学校SPP事業・クリスタルコンペ  
模擬授業(12月16日，HiSOR，高校生30名)
- [6] 圓山 裕：GSC広島コンソーシアム，ステップ・ステージ分野別セミナー  
(GSC広島コンソーシアム，12月13日，東千田キャンパス，高校生50名)
- [7] 石松直樹：広島県立祇園北高等学校SPP事業，出前授業  
(11月5日，広島県立祇園北高等学校)
- [8] 圓山 裕：GSC広島コンソーシアム，ホップ・ステージ課題中間発表  
(GSC広島コンソーシアム，9月27日，東広島キャンパス，高校生約100名)
- [9] 圓山 裕：広島県立国泰寺高等学校SSH事業報告会，運営指導委員会  
(8月10日，広島県立国泰寺高等学校)

国際交流

- [1] 黒岩芳弘，森吉千佳子，圓山 裕，他：第8回日韓学生ワークショップ  
広島大学-釜山大学，(11月30日-12月3日，約40名，釜山大学)
- [2] 圓山 裕：JST グローバル・サイエンス・キャンパス事業  
ASGSR-2015学会視察(11月12-16日，Alexandria, Virginia, USA).

研究助成金の受入状況

- [1] 中島伸夫：公益財団法人サタケ技術振興財団 平成27年度大学研究助成金(代表，500千円)  
課題名：「陽極酸化処理法による高活性チタン酸化物ナノチューブの作製」
- [2] 中島伸夫：第31回公益財団法人 村田学術振興財団 海外派遣援助(240千円)
- [3] 石松直樹：科学研究費補助金基盤研究(C)(平成25年度-27年度)(代表，900千円)

課題名：「遷移金属水素物の電子状態に着目した水素吸蔵特性の解明」

- [4] 石松直樹：鉄鋼研究振興助成（平成27年度-28年度）（代表，1,000千円）

課題名：「X線吸収分光法による鉄の高圧下マルテンサイト変態の過程と結晶構造の精密解析」

- [5] 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」

その他

- [1] 圓山 裕：JSTグローバル・サイエンス・キャンパス事業（事業費：35,000千円）

「アジア拠点広島コンソーシアムによるGSC構想」理学部コーディネータ

事業計画の立案と実施，各分野のセミナーの調整と物品購入，受講生の選抜に関する評価項目と基準の策定及び選考に携わった。

特記事項

○学生の受賞

- [1] 川上修平：日本物理学会，領域10「学生奨励賞」

- [2] 川上修平：平成27年度「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

- [3] 藤井香奈子：第20回広島放射光国際シンポジウム：ベストポスター賞  
「XAS study of hydrogenation properties of Pd-TM alloys」

○光物性グループ

研究活動の概要

光物性研究室では，放射光を用いて固体内部および表面の詳細な電子構造を実験的に観測し，物質の示す電氣的，磁氣的，熱的性質の起源を解明することを目的としている。さらには超薄膜，原子細線，クラスターなどナノメートルサイズの構造体を超高真空中で独自に作成し，構造評価から電子構造評価までを真空を破ることなくその場で行っている。

(1) 3次元トポロジカル絶縁体の表面ディラック粒子の非平衡状態の研究

3次元トポロジカル絶縁体はトポロジーの異なる物質との界面において，電子が質量ゼロのディラック粒子として振る舞うことで知られる。これまでに多くの物質がトポロジカル絶縁体であることが実験・理論の両側面から確認されている。近年， $\text{Sb}_2\text{Te}_3$ をベースとしたトポロジカル絶縁体 $(\text{Sb}_{1-x}\text{Bi}_x)_2\text{Te}_3$ に大きな注目が集まっている。本来 $\text{Sb}_2\text{Te}_3$ はp型試料であるが，Biのドーピングに応じてディラック点の位置を制御できることから，バルクからよく孤立した表面ディラック電子状態を実現することができる。最近 $(\text{Sb}_{1-x}\text{Bi}_x)_2\text{Te}_3$ 薄膜を用いた電界効果トランジスタにおいて，磁場中で表面ディラック電子状態に由来した整数量子ホール効果が観測されており $(\text{Sb}_{1-x}\text{Bi}_x)_2\text{Te}_3$ を利用したデバイス開発が現実味を帯びてきている。

一方，デバイスへの利用を考える際には，ディラック粒子の動的振る舞いを調べることも非常に重要となる。そのような手法としてはポンプ・プローブ法を用いた時間分解光電子分光が強力な実験手法となる。そこで本研究では，デバイス応用への有力候補である $(\text{Sb}_{1-x}\text{Bi}_x)_2\text{Te}_3$ に対し，い

くつかの組成比で時間分解光電子分光を行うことでディラック粒子のダイナミクスの系統的な変化を捉えることを目的とした。実験は、東京大学物性研究所のその結果、ディラック点をフェルミ準位近傍にチューニングした系では400ピコ秒経過した後も非平衡状態が存続しており、ディラック点の位置とバルク絶縁性が非平衡持続時間に重要な役割を果たしていることが明らかとなった。本研究は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 (LASOR) とノヴォシビルスク半導体研究所 (ロシア) との共同研究として行なわれた。

#### (2) 希薄磁性トポロジカル絶縁体の強磁性発現機構の解明

中国科学院上海微系統研究所および国立研究開発法人日本原子力研究開発機構 (JAEA) と共同で大型放射光施設SPring-8のJAEAビームラインBL23SUにおいて、高輝度のシンクロトロン放射光と世界最高レベルの精度で物質中の元素別の磁気モーメントを捉えることのできる内殻吸収磁気円二色性 (XMCD) 観測システムを組み合わせて、トポロジカル絶縁体(Sb,Bi)<sub>2</sub>Te<sub>3</sub>に磁性元素クロム (Cr) を含んだ磁性トポロジカル絶縁体のCrだけでなく、いわゆる非磁性原子であるSbやTeにも微小な磁気モーメントが存在し、強磁性発現に大きな役割を担っていることを世界で初めて明らかにした。この研究成果により、外部磁場を必要としない量子ホール効果を室温で実現するために必要な指針を与えるとともに、トポロジカル絶縁体を利用した次世代の超低消費電力スピンドバイス等の開発につながっていくことが期待される。本研究成果は、英国科学誌「Nature Communications」に掲載された。論文掲載にもとづき広島大学より「トポロジカル絶縁体が磁石の性質をもつメカニズムを解明」(平成27年11月18日)と題してプレスリリースされた。本プレスリリースを受け、日経産業新聞(平成27年12月16日)、日刊工業新聞(平成27年12月28日)に記事が掲載された。

#### (3) 強磁性形状記憶合金のマルテンサイト変態機構のメカニズムの解明

強磁性形状記憶合金は、磁場により変位を制御できることから、高速応答が可能な磁場駆動アクチュエーターへの応用展開が期待される。強磁性形状記憶効果は、合金の結晶の基本構造が、高温では立方晶であるのに対し、冷却すると正方晶に転移をする。この構造相転移はマルテンサイト変態と呼ばれるが、この構造相転移の発現機構をミクロな立場から理解することは、より高い機能性を持った実用的な強磁性形状記憶合金を開発する上で大変重要と考えられる。

強磁性形状記憶効果を示すホイスラー合金の典型例としてはNi<sub>2</sub>MnGaが挙げられるが、単結晶であっても脆弱であるという欠点が存在する。これに代わる強磁性形状記憶合金として期待されるのがNi<sub>2</sub>FeGaであり単結晶で延性を有する。平成27年度はNi<sub>2</sub>FeGaに少量のCoをドーピングしキュリー温度を上昇させた、アクチュエータ材料として期待されるNi-Fe-Ga-Coのマルテンサイト機構を電子状態の立場から解明することを目的としてSPring-8 BL15XUにおいて硬X線光電子分光を用いて研究を行ったところ、フェルミレベル近傍のスペクトル形状がマルテンサイト変態に伴い変化し、擬ギャップを形成することが明らかとなった。また、マルテンサイト変態後はNiおよびFeの磁気モーメントに変化が現れることが、SPring-8 BL23SUで行われた軟X線磁気円二色性分光により明らかとなった。本研究は、バスク国立大学(スペイン)、国立研究開発法人物質・材料研究機構(NIMS)、国立研究開発法人日本原子力研究開発機構(JAEA)との共同研究として行なわれた。

#### (4) 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、高分解能放射光角度分解光電子分光を用いて、これらの新奇高温超伝導現象の発現機構の解明に挑戦している。平成27年度は、銅酸化物高温超伝導体  $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}(\text{Cu}_{1-x}\text{Ni}_x)_2\text{O}_{8+\delta}$  のホール濃度を最適化した上で、超伝導ギャップにおけるNi置換効果を高分解能角度分解光電子分光で直接観測した。その結果、Ni不純物によって超伝導転移温度が低下しても、超伝導ギャップのほとんど変化しない波数領域が広がっていることが判明した。また、リンを主成分とする層状超伝導物質  $\text{ZrP}_{1.25}\text{Se}_{0.75}$  ( $T_c = 6.3$  K) について、放射光を用いた高分解能光電子分光実験を行い、この新しい物質系の価電子帯電子構造を初めて決定した。この成果は、超伝導物質の幅を広げる手がかりとして期待される。

#### 原著論文

- [1] J. M. Barandiarán, V. A. Chernenko, P. Lázpita, J. Gutiérrez, M. L. Fdez-Gubieda, and A. Kimura, “Neutron and synchrotron studies of structure and magnetism of Shape Memory Alloys,” *J. Phys.: Conf. Ser.* **663**, 012014/1-9 (2015).
- ◎ [2] Mao Ye, Wei Li, Jiajia Wang, Hong Pan, Yukiharu Takeda, Yuji Saitoh, Siyuan Zhu, Munisa Nurmamat, Kazuki Sumida, Fuhao Ji, Zhen Liu, Haifeng Yang, Zhengtai Liu, Dawei Shen, Akio Kimura, Shan Qiao, Xiaoming Xie, “Carrier-mediated ferromagnetism in the magnetic topological insulator Cr-doped  $(\text{Sb},\text{Bi})_2\text{Te}_3$ ,” *Nature Communications* **6**, 8913/ 1-7 (2015).
- ◎ [3] H. Wortelen, K. Miyamoto, H. Mirhosseini, T. Okuda, A. Kimura, D. Thonig, J. Henk, and M. Donath, “Spin-orbit influence on  $dz^2$ -type surface state at Ta(110),” *Phys. Rev. B* **92**, 161408(R)/ 1-5 (2015).
- [4] Siyuan Zhu, Yukiaki Ishida, Kenta Kuroda, Kazuki Sumida, Mao Ye, Jiajia Wang, Hong Pan, Masaki Taniguchi, Shan Qiao, Shik Shin, and Akio Kimura, “Ultrafast electron dynamics at the Dirac node of the topological insulator  $\text{Sb}_2\text{Te}_3$ ,” *Scientific Reports* **5**, 13213/1-6 (2015).
- [5] Siyuan Zhu, Mao Ye, Kaito Shirai, Masaki Taniguchi, Shigenori Ueda, Yoshio Miura, Masafumi Shirai, Rie Yamauchi Umetsu, Ryosuke Kainuma, Takeshi Kanomata, and Akio Kimura, “Drastic change in density of states upon martensitic phase transition for metamagnetic shape memory alloy  $\text{Ni}_2\text{Mn}_{1+x}\text{In}_{1-x}$ ,” *J. Phys. Condens. Matter* **27**, 362201/1-6 (2015).
- [6] G. Eguchi, K. Kuroda, K. Shirai, Y. Ando, T. Shinjo, A. Kimura, and M. Shiraishi, “Precise determination of two-carrier transport properties in the topological insulator  $\text{TlBiSe}_2$ ,” *Phys. Rev. B* **91**, 235117/1-5 (2015).
- [7] Keita Ito, Kaoru Toko, Yukiharu Takeda, Yuji Saitoh, Tamio Oguchi, Takashi Suemasu, and Akio Kimura, “Local electronic states of  $\text{Fe}_4\text{N}$  films revealed by x-ray absorption spectroscopy and x-ray magnetic circular dichroism,” *J. Appl. Phys.* **117**, 193906/1-6 (2015).
- ◎ [8] Kenta Kuroda, Gaku Eguchi, Kaito Shirai, Masashi Shiraishi, Mao Ye, Koji Miyamoto, Taichi Okuda, Shigenori Ueda, Masashi Arita, Hirofumi Namatame, Masaki Taniguchi, Yoshifumi Ueda, and Akio Kimura, “Tunable spin current regime due to bulk insulating property in novel topological insulator  $\text{Tl}_{1-x}\text{Bi}_{1+x}\text{Se}_{2-\delta}$ ,” *Phys. Rev. B* **91**, 205306/1-7 (2015).
- [9] K. Sumida, K. Shirai, S. Zhu, M. Taniguchi, M. Ye, S. Ueda, Y. Takeda, Y. Saitoh, I. R. Aseginolaza, J. M. Barandiarán, V. A. Chernenko, and A. Kimura, “Spectroscopic evidence of band Jahn-Teller distortion upon martensitic phase transition in Heusler-type Ni-Fe(Co)-Ga ferromagnetic shape-memory alloy films,” *Phys. Rev. B* **91**, 134417/1-6 (2015).
- ◎ [10] Taichi Okuda, Koji Miyamoto, Akio Kimura, Hirofumi Namatame, and Masaki Taniguchi, “Double VLEED spin detectors for high-resolution three dimensional spin vectorial analysis of anisotropic Rashba spin splitting,” *J. Elec. Spectrosc. Relat. Phenom.* **201**, pp.23-29 (2015).
- ◎ [11] K. Miyamoto, A. Kimura, T. Okuda, M. Donath, “Spin polarization of surface states on W(110): Combined influence of spin-orbit interaction and hybridization,” *J. Elec. Spectrosc. Relat. Phenom.* **201**, pp.53-59 (2015).

- [12] Kazuyuki Sakamoto, Tatsuki Oda, Akio Kimura, Yasuo Takeichi, Jun Fujii, R.I.G. Uhrberg, Markus Donath, Han Woong Yeom, "Symmetry induced peculiar Rashba effect on thallium adsorbed Si(111) surfaces," *J. Elec. Spectrosc. Relat. Phenom.* **201**, pp.88-91 (2015).

総説

- [1] 木村昭夫 : 「非磁性元素の内殻吸収磁気円二色性-希薄磁性トポロジカル絶縁体を例として-(解説)」 日本放射光学会誌第28巻6号, pp.243-252 (2015).

国際会議

(招待講演)

- [1] A. Kimura, "Disentangling spin-orbital textures of 2D materials by ARPES," Workshop on the Progresses in Electron Spectroscopy (Jan. 25, 2016, POSCO International Center, POSTECH, Pohang, South-Korea).
- [2] A. Kimura, "Surface Dirac fermions and their spin polarizations of three-dimensional topological insulators," International workshop on physics on bulk-edge correspondence and its universality from solid state physics to cold atoms (Sep. 27-29, 2015, Tokyo, Japan).
- [3] A. Kimura, "Surface Dirac fermion dynamics and spin polarizations of three-dimensional topological insulators," SFB 1083 Special Colloquium at Philipps-Universität Marburg (Sep.4, 2015, Marburg, Germany).
- [4] A. Kimura, "Surface Dirac fermion dynamics and spin polarizations of non-magnetic and magnetic chalcogenide topological insulators," Workshop on the two-dimensional chalcogenides: exotic electronic orders, superconductivity and magnetism (Aug.30-Sep.4, 2015, Dresden, Germany).
- [5] A. Kimura, "Surface Dirac fermion dynamics of non-magnetic and magnetic topological insulators," New Trends in Topological Insulators 2015 (NTTI2015) (6-10 July, 2015, Donostia-San Sebastian, Spain).
- [6] A. Kimura, "Ferromagnetic Shape Memory Alloys: Electronic Structure Driven Lattice Instability Revealed by HAXPES," The 4th International Conference on Hard X-ray Photoelectron Spectroscopy (HAXPES2015) (2 Apr., 2015, Hsinchu, Taiwan).

(一般講演)

- ◎[1] Hitoshi Takita, Naoya Kishimoto, Yousuke Nakashima, Akihiro Ino, Masashi Arita, Hirofumi Namatame, Masaki Taniguchi, Yoshihiro Aiura, Izumi Hase, Hiroshi Eisaki, Kunihiro Kihou, Chul-Ho Lee, Akira Iyo, Masamichi Nakajima, Shin-ichi Uchida, "Persistence of Dirac Node near Antiferromagnetic-to-Superconducting Phase Boundary in  $\text{Ba}(\text{Fe}_{1-x}\text{Co}_x)_2\text{As}_2$ ," APS March Meeting 2016 (Oral, Mar. 14-18, 2016, Baltimore Convention Center, Baltimore, Maryland, USA).
- ◎[2] Kazuaki Taguchi, Kazuki Sumida, Koji Miyamoto, Hirofumi Namatame, Masaki Taniguchi, Akio Kimura and Taichi Okuda, "Spin-split surface bands of  $\text{Si}(111)5\times 2\text{-Au}$ ," The 20<sup>th</sup> Hiroshima International Symposium on Synchrotron Radiation (Poster, Mar. 10-11, 2016, Higashi-Hiroshima, Japan).
- ◎[3] Ryohei Yori, Masashi Nakatake, Kazuki Sumida, Siyuan Zhu, Munisa Nurmatat, Yoshifumi Ueda, Masaki Taniguchi, Yukiaki Ishida, Shik Shin, Yuichi Akahama, and Akio Kimura, "Anisotropic electronic states and carrier dynamics of black phosphorus revealed by Tr-ARPES," The 20<sup>th</sup> Hiroshima International Symposium on Synchrotron Radiation (Poster, Mar. 10-11, 2016, Higashi-Hiroshima, Japan).
- ◎[4] Kazuaki Taguchi, Kazuki Sumida, Koji Miyamoto, Hirofumi Namatame, Masaki Taniguchi, Akio Kimura, and Taichi Okuda, "One-dimensional Rashba spin split states of  $\text{Si}(111) 5\times 2\text{-Au}$ ," The 2015 Korean-japanese Student Workshop (Nov. 30 – Dec. 1, 2015, Pusan National University, Busan, Korea).
- ◎[5] Takuya Kubo, Hitoshi Takita, Wumiti Mansuer, Masashi Arita, Kenya Shimada, Hirofumi Namatame, Masaki Taniguchi, Sigenori Ueda, Hijiri Kito, Shigeyuki Ishida, Kunihiro Oka, Yoshito Gotoh, Hiroshi Fujihisa, Yoshiyuki Yoshida, Akira Iyo, Hiroshi Eisaki, Kenji Kawashima, Yousuke Yanagi, and Akihiro Ino, "Photoemission Study of Layered-Phosphide-Chalcogenide

- Superconductor  $ZrP_{2-x}Se_x$ ,” The 2015 Korean-japanese Student Workshop (Nov. 30 – Dec. 1, 2015, Pusan National University, Busan, Korea).
- © [6] Ryohei Yori, Masashi Nakatake, Kazuki Sumida, Siyuan Zhu, Munisa Nurmamat, Yoshifumi Ueda, Masaki Taniguchi, Yukiaki Ishida, Shik Shin, Yuichi Akahama, and Akio Kimura, “Carrier dynamics of black phosphorous,” The 2015 Korean-japanese Student Workshop (Nov. 30 – Dec. 1, 2015, Pusan National University, Busan, Korea).
- © [7] R. Yori, M. Nakatake, K. Sumida, S. Zhu, M. Nurmamat, Y. Ueda, M. Taniguchi, Y. Ishida, S. Shin, Y. Akahama, and A. Kimura, “Anisotropic electronic states and carrier dynamics of black phosphorus,” The 15th International Conference on the Formation of Semiconductor Interfaces (ICFSI-15) (Nov. 15-20, 2015, Hiroshima, Japan).
- © [8] T. Yoshikawa, K. Sumida, Y. Ishida, J. Chen, M. Nurmamat, K. Kokh, O. Tereshchenko, S. Shin, and A. Kimura, “A photovoltaic shift of topological surface state in  $Bi_2Te_3$ ,” The 15th International Conference on the Formation of Semiconductor Interfaces (ICFSI-15) (Nov. 15-20, 2015, Hiroshima, Japan).
- © [9] E. F. Schwier, C. Didiot, K. Kuroda, R. Stania, M. Muntwiler, P. Aebi, A. Kimura, K. Shimada, H. Namatame, and M. Taniguchi, “The geometric and electronic structure of the surface of  $TlBiSe_2$ ,” The 15th International Conference on the Formation of Semiconductor Interfaces (ICFSI-15) (Nov. 15-20, 2015, Hiroshima, Japan).
- © [10] M. Nurmamat, T. Warashina, T. Okuda, K. Miyamoto, J. Fujii, Z. S. Aliev, I. R. Amiraslanov, S. V. Ereemeev, E. V. Chulkov, M. Taniguchi, H. Namatame, and A. Kimura, “Direct Visualization of Tuned Topological Characters in  $PbBi_6Te_{10}$ ,” The 15th International Conference on the Formation of Semiconductor Interfaces (ICFSI-15) (Nov. 15-20, 2015, Hiroshima, Japan).
- © [11] K. Sumida, S. Zhu, Y. Ishida, M. Ye, K. Taguchi, T. Okuda, H. Namatame, M. Taniguchi, K. A. Kokh, O. E. Tereshchenko, S. Shin and A. Kimura, “Long duration of non-equilibrium Dirac fermions in  $(Sb,Bi)_2Te_3$ ,” The 15th International Conference on the Formation of Semiconductor Interfaces (ICFSI-15) (Nov. 15-20, 2015, Hiroshima, Japan). \*Best Student Poster Award
- © [12] K. Taguchi, K. Sumida, K. Miyamoto, H. Namatame, M. Taniguchi, A. Kimura, and T. Okuda, “Spin-split surface states of metallic one dimensional system,  $Si(111)5\times 2-Au$ ,” The 15th International Conference on the Formation of Semiconductor Interfaces (ICFSI-15) (Nov. 15-20, 2015, Hiroshima, Japan).
- [13] Kazuki Sumida and Akio Kimura (Invited), “A population inversion observed in surface Dirac cone of topological insulator  $Sb_2Te_3$ ,” International workshop on physics on bulk-edge correspondence and its universality from solid-state physics to cold atoms (Sep. 27-29, 2015, Tokyo, Japan).
- [14] K. Sumida and A. Kimura (Invited), “Spectroscopic evidence of band Jahn-Teller distortion upon martensitic phase transition in Heusler-type ferromagnetic shape-memory alloys,” EMN Spain Meeting Energy Materials Nanotechnology (Sep. 1-4, 2015, San Sebastian, Spain).
- © [15] K. Sumida, K. Shirai, S. Zhu, M. Taniguchi, M. Ye, S. Ueda, Y. Takeda, Y. Saitoh, I. Rodríguez, J. M. Barandiarán, V. A. Chernenko, A. Kimura, “Origin of Martensitic Phase Transition in Ferromagnetic Shape Memory Alloy Ni-Fe(Co)-Ga Thin Film,” 20th International Conference on Magnetism (ICM2015) (Jul. 5-10, 2015, Barcelona, Spain).
- © [16] K. Sumida, S. Zhu, M. Taniguchi, Y. Ishida, M. Ye, K. A. Kokh, O.E. Tereshchenko, S. Shin, and A. Kimura, “A population inversion observed in surface Dirac cone of topological insulator  $Sb_2Te_3$ ,” 20th International Conference on Magnetism (ICM2015) (Jul. 5-10, 2015, Barcelona, Spain).
- © [17] K. Sumida, S. Zhu, M. Nurmamat, M. Taniguchi, Y. Ishida, M. Ye, K. Kokh, O. Tereshchenko, S. Shin, A. Kimura, “Dirac fermion dynamics near the Dirac node of the topological insulator  $Sb_2Te_3$  probed by TrARPES,” The 9th International Symposium on Ultrafast Surface Dynamics (USD9) (May 25-29, 2015, Lake Biwa, Japan).

## 国内学会

### (招待講演)

- [1] 木村昭夫:「Weyl半金属相のバルクエッジ対応と今後の研究」, 研究会科研費基盤研究A「トポロジカル相におけるバルク・エッジ対応の物理とその普遍性: 固体物理から冷却原子まで」(2016年3月25日-26日, 筑波大学, つくば市)
- [2] 木村昭夫:「スピン分解光電子分光による高スピン偏極材料の電子状態の研究」, 第63回応用物理学会春季学術講演会(2016年3月20日, 東京工業大学大岡山キャンパス, 東京都)
- [3] 木村昭夫:「内殻吸収磁気二色性から捉える希薄磁性トポロジカル絶縁体の非磁性元素スピン」, 第1回SPring-8先端利用技術ワークショップ「放射光の偏光特性を活用した磁気分光物性研究の最前線」(2016年3月11日, グランパークプラザ, 東京都)
- [4] 木村昭夫:「黒リンの伝導帯におけるキャリアダイナミクス」, 第3回「相互作用が生み出す新奇現象に関する研究会」(平成28年1月12日, キャンパスイノベーションセンター, 東京都)
- [5] 木村昭夫, 「放射光を用いたトポロジカル絶縁体の実験研究 -一端をみて中身をしる-」, 第29回放射光学会年会・合同シンポジウム(JSR2016)(2016年1月10日, 柏の葉カンファレンスセンター, 柏市)
- [6] 木村昭夫, 「光電子分光で捉えるホイスラー合金材料の電子状態」, 日本金属学会2015年秋季講演大会(2015年9月16-18日, 九州大学伊都キャンパス, 福岡市)
- [7] 木村昭夫, 「角度分解光電子分光で捉える2次元電子系の電子構造」, 東京工業大学 量子物理学・ナノサイエンスセミナー第120回セミナー(2015年5月17日, 東京工業大学大岡山キャンパス, 東京都)

### (一般講演)

- [1] 桜井隆太郎, 石川 諒, 山口智也, 秋山了太, 黒田眞司, 木村昭夫, 竹田幸治, 斎藤祐児, 「分子線エピタキシー法により成長した(Sn,Mn)Te薄膜の磁化特性」日本物理学会第71回年次大会(2016年3月19-22日, 東北大学泉キャンパス, 仙台市)
- [2] 秋山了太, 角田一樹, 一ノ倉聖, 木村昭夫, Konstantin Kokh, Oleg Tereshchenko, 長谷川修司, 「(Bi<sub>x</sub>Sb<sub>1-x</sub>)<sub>2</sub>Te<sub>3</sub>における量子振動および量子コヒーレント輸送の観測」日本物理学会第71回年次大会(2016年3月19-22日, 東北大学泉キャンパス, 仙台市)
- ◎[3] 宮本幸治, 奥田太一, Henry Wortelen, 木村昭夫, Jürgen Henk, Markus Donath, 「W(110)のディラック型表面状態の円偏光誘起されたスピン偏極度」日本物理学会第71回年次大会(2016年3月19-22日, 東北大学泉キャンパス, 仙台市)
- [4] 高部涼太, 武内大樹, Du Weijie, 伊藤啓太, 都甲 薫, 上田茂典, 木村昭夫, 末益 崇, 「硬X線光電子分光法によるa-Si/BaSi<sub>2</sub>のバンドアライメント測定」第63回応用物理学会春季学術講演会(2016年3月19-22日, 東京工業大学大岡山キャンパス, 東京都)
- ◎[5] 吉川智己, 角田一樹, 石田行章, 陳 家華, Nurmamat Munisa, Kokh Konstantin, Tereshchenko Oleg, 辛埴, 木村昭夫, 「トポロジカル絶縁体 Bi<sub>2</sub>Te<sub>3</sub> における表面光起電力効果およびディラック電子ダイナミクス」第63回応用物理学会春季学術講演会(2016年3月19-22日, 東京工業大学大岡山キャンパス, 東京都)
- ◎[6] 角田一樹, 朱 思源, 石田行章, 叶 茂, 田口一暁, 奥田太一, 生天目博文, 谷口雅樹, Konstantin Kokh, Oleg Tereshchenko, 辛 埴, 木村昭夫, 「キャリアチューニングによるトポロジカル絶縁体 (Sb<sub>1-x</sub>Bi<sub>x</sub>)<sub>2</sub>Te<sub>3</sub> の非平衡持続時間の制御」第63回応用物理学会春季学術講演会(2016年3月19-22日, 東京工業大学大岡山キャンパス, 東京都)
- ◎[7] 田口一暁, 角田一樹, 宮本幸治, 生天目博文, 谷口雅樹, 木村昭夫, 奥田太一, 「Si 表面上の Au 一元鎖におけるラシュバ型スピン分裂バンド」第63回応用物理学会春季学術講演会(2016年3月19-22日, 東京工業大学大岡山キャンパス, 東京都)
- [8] 角田一樹, 木村昭夫「リエントラントマルテンサイト変態を示すCo<sub>2</sub>Cr(Ga,Si)合金の電子状態」, 東北大学電気通信研究所共同プロジェクト研究会「機能性磁性材料の電子構造と物性発現機構の解明」(2016年2月2日, 東北大学電気通信研究所, 仙台市)
- ◎[9] 角田一樹, 棗田 翼, 白井開渡, 黒田健太, 朱 思源, 宮本幸治, 奥田太一, 有田将司, 生天目博文, 谷口雅樹, 藤井 純, A. Varykhalov, O. Rader, E. V. Chulkov, V. Golyashov,

- K. A. Kokh, O. E. Tereshchenko, 木村昭夫, 「トポロジカル絶縁体  $\text{PbBi}_4\text{Te}_4\text{S}_3$  のスピン偏極電子状態」第29回放射光学会年会・合同シンポジウム (JSR2016) (2016年1月9-11日, 柏の葉カンファレンスセンター, 柏市)
- [10] R. Sakurai, T. Yamaguchi, R. Ishikawa, R. Akiyama, S. Kuroda, A. Kimura, K. Takeda, Y. Saitoh, 「MBE growth and magnetic properties of (Sn,Mn)Te thin films」第20回スピン工学の基礎と応用 (2015年12月3-4日, 東北大学電気通信研究所, 仙台市)
- ◎[11] K. Sumida, S. Zhu, Y. Ishida, M. Ye, K. Taguchi, T. Okuda, H. Namatame, M. Taniguchi, K. A. Kokh, O. E. Tereshchenko, S. Shin, A. Kimura 「Dirac Fermion dynamics in the topological insulator  $(\text{Sb}_{1-x}\text{Bi}_x)_2\text{Te}_3$  probed by time-resolved photoemission spectroscopy」表面界面スペクトロスコピー-2015 (SIS2015) (2015年11月27-28日, 国立女性教育会館, 埼玉県比企郡) \*Student Prize
- ◎[12] 奥田太一, 獅子堂達也, スルママツト ムニサ, 角田一樹, 田口一暁, 木村昭夫, 生天目博文, 谷口雅樹 「バルクBi(110)の表面スピン電子状態」日本物理学会2015年秋季大会 (2015年9月16-19日, 関西大学千里山キャンパス, 吹田市)
- ◎[13] 角田一樹, 朱思源, 石田行章, 叶茂, 田口一暁, 奥田太一, 生天目博文, 谷口雅樹, K. Kokh, O. Tereshchenko, 辛埴, 木村昭夫 「トポロジカル絶縁体  $(\text{Sb}_{1-x}\text{Bi}_x)_2\text{Te}_3$  の時間分解光電子分光」日本物理学会2015年秋季大会 (2015年9月16-19日, 関西大学千里山キャンパス, 吹田市)
- [14] 黒田健太, Johannes Riemann, Jens Güdde, 木村昭夫, K. Kokh, O. Tereshchenko, Ulrich Höfer 「トポロジカル絶縁体  $\text{Sb}_2\text{Te}_3$  の中赤外ポンプ時間分解光電子分光:円偏光で制御した表面スピン電流の超高速ダイナミクス」日本物理学会2015年秋季大会 (2015年9月16-19日, 関西大学千里山キャンパス, 吹田市)
- [15] 桜井隆太郎, 山口智也, 石川諒, 秋山了太, 黒田眞司, 木村昭夫, 竹田幸治, 斎藤祐児 「分子線エピタキシー法による(Sn,Mn)Te薄膜の作製と磁化特性」日本物理学会2015年秋季大会 (2015年9月16-19日, 関西大学千里山キャンパス, 吹田市)
- [16] 秋山了太, 一ノ倉聖, 角田一樹, 木村昭夫, Konstantin Kokh, Oleg Tereshchenko, 長谷川修司 「トポロジカル絶縁体  $(\text{Bi}_x\text{Sb}_{1-x})_2\text{Te}_3$  におけるin situおよびex situ電気伝導測定による表面状態の比較検証」日本物理学会2015年秋季大会 (2015年9月16-19日, 関西大学千里山キャンパス, 吹田市)
- [17] 頼燎平, 仲武昌司, 角田一樹, 朱思源, 谷口雅樹, 石田行章, 辛埴, 赤浜裕一, 木村昭夫, 「角度分解光電子分光による黒リンの異方的電子状態及びキャリアダイナミクス」日本物理学会2015年秋季大会 (2015年9月16-19日, 関西大学千里山キャンパス, 吹田市)
- ◎[18] 岩澤英明, 宮本幸治, 奥田太一, 吉田良行, 長谷泉, 木村昭夫, 生天目博文, 谷口雅樹, 相浦義弘, 「 $\text{Sr}_2\text{RuO}_4$  のスピン分解ARPES」日本物理学会2015年秋季大会 (2015年9月16-19日, 関西大学千里山キャンパス, 吹田市)
- ◎[19] 久保拓也, 田北仁志, Wumiti Mansuer, 有田将司, 島田賢也, 生天目博文, 谷口雅樹, 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, 永崎洋, 川島健司, 柳陽介, 井野明洋, 「層状超伝導物質  $\text{ZrP}_{2-x}\text{Se}_x$  ( $x = 0.6, 0.75$ ) の価電子帯および内殻準位の光電子分光」日本物理学会2015年秋季大会 (2015年9月16-19日, 関西大学千里山キャンパス, 吹田市)
- [20] 高部涼太, 伊藤啓太, Du Weijie, 都甲薫, 上田茂典, 木村昭夫, 末益崇, 「硬X線光電子分光法による自然酸化膜/BaSi<sub>2</sub>のバンドオフセット測定」第76回応用物理学会秋季学術講演会 (2015年9月13-16日, 名古屋国際会議場, 名古屋市)
- [21] 伊藤啓太, 具志俊希, 東小菌創真, 竹田幸治, 斎藤祐児, 都甲薫, 柳原英人, 角田匡清, 小口多美夫, 木村昭夫, 喜多英治, 末益崇, 「 $\text{Fe}_4\text{N}$  エピタキシャル薄膜の窒素原子規則度の評価」第39回日本磁気学会学術講演会 (2015年9月8-11日, 名古屋大学東山キャンパス, 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

13 件

○博士課程後期の学生が共同発表者の発表件数	23 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 (国内学会)	11 件
○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	17 件
○博士課程前期・後期の学生が共に共同発表者の発表件数	8 件

#### セミナー・講演会開催実績

##### ○ 学会開催

- [1] 木村昭夫：第3回「相互作用が生み出す新奇現象に関する研究会」（平成28年1月12日，キャンパスイノベーションセンター，東京都）

#### 社会活動・学外委員

##### ○ 学協会委員

- [1] 木村昭夫：Journal of Physics: Condensed Matter (IOP Publishing) Editorial Advisory Board Member  
 [2] 木村昭夫：Journal of Electron Spectroscopy and Related Phenomena (Elsevier社), Editorial Board Member  
 [3] 木村昭夫：日本放射光学会評議員（議長）  
 [4] 木村昭夫：日本放射光学会・編集幹事  
 [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：公益社団法人応用物理学会主催 国際固体素子・材料コンファレンス，論文委員

##### ○ 外部評価委員等

- [1] 木村昭夫：東京大学物性研究所 軌道放射物性研究施設運営委員会，委員  
 [2] 木村昭夫：東京大学アウトステーション・物質科学ビームライン BL07LSU 課題審査委員  
 [3] 木村昭夫：SPRING-8 利用研究課題審査委員会，委員・分科会主査（S1 分科）  
 [4] 木村昭夫：ドイツ学術振興会（DFG）重点プログラム 1666 番／第2期「トポロジカル絶縁体：材料-基礎物性からデバイスまで」（SPP/1666/2, Topological Insulators: Materials – Fundamental Properties – Devices），審査委員会，委員（2015年11月-2016年2月）

##### ○ 講習会・セミナー講師

- [1] 木村昭夫：東京工業大学，物性物理学専攻物性物理学専攻 大学院講義(申告番号 17508) 量子物理学特論第八（グローバル COE 量子物理学・ナノサイエンス 特別教育コースの指定科目）「放射光スペクトロスコープによる物質科学研究」，（従事期間）2015年5月25日-27日

#### ○産学官連携実績

##### ○国際共同研究・国際会議開催実績

- [1] 木村昭夫：15<sup>th</sup> International Conference on the Formation of Semiconductor Interfaces (ICFSI-15) 主催，平成27年11月15-20日（6日間），参加者106名，広島国際会議場，組織委員長  
 [2] 木村昭夫：国際共同研究実施件数 9件

##### ○研究助成金の受入状況

- [1] 木村昭夫：二国間交流事業共同研究（日露：日本学術振興会）（平成27-28年度）（代表）  
 「Ge 系ディラック物質のスピン偏極電子状態の研究」，225千円（平成27年度）  
 [2] 木村昭夫：科学研究費補助金基盤研究(A)（平成26-28年度）（分担）

「トポロジカル相におけるバルク・エッジ対応の物理とその普遍性：固体物理から冷却原子まで」, 286千円 (平成27年度)

## ○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、各種の分光学的手法を駆使して、原子固有の内殻吸収端と分子固有の共鳴吸収帯が存在する軟X線領域の放射光と分子の相互作用を解明する分子光科学の領域の構築を目指している。軟X線励起が引き金となって起こる物質変化の研究は宇宙での分子進化などの基礎分野からガン治療、ナノスケールの電子デバイス作製など応用分野までを含む広い領域であるが、軟X線領域の光では未開拓な部分が多い研究領域である。

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。さらに、内殻励起状態での選択的解離だけでなく、オージェ崩壊後にも特異な解離過程が起きる。内殻共鳴励起後のオージェ崩壊では、主に励起軌道に1個の電子と価電子軌道に2個の正孔を持つ励起イオン化状態が生じる。これらの正孔が内殻励起した原子近傍の化学結合に局在すると、大きなクーロン反発力が原子間に働き短時間 ( $10^{-14} \sim 10^{-13}$ 秒) に結合切断が起こる。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。

#### (1) 気相グループ (平谷, 吉田)

本研究グループでは、分子の内殻励起後に生成した多価イオンのクーロン爆発により生じた複数の正イオンの質量と初期運動量ベクトルを“三次元運動量イメージング法”によって同時計測し、多原子分子の解離ダイナミクスの詳細について研究を進めている。“クーロン爆発モデル”による理論計算も合わせて行い、得られた実験結果と比較検討することで、比較的単純な3次元構造 ( $T_d, C_{3v}, C_{2v}$ など) を持つ多原子分子について、解離前の多価イオンの分子変形 (結合の伸長, 結合角の変化) の様子や逐次的な解離過程の詳細 (結合切断の順序など) を明らかにできることがこの手法の利点である。

本年度は、最も単純な五員複素環をもつ芳香族分子であるフラン ( $C_4H_4O$ ), チオフェン ( $C_4H_4S$ ), ピロール ( $C_4H_4NH$ ) の  $C1s$  イオン化後に解離生成するイオン対を調べ、ヘテロ原子 (OとSとN) の違いによる解離過程および解離ダイナミクスの違いを比較検討した。

チオフェンから解離生成した2つのイオン種の相関スペクトルを解析した結果、さまざまなイオン対解離のうち ( $C_3H_2^+, CHS^+$ ) を生成する過程が主要であることが分かった。フランから ( $C_3H_2^+, CHO^+$ ), ピロールから ( $C_3H_2^+, CHN^+$ ) を生成する過程も同様に主であり、ヘテロ原子の違いによらず五員環の開裂過程に共通の特徴がある (特定の結合切断が優先的に起こる) が分かった。一方、3つの分子について細かく比較した結果、チオフェンのみに ( $S^+, C_4H_4^+$ ) や ( $C_2H_2S^+, C_2H_2^+$ ) が観測された。これはヘテロ原子に依存した環開裂過程と言える。

それぞれの分子の解離ダイナミクスを詳しく調べるために、運動量イメージング法で得られた2つのイオンの運動量ベクトルから各イオンの運動エネルギーを、また、2つのイオンの運動量ベクトルの内積から放出相関角度を求めた。フランから生成する ( $C_3H_2^+, CHO^+$ ) の結果を例にと

ると、このイオン対生成過程では親分子の2価イオン $C_4H_4O^{++}$ から2つのイオン $C_3H_2^+$ 、 $CHO^+$ と中性H原子が生成する。Hは $C_3H_3^+$ から脱離するのだが、3つのC原子のうち中央のCから脱離した場合は、イオン対( $C_3H_2^+$ 、 $CHO^+$ )の解離軸方向に運動量を持つために2つのイオンの相関角度は変化せず、純粋な2体解離と同じ $180^\circ$ になる。一方、端のCからHが脱離した場合は解離軸に対して垂直方向成分に大きな運動量を持つため、その反跳を受けて $C_3H_2^+$ の運動量ベクトルが変化し、相関角度は $180^\circ$ より小さく( $\sim 172^\circ$ )なる。この両方の過程を選別して観測することに成功し、両者の分岐比を明らかにした。

これらの研究成果は、31st Symposium on Chemical Kinetics and Dynamics (June 3-5, 2015, Sapporo, Japan), 軟X線分光ミニシンポジウム(2015年8月, 東広島市), 先端放射線化学シンポジウム(2015年9月, 浜松市), 日本物理学会第71回年次大会(2016年3月, 仙台市)において発表された。

## (2) 表面グループ (関谷, 和田)

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、医学など様々な分野への応用が期待されている。平成27年度には、芳香族SAMの電荷移動ダイナミクスや、SAM被覆ナノ活性材料のための金ナノ粒子の作製・評価などの研究を行った。

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。分子-基板間の電荷移動度の評価法として、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失活より早く移動するとノーマルオーজে電子が観測される。CHC法では、共鳴オージェとノーマルオージェの比率をもとに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。一方、内殻励起イオン脱離反応において、選択的イオン脱離が表面配向をもつSAMの末端官能基で顕著に観測されており、この反応には表面官能基から基板への電荷移動が深く関与していると考えられる。そこで、異なる分子鎖をもつメチルエステル修飾SAMの脱離イオンのフラグメント収量比と共鳴オージェ電子スペクトルから内殻励起後の励起電子移動について調べた。末端メチルエステル基の反結合性軌道への内殻共鳴励起によりメチルイオン及びそのフラグメントが選択的に脱離するが、長い脂肪鎖をもつ絶縁性のSAMではメチルイオンの収量が最も多いのに対し、導電性の芳香族SAMではフラグメンテーションが激しく起こる。これら分子鎖に依存したフラグメンテーションの違いについて、脱離種への余剰エネルギーの分配を基にした動力学解析から議論した。また、フェニルやビフェニルを分子鎖にもつ芳香族SAMについてオージェ電子分光測定を行い、電荷移動に伴う共鳴オージェ収量の減少を観測し、それぞれのSAMの電荷移動速度を見積もった。これらより、選択的イオン脱離反応にみられるフラグメンテーションと分子伝導度の違いを反映した励起電子の電荷移動との相関を明らかにした。

一方、金ナノ粒子はもっとも古くから研究されているナノ粒子であり、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。そのためには、従来の化学的な合成法とは異なる手法で、安定化剤で被覆されていないベアな金ナノ粒子を準備する必要がある。そこで、液中パルスレーザーアブレーション法による金ナノ粒子の合成と評価を試みた。既設のパルスグリーン固体レーザーを用いることで、直径10nm程度の比較的均一な金ナノ粒子が合成できることが分かった。

### (3) 自由電子レーザー (FEL) を利用したダイナミクス研究 (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、機能性有機ナノ結晶や光応答タンパク質ナノ結晶における光励起反応で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。

平成27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による、多原子分子を対象とした光誘起構造ダイナミクスの超高速実時間計測実験を実施し、クーロン爆発イオンイメージング法を用いることで分子解離による構造変化の実時間計測が可能であることを明らかにした。

また、SACLAを用いて構造と反応性および機能性の相関解明を目指す機能性有機ナノ結晶として、次世代非線形光学材料として注目されているポリジアセチレンナノ結晶をターゲットとしている。そこで本年度は、紫外光照射による固相重合プロセスの初期過程の検出を目指し、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、研究を実施した。これまでに、反応初期の二量化過程に関する知見が得られている。

### (4) 紫外-軟X線二重共鳴吸収と反応 (平谷)

軟X線による選択的解離は気相、表面いずれにおいても、反結合性軌道に励起された電子と内殻軌道の正孔が重要な役割を果たすことが知られているが、軟X線で励起可能な反結合性軌道が選択則によって限定されてしまうため、反結合性軌道電子の寄与を定量的に分離した精密な議論は不可能であった。この問題は、紫外線によって結合性軌道から反結合性軌道に励起された価電子励起状態から、さらに軟X線によって内殻電子を反結合性軌道に励起あるいはイオン化する紫外-軟X線二重共鳴による解離過程を観測することによって解決できる。例えば、同じ反結合性軌道に2個あるいは異なる反結合性軌道に1個ずつの電子を持ち、結合性価電子軌道と内殻軌道に正孔をもつ超反結合性電子配置ができる。このような内殻共鳴励起状態の選択肢が増えることは、軟X線による化学反応の機構を解明するうえで、重要となる。例えば、気相分子では軟X線励起、特に解離的な空軌道への励起による特異な反応が、他の多くの解離反応経路に埋もれてしまうことが多いが、紫外-軟X線二重共鳴によって生成される超反結合性電子配置では顕著な励起軌道選択的な解離反応の観測が期待できる。また、軟X線励起エネルギーによる選択的解離反応が実現している表面分子系においても、紫外線の波長によって励起反結合性軌道を選択することにより、選択的解離機構の詳細の解明や、切断する結合の種類拡大と選択性の向上が可能となる。

今年度は、これまで研究対象としてきたキノン類やアルデヒド類に加えて紫外領域に強い吸収があり励起三重項の生成効率が高い安息香酸と安息香酸メチルを対象として研究を進めた。特に理論的研究では、励起三重項だけでなく励起一重項からの軟X線吸収と価電子・内殻二重励起状態でのポテンシャルの計算を行なった。安息香酸については、水酸基酸素(OH)1sからの共鳴内殻励起で生成するOH結合のポテンシャル曲線が、最低空軌道(LUMO)への励起では基底状態、励起一重項、励起三重項いずれからも解離的となるが、第3空軌道(LUMO+2)への励起では基底状態からは全く解離性がないのに対して、励起一重項と励起三重項からでは大きい解離性となること

が明らかとなった。安息香酸(C<sub>6</sub>H<sub>5</sub>COOH)の水酸基(OH)の水素(H)をメチル基(CH<sub>3</sub>)に置換した安息香酸メチルでは、安息香酸のO-H結合に対応するO-CH<sub>3</sub>結合について、第3空軌道(LUMO+2)への励起によって励起一重項と励起三重項からの内殻励起によって大きく解離性となるという安息香酸のO-H結合とは異なる励起軌道依存性が得られた。

#### 原著論文

- [1] T. Tachibana, Z. Jurek, H. Fukuzawa, K. Motomura, K. Nagaya, S. Wada, P. Johnsson, M. Siano, S. Mondal, Y. Ito, M. Kimura, T. Sakai, K. Matsunami, H. Hayashita, J. Kajikawa, X.-J. Liu, E. Robert, C. Miron, R. Feifel, J.P. Marangos, K. Tono, Y. Inubushi, M. Yabashi, S.-K. Son, B. Ziaja, M. Yao, R. Santra, and K. Ueda; "Nanoplasma formation by high intensity hard X-rays", *Sci. Rep.* **5**, 10977(1-7) (2015).
- [2] M. Mucke, V. Zhaunerchyk, L.J. Frasinski, R.J. Squibb, M. Siano, J.H.D. Eland, P. Linusson, P. Salen, P.v.d. Meulen, R.D. Thomas, M. Larsson, L. Foucar, J. Ullrich, K. Motomura, S. Mondal, K. Ueda, T. Osipov, L. Fang, B.F. Murphy, N. Berrah, C. Bostedt, J.D. Bozek, S. Schorb, M. Messerschmidt, J.M. Glowina, J.P. Cryan, R.N. Coffee, O. Takahashi, S. Wada, M.N. Piancastelli, R. Richter, K.C. Prince, and R. Feifel; "Covariance mapping of two-photon double core hole states in C<sub>2</sub>H<sub>2</sub> and C<sub>2</sub>H<sub>6</sub> produced by an X-ray free electron laser" *New J. Phys.* **17**(7), 073002(1-10) (2015).
- [3] K. Motomura, E. Kukk, H. Fukuzawa, S. Wada, K. Nagaya, S. Ohmura, S. Mondal, T. Tachibana, Y. Ito, R. Koga, T. Sakai, K. Matsunami, A. Rudenko, C. Nicolas, X.-J. Liu, C. Miron, Y. Zhang, Y. Jiang, J. Chen, M. Anand, D.E. Kim, K. Tono, M. Yabashi, M. Yao, and K. Ueda; "Charge and nuclear dynamics induced by deep inner-shell multiphoton ionization of CH<sub>3</sub>I molecules by intense X-ray free-electron laser pulses", *J. Phys. Chem. Lett.* **6**(15), 2944–2949 (2015).
- [4] Z. Yin, I. Rajkovic, S. T. Veedu, S. Deinert, D. Raiser, R. Jain, H. Fukuzawa, S. Wada, W. Quevedo, B. Kennedy, S. Schreck, A. Pietzsch, P. Wernet, K. Ueda, A. Föhlisch, and S. Teichert; "Ionic solutions probed by resonant inelastic X-ray scattering", *Z. Phys. Chem.* **229**(10-12), 1855-1867 (2015).
- [5] S. Benkoula, O. Sublemontier, M. Patanen, C. Nicolas, F. Sirotti, A. Naitabdi, F. Gaie-Levrel, E. Antonsson, D. Aureau, F.-X. Ouf, S. Wada, A. Etcheberry, K. Ueda, and C. Miron; "Water adsorption on TiO<sub>2</sub> surfaces probed by soft X-ray spectroscopies: bulk materials vs. isolated nanoparticles", *Sci. Rep.* **5**, 15088(1-11) (2015).
- [6] H. Fukuzawa, T. Tachibana, K. Motomura, W.Q. Xu, K. Nagaya, S. Wada, P. Johnsson, M. Siano, S. Mondal, Y. Ito, M. Kimura, T. Sakai, K. Matsunami, H. Hayashita, J. Kajikawa, X.J. Liu, E. Robert, C. Miron, R. Feifel, J. Marangos, K. Tono, Y. Inubushi, M. Yabashi, M. Yao, and K. Ueda; "Electron spectroscopy of rare-gas clusters irradiated by x-ray free-electron laser pulses from SACLA", *J. Phys. B* **49**(3), 034004(1-7) (2016).
- [7] S. Nagashima, K. Yamamoto, O. Takahashi, and A. Hiraya; "Core-excitation from triplet states of organic molecules: X-ray absorption spectra and doubly excited potential curves", *J. Phys. Conference Series* **635**(2015) 112058.

#### 国際会議

(招待講演)

- [1] S. Wada; "Prospect for investigating photopolymerization dynamics at SACLA", HeKKSaGOn Discussion meeting on ultrafast chemistry, (April 18 2015, Sendai, Japan).
- [2] S. Wada; "Investigation of site-selective bond breaking induced by resonant core-excitations" Workshop on "Present Challenges in Surface Science and Photon Driven Phenomena at Interfaces" (April 23-24 2015, Munich, Germany).

(一般講演)

- [1] Y. Kumagai, W. Q. Xu, Z. Jurek, H. Fukuzawa, K. Motomura, D. Iablonski, K. Nagaya, S. Wada, S. Mondal, T. Tachibana, Y. Ito, T. Takanashi, S. Yamada, Y. Sakakibara, T. Sakai, K. Matsunami, T. Nishiyama, T. Umemoto, C. Nicolas, M. Patanen, J. Bozek, I. Dancus, M. Cernaianu, C. Miron, T. Bauer, M. Mucke, E. Kukk, T. Togashi, K. Ogawa, S. Owada, K. Tono, M. Yabashi, S.-K. Son, B. Ziaja, M. Yao, R. Santra, K. Ueda; "Time-resolved study on XFEL-induced nanoplasma formation at SACLA", Intense field, Short Wavelength Atomic and Molecular Processes (ISWAMP-3) (July 18-20 2015, Hamburg, Germany).
- [2] T. Nishiyama, C. Bostedt, K. R. Ferguson, C. Hutchison, K. Nagaya, H. Fukuzawa, K. Motomura, S. Wada, T. Sakai, K. Matsunami, T. Tachibana, Y. Ito, W. Q. Xu, S. Mondal, T. Umemoto, C. Nicolas, C. Miron, T. Kameshima, Y. Joti, K. Tono, T. Hatsui, M. Yabashi, K. Ueda, M. Yao; "Coincidence measurements of coherent diffractive imaging of giant Xe clusters with fluorescence spectroscopy at SACLA", Intense field, Short Wavelength Atomic and Molecular Processes (ISWAMP-3) (July 18-20 2015, Hamburg, Germany).
- [3] T. Nishiyama, C. Bostedt, K. R. Ferguson, C. Hutchison, K. Nagaya, H. Fukuzawa, K. Motomura, S. Wada, T. Sakai, K. Matsunami, T. Tachibana, Y. Itoh, W. Xu, S. Mondal, T. Umemoto, C. Nicolas, C. Miron, T. Kameshima, Y. Joti, K. Tono, T. Hatsui, M. Yabashi, K. Ueda, M. Yao; "Coherent diffractive imaging of giant Xe clusters with X-FEL pulses in coincidence with fluorescence spectroscopy", XXIX International Conference on Photonic, Electronic, and Atomic Collisions (ICPEAC2015), (July 22-28 2015, Toledo, Spain).
- ◎[4] S. Wada, J. Kajikawa, H. Hayashita, R. Koga, A. Hiraya; "Characterization of green fluorescent protein monolayers utilizing controllable self-assembled monolayers", The 31st European Conference on Surface Science (ECOSS-31), (August 31- September 4 2015, Barcelona, Spain).
- ◎[5] S. Wada, J. Kajikawa, H. Hayashita, R. Koga, A. Hiraya; "Characterization of green fluorescent protein monolayers utilizing controllable self-assembled monolayers", The 20th Hiroshima International Symposium on Synchrotron Radiation, (March 10-11, 2016, Higashi-Hiroshima, Japan).
- ◎[6] S. Wada, M. Ogawa, S. Hosoda, R. Koga, A. Hiraya; "Non-contact evaluation of molecular conductivity of organic molecules utilizing core-excitation dynamics measurements", The 20th Hiroshima International Symposium on Synchrotron Radiation, (March 10-11, 2016, Higashi-Hiroshima, Japan).
- ◎[7] H. Yoshida, K. Yamashita, K. Uchida, and A. Hiraya; "Dissociation dynamics of heterocyclic five-membered aromatic ring molecules", 31st Symposium on Chemical Kinetics and Dynamics, (June 3-5, 2015, Sapporo, Japan)
- [8] S. Nagashima, K. Yamamoto, O. Takahashi, and A. Hiraya; "Core-excitation from triplet states of organic molecules: X-ray absorption spectra and doubly excited potential curves", XXIX International Conference on Photonic, Electronic, and Atomic Collisions (ICPEAC2015), (July 22-28 2015, Toledo, Spain).

国内学会

(招待講演)

- [1] 和田真一: 「内殻励起ダイナミクス計測から探る有機単分子膜の高速電荷移動」, 第36回広島大学サステナブル科学セミナー「軟X線分光ミニシンポジウム」, (2015年8月11日, 東広島市).

(一般講演)

- ◎[1] 和田真一, 細田隼輝, 古賀亮介, 林下弘憲, 梶川隼平, 平谷篤也:「内殻励起反応ダイナミクスに現れる表面電荷移動効果」, 第9回分子科学討論会, (2015年9月16-19日, 東京).
- [2] 西山俊幸, Bostedt Christoph, Ferguson Kenneth R, Hutchison Christopher, 永谷清信, 福澤宏宣, 本村幸治, 和田真一, 酒井 司, 松波健司, 立花徹也, 伊藤雄太, Xu Weiqing, Mondal Subhendu, 梅本嵩之, Nicolas Christophe, Miron Catalin, 亀島 敬, 城地保昌, 登野健介, 初井宇記, 矢橋牧名, 上田 潔, 八尾 誠:「SACLAのシングルショットX線回折による単一Xeクラスターの形状解析」, 日本物理学会2015年秋季大会, (2015年9月16-19日, 吹田市).
- [3] 熊谷嘉晃, W. Q. Xu, Z. Jurek, 福澤宏宣, 本村幸治, D. Iablonski, 永谷清信, 和田真一, S. Mondal, 立花徹也, 伊藤雄太, 高梨 司, 山田周平, 榊原悠太, 酒井 司, 松波健司, 西山俊幸, 梅本嵩之, C. Nicolas, M. Patanen, J. Bozek, I. Dancus, M. Cernaianu, C. Miron, T. Bauer, M. Mucke, E. Kukk, 富樫 格, 小川 奏, 大和田成起, 登野健介, 矢橋牧名, S.-K. Son, B. Ziaja, 八尾 誠, R. Santra, 上田 潔:「SACLAのX線自由電子レーザー照射により希ガスクラスターから生成するナノプラズマの時分割計測」, 第15回東北大学多元物質科学研究所研究発表会, (2015年12月22日, 仙台市).
- [4] 熊谷嘉晃, W. Q. Xu, Z. Jurek, 福澤宏宣, 本村幸治, D. Iablonski, 永谷清信, 和田真一, S. Mondal, 立花徹也, 伊藤雄太, 高梨 司, 山田周平, 榊原悠太, 酒井 司, 松波健司, 西山俊幸, 梅本嵩之, C. Nicolas, M. Patanen, J. Bozek, I. Dancus, M. Cernaianu, C. Miron, T. Bauer, M. Mucke, E. Kukk, 富樫 格, 小川 奏, 大和田成起, 登野健介, 矢橋牧名, S.-K. Son, B. Ziaja, 八尾 誠, R. Santra, 上田 潔:「XFEL誘起ナノプラズマ崩壊過程の時分割測定」, 第29回日本放射光学会年会・放射光科学合同シンポジウム, (2015年1月9-11日, 柏市).
- [5] 永谷清信, 本村幸治, 和田真一, 福澤宏宣, 大村訓史, 立花徹也, 伊藤雄太, Mondal Subhendu, 古賀亮介, 松波健司, 酒井 司, Kukk Edwin, 高橋優祐, 菅野 学, Rudenko Artem, Nicolas Christophe, Liu XiaoJing, Miron Catalin, Zhang Yizhu, Jiang Yuhai, Chen Jianhui, Mailam Anand, Kim Don Eon, 登野健介, 犬伏雄一, 矢橋牧名, 河野裕彦, 八尾 誠, 上田 潔:「XFELパルスによるヨウ化ウラシル分子内の超高速電荷移動ダイナミクスの観測」, 第29回日本放射光学会年会・放射光科学合同シンポジウム, (2015年1月9-11日, 柏市).
- ◎[6] 和田真一, 小川 舞, 古賀亮介, 細田隼輝, 平谷篤也:「内殻励起ダイナミクス計測による有機分子の非接触導電性評価への展開」, 第29回日本放射光学会年会・放射光科学合同シンポジウム, (2015年1月9-11日, 柏市).
- [7] 西山俊幸, Bostedt Christoph, Ferguson Kenneth R, Hutchison Christopher, 永谷清信, 福澤宏宣, 本村幸治, 和田真一, 酒井 司, 松波健司, 立花徹也, 伊藤雄太, Xu Weiqing, Mondal Subhendu, 梅本嵩之, Nicolas Christophe, Miron Catalin, 亀島 敬, 城地保昌, 登野健介, 初井宇記, 矢橋牧名, 上田 潔, 八尾 誠:「SACLAのシングルショットX線回折による単一クラスターの形状解析」, 第13回京都大学福井謙一記念研究センターシンポジウム, (2015年2月5日, 京都市).
- [8] 永谷清信, 本村幸治, 和田真一, 福澤宏宣, 大村訓史, 立花徹也, 伊藤雄太, Mondal Subhendu, 古賀亮介, 松波健司, 酒井 司, Kukk Edwin, 高橋優祐, 菅野 学, Rudenko Artem, Nicolas Christophe, Liu XiaoJing, Miron Catalin, Zhang Yizhu, Jiang Yuhai, Chen Jianhu, Mailam Anand, Kim Don Eon, 登野健介, 矢橋牧名, 河野裕彦, 八尾 誠, 上田 潔  
「XFELを用いたヨウ化ウラシルの多価イオン化と電荷ダイナミクスの実験的観測」: 第13

回京都大学福井謙一記念研究センターシンポジウム, (2015年2月5日, 京都市).

- [9] 永谷清信, 本村幸治, 和田真一, 福澤宏宣, 大村訓史, 立花徹也, 伊藤雄太, Mondal Subhendu, 古賀亮介, 松波健司, 酒井 司, Kukk Edwin, 高橋優祐, 菅野 学, Rudenko Artem, Nicolas Christophe, Liu XiaoJing, Miron Catalin, Zhang Yizhu, Jiang Yuhai, Chen Jianhui, Mailam Anand, Kim Don Eon, 登野健介, 矢橋牧名, 河野裕彦, 八尾 誠, 上田 潔:「XFELにより誘起されるヨウ化ウラシルの多価イオン化と高速解離ダイナミクス」: 日本物理学会 第71回年次大会, (2015年3月19-22日, 仙台市).
- [10] 高梨 司, 福澤宏宣, 本村幸治, 永谷清信, 和田真一, 熊谷嘉晃, Iablonskyi Denys, Mondal Subhendu, 伊藤雄太, 立花徹也, 山田周平, 榊原悠太, You Daehyun, 西山俊幸, 松波健司, 酒井 司, 浅 和貴, 佐藤由比呂, 梅本嵩之, 仮屋菌寛悟, 梶本真司, 五月女光, Kukk Edwin, Kooser Kuno, Nicolas Christophe, Miron Catalin, Schoeffler Markus, Kastirke Gregor, Johnsson Per, Asavei Theodor, Neagu Liviu, Liu Xiao-Jing, Molodtsov Serguei, 富樫 格, 小川 奏, 大和田成起, 片山哲夫, 登野健介, 矢橋牧名, Rudenko Artem, 福村裕史, 八尾 誠, 上田 潔「SACLAのX線自由電子レーザーを用いたジヨードメタン分子における光誘起反応の時間分解測定」: 日本物理学会 第71回年次大会, (2015年3月19-22日, 仙台市).
- [11] 熊谷嘉晃, W. Q. Xu, Z. Jurek, 福澤宏宣, 本村幸治, D. Iablonski, 永谷清信, 和田真一, S. Mondal, 立花徹也, 伊藤雄太, 高梨 司, 山田周平, 榊原悠太, 酒井 司, 松波健司, 西山俊幸, 梅本嵩之, C. Nicolas, M. Patanen, J. Bozek, I. Dancus, M. Cernaianu, C. Miron, T. Bauer, M. Mucke, E. Kukk, 富樫 格, 小川 奏, 大和田成起, 登野健介, 矢橋牧名, S.-K. Son, B. Ziaja, 八尾 誠, R. Santra, 上田 潔:「SACLAにおける希ガス・クラスターへのXFEL照射で生成したナノプラズマの崩壊過程の実時間計測」, 日本物理学会 第71回年次大会, (2015年3月19-22日, 仙台市).
- [12] 吉田啓晃:「五員複素環化合物の解離ダイナミクス」, 軟X線分光ミニシンポジウム (2015年8月11日, 東広島市)
- ◎[13] 吉田啓晃, 山下賢治, 平谷篤也:「五員芳香環化合物のヘテロ原子に依存した環開裂過程」, 2015年度 先端放射線化学シンポジウム (2015年9月29日-10月1日, 浜松市)
- ◎[14] 吉田啓晃, 山下賢治, 平谷篤也:「五員芳香環分子のクーロン爆発ダイナミクス」, 日本物理学会第71回年次大会 (2016年3月19日-22日, 仙台市)

#### 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	12 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	17 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] 吉田啓晃: 第28回理学研究科サイエンスカフェ (実行委員)  
(2015年7月25日, 広島県立国泰寺高校, 広島市)

- [2] 吉田啓晃：第29回理学研究科サイエンスカフェ（実行委員）  
（2015年9月26日，広島大学，東広島市）

#### 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21回広島大会 推進委員  
[2] 吉田啓晃：31st Symposium on Chemical Kinetics and Dynamics ポスター賞審査委員

##### ○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21回広島大会（2015年10月24-25日，広島市こども文化科学館，広島市）  
[2] 吉田啓晃：大人の科学談話室（2016年1月16日，広島市こども文化科学館，広島市）

##### ○外部評価委員等

- [1] 平谷篤也：高輝度光科学研究センター 利用研究課題審査委員会長期利用分科会・委員  
[2] 平谷篤也：高輝度光科学研究センター パートナーユーザー審査委員会・委員  
[3] 吉田啓晃：理化学研究所 播磨研究所 放射光科学総合研究センター 客員研究員  
[4] 和田真一：理化学研究所 播磨研究所 放射光科学総合研究センター 客員研究員

##### ○研究助成金の受入状況

- [1] 和田真一：科学研究費補助金基盤研究(C)（代表）1,950千円  
[2] 和田真一：文部科学省 X線自由電子レーザー重点戦略研究課題（分担）1,650千円  
[3] 和田真一：平成27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）124千円  
[4] 平谷篤也：科学研究費補助金挑戦的萌芽研究（代表）780千円

#### その他特記すべき事項

##### ○プレスリリース

- [1] 和田真一：「超強力X線による極微小プラズマ生成を発見 ―X線自由電子レーザーを利用したイメージングに重要なメッセージ―」  
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  
（2015年6月11日）.

## ○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) 平成27年度の特徴ある研究成果

- ・ スピン角度分解光電子分光装置（BL-9B）を用いてパラジウム・ビスマス化合物超伝導体の表面にトポロジカル表面電子状態が存在することを発見した。トポロジカル表面状態は超伝導に転移するとマヨラナ粒子的にふるまうことが予言されており、本研究成果はトポロジカル超伝導物質の研究に大きく貢献する。英国の科学雑誌ネイチャー・コミュニケーションズに掲載され、日経産業新聞（平成 27 年 10 月 21 日）で報道された。
- ・ 高輝度小型放射光源の開発研究の成果として「荷電粒子軌道制御装置、荷電粒子加速器、荷電粒子蓄積リングおよび偏向電磁石」特許第 5854518 を取得した。

#### (3) 平成27年度の共同研究の状況

- ・ 共同研究の国際公募を行い、103 課題を採択した。
- ・ 受入人数 198 人（実人数）のうち、学内者 73 人（37%）、学外者 125 人（63%）である。このうち海外研究機関からは 49 人（25%）を受け入れている。課題申請を行った研究機関別の内訳では、国立大学が 11 機関、公私立大学が 6 機関、公的研究機関および企業が 4 機関、外国が 18 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

放射光を利用した高分解能低温角度分解光電子分光に必要な極低温超高精度多軸マニピュレータの開発研究を進めた。平成27年度は100ナノメートル（10,000分の1ミリ）の超高精度で測定試料を移動させることができる4軸フルクローズド制御システムマニピュレータを開発した。またレーザー励起の超高分解能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技術の開発研究を進めた。

- ・ 物質・材料研究機構

本センターは大型放射光実験施設SPring-8 BL15XUにおいて硬X線を用いた高分解能硬X線光電子分光実験ステーションを物質・材料研究機構と共同で開発し、共同利用に供している。平成27年度は強相関希土類化合物の価数転移、超伝導体の電子構造に関する共同研究を行った。

#### (5) 研究設備高度化への取組

- ・ 高分解能角度分解光電子分光実験では、大量のデータを収集し固体の電子構造の可視化を行う（マッピング）。計測効率を高めるため、測定系のアルゴリズムを見直し、自動的にマ

ッピングを可能とする技術開発を行い、運用を開始した。(BL-1, BL-9A)

- 分光器ミラーのコーティング材料を改良することで、ミラー表面の劣化を低減できた。これにより光子数が約10倍増加し、従来よりも効率良く生体物質の円二色性測定が可能となった。(BL-12)
- 空間分解能を高めた角度分解光電子分光を実施するため、実験準備棟で紫外線レーザーの光学系を整備し、数 $\mu\text{m}$ のサイズに励起光を集光した。産業技術総合研究所との共同研究により精密に測定試料を移動するための超高精度XYZ $\theta$  マニピュレータを開発し、高分解能角度分解光電子分光装置に組み込んだ。(実験準備棟で立ち上げた新システム)

#### (6) 第20回広島放射光国際シンポジウムの開催

「VUV放射光を用いた物質科学研究：現状と将来展望」と題して、国内外から第一線の研究者に招待講演を依頼した(国内3名, 海外4名(英, 米, 独))。またセンター教員はHiSOR実験ステーションの現状と将来展望について口頭発表を行った。ポスターセッションでは、平成27年度の共同利用・共同研究の成果を中心に39件(うち学生発表28件)の発表があった。国内外の招聘研究者を含む参加者全員の投票により、学生ポスター賞(広大学生2名, 東工大学生1名)を授与した。参加者総数は93名(学内65名, 学外28名(うち海外4名))であった。本国際シンポジウムは、広島大学研究力強化に資する国際会議・シンポジウム開催助成を受け、高エネルギー加速器研究機構の大学等連携支援事業からの支援、日本放射光学会からの協賛を得て実施した。

#### (7) 放射光科学院生実験の実施：大学院教育への貢献

平成27年度も大学院授業科目「放射光科学院生実験」を実施した。本授業は単位互換の協定に基づき、岡山大学の学生も受講可能である。

#### 原著論文

- ◎[1] K.Matsuo, H.Namatame, M.Taniguchi, K.Gekko: “Solution structures of methyl aldopyranosides revealed by vacuum-ultraviolet electronic circular-dichroism spectroscopy”, *Biomedical Spectroscopy and Imaging* **4** (3), 269-282 (2015).
- ◎[2] M.Xu, L.-M.Wang, R.Peng, Q.-Q.Ge, F.Chen, Z.-R.Ye, Y.Zhang, S.-D.Chen, M.Xia, R.-H.Liu, M.Arita, K.Shimada, H.Namatame, M.Taniguchi, M.Matsunami, S.Kimura, M.Shi, X.-H.Chen, W.-G.Yin, W.Ku, B.-P.Xie, D.-L.Feng: “Electronic structure reconstruction across the antiferromagnetic transition in TaFe<sub>1.23</sub>Te<sub>3</sub> spin ladder”, *Chi. Phys. Lett.* **23**(3), 027401 (2015).
- ◎[3] W.Tadano, M.Sawada, H.Namatame, M.Taniguchi: “Magnetic properties of iron ultrathin films intercalated in graphene/Ni(111)”, *e-J. Surf. Sci. Nanotech.* **13**, 312-316 (2015).
- ◎[4] C.Tsukada, T.Tsuji, K.Matsuo, T.Nomoto, G.Kutluk, M.Sawada, S.Ogawa, T.Yoshida, S.Yagi: “Spectroscopic and morphological studies on interaction between gold nanoparticle and liposome constructed with phosphatidylcholine”, *IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng.* **76**(1), 012001 (9p) (2015).
- ◎[5] T.Okuda, K.Miyamoto, A.Kimura, H.Namatame, M.Taniguchi: “Double VLEED spin detectors for high-resolution three dimensional spin vectorial analysis of anisotropic Rashba spin splitting”, *J. Electron Spectrosc. Relat. Phenom.* **201**, 23-29 (2015).
- ◎[6] K.Miyamoto, A.Kimura, T.Okuda, M.Donath: “Spin polarization of surface states on W(110): combined influence of spin-orbit interaction and hybridization”, *J. Electron Spectrosc. Relat. Phenom.* **201**, 53-56 (2015).
- [7] C.Seibel, H.Maass, H.Bentmann, J.Braun, K.Sakamoto, M.Arita, K.Shimada, J.Minar, H.Ebert, F.Reinert: “The Rashba-split surface state of Sb<sub>2</sub>Te<sub>3</sub>(0001) and its interaction with bulk states”, *J.*

- Electron Spectrosc. Relat. Phenom.* **201**, 110-114 (2015).
- © [8] S.Kawakami, N.Nakajima, M.Nakatake, N.Kawamura, M.Mizumaki, H.Maruyama: “Mechanism of intrinsic dipole moment induction in quantum paraelectric SrTiO<sub>3</sub>”, *Jpn. J. Appl. Phys.* **54**(10), 10NC03(5p) (2015).
- [9] E.Ohmae, S.Tanaka, Y.Miyashita, K.Katayanagi, K.Matsuo: “Vacuum-ultraviolet circular dichroism spectra of Escherichia coli dihydrofolate reductase and its mutants: contributions of phenylalanine and tyrosine side chains and exciton coupling of two tryptophan side chains”, *J. Phys. Chem. B* **119**(41), 13002(7p) (2015).
- © [10] S.Y.Zhu, M.Ye, K.Shirai, M.Taniguchi, S.Ueda, Y.Miura, M.Shirai, R.Y.Umetsu, R.Kainuma, T.Kanomata, A.Kimura: “Drastic change in density of states upon martensitic phase transition for metamagnetic shape memory alloy Ni<sub>2</sub>Mn<sub>1+x</sub>In<sub>1-x</sub>”, *J. Phys.: Condensed Matter* **27**(36), 362201(6p) (2015).
- © [11] H.Sato, Y.Utsumi, J.Kodama, M.Arita, H.Anzai, K.Mimura, K.Shimada, S.Ueda, N.Tsujii, H.Namatame, M.Taniguchi: “Photoemission study on YbZn<sub>1-x</sub>Sn<sub>x</sub>Cu<sub>4</sub>”, *J. Phys.: Conf. Ser.* **592**, 012016(5p) (2015).
- [12] S.Hosokawa, H.Sato, K.Mimura, Y.Tezuka, D.Fukunaga, Y.Matsuzaki, F.Shimojo: “Oxygen 2p partial density of states and bond angles around O atoms in SiO<sub>2</sub> glass”, *J. Phys. Soc. Jpn.* **84**(2), 024605(6p) (2015).
- [13] F.H.Ji, R.Chang, Q.G.Zhou, W.Zhang, M.Ye, S.Sasaki, S.Qiao: “Design and performance of the APPLE-Knot undulator”, *J. Syn. Rad.* **22**, 901-907 (2015).
- © [14] Y.Wang, L.Li, W.Yao, S.Song, J.T.Sun, J.Pan, X.Ren, C.Li, E.Okunishi, Y.-Q.Wang, E.Wang, Y. Shao, Y.Y.Zhang, H.-T.Yang, E.F.Schwier, H.Iwasawa, K.Shimada, M.Taniguchi, Z.Cheng, S.Zhou, S.Du, S.J.Pennycook, S.T.Pantelides, H.-J.Gao: “Monolayer PtSe<sub>2</sub>, a new semiconducting transition-metal-dichalcogenide, epitaxially grown by direct selenization of Pt”, *Nano Letters* **15**(6), 4013(6p) (2015).
- [15] M.Sakano, K.Okawa, M.Kanou, H.Sanjo, T.Okuda, T.Sasagawa, K.Ishizaka: “Topologically protected surface states in a centrosymmetric superconductor beta-PdBi<sub>2</sub>”, *Nature Commun.* **6**, 8595(7p) (2015).
- [16] J.He, T.Hogan, T.R.Mion, H.Hafiz, Y.He, J.D.Denlinger, S.-K.Mo, C.Dhital, X.Chen, Q.Lin, Y. Zhang, M.Hashimoto, H.Pan, D.H.Lu, M.Arita, K.Shimada, R.S.Markiewicz, Z.Wang, K.Kempa, M.J.Naughton, A.Bansil, S.D.Wilson, R.-H.He: “Spectroscopic evidence for negative electronic compressibility in a quasi-three-dimensional spin-orbit correlated metal”, *Nature Mater.* **14**(16), 577(7p) (2015).
- © [17] J.Růžička, O.Caha, V.Holý, H.Steiner, V.Volobuev, A.Ney, G.Bauer, T.Duchoň, K.Veltruská, I. Khalakhan, V.Matolín, E.F.Schwier, H.Iwasawa, K.Shimada, G.Springholz: “Structural and electronic properties of manganese-doped Bi<sub>2</sub>Te<sub>3</sub> epitaxial layers”, *New J. Phys.* **17**(1), 013028 (11p)(2015).
- © [18] H.Yamaoka, E.F.Schwier, M.Arita, K.Shimada, N.Tsujii, I.Jarrige, J.Jiang, H.Hayashi, H.Iwasawa, H.Namatame, M.Taniguchi, H.Kitazawa: “Electronic structure of the heavy-fermion caged compound Ce<sub>3</sub>Pd<sub>20</sub>X<sub>6</sub>(X=Si, Ge) studied by density functional theory and photoelectron spectroscopy”, *Phys. Rev. B* **91**(11), 115139 (9p)(2015).
- © [19] K.Sumida, K.Shirai, S.Zhu, M.Taniguchi, M.Ye, S.Ueda, Y.Takeda, Y.Saitoh, I.R.Aseginolaza, J. M.Barandiaran, V.A.Chernenko, A.Kimura: “Spectroscopic evidence of band Jahn-Teller distortion upon martensitic phase transition in Heusler-type Ni-Fe(Co)-Ga ferromagnetic shape-memory alloy films”, *Phys. Rev. B* **91**(13), 134417 (6p)(2015).
- © [20] K.Kuroda, G.Eguchi, K.Shirai, M.Shiraishi, M.Ye, K.Miyamoto, T.Okuda, S.Ueda, M.Arita, H.Namatame, M.Taniguchi, Y.Ueda, A.Kimura: “Tunable spin current regime due to bulk insulating property in novel topological insulator Tl<sub>1-x</sub>Bi<sub>1+x</sub>Se<sub>2-δ</sub>”, *Physical Review B* **91**(7), 205306 (2015).
- [21] Z.Vydrova, E.F.Schwier, G.Monney, T.Jaouen, E.Razzoli, C.Monney, B.Hildebrand, C.Didiot, H. Berger, T.Schmitt, V.N.Strocov, F.Vanini, P.Aebi: “Three-dimensional momentum-resolved

- electronic structure of 1T-TiSe<sub>2</sub>: a combined soft-x-ray photoemission and density functional theory study”, *Phys. Rev. B* **91**(23), 235129(5p) (2015).
- © [22] T.Sugimoto, D.Ootsuki, C.Morice, E.Artacho, S.S.Saxena, E.F.Schwier, M.Zheng, Y.Kojima, H.Iwasawa, K.Shimada, M.Arita, H.Namatame, M.Taniguchi, M.Takahashi, N.L.Saini, T.Asano, R.Higashinaka, T.D.Matsuda, Y.Aoki, T.Mizokawa: “Fermi surfaces and orbital polarization in superconducting CeO<sub>0.5</sub>F<sub>0.5</sub>BiS<sub>2</sub> revealed by angle-resolved photoemission spectroscopy”, *Phys. Rev. B* **92**(4), 041113(R) (5p)(2015).
- © [23] Y.K.Kim, Y.Y.Koh, W.S.Kyung, G.R.Han, B.Lee, K.H.Kim, J.M.Ok, J.S.Kim, M.Arita, K.Shimada, H.Namatame, M.Taniguchi, S.-K.Mo, C.Kim: “Possible role of bonding angle and orbital mixing in iron pnictide superconductivity: comparative electronic structure studies of LiFeAs and Sr<sub>2</sub>VO<sub>3</sub>FeAs”, *Phys. Rev. B* **92**(4), 041116(R)(5p) (2015).
- © [24] S.-Y.Xu, C.Liu, I.Belopolski, S.K.Kushwaha, R.Sankar, J.W.Krizan, T.-R.Chang, C.M.Polley, J.Adell, T.Balasubramanian, K.Miyamoto, N.Alidoust, G.Bian, M.Neupane, H.-T.Jeng, C.-Y.Huang, W.-F.Tsai, T.Okuda, A.Bansil, F.C.Chou, R.J.Cava, H.Lin, M.Z.Hasan: “Lifshitz transition and Van Hove singularity in a three-dimensional topological Dirac semimetal”, *Phys. Rev. B* **92**(7), 075115(7p) (2015).
- © [25] W.Yao, E.Wang, K.Deng, S.Yang, W.Wu, A.V.Fedorov, S.-K.Mo, E.F.Schwier, M.Zheng, Y.Kojima, H.Iwasawa, K.Shimada, K.Jiang, P.Yu, J.Li, S.Zhou: “Monolayer charge-neutral graphene on platinum with extremely weak electron-phonon coupling”, *Phys. Rev. B* **92**(11), 115421(5p)(2015).
- [26] C.Liu, G.Bian, T.-R.Chang, K.Wang, S.-Y.Xu, I.Belopolski, I.Miotkowski, H.Cao, K.Miyamoto, C.Xu, C.E.Matt, T.Schmitt, N.Alidoust, M.Neupane, H.-T.Jeng, H.Lin, A.Bansil, V.N.Strocov, M.Bissen, A.V.Fedorov, X.Xiao, T.Okuda, Y.P.Chen, M.Z.Hasan: “Tunable spin helical Dirac quasiparticles on the surface of three-dimensional HgTe”, *Phys. Rev. B* **92**(11), 115436(9p)(2015).
- © [27] H.Wotelen, K.Miyamoto, H.Mirhosseini, T.Okuda, A.Kimura, D.Thonig, J.Henk, M.Donath: “Spin-orbit influence on dz<sub>2</sub>-type surface state at Ta(110)”, *Phys. Rev. B* **92**(16), 161408(R) (5p)(2015).
- © [28] S.Kudo, T.Yoshida, S.Ideta, K.Takashima, H.Anzai, T.Fujita, Y.Nakashima, A.Ino, M.Arita, H.Namatame, M.Taniguchi, K.M.Kojima, S.Uchida, A.Fujimori: “Temperature evolution of correlation strength in the superconducting state of high-T<sub>c</sub> cuprates”, *Phys. Rev. B* **92**(19), 195135(5p) (2015).
- © [29] H.Yamaoka, Y.Yamamoto, E.F.Schwier, F.Honda, Y.Zekko, Y.Ohta, J.-F.Lin, M.Nakatake, H.Iwasawa, M.Arita, K.Shimada, N.Hiraoka, H.Ishii, K.-D.Tsuei, J.Mizuki: “Pressure and temperature dependence of the Ce valence and c-f hybridization gap in CeT<sub>2</sub>In<sub>5</sub> (T=Co, Rh, Ir) heavy fermion superconductors”, *Phys. Rev. B* **92**(23), 235110(6p) (2015).
- [30] C.Seibel, H.Bentmann, J.Braun, J.Minár, H.Maaß, K.Sakamoto, M.Arita, K.Shimada, H.Ebert, F.Reinert: “Connection of a topological surface state with the bulk continuum in Sb<sub>2</sub>Te<sub>3</sub>(0001)”, *Phys. Rev. Lett.* **114**(6), 066802(5p) (2015)
- [31] Y.Kanematsu, Y.Kamiya, K.Matsuo, K.Gekko, K.Kato M.Tachikawa: “Isotope effect on the circular dichroism spectrum of methyl  $\alpha$ -D-glucopyranoside in aqueous solution”, *Sci. Rep.* **5**, 17900 (5p)(2015).
- © [32] H.J.Im, M.Iwataki, S.Yamazaki, T.Usui, S.Adachi, M.Tsunekawa, T.Watanabe, K.Takegahara, S.Kimura, M.Matsunami, H.Sato, H.Namatame, M.Taniguchi: “Electronic structure of Mott-insulator CaCu<sub>3</sub>Ti<sub>4</sub>O<sub>12</sub>: photoemission and inverse photoemission study”, *Solid State Commun.* **217**, 17 (4p)(2015).
- © [33] H.Sato, Y.Utsumi, J.Kodama, H.Nagata, M.A.Avila, R.A.Ribeiro, K.Umeo, T.Takabatake, K.Mimura, S.Motonami, H.Anzai, S.Ueda, K.Shimada, H.Namatame, M.Taniguchi: “Electronic structure of YbNiX<sub>3</sub> (X=Si, Ge) studied by hard x-ray photoemission spectroscopy”, *Physica Status Solidi C* **12**, 620-623 (2015).
- [34] H.Kato, T.Nehira, K.Matsuo, T.Kawabata, Y.Kobashigawa, H.Morioka, F.Losung, R.E.P.Mangindaan, N.J.Voogd, H.Yokosawa, S.Tsukamoto: “Niphateolide A: isolation from the marine

sponge Niphates olemda and determination of its absolute configuration by an ECD analysis”, *Tetrahedron* **71**(38), 6956 (5p)(2015).

#### 国際会議

(招待講演)

- [1] K.Matsuo, “Application of vacuum-ultraviolet circular dichroism spectroscopy to structural analysis of biomolecules”, Seminar in Faculty of Health & Life Sciences De Montfort University, (Leicester, UK, 2015/5/14)
- ◎ [2] K.Matsuo, H.Namatame, M.Taniguchi, K.Gekko, “Recent progress in structural analysis of biomolecules using HiSOR-SRCD beamline”, 590th WE-Heraeus Seminar Synchrotron Radiation Circular Dichroism Spectroscopy (SRCD), (Bad Honnef, Germany, 2015/5/17-20)
- [3] T.Okuda, “High-resolution Spin Vectorial Measurement on Spin-orbit Interaction Induced Electronic Structure of Low-dimensional System”, Spin-Orbit Coupling Interaction in Surface or Interface States 2015 (SOCSIS-15) workshop, (Spetses, Greece, 2015/6/8-12)
- [4] T.Okuda, “Spin texture of Au atomic chain on semiconductor and ferromagnetic metal surfaces”, 21-25 Feb. 2016, Quantum Materials Symposium (QMS16), Incheon, Korea
- [5] K.Matsuo, “New developments of the protein structural analysis by synchrotron-radiation circular-dichroism spectroscopy”, International Symposium on EcoTopia Science, (Nagoya, Japan, 2015/11/27-29)
- [6] K.Shimada, “Evaluation of the electronic states in solids by high-resolution ARPES”, Workshop on the Progresses in Electron Spectroscopy, (Pohang, Korea, 2016/1/25)

(一般講演)

- ◎ [1] K.Ichiki, K.Mimura, H.Anzai, T.Uozumi, H.Sato, Y.Utsumi, S.Ueda, A.Mitsuda, H.Wada, Y.Taguchi, K.Shimada, H.Namatame, M.Taniguchi, “Electronic Structure of the Temperature-Induced Valence Transition System  $\text{EuNi}_2(\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x)_2$ ”, 6th International Conference on Hard X-ray Photoemission Spectroscopy, (Hsinchu, Taiwan, 2015/3/30-4/3)
- ◎ [2] S.Tanaka, M.Matsunami, K.Tanaka, S.Kimura, M.Arita, K.Shimada, K.Mukai, J.Yoshinobu, T.Maruyama, “Momentum-resolved direct-observation of the electron-phonon scattering for graphite and graphene by using ARPES and HREELS”, The 15th International Conference on Vibrations at Surfaces (VAS15), (Donostia-San Sebastián, Spain, 2015/6/22-26)
- ◎ [3] M.Sawada, W.Tadano, H.Namatame, M.Taniguchi, “Magnetic states at the interface between graphene and iron ultrathin layers”, 12th International Conference Advanced Carbon Nano Structures, (St. Peterbrug, Russia, 2015/6/29-7/3)
- ◎ [4] H.Sato, H.Nagata, F.Iga, K.Mimura, S.Ueda, K.Fukuda, Y.Tobita, K.Ishii, K.Hayashi, Y.Osanai, Y.Takita, T.Takabatake, A.Kondo, K.Kindo, K.Shimada, H.Namatame, M.Taniguchi, “Valence state of Tm in  $\text{YbB}_6$  and  $\text{YB}_6$ ”, 20th International Conference on Magnetism, (Barcelona, Spain, 2015/7/5-10)
- [5] S.Hosokawa, H.Sato, M.Nakatake, N.Nishiyama, “Electronic structure of  $\text{Pd}_{30}\text{Pt}_{17.5}\text{Cu}_{32.5}\text{P}_{20}$  bulk metallic glass”, 22nd International Symposium on Metastable, Amorphous and Nanostructured Materials, (Paris, France, 2015/7/13-17)
- ◎ [6] K.Matsuo, Y.Maki, H.Namatame, M.Taniguchi, K.Gekko, “Conformations of Membrane-Bound Proteins Characterized by Vacuum-Ultraviolet Circular-Dichroism and Linear-Dichroism Spectroscopy”, The 15th International Conference on Chiroptical Spectroscopy, (Sapporo, Japan, 2015/8/30-9/2)
- [7] S.Tanaka, E.Ohmae, Y.Miyashita, K.Matsuo, K.Katayanagi, “Contributions of Aromatic Side Chains to the Vacuum-Ultraviolet Circular Dichroism Spectra of Escherichia coli Dihydrofolate Reductase”, The 15th International Conference on Chiroptical Spectroscopy, (Sapporo, Japan, 2015/8/30-9/2)

- ◎[8] K.Matsuo, H.Namatame, M.Taniguchi, “Characterization of Saccharide Structures in Aqueous Solution using Synchrotron-Radiation Vacuum-Ultraviolet Circular Dichroism Spectroscopy”, The 23rd International Glycoconjugate Symposium (GLYCO XXIII), (Split, Croatia, 2015/9/15-20)
- ◎[9] S.Tanaka, M.Arita K.Shimada, “The dispersions of the phonons coupling with the electron in the graphite and graphene: An angle-resolved photoelectron spectroscopy study”, International Conference on Electron Spectroscopy and Structure (ICISS 2015), (Stony Brook, NY, USA, 2015/9/28-10/2)
- ◎[10] K.Ichiki, K.Mimura, H.Anzai, T.Uozumi, H.Sato, A.Rousuli, S.Ueda, A.Mitsuda, T.Fujimoto, E.Kishaba, H.Wada, Y.Taguchi, K.Shimada, H.Namatame, M.Taniguchi, “Temperature-induced valence transition of  $\text{Eu}(\text{Rh}_{0.6}\text{Ir}_{0.4})_2\text{Si}_2$ : Hard x-ray photoemission study”, International Conference on Electron Spectroscopy and Structure (ICISS 2015), (Stony Brook, NY, USA, 2015/9/28-10/2)
- ◎[11] H.Sato, T.Nagasaki, K.Suekuni, H.I.Tanaka, A.Rousuli, M.Nakatake, G.Kutluk, M.Sawada, T.Takabatake, K.Mimura, H.Anzai, K.Ichiki, S.Ueda, K.Shimada, H.Namatame, M.Taniguchi, “Metal-semiconductor transition and electronic structure change in the mineral tetrahedrite  $\text{Cu}_{12}\text{Sb}_4\text{S}_{13}$  investigated by photoemission and absorption spectroscopies”, International Conference on Electron Spectroscopy and Structure (ICISS 2015), (Stony Brook, NY, USA, 2015/9/28-10/2)
- ◎[12] R.Yukawa, K.Ozawa, S.Yamamoto, H.Iwasawa, K.Shimada, E.F.Schwier, K.Yoshimatsu, H.Kumigashira, H.Namatame, M.Taniguchi I.Matsuda, “Coupling of two-dimensional electrons to phonons at  $\text{ZnO}(10\bar{1}0)$  and  $\text{SrTiO}_3(001)$  surfaces”, International Workshop on Oxide Electronics (WOE22), (Paris, France, 2015/10/7-9)
- [13] T.Nehira, H.Ito, K.Ishihara, K.Matsuo, S.Izumi, K.Ukena, K.Masuda, T.Yamazaki, A.Ishida, “Protein conformational analysis by fluorescence-detected circular dichroism (FD CD)”, The International Chemical Congress of Pacific Basin Societies 2015, (Honolulu, Hawaii, USA, 2015/12/15-20)
- [14] J.Takahashi, M.Tamura, M.Katoh, K.Kobayashi, M.Umemura, J.Kwon, N.Kusakabe, M.Hosaka, N.Yamamoto, T.Konomi, K.Matsuo, Y.Ueno, Y.Kamei, M.Ehara, R.Fukuda, K.Shiraishi, H.Shinojima, “Origin of terrestrial bioorganic homochirality relevance to asymmetry of the universe: Approaches with synergy effects of observations, experiments, and computations”, The International Chemical Congress of Pacific Basin Societies 2015, (Honolulu, Hawaii, USA, 2015/12/15-20)

## 国内学会

### (招待講演)

- [1] 奥田太一：「高効率スピン検出器の開発とスピン分解光電子分光スピン分解光電子分光への応用」学振マイクロビームアナリシス第141委員会，第161回研究会，（三重大，2015年9月8-9日）
- [2] 島田賢也：「広島大学放射光科学研究センター（HiSOR）における固体電子分光と将来展望」第56回高圧討論会（アステールプラザ，広島，2015年11月10-12日）

### (一般講演)

- ◎[1] 砂川正典，寺嶋健成，田 貴裕，藤原弘和，福良哲司，竹田 彩，田中将嗣，竹屋浩幸，高野義彦，有田将司，島田賢也，生天目博文，谷口雅樹，鈴木雄大，臼井秀知，黒木和彦，脇田高德，村岡祐治，横谷尚睦：「 $\text{K}_x\text{Fe}_{2-y}\text{Se}_2$ の角度分解光電子分光II」日本物理学会2015年秋季大会，（関西大，2015年9月25-28日）
- ◎[2] 久保拓也，田北仁志，W. Mansuer，有田将司，島田賢也，生天目博文，谷口雅樹，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，永崎 洋，

- 川島健司, 柳 陽介, 井野明洋:「層状超伝導物質 $ZrP_{2-x}Se_x$ ( $x = 0.6, 0.75$ )の価電子帯および内殻準位の光電子分光」日本物理学会2015年秋季大会, (関西大, 2015年9月25-28日)
- ◎[3] 杉本拓也, 大槻太毅, C. Morice, E. Artacho, S. S. Saxena, 高橋雅也, E. F. Schvier, 岩沢英明, 島田賢也, 有田将司, 生天目博文, 谷口雅樹, N. L. Saini, 浅野卓也, 中島卓也, 東中隆二, 松田達磨, 青木勇二, 溝川貴司:「Fermi surfaces and orbital polarization of  $CeO_{0.5}F_{0.5}BiS_2$  revealed by angle-resolved photoemission spectroscopy」日本物理学会2015年秋季大会, (関西大, 2015年9月25-28日)
- ◎[4] 市木勝也, 三村功次郎, 安齋太陽, 魚住孝幸, 佐藤 仁, A. Rousuli, 上田茂典, 光田暁弘, 藤本巧, 喜舎場英吾, 和田裕文, 田口幸広, 島田賢也, 生天目博文, 谷口雅樹:「温度誘起価数転移を示す $Eu(Rh_{1-x}Ir_x)_2Si_2$ の硬X線光電子分光」日本物理学会2015年秋季大会, (関西大, 2015年9月25-28日)
- ◎[5] 三村功次郎, 市木勝也, 安齋太陽, 播木 敦, 魚住孝幸, 佐藤 仁, 内海有希, 上田茂典, 光田暁弘, 和田裕文, 田口幸広, 島田賢也, 生天目博文, 谷口雅樹:「 $EuNi_2P_2$ の硬X線光電子分光」日本物理学会2015年秋季大会, (関西大, 2015年9月25-28日)
- ◎[6] A. Rousuli, 佐藤 仁, 長崎俊樹, 伊賀文俊, 石井克弥, 和田 徹, 林 健人, 三村功次郎, 安齋太陽, 市木勝也, 上田茂典, E. F. Schvier, 岩澤英明, 島田賢也, 近藤晃弘, 金道浩一, 高島敏郎, 生天目博文, 谷口雅樹:「近藤半導体置換系 $Yb_{1-x}Zr_xB_{12}$ におけるYb価数の変化」日本物理学会2015年秋季大会, (関西大, 2015年9月25-28日)
- ◎[7] 岩澤英明, E. F. Schvier, 有田将司, 相浦義弘, 島田賢也, 生天目博文, 谷口雅樹:「HiSORにおける波長可変VUVレーザーを用いた高分解能 $\mu$ -ARPES装置の建設」日本物理学会2015年秋季大会, (関西大, 2015年9月25-28日)
- ◎[8] 山岡人志, 山本義哉, E. F. Schvier, 仲武昌史, 澤田正博, 櫻井裕也, 辻井直人, 有田将司, 島田賢也, 生天目博文, 谷口雅樹, 水木純一郎:「異常な磁気抵抗を示す $(Na_{1-x}Ca_x)Cr_2O_4$ の光電子分光, X線吸収分光, X線回折による電子構造と結晶構造の測定」日本物理学会2015年秋季大会, (関西大, 2015年9月25-28日)
- ◎[9] 岩澤英明, 宮本幸治, 奥田太一, 吉田良行, 長谷 泉, 木村昭夫, 生天目博文, 谷口雅樹, 相浦義弘:「 $Sr_2RuO_4$ のスピン分解ARPES」日本物理学会2015年秋季大会, (関西大, 2015年9月25-28日)
- ◎[10] 和田 徹, 植松直之, 石井克弥, 林 健人, 伊賀文俊, 桑原慶太郎, 佐藤桂輔, 佐藤 仁, 伊藤晋一, 横尾哲也, 井深壮史, 近藤晃弘, 金道浩一:「近藤半導体 $YbB_{12}$ のZr置換によるspin-charge自由度分離」日本物理学会2015年秋季大会, (関西大, 2015年9月25-28日)
- ◎[11] 多田野渉, 沢田正博, 松岡祥吾, 生天目博文, 谷口雅樹:「ハニカム構造単層膜にインターカレートされたFe原子の磁性」日本物理学会2015年秋季大会, (関西大, 9月25-28日)
- ◎[12] 長崎俊樹, 佐藤 仁, 田中博己, 末國晃一郎, A. Rousuli, 仲武昌史, G. Kutluk, 沢田正博, 高島敏郎, 生天目博文, 谷口雅樹:「光電子分光・吸収分光による $Cu_{12}Sb_4S_{13}$ の電子状態の研究」日本物理学会2015年秋季大会, (関西大, 2015年9月25-28日)
- ◎[13] 角田一樹, 朱 思源, 石田行章, 叶 茂, 田口一暁, 奥田太一, 生天目博文, 谷口雅樹, K. Kokh, O. Tereshchenko, 辛 埴, 木村昭夫:「トポロジカル絶縁体 $(Sb_{1-x}Bi_x)_2Te_3$ の時間分解光電子分光」日本物理学会2015年秋季大会, (関西大, 2015年9月25-28日)
- ◎[14] 奥田太一, 獅子堂達也, ヌルママット ムニサ, 角田一樹, 田口一暁, 木村昭夫, 生天目博文, 谷口雅樹:「バルクBi(110)の表面スピン電子状態」日本物理学会2015年秋季大会, (関西大, 2015年9月25-28日)

- ◎[15] 宮本幸治, H. Wortelen, H. Mirhosseini, 奥田太一, J. Henk, M. Donath : 「W(110)のディラック表面電子の軌道対称性に依存した電子スピン構造」 日本物理学会2015年秋季大会, (関西大, 2015年9月25-28日)
- ◎[16] 佐々木茂美, 宮本幸治, 宮本 篤, 許斐太郎, 山本尚人, 保坂将人, 黒田健太, N. Mirian, 加藤政博 : 「円偏光アンジュレータからの OAM 光干渉実験と解析」 第29回日本放射光学会年会・放射光科学合同シンポジウム, (三井ガーデンホテル柏の葉, 2016年1月9-11日)
- ◎[17] 角田一樹, 棗田 翼, 白井開渡, 黒田健太, 朱 思源, 宮本幸治, 奥田太一, 有田将司, 生天目博文, 谷口雅樹, 藤井 純, A. Varykhalov, O. Rader, E. V. Chulkov, V. Golyashov, K. A. Kokh, O. E. Tereshchenko, 木村昭夫 : 「トポロジカル絶縁体  $\text{PbBi}_4\text{Te}_4\text{S}_3$  のスピン偏極電子状態」 第29回日本放射光学会年会・放射光科学合同シンポジウム, (三井ガーデンホテル柏の葉, 2016年1月9-11日)
- ◎[18] 安齋太陽, 市木勝也, E. F. Schwier, 岩澤英明, 島田賢也, 生天目博文, 谷口雅樹, 光田暁弘, 和田裕文, 三村功次郎 : 「重い電子状態を示す  $\text{EuNi}_2\text{P}_2$  における偏光依存角度分解光電子分光」 第29回日本放射光学会年会・放射光科学合同シンポジウム, (三井ガーデンホテル柏の葉, 2016年1月9-11日)
- ◎[19] 有田将司, 佐藤 仁, 生天目博文, 谷口雅樹, 伊賀文俊 : 「 $\text{Yb}_{1-x}\text{Tm}_x\text{B}_6$  の角度分解光電子分光」 第29回日本放射光学会年会・放射光科学合同シンポジウム, (三井ガーデンホテル柏の葉, 2016年1月9-11日)
- ◎[20] 岩澤英明, E. F. Schwier, 有田将司, 相浦義弘, 島田賢也, 生天目博文, 谷口雅樹 : 「真空紫外レーザーを用いた高分解能  $\mu$ -ARPES」 第29回日本放射光学会年会・放射光科学合同シンポジウム, (三井ガーデンホテル柏の葉, 2016年1月9-11日)
- ◎[21] 長崎俊樹, 佐藤 仁, 田中博己, 末國晃一郎, A. Rousuli, 中村将吾, 仲武昌史, G. Kutluk, 澤田正博, 高島敏郎, 三村功次郎, 安齋太陽, 市木勝也, 上田茂典, 島田賢也, 生天目博文, 谷口雅樹 : 「光電子分光・吸収分光による  $\text{Cu}_{12}\text{Sb}_4\text{S}_{13}$  の電子状態の研究」 第29回日本放射光学会年会・放射光科学合同シンポジウム, (三井ガーデンホテル柏の葉, 2016年1月9-11日)
- ◎[22] A. Rousuli, 中村将吾, 佐藤 仁, 植田拓也, 松本裕司, 大原繁男, 長崎俊樹, 三村功次郎, 安齋太陽, 市木勝也, 上田茂典, 島田賢也, 生天目博文, 谷口雅樹 : 「近藤格子系  $\text{Yb}_2\text{Pt}_6\text{X}_{15}$  (X=Al, Ga) の硬 X 線光電子分光」 第29回日本放射光学会年会・放射光科学合同シンポジウム, (三井ガーデンホテル柏の葉, 2016年1月9-11日)
- ◎[23] 三村功次郎, 市木勝也, 安齋太陽, 播木 敦, 魚住孝幸, 佐藤 仁, 内海有希, 上田茂典, 光田暁弘, 和田裕文, 田口幸広, 島田賢也, 生天目博文, 谷口雅樹 : 「硬X線光電子分光による  $\text{EuNi}_2\text{P}_2$  の電子状態の研究」 第29回日本放射光学会年会・放射光科学合同シンポジウム, (三井ガーデンホテル柏の葉, 2016年1月9-11日)
- [24] H. Wortelen, 宮本幸治, H. Mirhosseini, J. Henk, A. B. Schmidt, M. Donath : 「W(110)の垂直入射電子のスピン偏極逆光電子分光」 第29回日本放射光学会年会・放射光科学合同シンポジウム, (三井ガーデンホテル柏の葉, 2016年1月9-11日)
- ◎[25] 小島耀平, 島田賢也, 永田偉士, E. F. Schwier, 岩澤英明, 鄭 明天, 堀家大希, 相浦義弘, 生天目博文, 谷口雅樹 : 「Ce単結晶薄膜の高分解能角度分解光電子分光」 第29回日本放射光学会年会・放射光科学合同シンポジウム, (三井ガーデンホテル柏の葉, 2016年1月9-11日)
- [26] 松尾光一, 榎 靖幸, 生天目博文, 谷口雅樹, 月向邦彦 : 「放射光円二色性・線二色性による生体膜と相互作用した蛋白質のコンフォメーション解析」 第29回日本放射光学会年会・

- 放射光科学合同シンポジウム, (三井ガーデンホテル柏の葉, 2016年1月9-11日)
- ◎[27] 田中慎一郎, 島田賢也, 岩澤英明, E. F. Schwier: 「可変偏光を用いた単層グラフェンにおけるディラックコーン光電子励起強度の偏光依存性の研究」第29回日本放射光学会年会・放射光科学合同シンポジウム, (三井ガーデンホテル柏の葉, 2016年1月9-11日)
- [28] 塚田千恵, 松尾光一, 野本豊和, 村井崇章, 家路豊成, 太田俊明, 行木啓記, 小川智史, 吉田朋子, 八木伸也: 「炭化水素鎖の異なる Phosphatidylcholine/AuNPとL-システインの吸着反応」第29回日本放射光学会年会・放射光科学合同シンポジウム, (三井ガーデンホテル柏の葉, 2016年1月9-11日)
- ◎[29] N. S. Mirian, M. Katoh, M. Hosaka, N. Yamamoto, T. Konomi, K. Kuroda, A. Miyamoto, K. Miyamoto, S. Sasaki: 「Fresnel and Fraunhofer Diffraction of Optical Vortex Beam from Helical Undulator」第29回日本放射光学会年会・放射光科学合同シンポジウム, (三井ガーデンホテル柏の葉, 2016年1月9-11日)
- ◎[30] 宮本幸治, 奥田太一, H. Wortelen, 木村昭夫, J. Henk, M. Donath: 「W(110)のディラック型表面状態の円偏光誘起されたスピン偏極度」日本物理学会第71回年次大会, (東北学院大, 2016年3月19-22日)
- [31] 奥田悠貴, 宮本幸治, 角田一樹, 田口一暁, 吉川智己, 奥田太一: 「Pb吸着によるIr(111)表面のスピン電子状態の変化」日本物理学会第71回年次大会, (東北学院大, 2016年3月19-22日)
- ◎[32] I. Tanabe, T. Komesu, E. F. Schwier, M. Gomez, L. Bartels, M. Zheng, Y. Kojima, A. V. Barinov, S. K. Balijepalli, V. Kandybad, K. Shimada, P. A. Dowben: 「Electronic structure of thin and bulk WSe<sub>2</sub> and WS<sub>2</sub>」日本物理学会第71回年次大会, (東北学院大, 2016年3月19-22日)
- ◎[33] T. Komesu, I. Tanabe, E. F. Schwier, Y. Kojima, M. Zheng, H. Iwasawa, K. Shimada, M. Taniguchi: 「Electronic Structure of WSe<sub>2</sub>; Influence of Na and Co Adsorption」日本物理学会第71回年次大会, (東北学院大, 2016年3月19-22日)
- ◎[34] A. Rousuli, 中村将吾, 佐藤 仁, 植田拓也, 松本祐司, 大原繁男, 長崎俊樹, 三村功次郎, 安斎太陽, 市木勝也, 上田茂典, 島田賢也, 生天目博文, 谷口雅樹: 「近藤格子系 Yb<sub>2</sub>Pt<sub>6</sub>X<sub>15</sub>(X=Al,Ga)の硬X線光電子分光」日本物理学会第71回年次大会, (東北学院大, 2016年3月19-22日)
- [35] 和田 徹, 植松直之, 石井克弥, 林 健人, 伊賀文俊, 桑原慶太郎, 佐藤桂輔, 佐藤 仁, 伊藤晋一, 横尾哲也, 井深壮史, 近藤晃弘, 金道浩一: 「近藤半導体YbB<sub>12</sub>のZr置換によるフェルミ準位チューニング」日本物理学会第71回年次大会, (東北学院大, 2016年3月19-22日)
- ◎[36] 長崎俊樹, 佐藤 仁, 田中博己, 末國晃一郎, A. Rousuli, 中村将吾, 仲武昌史, G. Kutluk, 沢田正博, 三村功次郎, 安斎太陽, 市木勝也, 上田茂典, 島田賢也, 高島敏郎, 生天目博文, 谷口雅樹: 「光電子分光・吸収分光による硫化銅鉍物Cu<sub>12</sub>Sb<sub>4</sub>S<sub>13</sub>の金属半導体転移の研究」日本物理学会第71回年次大会, (東北学院大, 2016年3月19-22日)
- ◎[37] 佐藤 仁, 長崎俊樹, 田中博己, 末國晃一郎, A. Rousuli, 中村将吾, 河村直己, 鄭 旭光, 藤井武則, 高島敏郎, 生天目博文, 谷口雅樹: 「Cu 2p-1s X線発光分光による硫化銅鉍物Cu<sub>12</sub>Sb<sub>4</sub>S<sub>13</sub>の金属半導体転移の研究」日本物理学会第71回年次大会, (東北学院大, 2016年3月19-22日)
- ◎[38] 佐々木茂美, 宮本幸治, 宮本 篤, 許斐太郎, 山本尚人, 保坂将人, 黒田健太, N. S. Mirian, 加藤政博: 「円偏光アンジュレータからのOAM光発生原理とその応用」日本物理学会第71

回年次大会, (東北学院大, 2016年3月19-22日)

- ◎[39] 三村功次郎, 市木勝也, 安齋太陽, 播木 敦, 魚住孝幸, 佐藤 仁, 上田茂典, 光田暁弘, 和田裕文, 田口幸広, 島田賢也, 生天目博文, 谷口雅樹: 「EuPt<sub>2</sub>Si<sub>2</sub>の硬X線光電子分光」日本物理学会第71回年次大会, (東北学院大, 2016年3月19-22日)
- ◎[40] 田口宗孝, 大門 寛, 山岡人志, 山本義哉, 澤田正博, 櫻井裕也, 辻井直人, 島田賢也, 水木純一郎: 「(Na,Ca)Cr<sub>2</sub>O<sub>4</sub>におけるCr 2p内殻X線吸収分光の理論解析」日本物理学会第71回年次大会, (東北学院大, 2016年3月19-22日)
- ◎[41] 保坂将人, N. S. Mirian, 加藤政博, 山本尚人, 許斐太郎, 黒田健太, 宮本 篤, 宮本幸治, 佐々木茂美: 「円偏光アンジュレータから発生する光渦の回折実験」日本物理学会第71回年次大会, (東北学院大, 2016年3月19-22日)
- ◎[42] 松尾光一, 生天目博文, 谷口雅樹, 月向邦彦: 「真空紫外円二色性分光法による単糖類の溶液構造と水和の研究」日本化学会第96回春季大会, (同志社大, 2016年3月24-27日)

#### 学生の学会発表実績

(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      | 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 | 12 件 |

(国際会議)

- |                            |     |
|----------------------------|-----|
| ○博士課程前期の学生が共同発表者の発表件数      | 3 件 |
| ○博士課程後期の学生が共同発表者の発表件数      | 2 件 |
| ○博士課程前期・後期の学生が共に共同発表者の発表件数 | 0 件 |

#### セミナー・講演会開催実績

(HiSORセミナー主催)

- [1] Christian Tusche (Max-Planck-Institut für Mikrostrukturphysik); “Spin-resolved momentum microscopy of strongly correlated electron systems and topological insulators”. July 21. 2015,
- [2] Babak Borhan (Michigan State University); “Progress in Absolute Stereochemical Determination of Organic Molecules via Exciton Coupled Circular Dichroism”. Sep. 4. 2015,
- [3] Babak Borhan (Michigan State University); “Lessons from Rhodopsin and Bacteriorhodopsin: Engineered protein/chromophore systems with unique spectroscopic properties”. Sep. 4. 2015,
- [4] Germán R. Castro (SpLine Spanish CRG BM25 Beamline at the ESRF, and Instituto de Ciencia de Materiales de Madrid-ICMM/CSIC); “Tailoring of Spin-Split Metallic Surface States of 2D Alloys and Compounds on Silicon”. Nov. 13. 2015
- [5] Alexander A. Saranin (Institute of Automation and Control Processes, Vladivostok, Russia); “Tailoring of Spin-Split Metallic Surface States of 2D Alloys and Compounds on Silicon”. Nov. 8. 2014,
- [6] 小池雅人(日本原子力研究開発機構 量子ビーム応用研究センター); “電子顕微鏡用軟X線分光器の開発と実用化”. Dec. 3. 2015,
- [7] Markus Donath (Physikalisches Institut, Westfälische Wilhelms-Universität Münster, Germany); “Putting a new spin on unoccupied electronic states”. Jan. 15. 2016,

(国際シンポジウム・ワークショップ主催)

[1] 第20回広島放射光国際シンポジウム (2015年3月10日-11日)

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)	3 件

社会活動・学外委員

(高大連携)

[1]	近畿大学附属広島中学校	146名 (2015年4月22日)
[2]	小山市立大谷北小学校	1名 (2015年8月6日)
[3]	三重県立松坂高等学校	3名 (2015年8月12日)
[4]	鳥取県立鳥取東高等学校	30名 (2015年9月18日)
[5]	広島県立広島国泰寺高等学校	60名 (2015年10月14日)
[6]	広島市立美鈴が丘高等学校	30名 (2015年10月16日)
[7]	岡山県立倉敷天城中学校	40名 (2015年10月22日)
[8]	岡山県立井原高等学校	23名 (2015年10月29日)
[9]	広島大学附属福山中学校	42名 (2015年10月30日)
[10]	広島大学附属中学校	15名 (2015年11月5日)
[11]	銀河学院中学校	55名 (2015年11月5日)
[12]	広島県立祇園北高等学校	42名 (2015年12月16日)

(海外機関の研修)

[1]	マレーシア Kuala Lumpur Technical High School	40名 (2015年6月11日)
[2]	ロシアトムスク教育大学, オレンブルグ国立大学, ノボシビルスク国立大学, バンドン大学	11名 (2015年8月7日)
[3]	フィリピン科学高等学校 (JSTさくらサイエンスプログラム)	10名 (2015年10月26日)
[4]	ひろしま国際センター研修部 (重慶市高校生及び教育関係者) (JSTさくらサイエンスプログラム)	27名 (2015年12月10日)
[5]	釜慶大学校	9名 (2016年1月15日)
[6]	長春理工大学 (JSTさくらサイエンスプログラム)	12名 (2016年3月9日)

(一般見学)

[1]	サウジアラビア Majmaah University 及び国立天文台	8名 (2015年4月10日)
[2]	ワイエス・ソリューションズ株式会社	3名 (2015年4月14日)
[3]	マイクロンメモリジャパン株式会社	8名 (2015年5月19日)
[4]	株式会社東芝	2名 (2015年5月27日)
[5]	北海道大学	2名 (2015年5月27日)
[6]	茨城県警察本部	3名 (2015年6月9日)
[7]	日本軽金属株式会社	2名 (2015年6月23日)
[8]	広島県警察本部	2名 (2015年6月17日)
[9]	マックスプランク研究所	2名 (2015年7月21日)
[10]	京都大学	2名 (2015年7月21日)
[11]	オープンキャンパス	104名 (2015年8月18日)

- [12] ひたちなか・東海行政連絡協議会 17名 (2015年 8月18日)
- [13] ローレンスバークレー国立研究所 2名 (2015年 9月 8日)
- [14] 科学技術振興機構 3名 (2015年 9月29日)
- [15] 平成27年度理学部・大学院理学研究科公開 80名 (2015年11月 7日)
- [16] 広島県立観音高等学校同窓会 4名 (2015年11月11日)
- [17] 日本原子力研究開発機構 1名 (2015年11月20日)
- [18] 国立大学財務・経営センター 4名 (2015年12月2日)
- [19] 近畿大学 1名 (2015年12月18日)
- [20] アルゴンヌ国立研究所 2名 (2016年 3月 9日)
- [21] 千葉大学 2名 (2016年 3月 9日)

(学協会委員)

- [1] 島田賢也 : International Workshop on Strong Correlations and Angle-Resolved Photoemission Spectroscopy (CORPES15), International program committee member.
- [2] 島田賢也 : 12<sup>th</sup> International Conference on Synchrotron Radiation Instrumentation (SRI 2015), Scientific Program Committee member.
- [3] 奥田太一 : 15<sup>th</sup> International Conference on Formation of the Semiconductor Interfaces (ICFSI-15), International Advisory and Program committee member (Co-chair) and Local organizing committee member
- [4] 奥田太一 : 日本表面科学会関西支部幹事
- [5] 奥田太一 : VUVSX利用者懇談会幹事
- [6] 松尾光一 : 15<sup>th</sup> International Conference on Chiroptical Spectroscopy, Executive Committee member.
- [7] 松尾光一 : Biomedical Spectroscopy and Imaging, Editorial Board Member.

(外部評価委員等)

- [1] 奥田太一 : SPring-8課題審査委員
- [2] 奥田太一 : PALM (Physics of Atoms, Light and Matter) evaluation committee
- [3] 生天目博文 : SPring-8の課題審査委員

(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] 奥田太一 : 日立製作所 共同研究
- [4] 奥田太一 : VGシエンタ株式会社 共同研究

国際共同研究・国際会議開催実績

(国際共同研究)

- [1] 「Symmetry dependent electronic structure of cobalt on WSe<sub>2</sub>」  
米須 尚, 他 3名 (米国・ネブラスカリンカーン大学)
- [2] 「Spin polarized and Symmetry dependent electronic structure of cobalt on WSe<sub>2</sub>」  
米須 尚, 他 3名 (米国・ネブラスカリンカーン大学)
- [3] 「Towards oxide-based spintronics: Study of spin-polarized states in 2D electron systems at the surface of transition-metal oxides」, Andrés F. Santander-Syro, 他 5名 (フランス・パリ＝スッド大学)

- [4] 「Revealing the semimetallic to semiconducting transition in atomically thin transition metal dichalcogenide」  
Shuyun Zhou, 他 4 名 (中国・清華大学)
- [5] 「Angle-resolved photoemission study of layered iridium ditelluride」  
Shuyun Zhou, 他 4 名 (中国・清華大学)
- [6] 「Angle-resolved photoemission spectroscopic studies of 3D Dirac semimetal」  
Shuyun Zhou, 他 3 名 (中国・清華大学)
- [7] 「XMCD study of magnetic proximity effect in Co (Ni) / Y<sub>3</sub>Fe<sub>5</sub>O<sub>12</sub> heterostructures」  
Sokolov Nikolai Semenovich, 他 4 名 (ロシア・ロシア科学アカデミー)
- [8] 「Resonance photoelectron spectroscopy of strongly spin-orbit coupled surface states」  
Hendrik Bentmann, 他 3 名 (ドイツ・ヴェルツブルク大学)
- [9] 「強磁性体Rashba効果をもつ酸素吸着Gdの電子スピン構造の観測」  
宮本 幸治 (ドイツ・ヴェストファーレン・ヴィルヘルム大学)
- [10] 「Novel spin texture in the Fermi arc surface states in a topological metal」  
Suyang Xu, 他 2 名 (米国・プリンストン大学)
- [11] 「Large topological band gap and first weak topological insulating phase in Bi<sub>4</sub>Br<sub>4</sub>」  
Suyang Xu, 他 2 名 (米国・プリンストン大学)
- [12] 「ARPES studies on the electronic structure of a new dilute ferromagnetic semiconductor with Curie temperature up to 230K」, Shaolong He, 他 2 名 (中国・中国科学院)
- [13] 「Spin-resolved study of a topological insulator superlattice at the 3D Dirac critical point」  
Madhab Neupane, 他 1 名 (米国・ロスアラモス国立研究所)
- [14] 「Search for novel topological surface states in mixed valence insulators RB<sub>6</sub> (R=Ca, Eu, and Gd)」  
Madhab Neupane, 他 1 名 (米国・ロスアラモス国立研究所)
- [15] 「Probing the electronic and magnetic states of the novel multiferroic SrMnO<sub>3</sub> thin films using X-ray dichroism」, Pu Yu, 他 3 名 (中国・清華大学)
- [16] 「Electronic structure studies on oxygen-concentration-controlled n-type HTSC, (Pr,La)<sub>1.85</sub>Ce<sub>0.15</sub>CuO<sub>4-δ</sub>」  
Changyoung Kim, 他 3 名 (韓国・延世大学校)
- [17] 「High-resolution ARPES studies of thickness-dependent band structure of bulk-insulating topological insulator (Bi<sub>1-x</sub>Sb<sub>x</sub>)<sub>2</sub>Te<sub>3</sub> thin films」, Rui Wu, 他 1 名 (中国・中国科学院)
- [18] 「Analysis of adsorption mechanisms of hydrogen sulfide onto mixture of coal ash and cement and steel slag」, Kyung-Hoi Kim, 他 6 名 (韓国・釜慶大学校)
- [19] 「Spin-polarization in the electronic structure of strongly correlated surface alloys」  
Hendrik Bentmann, 他 3 名 (ドイツ・ヴェルツブルク大学)
- [20] 「Inverse photoemission study of SmB<sub>6</sub>」  
Hyeong-Do Kim, 他 6 名 (韓国・基礎科学研究所)
- [21] 「Manipulating the spin polarization through hybridization effect」  
Chaoyu Chen, 他 2 名 (フランス・ソレイユ)
- [22] 「ARPES research of a possible Weyl semimetal material」  
Shaolong He, 他 3 名 (中国・中国科学院)
- [23] 「Spin texture of electronic states in ReS<sub>2</sub> and ReSe<sub>2</sub>」  
Markus Donath, 他 5 名 (ドイツ・ヴェストファーレン・ヴィルヘルム大学)
- [24] 「Investigation of the spin texture in trigonal Tellurium using spin-resolved ARPES」  
Mattia Mulazzi, 他 1 名 (ドイツ・フンボルト大学ベルリン)

#### 研究助成金の受入状況

- [1] 佐々木茂美 : 基盤研究 (C) (研究代表者)  
「シンクロトロン放射光の偏光・位相精密測定による光の軌道角運動量の解明」
- [2] 島田賢也 : 基盤研究 (C) (研究代表者)

- 「強相関希土類薄膜のフェルミ面および準粒子バンドの定量評価」
- [3] 佐藤 仁：基盤研究 (C) (研究代表者)  
「イッテルビウム系近藤格子の基底状態に関する普遍的な電子状態モデルの構築」
  - [4] 生天目博文：基盤研究 (C) (研究代表者)  
「電子構造の研究によるセリアナノ構造体の活性特性のメカニズムの解明」
  - [5] 有田将司：基盤研究 (C) (研究代表者)  
「トポロジカル近藤絶縁体：希土類六ホウ化物の表面ディラックコーンの電子状態の解明」
  - [6] Galif Kutluk：基盤研究 (C) (研究代表者)  
「その場観察による金属ナノ粒子の活性起因の解明および応用展開」
  - [7] 松尾光一：基盤研究 (C) (研究代表者)  
「放射光真空紫外円二色性によるタンパク質の高次構造解析と生体分子間相互作用の研究」
  - [8] 澤田正博：挑戦的萌芽研究 (研究代表者)  
「実用材料の可変環境場における軟X線磁気円二色性測定」
  - [9] 松尾光一：平成27年度 (第47回) 倉田奨励金  
「真空紫外円二色性分光を用いた水中における糖類の構造ダイナミクス観測法の開発」
  - [10] 生天目博文：株式会社マツダ  
研究課題：放射光による自動車用材料の分析
  - [11] 奥田太一：日立製作所  
研究課題：磁区観察用超低速電子線回折型スピン検出器の開発
  - [12] 奥田太一：VGシエンタ株式会社  
研究課題：VLEED型スピン検出器の性能向上のための研究
  - [13] 佐々木茂美：高エネルギー加速器研究機構大学等連携支援事業  
事業名：GPUを用いた高精度放射光計算コードの開発

その他特記すべき事項

(受賞)

- [1] 谷口雅樹：第72回中国文化賞 (中国新聞社) 平成27年11月3日
- [2] 小島耀平：学生発表賞, 第29回日本放射学会年会・放射光科学合同シンポジウム, 組織委員長, 平成28年1月18日

(特許)

- [1] 佐々木茂美, 宮本 篤：特許第5854518号「荷電粒子軌道制御装置, 荷電粒子加速器, 荷電粒子蓄積リング及び偏向電磁石」

## 2 物理科学科

### 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科学に関する教育を行う。物理科学科では，教育の理念を次のように定めている。

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

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

#### (1) 学士課程

学生の学習到達度や理解度に則した段階的な教育目標。

基礎知識から専門知識の習得を経て，応用・実践能力を培う。

#### (2) 学部修了時

学生の進路に応じて修得すべき目標。

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

### 2-2 学科の組織

物理科学科の学部教育を担当する教員は，理学研究科物理科学専攻の全教員（26名），先端物質科学研究科量子物質科学専攻の理学系教員（19名），および放射光科学研究センター（6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（物理科学科）併任に関する申合せ」を作成し，人事選考の過程で物理科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27年4月時点）

##### ・物理科学専攻

###### 教授

大川正典，小畠康史，杉立 徹，深澤泰司，黒岩芳弘，圓山 裕，木村昭夫，平谷篤也

###### 准教授

両角卓也，石川健一，山本一博，志垣賢太，中島伸夫，関谷徹司，森吉千佳子

###### 助教

岡部信広，本間謙輔，三好隆博，高橋弘充，大野雅功，馬込栄輔，石松直樹，和田真一，

吉田啓晃， Nuermaimaiti Munisai

##### ・放射光科学研究センター（併任）

###### 教授

- 生天目博文，島田賢也，佐々木茂美  
准教授  
佐藤 仁，奥田太一，澤田正博  
特任准教授  
井野明洋
- ・宇宙科学センター（併任）  
教授  
吉田道利  
准教授  
川端弘治，植村 誠，水野恒史
  - ・先端物質科学研究科  
教授  
嶋原 浩，世良正文，高島敏郎，鈴木孝至，岡本宏己，栗木雅夫  
准教授  
樋口克彦，松村 武，八木隆多，高橋 徹，檜垣浩之，鬼丸孝博  
助教  
田中 新，獅子堂達也，谷田博司，末國晃一郎，飯沼昌隆，伊藤清一，末國晃一郎，  
石井 勲

### 2-3 学科の学士課程教育

物理教育では、数学による解析的能力を養い、それを物理法則や基礎方程式に応用することが求められる。さらに広く物理学の概念を学び、基本的法則を通して物理現象を検証し理解する必要がある。したがって、学生には講義と演習と実験、結果の報告と発表を通じて、かなりの量の体系的かつ論理的な思考の展開が要求される。このような課程をスムーズに通過させ、入学時の期待と学習に対する熱意を持続させ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。

物理科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。

## アドミッション・ポリシーとその目標

物理科学科では、次のような人材の育成を目指している。

- 基礎学力を備え、科学的好奇心に富む、探求心や勉学意欲の強い人
- 科学的基礎知識と課題取り組みへの科学的思考法を学び、それを社会人として生かしたい人
- 物理科学の勉学を基に、広い意味での科学者として自らを磨くために将来、大学院に進学を希望する人。

これに対する学科のアドミッション・ポリシーでは、

- 自然に対する強い好奇心と深い探求心を持っている人
- 物理学と数学が得意で、将来、大学院に進んで研究者になりたいと考えている人
- 理科の科目以外に英語も得意で、国際的な研究プロジェクトに参加したいと考えている人の受入れを期待している。

## 学士課程教育の理念と達成のための具体策

物理科学科の教育理念

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

を達成するために、学士課程教育の目標が学部課程と学部修了時とに分けて設定されている。

### (1) 学士課程における目標

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) 初年次において初等物理学および数学的基礎を修得する。

(専門) 2, 3年次において、電磁気学, 熱力学, 量子力学, 統計力学等の現代物理学の基礎や専門実験を修得する。

(応用・実践) 最終年次においては、卒業研究等を通じて問題解決能力や成果のプレゼンテーション能力を修得する。

### (2) 学部修了時における目標

学生の進路に応じた4年間で修得すべき目標。

(総合性) さまざまな現象に潜む問題を発見し、その原理を論理的に理解する物理学的素養や問題を解決できる基盤的能力を培う。

(応用性) 産業界や教育界など社会の広い分野で活躍するのに必要な物理学的素養を応用する能力を培う。

(専門性) 大学院に進学し研究活動を行うのに必要な物理科学の基礎知識と手法開発能力を培う。

学科授業担当

平成27年度前期授業担当		
1 年次		
月	物理科学演習	檜垣・川端・本間
火	物理科学 I	八木
水	物理数学 A	中島(伸)
木	教養ゼミ	世良・杉立・深澤(泰)・木村(昭)・岡本・鈴木(孝)
2 年次		
水	力学 II	黒岩
木	熱力学	圓山
	物理数学 C	石川
	電磁気学演習	栗木・岡部・植村
金	電磁気学 I	高橋(徹)
3 年次		
火	量子力学演習	石川・佐藤(仁)・松村
	量子力学 II	樋口
水	統計力学 I	星野(公)
	物理科学実験 A	木村(昭)・森吉 他
木	物理数学 E	両角
	時空物理学 I	小鳶
金	物理科学実験 A	木村(昭)・森吉 他
4 年次		
木	粒子物理学 B	杉立
	固体物理学 II	松村
金	時空物理学 II	山本(一)

平成27年度後期授業担当		
1 年次		
水	力学演習	志垣・水野・奥田
	物理数学B	樋口
木	力学 I	岡本
金	物理科学 II	小嶋
2 年次		
火	結晶学	森吉
	物理数学D	山本(一)
	計算物理学	三好
	量子力学 I	大川
木	科学英語セミナー	圓山
	電磁気学 II	鬼丸
	電磁・量力演習	島田(賢)・檜垣・生天目
金	化学物理 A	平谷
	物理科学実験法	梅尾
	科学英語セミナー	圓山
3 年次		
火	化学物理 B	関谷
	物理科学英語演習	平谷
	粒子物理学 A	志垣
	宇宙天体物理学	深澤(泰)
水	統計力学 II	星野(公)
	物理科学実験 B	木村(昭)・森吉 他
木	量子力学 III	世良・両角
	固体物理学 I	井野
	先端物理科学	深澤(泰)
	連続体力学	鈴木(孝)
金	統計力学演習	獅子堂・澤田・田中(新)
	物理科学実験 B	木村(昭)・森吉 他

学士課程教育を推進するためには、学生の基礎学力を把握すると共に、多様な入学試験（AO-I型、前期日程、後期日程）を経て入学する学生の学力分布を知ることが不可欠である。そこで、平成18年度入学生から新入生テスト（数学、物理）を実施している。4月初旬に物理科学演習の授業の中で実施された新入生テストについて、担当教員が物理教員会の場で結果と分析を報告している。得られた情報を教員の共通理解とすると共に、学士課程教育に対する取り組みの検討指針としている。成績不振の学生にはチューターが指導している

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。新入生および在学学生に対するガイドン

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きていると考えられ、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「物理科学科ミニ懇談会」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、学年別に3回開催して出席者の増加を図った。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。

## 平成27年度入学生

	定員	志願者	入学者
AOI型	10	13	8
前期日程	36	80	408
後期日程	20	127	239
計	66	220	71

## 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。平成27年度の発表会では卒業生を3グループに分割し、3セッションで実施された。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	優秀賞受賞者数	卒業学生数	大学院進学者数
27	71	5	68	37
26	60	6	61	40
25	60	6	61	40
24	73	5	69	50
23	65	5	65	47

平成27年度の卒業論文発表会は、平成28年2月12日（金）に3つのグループで時間帯を分け、ショートオーラルが理学部E002講義室にて、ポスター発表がE203大会議室にて開催された。以下に、卒業論文発表題目を掲載する。

平成27年度

理学部・物理科学科 卒業論文発表会

平成28年 2月12日(金)

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
1 山根 千佳	超伝導の平均場理論
2 江坂 俊人	ハバードモデルにおける動的平均場近似
3 三根 健輔	ホイスラー合金 $\text{Cu}_2\text{MnAl}$ の $\text{Mn}, \text{Cu}$ - $K$ 吸収端XMCDスペクトルの圧力変化
4 山口 月	量子光学実験のための制御計測システムの構築
5 内野 翔太	グラフェンアンチドットのバリステック伝導におけるフェルミ面形状依存性の研究
6 江島 智博	アキラル分子系への円偏光照射による不斉アミノ酸の生成
7 大谷 悠	$\text{CeRu}_2\text{Al}_{10}$ の $\text{La}, \text{Rh}$ の置換効果
8 柿田 貴臣	定在波型加速管のビームローディング補正
9 黒部 太郎	電磁場下の系に対する第一原理計算手法の研究
10 下田 涼平	軟X線吸収分光法を用いたアセチルアセトン-マンガン(III)錯体の電子状態への溶媒効果の研究
11 永井 颯太	パルスレーザーアブレーションによる金ナノ粒子の作製
12 安部 太晴	光度曲線データを用いた線形判別による変光星の自動分類
13 安部 友啓	ペロブスカイト型強誘電体の電子分極とAサイト孤立電子対効果
14 石井 憲希	低速電子線回折による $\text{h-BN}/\text{Fe}/\text{Ni}(111)$ の表面構造の研究
15 石川 研太郎	量子偏光測定における系統的誤差の研究
16 市岡 勇也	準周期アンジュレータースペクトルのギャップ依存性に関する研究
17 乾 遥香	安息香酸分子の価電子励起状態からの内殻吸収スペクトルおよび価電子・内殻励起状態ポテンシャルの理論計算
18 内田 和海	小型衛星MIST搭載軌道放射線モニターCUBESの検出器開発
19 太田 裕也	時間に依存した電流密度汎関数理論とその交換関数エネルギー汎関数の総和則
20 大箸 妙子	場の理論によるコンプトン散乱の研究
21 岡本 聖樹	ブラックホール時空における波の伝搬と準固有振動
22 沖中 香里	高強度レーザー場における真空複屈折性検知にむけた $\gamma$ 線偏光波長計の開発
23 奥田 悠貴	$\text{Pb}$ 吸着による $\text{Ir}(111)$ 表面のスピン電子状態の変化
24 越智 大斗	層状化合物 $(\text{C}_3\text{H}_7\text{NH}_3)_2\text{CuCl}_4$ の結晶構造と誘電物性
25 小野 颯太	時間分解X線吸収分光によるチタン酸バリウム薄膜のパルス電場応答測定
26 片岡 真一	$\text{CeRu}_2\text{Al}_{10}$ の電子状態に対する $\text{Rh}$ 置換効果
27 門原 正剛	Unruh 効果, Hawking 輻射など真空からの粒子生成についての研究
28 門屋 寿樹	軟X線分光法で探る $\beta$ -ジカルボニル化合物の置換基・溶媒効果
29 仮屋 寛悟	超高速過渡吸収分光装置の構築とその評価
30 川村 現	線形ポルトラップにおける非線形共鳴の数値解析的研究
31 喜多 要介	$\text{TmTe}$ の圧力下電気抵抗測定と半導体金属転移
32 黒田 真未	PHENIX実験 $d+\text{Au}$ 衝突における $\omega, \phi$ 中間子の質量変化解析のモデル依存性と系統誤差評価
33 小林 智貴	ALICE実験前方検出器高度化による低質量 $\mu$ 粒子対測定精度の基礎評価
34 後藤 一希	真空紫外レーザーを用いた超高分解能角度分解光電子顕微分光装置の開発

- 35 後藤 真一 走査トンネル顕微鏡を用いたトポロジカル絶縁体 Vドーピング $\text{Sb}_2\text{Te}_3$ の局所電子状態の研究
- 36 下地 寛武 アクシオン星と中性子星の衝突による高速電波バースト
- 37 末永 拓磨 硫化銅鉍物テトラヘドライト $\text{Cu}_{12}\text{Sb}_4\text{S}_{13}$ のAg置換系の作製と物性研究
- 38 砂田 裕哉 擬立方晶構造をもつペロブスカイト型セラミックスの電場誘起巨大格子歪み
- 39 竹内 崇志 近藤半導体 $\text{CeT}_2\text{Al}_{10}$  ( $T = \text{Fe}, \text{Os}$ )の*c-f*混成に対する一軸圧力効果
- 40 竹澤 巧基 キラル対称性を持つ三方晶 $\text{DyNi}_3\text{Ga}_9$ の四極子相転移と磁場中相図
- 41 達川 瑠美 アンルー効果に関する理論的研究-調和振動子と相互作用する量子場の模型-
- 42 田中 晃司 ASTRO-H搭載SGDのBGOシールドを用いたガンマ線バースト観測能力の評価
- 43 田中 慎之 広がったTeVガンマ線源VERJ2019+368のX線観測による放射機構の研究
- 44 谷 直之 弱い重力レンズ解析によるMass-Concentration関係の評価
- 45 徳住 友稜 非調和振動子の経路積分を用いた摂動と非摂動的効果の研究
- 46 戸田 皓陽 Swift衛星の硬X線サーベイデータに基づくブレーザーの宇宙論的進化
- 47 中西 美恵 高分解能角度分解光電子分光によるトポロジカル絶縁体と金属薄膜の界面電子構造の研究
- 48 中村 将吾 光電子分光による近藤格子系 $\text{Yb}_2\text{Pt}_6\text{X}_{15}$ ( $X = \text{Ga}, \text{Al}$ )の電子状態の研究
- 49 橋國 克明 N型の高い熱電変換性能を持つ銅硫化物の創製
- 50 朴 景培 六方晶 $\text{PrRh}_3$ の結晶場効果と強磁性秩序
- 51 東島 成良 低出力レーザーを用いた非破壊的プラズマ計測システムの製作
- 52 平野 拓実 データ識別に用いる機械学習の理論
- 53 平原 大暉 磁気輸送特性による高易動度多層グラフェンの電子構造の解明
- 54 廣地 諄 高輝度赤色新星 M31 LRN 2015 の爆発前天体の観測的研究
- 55 本田 知宏 クォーク・グルーオン・プラズマ状態方程式を用いた相対論的流体シミュレーションの精度評価
- 56 松葉 政統 線形ポルトラップのための半導体出力型高周波電源の開発
- 57 松本 康宏 層状化合物 $(\text{C}_3\text{H}_7\text{NH}_3)_2\text{FeCl}_4$ の単結晶育成並びにその構造と物性
- 58 宮岡 敬太 Subaru/HSCサーベイ領域にある重量級銀河団のX線観測による質量推定
- 59 宮下 剛夫 Co置換銅酸化物高温超伝導体の高分解能角度分解光電子分光
- 60 宮園 大心 レーザー光共振器の開発
- 61 三好 克哉 Pr内包カゴ状化合物 $\text{PrRh}_2\text{Zn}_{20}$ の反強四極子秩序と超伝導転移に対する圧力効果
- 62 森 裕樹 かなた望遠鏡HONIR用新検出器読み出しシステムのノイズ改善に向けた研究
- 63 森田 悠 金属絶縁体相転移する $\text{Ti}_2\text{O}_3$ の精密構造解析
- 64 山崎 嵩斗 ALICE実験PHOS検出器による核子対当たり重心系エネルギー5.02TeV陽子+鉛衝突における中性 $\pi$ 中間子の検出手法
- 65 山中 雄貴 マルチフェロイック物質 $\text{BiFeO}_3$ - $\text{BaTiO}_3$ 混晶系の局所構造と電子状態の研究
- 66 山本 昇由  $\text{SmFe}_2\text{Al}_{10}$ の磁気・輸送特性
- 67 横山 溪 クラスレート化合物 $\text{Eu}_8\text{Ga}_{16}\text{Ge}_{30}$ のEu K吸収端EXAFS測定
- 68 吉川 智己 トポロジカル絶縁体 $\text{Bi}_2\text{Te}_3$ における表面光起電力効果とディラック電子ダイナミクス
- 69 吉川 雄吾 キラル磁性体 $\text{YbNi}_3\text{Al}_9$ の遷移金属置換効果
- 70 吉丸 利 ペニングトラップにおける電子プラズマの軸方向自動共鳴
- 71 渡壁 光太 自発共鳴型光蓄積共振器の開発

### 物理科学科就職情報

進 学：広島大学大学院博士課程前期 40，東京工業大学 2，名古屋大学 2，大阪大学 1

企 業：西日本旅客鉄道株式会社 1，中国電力株式会社 1，その他企業 7

その他：気象庁 1，国土交通省 1