

2019 年度 首都大学東京 理工学研究科

教育改革推進事業（理工 GP）

## 物理学における大学院教育のグローバル化



首都大学東京 理学研究科

物理学専攻

2020 年 3 月

実施責任者 理学研究科 物理学専攻 首藤 啓

## 目次

|               |   |
|---------------|---|
| はじめに          | 1 |
| 1 事業の概要       | 3 |
| 2 2019 年度実施報告 | 4 |
| 3 2019 年度会計報告 | 7 |
| 4 資料編         | 8 |

## はじめに

首都大学東京大学院理工学研究科の物理学専攻と分子物質化学専攻は、従来からの大学院教育の実績や研究・教育上の協力を基礎として、平成 17 年度～18 年度に文部科学省「魅力ある大学院教育」イニシアティブ事業、平成 19 年度～21 年度に文部科学省「大学院教育改革支援プログラム」（大学院 GP）をそれぞれ実施した。教育プログラム名称はそれぞれ「物理と化学の融合した視野の広い研究者育成」、「物理と化学に立脚し自立する国際的若手育成」であった。

これらの大学院 GP の主要な取組み内容は以下の通りである。

1. 大学院生の国際化：大学院生の国際会議派遣を支援すると共に、STINT（スウェーデン研究・高等教育国際協力財団）の国際共同大学院プログラムとタイアップし、4 大学持ち回りのサマースクールを開催した。また、科学英語講義および英語プレゼンテーション実習、海外語学研修も実施した。
2. 大学院生の自立的企画力の養成：提案型研究費の制度を充実させ、TA、RA を拡充し、教育・研究補助の経験を研究者育成に役立てた。中・高校生向けの講座において、大学院生が自立的に企画することを推進した。
3. 企業および社会と連携した大学院教育：内外の外部機関における研修を強く奨励し、連携大学院制度を拡充した。キャリアセミナー「企業における博士号取得者の可能性と活躍の場」を開催するなど、大学院生のキャリアパスの拡大を図った。
4. 専攻を越えた幅広い教育の実施：多角的な視野をもつ研究者を育成するため、両専攻にまたがる共通講義等、専攻横断型の教育制度の整備を行った。
5. 教育体制の一層の体系化：体系的な教育プランを明確にし、大学院教育における FD 活動を推進した。また、科学倫理に関する共通講義・セミナーを開催するなど、研究者倫理の教育指導を行った。

このような「魅力ある大学院教育」イニシアティブ、「大学院教育改革支援プログラム」を通じて 5 年間で多くの事業を実施した。アメリカ合衆国、フィンランド、イタリア、ドイツ、フランスを含む国内外の研究施設に延べ 22 名の大学院生が研修に訪れ、各々の研究を大きく推進させることができた。そして、延べ 42 名の大学院生が国際会議に派遣され、研究発表を行った。また、大学院生自らが提案した研究に対して審査を経て研究費の補助を行ったが、延べ 199 件の提案（半年ごとの研究計画）を採択した。また、4 大学国際サマースクールについては、平成 19 年にスウェーデンのイエテボリ大学で実施した第 1 回には本学から 4 名、平成 20 年に韓国のソウル国立大学で実施した第 2 回には 7 名、平成 21 年に本学で実施した第 3 回には 8 名の大学院生が参加した。

文部科学省の大学教育改革支援事業に採択された取組については、その補助期間が終了した後も、その間の成果や課題を踏まえ、自主的な取組として発展させていくことが求められた。それを受けて本学では、平成22年度より大学独自の事業として「首都大学東京教育改革推進事業」が設けられ、物理学専攻と分子物質化学専攻が合同で「物質科学における大学院教育の国際化の展開」という課題を提案し、採択された。予算規模は限られていたが、大学院生の国際会議派遣や国際共同大学院プログラムの継続実施に重点をおいた。平成22年8月にソウル国立大学の教員、大学院生を招いて第2回日韓セミナーを実施し、大学院生のポスター発表会等で交流を深めた。また、ノーベル物理学賞受賞者の益川敏英先生をお招きし、大学院生との交流会を企画すると共に、一般向けの講演会を開催した。

平成23年度以降は、理工学研究科の教育改革推進事業（理工GP）として、物理学専攻・分子物質化学専攻の共同大学院教育プログラム「物質科学における大学院教育のグローバル化」を実施し、広い視野を持ったグローバル社会に通用する大学院生を育てることを目標に協力体制を維持・強化している。それらの一環として、ノーベル賞受賞者の小林誠先生や鈴木章先生をお招きして講演会を実施し、先生方と大学院生との交流の機会を設けた。また、企業セミナーを随時開催して企業の方との接触の機会を持てるようにした。さらに、「首都大学東京教育改革推進事業」の「海外インターンシップ入門・体験」と連携して大学院生のグローバル化を図るとともに、国際会議派遣なども積極的に支援・推進した。平成27年度には、日本・アジア青少年サイエンス交流事業「さくらサイエンスプラン」と連携して国際シンポジウムを開催した。

平成28年度からは、限られた予算とマンパワーを活かすため、大学院生の研究力の向上に基づくグローバル化の推進に焦点を絞り、大学院生の国際研究集会派遣を事業の柱に据えて実施した。国際会議や研修の場で、自らの言葉で研究成果を発表できる機会を、意気込みのある大学院生に与えることを目指した。平成29年度においては、ノーベル物理学賞受賞者の梶田隆章先生をお招きして講演会を開催し、先生と大学院生らとの交流の場を設けた。

大学再編後の今年度から、理工学研究科教育改革推進事業として物理学専攻独自の大学院教育プログラム「物理学における大学院教育のグローバル化」を実施し、大学院教育のグローバル化の取り組みを継承するとともに、大学院博士後期課程への進学奨励や大学院生の企画立案力養成を目標とした新しい取り組みを行った。これからも新たな取り組みを進めていきたい。

2020年3月31日

## 1 事業の概要

平成 23 年度より理工学研究科独自の特色ある教育の取組を重点的に支援する「理工学研究科 GP 継続事業」が設けられ、それまでの国の大学教育改革支援事業、その後継である首都大学東京の独自事業の取組成果や課題を踏まえて、物理学専攻および分子物質化学専攻が共同で自主的な取組として発展させてきた。本事業は、今年度より物理学専攻が独自に継続・展開させていく。今後も、これまでのプログラムによって活性化してきた大学院生の国際化、自立的企画力の育成に向けた支援を行うが、事業主体および予算規模の縮小に応じて適切に継続、展開させていくこととする。大学院教育のグローバル化に特化した企画を中心に進め、大学院後期博士課程への進学奨励・大学院生の企画立案力養成を目標としたプラスアルファの企画を進める。

2019 年度の年度当初の実施計画は次の通りであった。

1. 大学院生が国際研究集会において自らの研究内容を英語で発表し、また、海外に滞在して研究を実施することを支援するために、大学院生を国際会議（国内開催も含む）・研修などへ派遣する。
2. これまで要望があっても予算の関係上希望に添えなかった、国際研究集会・若手向けサマースクールへの出席を奨励することにより、若手の大学院生に刺激を与え、彼らの研究意識の向上・大学院後期 博士課程への進学意欲の増大を目指す。
3. 大学院生にオープンラボ等のアウトリーチ活動を奨励し、大学院生の企画立案力を養成する。
4. ノーベル賞受賞者クラスの著名研究者の特別講演会を開催する。

## 2 2019 年度実施報告

### (1) 大学院生国際研究集会派遣

これまでの大学院教育改革プログラムで培って来たノウハウを活かし、大学院生国際研究集会派遣事業を継続して実施した。

今年度の募集は、5月～9月と10月～3月の2期に分けて行った。それぞれの募集に対し、選考小委員会を設けて、合計4名の審査委員（申請者と利害関係のない物理学専攻教授または准教授2名）が申請書を審査した。第1期の募集については5月30日に、また第2期の募集については11月12日に審査委員会を開催し、それぞれ選考小委員が議論して採択を決定した。審査においては、全予算枠、第1期と第2期の審査基準の公平性を考慮しながら採択件数を決定した。第1期は11件の応募があり、審査の結果4件を採択した。第2期については申請された3件の応募の中から審査の結果2件を採択した。残念ながら、そのうち、第1期の1名、第2期の1名については参加予定会議が新型コロナウイルスの影響で中止されたため、研究集会派遣が叶わなかった。それぞれの募集に対する申請件数、採択件数、実施件数を下表に示す。

|     |                         | 申請件数 | 採択件数 | 実施件数 |
|-----|-------------------------|------|------|------|
| 第1期 | 国際会議<br>(サマースクール等を含む)   | 10   | 3    | 2*   |
|     | 国外研修                    | 1    | 1    | 1    |
| 第2期 | 国際会議<br>(ウインタースクール等を含む) | 3    | 2    | 1*   |
|     | 国外研修                    | 0    | 0    | 0    |
| 合計  |                         | 14   | 6    | 4    |

\* 新型コロナウイルスの影響により派遣中止

審査においては、全予算枠、第1期と第2期の審査基準の公平性を考慮しながら採択件数を決定した（第1期の審査においては、過去の第1期と第2期の申請件数の比率を参考にしつつ、第2期の申請件数を予測しておく必要があり、判断が難しい）。第2期の申請件数は昨年同様少なく、申請された3件のうち2件を採択した。なお、第1期に申請があり採択した1件については、研修を主とした海外研究機関への派遣であった。また、他の1件は、国内開催の国際会

議派遣であった。採択者は会議派遣の終了後1ヶ月以内に報告書を提出することになっている。それらは資料編に収録した。

## (2) 大学院生の企画立案力の養成

本年度からの新しい取り組みとして、大学院生の企画立案力の養成を目指して11月に行われた大学祭（みやこ祭）において、大学院生が主催のイベントを行った。本年度は、大学院生10名が来場者に対して自らの研究をポスターで紹介し、また自らの大学院生活などを来場者に紹介するイベントを企画した。このイベントは大学祭期間中の11月4日に開催され、おおよそ100名程度の多くの来場者を集めて好評であった。このイベントを行った大学院生には良い経験になったと思う。

### 大学祭オープンラボの概要

ポスター発表題目：

梅谷翼 “太陽系外惑星系からのX線放射に関するChandra衛星を用いた研究”

中庭望 “X線観測データを用いた矮新星の質量降着率の研究とデータ取得に向けたX線望遠鏡の開発”

大村瑠美 “カイラル結晶構造を持つ超伝導物質の単結晶育成と異方的物性”

小島佳奈 “カルコゲナイド原子層における励起子光物性”

柳沢直也 “泡沫の協同的崩壊”

在原拓司 “T2K前置検出器改良のための光検出器校正装置の開発と性能評価”

酒谷瞭太郎 “SmPt<sub>2</sub>Si<sub>2</sub>における高純度単結晶育成と異常磁気秩序相の検証”

坪田椋 “SmPt<sub>2</sub>Si<sub>2</sub>における高純度単結晶育成と異常磁気秩序相の検証”

和田尚樹 “原子層物質を用いた薄膜LEDの作製”

安藤千里 “超伝導NbSe<sub>2</sub>薄膜の作製とその物性評価”

主催：首都大学東京 大学院理工学研究科・理学研究科 大学院生有志

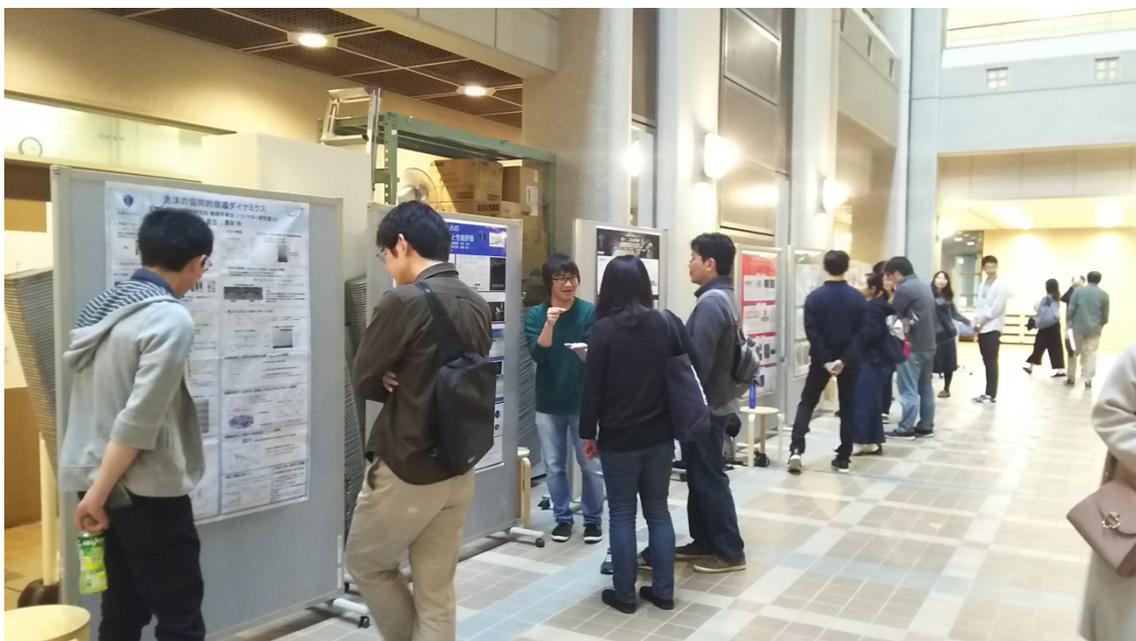
後援：2019年度 首都大学東京理工学研究科教育改革推進事業（理工GP）  
「物理学における大学院教育のグローバル化」

開催日時：2019年11月4日（月）11:00～16:00

場所：南大沢キャンパス 8号館アトリウム

来場者数：約100人

## 大学祭オープンラボでの研究発表の様子



### (3) 著名研究者の講演会・交流

本年度は物理教室談話会を兼ねて以下の講演会を実施した。

- ・日時 2019年10月31日(木) 16:30~18:00
- ・場所 11号館204号室
- ・講師 香取秀俊 教授 (東京大学大学院工学系研究科)
- ・題目 光格子時計：時空のゆがみを見る時計

香取氏はこの10年間に劇的な進歩を遂げた光格子時計開発で著名な研究者であり、講演では、高安定・高精度な新たな原子時計の可能性に関する興味深い話を聴くことができた。100名を超える参加者があり、講演終了後、学生を含め活発な質疑応答があった。

### 3 平成 30 年度会計報告

#### 収入

単位：千円

|   |                      |       |
|---|----------------------|-------|
| 1 | 理工学研究科 GP 継続事業費（教育費） | 1,000 |
| 2 | 理工学研究科大学院生学術会議派遣経費   | 500   |
|   | 合計                   | 1,500 |

#### 支出

単位：千円

|   |              |       |
|---|--------------|-------|
| 1 | 派遣事業による旅費    | 873   |
| 2 | 学生謝金（ポスター発表） | 110   |
| 3 | 物理教室談話会講演謝金  | 54    |
| 4 | 物理教育費への転用    | 463   |
|   | 合計           | 1,500 |

※新型コロナウイルス流行により出席予定会議中止のため  
必要経費が大幅に減り，残額を物理教育費に転用.

## 4 資料編

- A) 事業推進メンバー
- B) 大学院生国際会議・国外研修者一覧
- C) 大学院生国際会議派遣・国外研修等報告書

## 2019年度 事業推進メンバー

実施責任者

首藤 啓

取組実施代表者

首藤 啓

実施コアメンバー

安田 修（2019年度物理学専攻長）

ケトフ セルゲイ（派遣事業担当）

事務局

渡邊 早恵

大学院生派遣事業等専攻小委員会

第1期 首藤 啓、ケトフ セルゲイ

審査：首藤 啓、ケトフ セルゲイ

第2期 首藤 啓、ケトフ セルゲイ

審査：首藤 啓、青木勇二

## 2019年度 第1期 採択者(受付順)

### 国際会議参加 7件中2件採択

| 学生氏名   | 学年 | 担当教員  | 会議名  | 旅行日程                  | 開催場所         | 旅費支給額               |
|--------|----|-------|--|-----------------------|--------------|---------------------|
| 星 和久   | M1 | 水口 佳一 | APS March Meeting 2020 ※キャンセル  | 2020/3/1 ~ 2020/3/9   | デンバー(アメリカ)   | ¥77,781<br>(キャンセル料) |
| 西留 比呂幸 | M2 | 柳 和宏  | 20th International Conference on the Science and Application of Nanotubes and Low-dimensional Materials (NT19) | 2019/7/20 ~ 2019/7/28 | ヴェルツブルク(ドイツ) | ¥247,141            |

### 国内会議参加 3件中1件採択

| 学生氏名  | 学年 | 担当教員  | 会議名   | 旅行日程                  | 開催場所     | 旅費支給額   |
|-------|----|-------|---|-----------------------|----------|---------|
| 鈴木 浩平 | D3 | 服部 一匡 | International Conference on Strongly Correlated Electron Systems 2019 | 2019/9/23 ~ 2019/9/26 | 岡山市(岡山県) | ¥56,366 |

### 国外研修参加 1件中1件採択

| 学生氏名  | 学年 | 担当教員  | 会議名  | 旅行日程                   | 開催場所         | 旅費支給額    |
|-------|----|-------|--|------------------------|--------------|----------|
| 天野 大樹 | M2 | 兵藤 哲雄 | スウェーデン ウプサラ大学 オングストローム研修所 Stefan Leupold教授 | 2019/9/24 ~ 2019/10/10 | ウプサラ(スウェーデン) | ¥308,960 |

## 2019年度 第2期 採択者(受付順)

### 国際会議参加 3件中2件採択

| 学生氏名   | 学年 | 担当教員    | 会議名  | 旅行日程                  | 開催場所          | 旅費支給額               |
|--------|----|---------|--|-----------------------|---------------|---------------------|
| 石川 遼太郎 | M2 | ケフ セルゲイ | XXXII Workshop Beyond the Standard Model ※キャンセル          | 2020/3/15 ~ 2020/3/21 | バート・ホンネフ(ドイツ) | ¥17,860<br>(キャンセル料) |
| 伊師 大貴  | D1 | 江副 祐一郎  | 12th International Workshop on Astronomical X-Ray Optics | 2019/12/1 ~ 2019/12/8 | プラハ(チェコ)      | ¥164,882            |

※新型コロナウイルス流行による海外渡航自粛のため、2件がキャンセル

## 理学研究科 大学院生学術会議参加報告書

NO.1/2

首都大学東京 理学研究科 博士前期課程 2年 物理学専攻

報告者氏名 西留 比呂幸 印 学修番号 18844425

指導教員  
所属・氏名 理学部物理学専攻 柳 和宏 印

| No. | 項目               |  |
|-----|------------------|--|
| 1   | 参加会議名            | 20th International Conference on the Science and Application of Nanotubes and Low-dimensional Materials (NT19) |
| 2   | 主催団体の名称          | NT19 Organizing Committee  |
| 3   | 会議参加月日           | 2019年7月21日（日）～2019年7月26日（金）  |
| 4   | 旅行期間             | （出発日） （帰着日） （機中泊を除く。）<br>2019年7月20日（土）～2019年7月28日（日） 7泊9日  |
| 5   | 開催地<br>（国名及び都市名） | Würzburg, Germany  |
| 6   | 参加国数             | 31カ国   |
| 7   | 参加者数             | 418人   |
| 8   | 内容報告             | 下記及び別紙に記入のこと。<br>（今回参加する会議において、自己の役割・内容・成果等について具体的詳細にまとめて報告すること。）  |

## ■ 自己の役割

本学会参加において、報告者の役割として大きく三つのことを目標とした。

一つは報告者が行っている研究を多くの研究者に紹介することである。研究内容は高強度レーザーを用いた高次高調波発生である。この研究は従来バルク試料を用いて行われたため、低次元材料を扱う研究者にとってあまり身近でない研究であるように思われる。しかし、今後この高次高調波発生の研究発展のためには、低次元材料特有の表面積の大きさや対称性の破れなどの特性が必要不可欠になると期待されており、近年、実際にそれらを利用した研究が報告され始めている。そのため、低次元材料系を対象とした最大級の国際学会であるNT19で研究成果を報告し、関心を持ってもらうことは、さらなる研究分野の発展の上で重要だと考えた。

もう一つは報告者の研究内容のさらなる理解である。NT19では発表を通し、報告者が異なる分野の研究者との議論を行うことができる。これは、新たな視点から研究内容を評価してもらうことのできる貴重な経験である。この評価を通して、報告者の研究を新たな視点からとらえてみようと思った。

最後の一つは、報告者のスキルアップである。他の研究者の発表を聞くことで最先端の研究を知り、知識の幅を広げたい。また、報告者は英語で発表を行うことが少ないため、自分の英語力を試し、向上させることも目標とした。

## 理学研究科 大学院生学術会議参加報告書

NO.2/2

理学研究科 博士前期課程 2年 報告者氏名 西留 比呂幸

20th International Conference on the Science and Application of Nanotubes and Low-dimensional Materials (NT19)会議参加報告書

## ■内容・成果等

発表の際には、多くの研究者の方々に報告を行い、多くの研究者に高次高調波発生の研究成果を伝えることができた。実際に発表を行ってみると、言いたい内容が英語ですぐに言うことができず、しどろもどろになってしまうところもあったが、何とか内容を伝えきることができたと思っている。実際に、コメントで面白いと言ってもらったこともあった。特に、研究者の一人から「発表内容が良かったから、ポスター賞の候補としてあなたの発表に投票した」という旨のコメントをいただいた。結果として、ポスター賞を受賞することはできなかったが、つたない英語であったものの、しっかりと研究内容を伝えることができ、面白いと思ってもらえることができたと思う。

また、研究内容のさらなる理解という面では、申請者の理解が不十分である内容が分かった。本発表では実験だけでなく、新たに理論モデルを用意し、計算機を用いて計算を行い、理論的に背景を調査した結果も報告した。この結果は、定量的に振る舞いを再現し、さらに計算結果を通して振る舞いの物理背景を理解する取り組みを行った。しかし、発表を通して報告者は、計算結果の解釈が充分ではないところがあることが分かった。この分からない点は、今後の宿題として、さらに勉強し、理解していきたいと思う。

そして、スキルアップという面では、多くの経験と知識を、NT19を通して得ることができた。自身の発表に関して、英語での発表ということもあり、最初はもたつく点が多かったが、発表を繰り返すことで、かなり改善することができた。また、話し方だけでなく、申請者の発表内容もより良いものにすることができた。特に最初は英語で伝えることに気を取られるあまり、端的に話してしまい、表面的な成果の紹介に留まってしまった。だが、発表を繰り返すことで徐々に慣れてきたおかげで心に余裕ができ、途中からは観測した結果の何がユニークで、これがどう面白いのか、ということが伝わる様に意識して発表を行うことができるようになった。

また、他の研究者の発表では、いろいろと面白い内容を聞くことができた。例えば申請者が利用している光に近い周波数帯の光を試料に照射し、反射率を測定することで、試料のキャリア密度を調査することができるという報告があった。この内容自体は、報告者の研究には直結しないが、報告者はナノ材料のキャリア量を制御する技術を利用し、光学特性の変化を調べることを行っているため、興味深く感じた。他にもいくつも興味深い発表があり、多くの知識を得ることができた。

※帰国後1か月以内に、学部事務室に提出すること。

## 理学研究科 大学院生学術会議参加報告書

NO. 1/2

首都大学東京 理工学 研究科 博士後期 課程 3年 物理学 専攻

報告者氏名 鈴木浩平 印 学修番号 17979301

指導教員  
所属・氏名 服部 一匡 印

| No. | 項目               |   |
|-----|------------------|---|
| 1   | 参加会議名            | International Conference on Strongly Correlated Electron Systems 2019 |
| 2   | 主催団体の名称          | International Conference on Strongly Correlated Electron Systems 2019 |
| 3   | 会議参加月日           | 2019年9月23日（月）～2019年9月26日（木）   |
| 4   | 旅行期間             | (出発日) (帰着日) (機中泊を除く。)<br>2019年9月23日（月）～2019年9月26日（木） 3泊4日             |
| 5   | 開催地<br>(国名及び都市名) | 岡山県岡山市  |
| 6   | 参加国数             | 20ヶ国以上  |
| 7   | 参加者数             | 787人  |
| 8   | 内容報告             | 下記及び別紙に記入のこと。<br>(今回参加する会議において、自己の役割・内容・成果等について具体的詳細にまとめて報告すること。)     |

私は強磁性と超伝導の共存について理論的な観点から研究しており、強磁性超伝導体の一つであるURhGeで見られる磁場再突入超伝導に関連する研究成果を発表した。URhGeはIsing強磁性体であり、磁化困難軸に外部磁場を印加すると超伝導が一旦抑制されるが、高磁場領域で再び超伝導が現れる。この高磁場領域での超伝導は、NMRによるスピン-スピン緩和時間の測定から外部磁場により誘起された強磁性ゆらぎが引き起こしていると考えられている。私はURhGeの模型としてIsing異方性を持った一次元近藤格子模型を考え、これに磁場を印加した場合の超伝導相関について密度行列くりこみ群(DMRG)を用いて解析した。DMRGを用いることで近藤格子模型の基底状態をほとんど厳密に解析することができる。また、超伝導相関として、局在スピンとカップルしたcompositeな超伝導を考え、Ising異方性として局在スピン間のIsing相互作用および単一イオン異方性を持つ2つの場合で解析を行った。

解析の結果次のことが分かった。まず、超伝導相関は局在スピン間のIsing相互作用を持つ場合に横磁場を印加した場合にのみ誘起される。この超伝導相関は伝導電子の磁気モーメントがゼロになる付近で強くなり、伝導電子の磁氣的なゆらぎが超伝導相関を強めることが分かった。一方で、縦磁場を印加した場合は超伝導相関にenhanceが見られない。この結果はURhGeの実験結果と一致する。また、

## 理学研究科 大学院生学術会議参加報告書

NO. 2/2

理工学 研究科 博士後期 課程 3年 報告者氏名 鈴木浩平

International Conference on Strongly Correlated Electron Systems 2019 会議参加報告書

compositeなCooper pairとして、局在スピンの磁場方向成分とカップルしたCooper pairが現れることが分かった。伝導電子のスピン部分に関しては反強磁性的な近藤カップリングにより、磁場方向と反磁場方向の両方が現れており、横磁場と拮抗する領域で超伝導相関が強くなることが分かった。

一方で、単一イオン異方性を持つ場合は横磁場及び縦磁場を印加しても超伝導相関は誘起されず、Cooper pairが非常に多くの局在スピン成分とカップルすることから、compositeなCooper pairを同定することも非常に困難であった。超伝導相関が強くない理由の一つとして、単一イオン異方性を持つ局在スピンの大きさが $S=1$ であることが考えられ、局在スピンの中間状態の存在がスピンゆらぎを抑制していると考えられる。

上述の結果をポスター発表で多くの研究者と議論し、自分の研究成果を伝えることができた。また、共形場理論を用いたcritical exponentの解析など他の観点からのアプローチを議論することができ、今後の研究に大いに役立つことが期待される。また、多くの研究者の発表を聞き、特に強磁性超伝導を示すウラン化合物に関する最新の実験結果は、自分の研究対象に対する理解を深めることに役立った。実験の発表以外にも、DMRGやDMFTを利用している研究者と議論することで、理論的な解析手法についての知識を増やすことができた。特にDMRGに関しては技術的なことを聞くことができた。総括すると、自分の研究成果を多くの研究者に伝えることができ、また、専門分野の最新の研究成果を聞くことで、今後の自分の研究に役立つことが期待される。

※帰国後1か月以内に、学部事務室に提出すること。

参加証の写し等、参加を示す書類を別添として提出すること。

## 2019 年度(第 1 期)物理大学院 GP 大学院生研修報告書

理学研究科 修士課程 M2 年 物理学専攻

申請者氏名 天野大樹 印

指導教員所属氏名 兵藤哲雄 印

|   |   |   |
|---|---|---|
| 1 | 参加研修名                                     | 天野 大樹   |
| 2 | 研修機関または主催団体の名称<br>特定機関研修の場合は受け入れ責任者の職, 氏名 | ウプサラ大学 オングストローム研究所<br>Stefan Leupold 教授   |
| 3 | 研修地                                       | スウェーデン, ウプサラ  |
| 5 | 研修期間                                      | 2019 年 9 月 25 日 (水) ~ 2019 年 10 月 8 日 (火)   |
| 4 | 参加者概数                                     | 1   |
| 6 | 旅行期間                                      | 2019 年 9 月 24 日 (火) ~ 2019 年 10 月 10 日 (木) 15 泊 17 日<br>国外の場合は日本を出発する日~日本に帰着する日までを記入のこと |
| 7 | 内容報告                                      | 下記に記入のこと。(今回の研修等の成果を具体的にまとめて報告すること。)  |

## 1. 本研修の目的

本研修は筆者が学部 4 年時から行ってきたダイクォークに関する研究の妥当性を検証するために行われた。筆者は先行研究において、ダイクォークの存在と s クォーク, 反 ud ダイクォーク間の対称性を仮定し, ハドロン質量スペクトルから様々なハドロンの質量に対して予言を行ってきた。この対称性をより定量的に検証するため, 縮退するハドロンの崩壊過程を比較する。今回の研修ではアイデアを提供して頂いた Uppsala 大学の Stefan Leupold 教授と共に, 検討する**崩壊過程のモデルの設定**とそのモデルにおける **decay rate の計算**を目的とした。

## 2. 研修での成果

2 週間の研修の内, 最初の 1 週間でモデルの構築を行った。先行研究においては  $D_s$  メソンと  $\Lambda_c$  バリオンは縮退している。これらハドロンに対し s クォーク, ud ダイクォークをそれぞれ spectator とみなし, 崩壊過程をすべて c クォークに押し付けメソンとバリオンの違いを回避した。c クォークの decay では c が W と s に崩壊し, W が pion に崩壊する過程を, c が pion と s に崩壊する過程とみなし, これらをパラメータ 2 つでおいた。後半の一週間では, このモデルによって得られた Hamiltonian から行列要素を計算し, それをもとに decay rate を計算した。最初に非相対論的極限においての結果を計算し, 対称性におけるメソン, バリオン間における decay rate の sum rule を導くことに成功した。

## 3. 今後の展望

現在非相対論での結果は得られた。ここから相対論の場合, pion ではなく  $\rho$  メソンを放出する場合などを計算し, そこに対称性の破れを入れ, 実験値を再現するかどうかを検証する。

※研修終了後, 物理大学院 GP 事務 (物理学科事務室) に提出すること。

原則として, 参加証等, 参加を示す書類を別添として提出すること。

(例: 会議参加のネームプレート, 現地の昼食レシート等でも可)

令和 1 年度(第 2 期)物理大学院 GP 大学院生国際学術会議参加報告書  
NO.1/2

理学 研究科 博士後期 課程 (M・D) 1 年 物理学 専攻

申請者氏名ローマ字表記

(alphabet) DAIKI ISHI

申請者氏名

伊師 大貴

印

指導教員所属氏名

江副 祐一郎

印

|   |                        |  |
|---|------------------------|--|
| 1 | 参加国際会議名<br>(正式名称および通称) | 12th International Workshop on Astronomical X-Ray Optics<br>(AXRO 2019)  |
| 2 | 主催団体の名称                | Astronomical Institute, Czech Academy of Sciences<br>Faculty of Electrical Engineering, Czech Technical University on Prague |
| 3 | 開催地<br>(国名及び都市名)       | チェコ・プラハ  |
| 4 | 開催期間<br>(現地時間)         | 2019年12月2日(月)～2019年12月6日(金)  |
| 5 | 参加国概数                  | 約15ヶ国  |
| 6 | 参加者概数                  | 約50人   |
| 7 | 渡航期間                   | 2019年12月1日(日)～2019年12月8日(日)5泊8日<br>日本を出発する日～日本に到着する日までを記入すること  |
| 8 | 内容報告                   | 下記及び別紙に記入のこと。<br>(今回参加国際会議においての申請者の役割, 内容等について具体的かつ<br>詳細にまとめて報告すること。)   |

私は、チェコ・プラハで開催された 12th International Workshop on Astronomical X-Ray Optics (AXRO 2019) にて “Metal-coated MEMS X-ray optics using atomic layer deposition” という内容で口頭発表 (20 分) を行った。我々のグループでは、日本が世界をリードする Micro-Electro Mechanical Systems (MEMS) 技術を用いた超軽量 X 線望遠鏡を開発している。厚み 300  $\mu\text{m}$  の Si 基板に開けた幅 20  $\mu\text{m}$  の微細穴の側壁を X 線反射鏡 (約 45,000 枚) に利用する。ただし、Si は MEMS 技術で加工が容易な反面、Au 等の重金属と比べると X 線反射率が低い。そこで我々は、従来のスパッタ等では成膜が困難な微細穴の側壁に様に金属を膜付けできる新技術として、原子層堆積法 (Atomic Layer Deposition : ALD) を試してきた。重金属を含むガスと酸化ガスを交互に流し、純金属を膜付けする。これまで Ir と Pt で ALD 成膜を実証したが、どちらも成膜による反射面 (側壁) の表面粗さ悪化が課題であった (Ogawa et al. 2013 Appl. Opt., Takeuchi et al. 2018 Appl. Opt. Editor's Pick)。特に Pt の場合、X 線反射率 (Al K $\alpha$  1.49 keV) から見積もられる表面粗さが  $1.6 \pm 0.2 \text{ nm rms}$  から  $2.2 \pm 0.2 \text{ nm rms}$  と成膜前後で有意に増加している。我々が目標とする将来衛星ミッションには、軟 X 線 (<2 keV) に対して表面粗さ <2 nm rms が求められるため、表面粗さの改善は必須となる。

表面粗さの課題を解決するため、私は ALD 成膜の改良に取り組んできた。私は AFM 等の表面観察から Pt 成膜後の反射面に島状構造 (数 nm 程度) を見つけ、これは ALD サイクル初期段階の重金属または酸化ガスの表面反応不足が原因と考え、酸化ガスである O<sub>2</sub> 分子に O<sub>2</sub> プラズマを混合する新たな手法を試した。従来手法では、高温下 (200-300  $^{\circ}\text{C}$ ) で熱的に反応を促すが、プラズマを導入すれば、ラジカルの高い反応性を利用できる。一部成膜が不十分と課題であったが、チャンバー真空度及びガス流量を調整することで解決した。最終的に X 線反射率から成膜前後の表面粗さを  $1.2 \pm 0.6 \text{ nm rms}$  及び  $1.6 \pm 0.1 \text{ nm rms}$  と求め、誤差の範囲内で表面粗さ悪化を抑え、なおかつ将来衛星の目標値を達成することに成功した。

令和 1 年度(第 2 期)物理大学院 GP 大学院生国際学術会議参加報告書  
NO.2/2

理学 研究科 博士後期 課程 (M・D) 1 年 申請者氏名 伊師 大貴

## 12th International Workshop on Astronomical X-Ray Optics (AXRO2019) 会議参加報告書

一方、更なる改善・応用を見据えた場合、表面粗さ  $<1 \text{ nm rms}$  が望まれるため、私は元々の表面粗さが良い Si 基板鏡面 ( $<1 \text{ nm rms}$ ) に対する ALD 成膜を試した。同様に X 線反射率から Pt 成膜後の表面粗さを  $1.0 \pm 0.1 \text{ nm rms}$  と求め、元々の表面粗さを良くすれば、 $<1 \text{ nm rms}$  を達成できる見込みを得た。我々が Si 平滑化に利用する高温アニールの処理時間を伸ばせば、元々の表面粗さは解決できる。既にアニール処理時間を  $>100 \text{ hr}$  (通常  $1 \text{ hr}$  程度) に伸ばしたサンプルを試作済みであり、X 線反射率から表面粗さ  $<1 \text{ nm rms}$  を確認しているため、更なる改善・応用の可能性は十分に秘めている。

世界各国で開発されている宇宙 X 線望遠鏡には、ALD 等の成膜技術が必要不可欠であり、我々の開発・成果は重要な知見となる。本会議には、ESA 及び NASA をはじめとした世界をリードする X 線天文グループが多数集まるため、前述の結果をアピールするには、絶好の機会であった。口頭発表では、最近の開発・成果として軟 X 線領域の反射率に特化した重金属 (Co, Ni) 及び軽元素 (SiC/Pt, BN/Pt) 成膜に関する内容も紹介した。特に軽元素の成膜技術は ESA 主導の将来大型 X 線天文衛星 Athena 及び Bragg 反射を利用した多層膜 X 線反射鏡に応用できるため、世界各国で注目を浴びている。発表後には、多くの方々と質疑応答・議論を行い、我々の開発・成果を十分に発信した。また Maxim Markevitch 氏 (NASA) 及び Vincenzo Controneo 氏 (INAF) には、今後の進展に興味を持っていただき、有益な情報を共有することができた。最先端の研究者と接する機会をいただき、私個人としても貴重な経験となった。

最後に、本会議に参加するにあたり、ご支援頂いた「物理大学院 GP」及び物理事務室の方々に深く感謝申し上げます。

AXRO 2019 (<https://axro.cz>)

※帰国後、物理大学院 GP 事務 (物理学科事務室) に提出すること。  
原則として、参加証等、参加を示す書類を別添として提出すること。  
(例: 会議参加のネームプレート、現地の昼食レシート等でも可)