

令和 元年 12 月 2 日

若手研究者海外挑戦プログラム報告書

独立行政法人日本学術振興会 理事長 殿

受付番号 201980053

氏 名 細井 将史

(氏名は必ず自署すること)

若手研究者海外挑戦プログラムによる派遣を終了しましたので、下記のとおり報告いたします。
なお、下記記載の内容については相違ありません。

記

1. 派遣先: 都市名 トロント (国名 カナダ)
2. 研究課題名 (和文) : スピン軌道相互作用と電子相関が織りなす新奇量子相の開拓
3. 派遣期間: 令和 元年 6 月 2 日 ~ 令和 元年 11 月 28 日 (180 日間)
4. 受入機関名・部局名: トロント大学物理学科
5. 派遣先で従事した研究内容と研究状況 (1/2 ページ程度を目安に記入すること)

派遣先のトロント大学では、希土類パイロクロア化合物における量子スピン液体相の検出理論の提案に着手した。量子スピン液体は、従来の検出プローブでは特定が難しいことで知られている。しかし近年、磁場に対する結晶歪み(磁歪)を用いた先駆的な実験がなされ、新たなプローブとしての有用性が注目されている。そこで、我々は理論の立場から量子スピン液体相の磁歪を調べ、通常の秩序相における応答との違いを明らかにする試みを行った。さらに、希土類パイロクロア化合物においては、磁性を担う f 電子の性質により、低温で高次の多極子自由度が活性化することがある。実は、こうした高次の多極子が秩序相を形成することがあるが、これらも量子スピン液体相の場合と同様に検出に困難を伴う。本研究では、最終的に量子スピン液体相のみならず多極子秩序相も磁歪によって検出可能であることを指摘した。

滞在終了時点での研究状況は以下のとおりである。希土類パイロクロア化合物は、希土類イオンの種類に応じて結晶場基底状態に対して(i)Kramers, (ii)non-Kramers, (iii)dipole-octupole の 3 つの可能性が考えられる。(i) (ii)に関しては同一のスピンモデルから理解することができ、量子スピン液体相を含む考える全ての量子相に対して磁歪の磁場依存性を計算し、各相に特徴的なふるまいが見られることを明らかにした。計算はおおむね終了しており、この結果について論文として発表する準備をしている。(iii)に関しては現在計算を進めている最中であるが、方針は(i) (ii)の場合と同様であるので、近日中に結果を得ることが出来ると考えている。

6. 研究成果発表等の見通し及び今後の研究計画の方向性 (1/2 ページ程度を目安に記入すること)

結晶場基底状態が Kramers, non-Kramers の場合の解析結果は実験とよく整合することが明らかになった。そのため、現在実験と共同で論文を執筆している最中である。この成果に関しては、年内に発表できると見込んでいる。また、実験の説明に用いられる結果は今回理論的に扱った課題の一部であるため、さらに独立して理論のみの論文の執筆も進めている。こちらに関しては原稿は既に完成しており、実験との共同論文と同時期に投稿する予定である。それに加え、多極子物理に関する国内会議が帰国後すぐに予定されているため、そちらでの発表を行う。共同研究を行うことになった実験グループも参加する会議であるため、議論を詰めることが出来ると考えている。また、年度末に開催される日本物理学会年次大会、アメリカ物理学会 March meeting における発表も予定している。

基底状態が dipole-octupole の場合については、現在計算の途中であるが、おおよその結果は出そろっているため並行して論文を書き進めている。帰国後すぐに、偶然関連物質の実験に関する論文がプレプリントサーバーに掲載されており、我々の理論が適用可能であることが期待されるため関連分野に大きなインパクトを与えることが出来ると期待している。

今後の研究計画として、多極子秩序を検出する他のプローブの提案を考えている。最近の実験において、多極子秩序相の検出に電気伝導度の異方性を用いる方法が提案されている。しかしながら、理論的な議論にいくつかの問題点が存在しているため、それらの解消並びに他の多極子伝導系への拡張を考えている。この研究に関しては、帰国直前の 2 週間で議論していたものであり、まだ形になっていないが、今後も受入先と連携を取りながら最終的に発表できる形にしていくことを計画している。

7. 本プログラムに採用されたことで得られたこと (1/2 ページ程度を目安に記入すること)

本プログラムでは、共同研究のあり方について学ぶことが出来た。日本にいた際には、研究はほぼ単独で進め、ある程度まとまった成果が出た時点で研究室メンバーと議論を行うという形をとっていた。一方で、今回は受入先の学生と共同研究を行い、研究の指針について逐一議論しながら計算を分担し効率的に研究を進めることが出来た。また、受入教官の Yong-Baek Kim 教授は頻繁に院生居室を訪れ、進捗に関する議論をしてくださった。このような研究の進め方は私にとって新鮮であり、非常に良い経験となった。特に、毎日議論をしながら研究することで互いに理解が不十分なことを補い合うことが出来たり、それぞれが得意とする計算手法を組み合わせることで理論の補強を行ったりすることが出来たのは共同研究だからこそ得られた経験である。

さらに、受入機関のトロント大学では物性理論だけでも週 2 回 1 時間程度のセミナーが行われており、様々な見識を深めることが出来た。頻繁にセミナーがあることにより、自分の研究時間がとられたのは大変であったが、これまで興味を持ってこなかった分野にも自分の手法が適用できることを知れたことは有意義な経験であったと思う。帰国後、新たな研究テーマを模索するうえでの指針となれば幸いである。

私が最も成長したと自分自身で感じる点は、英語によるコミュニケーション能力の向上である。長期の海外滞在は今回が初めてであり、当初 1 ヶ月ほどは自分の伝えたいことが正確に伝えられず苦労したが、半年という期間を経て徐々にスムーズな議論を行うことが出来るようになった。このような言語的障壁の解消は、今後のキャリア形成を考えるうえでの大きな自信となった。このような機会を与えてくださった本プログラム、並びに受入先の Yong-Baek Kim グループのメンバーに感謝したい。