

MERIT 長期海外派遣報告書

派遣期間 2019/6/2~2019/11/28

理学系研究科物理学専攻
小形研究室 D1 細井將史

【概要】

筆者は、2019年6月2日より2019年11月28日までの間、カナダ・トロント大学の Yong Baek Kim 教授のグループに滞在し共同研究を行った。本稿は滞在中の研究内容並びに現地での生活について報告するものである。

【渡航の背景】

私は博士課程への進学にあたり、新たな研究テーマとして量子スピン液体に関連する理論に取り組みたいと考えていた。Kitaev によって可解模型が提案されて以降、理論・実験ともに量子スピン液体相の探索は物性物理学における中心的な課題の一つとなっている。トロント大学の物性理論グループは3つの研究室からなり、そのすべてで量子スピン液体の理論を主要テーマとして掲げている。それゆえ、学生・ポストドクはみなその分野に非常に詳しく、量子スピン液体の研究環境としては最適であると考えた。Yong Baek Kim グループには研究室 OB が数年前に滞在を経験していたこともあり、小形先生に紹介していただいた。

【研究内容】

滞在中は、希土類パイロクロア化合物を対象にして、幾何学的フラストレーションを持つ格子上で多極子モーメントが相互作用した場合に創発される「多極子スピン液体相」の検出理論を扱った。量子スピン液体の研究の難しさに、長距離秩序の欠如による検出の難しさがあげられる。他方、一見異なる概念であり自発的対称性の破れを伴う多極子秩序もまた、磁場との相互作用の欠如等を理由として検出が困難であることが知られている。そのような状況のもと近年、多極子秩序相の検出に関しては格子歪みの磁場応答（磁歪）を用いた方法が有効であるという理論が提案され注目を集めている。この成功を受け、我々は「では量子スピン液体相がフラストレートした多極子モーメントから創発される場合、同様に磁歪によって検出可能か？」という問いを思いつき、滞在中の研究テーマとした。

筆者ははじめに、希土類パイロクロア化合物を結晶場基底状態の対称性に依じて以下の3つのケースに分類した。(i) Kramers case, (ii) non-Kramers case, (iii) dipolar-octupolar case の3つである。このうち、高次の多極子モーメントが重要な役割を担うのは(ii), (iii)の場合であり、特に(ii)に関しては既に実験が行われていたことからこの場合に注目した。

次に、結晶の点群対称性と局在多極子モーメントの対称性を考慮し、多極子モーメント-格子相互作用を定式化した。さらにそこから磁場との相互作用を考え、磁歪の磁

場依存性を表す式の導出を行った。

最後に、得られた表式と有効スピン模型の古典解析結果および 32 サイトの厳密対角化を用いて磁歪の磁場依存性を計算した。その結果、量子スピン液体相が実現するパラメタ領域においてのみ、磁歪の磁場依存性に特徴的な振る舞いがみられることを見出した。これは、磁歪が量子スピン液体相の新たなプローブとしての有用性を示すものであると考えている。本研究成果は帰国後論文にまとめており、プレプリントサーバーarXiv に投稿済みである。

【現地での生活】

トロントはカナダ最大の都市であるが、東京と比較すると都市部は大きくなく落ち着いた暮らしをすることが出来た。また、移民の国であることを反映して街中には様々な人種の人であふれていた。レストランも、アフガニスタン料理やペルシャ料理など日本では目にすることの少ない店が多くあり、異文化をおおいに楽しむことが出来た。気候に関して夏は非常に快適であるが、冬の始まりが早く 11 月には-14 度の寒さを経験した。

Yong Baek Kim 教授のグループは私の所属する小形研究室と比較して学生数が少なく、小規模であった。その分、他研究室の学生同士の交流が活発で、研究に関して議論できる環境は整っていたように思う。半年間の滞在中はメンバーと卓球やスケートをするなど、研究以外の時間も楽しく過ごすことが出来た。今後、様々な研究会で会うことを楽しみにしている。

休日には、周辺の観光地を巡る機会にも恵まれた。特に、トロント市内からバスで 1 時間半のところにある世界三大瀑布の一つであるナイアガラの滝の壮大な景色には感動を覚えた。また、トロントから 500km 程離れた首都オタワにも足を延ばしそこに住む友人に会うこともできた。半年あるとおおよその観光地を回りきることが出来たので、非常に満足している。

【謝辞】

この度滞在を受け入れてくださった Yong Baek Kim 教授、共同研究を行った学生の Adarsh Patri 氏とメンバーの皆様、滞在先を紹介してくださった小形先生に感謝申し上げます。また、本滞在は日本学術振興会による若手海外挑戦プログラムから経済的な支援を受けました。感謝いたします。

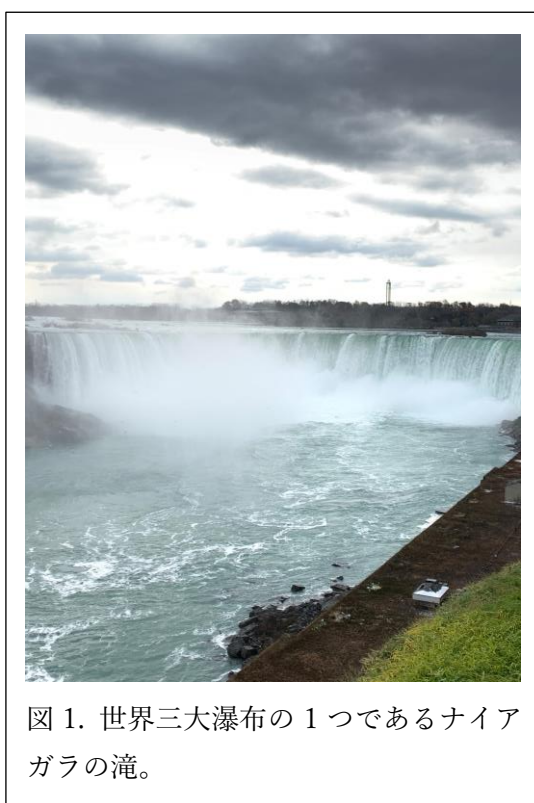


図 1. 世界三大瀑布の 1 つであるナイアガラの滝。