

令和 1年 5月 20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 201880055

氏名 山田昌彦

(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 ボストン (国名 米国)
2. 研究課題名 (和文) : トポロジカル結晶スピン液体の理論提案とその物質設計
3. 派遣期間 : 平成 30年 10月 22日 ~ 平成 31年 4月 20日 (181日間)
4. 受入機関名・部局名 : マサチューセッツ工科大学・物理学専攻
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)

今回派遣先で従事した研究内容は3つある。1つは研究課題とした「トポロジカル結晶スピン液体の理論提案とその物質設計」である。またそれとは別に、受け入れ先の Liang Fu 准教授が受け入れ時に特に集中して取り組んでいた「ひねり二層グラフェン」の理論研究も、グループに参加している間に並行して取り組んだ。最後に、日本の研究室での研究で派遣中も引き続き取り組んだ「量子スピン双極子液体」の研究もマサチューセッツ工科大学において進めることとなった。

最初のトポロジカル結晶スピン液体に関しては、Fu 准教授の指示のほか、ポスドクの Hoi Chun Po 博士、Dominic V. Else 博士らと協力し、ポスドク二人との議論に研究の大部分を費やした。「物質設計」には取り組むことができなかつたものの、「理論提案」の部分においては成果を上げることができ、三次元のキタエフ模型において実現している symmetry-enriched topological (SET) 相の分類理論を Po 博士・Else 博士とともに提案し、研究計画の前半部分について大きな成果を上げることができた。

また、派遣先において Fu 准教授の指示の下、「ひねり二層グラフェン」の研究にも従事し、特に「ひねり二層グラフェン」を理想化した模型の一つである SU(4) ハバード模型について一定の研究成果を上げた。密度行列くりこみ群の数値計算で明らかになったスピン・軌道密度波状態のミクロな描像を新たに提案し、それによりハバード模型の金属絶縁体転移が説明できることを明らかにした。

最後に、これらの研究の合間の時間に日本での研究を進め、すでにほぼ完成していた「量子スピン双極子液体」の研究の論文を執筆し、Physical Review Letters 誌に投稿した他、アメリカ物理学年会 (ボストン) で発表し、日本での研究にも一定の成果を上げた。

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)

「量子スピン双極子液体」の研究についてはすでに投稿・発表済みなので、派遣先で従事した「トポロジカル結晶スピン液体」の研究、および、「ひねり二層グラフェン」の研究についてのみ言及する。

「トポロジカル結晶スピン液体」に関しては、派遣先において研究の前半部について成果を上げたものの（物質設計を含む）残りの部分についてははつきりとした成果が得られていない。そのため、現時点では論文として発表するには成果が不十分と考えており、日本におけるさらなる研究の発展が必要である。幸い、コンピューターさえあればできる理論研究であるため、派遣先から帰国後も研究を続けることができ、帰国後の半年間で成果として発表可能な形に研究をまとめることを計画している。私が「トポロジカル結晶スピン液体」と名付けたギャップフル相がSET相であることを派遣先のポスドクらとともに明らかにし、抽象的なSET相の理論を構築したが、具体的にSET相の性質を明らかにするためには重要な分数励起を特定し、その励起が系の対称性をどのように分数化しているか明らかにする必要がある。この部分、及び、その後の物質設計を帰国後行う計画であり、これにより始めて研究計画が完遂すると考えている。

「ひねり二層グラフェン」については研究計画執筆時には特に指示がなく、派遣先において計画を立てて新奇に始めた研究である。しかし、すでに一定の成果を上げている研究である以上発表可能な形で研究を整理し、論文とすることが望ましいと考えている。この研究を発表するまでの障害の一つは「密度行列くりこみ群の数値計算で明らかになったスピン・軌道密度波状態」を数値計算等信頼できる方法で再現するのが難しく、理論としては完成しているものの、細かい部分で整合を取り必要ながある。このため、帰国後ハートリー・フォック法などの手軽な数値計算で提案したスピン・軌道密度波状態を再現することを目指し、その後これらの結果と合わせて、一つの成果としてまとめて発表する計画である。

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)

本プログラムで学んだことの一つは日本と米国の研究の進め方・研究環境の違いである。日本において多くの場合、研究室の中で研究を進める中心となるのは学生であり、学生と教授・助教が議論しながらトップダウン的に行うことが多い。一方で、派遣先のマサチューセッツ工科大学においては多数のポスドクがおり、研究室内に学生と同じくらいの人数のポスドクがいる。そのため、多くの研究において学生とポスドクがチームを組んで研究を行うこととなり、研究の大部分はポスドクと議論しながら進めていくことになる。これにより教授・准教授と議論する機会は減ってしまうが、もともと教授が学生に避けるリソースは大きくなく、一方で人数の多いポスドクのリソースが余っているため、この点では米国の方が合理的であると言える。また、ポスドクとの議論は教授との議論と同じように刺激になることが多く、ポスドクの質の高さがアメリカの研究力を支えていることを実感した。

一方で、米国の学生は日本の学生と比較して圧倒的に忙しい。自分はvisiting studentという立場だったので授業等の義務はなく研究に集中することができたが、同僚の学生や他の日本人留学生を見ると、皆授業や課題、TAなどの業務、qualと呼ばれる試験に追わされており、なかなか研究に集中できない学生を見ることが多かった。このような「学生が研究に集中できる環境」については日本の方が優れていると感じることも多く、学生が研究室の主力となる日本と、ポスドクが研究室の主力となる米国で文化と研究の進め方の違いを実感することとなった。この点で本プログラムを用いてvisiting studentとして米国に派遣されたことができたのは幸いであり、研究に集中しつつ、なおかつ、学生の立場で新たな研究手法を学ぶことができたので、非常に良い機会となった。