

平成 31 年 2 月 26 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 201880113

氏名 佐藤 雄貴

(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 バークレー (国名 アメリカ)
2. 研究課題名 (和文) : トポロジカル相における新規電子状態の探求
3. 派遣期間 : 平成 30 年 8 月 1 日 ~ 平成 31 年 1 月 31 日 (184 日間)
4. 受入機関名・部局名 : カリフォルニア大学 バークレー校
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)

派遣先のカリフォルニア大学バークレー校では、トポロジカル近藤絶縁体 YbB_{12} の電子状態の解説を目的とした実験的研究を行った。トポロジカル絶縁体は電子状態の非自明なトポロジーによって特徴づけられる新しい物質群であり、バルクは絶縁体である一方で、その表面では伝導電子が散逸なく流れるという特徴をもつ。この中でも近藤効果によるバンド形成を起因としたものはトポロジカル近藤絶縁体と呼ばれる。近年これらの候補物質である SmB_6 と YbB_{12} において、通常金属でしか観測されないはずの量子振動が観測され、その起源について大きな注目が集まっている。この問題を解決する上で最も重要なのは、この量子振動がバルクに起因するものなのか、あるいは表面状態に起因するもののかを特定することである。そのためには両者が電気伝導度に寄与する割合を制御することによって、量子振動がどのように変化するかを系統的に調べる必要がある。派遣先であるカリフォルニア大学バークレー校の James Analytis グループは、集中イオンビーム (FIB) 法を用いたマイクロスケールの試料加工技術を利用した実験において多くの実績を持つ研究室である。まず FIB 法を YbB_{12} に施すことによって、異なる厚みを持った様々な試料を作成し、最小で 0.6 ミクロンまでの薄さのデバイスを加工することに成功した。その結果、残留電気抵抗率が全ての試料において試料の厚さに比例することから、 YbB_{12} において 2 次元的な伝導電子が存在することを明らかにした。この内の最小のデバイスでは、電気伝導度に占めるバルクの寄与が元の試料の 1/1000 程度まで抑制されており、表面状態のみの寄与を観測することが可能となった。さらに量子振動を検証すべく、Los Alamos 国立研究所において高磁場輸送特性を調べた。その結果、作成したデバイスでは量子振動が観測されないことが分かった。このことによって YbB_{12} において観測された量子振動が、絶縁的なバルクに起因しているということが明らかとなった。

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)

本派遣によって得られた研究成果は、大きく次の二つである。

1. YbB₁₂の残留電気抵抗率は試料厚さに比例することから、系に2次元的な伝導電子が存在することを明らかにした。このことはYbB₁₂がトポロジカル絶縁体であるとする実験的な証拠の一つである。
2. 微細加工したデバイスにおいては量子振動が観測されなかった。このことから、この系における量子振動がバルクに起因する物理現象であることが明らかになった。

1 の結果については、歴史的には SmB₆ が最初のトポロジカル近藤絶縁体として提唱され、この物質においては同様の先行研究が存在するが、YbB₁₂ においては最初の報告となる。特に観測された量子振動の特性について、SmB₆ と YbB₁₂ ではいくつかの相違点が見られており、両者の比較はこれらの起源を探るうえで不可欠といえる。現在この内容に関する論文を準備しており、また日本物理学会およびアメリカ物理学会において口頭発表を行う予定である。

また 2 の結果については、量子振動の起源がバルクなのか、あるいは表面なのかという最も議論が割れている問題について明確な回答を与えたという点で重要な成果と言える。一方で、高磁場施設のマシンタイムの都合、用意した全てのデバイスにおいて予定していた輸送実験をすべて終えることが出来なかつた。そのため本成果を発表する前に、今後さらに検証を進める必要があると考えている。まずは用意した別のデバイスでも測定を進め、実験の再現性や厚さの依存性などを詳しく調べる予定である。

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)

派遣先の James Analytis グループでは、FIB 法による微細加工のノウハウを教えていただいた。そしてこの技術を YbB₁₂ に適用することにより、電気伝導度に占める表面・バルク比を任意に制御することができるようになった。上で上げたような研究成果を得ることができたのは、滞在先でこのようなデバイスの作成ができたおかげである。また今回の滞在で習得したことによって、今後本研究での対象物質以外においても、薄膜試料の作成が確立されていない物質において、表面状態に着目した輸送測定を可能とすることができるようになった。

また滞在中を通して多くの研究者、大学院生などとセミナー等を通して意見交換、議論することができた。英語によるコミュニケーションは派遣開始当初かなり苦労したが、半年という長期間にわたってアメリカに滞在することによって徐々に克服することができた。海外の研究者とも対等に意見交換できたという経験は、今後研究者としてのキャリアを進んでいくうえで大きな自信になると思う。また宿泊していたシェアハウスでは、世界中の様々な国から来た学生と交流することができた。様々な背景をもつ人と英語を通してコミュニケーションをとることで、未知の文化や価値観に触れることができ、多くの発見があったことも今回のプログラムに採用されたことで得られたことである。このような貴重な機会を与えてくださった日本学術振興会、および共同研究を快く引き受けてくださった James Analytis 教授に深く感謝申し上げたい。