

令和 2 年 8 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 201980115

氏 名 村山陽奈子

(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 アメリカ合衆国)
2. 研究課題名 (和文) : ディラック半金属における新奇トポロジカル物性の探索
3. 派遣期間: 令和 1 年 9 月 1 日 ~ 令和 1 年 8 月 17 日 (352 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)

ディラック半金属は、トポロジカルに自明な絶縁体と非自明な絶縁体の相転移点に相当するバンド構造をもつことから、圧力や不純物ドーピングなどによってトポロジカル絶縁体へ転移すると考えられている。さらにディラック半金属はトポロジカル絶縁体以外のトポロジカル相にも転移すると考えられており、その一つであるトポロジカル超伝導相ではマヨラナゼロモードと呼ばれる特殊な励起状態の観測が期待されている。しかし、既存のトポロジカル超伝導候補物質は、圧力下やポイントコンタクト誘起などの発現条件により適応可能な実験が非常に限られるものや、強相関係で複雑な相互作用があり議論が紛糾しているものなど、いまひとつ理解が進んでいないものばかりである。

近年、数値計算により高対称点にディラック点をもつ物質が調べられ、数多くのディラック半金属候補物質が提案された[1-3]。その中から、すでに常圧下での超伝導転移が報告されている物質に着目した。この物質の超伝導相についてはほとんど調べられていなく、さらに合成例についても 0.1 mm 程度の非常に小さい結晶しか報告されていないため、輸送測定が可能な大きさの結晶を合成し、詳細な測定をすることでトポロジカル超伝導の性質を明らかにできるのではないかと考えている。本プログラムではとくに結晶の合成に取り組み、1-2 mm の結晶を得ることに成功した。

[1]T. Zhang, *et al.*, Nature **566**, 475-479 (2019).

[2]M. G. Vergniory, *et al.*, Nature **566**, 480-485 (2019).

[3]F. Tang, *et al.*, Nature **566**, 486-489 (2019).

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)

本プログラムで合成した単結晶を持ち帰り、帰国後は結晶純度の向上と極低温輸送測定を行う。測定結果が揃い次第、論文にまとめる。

結晶合成には本プログラムで初めて取り組み、非常に面白いと思ったが、物性測定と比較するとプロジェクトの遂行に時間がかかるのでその点を克服する必要があると感じた。その要因の一つとして、先行研究が少ないという点が挙げられる。これまで注目されてこなかった結晶を新たに合成しようとする場合、そのバンド構造さえ明らかになっていない場合が多く、物性を理解するのに時間がかかる。そのため、本プログラムでは目的物質の DFT 計算にも取り組んだ。近年では DFT 計算用のプログラムが多数公開されており、数値計算に詳しくない実験家でも試験的に行うには十分な環境がある。特にトポロジカル物性を調べるうえで、物質のバンド構造を理解することは不可欠である。今後はより難しい計算にも取り組んでいきたい。

さらに、大きなサイズの結晶を得るにはより長い合成時間がかかるのも、プロジェクトの遂行を遅らせる要因の一つである。微細加工技術を習得することで、小さい結晶でも輸送測定を行ってフィードバックを得られるようにしたい。これは本プログラムで取り組んでいる物質にも役立つと考えている。得られた結晶は針状でホール抵抗を測定することが困難なため、FIB 加工による端子付けによって測定が可能になると考えている。

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)

近年トポロジカル物質が注目され、世界的に多くの研究者が取り組んでいるが、トポロジカル物質の合成に取り組んでいるグループは日本ではまだ多くない。そのような中で、トポロジカル物質の合成に精力的に取り組んできた Checkelsky グループに滞在し、研究の進め方を学ぶことができたのは貴重な体験だった。Checkelsky 准教授は、結晶合成に取り組み始める前から毎週のようにディスカッションの時間を設けてくれ、研究を進める上で何を考えるべきか、細かく指導していただいた。

また、Checkelsky グループでは合成だけでなく物性測定にも力を入れている。近年、ワンクリックで温度や磁場をコントロールできるような、装置とソフトウェアが一体化した製品が企業によって多く開発されており、測定技術やノウハウのないグループでも基本的な物性測定ができるようになってきている。Checkelsky グループではそのような装置を積極的に利用しており、結晶合成に取り組むと同時に様々な物性測定を行っていた。さらに、MIT はトポロジカル物性の研究の中心地の一つであり、理論と実験の複数のグループで日頃から積極的な共同研究を進めており、多くのプロジェクトは近隣のグループ内で完結していた。今後このような研究スタイルをもつグループが増えれば、他のグループからの試料提供を受ける研究スタイルでは、最先端の研究に参入するのが難しいのではないかと思い、今後も結晶合成に取り組もうと思った。

また、本プログラムでの遂行期間には、火事と新型コロナウイルスの流行で短くない期間、ラボが閉鎖されてしまった。当初は実験ができなければ研究が進められないと思い非常に困惑したが、滞在先の Checkelsky グループでは数値計算や装置設計など、新しいことに挑戦する機会として活動しており、それが良い刺激になった。また、Checkelsky 准教授のこのような困難な時期におけるリーダーとしてのふるまいには学ぶべきところが多かった。