

## 若手励起プログラム報告

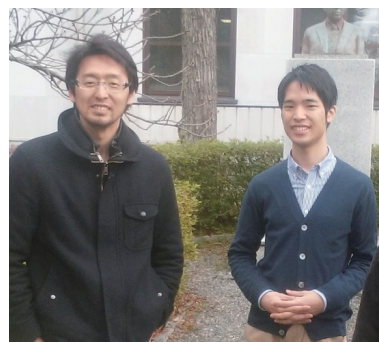
## 東川 翔

東京大学 大学院理学系研究科 物理学専攻 博士課程 1年

指導教員：東京大学 大学院 理学系研究科 上田 正仁 教授 (D01)

受入研究者：京都大学 基礎物理学研究所 佐藤 昌利 教授 (D01)

受入期間：2017年2月18日(土)～3月3日(金)



基礎物理学研究所湯川記念館前にて。  
基礎凝縮系理論研究室メンバーの段下さん(左)と私。

トポロジカルな物理現象の面白さの一つは、異なる物理系の現象がトポロジーという大きな観点からは同じように理解できることです。トポロジカル絶縁体・超伝導体では電子の波動関数が非自明なトポロジーを形成しており、トポロジカル励起(渦やスカーミオンなど)では秩序変数が非自明なトポロジーを形成しています。波数空間と実空間という大きな違いはありますが、トポロジーという大枠からは同じ現象が現れることが期待されます。私はこれまで、後者、特にトポロジカル励起が複数共存している系を研究してきました。この系の興味深い点は、トポロジカル励起のトポロジカルチャージが必ずしも保存しないことです。例えば、スカーミオンが半整数(量子)渦と共存する場合、スカーミオンの巻き付き数は保存せず、偶数個のスカーミオンを連続的に生成・消滅させることができます。近年、このトポロジカルチャージの非保存に対応した現象が、トポロジカル絶縁体・超伝導体でも起こることが指摘されました[1,2]。この発見を知って、自分の研究の視野をトポロジカル励起からトポロジカル絶縁体・超伝導体へと広げようと思い、今回佐藤先生の下に2週間滞在することに決めました。また、滞在前1週間には新学術領域が共催しているスクールと研究会に参加し、トポロジカル絶縁体・超伝導体について理解を深めました。

滞在中はHopf絶縁体の研究を行いました。Hopf絶縁体とは2バンドで3次元のトポロジカル絶縁体であり、バルクのトポロジカルナンバが絡み目数(Hopf数)で与えられるというユニークな性質を持ちます[3]。Hopf絶縁体は上述のトポロジカルナンバの非保存が起こる例の一つであり、ブリルアンゾーンの2次元断面内のチャーン数が1の場合、絡み目数2の絶縁体を絡み目数が0の絶縁体に連続的に変えることができます。この他にも、(100)面や(010)面で切る場合は表面にディラックコーンが現れるのに対して、(001)面で切るとリング状のゼロエネルギー点が現れるという興味深い性質もあります。しかしながら、表面状態のトポロジカルナンバは何か、現れる表面状態がなぜ面に依存するのかという基本的な問題さえも未解明であり、上述の絡み目数を2から0に変える連続変形において、表面状態にどのようにギャップが形成されるのかことも理解されていませんでした。

今回の滞在中では表面状態のスペクトルの数値計算や反古典近似による解析計算に取り組みました。研究テーマ自体はトポロジカル絶縁体の研究では初等的なものだとは思いますが、トポロジカル絶縁体の研究は初めてだった私にとっては知らないことが多く苦労の連続でした。しかし、佐藤先生の丁寧なご指導のおかげで、表面状態のスピントクスチャが非自明な巻き付き数を持つこと、表面のディラックコーンは反転対称性に守られたものであり、反転対称性が破れるとリング状のゼロモードになるということを明らかにすることができました。また、表面状態にギャップができる機構については、スピントクスチャの巻き付き数が2の場合は表面ブリルアンゾーンの周期性を利用することで巻き付き数を0にできるのではないかという仮説が得られました。滞在中はここまでしかわかりませんが、上の仮説の数値的な検証やHopf絶縁体のバルクエッジ対応の反古典近似による証明など、多くの問題が残されています。この滞在中をきっかけに共同研究を進めていきたいと考えています。

滞在中には佐藤先生のご厚意でトポロジカル励起に関する自分の研究についてセミナーをする機会をいただき、私の研究のトポロジカル絶縁体・超伝導体への応用について数多くのコメントをいただきました。中には、私が考えもしなかった方向性の応用もあり、分野を超えて交流することの重要性を改めて感じました。

最後になりましたが、分野違いにもかかわらず滞在を快く受け入れてくださった上に、懇切丁寧に指導してくださった佐藤先生に感謝いたします。滞在中は、昼食は基礎物理学研究所の、夕食は5号館の凝縮系理論のメンバーの皆様に誘っていただき、楽しい時間を過ごすことができました。この場をお借りして、改めてお礼申し上げます。また、このような機会を与えてくださった若手励起プログラムにも感謝申し上げます。

[1] R. Kennedy and C. Guggenheim, Phys. Rev. B **91**, 245148 (2015).

[2] R. Kennedy, Phys. Rev. B **94**, 035137 (2016).

[3] J. Moore, Y. Rang, and X. G. Wen, Phys. Rev. Lett., **101**, 186805 (2008).