

大学院教育支援機構（DoGS）海外渡航助成金 報告書

Outcome report

計画名 Plan	開放量子系における強相関トポロジカル相の解明
氏名 Name	濱中秀有
研究科・専攻・学年 Graduate school/Division/Year level	理学研究科 物理学・宇宙物理学専攻 博士課程 1 年
渡航国 Country	スイス
渡航日程 Travel schedule	2024 年 4 月 12 日 ～2025 年 3 月 25 日

渡航計画の概要 Outline of the travel plan

本渡航では、チューリッヒ（スイス）に長期滞在することで、海外の研究者との共同研究を通じて、外国人の研究者と研究を行うスキルを身に着ける。また、共同研究を通じて、国際的なネットワークの形成を図る。

成果 Outcome

受け入れ機関では大きく分けて、以下 3 つの課題に取り組んだ。

1. エルミートトポロジカル相と非エルミートトポロジカル相の対応

分類の観点から、 d 次元の孤立系のトポロジカル相と $(d-1)$ 次元の開放系のトポロジカル相には形式的な対応があることが知られていた。一方、従来の研究は外因的な散逸を導入しており、この形式的な対応の微視的起源が不明であった。そこで、グリーン関数を用いて、バルクを熱浴、エッジを着目系とみなすことで、エルミート系のギャップレス状態が非エルミートトポロジエーを有することを格子模型を用いて示した[1]。この研究は、渡航前から集中的に取り組んでおり、渡航後は主に論文執筆を中心に行った。また、この課題に関連した研究として、3 次元のトポロジカル絶縁体にフラックスや dislocation がある場合の欠陥周辺モードを非エルミートトポロジエーの観点から特徴づける論文を共著者として、プレプリントとして発表した[2]。

[1] SH, T. Yoshida, K. Kawabata, Phys. Rev. Lett. **133**, 266604 (2024).

[2] Y O Nakai, R. Dsouza, D. Nakamura, SH, AP. Schnyder, M. Sato, arXiv: 2502.16729.

2. 表皮効果のマルチフラクタル性

以前の研究で、多体系において表皮効果（開放系のトポロジカル現象の一つ）がマルチフラクタル性を示すことを見出した。以前の研究では数値計算を用いて、これを示したが、多体ヒルベルト空間の基底をノードとみなすことで、多体表皮効果をツリーグラフ上の 1 粒子表皮効果と結びつけることを思いついた。そこで、最も単純なツリーグラフである Cayley 樹上で表皮モードのマルチフラクタル次元を導出することを試みた。Mahan による議論を一般化して厳密解を求め、マルチフラクタル次元の解析的な表式を得た。

[3] SH, A. Iliasov, T. Neupert, T. Bzdusek, T. Yoshida, Phys. Rev. B **111**, 075162 (2025).

3. 非自明な空間反転対称性をもつ多体トポロジカル相の構築

時間反転対称性を持つバンド絶縁体は、結晶点群の対称操作の下で自明であることが知られている。一方で、相互作用の存在下では非自明になりうることは、Yao-Kivelson により指摘されていた。そこで、新奇な多体トポロジカル相を構成すべく、基底状態が解析的に書けるモデルを用いて、多体トポロジカル相の構成への新しいアプローチを見出した。

論文[2],[3]は現地の研究者との共著論文であり、外国人と研究するスキルが渡航前より向上したと考えられる。また、ETH Zurich やチューリッヒ大学でセミナー発表の機会を頂き、国際的な研究ネットワークが広がったと考えられる。

今後の展望 Prospects for the future

3 つ目の研究課題について、論文を完成させ、投稿することを一番の目標とする。また、開放系の研究についても継続して研究を行う。特に論文[1]で得られた結果の多体系や乱れのある場合への拡張、内部対称性以外の対称性がある場合についての一般化を行う。

最後にこのような機会を与えて頂いた大学院教育支援機構に感謝申し上げます。