

トポロジカル材料科学に基づく革新的機能を有する材料・デバイスの創出
2019 年度採択研究代表者

2020 年度 年次報告書

河東 泰之

東京大学 大学院数理科学研究科
教授

物質のトポロジカル相の理論的探究

§ 1. 研究成果の概要

オンサイト対称性を持つ量子スピン鎖において、ギャップト・グラウンド・ステートの一意的な存在が不成立となることを示した。これは古典的な Lieb-Schultz-Mattis の定理を離散的な対称性について拡張したことになっている。この際に、並進対称性を持つ量子スピン鎖について先行する結果を統一し、一般化している。他の物理学の論文で予想、示唆されていたものを一般的な枠組みで数学的に証明した重要な成果である。第一著者が前に導入した新しい指数が重要な道具となっている。

非エルミートハミルトニアンでは、バルクの状態が表面に局在し、その結果スペクトルが境界条件に強く依存するという非エルミート表皮効果が生じる。バルクの状態が表面でなく角に集中するという新しいタイプの表皮効果(=高次表皮効果)を発見した。この成果は、Phys. Rev. 誌の Editors' suggestion に選ばれている。

並進対称性と離散的な内部対称性を持った量子多体系に対して、単位胞が離散対称性の射影表現になっている場合には、境界条件を対称演算子でひねった場合の基底状態が縮退していることを示した。この結果を用いて、2次元やより高次の空間における量子多体系の基底状態に対して Lieb-Schultz-Mattis 定理の一般化を論じた。

§ 2. 研究実施体制

(1) 河東グループ

- ① 研究代表者: 河東 泰之 (東京大学 大学院数理科学研究科、教授)
- ② 研究項目
 - ・トポロジカル秩序, テンソル圏の作用素環による解析
 - ・量子スピン系のギャップト・ハミルトニアンの分類
 - ・非可換幾何学による指数定理の発展

(2) 佐藤グループ

- ① 主たる共同研究者: 佐藤 昌利 (京都大学 基礎物理学研究所、教授)
- ② 研究項目
 - ・トポロジカル結晶絶縁体・超伝導体の分類
 - ・対称性によって守られたトポロジカル相の研究
 - ・非エルミート・トポロジカル相の解析
 - ・幾何学的手法による可解モデルの解析
 - ・量子ウォークによるトポロジカル相の提案

(3) 古崎グループ

- ① 主たる共同研究者: 古崎 昭 (理化学研究所 開拓研究本部、主任研究員)

② 研究項目

- ・トポロジカル材料の設計理論
- ・量子多体系のトポロジカル相の理論

【代表的な原著論文情報】

1. Y. Ogata, Y. Tachikawa, H. Tasaki, General Lieb–Schultz–Mattis type theorems for quantum spin chains, *Comm. Math. Phys.* 385 (2021), no. 1, 79–99.
2. K. Kawabata, M. Sato, K. Shiozaki, Higher–order non–Hermitian skin effect, *Phys. Rev. B* 102, 205118 (2020)
3. Y. Yao, M. Oshikawa, Twisted boundary condition and Lieb–Schultz–Mattis ingappability for discrete symmetries, *Phys. Rev. Lett.* 126, 217201 (2021).