

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

2022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

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)

古崎 昭 (理化学研究所 開拓研究本部 主任研究員)

研究成果の概要

組紐フュージョン圏上でのある種の誘導表現の理論である、 α -induction について、bi-unitary connection の立場から研究を行った。 α -induction は組紐フュージョン圏内の (可換とは限らない) Frobenius 代数の定めるテンソル関手である。これはこれまでは III 型因子環の自己準同型の延長という形で研究されてきた。一方、connection と呼ばれるユニタリ行列の族を使ってフュージョン圏 が記述できることも、作用素環論における部分因子環論でよく知られている。そこで、connection によって記述された組紐フュージョン圏上で α -induction がどのように記述されるかを明らかにした。その中で、Frobenius 代数が可換の場合には、 α -induction によって 生じる connection が flat になることも証明した。

今年度、佐藤グループは、1) トポロジカル結晶絶縁体・超伝導体の分類、2) 非エルミートポロジカル相の研究、3) 対称性で守られたトポロジカル相の研究、の各テーマの研究を推進した。特に、塩崎を中心に K 理論によるトポロジカル物質の分類を推し進めるとともに、佐藤は古崎グループの小林とともにトポロジカル超伝導体中のマヨラナ励起の電磁応答の理論を発展させた。また、佐藤は非エルミートポロジカル相の研究を進めるとともに、現在までに得た知見をクレスト特定助教の大熊とともに招待レビュー論文の形でまとめ、Annual Review of Condensed Matter Physics に発表した。

適当な対称性をもつ全ハミルトニアン空間 (相図) において、基底状態に縮退が無く励起ギャップの開いた相の占める領域の形状 (トポロジー) について研究し、その非自明な例を量子スピン模型に対して具体的に構成した。対称性によって守られたトポロジカル相の分類はギャップの開いた相の連結成分の数で与えられるが、本研究では基本群や一般の n 次ホモトピー群を考えたことになる。この結果を用いて、量子多体系の量子臨界点や臨界相が (対称性を保つ) 摂動によってギャップの開いた相 (トポロジカル相を含む可逆相) に転移するとき、その不安定性を表す指数を定義した。

【代表的な原著論文情報】

- 1) Yasuyuki Kawahigashi, Projector matrix product operators, anyons and higher relative commutants of subfactors, Math. Ann. (in press).
- 2) Nobuyuki Okuma, Masatoshi Sato, "Non-Hermitian topological phenomena: A review", Annual Review of Condensed Matter Physics, 14, 83 (2023).
- 3) Yuan Yao, Masaki Oshikawa, and Akira Furusaki, "Gappability Index for Quantum Many-Body Systems", Physical Review Letters, vol. 129, no. 1, 017204 (5 pages).