

## トポロジカルな欠陥に局在するマヨラナ・ゼロモードと指数定理

福井 隆弘 / 茨城大学 理学部 教授



ふくい・たかひろ

超伝導中の渦糸の近傍に現れるゼロモードの有無を指数定理という強力な数学的手法を用いて調べることが最初の目的でした。実際に研究を始めてみると、どちらかという指数定理そのものに力点を置いた研究となりました。以下、この2年弱にわたる研究の幾つかを振り返りたいと思います。

物質のトポロジカル相に関する研究の醍醐味はその普遍性にあると考えています。最初の研究は、あまり物性ではなじみがないですが、中性子星など超高密度のクォーク物質において発現していると考えられているカラー超伝導に関するテーマに取り組みました。ここで安定に実現するであろう非可換渦糸の周りのマヨラナ・ゼロモードを詳細に調べました。

渦糸を考える限りは、無限遠方で「丸い」系を考えれば良いですが、マヨラナ状態を実際に実験的に実現するためには、渦糸よりもむしろヘテロ構造に基づいた $\pi$ 接合系等の方が容易であると考えられます。こういった系では秩序変数は遠方でも必ずしも丸くはありません。次の研究として、[図1](#)の系に対して指数定理でゼロ状態を探りました。左右の磁場をコントロールすると、 $\pi$ 接合系に現れるマヨラナ・ゼロモードに加えて、一般には有限質量励起モードも系全体のゼロ・エネルギー状態となり得ることを示しました。

このような「四角い」境界条件に対しても指数定理が実用上十分に機能することが分かったので、次の課題としてバルク・エッジ対応の一般的証明を指数定理の応用として行いました。[図2](#)のように異なるチャーン数を持つバルク状態のある境界で滑らかにつながり合わせた場合に、境界にエッジ状態が現れますが、このエッジ状態の個数と2つのチャーン数との関係を指数定理で導きました。

最近、本科研費研究グループの一員である東北大グループを中心として、トポロジカル絶縁体と普通の絶縁体を交互に積み重ねたヘテロ構造物質の実験が行われ興味を引いています。この実験に触発され、また[図2](#)の拡張として[図3](#)の状態に興味を持つに至りました。現在では、これをモデル化しそのトポロジカルな性質を調べています。

長野県出身。1987年京大理卒、1992年京大博修了。大学院までは核理論が専門。しばらく前に研究のための体力・健康維持を目的にジョギングを始めましたが、はまってしまい、今では逆に健康を書し、研究時間を削って走っています。

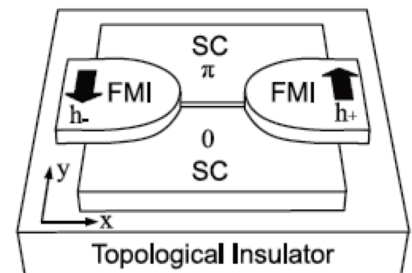


図1：ヘテロ構造 $\pi$ 接合系

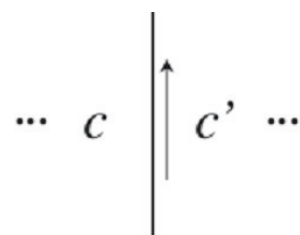


図2：バルク・エッジ対応

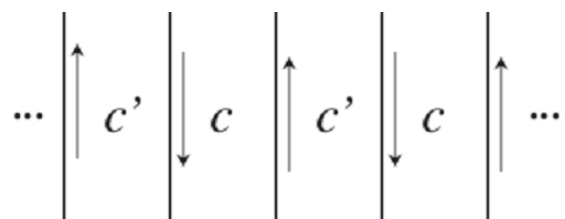


図3：2種類のトポロジカル物質の超格子系