

強相関物質のトポロジカル相

前野 悦輝 / 京都大学 大学院理学研究科 教授

本計画研究「強相関物質のトポロジカル相」の目的は、電子間の相互作用が強い物質（強相関物質）で発現する超伝導体・モット絶縁体・半金属などの相での、トポロジカルに非自明な量子凝縮状態や量子相転移の研究を格段に深化・発展させることである。

本研究では、遷移金属酸化物や重い電子系化合物を主な舞台として、人工超格子や微細加工・接合系も含め、強相関トポロジカル現象の物理を発展させる。この研究の遂行により、対称性に基づく非従来型超伝導という分類を、トポロジカル超伝導の視点からとらえなおし、より精緻に体系化する。また、モット絶縁体や半金属も含めた新奇トポロジカル相の創成・制御を進めるとともに、電子相関の有効性を明らかにする。

具体的には以下のテーマを中心にトポロジカル相の研究を深める。

- (1) カイラル超伝導現象の実証：メンバー間で Sr_2RuO_4 や URu_2Si_2 の単結晶試料を共有し、自発磁場や熱電効果の観測によって、エッジ流やカイラル揺らぎなど新奇トポロジカル超伝導現象を実証する。
- (2) 奇周波数超伝導状態の実証：微小単結晶における常磁性マイスナー効果や、強磁性金属 / スピン三重項超伝導体接合での近接効果の研究から、トポロジカル超伝導との関係性を明らかにする。
- (3) マヨラナ準粒子の実証に向けた実験：マヨラナ準粒子の実証に向け、スピン三重項超伝導体の微小リングでの半整数量子化磁束や、重い電子系超伝導人工超格子のエッジ状態の観測を目指す。
- (4) ワイル半金属・ワイル型トポロジカル超伝導体の探索：アンチペロブスカイトやパイロクロア酸化物で3次元ディラック電子系やワイル半金属を探索する。また、ウラン系超伝導体でワイル型トポロジカル超伝導状態を実証する。

- (5) モット絶縁体でのトポロジカル相の探索：人工超格子を含むハニカム格子・パイロクロア格子のイリジウム酸化物等で、量子スピン液体状態、特にトポロジカルモット絶縁相の実現を目指す。
- (6) トポロジカル量子相転移の制御：非平衡状態を含めた強相関系特有の物質制御性を生かすことでトポロジカル相の生成過程を明らかにし、トポロジカル量子相転移の多様性・普遍性に関する統一的知見を得る。

本計画研究 A01 は、《研究項目 A 班：トポロジーと強相関》の柱として、トポロジカル超流動など相補的テーマを含む公募研究 A01 と連携する。また、研究項目間の連携では、マヨラナ準粒子の検証等で D 班・C 班と、奇周波数超伝導等で B 班と、超伝導素子開発等で C 班と、それぞれ情報・アイデア・ノウハウの交換やアナロジー追及も含めて連携して相乗的な研究展開を図る。さらに、世界的な共同研究の展開も含め、世界を先導する研究成果の発信を目指す。これらの研究を活発な連携を生かして進めることで、新学術領域「トポロジーが紡ぐ物質科学のフロンティア」の開拓と基礎学理の構築・学問体系の樹立を目指す本領域全体の目的遂行に貢献する。

