

電流によって誘起される超伝導ドメイン

スピン三重項超伝導の電流-電圧特性を解明するため、カイラル p 波超伝導体に外部から超伝導電流を加えたとき超伝導状態の変化を理論的に考察した。外部電流によって超伝導ドメインが新たに形成され、それによって強いヒステリシスを有する特徴的な電流-電圧特性が生じることが示した。この結果は、電流-電圧から超伝導対称性に関する手がかりを掴むことができることを示唆している。

超伝導は2つの電子がクーパー対と呼ばれる対を形成し、それが凝縮することによって生じる。通常の超伝導体では、2つの電子のスピンが合成される際に打ち消し合いが起こり、クーパー対のスピンは0となる。よって、通常の超伝導体ではクーパー対のスピン自由度は考える必要はない。このような超伝導体をスピナー重項超伝導体という。現在までに発見された超伝導体物質のほとんどはスピナー重項超伝導体である。ところが、いくつかの超伝導体では2つの電子のスピンが打ち消し合わず、クーパー対がスピンの自由度をもつと考えられている。その一例がスピン三重項超伝導体である。スピン三重項超伝導体を使ってトポロジカルに非自明な超伝導状態(トポロジカル超伝導)が実現できることが知られている。トポロジカル超伝導体の渦糸状態や界面にマヨラナフェルミオンで記述される特殊な準粒子励起が存在すると考えられているため、長年注目を集めてきた。

現在、スピン三重項超伝導が実現していると期待されている代表的な物質は Sr_2RuO_4 である。この物質では発見当初からカイラル p 波対称性を持つスピン三重項が実現していると考えられており、多くの理論・実験研究が行われてきた。しかし、カイラル p 波対称性を示す多くの実験結果がある一方で、超伝導界面で生じると期待される自発的なエッジ電流が未だ観測されていないなど、多くの謎が残されている。単純なカイラル p 波対称性以外の超伝導対称性の可能性も指摘されており、 Sr_2RuO_4 で実現している超伝導の性質については現在も活発な議論が行われている。最近になって、 Sr_2RuO_4 を利用した超伝導細線素子(weak-link)で電流-電圧特性や磁場依存性が測定され、通常の超伝導体と振る舞いが異なることが報告されている。そのため、カイラル p 波対称性をもつ超伝導体の輸送特性の解明は重要な課題の一つとなっている。

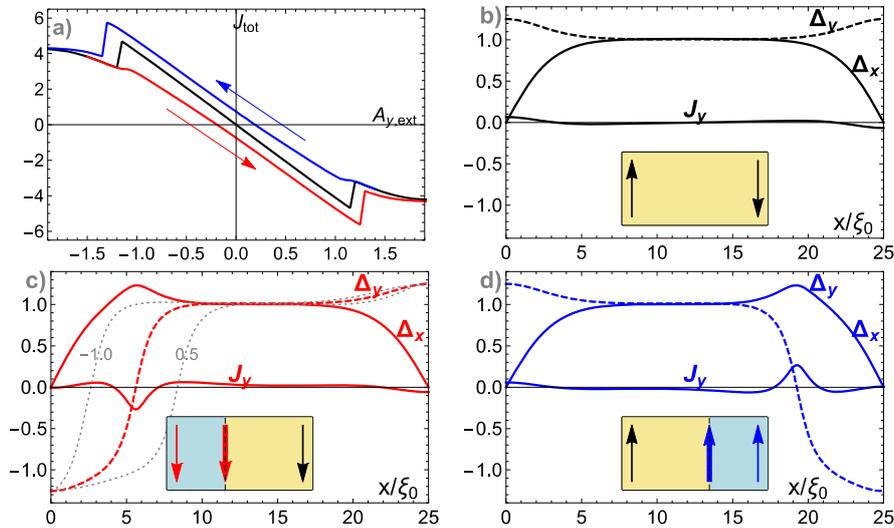


図 1. (a)電流-電圧特性の計算結果と(b-d)3 つの特性曲線に対応する超伝導ドメイン構造 ((b)中央の黒い特性曲線上、(c)下の赤い特性曲線上、(d) 上の青い特性曲線上)

最近、東京大学物性研究所の加藤岳生氏と Aix Marseille University の Thibaut Jonckheere 氏は、カイラル p 波超伝導の細線に外部から加えられた超伝導電流の影響を理論的に評価し、外部電流によって超伝導ドメインが新たに形成され、それによって強いヒステリシスを有する特徴的な電流-電圧特性が生じることを明らかにした。この成果は、日本物理学会が発行する英文誌 Journal of the Physical Society of Japan (JPSJ) の 2018 年 9 月号に掲載された。

カイラル p 波超伝導体ではクーパ対の軌道角運動量が有限であるため、2 種類の超伝導ドメインが存在する。外部から超伝導電流を加えると 2 つの界面に存在する端電流 (エッジ電流) のうち片方が不安定化し、その界面から超伝導ドメイン壁が侵入する。一度侵入したドメイン壁は外部電流をゼロにしても超伝導体中に残り、強いヒステリシスを引き起こす原因となる。この特徴が Sr_2RuO_4 を利用した超伝導細線素子の電流-電圧特性の特異性の原因であると推測される。また、カイラル p 波対称性以外の対称性を持つ超伝導においても、外部電流によってドメイン壁が駆動される場合は同様の特性が生じると考えられる。

現実の実験結果と比較するためには、非平衡特性や形状効果を取り入れたより複雑な理論計算を行う必要があり、今後の課題である。しかし、この研究成果は超伝導対称性について輸送特性の側面から手がかりを掴む一つの指針となるかもしれない。

原論文

[DC-Current Induced Domain Wall in a Chiral p-Wave Superconductor](#)

[Thibaut Jonckheere and Takeo Kato: J. Phys. Soc. Jpn. **87** \(2018\) 094705](#)

問合せ先：加藤 岳生（東京大学物性研究所）