

パリティの局所的な破れが誘起するエキゾチック超伝導

物理学において「対称性の破れ」は重要な概念である。興味深い物理現象の多くは何らかの対称性の破れに起因する。逆に、対称性の自発的破れは何らかの内部自由度の表出である（小林一益川理論がそうであったように）。そして、対称性から導かれる結論は系の詳細に依らず常に厳密であるため、高い予言能力を持つ。

現在の物性物理学では「パリティ（空間反転対称性）」が重要な役割を果たしている。超伝導研究においても、超伝導相を幾つかの対称性によって分類するが、パリティは最も基本的な対称性の一つである。そんな中、「パリティの破れた超伝導」の研究が行われるようになったのは比較的最近のことである。エーデルシュタインによる先駆的な研究が 80 年代から行われていたものの、ウィーン工科大学のバウアーらによる重い電子系超伝導体 CePt_3Si の発見(2004 年)が空間反転対称性の破れた超伝導に対する研究の実質的な幕開けである。現在までの研究により、クーパー対のパリティ混成や磁気電気効果、ヘリカル超伝導、トポロジカル超伝導など様々な観点から興味深い特徴を持つ超伝導であることが分かっている。このような特徴は（ラッシュバ型スピン軌道相互作用に代表される）反対称スピン軌道相互作用によりもたらされる。

さて、固体物理学の世界には、空間反転対称性が大局的に保たれているものの局所的には破れている結晶構造が数多くある。ここでは例として多層系を考えよう。図 1 に示す 2 層系では大局的な空間反転対称性が保存されている。しかし、空間反転中心は層間に存在し、各層に注目すると空間反転対称性が欠如している。この場合、反対称スピン軌道相互作用は空間的に非一様となる(図 1 の左側参照)。では、このような「パリティの局所的な破れ」に由来する超伝導はどのようなものだろうか？

最近、新潟大学とスイス連邦工科大学の研究グループは、局所的な空間反転対称性の欠如に由来する新種のエキゾチック超伝導相が存在することを明らかにし、複素ストライプ相と名付けた。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 2013 年 7 月号に掲載された。

図 1 に複素ストライプ相の直観的な説明を示す。まず、層間遷移を無視し、各層が独立な場合を考える。それぞれの層では空間反転対称性が欠如しているため、反対称スピン軌道相互作用が現れ

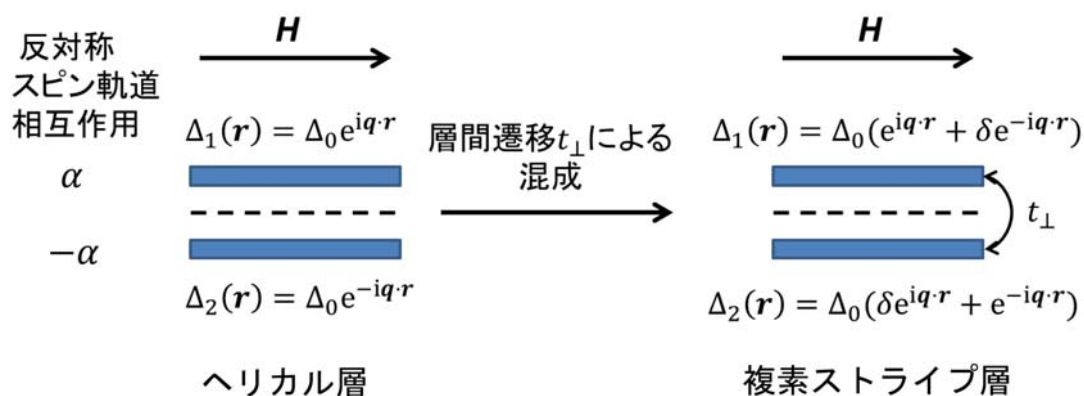


図 1. 2 層系における複素ストライプ相の模式図。点線は空間反転中心を示す。反対称スピン軌道相互作用と秩序変数の層依存性も示した。

る。そこに平行磁場を印加すると、クーパ対が重心運動量を持つヘリカル超伝導相が実現することが知られている。しかし、反対称スピン軌道相互作用が層間で符号を変えるため、クーパ対の重心運動量も層間で逆符号をとる。実際には層間遷移があるので、上下の層の秩序変数が混成し、ストライプ構造に複素位相が掛かった秩序変数が実現する（図1の右側参照）。これが複素ストライプ相の直観的な理解である。本研究で行われた計算結果は、複素ストライプ相が広い磁場領域において実現することを予言した。また、垂直磁場を印加した場合にはペア密度波という別のエキゾチック超伝導状態が安定になる。2次元の重い電子系として注目を集めている CeCoIn_5 と YbCoIn_5 の人工超格子における最近の実験は、これらの超伝導相が実現していることを示唆している。これは本研究の理論的な予言を裏付けるものである。

これまでの超伝導研究は大局的な対称性に基づいて分類されてきた。一方で、局所的な対称性の破れに由来する超伝導相の存在は見逃されてきた。本研究はその存在を明らかにしたものである。局所的な空間反転対称性の欠如した結晶構造を有する物質は無数に存在するため、多層系に限らず様々な物質を対象とした研究が始まりつつある。また、超伝導の枠を超えて磁性や量子伝導などにおいても非一様な反対称スピン軌道相互作用が生み出す興味深い現象があると考えられる。今後は、局所的な空間反転対称性が破れた系における新奇量子凝縮相の研究が理論・実験両面において活発に行われることが期待される。

原論文

[Complex-Stripe Phases Induced by Staggered Rashba Spin-Orbit Coupling](#)

[Tomohiro Yoshida, Manfred Sgrist, and Youichi Yanase: J. Phys. Soc. Jpn. **82** \(2013\) 074714](#)

問合せ先：吉田智大（新潟大学大学院自然科学研究科）

柳瀬陽一（新潟大学自然科学系）