

超伝導の内部で実現する不思議な磁気秩序 ～「Q 相」をめぐって～

超伝導と磁性の相互作用の問題は物性物理学における最重要課題の一つである。超伝導についての標準的な理論である BCS 理論によれば、超伝導は結晶の格子振動に起因するフォノンによって電子同士が対を組み超伝導になるとされている。一方、実用化されつつある銅酸化物高温超伝導体や鉄系超伝導体、希土類・アクチノイド化合物の重い電子系超伝導体など、興味深い超伝導体の多くはそれ以外の機構によって超伝導になると考えられている。このうち、有力なものの一つが、磁性に起因したスピンのゆらぎによる超伝導である。

通常の超伝導体は、図 1 左図に示すように「金属の顔」であるフェルミ面に等方的にギャップが開くために、電気伝導を担う電子が磁性を持つことを妨げる。一方、上に挙げた興味深い超伝導体の多くは、フェルミ面のギャップにノードが出来ることで、磁性を持つことが可能になる。しかし現実には、超伝導になって安定化した物質が、低温でさらに磁性を持つようなケースはこれまでほとんど知られていなかった。

最近、CEA-Grenoble（フランス原子力庁）と東北大金研の研究グループは、典型的な重い電子系超伝導体 CeCoIn_5 に Nd をわずかに置換した物質（ $\text{Ce}_{0.95}\text{Nd}_{0.05}\text{CoIn}_5$ ）において、超伝導相内部で磁性が出現し、その磁性が「Q 相」と呼ばれる特殊な磁気秩序状態であることを発見した。この成果は日本物理学会の発行する英文誌 *Journal of the Physical Society of Japan (JPSJ)* の 2014 年 1 月号に掲載された。

純粋な CeCoIn_5 は、超伝導状態で磁場を加えていくと、超伝導が壊れる寸前の高磁場・極低温で「Q 相」という磁気秩序が現れることが知られている。「Q 相」は超伝導中でしか現れず、非整合という特殊な磁気秩序状態であることが知られている。磁性と超伝導の関係を調べる上で、「Q 相」は要となる秩序相であり、多くの理論モデルが提唱されるとともに微視的な測定手段による詳細な

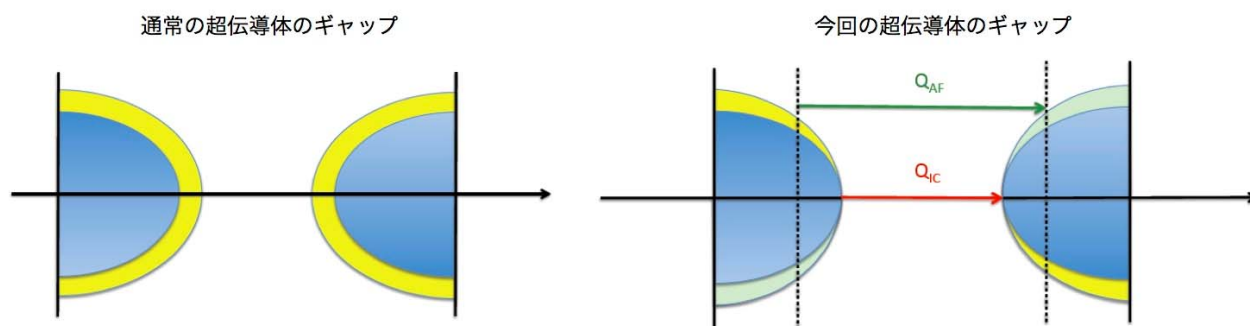


図 1: 通常の超伝導体のギャップ（左図）と今回の超伝導体のギャップ（右図）。通常の超伝導体はフェルミ面に等方的にギャップ（黄色の部分）が開くが、 $\text{Ce}_{0.95}\text{Nd}_{0.05}\text{CoIn}_5$ はノードができる。ノードは Q_{IC} で特徴付けられる非整合な磁気秩序状態「Q 相」と結びついている。 Q_{AF} は反強磁性伝播ベクトル。

実験が待たれていた。

今回発見された「Q 相」はゼロ磁場で発現しており、これまでに知られていた「Q 相」とはその意味で異なっている。しかし、非整合な磁気秩序状態という意味では同じである。非整合な磁気秩序状態は、フェルミ面どうしがぴったり重なり合うネスティングという状態をつくることが知られている。今回の成果は、図 1 右図に示すように、このネスティングが超伝導ギャップのノードを作っていることを示唆するものとして注目に値する。

実用化が期待される多くの超伝導体は磁性と密接な関係があり、その発現機構を解明することは新物質を開発する上でも重要な課題である。今回の成果は、基礎研究の立場から超伝導の発現機構に迫るものであり、今後の物質開発という点からも大きな波及効果を持つ。

原論文

Magnetic Order in $\text{Ce}_{0.95}\text{Nd}_{0.05}\text{CoIn}_5$: The Q-Phase at Zero Magnetic Field

[Stéphane Raymond, Scheilla M. Ramos, Dai Aoki, Georg Knebel, Vladimir P. Mineev, and Gérard Lapertot: J. Phys. Soc. Jpn. **83**, 013707 \(2014\)](#)

問合せ先: Stéphane Raymond (CEA-Grenoble)

青木 大 (東北大学金属材料研究所、CEA-Grenoble)