

重い電子系超伝導体 UPt_3 のスピン 3 重項対関数の同定

1979年に発見された $CeCu_2Si_2$ を皮切りにその数年間に UBe_{13} と UPt_3 が相次いで見いだされことで、重い電子系超伝導研究という新しい分野が切り拓かれ、電子間相互作用の強い系に発現する超伝導体の研究が開始された。それに続いて、1986年の銅酸化物高温超伝導発見や重い電子系の第二世代とも言える $CeCoIn_5$ 等を含めて強相関物質系についての広範な研究がなされるようになった。そうした超伝導研究の流れが現在の鉄系超伝導につながっているとも言える。

冒頭の3つの第一世代重い電子系超伝導体の中でも UPt_3 は磁場と温度平面で少なくとも3つの超伝導相が出現するという意味で特異な位置を占め、その多重相図の解明と対関数の同定を巡って30年近く論争が行われてきた。とりわけ対関数がスピン1重項であるのか、スピン3重項であるのかについて様々な角度からの検討が行われ、後者であることについては一定のコンセンサスが得られた。その後、スピン3重項状態であることは1996年の藤氏らのNMRによるKnight shift実験[1]によって確立した。対関数のスピン部分が確定したので残るは軌道部分である。スピン3重項シナリオの中でもいくつかの提案があったが、最近の角度分解熱伝導率測定[2]によって低温高磁場相、所謂C相が2回対称性を有する対状態であることが見出された。

これらの研究動向を受けて、最近、岡山大学大学院自然科学研究科のメンバーを中心とする研究グループは対関数の対称性の分類とそれに伴う超伝導状態の微視的研究を行い、 UPt_3 の特異な超伝導状態を統一的に説明することに成功し、長年の対称性を巡る論争に終止符をうった。同定された対関数は低温低磁場のB相では $(bk_a + ck_b)(5k_c^2 - 1)$ (a, b, c は六方晶の実空間単位ベクトル、 k_a, k_b, k_c は k 空間での単位ベクトル) であると結論された。この対関数は 3He の超流動B相 ($xk_x + yk_y + zk_z$) と

類似で、所謂 planar 状態として知られている状態と似ている。図1に磁場温度相図で、各相のノードの様子を模式的に示した。B相では北極と南極に点ノード、赤道から少し外れた所に2本の線ノードが存在する。C相では $ak_b(5k_c^2 - 1)$ となり、前者が c 軸回りに回転対称であるのに対して後者は自発的に2回対称に対称性の低下が起きている。更に興味あることにこの f 波 planar 状態は 3He のB相と同様にトポロジカル超伝導の側面をもつことが明らかになった。これを契機に UPt_3 のこの面での実験的理論的研究が促進されることが望まれる。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 2012年7月号に掲載された。

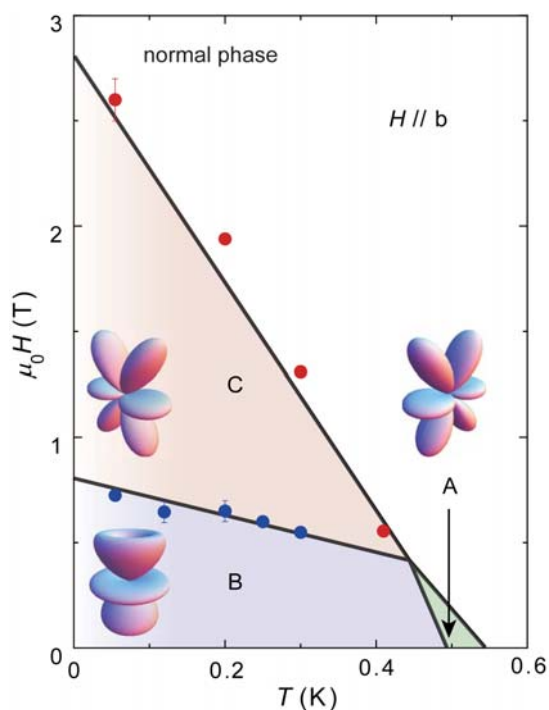


図1 UPt_3 の磁場温度の多重相図[2]。それぞれの相に対して対関数のギャップの模式図を示してある。

対関数の同定を踏まえて対形成機構の解明が期待される。電子格子相互作用ではない、何らかの新規な対形成の機構がこの特異な f 波 planar 状態を安定化させているに違いない。そ

の中ではゼロ磁場での超伝導転移温度 ($T_{c1}=550$ mK, $T_{c2}=500$ mK) の分裂の原因が自然に説明されねばならない。更には重い電子系研究を30年以上にも渡って牽引してきた第一世代の超伝導体 $CeCu_2Si_2$ と UBe_{13} の対関数の同定が待たれる。

引用文献

- [1] H. Tou, *et al.*: Phys. Rev. Lett. **77** (1996) 1374.
- [2] Y. Machida, *et al.*: Phys. Rev. Lett. **108** (2012) 157002.

原論文

[A Spin Triplet Superconductor \$UPt_3\$](#)

[Y. Tsutsumi, K. Machida, T. Ohmi, and M. Ozaki: J. Phys. Soc. Jpn. **81** \(2012\) 074717.](#)

情報提供：堤 康雅（理化学研究所 基礎科学特別研究員）
町田一成（岡山大学大学院自然科学研究科 特命教授）