

比熱の磁場方位依存性から紐解く UPt_3 のスピン三重項超伝導

UPt_3 では、従来の超伝導（スピン一重項超伝導）とは異なり、スピンの向きが同じ電子対を形成する非常に珍しいスピン三重項超伝導状態が実現していると考えられている。スピン三重項超伝導特有の現象を明らかにすることは超伝導の研究を深化させる上で興味深い課題であり、 UPt_3 はその舞台として期待されている。例えば、 UPt_3 では c 軸方向の上部臨界磁場 H_{c2} が低温で強く抑制される現象（ H_{c2} の抑制）が知られているが、そのメカニズムはスピン三重項超伝導を理解する上で鍵となる問題である。この H_{c2} の抑制は、スピン一重項超伝導体でよくみられるパウリ常磁性効果（スピンが磁場方向に偏極し、対を組む相手がなくなることによる対破壊効果）と良く似ているが、NMR の実験結果は UPt_3 ではパウリ常磁性効果による対破壊は起きないことを支持しており、そのメカニズムは明らかになっていない。良く似た起源不明の H_{c2} の抑制は別のスピン三重項超伝導体の有力候補 Sr_2RuO_4 でも報告されており、スピン三重項超伝導体で共通してみられるこれらの現象の起源は重大な問題となっている。また、超伝導ギャップ構造の特定もスピン三重項対の形成メカニズムを紐解く上で重要な課題である。最近行われた回転磁場中熱伝導率測定では、 c 軸中心に 2 回対称のギャップ構造を有する可能性が報告され、大きな注目を集めている。

東京大学物性研究所のメンバーを中心とする研究グループは、上記の問題の解明に繋がる新たな手掛かりを得るため、 UPt_3 の比熱の磁場方位依存性を徹底的に調べあげた。その結果、 c 軸から 30 度以内の角度範囲に磁場を印加した際に超伝導が異常に壊れやすくなっていること、および熱伝導率測定で報告された超伝導ギャップ異方性が比熱測定では奇妙なことに観測されないことを明らかにした。これらの成果は、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 2 月号に掲載された。

比熱は、熱伝導率と同様に、対形成をしていない伝導電子（準粒子）の状態密度を低温で検出することが可能な量である。一般に、温度や磁場が上昇すると一部の電子対が破壊されて準粒子状態密度は増加する。この準粒子状態密度の温度・磁場・磁場方位に対する変化は対破壊効果や超伝導ギャップ異方性と密接に関係するため、比熱や熱伝導率測定からそれらに関する重要な情報を得ることができる。 ac 面内で回転させた磁場中で行われた UPt_3 の比熱測定の結果、磁場方向が c 軸から 30 度以内のときに比熱が顕著に上昇することが明らかになった。この結果は、上記の角度範囲の磁場下で超伝導が異常に壊れやすくなっていることを示しており、通常の軌道効果（磁場中で電子対が運動することによる対破壊効果）とは別の対破壊効果が働いていることを明確にしている。超伝導が異常に抑制される条件が高精度に決定されたことにより、今後 H_{c2} 抑制のメカニズム解明に向けた新たな研究の展開が期待される。さらに c 軸中心の回転磁場中で行った比熱測定の結果、2 回対称の振動が検出された熱伝導率測定の結果とは異なり、ギャップ異方性を反映した目立った比熱の変化は観測されないことが明らかになった。熱伝導率測定と一見矛盾する結果が得られた理由は今のところ分かっていないが、複数のバンドで異なるギャップ異方性を有する可能性など UPt_3 超伝導の重要な側面を映し出していることが考えられる。

以上のように、本研究結果は UPt_3 の超伝導に未だ多くの謎が含まれていることを浮き彫りにしており、その全貌解明に向けた重要な手掛かりになるものとして研究者の注目を集めている。

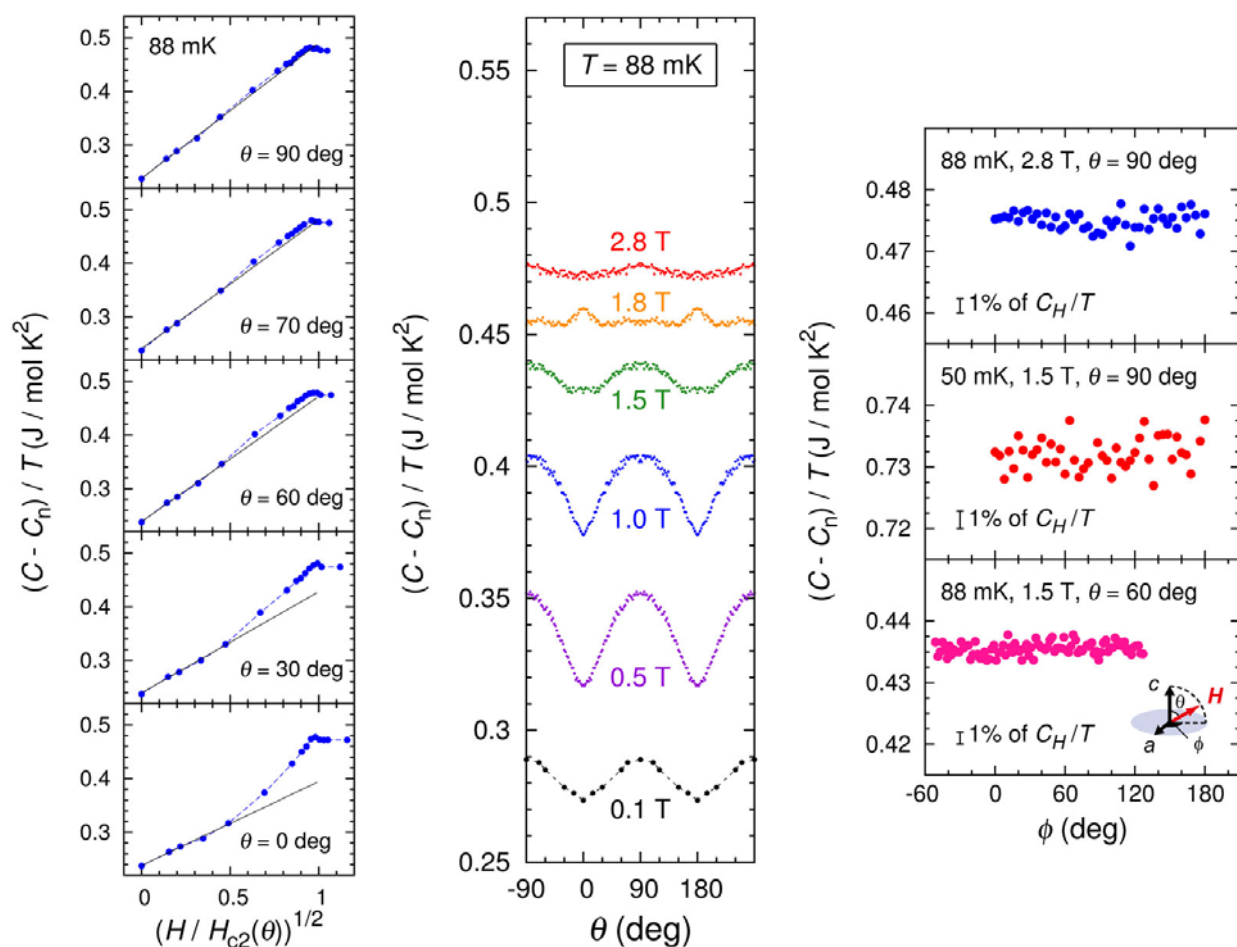


図 1. UPt_3 の比熱の磁場方位依存性。 θ は磁場と c 軸の間の角度、 ϕ は a 軸と磁場の間の方位角、 C_n は核比熱による寄与を表す。 $|\theta|$ が 30 度以下の磁場角度範囲で超伝導の異常な抑制を示唆する顕著な比熱の上昇が観測された。一方、比熱の ϕ 依存性に明確な異常は検出されなかった。

原論文

Anomalous Field-Angle Dependence of the Specific Heat of Heavy-Fermion Superconductor UPt_3

[S. Kittaka, K. An, T. Sakakibara, Y. Haga, E. Yamamoto, N. Kimura, Y. Ōnuki, and K. Machida: J. Phys. Soc. Jpn. **82** \(2013\) 024707.](#)

情報提供

橘高 俊一郎（東京大学物性研究所）

榊原 俊郎（東京大学物性研究所）

町田 一成（岡山大学大学院自然科学研究科）