

スピン自由度をもつ超伝導

— ウラン化合物 UTe_2 における超伝導状態のスピン磁化率測定 —

[1] 要旨

京都大学大学院理学研究科、原子力機構(JAEA)先端基礎研究センター、東北大学金属研究所の研究チームは、ウラン化合物 UTe_2 において、非従来の超伝導がスピン三重項状態で実現していることの微視的証拠を得た。スピン三重項超伝導は候補物質が少なく、その多くが磁性と共存していることから、詳細な性質は明らかになっていなかった。今後は磁性と共存しない UTe_2 の超伝導状態の研究から、固体で実現するスピン三重項対状態の性質が解明されていくことが期待される。

[2] 本文

超伝導とは物質を低温まで冷却した時に電気抵抗がゼロになる現象である。超伝導では、二つの電子は対状態(超伝導対)を形成し、ほとんどの場合、この二つの電子のスピンは反平行方向を向いている(スピン一重項状態)。このため、超伝導は強い磁場の下では破壊される。ところが最近、超伝導になることが報告されたウラン化合物 UTe_2 では超伝導の状態は磁場に対してとても強く、驚くべきことに結晶の b 軸 (磁化困難軸: 磁化が向きにくい方向) に 15 テスラ以上の磁場を印加すると転移温度が上昇するふるまいを見せる[図 1(a)]。この結果から UTe_2 では対状態にある二つの電子スピンの向きがそろった (平行方向の) スピン三重項状態の超伝導が実現していることが期待される。スピン三重項状態では超伝導状態でもスピン自由度が残っており、スピンは外部磁場と同じ方向をとることにより、高い磁場まで超伝導は生き残ると予想される。その実証には超伝導状態におけるスピン状態を直接観測する必要があるが、スピン三重項状態の超伝導は非常に稀なため詳しい研究がなかった。

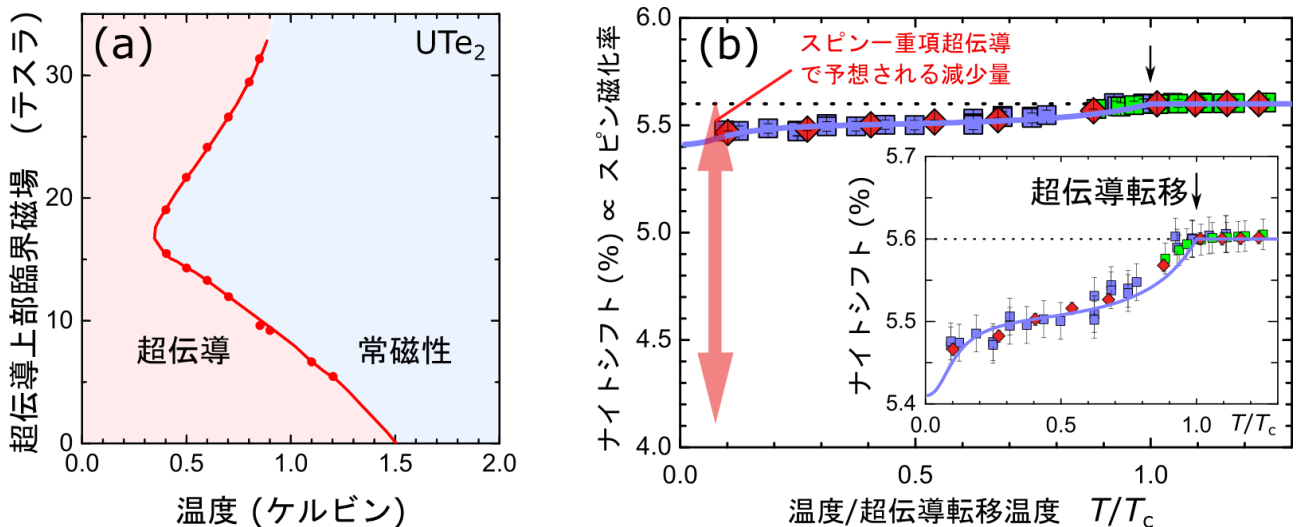


図 1 (a) UTe_2 の結晶の b 軸に磁場をかけた時の超伝導相図。(b) 磁場を b 軸にかけた時の UTe_2 のスピン磁化率。赤両矢印は、比熱から見積もったスピン一重項超伝導で期待される減少量。挿入図は縦軸を拡大したもの。

最近、京都大学、JAEA、東北大金研からなる研究グループは、 UTe_2 超伝導体に対し原子核レベルの微視的測定である核磁気共鳴 (NMR) 測定を行い、 UTe_2 は通常金属に見られる超伝導とは異なる非従来超伝導であること、超伝導状態のスピン磁化率の減少がスピン一重項状態で期待されるものよりはるかに小さいことを明らかにし、この物質では超伝導状態でスピンの自由度が生き残っているスピン三重項状態と考えられることを報告した。[図 1(b)] 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 2019 年 11 月号に掲載された。

超伝導などの量子凝縮相におけるスピン三重項状態は古くから理論的に予測されていたが、実際その存在を確認できたのは 1972 年の超流動 ^3He の発見以降である。現在までスピン三重項超伝導の探索は精力的に行われてきたが、実現している物質は極めて少ない。またほとんどの候補物質は磁性と共存しているため、固体中で実現しているスピン三重項超伝導の本質的な理解には至っていない。 UTe_2 では常磁性状態のもと超伝導に転移し、さらに超伝導転移温度が今まで知られているスピン三重項超伝導体の中では比較的高い事もあり、磁性の影響を除いた純粋なスピン三重項超伝導の性質を詳細に調べるには最適な物質である。また理論研究から、スピン三重項超伝導体は高い確率でトポロジカル超伝導体であるとの指摘がある。トポロジカル超伝導は通常の超伝導体とトポロジカル絶縁体等の人工的界面に実現すると考えられてきたが、バルクの超伝導体でトポロジカル超伝導を実現することの意義は非常に大きい。またこれらの超伝導状態は量子コンピュータへの応用も期待され現在注目を集めている。

今後はこの物質を中心としてスピン三重項超伝導やトポロジカル超伝導の諸性質が解明されていくことが期待される。

原論文

[Superconducting Properties of Heavy Fermion \$\text{UTe}_2\$ Revealed by \$^{125}\text{Te}\$ -nuclear Magnetic Resonance](#)

G. Nakamine, S. Kitagawa, K. Ishida, Y. Tokunaga, H. Sakai, S. Kambe, A. Nakamura, Y. Shimizu, Y. Homma, D. Li, F. Honda, and D. Aoki, *J. Phys. Soc. Jpn.* **88**, 113703 (2019).

< 情報提供 : 仲嶺元輝 (京都大学大学院理学研究科)

北川俊作 (京都大学大学院理学研究科)

石田憲二 (京都大学大学院理学研究科) >