

# 超伝導の「入れ子」

## —ウラン化合物の多重超伝導—

### [1] 要旨

東北大学金属材料研究所とフランス CEA-Grenoble の研究チームは、超伝導相が一様ではなく、内部に多様なタイプの超伝導相が含まれているという極めて特異な現象をウラン化合物  $UTe_2$  で見出した。 $UTe_2$  単結晶の熱容量を精密に測定し、その温度、磁場相図の圧力依存性を系統的に調べることで明らかにした。それぞれの超伝導相では対称性の異なる超伝導状態が実現していると考えられる。これまで平行スピン対のスピン三重項超伝導と考えられてきた  $UTe_2$  が、実はもっと多様な状態を持つスピン三重項超伝導体であることを示している。スピン三重項超伝導はトポロジカル超伝導の一形態であり、次世代の量子コンピュータのプラットフォームと考えられている。そのため、 $UTe_2$  は、「量子コンピュータのシリコン」と期待されるなど、応用も見据えた興味を持たれている。基礎研究として超伝導状態を明らかにした今回の成果は、超伝導の応用への新たな方向性につながるものである。

### [2] 本文

核燃料として利用されるウランは、基礎研究という視点からも魅力的で多彩な物質群で溢れている。とくにウラン化合物の超伝導体は、その転移温度は低いものの風変わりな超伝導の性質を示すものが多い。たとえば、通常は相反する物理現象である強磁性と超伝導が、ウラン化合物においては両者が共存する例（強磁性超伝導）が知られている。さらにこれらの物質では、磁場が超伝導を誘起するという驚くべき性質も明らかになっている。

東北大学金属材料研究所と CEA-Grenoble（フランス原子力庁）の国際共同研究チームは、強磁性超伝導体の仲間である新奇ウラン化合物超伝導体  $UTe_2$  を用いて、高圧・強磁場・極低温の極限環境下で熱容量を精密に測定した。その結果、1) 超伝導の壊れる臨界磁場が低温で突然大きくなること、2) 超伝導相が多様な超伝導相のいわば「入れ子」構造になっており、多重超伝導相を示すこと、3) 超伝導臨界磁場の増大がこの多重超伝導相に密接に関係していること、を明らかにした。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 2020 年 5 月号に掲載された。

このような多重超伝導相は、2003 年のノーベル賞受賞にもつながった超流動  $^3He$  で観測されることが知られている。 $UTe_2$  は超流動  $^3He$  と同じように、スピン三重項状態という特殊な超伝導状態になっている。スピン三重項超伝導は、通常の超伝導と比べて自由度が高いので、様々な対称性を持つ超伝導相が実現している。一方、 $UTe_2$  は超流動  $^3He$  と異なり、強いスピン軌道相互作用と強い磁気異方性を持っている。このため、 $UTe_2$  においては、より複雑な揺らぎがスピン三重項超伝導ひいては多重超伝導の源となっていると考えられる。

スピン三重項超伝導は、トポロジカル超伝導の主要な舞台になるという点からも注目を集めている。トポロジカル超伝導で予言されているマヨラナ粒子は、トポロジカル量子コンピュータへの応用が期待される幻の粒子である。米国では  $UTe_2$  は「量子コンピュータのシリコン」とも称され注目されている。本研究の成果は、超伝導の応用研究の新潮流につながることを期待される。

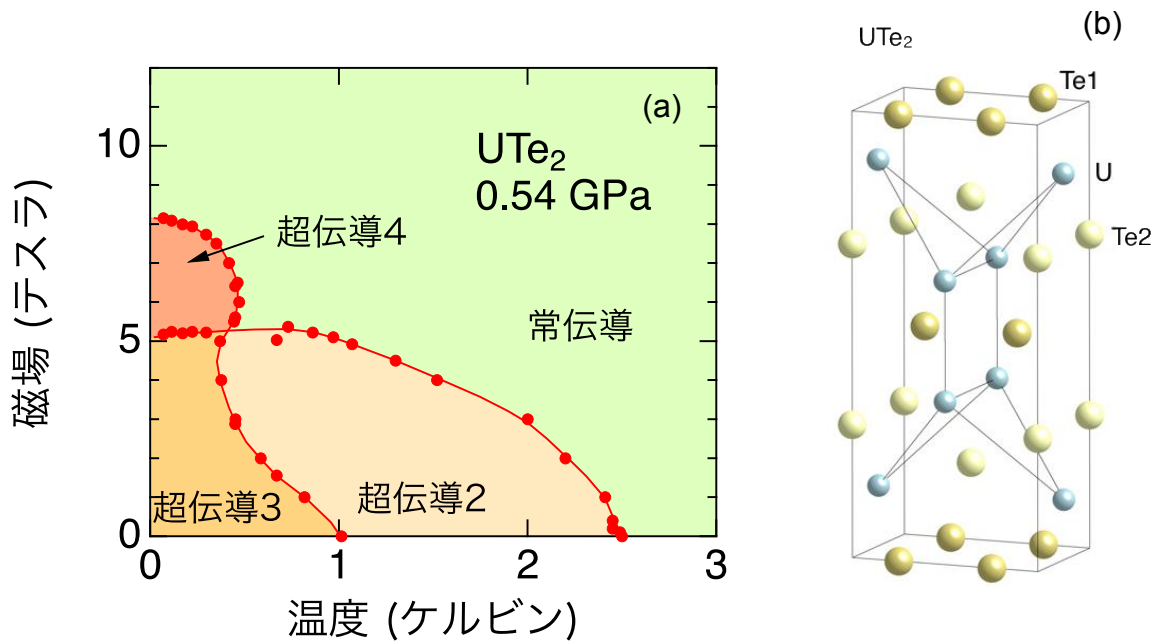


図 1. (a) 超伝導の中に超伝導があるウラン化合物  $UTe_2$  の多重超伝導相図。低温で超伝導臨界磁場が突然増大する。またそれに呼応してさまざまな超伝導相が現れる。(b)  $UTe_2$  の結晶構造。

原論文(4月14日公開済)

[Multiple Superconducting Phases and Unusual Enhancement of the Upper Critical Field in  \$UTe\_2\$](#)

[D. Aoki, F. Honda, G. Knebel, D. Braithwaite, A. Nakamura, D. Li, Y. Homma, Y. Shimizu, Y. J. Sato,](#)

[J. P. Brison, and J. Flouquet, J. Phys. Soc. Jpn. \*\*89\*\*, 053705 \(2020\).](#)

<情報提供：青木 大（東北大学金属材料研究所）>