

重い電子系超伝導体 CeCu_2Si_2 の価数揺らぎ超伝導機構の検証 —Cu-NQR からのアプローチ—

CeCu_2Si_2 は、1979年に重い電子系の超伝導体として最初に発見された物質である。この系ではスピン揺らぎを引力機構にもつ異方的超伝導が実現し、局在性の強いCeのf電子が超伝導を担うと同時にそのf電子を起源とする磁性とも共存するという特異な性質を示す。さらに、重い電子系に続く有機超伝導体や銅酸化物超伝導体の研究に多大の影響を与え、超伝導研究の新時代を開いた物質としても良く知られている。

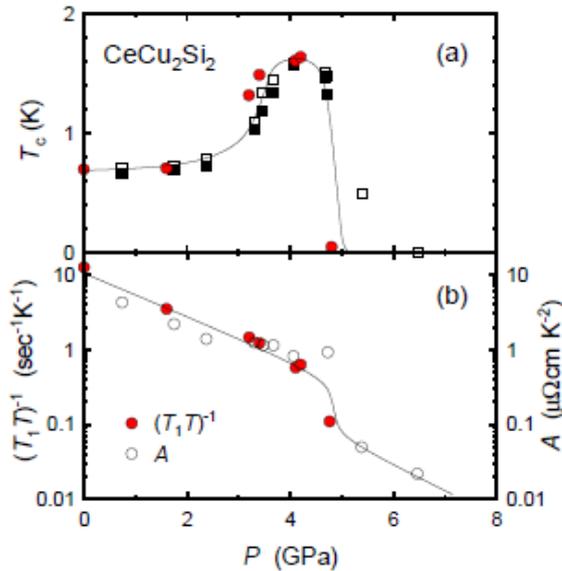


図1 (a) CeCu_2Si_2 における超伝導転移温度 (T_c) の圧力変化. NQR (●)、比熱 (■)、電気抵抗 (□)の測定から決定したもの. (b) $(T_1 T)^{-1}$ (●)と A (○)の温度変化. $(T_1)^{-1}$ は ^{63}Cu 核の核磁気緩和率、 A は抵抗の T^2 則の係数であり、共に電子の状態密度の2乗に比例する物理量である。

さらに1984年、図1 (a) のように、 CeCu_2Si_2 の超伝導転移温度 (T_c) が高圧下で急激に上昇する現象が発見された。この現象は、発見当初に新しい超伝導相への転移の可能性が指摘され、関心を持たれてきたものの、圧力技術が発展する現在に至るまで未解決の問題として残されてきた。最近になってジュネーブ大の研究グループによる電気抵抗測定と阪大・三宅和正教授による理論的考察から、Ceの価数揺らぎを媒介とした超伝導機構が提案されて注目を集めている。しかしながら、高圧領域の超伝導波動関数の対称性・パリティあるいは電荷状態の直接的な情報は全くないのが現状であった。そこで、島根大学の藤原賢二准教授と岡山大学の小林達生教授の研究グループでは、ドイツのマックスプランク研究所のSteglich教授の研究グループから良質の多結晶試料の提供を受け、5GPa級インデント型圧力容器を用いて高圧下でCu核の核四重極共鳴(NQR)実験を行った。NQR共鳴周波数の圧力変化と核磁気緩和時間(T_1)の測定結果から、スピン揺らぎによる超伝導とは見なしえない、むしろ、価数ゆらぎによる超伝導を支持する超伝導特性が見出された。この研究は、日本物理学会が発行する英文誌「Journal of Physical Society of Japan」の2008年12月号に掲載されます。

NQR周波数は、観測核サイトでの周囲のイオンによる電場勾配、したがって周囲の微視的な電荷状態を反映する物理量である。NQR周波数の圧力依存性が4GPa以上で直線から顕

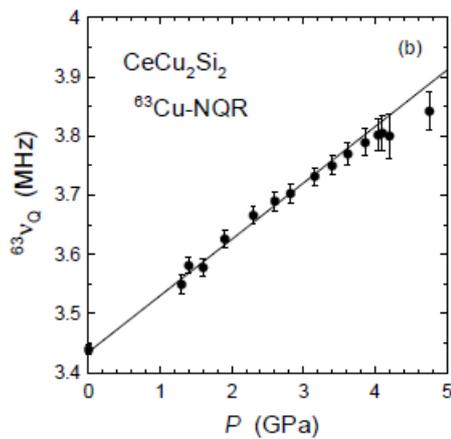


図2 ^{63}Cu 核の NQR 周波数 $^{63}\nu_Q$ の圧力変化. $^{63}\nu_Q$ は 3GPa 以下で直線的な圧力依存性を示すが、4GPa 以上では顕著に直線関係から外れることがわかる.

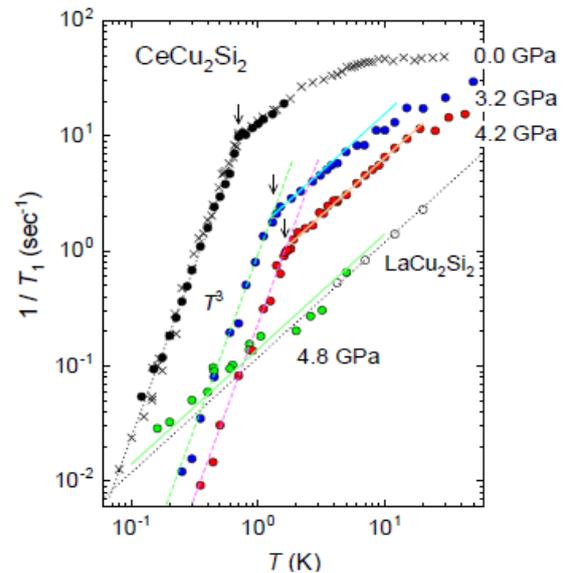


図3 ^{63}Cu 核の核磁気緩和率 ($1/T_1$) の温度依存性. 図中の矢印は T_c を表す.

著に外れることは、Ceの価数状態の変化を示唆している（図2参照）. 図3のように $1/T_1$ は、 T_c 直下でコヒーレンスピークが無く T^3 の温度依存性を示すことから、高压域でも常圧同様に異方的なギャップをもつ超伝導状態が実現していることがわかる. さらに、常伝導状態の $1/T_1$ は圧力を加えると一桁以上抑えられる（スピン揺らぎも同程度抑制されると考えてよい）のに対して、 T_c は2倍以上増大することから、3GPa以上ではスピン揺らぎ超伝導機構の可能性は極めて低いことが明らかになった. また、特に面白いのは、4.8GPaでは T_1 に最低温度まで超伝導の兆候が現れない（この圧力で超伝導が突然消失する）ことである. さらに、図1(b)のように $(T_1 T)^{-1}$ とAは4.5GPaを境に大きく減少することから、この圧力で電子系に何らかの大きな変化が生じており、Ceイオンの価数状態の変化を示唆していると考えられる.

以上のように、4.8万気圧までの高圧力下のNQR法による精密測定を初めて行った本研究の結果は、価数のゆらぎの直接的な証拠は得られていないものの、価数揺らぎを媒介とした超伝導が CeCu_2Si_2 で出現していることを支持するものとして、研究者の強い注目を集めている. 本研究を契機に、フォノン(BCS)機構、電子スピンの揺らぎ機構に続く、価数揺らぎ機構による超伝導の解明に向けた研究の今後の発展が期待される.

論文掲載誌: J. Phys. Soc. Jpn. **77** (2008) No. 12, p. 123711

電子版: <http://jpsj.ipap.jp/link?JPSJ/77/123711/>

<情報提供: 藤原賢二 (島根大学) >