

6-4 特異な超伝導の背後にあるもの

—URu₂Si₂の「隠れた秩序相」における異常な電子散乱と超伝導の関係—

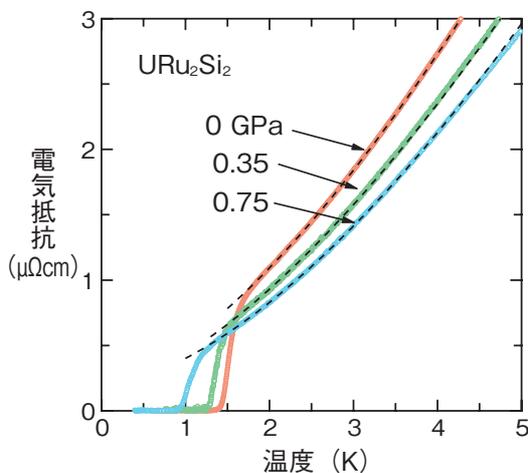


図 6-9 URu₂Si₂の高圧下における電気抵抗と温度の関係
0 GPa (大気圧)、0.35 及び 0.75 GPa における電気抵抗のデータです。1 GPa はほぼ 1 万気圧に相当します。1.5 K 以下で抵抗が急激に減少しているのは超伝導転移によるものです。点線で示したのは、理論式で解析した結果です。

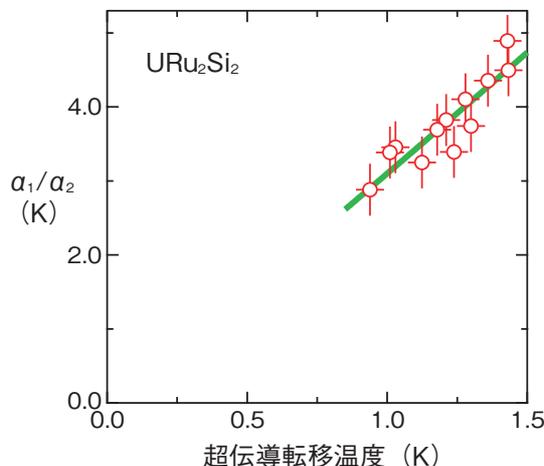


図 6-10 URu₂Si₂の高圧下電気抵抗の解析結果
電気抵抗を理論式で解析して得られた a_1/a_2 と超伝導転移温度 T_{sc} の関係をプロットしたものです。データの上下左右の赤線はエラーバーです。

超伝導は、固体中の電子が引き起こす現象の中でも、最も量子効果が現れたものです。超伝導の実現には、二個の電子を結びつける引力が必要で、鉛など単体金属の超伝導体では結晶格子の振動がその役割を果たします。一方、銅酸化物高温超伝導体など、電子間斥力の強い電子系ではより強い引力を必要とし、超伝導状態の熱力学的特性は通常の超伝導体と著しく異なります。また引力の起源として、格子振動は不十分であると考えられています。

ウラン化合物 URu₂Si₂ はそのような物質のひとつです。その超伝導が実現するためには、正体不明の電子系の秩序相がかかわっていることが分かっています。ところが、その秩序相の詳細は、発見から 25 年経過しても不明であり、「隠れた秩序相」と呼ばれています。最近の研究で、この秩序相では電子系の対称性が破れていることは解明されていましたが、電子系がどのような秩序を形成しているかは依然として不明であり、URu₂Si₂ の超伝導の起源についても手がかりがない状態でした。

私たちは、超伝導を担う電子がどのような環境におかれているのかを調べるために、電子が受ける散乱、つまり電気抵抗を測定しました。さらに、圧力を加えたときの、超伝導転移温度 (T_{sc}) の変化と電気抵抗の関連に

注目しました (図 6-9)。圧力を加えると、 T_{sc} は低下していきます。ここで、電気抵抗を、不純物散乱による寄与 ρ_0 と、通常の電子散乱の寄与 $a_2 T^2$ 、異常な電子散乱の寄与 $a_1 T$ の和として表されると仮定して電気抵抗を解析しました。この理論式 ($\rho_0 + a_1 T + a_2 T^2$) を用いてデータを解析した結果を図 6-9 に点線で示します。係数 a_1, a_2 をそれぞれの圧力で決定しました。

その結果、図 6-10 に示すとおり、一次と二次の散乱項の係数の比率 a_1/a_2 は T_{sc} と比例関係にあることが明らかになりました。 a_2 はほとんど圧力に依存しないため、異常な電子散乱の寄与 a_1 と超伝導転移温度 T_{sc} の間にはほぼ比例関係が成立することを意味します。これは、URu₂Si₂ の異常な電子散乱及び超伝導の起源が同じルーツを持つという「隠れた秩序」の新たな側面を示唆するもので、今後超伝導機構の研究を進めていく上で重要な鍵を提供することは間違いありません。

多くの電子が存在する固体の中では、超伝導をはじめ、多様な現象が見られます。私たちの研究は、これらの現象の理解に結びつく新しい概念を提供するものと期待されています。今後も、普遍的な物性理論構築に結びつく概念を提供していきたいと考えています。

●参考文献

Tateiwa, N. et al., High-Pressure Electrical Resistivity Measurement on Heavy Fermion Superconductor URu₂Si₂ Using Super Clean Crystal, Journal of Physics: Conference Series, vol.273, no.1, 2011, p.012087-1-012087-4.