

強磁性と超伝導の微視的な共存

強磁性と超伝導の共存については、1950年代より理論、実験の両面から研究されてきている。強磁性では、電子スピンの向きが同じ方向を向き自発磁化を持つものに対し、通常の超伝導状態では、2つの電子スピンの向きが反平行に向いたスピン一重項対状態を作り、内部の磁化がゼロの「完全反磁性」の磁気状態を示す。強磁性と超伝導は永らく相反する状態と考えられてきた。強磁性超伝導体としては、 $(\text{Ce}_{1-x}\text{Gd}_x)\text{Ru}_2$ や $\text{RuSr}_2\text{GdCu}_2\text{O}_8$ などが知られていたが、これらの物質では強磁性と超伝導が異なる原子の電子スピンの起因しており、このような共存は他にも数例の報告があった

ところが、この常識を覆す報告が2000年 Cambridge 大の Lonzarich 氏のグループよりなされた。彼らは50Kで強磁性を示すウラン(U)系化合物の UGe_2 では、圧力を加えることで強磁性状態を保ったまま0.8Kで超伝導に転移することを報告した。この物質では強磁性と超伝導の起源は同じUの5f電子によるものと考えられ、超伝導研究者に大きな衝撃を与えた。現在までに、 UIr 、 URhGe 、 UCoGe が新たに発見され、中でも URhGe と UCoGe では加圧をしなくても強磁性状態で超伝導を示す物質である。さらに、最近、フランス・グルノーブルの青木氏らは、通常は磁場によって抑制されるはずの超伝導が、 UCoGe では逆に磁場によって安定化されるという「強磁性超伝導体」特有と考えられる実験結果を報告し注目を集めている(詳しくは青木氏らによる注目論文の紹介、<http://wwwsoc.nii.ac.jp/jps/JPSJselectframe/2009abstract/09-11-1.pdf> を参照のこと)。

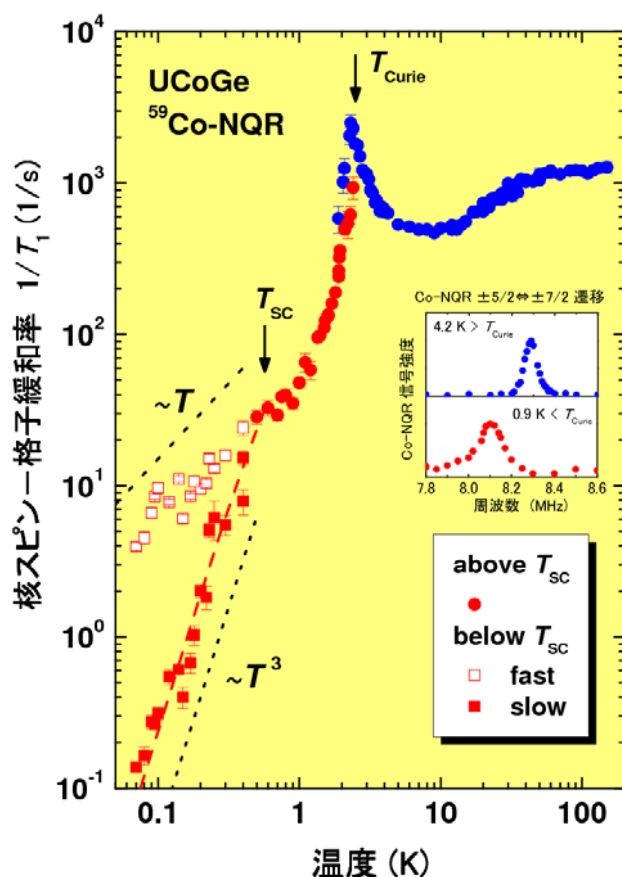
では、相反する強磁性と超伝導は、どのように、どうやって共存しているのかという疑問が残る。—強磁性と超伝導は物質中ですみ分けている(相分離)のか、それとも同じ領域で起こっているのか(共存)?—今回、京都大学、名古屋大学、東北大学の研究者からなる研究グループは、良質な単結晶 UCoGe を準備し、核四重極共鳴(NQR)という微視的な測定から、強磁性と超伝導がマイクロレベルで共存していることを明らかにした。この結果は、日本物理学会発行の英文学術誌 *Journal of the Physical Society of Japan (JPSJ)* の2010年2月号に掲載される。

核四重極共鳴(NQR)は、核磁気共鳴(NMR)と同じように、物質を構成する元素位置での磁気状態、電子状態をマイクロなレベルで調べることが出来る実験手法であるが、NQRはNMRとは違って磁場を必要としないので磁場の影響を受けやすい強磁性や超伝導の研究には適した測定である。著者らは、Co核のNQR実験から、強磁性転移後磁気モーメントの影響によりCo原子核位置に均一な内部磁場が試料全体にわたって発生していることを確認し、その強磁性の信号の核スピン—格子緩和率($1/T_1$)が、超伝導転移に伴い急激に減少することを見出した。この $1/T_1$ の急激な減少は、超伝導ギャップが開くことにより電子の励起が抑制されていることを意味し、強磁性の領域に超伝導ギャップが存在し、強磁性と超伝導が微視的に共存していることを示す結果である。

また、共存の問題以外にも興味深い報告も行っている。強磁性は試料全体にわたって生

じているが、超伝導状態では超伝導ギャップの開いているところとつぶれたところが存在する不均一な超伝導状態になっていることを示した。通常、第二種超伝導体が磁場中におかれると、量子化された磁束が超伝導体に入射し、この磁束内では超伝導ギャップが抑制されることが知られている。著者らは、外部磁場がない状況でも UCoGe 自身の持つ強磁性モーメントに由来して磁束が生まれている「自己誘導渦糸状態」が実現し不均一な超伝導状態が実現している可能性を指摘した。この自己誘導渦糸状態は、理論的な研究からその存在が予言されている状態であるが、実験ではまだ確認されていない未知の超伝導状態である。

このように UCoGe における、強磁性と共存する「新奇な超伝導状態」の出現を微視的に明らかにした本研究成果は多くの研究者から注目を集めている。今までの超伝導状態とは大きく異なる、この強磁性超伝導状態の全容解明に向けた今後の研究が期待される。



図：UCoGe のコバルト(Co)核の核四重極共鳴(NQR)による核スピン-格子緩和率($1/T_1$)の温度依存性。強磁性転移温度(T_{Curie})以上では常磁性の信号(8.3MHz)で測定(青点)。 T_{Curie} 以下では磁気モーメントの影響でNQR信号はシフトする。 T_{Curie} 以下では強磁性の信号(8.1MHz)で測定(赤点)。超伝導転移温度 T_{sc} 以下では緩和に二成分が見られる。超伝導転移後に急激に減少する遅い緩和が超伝導成分に対応する。

論文掲載誌：J. Phys. Soc. Jpn. Vol.79, No.2 p. 023707

電子版：<http://jpsj.ipap.jp/link?JPSJ/79/023707> (2月10日公開)

<情報提供：石田憲二、中井祐介 (京都大学)、佐藤憲昭、出口和彦 (名古屋大学)>