

京都大学	博士 (理学)	氏名	服部 泰佑
論文題目	Spin-Triplet Superconductivity Induced by Ferromagnetic Fluctuations in UCoGe (UCoGe における強磁性磁気揺らぎが誘起するスピン三重項超伝導)		
<p>(論文内容の要旨)</p> <p>本博士論文では、ウラン系強磁性超伝導体UCoGeについて、コバルト核(^{59}Co)の核磁気共鳴(NMR)/核四重極共鳴(NQR)実験を行い、この超伝導体はこの物質が持つ特徴的な強磁性縦ゆらぎによりスピン三重項状態の超伝導が引き起こされている可能性を指摘したものである。強磁性超伝導体UCoGeは2007年に発見された最も新しいウラン系強磁性超伝導体である。本物質は、NMR/NQRで広く用いられる^{59}Co核を含むため微視的な研究が可能になり、磁気的な性質を^{59}Co-NMR実験より調べることが可能である。さらに磁気的な性質と超伝導の関係についても調べることができ、実験的なサイドから超伝導発現機構に迫れることが期待される。</p> <p>本論文では、主に(1)強磁性と超伝導の微視的な共存、(2)この物質が持つ強磁性縦ゆらぎの指摘、(3)強磁性縦ゆらぎと超伝導の関係、(4)超伝導状態におけるスピン帯磁率の測定について報告している。</p> <p>(1)の強磁性と超伝導の共存については、^{59}Co-NQR信号が強磁性転移に伴いウランサイトからの内部磁場を受け共鳴周波数がシフトすることから強磁性領域からの信号は判別できる。服部らはこの強磁性領域からの信号において核スピン格子緩和率($1/T_1$)を測定し、超伝導転移に伴う変化を観測し、超伝導は強磁性領域で起こっていることから超伝導と強磁性の微視的共存を明らかにした。(2)は単結晶試料を用いそれぞれの軸方向に磁場を印加し$1/T_1$の測定を行った。得られた結果よりそれぞれの軸方向の磁気ゆらぎと、ナイトシフトからの静的磁化率との関係より、c軸方向を容易軸とする強磁性縦ゆらぎが支配的であることを明らかにした。もっとも興味深い点として、(3)この特徴的な強磁性ゆらぎと超伝導の関係である。服部らは単結晶試料を精度よく角度を制御して$1/T_1$と超伝導マイスナー信号を測定することから、この特徴的な強磁性ゆらぎはc軸方向の磁場により急激に抑制されc軸方向の磁場を制御パラメーターとすること、超伝導はこの強磁性ゆらぎが強い磁場領域でのみ観測されることを示した。また磁場をa, b軸方向に印加し高磁場まで測定し、a軸に印加した場合は強磁性ゆらぎに変化は見られないもののb軸方向に印加した場合は強磁性転移温度は抑制され、2Kにおける強磁性ゆらぎは増大していることもわかった。この結果が、b軸方向に見られる上部臨界磁場の異常な増大に結びついていることも指摘した。(4)の超伝導状態のスピン磁化率の測定は、a, b軸方向のナイトシフトを超伝導状態まで測定することにより行った。超伝導転移に伴い超伝導一重項に期待されるようなスピン磁化率の大きな減少は見られず、多く見積もっても常伝導スピン磁化率の約3%程度の減少と見積もられることを示した。超伝導状態のスピン磁化率の振る舞いは、c軸方向の内部磁場によりバンドが分裂した状況で起こるスピン三重項超伝導の振る舞いでよく理解できることを示した。</p> <p>このように、服部氏が明らかにした上記の結果は、強磁性超伝導体UCoGeにおいて超伝導とこの物質の特徴的な強磁性縦ゆらぎに正の相関が見られること、超伝導はスピン三重項超伝導体と考えられることを示した。また最近の理論結果によれば今回明らかになった強磁性ゆらぎによってスピン三重項超伝導が引き起こされることも示されており、服部氏の研究内容は強磁性超伝導発現機構解明にもつながる重要な成果と考えられる。</p>			

(論文審査の結果の要旨)

1.研究目的の評価

服部氏は2007年にオランダのグループにより発見された強磁性超伝導体UCoGeにおける強磁性と超伝導の関係を⁵⁹Co核のNMR/NQR実験より微視的に調べた。従来スピン重項超伝導体では強磁性が作り出す交換相互作用のため強磁性と超伝導は共存できないと考えられていたが、2000年にケンブリッジ大学のグループが強磁性体UGe₂の加圧下において超伝導を発見し、その後現在までに4つのウラン化合物で強磁性超伝導は報告されている。今回の研究対象物質UCoGeはその中でも最も新しい超伝導体である。またこの物質は一般的なNMR可能な核を含む初めての強磁性超伝導体でありその意味でも特別な位置にある。UCoGeをNMRにより研究する価値は十分認められる。

2.研究手段に関する評価

今回用いられた実験手法である核磁気共鳴(NMR)は物質の電子、磁気状態を原子レベルで知ることが出来る微視的な実験手法であり、非常に弱い磁性や低エネルギー磁気励起を知るには適した手法である。また服部氏は磁場中で単結晶試料の精密な角度依存性を制御する方法として、各磁場方向に対してNMRスペクトルを計算しておき、それとの比較より実際磁場が結晶のどの方向に印加されているのかを正確に把握出来るようにした。この手法を用いることで約0.5度の誤差で1/T₁の角度依存性を測定した。NMRのスペクトルを用いて実際の磁場方向を正確に知る方法は大変有用であり今後広く使用できる手法である。

3.結果、考察の評価

服部氏は強磁性転移に伴い内部磁場を受け新たに現れたNQR信号に超伝導の影響が現れることから、強磁性と超伝導が微視的に共存していることを指摘した。この物質が持つ磁気ゆらぎについては単結晶試料の各軸方向の1/T₁を測定し、1/T₁には印加方向とは直交する成分の磁気ゆらぎが関係することを各成分の磁気ゆらぎを取り出した。また磁気ゆらぎと静的帯磁率との関係より磁気ゆらぎが強磁性的か反強磁性的か判断している。また磁気ゆらぎと超伝導との関係については、同じ単結晶を用いた希釈冷凍機による実験で、超伝導直上の1/T₁とマイスナー信号の角度依存性を比較することにより、強磁性ゆらぎと超伝導に正の相関があることを見出している。*a, b*軸に磁場を印加したときの磁気ゆらぎの磁場変化については、*a*軸方向に磁場を印加した場合は1/T₁に磁場依存性は見られないが、*b*軸方向に印加した場合は強磁性転移温度は磁場によって抑制されているので、*a, b*方向の磁場依存性に関して明らかな違いを見出している。この違いがD. Aoki *et al.* (J. Phys. Soc. Jpn. **78**, 113709 (2009)) により報告されたH_{c2}の*a, b*軸による異方性の原因と考えるのは自然であろう。また超伝導状態におけるスピン帯磁率の測定についても、マイスナー信号により超伝導転移を確認しながらナイトシフト測定を行っており信頼に足る結果と判断する。服部氏は実験遂行能力の高さだけでなく、実験データの解析、そこから導き出される物理イメージなど議論できる実験科学者として優れた能力を有していると判断した。

よって、本論文は博士(理学)の学位論文として価値あるものと認める。また、平成26年1月8日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行った結果、合格と認めた。

要旨公表可能日： 年 月 日以降