

Title	NMR Study of Magnetic Excitation and Pseudogap in High-Tc Cuprates
Author(s)	Tokunaga, Yo
Citation	大阪大学, 1999, 博士論文
Version Type	VoR
URL	https://doi.org/10.11501/3155505
rights	
Note	

Osaka University Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

Osaka University

氏名	徳永 陽
博士の専攻分野の名称	博士(理学)
学位記番号	第 14753 号
学位授与年月日	平成11年3月25日
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当 基礎工学研究科物理系専攻
学位論文名	NMR Study of Magnetic Excitation and Pseudogap in High- T_c Cuprates (NMRによる高温超伝導体の磁気励起と擬ギャップの研究)
論文審査委員	(主査) 教授 北岡 良雄 (副査) 教授 菅 滋正 教授 鈴木 直

論文内容の要旨

異常金属相と呼ばれる高温超伝導体の常伝導状態を理解することは、高温超伝導の発現機構を解明する上でもっとも重要な鍵のひとつである。そこで本研究ではこの異常金属相を特徴づけている CuO_2 面内の反強磁性的磁気励起および低ドーピング領域で現れる擬ギャップについての研究を核磁気共鳴法 (NMR) を用いて行い、高温超伝導発現の機構を探った。

超伝導転移温度 T_c が 92K である $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$ の面内 Cu サイトの一部を Ni で置換すると T_c は置換濃度に比例して減少する。Ni を 1% から 10% まで系統的に置換した試料を作成し、Ni 置換に伴う面内の磁気励起の変化をスピン格子緩和時間、 $1/T_1$ およびスピン-スピン緩和時間、 $1/T_{2c}$ の測定により研究した。その結果、面内スピン揺らぎの特性エネルギー Γ_Q の変化と T_c の減少との間に $T_c \propto \Gamma_Q$ という非常に密接な関係があることを発見した。これは理論モデルによらず高温超伝導の発現が磁氣的機構によるものであることを実験的に証明したものであり、またスピン揺らぎを引力とする理論モデルを強く支持する結果でもある。

一方、擬ギャップについての研究は主に単結晶 $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_{8+y}$ において Knight shift, $1/T_1T$, および $1/T_{2c}$ の温度変化を低ドーピング領域から高ドーピング領域まで系統的に測定することにより行った。その結果これまで $1/T_1T$ でしか確認されていなかった擬ギャップが Knight shift でもほぼ同じ温度で現れていることを明らかにした。またこの $1/T_1T$ および Knight shift に擬ギャップが現れる温度 T^* は、角度分解光電子分光、電気抵抗等で異常が観測されている温度ともよく一致し、これらの異常が同じ起源をもつことが確認された。さらにこの擬ギャップの起源そのものについては主に $1/T_{2c}$ の温度依存性より、 T^* 直下の磁氣的な起源をもつ Magnetic なギャップとより低温の T_c^* 以下の incoherent な超伝導対の形成を伴う超伝導ギャップ (超伝導ゆらぎ) という 2 つのギャップが存在することが示された。また単位胞内に 4 配位と 5 配位という 2 種類の CuO_2 面を持つ $\text{HgBa}_2\text{Ca}_3\text{Cu}_4\text{O}_{10+y}$ および $\text{CuBa}_2\text{Ca}_3\text{Cu}_4\text{O}_{12+y}$ における NMR 測定も行い、これら 2 種類の CuO_2 面をもつ高温超伝導体では各面内でキャリアー濃度が大きく異なり電荷供給層に近い 5 配位面により多くのキャリアーが供給されること、またこのキャリアー濃度の違いを反映して各面内での常伝導状態の磁氣的特性も大きく異なることを明らかにした。さらに $\text{CuBa}_2\text{Ca}_3\text{Cu}_4\text{O}_{12+y}$ ではこれら 2 つの面が 1 つの物質内で異なる超伝導転移温度を示すことを発見した。

論文審査の結果の要旨

異常金属相と呼ばれる高温超伝導体の常伝導状態を理解することは、高温超伝導の発現機構を解明する上でもっとも重要な鍵のひとつである。本研究では、核磁気共鳴法 (NMR) を用いてこの異常金属相を特徴づけている CuO_2 面内の反強磁性的磁気励起および低ドーブ領域で現れる擬ギャップの特性を明らかにし、高温超伝導発現の機構を探った。超伝導転移温度 T_c が 92K である $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$ の面内 Cu サイトの一部を Ni で置換すると T_c は置換濃度に比例して減少する。Ni を 1% から 10% まで系統的に置換した試料を作成し、Ni 置換に伴う面内の磁気励起の変化をスピン-格子緩和時間、 $1/T_1$ およびスピン-スピン緩和時間、 $1/T_2$ の測定により研究した。その結果、面内スピン揺らぎの特性エネルギー Γ_Q と T_c との間に $T_c \propto \Gamma_Q$ という関係があることを発見した。これは理論モデルによらず高温超伝導の発現が磁氣的機構によるものであることを実験的に証明したものであり、またスピン揺らぎを引力とする理論モデルを強く支持する結果を得ている。

一方、擬ギャップの研究は単結晶 $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_{8+y}$ について調べた。ナイトシフト K 、 $1/T_1T$ 、および $1/T_2$ の温度変化を低ドーブ領域から高ドーブ領域まで系統的に測定し、 $1/T_1T$ および K に擬ギャップが T^* 以下で現れること、角度分解光電子分光、電気抵抗等で異常が観測されている温度とよく一致すること、これらの異常が同じ起源をもつことを確認した。 $1/T_2$ の温度依存性から T^* 以下の擬ギャップが磁氣的な起源をもち、一方、より低温の T_c^* 以下で超伝導ゆらぎに起因する擬ギャップが存在することを示した。また単位胞内に 4 配位と 5 配位という 2 種類の CuO_2 面を持つ $\text{HgBa}_2\text{Ca}_3\text{Cu}_4\text{O}_{10+y}$ および $\text{CuBa}_2\text{Ca}_3\text{Cu}_4\text{O}_{12+y}$ における NMR 測定も行い、これら 2 種類の CuO_2 面のもつ高温超伝導体では各面内でキャリア濃度が大きく異なり電荷供給層に近い 5 配位面により多くのキャリアが供給されること、またこのキャリア濃度の違いを反映して各面内での常伝導状態の磁氣的特性も大きく異なることを明らかにした。さらに $\text{CuBa}_2\text{Ca}_3\text{Cu}_4\text{O}_{12+y}$ ではこれら 2 つの面が 1 つの物質内で異なる超伝導転移温度を示すことを発見した。

以上のように本研究は高温超伝導体の発現機構に関連した諸問題の解決への端緒となる多くの成果をもたらしたもので博士 (理学) の学位論文として十分に価値があるものと認められる。