

遍歴反強磁性体から非従来型超伝導へ：NMR で見た鉄系高温超伝導体 $\text{LaFeAs}(\text{O}_{1-x}\text{F}_x)$

今年 2 月に東工大細野秀雄氏の研究グループが、転移温度 26 K の鉄系超伝導体 $\text{LaFeAs}(\text{O}_{1-x}\text{F}_x)$ を発見して以来、世界中で FeAs 系超伝導の研究が行われている。その後の研究で、La 元素を他の希土類元素に変えることで 50K を超す転移温度が実現され、今後どこまで転移温度が上昇するのか、大変注目を集めている。そして、この高い転移温度に加え、 $\text{LaFeAs}(\text{O}_{1-x}\text{F}_x)$ が強磁性を示す鉄元素を含む超伝導体である点も非常に興味深い。従来の BCS 理論の枠組みでは強磁性や反強磁性といった磁気的な状態は超伝導を壊すとされてきた。ところが、1986 年以後発見された銅酸化物高温超伝導体(最高転移温度 160K)では高い超伝導転移温度が、強い反強磁性相互作用によって引き起こされていると考えられており、今回発見された鉄系超伝導でも鉄に由来した磁気状態が、高い転移温度を生む超伝導の発現機構と関係するののかという点も非常に興味深い点である。銅酸化物高温超伝導体をはじめとして、近年発見されている新奇な超伝導体において、超伝導ギャップの構造や、超伝導転移温度より高温の状態(常伝導状態)での磁気状態を明らかにすること、さらには、銅酸化物高温超伝導体の場合と同様に、母物質 LaFeAsO の性質を明らかにすることが重要である。なぜならば、これらの理解が高い転移温度をもたらす超伝導発現機構の解明や、今後更に高い転移温度をもった超伝導体を探索する上での指針となるからである。

細野氏のグループの先行研究によって、フッ素(F)が入っていない母物質 LaFeAsO は超伝導を示さず、F を 4% 置換することで超伝導が現れ、11% のとき最も高い超伝導転移温度 26K が現れることが知られていた。しかし、母物質 LaFeAsO がどのような物質なのか、フッ素置換がどのような影響を与えるのかといった基礎的な点は未解決の問題であった。

今回、京都大学大学院理学研究科の固体量子物性研究室の研究グループは、東工大の細野秀雄・神原陽一の両氏らと共同で、核磁気共鳴法(NMR)と呼ばれる、物質の内部をミクロに観測する研究手法を用い、 LaFeAsO 、 $\text{LaFeAs}(\text{O}_{0.96}\text{F}_{0.04})$ (超伝導転移温度 $T_c = 17.5\text{K}$)、 $\text{LaFeAs}(\text{O}_{0.89}\text{F}_{0.11})$ ($T_c = 22.7\text{K}$) の磁気的な性質、超伝導の性質を調べ、鉄系超伝導体と銅酸化物超伝導体の類似点と相違点を明らかにした。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 2008 年 7 月号に掲載される。

NMR は物質を構成するミクロな元素位置での状態を観測できる実験手法として、超伝導研究に欠かせない測定手法である。本研究では、その測定結果(図 1 に典型例を示す)から、(1) La 核の NMR 実験から、母物質 LaFeAsO は、160K の構造相転移温度よりわずかに低い 142K で反強磁性秩序に伴う臨界発散を示し遍歴反強磁性体に特有の振る舞いを示すこと、(2) FeAs 層に位置する As 核の NMR 実験から、母物質にフッ素置換した超伝導体 $\text{LaFeAs}(\text{O}_{1-x}\text{F}_x)$ は、超伝導ギャップが線状に消失しているギャップ構造をもつこと、(3) 常伝導状態での磁気励起がフッ素置換により大きく変化すること、(4) 特に、 $x=0.11$ の試料では擬ギャップ的な振る舞いが核磁気緩和率 $1/T_1T$ に見えること、などを明らかにした。本研究で明らかとなった超伝導ギャップの特徴は、FeAs 系超伝導体が銅酸化物高温超伝導体と同様、非従来型超伝導体であること

を示すものである。また、フッ素置換によって母物質での反強磁性が急激に抑えられ、非従来型超伝導に移り変わる様子は、銅酸化物高温超伝導体や近年盛んに研究がなされている希土類、アクチナイド化合物に共通して見られる振る舞いと類似している。しかし、興味深いことに、非従来型超伝導の発現機構に関係すると考えられる磁気励起はフッ素置換とともに劇的に変化する一方、超伝導の転移温度にはそれほど大きな変化は見られなかった。この点は、磁気励起と超伝導とが密接に関係する銅酸化物超伝導の場合とは異なる、新しいタイプの高温超伝導が FeAs 系で実現している可能性を示唆している。

本研究は、高温超伝導の舞台となる母物質 LaFeAsO の性質や、フッ素置換による磁気励起の変化、また超伝導ギャップ構造を明らかにしたのものとして多くの超伝導研究者から注目を集めている。特に、今回の結果は鉄系超伝導のメカニズムを明らかにするための基礎データになるものと考えられ、この超伝導を取り巻く研究の今後一層の発展が期待される。

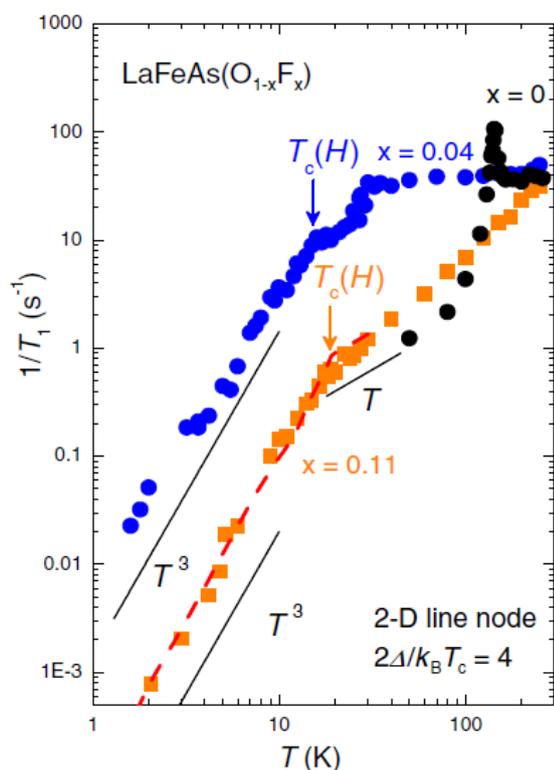


図 1 : LaFeAs(O_{1-x}F_x)における核磁気緩和率(1/T₁)の温度依存性。x=0 では反強磁性秩序に見られる臨界発散が T=142K で観測された。x=0.04、0.07 の超伝導状態では、線状で超伝導ギャップが消えている時に見られる 1/T₁ ~ T³ の温度依存性が観測された。

論文掲載誌: J. Phys. Soc. Jpn. 77 (2008) No. 7 p. 073701

電子版: <http://jpsj.ipap.jp/link?JPSJ/77/073701> (6月25日公開)

<情報提供: 中井祐介、石田憲二(京都大学)>