

新しい電子ドーピング型鉄系高温超伝導体の特異な電子状態

1980年代後半に、銅と酸素の二次元正方格子にキャリアーを注入すると反強磁性モット絶縁体が超伝導体に転移することが発見された。いわゆる銅酸化物における高温超伝導現象である。この問題は数多くの物性研究者の関心を集めて来たが、非常に難しい多体問題であり、未だにその超伝導発現機構は解明されていない。また、長年にわたる地道な物質探索にもかかわらず銅酸化物における転移温度を超す物質も発見されていない。東京工業大学の細野氏らによって今年発見された鉄元素を含んだ新しい鉄系高温超伝導体は、単に転移温度が銅酸化物並に高いというだけではなく、今までとは異なる新しい視点からの高温超伝導現象発現機構の研究の必要性をもたらしたという点からも画期的発見といえる。

最近、米国オークリッジ国立研究所の Sefat 氏、Mandrus 氏らが、鉄、バリウム、ヒ素の化合物にコバルト原子を混ぜることで高温超伝導現象を引き起こせることを報告して世界を驚かせた。コバルト原子は鉄原子より一つ余計に電子を持っているため、この余計な電子がキャリアーとなって高温超伝導を引き起こされているのであろうということがまず考えつく。しかし、銅酸化物の場合、同じように銅原子より電子を一つ余計に持った亜鉛原子を混ぜると、超伝導になるどころか局所的に磁性を引き起こすことが知られている。しかもこの磁性現象発現の根本的原因は、そもそも銅酸化物がモット絶縁体であることに由来することも分かっている。鉄系高温超伝導体中のコバルト原子は、磁性を引き起こさずにキャリアーをドーピングして超伝導現象を発現させているのだろうか？もし本当だとすると「モット絶縁体を出発点として高温超伝導現象を理解する」という、過去20年来にわたって物性研究者達の多くが半ば常識としてきた見方を根本的に変換する必要を否定できなくなるわけで、事は重大である。今回、McMaster 大学(カナダ)の今井氏の研究グループはオークリッジ研究所の Sefat 氏らの研究グループと、核磁気共鳴法という微視的手段を用いた共同研究を進め、鉄系新超伝導体 $\text{BaFe}_{1.8}\text{Co}_{0.2}\text{As}_2$ のもつ特異な電子状態を明らかにした。この研究は、日本物理学会発行の学術誌 Journal of the Physical Society of Japan (JPSJ)の2008年10月号に掲載される。

核磁気共鳴法は局所的電子状態を探るのに適した実験手段であり、本研究は多くの新しい知見をもたらした。まず第一に、やはりコバルト原子は磁性を引き起こさずに鉄原子と合金を組むことが判明した。銅酸化物に亜鉛原子を入れた時とは異なり、キュリーの法則を満たす局在モーメントは発現しないのである。第二に、ナイトシフト(共鳴周波数のずれ)から見積もった電子の静帯磁率、および、核緩和率 $1/T_1T$ から見た電子スピンの揺らぎが温度とともに減少するいわゆる「疑ギャップ」現象を示すことも分かった。100 K 以下の低温域ではこれらの物理量は一定値に漸近していくので、一見すると、転移温度の直上でフェルミ液体になっているかのように見えなくもない。しかし、電気抵抗の温度依存性はフェルミ液体に期待される温度の2乗則 ($\sim T^2$) を満たさず、むしろ銅酸化物同様温度の1乗則 ($\sim T$) を満たしており(図 1a)、単純なフェルミ液体ではないのは明らか

である。第三に、ナイトシフトは転移温度以下で全ての方向で減少することが測定された (図 1b)。鉄と同様な強磁性的スピンの揺らぎによって、ヘリウム3と同様なスピントリプレット型の p 波超伝導が引き起こされていれば、磁場を結晶の c 軸または ab 面内にかけて測定したナイトシフトのどちらかが転移温度以下で一定となるはずであるので、p 波超伝導という可能性も完全に否定される結果となった。一方で、ホールドープ型の鉄系高温超伝導や銅酸化物同様、 $1/T_1T$ は転移温度以下でべき乗的に減少していく。通常の s 波の超伝導体では、 $1/T_1T$ は転移温度直下でコヒーレンス効果によりいったん増大したあと、等方的なエネルギーギャップのために指数関数的に減少することがBCS理論によって導かれており、べき乗的な $1/T_1T$ の結果は、電子ドープ型の鉄系高温超伝導体が異方的超伝導ギャップを持っている可能性を示唆している。

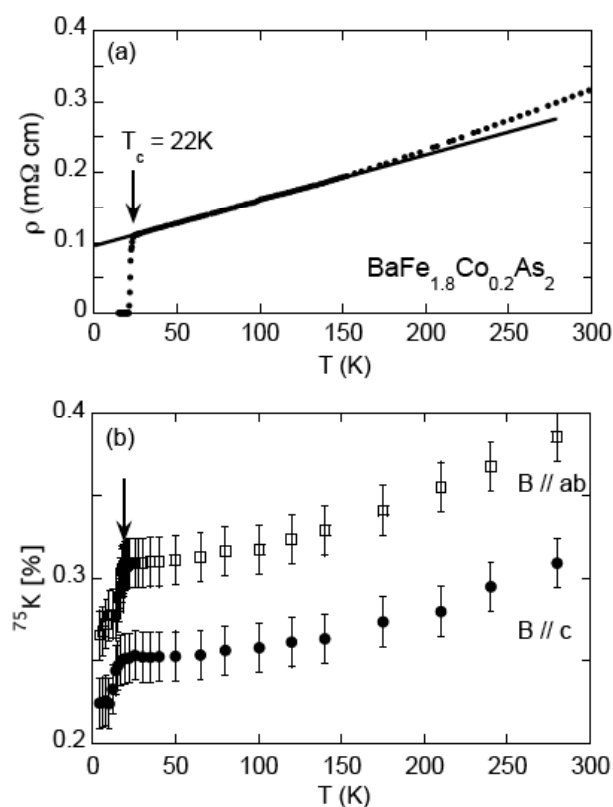


図 1. (a) $\text{BaFe}_{1.8}\text{Co}_{0.2}\text{As}_2$ 単結晶 ($T_c = 22 \text{ K}$) の面内電気抵抗。転移温度の上の広い温度域で温度に比例する温度変化をしめす。
(b) ^{75}As 原子核の核磁気共鳴周波数のナイトシフト ^{75}K から測定されたスピン帯磁率の温度依存性。 T_c 以下でもほぼ等方的に減少している。

鉄系新高温超伝導体の研究は目覚ましいスピードで進んでいるが、まだまだ分からないことだらけとあってよい。この状況にあって、鉄系と銅酸化物高温超伝導体の特異な物性の相違が明確にされた本研究の成果は、多くの研究者から注目を集めている。今後さらなる総合的な研究の進展が期待される。

論文掲載誌：J. Phys. Soc. Jpn. **77** (2008) No. 10, p.103705

電子版：<http://jpsj.ipap.jp/link?JPSJ/77/103705/>

<情報提供： 今井卓 (McMaster大学(カナダ))>