

## 磁場誘起有機超伝導体 $\lambda\text{BETS}_2\text{FeCl}_4$ における 鉄と伝導電子の奇妙な関係

超伝導に磁場をかけたり、磁性を持つ不純物原子を混入したりすると超伝導は壊れてしまうため、超伝導と磁性の共存は難しいとされてきた。しかし、近年、強い磁場をかけることによって初めて超伝導状態になる磁場誘起有機超伝導体  $\lambda\text{BETS}_2\text{FeCl}_4$  が物材機構の宇治進也氏らの研究グループにより発見された。この物質は、伝導性を担う有機分子 BETS の層と磁性イオンを含む  $\text{FeCl}_4$  分子の絶縁層とが交互に積み重なった層状物質で、ゼロ磁場下の基底状態は反強磁性秩序を示すが、高磁場（17 T 以上）下では超伝導状態が出現する。これまで、この反強磁性-超伝導転移に対して次のような描像が信じられてきた。低磁場下では、反強磁性秩序を担っているのは、各イオンに局在した Fe の 3d 電子であり、それが及ぼす内部磁場によって BETS 層の伝導  $\pi$  電子の超伝導出現が抑制されているが、強い磁場によって 3d 電子の反強磁性秩序が壊れると、 $\pi$  電子へ働く内部磁場が小さくなり超伝導が出現する。

ところが、今回、東邦大学の秋葉宙・西尾豊氏らの研究グループは、本物質の比熱を低温で測定し、Fe を含まない有機超伝導体  $\lambda\text{BETS}_2\text{GaCl}_4$  の比熱と比較したところ、これまでの描像とは異なる結果に至った。すなわち、ゼロ磁場下の  $\lambda\text{BETS}_2\text{FeCl}_4$  においては、低温での反強磁性秩序を担うことが当然とされていた Fe の 3d 電子が実際は極低温まで常磁性であり、本来超伝導を担うはずの  $\pi$  電子自体が低温（約 8 K）で絶縁化を伴う常磁性-反強磁性相転移をしていることが明らかとなった。この研究成果は、日本物理学会が発行する英文誌「Journal of the Physical Society of Japan」の 2009 年 3 月号に掲載される。

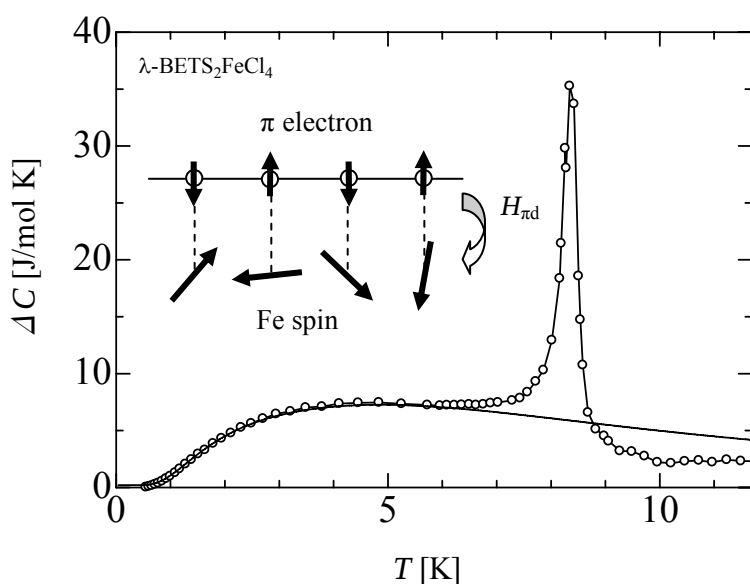


図 1.  $\lambda\text{BETS}_2\text{FeCl}_4$  における 3d 電子の磁気比熱  $\Delta C$  の温度依存性。4 K 付近に見られるブロードな山は Fe が常磁性状態であることを示す(実線はその理論曲線)。8 K 付近の鋭いピークは伝導  $\pi$  電子が絶縁化と同時に反強磁性秩序化したことを示す。挿入図は比熱結果から得られた基底状態の磁気モデル。

Fe を含まない  $\lambda\text{BETS}_2\text{GaCl}_4$  は温度を下げると常伝導-超伝導転移を示す。この Ga を Fe で置換すると、その基底状態は超伝導から絶縁体に変化する。このとき、ある特定方向に磁場をかけていくと、基底状態は絶縁体から金属、さらに 30 T 程度の強磁場になると超伝導になる。このように、Fe 濃度や磁場・温度といった外部パラメータを制御することで伝導状態が目まぐるしく変化するのは、物質中の磁性を担う  $3d$  電子と伝導を担う  $\pi$  電子との間にある程度強い相互作用が働くためと考えられている。

本研究では、 $\lambda\text{BETS}_2\text{FeCl}_4$  と  $\lambda\text{BETS}_2\text{GaCl}_4$  の極低温 (0.2 – 12 K) での比熱を測定し、詳細な比較を行った。図 1 は両者の差  $\Delta C$  を示したものであるが、両者の格子比熱の違いや  $\lambda\text{BETS}_2\text{GaCl}_4$  の電子比熱の大きさが  $\Delta C$  より 1 桁以上小さいことから、図の差  $\Delta C$  は  $\lambda\text{BETS}_2\text{FeCl}_4$  の Fe 電子に伴う磁気比熱と見なせる。この  $\Delta C$  のふるまいは、 $3d$  電子が反強磁性状態にあるものとは明らかに異なり、特に 8 K 以下のふるまいは、反強磁性状態にある  $\pi$  電子からの内部磁場  $H_{\text{nd}}$  を受けている局在常磁性スピン (大きさ  $S=5/2$ ) として計算したショットキー型比熱 (図 1 の実線) によく一致する。

今回  $\lambda\text{BETS}_2\text{FeCl}_4$  の基底状態に見出だされた  $3d$  電子と伝導  $\pi$  電子が作り出すミステリアスな磁気・伝導状態は、磁性と超伝導の競合関係における新たな知見を与えるものとして多くの研究者の注目を集めている。なぜ超伝導になるはずの伝導電子がここでは局在化してかつ磁性まで担うのか、そして伝導電子の物理的性質をここまで変えてしまう Fe の本当の役割は何なのかなど、本研究によって我々に課せられた問題は多い。これらの課題は磁性と超伝導の関係を探る上での重要な手がかりであり、今後の研究による解明が期待される。

論文掲載誌: J. Phys. Soc. Jpn. **78** (2009) No. 3, p. 033601

電子版: <http://jpsj.ipap.jp/link?JPSJ/78/033601> (2 月 25 日公開済)

<情報提供: 秋葉宙、西尾豊 (東邦大学)>